

**La revisión inter pares
de las pruebas
europeas de
resistencia
post-Fukushima**

Plataforma CEIDEN: ciencia
y tecnología españolas
en el universo del átomo

Las redes sociales como
instrumento de la
comunicación institucional

Entrevista con Tomás
Díaz de la Rubia, subdirector
del Lawrence Livermore
National Laboratory

La captura y almacenamiento
del dióxido de carbono

El debate entre las
ventajas y los riesgos
de las mamografías



“No puede haber buena comunicación de crisis si no hay una permanente labor de información y transparencia”



El proceso abierto para implantar mejoras de seguridad en las centrales nucleares europeas, de acuerdo con las lecciones derivadas del accidente de Fukushima, sigue su camino. Tras la presentación de los informes nacionales se procedió a la realización de revisiones inter pares, una especie de examen cruzado en el que todos los reguladores analizaban las conclusiones de cada país para garantizar su rigor en el diagnóstico y en las propuestas concretas de mejora. A tal fin, grupos de expertos internacionales han visitado cada uno de los países para contrastar la información sobre el terreno. Este proceso es descrito con cierta amplitud en este número de *Alfa*, por el consejero Antoni Gurguí y el subdirector de Ingeniería, Antonio Munuera, que han tenido una participación activa en esta fase, como representantes del Consejo de Seguridad Nuclear. El siguiente paso es la puesta en marcha del Plan de Acción de cada país, que deberá estar terminado antes de que finalice este año.

Otra experiencia extraída del accidente de la central japonesa es la importancia de la comunicación, tanto durante las crisis como en tiempos de normalidad, ya que no puede haber buena comunicación de crisis si no se lleva a cabo, de forma permanente y previa, una adecuada labor de información y transparencia. Si en el número anterior dábamos cuenta de los resultados del seminario sobre este tema, organizado el pasado mes de mayo en Madrid por el CSN y la Agencia de Energía Nuclear de la OCDE, en este número se incluye un reportaje sobre las nuevas perspectivas que abren las redes sociales en el campo de la comunicación institucional.

La Plataforma CEIDEN es una asociación que aglutina a todos los centros, tanto públicos como privados, que trabajan en España en I+D+i relacionada con la fisión nuclear. Cumple ahora cinco años, por lo que damos cuenta de su estructura y funcionamiento y de los frutos que está rindiendo. Inauguramos con este reportaje una serie dedicada a la tecnología nuclear española, que en próximos números irá recorriendo el mapa de instituciones y empresas españolas que protagonizan ese afán investigador, que es clave para la competitividad del sector. Junto a este se incluyen otros reportajes que abordan temas ligados a la actividad del Consejo pero con implicaciones que exceden con mucho ese territorio. Es el caso de la cristalografía por difracción de rayos X, una tecnología clave que cumple este año su primer centenario; de las instalaciones que alberga el Centro Nacional de Aceleradores, en Sevilla; el uso de las mamografías para la detección precoz del cáncer de mama, motivo de debate entre expertos por el difícil equilibrio entre sus ventajas y sus riesgos; y la tecnología de captura y almacenamiento de dióxido de carbono, una prometedora fórmula para luchar contra el cambio climático.

No es habitual que un español alcance puestos de alta responsabilidad en alguno de los mayores laboratorios científicos del mundo. Tomás Díaz de la Rosa lo ha conseguido al situarse como subdirector y responsable de los programas de ciencia y tecnología del Lawrence Livermore National Laboratory de EEUU. Él es el protagonista de la entrevista de este número, en la que nos habla, entre otras cosas, de los avances que están realizando hacia la fusión nuclear. ©

REPORTAJES

- 4 **La huella digital de los átomos y las moléculas**
En 2012 se cumple un siglo de la cristalografía por difracción de rayos X, una tecnología descubierta por Max von Laue que permite conocer la estructura interna de la materia y prever su comportamiento. Sus aplicaciones abarcan desde la bioquímica a la ciencia de materiales o la informática.

The finger print of atoms and molecules. The year 2012 marks the centenary of X-ray diffraction crystallography, a technology discovered by Max von Laue that allows insight to be gained into the internal structure of matter and makes it possible to foresee its behaviour. The applications of this technology cover areas as diverse as biochemistry, materials science and data-processing.
- 9 **La evolución de la tela de araña**
Las redes sociales han transformado radicalmente el mundo de la comunicación y los cambios continúan de forma acelerada. El nuevo paradigma afecta a los medios de comunicación de manera directa, pero también a las demás empresas e instituciones, que deben adaptar sus estrategias a la nueva situación.

The evolution of the spider's web. The social media have radically transformed the world of communications and the changes continue at great speed. The changing paradigm directly affects the media, but also has an impact on other companies and institutions, which have to adapt their strategies to the new situation.
- 14 **Las mamografías, a debate**
El cribado del cáncer de mama mediante radiografía mamaria a las mujeres de mediana edad presenta un balance moderadamente beneficioso. Está demostrado que las mamografías ayudan a salvar vidas, pero muchas menos de lo que con frecuencia se piensa. El equilibrio entre sus ventajas y sus riesgos es complicado.

Mammography under debate. The X-ray screening of breast cancer among middle-aged women presents a moderately beneficial balance. It has been demonstrated that mammographies help to save lives, but to a much lesser extent than is often thought. Balancing the advantages and risks is complex.
- 21 **Partículas a la velocidad de la luz**
Desde restaurar las vidrieras de la catedral de Sevilla hasta datar incunables de biblioteca, comprobar la contaminación residual del accidente de Chernóbil o producir radiofármacos para pacientes de cáncer: estas son algunas de las aplicaciones de los equipos del Centro Nacional de Aceleradores, situado en Sevilla.

Particles at the speed of light. From restoring the stained glass windows of Seville cathedral to dating library incunabula, checking the residual contamination from the Chernobyl accident or producing radiopharmaceutical products for cancer patients; these are just a few of the applications developed by the teams of the National Accelerators Centre in Seville.
- 26 **Ciencia y tecnología españolas en el universo del átomo**
La Plataforma CEIDEN nació en 2007 para coordinar la investigación, el desarrollo y la innovación que se realiza en España dentro del ámbito de la fisión nuclear, tanto desde las empresas como desde universidades e instituciones públicas.

Spanish science and technology in the universe of the atom. The CEIDEN platform came about in 2007 to coordinate research, development and innovation in Spain in the field of nuclear fission, among companies, universities and public institutions.

32 ¡Detenido en nombre del planeta!

La preocupación por las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, especialmente el dióxido de carbono, y el cambio global que están provocando ha llevado a muchos países, entre ellos España, a desarrollar sistemas para atrapar este gas y almacenarlo en depósitos geológicos profundos.

Held in the name of the planet! Concerns regarding emissions to the atmosphere of greenhouse gases, especially carbon dioxide, and the global change that they are causing have led many countries, among them Spain, to attempt to develop systems to trap this gas and dispose of it in deep geological deposits.

RADIOGRAFÍA

38 El desmantelamiento de la central nuclear José Cabrera

Dismantling of José Cabrera nuclear power plant

ENTREVISTA

40 Tomás Díaz de la Rubia, subdirector del Lawrence Livermore National Laboratory: “Esperamos alcanzar ya las condiciones en las que se produzca la fusión nuclear”

Tomás Díaz de la Rubia, deputy director of the Lawrence Livermore National Laboratory: “Now we hope to reach the conditions under which we expect nuclear fusion to take place”.

ARTÍCULOS TÉCNICOS

46 La revisión inter pares (*peer review*) de las pruebas europeas de resistencia post-Fukushima

Tras la aprobación de los informes nacionales, realizados tras el accidente de Fukushima Daiichi, la Unión Europea decidió validarlos mediante el procedimiento cruzado de revisión inter pares, por el que grupos de expertos de diferentes países los analizaron in situ para dejar constancia de su rigor.

Peer review of the European post-Fukushima stress tests. Following the approval of the national reports, drawn up in the wake of the Fukushima Daiichi accident, the European Union decided to validate them by means of the peer review procedure, as a result of which groups of experts from different countries analysed them in situ in order to verify their accuracy.

56 Dificultades existentes en la medida de la actividad alfa total en muestras de agua

Las mediciones de actividad alfa presente en las aguas ofrecen con frecuencia una gran diversidad de resultados, debido tanto a variables naturales como de los procedimientos y técnicas de medición aplicadas. Un estudio realizado por tres laboratorios españoles aporta luz para resolver este problema.

Difficulties in the measurement of total alpha in water samples. Measurements of the alpha activity present in water frequently provide very variable results, due both to natural variables and to the measuring procedures and techniques applied. A study carried out by three Spanish laboratories sheds some light on ways to solve this problem.

60 PANORAMA

68 EL CSN INFORMA

71 WWW.CSN.ES

72 PUBLICACIONES

alFa

Revista de seguridad nuclear
y protección radiológica

Editada por el CSN

Número 18 / III trimestre 2012

Comité Editorial

- Presidenta:
Carmen Martínez Ten
- Vicepresidente:
Antonio Colino Martínez
- Vocales:
Purificación Gutiérrez López
Isabel Mellado Jiménez
David Redoli Morchón
- Asesor externo:
Manuel Toharia
- Coordinador externo:
Ignacio F. Bayo

Comité de Redacción

David Redoli Morchón
Concepción Muro de Zaro
Natalia Muñoz Martínez
Antonio Gea Malpica
Víctor Senderos Aguirre
Ignacio F. 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)

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

© Consejo de Seguridad Nuclear

Fotografía de portada

Depositphotos

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



› Óscar Menéndez,
periodista científico y director
de Explora Proyectos SL

Se cumple un siglo de la cristalografía de rayos X, una técnica que descifra la composición de la materia y permite prever su comportamiento.

La huella digital de los átomos y moléculas

En 2012 se celebra el centenario de uno de los hallazgos más importantes de la historia de la ciencia, la cristalografía de rayos X, una técnica que en la actualidad se emplea para descifrar la estructura y el comportamiento de diferentes materiales en ámbitos tan diversos como la bioquímica, la ciencia de los materiales o la informática. Su descubridor, Max von Laue, obtuvo el Premio Nobel de Física tan solo dos años después del hallazgo.

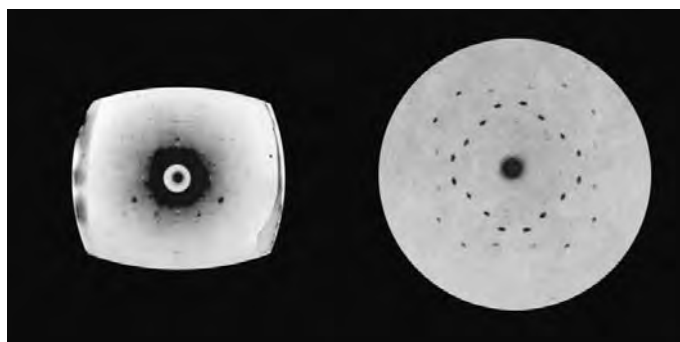
Cuando en 1912 Max von Laue descubrió la cristalografía, solo buscaba conocer la verdadera naturaleza de los rayos X. Su experimento permitió descubrir que estos se componían de luz no visible y, además, confirmó la permanentemente ordenada estructura de los cristales. Cien años después, esta técnica es imprescindible para conocer cómo es la materia, lo que implica saber cómo se va a comportar, y se utiliza en numerosos campos de la química y la biología, incluyendo el diseño de nuevos y más efectivos fármacos. Sin embargo, el físico alemán desconocía completamente la gran utilidad que de esta técnica se obtendría en el siglo posterior.

El contexto vital de Von Laue se sitúa en el turbulento comienzo del siglo XX, cuando la ciencia vivía una época revolucionaria gracias, entre otras cosas, al

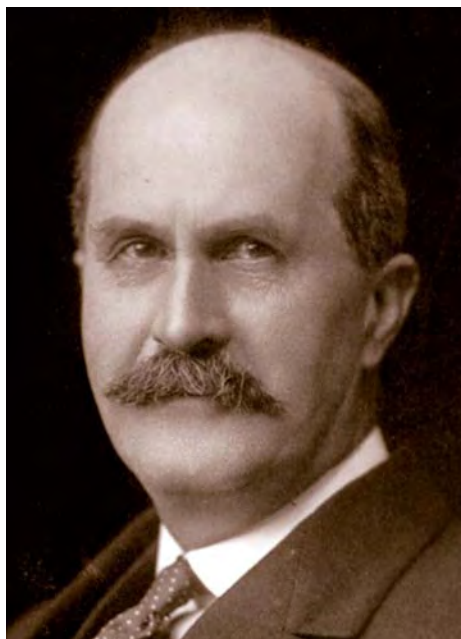
descubrimiento de los rayos X. En 1895 el físico prusiano Wilhelm Conrad Röntgen se había topado con unos misteriosos rayos capaces de atravesar objetos opacos como la madera o el cuerpo humano, dejando una huella fotográfica a su paso. Ya sabemos que el propio Röntgen, incapaz de descifrar la naturaleza de esta radiación, los denominó como 'rayos incógnita', o rayos X, porque entonces se desconocía si eran un tipo de luz no visible o un haz de partículas.

Max von Laue, otro prusiano apasionado por el conocimiento, había decidido analizar dichos rayos y estudiar su verdadera naturaleza. A él no le interesaba solo la investigación de la radiación, sino que sentía pasión por los cristales.

A comienzos del siglo XX la ciencia seguía sin saber qué era en realidad un cristal, un tipo de material que por mucho que se cortara o se modificara



Primeras imágenes obtenidas por Von Laue mediante cristalografía por difracción de rayos X.



Max von Laue, William Henry Bragg y William Lawrence Bragg, pioneros de la cristalografía.

mantenía una misma estructura, incluyendo el mismo ángulo en todas sus caras. Ya un siglo antes, el abad francés René Just Haüy había establecido la teoría reticular, que sugería que esas características se debían a que los materiales cristalinos estaban compuestos de unas mismas estructuras que se repetían tridimensionalmente de forma periódica. Pero lo cierto es que desde entonces no se había avanzado mucho en ese campo.

Una idea luminosa

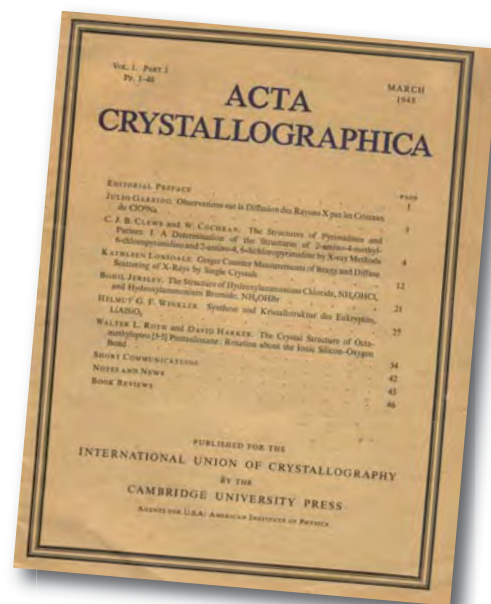
En la época de Von Laue, los científicos utilizaban la luz para estudiar los cristales a través de la difracción de sus rayos. A él, por tanto, se le ocurrió coger uno de los cristales de su laboratorio y hacer que un haz de rayos X pasara a través de él. Si estos rayos desconocidos producían la correspondiente difracción (con ese patrón único característico de los cristales) podríamos estar seguros de que nos encontrábamos ante un tipo de onda, y no ante un haz de partículas.

Max von Laue tenía en su laboratorio blenda, un mineral compuesto de sulfato de cobre, que pasó por la criba de los rayos X. Fue así como este mate-

rial pasó a la historia. “El experimento le permitió confirmar que la llamada radiación X es una radiación electromagnética, igual que la de la luz visible pero con una diferente longitud de onda que impide que sea vista por nuestros ojos”, explica Enrique Gutiérrez Puebla, investigador del Instituto de Ciencia de los Materiales del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). A partir de ese día de 1912 los rayos X dejaron, pues, de ser unos desconocidos.

Pero el descubrimiento de Von Laue no se quedó en esa grandeza. Al elegir una estructura cristalina para comprobar si los rayos X eran ondas electromagnéticas, obtuvo un hallazgo no menos importante. La placa impresa en el experimento permitió descubrir también la verdadera naturaleza de los cristales. “La impresión de sulfuro de zinc —dice Gutiérrez Puebla— confirmó que este mineral estaba compuesto de una serie de unidades pequeñas, perfectamente ordenadas, que daban lugar a una estructura tridimensional también periódicamente ordenada”. Confirmó, pues, de forma empírica, lo que los científicos intuían desde un siglo antes.

Eureka. En un solo experimento Max von Laue había matado dos pájaros de un tiro en dos ámbitos diferentes: dio con la física de los rayos X y también la química de los cristales, ya que su estructura es esencial para su comportamiento. Este hallazgo doble provocó que solo dos años después fuese premiado con el Premio Nobel de Física.



El rápido desarrollo de la disciplina dio pronto lugar a publicaciones específicas.

Un nuevo microscopio

El hallazgo de Von Laue fue el primero de una larga cadena de descubrimientos debidos a la cristalografía de rayos X. Uno de los más tempranos e importantes fue conseguido al año siguiente por William Henry Bragg y William Lawrence Bragg, padre e hijo, ambos físicos británicos. Su descubrimiento, la llamada ley Bragg, permitió encontrar el límite mínimo de la materia y la forma de llegar a verlo. Encontraron, podríamos decir, la llave para explicar la estructura de la molécula. A partir de ese momento, los químicos de todo el mundo supieron que la cristalografía de rayos X representaba un ‘microscopio’ en el que observar, como nunca antes había sido posible, la verdadera composición de la materia.

Lo que empezó, con Röntgen y Von Laue, como un experimento de pura ciencia básica se convirtió en una de las más interesantes formas de acercarse a la estructura de la materia. Y acercarse a la estructura de un compuesto determinado implica conocer cuál va a ser el comportamiento de dicho material. La estructura permite saber cómo se cataliza una reacción enzimática, cómo se reconoce un receptor molecular, cómo ejerce su actividad tóxica una determinada molécula... En química, estar implica ser.

“Muchas propiedades de las moléculas —explica Gutiérrez Puebla— vienen determinadas por su estructura. Por ejemplo, la dureza del diamante y su exfoliación, y su capacidad calorífica... Todo está explicado por su estructura, y si esta no se conociera, no se podría explicar. Ocurre lo mismo con el cemento y con otros muchos materiales”.

El problema original de la cristalografía consistía en que esta técnica solo servía para analizar estructuras cristalinas, ya que el fenómeno de la difracción solo se produce en ese tipo de estructuras ordenadas que son los cristales. “En el material biológico, el estado cristalizado no

Bajo control del CSN

Es difícil saber el número de equipos de cristalografía de rayos X que existen en España. Muchos de ellos se comercializan mediante lo que se denomina una ‘exención de uso’: son aparatos de muy escaso riesgo radiológico. De esta forma, algunas firmas tecnológicas, tan conocidas como Siemens, venden sus correspondientes modelos sin ningún tipo de necesidad de autorización de instalación radiactiva.

Los cálculos realizados para el XXII Congreso de la Unión Internacional de Cristalografía, que se celebró en Madrid el año pasado, mencionaban la cifra de 200 de estos aparatos. La cantidad real, sin embargo, puede ser bastante mayor. El Consejo de Seguridad Nuclear es responsable de la revisión de aquellos aparatos no exentos: “En nuestra base de datos —explica Sofía Suárez, jefa del Área de Instalaciones Radiactivas Industriales del CSN— figuran 115 equipos de difracción de rayos X distribuidos por 64 instalaciones radiactivas de investigación y docencia”.

Aquellos aparatos que no cuentan con la llamada ‘aprobación de tipo’ son periódicamente controlados por el Consejo. Por un lado, mediante controles anuales realizados por el propio CSN y, por otro, mediante los obligatorios informes que también con periodicidad anual tienen que realizar los propios responsables de las instalaciones. ▶

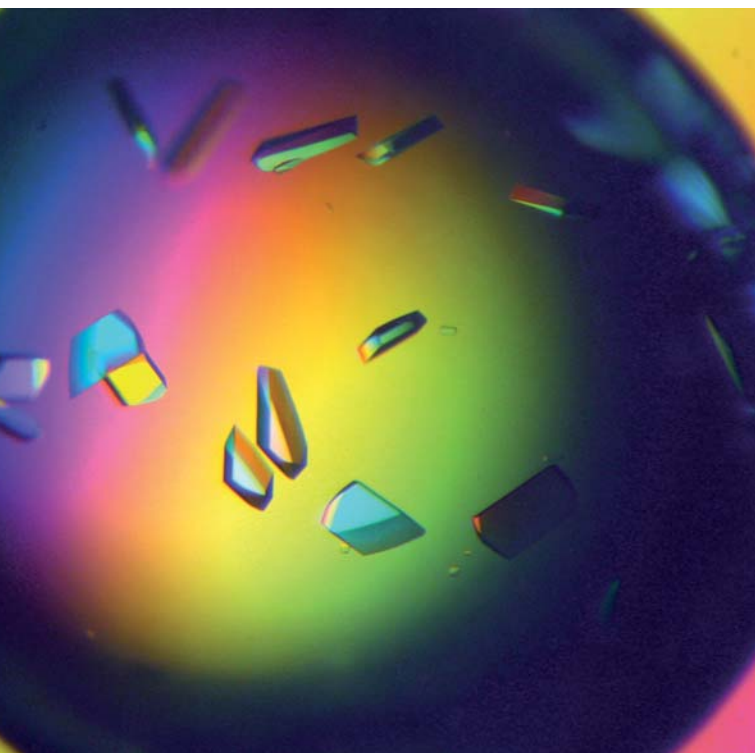
es el natural”, comenta Martín Martínez Ripoll, investigador del Instituto Rocasolano, del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). “La solución, para poder estudiarlo a través de la cristalización de rayos X, pasa por forzar ese estado cristalino. Y este fue durante

muchos años el gran cuello de botella de esta técnica”.

En la actualidad, sin embargo, el problema de la cristalización del material biológico está prácticamente resuelto. Lo explica Juan Hermoso, también investigador del Rocasolano: “En verdad no



Martín Martínez Ripoll.



existe ninguna fiabilidad de poder cristalizar, por ejemplo, una determinada proteína. Lo hacemos en base a una simple técnica de ensayo y error. Contamos con robots de cristalización que nos permiten utilizar diversos tipos de precipitantes, tampones, aditivos, detergentes... con los cuales esperamos obtener microcristales de la proteína. No sabemos cuánto tiempo puede tardar, hay algunas proteínas que cristalizan en unas horas, otras tardan semanas o meses y otras que no lo hacen nunca”.

Neumococos bajo la lupa

Juan Hermoso es un ejemplo de la riqueza e importancia de la cristalografía de rayos X. Su grupo trabaja en descifrar la estructura de determinadas proteínas de los agresivos neumococos. Si conocemos bien dicha estructura, sabremos también cómo trabajarla y, por tanto, seremos capaces de bloquearla. Los avances en este campo permitirán crear fármacos que eliminen la resistencia de estas letales bacterias.

Y si Juan Hermoso es un ejemplo de la diversificación de esta técnica, tam-

Arriba, cristales de una proteína modular de *S. Pneumoniae*. A la derecha, Enrique Gutiérrez Puebla.



bién lo es de los retos que representa la cristalografía y de la importancia de las grandes instalaciones científicas. A su equipo se le quedan pequeños los instrumentos de cristalografía presentes en el laboratorio. Los grandes aceleradores de partículas son capaces de modular a voluntad la longitud de onda de los rayos X y generarlos con un brillo de hasta un billón de veces superior al de los aparatos convencionales. Hermoso, por tanto, acude al sincrotrón de Grenoble, en Francia, con sus propias muestras que pueden ser allí analizadas.

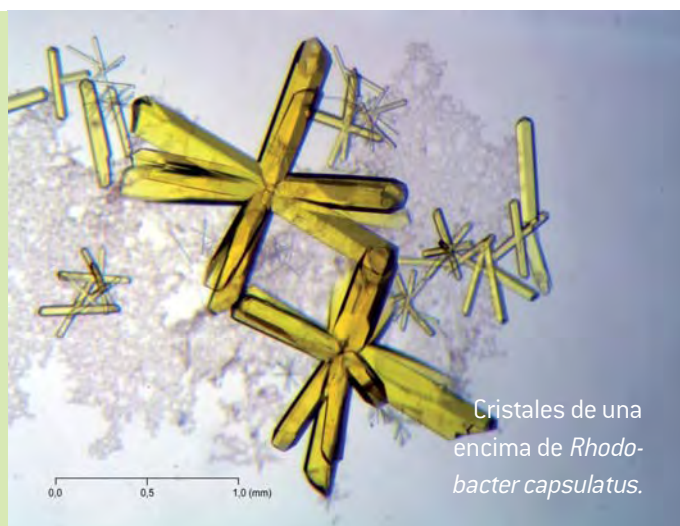
Curiosamente, y aunque estudia las proteínas de los neumococos, Juan Hermoso es físico. Trabaja codo con codo con Martín Martínez Ripoll, que es químico. Esa es la maravilla de una técnica como

la cristalografía de rayos X, que ha unido a los expertos en estructura de la materia con los especializados en la física de la difracción. Y estos investigadores físico-químicos necesitan además de los matemáticos para la realización de los cálculos de los cientos de miles de factores que intervienen en el resultado de cada punto de difracción.

El avance de la informática ha permitido que se simplifiquen todos estos complejos cálculos. Originalmente, los investigadores los realizaban a mano, mediante la utilización de las llamadas tiras de Beevers-Lipson, unos arcones de madera repletos de tiras de papel, cada una de las cuales contenía valores predeterminados de algunas funciones trigonométricas.

2014, Año Internacional de la Cristalografía

La Asamblea General de las Naciones Unidas ha dictado, el pasado 15 de junio, una resolución por la que en 2014 se celebrará el Año Internacional de la Cristalografía, en coincidencia con el centenario del premio Nobel a Max von Laue en 1914. Todavía no se ha especificado de qué manera se va a celebrar este Año Internacional, aunque la Unión Internacional de Cristalografía ya ha comenzado a planificar las actividades de cada uno de sus socios nacionales. Se pueden seguir sus avances en la web <http://www.iucr.org/iycr>



Juan Hermoso Domínguez.

Ripoll utilizaba dichas cajas en la década de los 50, y vio como un maravilloso avance la implantación en los años 60 de las primeras máquinas de computación con fichas perforadas. En la actualidad, utiliza su ordenador personal, y tanto él como Juan Hermoso disponen de técnicas de visualización en 3D que les permiten un análisis más intuitivo de las partículas que estudian.

España es uno de los países del mundo donde antes y mejor se estudió la importancia de la cristalografía de rayos X. Ya en 1923, el cristalógrafo Francisco Pardillo informaba de los descubrimientos de Bragg en el *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*. El primer número de la revista *Acta Crystallographica*, publicado por la Unión Internacional de Cristalografía en 1948, incluye como artículo más destacado uno del español Julio Garrido, precisamente referente a la cristalografía de rayos X.

Aluvión de premios Nobel

Apenas dos años después del hallazgo de la cristalografía por difracción de rayos X, Max von Laue recibía el mayor reconocimiento que puede recibir un científico, el Premio Nobel de Física. Y al año siguiente, en 1915, lo recibieron William Henry Bragg y William Lawrence Bragg, padre e hijo respectivamente.

La importancia de esta tecnología centenaria y sus aplicaciones ha permitido que se hayan concedido numerosos premios Nobel a diversas investigaciones relacionadas con la misma, tanto aquellas que la han utilizado para la obtención de sus conclusiones (como el descubrimiento de la estructura del ADN en 1953) como para aquellos estudios que

han contribuido a mejorar este sistema de radiografía de la materia. La doble hélice con la que James Watson y Francis Crick revolucionaron la biología fue descubierta gracias a las imágenes obtenidas por cristalografía de rayos X por Rosalind Franklin y Maurice Wilkins. Watson, Crick y Wilkins (Franklin había fallecido) recibieron el preciado galardón en 1962.

En total, hasta 26 premios Nobel están relacionados con esta técnica, incluyendo el concedido a Linus Pauling en 1954 por su teoría del enlace químico, el de Dorothy Hodgkin de 1964, por la vitamina B12, o el más reciente de 2011 a Dan Shechtman por el descubrimiento de los cuasicristales.

En la actualidad, los investigadores utilizan la cristalografía de rayos X en prácticamente todas sus disciplinas, desde la propia ciencia de los materiales hasta la mineralogía y prácticamente toda la química, pasando por supuesto, como hemos visto, por la biología. Si necesitamos saber la estructura de un suelo, buscamos la difracción de los materiales, y lo hacemos cuando analizamos la pureza de una sustancia estupefaciente o estudiamos los restos del zapato de un presunto delincuente. La ciencia pura de Max von Laue ha permitido, un siglo después, toda una miríada de aplicaciones. ©

REPORTAJE



› **Mario Tascón,**
experto en Internet.
Socio director
de Prodigioso Volcán

Las redes sociales han transformado radicalmente la comunicación

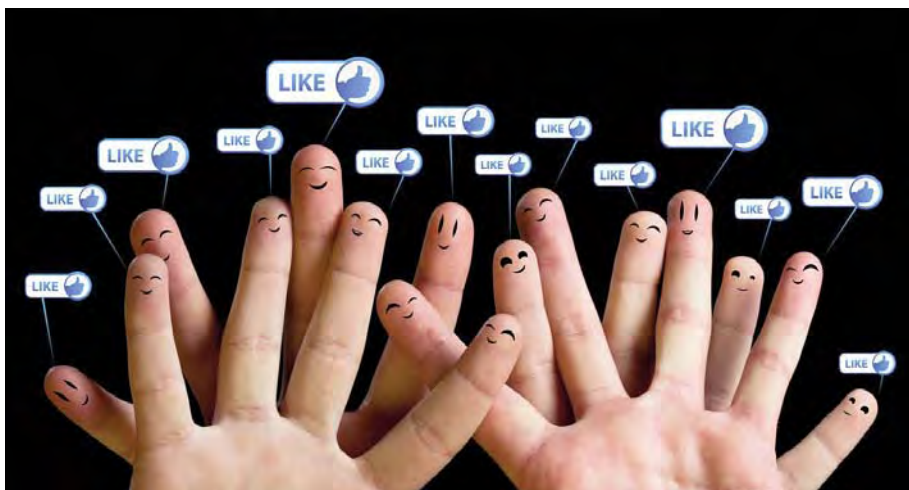
La evolución de la tela de araña

El ecosistema clásico de la comunicación ha saltado por los aires hace ya tiempo pero los cambios continúan a una velocidad nunca vista hasta ahora. La revolución, cuyas consecuencias evolucionan de manera imprevisible, se ha producido por la aparición de las tecnologías que permiten la comunicación instantánea y del creciente uso de las redes sociales, que forman una tela de araña en la que todo está cada vez más interconectado y en continua transformación. Quizás este cambio de paradigma es el que esté haciendo que no solo sea la crisis la que está afectando al negocio de los medios de comunicación y, por extensión, a las direcciones de comunicación de empresas, gobiernos e instituciones.

El esquema tradicional de la comunicación: emisor → mensaje → receptor, luce ahora como si procediera de un sencillo juego infantil en una época en la que ha cambiado desde la definición de los roles de cada uno de esos actores, a la propia definición y manera de concebirse los mensajes. El emisor ya no es únicamente una corporación con medios de comunicación en su interior, o un medio independiente. Ahora somos emisores usted y yo pero incluso el comienzo de ese proceso es más enrevesado. Las fuentes convencionales que quieren llegar a la información pública han descubierto que pueden hacerlo sin

intermediación, sin traducción. No consideran ya tan necesarios a los periodistas ni a los medios convencionales, porque pueden hacer llegar sus mensajes directamente a sus clientes, accionistas y, en general, a su público.

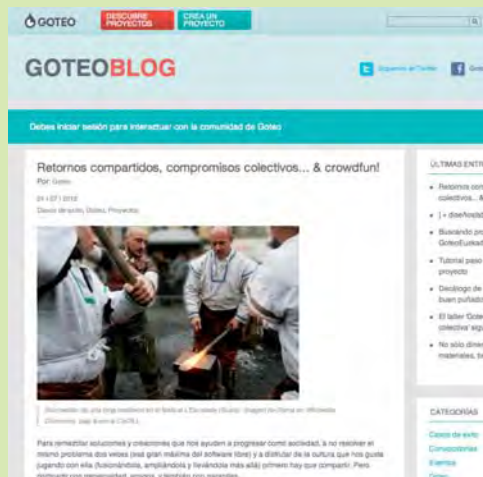
No hay partido político en el mundo ni gran corporación que no haya modificado su estructura de comunicación y marca y sus departamentos de prensa. En todos ellos hay ahora especialistas en redes sociales e Internet y proliferan compañías que venden servicios, fuerza laboral y *software* relacionado con este nuevo entorno. Las compañías gastan muchos millones de euros en monitorizar lo



Las redes sociales forman una malla cada vez más densa.

El capital-riego

Los nuevos sistemas de activismo social incluyen también fórmulas de financiación como lo han demostrado en la reciente recaudación, en apenas unas pocas horas, de 15.000 euros para poder presentar una querrela contra Rodrigo Rato, expresidente de Bankia, el mayor banco español intervenido. Los impulsores de la iniciativa pudieron conseguir esa cantidad en un tiempo récord gracias a la herramienta *online* de *goteo.org* que permite la recogida colectiva de fondos. Esta entidad se define a sí misma como “una red social de financiación colectiva (aportaciones monetarias) y colaboración distribuida (servicios, infraestructuras, microtarefas y otros recursos) desde la que impulsar el desarrollo autónomo de iniciativas, creativas e innovadoras, que contribuyan al desarrollo del pro común, el conocimiento libre y el código abierto. Una plataforma para la inversión de *capital riego* en proyectos cuyos fines sean de carácter social, cultural, científico, educativo, tecnológico o ecológico, que generen nuevas oportunidades para la mejora constante de la sociedad y el enriquecimiento de los bienes y recursos comunes”. ¿Capital riego o capital riesgo? Dicho de forma sencilla, *goteo* es un sistema que permite a la colectividad participar en proyectos de financiación colectiva. Así, si el activismo social ha conseguido encontrar la manera de financiarse, el nuevo círculo de la protesta está completo.



Página web de *goteo.org*.

que la gente dice y piensa, analizar esos datos, almacenarlos, compartarlos y, por supuesto utilizar herramientas cada vez más sofisticadas para visualizarlos y entenderlos, encontrando patrones que les ayuden a actuar. La labor de la comunicación actual empieza (como siempre) por la prevención pero la cantidad de datos accesibles y el hecho de una erupción de datos públicos en todo el planeta han cambiado las reglas del juego. Las redes sociales son indisolubles del nuevo negocio denominado *Big Data*. Pero la información no basta, porque la cantidad de datos disponibles es tan grande

que si no podemos procesarla no sirve de nada.

Pero si la parte del emisor se está modificando no es menos importante la diferenciación en los mensajes. Ahora las propias formas son bien distintas a las que hemos conocido en el final del siglo XX; y el contenido también ha cambiado. Recordemos lo más obvio: ahora tenemos la posibilidad de hacer circular mensajes multimedia en los que podemos incluir vídeo y audio, abrir la puerta a las interacciones y escaparnos del texto plano que durante tanto tiempo era el formato más universal y casi obligatorio.

La simplicidad del texto y su bajo coste de producción, no lo olvidemos, lo siguen haciendo básico y necesario, pero una vez que una compañía, un grupo de interés o un gobierno comienzan a comunicar en este siglo pueden hacerlo disparando con toda la artillería pesada: los formatos audiovisuales.

La multiplicidad de canales y dispositivos que están al alcance de los individuos de la sociedad del siglo XXI hace que todavía sea más importante una buena elección de esos formatos. ¿De qué forma puede entender mejor mis datos el público al que me dirijo? ¿Cuál es la mejor manera que tengo de poder actuar sobre la audiencia (las audiencias en realidad) para que perciban y asimilen el mensaje que quiero enviarles?

No existe solo un asunto de públicos diferentes, porque el público y su manera de consumir ya no es homogénea. A un individuo podemos llegar ya de una forma multidistribuida, es decir, a través de varios canales. Nos acercamos a las personas si somos emisores por Internet, por los diarios, por sms o por Twitter. Y, a la vez, ellas esperan encontrarnos por cualquier ventana por la que se asomen al mundo digital. Las marcas (las empresas, los partidos, incluso las propias personas) son percibidas como un centro al que se puede acceder de muchas formas. No encontrar hoy a una marca, un servicio en algún canal de comunicación en el que se le espera, en el que se cree que ha de estar (la web por ejemplo, o alguna red social) no solo produce frustración en los usuarios sino también deteriora la reputación. Un ministerio, sindicato, grupo que no tenga representación y voz en estos nuevos entornos es percibido como antiguo, fuera de los tiempos y poco eficaz.

El propio esquema de comunicación clásico mencionado antes ha reventado también en lo tocante a la distribución de información. Antes el mensaje llega-



Marc Zuckerberg, creador de Facebook.

ba a los receptores y allí se quedaba, o, en cualquier caso, tardaba tiempo en permear el tejido social. Ahora esos procesos tardan segundos, porque los propios receptores son a la vez emisores y, además, añaden credibilidad a los mensajes que retransmiten. Es un mecanismo parecido al del relé eléctrico, ya que no solo se transmite la señal sino que la amplifica. Así un mensaje cuando llega a una persona puede ser *disparado* a mayor velocidad e incluso con mayor potencia al añadirle este individuo su marca, su credibilidad. Ya no son únicamente las marcas convencionales las que añaden un determinado color o *envoltorio* a las informaciones que transportan; ahora también los individuos lo hacen.

Cuando una noticia nos llega por una red social no es tan importante la fuente de la misma como el grado de fiabilidad y confianza que otorgamos al emisor, al retransmisor, a ese amigo, familiar o experto al que vemos *tuítear* o publicar en su muro una determinada noticia. Antes, esa labor de crédito pertenecía en exclusiva a las marcas, ahora regresa al conjunto de individuos que operan en la Red.

Público/ privado

Hay mucha comunicación que hasta hace poco era privada y que se hace en la actualidad de forma pública. De los mensajes de correo o sms estamos pasando a la comunicación en Twitter y Facebook, donde muchos pueden ver sin restricciones lo que se cuentan unos pocos. Hay conversaciones, incluso algunas con un sorprendente grado de intimidad, que se realizan en público.

De ahí muchos casos recientes en los que algún famoso ha sido atropellado (virtualmente) por una horda de detractores por decir lo que no se debe decir en público, y seguramente tampoco en privado. Los comentarios desacertados, incorrectos, con faltas de ortografía y, por supuesto, los racistas, machistas y similares tienen alta contestación en las redes sociales.

Se dan verdaderos “linchamientos” públicos que aterrorizan a los comunicadores tradicionales, sean jefes de prensa, managers de músicos o portavoces. Nadie quiere verse sometido a un *raid* social, una incursión en la que en muy poco tiempo, generalmente apenas unas horas, una persona o institución son objeto de

un ataque de cientos, miles de personas, con el objetivo de golpear rápido, en este caso en la reputación, en el prestigio. Así ha sido en casos ya famosos, como cuando David Bisbal afirmó en un *tuit*: “Nunca se han visto las pirámides de Egipto tan poco transitadas, ojalá se acabe pronto la revuelta”. No sabremos nunca si, como clamaba el músico luego, era un simple deseo de que las cosas fueran a mejor en Egipto expresado en forma poco afortunada. Miles de *tuiteros* hicieron un tremendo escarnio con afirmaciones y bromas al respecto, creando una etiqueta (un sistema para localizar con más facilidad los *tuits* referentes a un determinado asunto) denominada, no sin sorna, *#turismoBisbal* en la que, valgan de ejemplo, se podían encontrar *tuits* como los siguientes:

@onaf9: “En Londres la educación es mejor que aquí, todos los niños hablan inglés desde pequeños *#turismoBisbal*”.

@moedetriana: “Quisiera ver a las vaquitas y a las gallinitas de la granja de Gaza *#turismoBisbal*”.

Desde luego los disparos dialécticos se hacían con rifles de precisión presentando a nuestra estrella internacional como alguien inculto y poco sensible.

La forma que adquieren estas manifestaciones en Facebook es algo diferente, ya que esa red social resulta algo más privada, aunque solo sea porque para poder recibir información sobre una persona esta ha de haberte admitido antes como “amigo”. En la red fundada por Mark Zuckerberg la agitación social suele ser más visible en la formación de grupos que apoyan, critican o alaban una causa. Se suele intentar medir el impacto por el número de *fans* que alcanza una causa y aunque aquí la gente también suele opinar, el tipo de sistema de foros que hay en Facebook lleva a otro tipo diferente de activismo social.



Las redes sociales fueron un elemento clave en la campaña de Barack Obama.

Redes para actuar

Los sistemas de movilización ciudadana en Facebook han sido estudiados ampliamente con motivo del éxito de la primera campaña del entonces candidato a

la presidencia de Estados Unidos, Barak Obama. La utilización que sus equipos hicieron en aquel momento de las nuevas tecnologías ha sido ampliamente copiada por todos los partidos del mundo, de

manera independiente de su ideología. Aquí lo han imitado sobre todo el PSOE pero incluso aún más el PP antes de acceder al poder. La resonancia global que tuvo el triunfo de Obama, y una cierta sensación de que por primera vez las redes sociales habían influido en el mismo, hicieron que todos los focos de la atención sobre las nuevas formas de hacer campañas electorales se volvieran hacia el Partido Demócrata y sus vanguardistas formas de movilizar a su electorado. Nadie se acuerda ya mucho de ello, pero lo que se hizo en Facebook (Twitter apenas era un experimento) en aquel momento de la campaña consiguió, a través de una red social privada de seguidores, dinero para financiar la llegada a la Casa Blanca del presidente. En este caso, como en algunos otros, la experiencia parece indicar, aunque ha sido aún poco estudiado, que las redes sociales son algo asimétricas y funcionan mejor desde la oposición que desde el gobierno.

De los sistemas mencionados anteriormente se ha ido mucho más allá con mecanismos semejantes a los que en España desplegó la web Actuable, adquirida luego por la estadounidense www.change.org y desde la que la gente

Las nuevas tecnologías nos permiten estar conectados en cualquier momento y en cualquier lugar.



puede poner en marcha todo tipo de iniciativas ciudadanas, muchas de las cuales ya han tenido bastante repercusión pidiendo apoyos.

El caso del periodista Pablo Herreros es digno de reseñar por su repercusión mediática. Pablo puso en marcha una petición para que los anunciantes dejaran de insertar publicidad en el programa “La Noria”, de la cadena española Tele 5, tras la emisión de una entrevista a la madre de uno de los implicados por la muerte y desaparición de Marta del Castillo. Miles de personas mostraron su apoyo a la petición de Pablo y se unieron en estas plataformas ciudadanas (además de utilizar Facebook, los *blogs* y Twitter). Apenas unos días después, en un hecho sin precedentes, compañías como Campofrío, Bayer, Puleva, President, Nestlé, Panrico y Donuts decidieron no volver a anunciarse en ese programa, creando una de las mayores crisis de la publicidad en la programación en una televisión de Europa. Los intentos de Tele 5 fueron vanos y el programa terminó por cerrarse al no tener ningún soporte publicitario. ¿El poder de las redes? parece que al menos es la capacidad de las nuevas herramientas.

La velocidad

A lo largo de los diferentes ejemplos que hemos ido desgranando queda claro que una de las características de la comunicación en los tiempos de las redes sociales es la velocidad a la que se produce. *Raids* en Twitter, recogida de miles de euros en apenas unas horas, convocatorias de manifestaciones, incluso en la calle, en cuestión de apenas unas horas... todo tiene que ver con la alta velocidad a la que se producen todos estos episodios. Y la velocidad tiene que ver con la nueva topología de la comunicación. Se acabó, ya lo he dicho, el canal unidireccional, e incluso el bidireccional, entre emisor y receptor. Ahora la comunicación tiene forma de telaraña, de red en fin,

El Consejo en las redes

Más allá de las páginas web corporativas, que se presentan como la primera ventana abierta al gran público, las redes sociales se extienden exponencialmente como una herramienta para obtener información y comunicarse, dado que permiten una bidireccionalidad hasta ahora inexistente, y son el elemento más rápido y directo. En el caso del Consejo de Seguridad Nuclear, esa bidireccionalidad antes mencionada se palpa de forma más evidente en el uso de la red social Twitter, a la que el regulador se incorporó el año pasado con la cuenta @CSN_es, con la que traslada a la red de *microblogging* por excelencia todos aquellos asuntos de especial relevancia en su misión.

El ciudadano puede contactar directamente con el organismo, preguntar dudas, pedir documentación o hacer críticas. El caso probablemente más representativo para el Consejo, sucedió durante el incendio ocurrido en Valencia este verano, cuando, tras las preguntas de varios usuarios acerca de la situación de la central nuclear de Cofrentes con respecto al fuego, se pudo calmar la sobredimensionada alarma social y desmentir una situación de emergencia a través de 140 caracteres. ▶

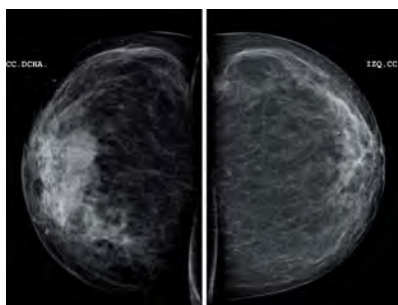
María del Vigo [Prensa-CSN]



Presentación del Consejo de Seguridad Nuclear en la red social Twitter.

como el ecosistema en el que se desarrolla. Es esa disposición también lo que está dotando a la comunicación de características impensables hace poco tiempo. Y precisamente la velocidad que puede conseguirse es una de las cuestiones que más aterra a los responsables de comunicación, incluso a los periodistas de medios, porque al no haber tiempos muertos, espacios de reflexión, incluso de des-

canso, los efectos de la (buena y mala) transmisión de información son más imprevisibles que nunca. Ya no hay ciclos *naturales*: la prensa ya no es diaria ni la radio horaria. Todo es un flujo constante en el que parafraseando a Heráclito no somos capaces de ver dos veces el mismo *tuit* en nuestra pantalla. Ir conociendo las redes sociales y su funcionamiento nos hará convivir mejor con el nuevo caos. ©



› **Gonzalo Casino,**
médico y periodista científico

El difícil equilibrio entre sus ventajas y sus riesgos

Las mamografías, a debate

El cribado del cáncer de mama mediante radiografía mamaria a las mujeres de mediana edad presenta un balance moderadamente beneficioso. Está demostrado que las mamografías ayudan a salvar vidas, pero los datos acumulados muestran que bastantes menos de lo que muchos clínicos y mujeres pueden creer. La comunidad médica es cada vez más consciente de que este método de detección del cáncer de mama puede también ocasionar perjuicios a las mujeres que participan en los programas de detección y que se ha sobrevalorado su beneficio.

Muchas de las mujeres de mediana edad de los países avanzados ya están familiarizadas con la rutina de someterse periódicamente a una mamografía. Esta exploración radiológica de los senos tiene un objetivo claro: detectar un cáncer de mama. Cada año se hacen millones de mamografías y se detectan así muchos tumores malignos. El beneficio de esta exploración parece claro: hacer un diagnóstico precoz de un cáncer y reducir así la mortalidad.

La máxima de la sabiduría popular “más vale prevenir que curar” está profundamente instalada en la cultura médica. Intuitivamente, todo rueda a favor de la realización de mamografías. Por eso, en los países occidentales existen desde hace décadas programas de *screening* (cribado) o detección sistemática del cáncer de mama mediante esta tecnología. Las autoridades sanitarias, los médicos, los medios de comunicación, las supervivientes de un cán-



Lisa Schwartz (izquierda) y Steven Woloshin.



La mamografía ha conseguido reducir la mortalidad por cáncer de mama, pero no está exenta de riesgos.

cer de mama, prácticamente todo el mundo ha estado a favor de las mamografías desde que empezaron a utilizarse en la década de 1960. No podía haber causa más noble, y oponerse a ella parecía contradecir la lógica científica y bordeaba incluso lo inmoral.

La mamografía no es la panacea

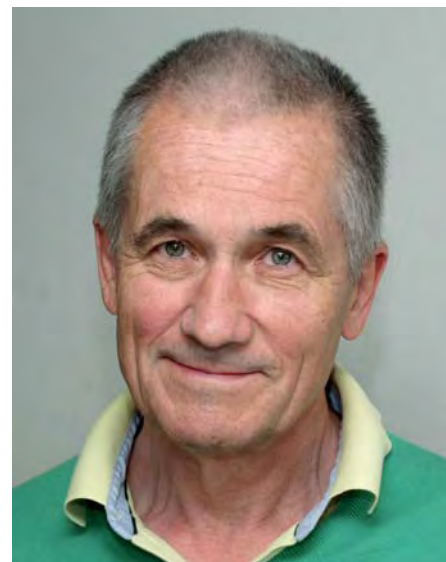
Sin embargo, los ensayos clínicos realizados en las últimas décadas no acaban de confirmar el gran beneficio atribuido al cribado del cáncer de mama mediante este tipo de exploraciones. Cada vez hay más pruebas que indican que la mamografía reduce solo moderadamente la tasa de mortalidad por cáncer de mama y que la realización de programas de cribado no está tan justificada como se creía.

Los números son tozudos y ha sido la tozudez de un investigador danés,

Peter Gøtzsche, la que durante más de una década ha ayudado a fomentar el debate médico y científico sacando a la luz los datos globales de los ensayos clínicos que cuestionan los enormes beneficios atribuidos a esta técnica. La población en general y muchos médicos sobrevaloran el beneficio que producen por “la propaganda irresponsable de los directivos de los programas nacionales de cribado”, afirma Gøtzsche, director del Nordic Cochrane Center.

Los programas públicos a favor del cribado del cáncer de mama mediante mamografía siguen vigentes. La razón es bien simple: “No tenemos ninguna otra prueba que haya demostrado una reducción en la mortalidad por cáncer de mama”, sostiene Lisa M. Schwartz, médico internista, profesora en la Facultad de Medicina de Dartmouth (EE UU) y

una de las grandes expertas en el análisis de los beneficios y perjuicios del cribado con mamografías. “La mamografía al menos ha demostrado que reduce



Peter Gøtzsche.

la mortalidad, a diferencia de las tecnologías más nuevas”.

Pero los nuevos datos y las numerosas voces críticas han hecho mella en el entusiasmo universal a favor de esta técnica de diagnóstico precoz. Incluso en Estados Unidos, la meca de la medicina privada y de los chequeos, el grupo de trabajo de medicina preventiva (U.S. Preventive Services Task Force o USPSTF) eliminó en 2009 la recomendación de que las mujeres de 40-49 años se hicieran una mamografía y propuso empezar el cribado a los 50 años, en línea con las recomendaciones europeas.

¿Qué es un *screening*?

El *screening* o cribado es una intervención médica especial. A diferencia de la mayoría de las actividades sanitarias, los pacientes no acuden al médico para solucionar un problema específico. Lo característico de un programa de cribado es que se invita a las personas sanas a someterse a una prueba preventiva cuyo objetivo es detectar enfermedades antes de que den síntomas y poder ofrecer así un tratamiento más eficaz y menos invasivo.

Un cribado consiste en examinar a una población con el fin de detectar una enfermedad o a un grupo de personas con riesgo elevado de desarrollar dicha enfermedad. En muchos países, a las mujeres de 50 a 69 años se les invita a acudir a un centro sanitario para hacerse una mamografía, generalmente cada dos años. El objetivo de estas campañas es detectar un cáncer de mama con el fin de ofrecer un tratamiento precoz y reducir la mortalidad por esta causa.

Primeras campañas

En la década de 1970 empezaron los primeros programas de detección de este tipo de cáncer, que es el de mayor prevalencia en las mujeres. En 1973, apoyándose en los datos favorables de un ensayo clínico con 62.000 mujeres iniciado en

Desconocimiento público

De cada 1.000 mujeres que participan en programas de cribado mediante mamografías periódicas solo una, en el mejor de los casos, se librará de morir por cáncer de mama (los datos de la revisión Cochrane indican 1 de cada 2.000). Pero la percepción del beneficio del cribado que tienen las mujeres que participan en estos programas no tiene nada que ver con la realidad, según un estudio realizado en nueve países europeos, entre ellos España, publicado en el número del 17 de septiembre de 2009 del *Journal of the National Cancer Institute (JNCI)*, y realizado por el equipo de Gerd Gigerenzer.

El 92% de las mujeres de estos nueve países europeos desconoce o sobrevalora, por al menos un orden de magnitud, el efecto de las mamografías en la reducción de muertes por cáncer de mama, según este estudio. Demasiadas mujeres creen que el cribado del cáncer de mama salva muchas más vidas de las que realmente salva. Solo el 1,5% (con un rango del 0,8% al 2,9% entre los diferentes países) ofrece la respuesta correcta entre seis opciones (0, 1, 10, 50, 100 y 200 de cada 1.000).

Casi la mitad de las españolas no supo ofrecer una respuesta, el 15,5% creía que la cifra era de 200 vidas; el 11,3 dijo que 100, el 11,7 respondió que 50, el 6,9% que 10 y el 3,9 que ninguna. La respuesta correcta la dio solo el 2,7% restante. En los demás países las respuestas también sobrevaloraban los beneficios del cribado, siendo las mujeres rusas las que menos lo hicieron.

El mensaje de que la mamografía salva vidas parece estar tan arraigado que la consulta frecuente de fuentes de información médica no se asocia con un conocimiento más realista de los beneficios del *screening*, según se desprende del mismo estudio. Por el contrario, la consulta habitual de fuentes médicas “se asocia más a menudo con una sobreestimación” del beneficio, escriben los autores. ▶

1962, el Instituto Nacional del Cáncer y la American Cancer Society de Estados Unidos lanzaron un programa nacional de cribado mediante mamografía con la idea de invitar a los médicos y a las mujeres a participar activamente en él.

Aunque no había pruebas científicas que mostraran alguna reducción de la mortalidad en las mujeres menores de 50 años, y hasta entonces se consideraba el cáncer de mama como una enfermedad de la vejez e incluso se sospechaba que la radiación recibida podría favorecer la aparición de tumores, se mantuvo el criterio de recomendar esta prueba a todas las mujeres mayores de 35 años.

El programa de cribado estadounidense no gozó en un principio de gran entusiasmo, pero todo cambió con el

anuncio en 1974 de que Betty Ford, la mujer del que sería presidente de Estados Unidos, Henry Ford, se había sometido a una mastectomía por cáncer de mama unas semanas antes de convertirse en primera dama. Por si fuera poco, coincidió que Happy Rockefeller, la mujer del vicepresidente Nelson Rockefeller, también había sufrido una mastectomía por la misma causa dos semanas después que Betty Ford.

El impacto que causó el que las mujeres del presidente y vicepresidente de Estados Unidos hubieran sido diagnosticadas y operadas de cáncer de mamá dio un notable impulso al programa de cribado nacional. Un total de 280.000 mujeres participaron en él entre 1973 y 1978, en casi una treintena de centros sanitarios.



Autobús para facilitar la realización de pruebas diagnósticas.



Equipo para la realización de mamografías.

Suecia fue el país pionero en Europa en la introducción de programas de detección del cáncer de mama mediante este sistema, a finales de la década de 1970. El lanzamiento del programa *Europa contra el cáncer* de la Unión Europea en 1987 significó un notable impulso y la generalización de las campañas de cribado, así como un mayor control de calidad y homogeneidad en la realización de los exámenes radiológicos. En 1988, Inglaterra lanzó el primer programa

de *screening* en el que se invitó a participar a más de 110.000 mujeres de 50 a 64 años.

El caso español

En España, los programas de detección precoz del cáncer de mama se iniciaron en 1990. Actualmente, todas las comunidades autónomas ofrecen este tipo de cribado, con una cobertura superior al 90% de la población objetivo del *screening*. Navarra fue la pionera en 1990;

después vino Asturias en 1991; le siguieron en 1992 Galicia, Castilla y León, Castilla-La Mancha, Comunidad Valenciana y Cataluña; en 1993 se sumó La Rioja; en 1994 Murcia; en 1995 Andalucía; en 1997 Aragón; en 1998 Extremadura, y en 1999 Madrid, según datos de la Red de Programas de Cribado de Cáncer, constituida por los responsables de las diferentes comunidades autónomas.

Navarra, Castilla y León, La Rioja, Castilla-La Mancha, Comunidad Valenciana y Ceuta son las únicas regiones en las que la campaña de detección precoz se adelanta hasta los 45 años; en las restantes comunidades autónomas se inicia a los 50. En todas las comunidades, el cribado sistemático se extiende hasta los 69 años, excepto en Aragón, donde la última prueba con carácter generalizado se hace a los 64 años.

Los datos de los ensayo clínicos

Con estos programas masivos de detección del cáncer de mama, los diagnósticos se han disparado en todo el mundo. Desde un principio se ha venido proclamando que tenían un efecto muy beneficioso sobre la disminución de la mortalidad por cáncer de mama. El primer ensayo clínico, iniciado en 1963 con 63.000 mujeres sin síntomas, el New York Health Insurance Plan (HIP), concluyó que tras un seguimiento de 10 años las mamografías realizadas en mujeres mayores de 50 años reducían un 30% las muertes por cáncer de mama, aunque no se mostró reducción alguna en la mortalidad de las mujeres de 40 a 49 años.

El dictamen sobre el beneficio del cribado solo puede venir de los ensayos clínicos, que es el método de investigación más solvente para despejar cualquier duda médica (¿cuál es el beneficio del cribado en términos de mortalidad?, sería la pregunta en este caso). En las últimas décadas ya han participado más de 600.000 mujeres sanas en ensayos clí-



Javier Cortés Castán.

nicos, la mitad de los cuales se han realizado en Suecia. Una primera revisión de los ensayos suecos, realizada en 1993, indicaba que el cribado reduce el 29% la mortalidad por este tipo de cáncer. Una posterior revisión de los ensayos suecos, publicada en 2002 en la revista *The Lancet*, encontró una reducción de la mortalidad por cáncer del 20%, según un método de cálculo, y del 15%, según otro.

En la evaluación de los ensayos clínicos realizada por esas fechas por investigadores independientes del U.S. Preventive Services Task Force y publicada en la revista *Annals of Internal Medicine* en 2002, los autores concluyeron que la reducción del riesgo era del 16%.

Finalmente, la revisión sistemática de todos los ensayos clínicos realizada por la Colaboración Cochrane en 2009 (probablemente la prueba de mayor peso científico) concluye que la reducción de la mortalidad en los ensayos clínicos de mayor calidad metodológica es del 10%, mientras que en la que se desprende del análisis de los ensayos clínicos menos rigurosos es del 25%. Como los estudios de menor calidad tienden a sobreestimar el efecto que miden, esta revisión estima que la reducción de la mortalidad debe de estar en torno a un 15%.

Un siglo de radiografías mamarias

La mamografía es una técnica radiológica que utiliza rayos X de más baja energía (normalmente unos 30 kVp) que los empleados para visualizar huesos por ejemplo. Se emplea para diagnosticar patologías radiológicamente visibles, en particular el cáncer de mama.

Las primeras mamografías se remontan a 1913, cuando el cirujano berlinés Albert Salomon (1883–1976) realizó estudios histológicos y radiológicos de unas 3.000 mastectomías. Este trabajo pionero, en el que Salomon observó las características microcalcificaciones en el tejido mamario, se considera la base de este sistema diagnóstico. Asimismo, estableció las primeras pautas para distinguir las imágenes radiológicas de un tumor canceroso de las de un tumor no canceroso e incluso para advertir que existen diferentes tipos de cáncer de mama.

En 1940, el radiólogo uruguayo Raúl Leborgne planteó la necesidad de comprimir la mama para una exploración radiológica más precisa. En 1949 desarrolló su técnica de compresión, que fue publicada en 1951 y mejoró sustancialmente la calidad de las imágenes y las posibilidades diagnósticas. En 1956, el radiólogo estadounidense Robert Egan desarrolló en Houston una película especial para mamografías que permitía obtener mejores imágenes. El primer mamógrafo, antecesor de los que se utilizan actualmente, se desarrolló en 1966.

En la década de 1970, cuando empezaron los primeros programas de cribado y los primeros ensayos clínicos, la mamografía era ya considerada como la exploración estándar para la detección del cáncer de mama. Por esas fechas empezó a cundir la preocupación sobre los posibles riesgos de unas dosis de radiación innecesariamente elevadas. De hecho, los primeros mamógrafos utilizaban una dosis mucho mayor que la que emplean los aparatos más modernos. Las nuevas tecnologías están consiguiendo reducir cada día más las dosis de radiación a la vez que permiten detectar tumores más pequeños y en fases de desarrollo más tempranas.

Valores relativos y absolutos

De todas formas, ¿qué significa exactamente una reducción de la mortalidad del 30% o del 15%? Aunque la reducción del 29% encontrada en la revisión de los ensayos suecos de 1993 parece un gran beneficio, esto es simplemente un valor relativo. Dicho en términos absolutos, la revisión sueca venía a decir que tras 10 años de cribado, la reducción de la mortalidad significaba salvar la vida de una mujer de cada 1.000 que participaban en el programa.

El beneficio del programa, contemplado a la luz de los valores absolutos, no es tan significativo como parecen indi-

car los valores relativos. Si en un periodo de 10 años, de cada 1.000 mujeres cuatro sufren un cáncer de mama y mueren por esta causa, con la realización de un cribado se salvaría una de esas cuatro mujeres. Si se consideran los datos de la revisión Cochrane (15% de reducción de mortalidad), se salvaría una de cada 2.000 que participan en un programa de cribado durante 10 años (la razón de remitirse siempre a periodos de 10 años es que no hay datos fiables para periodos de estudio más largos). La comunicación del beneficio en términos relativos o absolutos es, pues, muy diferente. En cualquier caso, lo importante es que

“las mamografías salvan vidas”, sostiene Javier Cortés Castán, jefe de la Unidad de Mama del hospital Valle de Hebrón de Barcelona. “Y el beneficio global es enorme”, ya que se hacen millones de mamografías a millones de mujeres en todo el mundo. Cortés asegura que él y la mayoría de los especialistas consideran que este beneficio compensa los riesgos.

Beneficios y perjuicios

Ciertamente, para valorar correctamente una intervención médica hay que considerar siempre sus perjuicios. Y el cribado de cáncer de mama, como han empezado a mostrar numerosos investigadores, ocasiona importantes daños.

El problema de los perjuicios emparejados al *screening* del cáncer de mama se ha centrado durante mucho tiempo en los falsos positivos, esto es, en los problemas derivados de decirle a una mujer que los resultados de la mamografía indican que puede tener un cáncer de mama y que hay que hacerles una biopsia.

Si la reducción de la mortalidad a 10 años (beneficio) se estima en torno al 0,05% (una mujer de cada 2.000 se salva de morir por cáncer de mama), el riesgo de sufrir un falso positivo durante estos 10 años (perjuicio) está en torno al 6-20%: entre 60 y 200 mujeres de cada 1.000 que se someten a mamografías periódicas durante 10 años pasarán en algún momento por la angustiada situación de someterse a una biopsia para saber a la postre que era una falsa alarma (falso positivo).

Hasta que se confirma o no el diagnóstico de cáncer, la angustia no es desdeñable. En Estados Unidos se calculó que después de participar 10 veces en un cribado del cáncer de mama mediante mamografía, el 49% de las mujeres sanas habían sufrido una falsa alarma. En Noruega, el 21% habían vivido la angustia de un falso positivo después de realizar esas mismas veces la prueba de cribado.



Análisis de la imagen generada por una mamografía.

La lógica del sistema, según se va sabiendo al desmenuzar los datos de los ensayos, implica que por cada mujer que gracias al *screening* se salva de morir por cáncer de mama hay otras 10.000 que vivirán la experiencia de un falso positivo. De todas formas, una vez superado el mal trago del falso positivo, casi todas las mujeres consideran que ha valido la pena hacerse la mamografía. En otra encuesta realizada en Estados Unidos con 479 mujeres, a más de la tercera parte de las encuestadas les parecía tolerable pagar este precio de 10.000 falsos positivos por salvar una vida.

Sobrediagnóstico

Con todo, el principal perjuicio derivado del cribado con mamografía no es la elevada tasa de falsos positivos y el sufrimiento físico y emocional que acarrearán, sino el del sobrediagnóstico del cáncer de mama. ¿Qué es exactamente el sobrediagnóstico? Por decirlo en pocas palabras, es el diagnóstico de cánceres cuya evolución nunca daría síntomas ni provocaría la muerte.

Son los etiquetados como carcinoma *ductal in situ* (*ductal carcinoma in situ* o DCIS, en inglés), que más que un cáncer es una lesión pseudocancerosa. El problema es que nadie sabe ni hay forma de conocer cuáles evolucionarán a un cáncer de mama invasivo y cuáles permanecerán sin dar síntomas. Aunque nadie está seguro de cuál es la probabilidad del primer caso, diversos estudios sugieren que el riesgo durante toda la vida debe ser considerablemente inferior al 50%, según se apunta en un editorial del *Journal of National Cancer Institute (JNCI)* de febrero de 2008.

El problema del sobrediagnóstico es sobre todo el correspondiente sobretratamiento. Como no hay forma de saber qué carcinomas ductales van a hacerse invasivos y qué mujeres están siendo, por tanto, sobrediagnosticadas, lo que se hace es tratar todos estos tumores como si fueran carcinomas invasivos. Solo en Estados Unidos, cada año unas 50.000 mujeres son diagnosticadas de carcinoma *ductal in situ* y casi todas ellas son sometidas a cirugía.

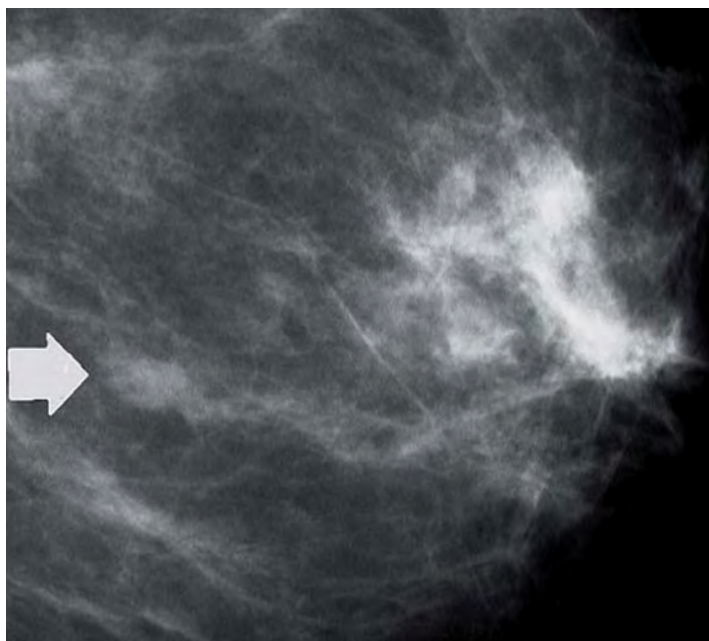


Imagen de un carcinoma lobular invasivo.



El principal problema de la mamografía es el sobrediagnóstico.

El sobrediagnóstico es probablemente el *quid* del cribado con mamografía, aunque es un concepto que despierta cierta incredulidad. Una encuesta realizada por el grupo de Lisa M. Schwartz puso de manifiesto que solo el 7% de las mujeres creía que podía haber cánceres de mama que crecieran tan lentamente que incluso sin tratamiento la salud de la mujer no se vería afectada. En la inmensa mayoría de la población general es muy probable que esta idea resulte inverosímil, y es posible que la idea del sobrediagnóstico en el cáncer de mama resulte extraña incluso para una cierta proporción de médicos.

Sin embargo, la existencia de este fenómeno queda probada en los mismos ensayos clínicos que demuestran el beneficio de las mamografías. En estos ensayos, las mujeres participantes se dividen en dos grupos: las que se someten a mamografías periódicas y las que no. Inicialmente, el número de diagnósticos de cáncer es mayor en el grupo de las mamografías, ya que esta exploración permite detectar tumores más pequeños. Con el tiempo, si todos los tumores pequeños realmente crecieran y se hicieran

invasivos, el número de diagnósticos de cáncer en el grupo que no se hacen mamografías debería igualarse. Pero esto no es así, sino que se mantiene una diferencia entre los cánceres diagnosticados en el primer y en el segundo grupo. Esta persistente diferencia a lo largo de muchos años es el sobrediagnóstico.

Sobret ratamiento evitable

La magnitud del sobrediagnóstico varía en función de los estudios, pero en cualquier caso es muy considerable. Algunos ensayos clínicos lo cifran en torno al 30%. Una revisión sistemática de los países con programas de cribado organizados, realizada por el grupo de Peter Gøtzsche, reveló un 52% de sobrediagnósticos. En Dinamarca, que cuenta con un grupo de control sin cribado, la tasa de sobrediagnóstico fue del 33%, según otro estudio del mismo equipo. En otros estudios, la tasa de sobrediagnósticos es del 24%.

¿Qué significa para las mujeres este problema? En los ensayos clínicos de Canadá y Malmö (Suecia), se extirpó la mama (total o parcialmente) a 1.424 mujeres del grupo de cribado con mamogra-

fía y a 1.083 mujeres del grupo de control (sin mamografías). El sobrediagnóstico resultante de comparar los datos de los dos grupos era de diez casos por cada 2.000 mujeres cribadas; es decir, recibieron un diagnóstico de cáncer invasivo estando sanas. Y, como si fueran pacientes reales de cáncer, se les realizó la cirugía mamaria y a menudo se les aplicaron otros tratamientos. Por eso, como recalca Gøtzsche, “los beneficios y los perjuicios del cribado del cáncer de mama deben ser evaluados conjuntamente”.

Los datos que van apareciendo sobre los perjuicios del cribado del cáncer de mama con radiografía indican que es tan razonable participar en uno de estos programas como no hacerlo. “La gente tiene que entender que el cribado implica sacrificar una cosa por otra: la posibilidad de un futuro beneficio (evitar la muerte por una enfermedad) frente a un daño inmediato”, se sostiene en un editorial del *JNCI* que firma como primer autor Steven Woloshin, del Dartmouth Institute for Health Policy & Clinical de EE UU. “Sin un claro conocimiento de cómo funciona el cribado, la gente no puede tomar decisiones informadas”. ©

REPORTAJE



› Erika López Palma,
periodista científica
y responsable de
comunicación de la Casa de
la Ciencia de Sevilla (CSIC)

El Centro Nacional de Aceleradores, una instalación científica que resuelve problemas cotidianos

Partículas a la velocidad de la luz

Lanzar partículas por un túnel y acelerarlas hasta alcanzar una velocidad de 15.000 kilómetros por segundo no es un juego; es ciencia y tiene múltiples aplicaciones. Desde restaurar las vidrieras de la catedral de Sevilla hasta datar incunables de biblioteca, comprobar la contaminación que aún resta del accidente de Aznalcóllar o la producción de radiofármacos para pacientes de cáncer. El Centro Nacional de Aceleradores (CNA), un centro mixto del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, la Universidad de Sevilla y la Junta de Andalucía, tiene hoy en día tres aceleradores de partículas a pleno rendimiento para la investigación y el servicio a empresas e instituciones, algunos únicos a nivel nacional. El CNA, de hecho, absorbe el 80% de la demanda que existe en España.

Están más presentes en nuestras vidas de lo que creemos. De hecho, hasta hace pocos años, todos hemos tenido un acelerador de partículas doméstico, ya que los tubos de rayos catódicos de los antiguos televisores lo son: tienen un emisor de electrones que se calientan con la corriente eléctrica, se agitan y son dirigidos a uno u otro pun-

to de la pantalla mediante imanes, y allí forman la imagen. Algo similar, pero a gran escala, es un acelerador de partículas como los que utiliza el Centro Nacional de Aceleradores (CNA), una de las 52 instalaciones científico-tecnológicas singulares (ICTS) que existen en España. Ubicado en Sevilla y en funcionamiento gracias a un acuerdo entre la Univer-



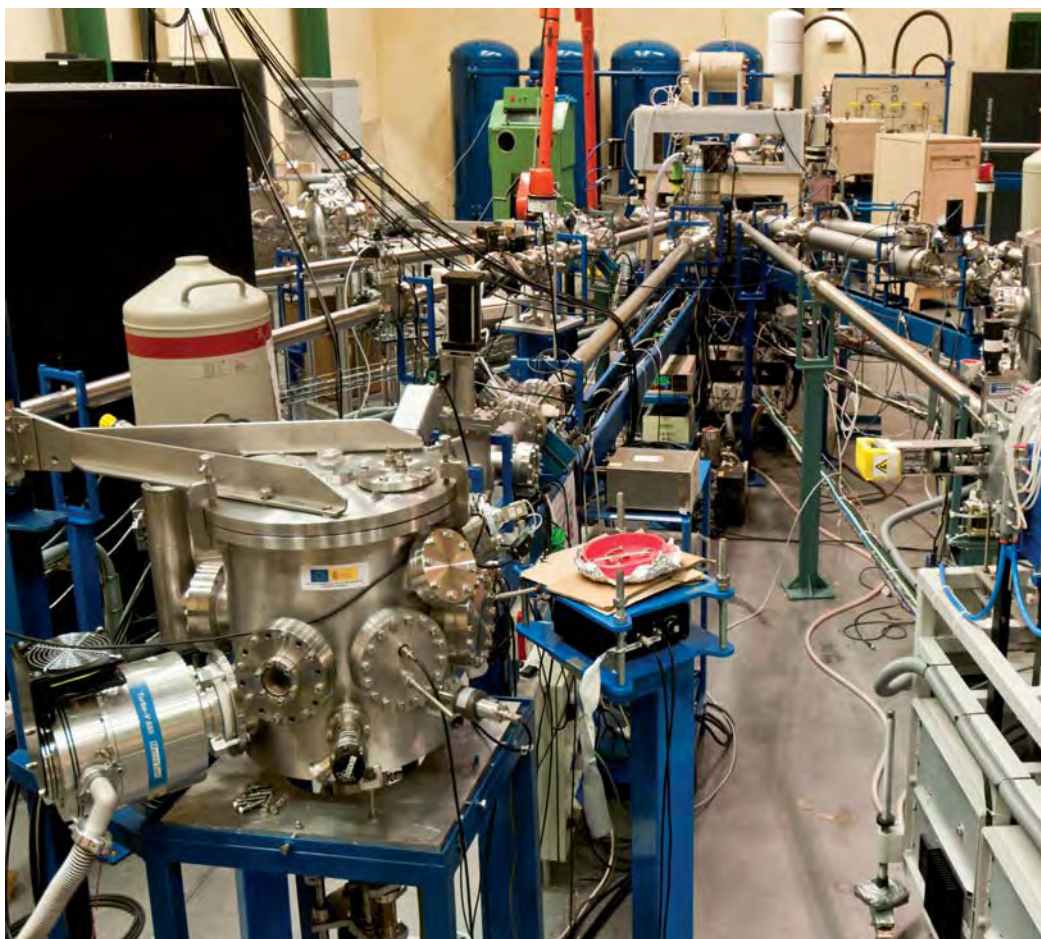
FOTOS: JOSÉ A. SENCIANES

Fachada del Centro Nacional de Aceleradores en Sevilla.

sidad de Sevilla, la Junta de Andalucía y el CSIC, cumple ahora un aniversario para supersticiosos: en sus 13 años de funcionamiento se ha dotado de tres aceleradores de partículas.

Un acelerador de partículas es un dispositivo que utiliza campos electromagnéticos para acelerar partículas cargadas a altas velocidades, y así, colisionarlas con otras. De esta manera, se generan multitud de nuevas partículas que —generalmente— son muy inestables y viven durante menos de un segundo, o bien permite estudiar más a fondo las partículas que fueron colisionadas por medio de las que fueron generadas. Esas partículas se encuentran en la naturaleza, en cualquier material y forman parte de los elementos que se incluyen en la tabla periódica. Además, las partículas aceleradas, durante su recorrido, desprenden una radiación, denominada sincrotrón, que está formada por rayos X muy energéticos, con diversas aplicaciones prácticas.

El 80% de los investigadores que necesitan aceleradores de partículas en España para desarrollar sus estudios acuden al CNA. Cada acelerador está especializado en unos ámbitos de estudio concretos. El acelerador *Tándem* fue el primero en instalarse, tiene siete líneas de haz disponibles y está dedicado a una triple tarea: ciencias de los materiales, estudios medioambientales y análisis del patrimonio. La primera línea puede estudiar la composición o la fragilidad del material con el que se confeccionan una silla de ruedas, un andador o unas plantillas para el pie, con el objetivo de que lleguen correctamente a los pacientes.



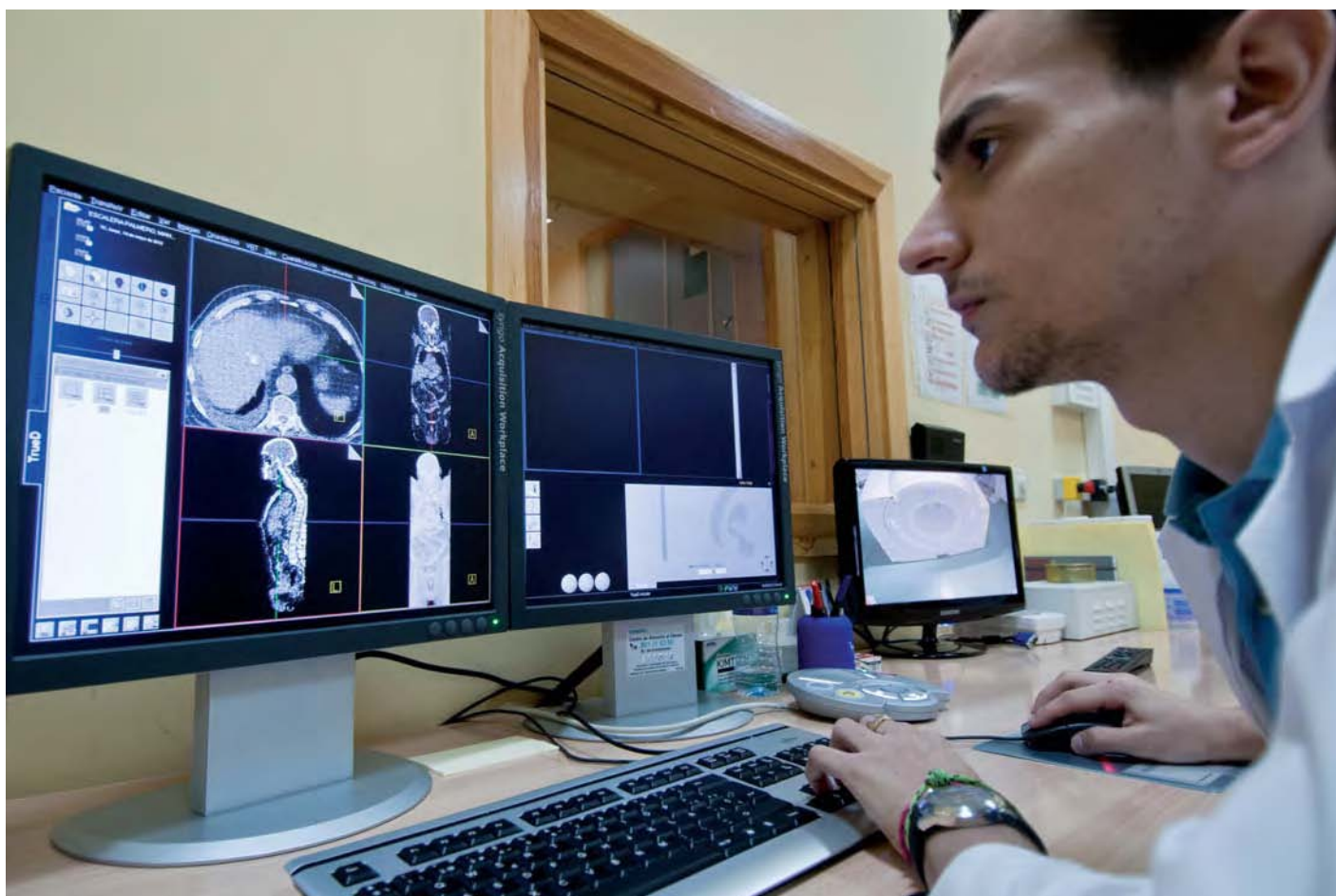
Panorámica de las líneas de investigación del *Tándem* de 3 MV.

Una segunda línea puede medir la contaminación que queda en las plantas después de un vertido.

De hecho, esta última ha sido una de las tareas más mediáticas llevadas a cabo por este acelerador: el análisis de toda la flora y los suelos del cauce del Guadalquivir afectados por el vertido tóxico de las minas de Aznalcóllar en 1998. La tercera línea de investigación se refiere al estado de conservación del patrimonio. Es una de las facetas más demandadas de esta instalación porque, a diferencia de otros aceleradores de partículas, como el LHC de Ginebra, la técnica de análisis que emplea es una técnica no destructiva. Es decir, haciendo colisionar las partículas contra una pieza artística, por ejemplo un cuadro, se puede averiguar la forma de creación, si ha sido restaurado previamente, e incluso si el pintor era zurdo. Y

todo ello sin perjudicar ni un ápice al patrimonio.

El vicedirector del CNA y catedrático de la Universidad de Sevilla, Rafael García-Tenorio, enfatiza que “normalmente se piensa en física de altas energías y astrofísica y no, los aceleradores se ponen al servicio más directo de la sociedad”. Y pone un ejemplo: la lucha contra el fraude. “Hace poco se nos trajo el libro de reglas de una cofradía muy antigua y venerada en Sevilla porque querían comprobar si habían sido falsificados algunos pasajes, y así lo determinamos”, afirma García-Tenorio. Para estos estudios, normalmente colaboran con otras instituciones, como es el caso del Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico, que les encomienda el análisis de los cuadros andaluces actualmente expuestos en el Museo de Bellas Artes de Sevilla; o con



Sala de Control del escáner PET/TAC de humanos.

la Red Andaluza de Bibliotecas, para quien analizan todos los incunables guardados en bibliotecas.

Fármacos al instante

El segundo acelerador de partículas lo adquirió el CNA en 2004 por dos millones de euros. Aunque tiene un nombre futurista, *Ciclotrón*, es el nombre con el que fue bautizado, en los años 30, el primer acelerador de partículas de la historia, por su inventor, el físico estadounidense Ernest O. Lawrence, quien recibió el Premio Nobel de Física. Hoy en día, en el CNA se emplea fundamentalmente para el diagnóstico por imagen molecular, es decir, para la fabricación de radiofármacos que abastecen a todos los hospitales públicos del sur de España y que son empleados para la localización de tumores o estudios de Alzheimer o Parkinson, entre otros.

El equipamiento del que dispone se trata de un equipo PET que permite obtener información tanto funcional como anatómica del paciente. PET es el acrónimo de *Positron Emission Tomography*, es decir, Tomografía por Emisión de Positrones. Se trata de una técnica de diagnóstico nuclear no invasiva, capaz, entre otras cosas, de proporcionar información sobre el metabolismo del ser humano basándose en la distribución espacial de un radiofármaco de vida media corta dentro de un organismo vivo. Con estos radiofármacos se consigue conocer la localización del tumor, su tamaño y su tipología. Diariamente se producen y se envían a hospitales y otros centros médicos. No obstante, como muchos de estos productos contienen elementos radiactivos que tienen una duración de escasos minutos, el pasado mes de enero el

CNA se dotó de un equipo de radiodiagnóstico puntero, un equipo híbrido PET/CT, para que la distancia entre el acelerador que produce el fármaco y el paciente que lo recibe sea mínima, menos de cincuenta metros. De esta forma, y a través de un convenio de colaboración con el Hospital Virgen del Rocío de Sevilla, los pacientes acuden al centro directamente para que se les realicen exploraciones PET/CT, fundamentalmente en el ámbito oncológico. Actualmente se utiliza este sistema con unos 60 pacientes a la semana.

Otra de las aplicaciones prácticas del *Ciclotrón*, que es capaz de acelerar protones a 18 millones de electronvoltios, es el estudio del comportamiento de materiales a alta energía. Lo explica García-Tenorio: "Imagina que hay que lanzar un satélite nuevo. Hay mucha radiación en el

Bajo el control del CSN

Las paredes del acelerador *Tándem*, del *Ciclotrón* y del irradiador de ^{60}Co del Centro Nacional de Aceleradores tienen entre uno y dos metros de grosor. Todos los trabajadores del centro llevan un dosímetro o medidor de radiactividad al que no se le escapa ningún rayo alfa, beta o gamma que pueda recibir. Y el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) mantiene un control riguroso de las actividades que allí se desarrollan. Este organismo público inspecciona unas 1.400 instalaciones radiactivas al año en toda España. El jefe del Área de Inspección del CSN, Clemente Gil, es el encargado de vigilar

al CNA y para ello realiza dos visitas a esta instalación cada año. Comprueba la seguridad de las instalaciones, realiza medidas de los niveles de radiactividad y revisa in situ la documentación generada por este centro. “El CNA, dentro de las instalaciones radiactivas que existen en el país, es bastante especial”, asegura Gil, “porque actúa en tres ámbitos: el de la industria médica, el de la comercialización de servicios y el de la investigación. Ningún otro centro de España que trabaje con radiactividad tiene tal conglomerado de cosas”, concluye el técnico. ▶

espacio y tienes que estar seguro de que va a resistir, porque es algo muy costoso. Con nuestro acelerador se puede hacer una simulación de la radiación que va a recibir para así fabricarlo de forma segura. Es un trabajo altamente rentable”, concluye.

La edad de las cosas

El tercer y último acelerador instalado en el CNA tiene nombre de mujer: SARA (*Spanish Accelerator for Radionuclide Analysis*) y se corresponde con lo que se conoce como “espectrómetro de masas

con acelerador”. Se trata de una técnica ultrasensible, que permite medir concentraciones pequeñas de elementos o moléculas, y en particular se utiliza para la identificación y medición de isótopos radiactivos de vidas medias largas. A través de muestras que contienen muchos elementos diferentes, este acelerador permite quedarnos solo con las partículas que nos interesan. El SARA se utiliza sobre todo para la datación por carbono 14 de restos orgánicos. El carbono por lo general tiene una masa atómica de 12,

pero la de su isótopo radiactivo es de 14. Tanto el ^{12}C como el ^{14}C se encuentran presentes en la atmósfera. Mientras viven, las plantas y los animales absorben dióxido de carbono del aire y, cuando mueren, los átomos de ^{14}C , que fueron absorbidos, comienzan a desintegrarse. Como se conoce la velocidad de desintegración del ^{14}C , al que no afectan factores externos, puede calcularse, midiendo su presencia residual, la edad de los restos.

El CNA es el único centro de España que puede realizar esta técnica utilizando



Imagen PET/TAC, para la realización de diagnósticos médicos.



Panorámica de la sala donde está ubicado el acelerador *Tándem*.

aceleradores, con la ventaja de que se necesita una cantidad ínfima de muestra para obtener precisión y fiabilidad en la datación. Y existe una gran demanda: actualmente hay una lista de espera de seis meses. En el CNA se realizan unas 500 dataciones al año con muestras de todo tipo que tengan componentes orgánicos (madera, sedimentos, plantas, huesos, etc.). De hecho, allí donde encuentran restos árabes o romanos en cualquier excavación los traen a esta instalación para su análisis. Hasta vírgenes. Rafael García-Tenorio



Rellenando el nitrógeno para los detectores.

comenta una anécdota ocurrida hace unos meses: “Nos trajeron con mucho secreto una astilla de madera para que la datásemos. Las pruebas concluyeron que la madera correspondía al periodo entre 1416 y 1467. La astilla pertenecía a la imagen de la Virgen de la Victoria, de la Hermandad de las Cigarreras de Sevilla”, dice. Estos trabajos se convirtieron en los primeros de datación por carbono 14 de una imagen de la Semana Santa de Sevilla.

A lo largo de toda su vida, las plantas fijan carbono 14, y lo hacen hasta el momento en que mueren. Por eso, otra de las aplicaciones de este acelerador tan codiciado es el control del biodiésel. Para que este carburante llegue a los surtidores de las gasolineras, ha debido pasar unos estrictos controles en aceleradores de partículas como los del CNA, para comprobar que la parte biológica del combustible es la adecuada. En este sentido, el CNA trabaja para empresas, como CEPSA, que deben cumplir en sus productos los requerimientos que fija la legislación.

En el CNA trabajan 42 personas. De ellas, el 80% aproximadamente son investigadores o técnicos asociados a la investigación, entre los que hay ingenieros industriales, de telecomunicaciones, físicos, químicos, técnicos en radioterapia, radiofarmacéuticos y físicos nucleares. El

ámbito de su actividad es grande, pero se irá ampliando aún más en el futuro. Por ejemplo, con el auxilio de isótopos radiactivos en los fertilizantes, como el fósforo 32, se puede estudiar cómo reducir al mínimo el uso de estos productos y bajar los costos de producción y el daño al medio ambiente en la agricultura. También se puede aplicar para eliminar enfermedades del ganado usando irradiación con rayos X o rayos gamma para destruir o atenuar los microorganismos o medir la dinámica de lagos y embalses, como la filtración y la descarga.

Los científicos investigan, producen, comercializan... y el CNA sigue creciendo. En 1999 instalaron el primer acelerador con la subvención de los fondos europeos FEDER y ahora acaban de adquirir el cuarto, que está en fase de calibración y previsiblemente entrará en funcionamiento para el último trimestre del año. Se trata de un MiCaDaS (MiniradioCarbon Dating System), también para datación por carbono 14. Con cuatro aceleradores en funcionamiento, el CNA demuestra que son una herramienta imprescindible para la investigación y que el estudio de partículas es útil para el desarrollo de la medicina, la exploración espacial y la tecnología electrónica, entre otros muchos ámbitos. ©



› Antonio Calvo Roy,
periodista científico.
Divulga SL

TECNOLOGÍA
NUCLEAR
ESPAÑOLA
1

La Plataforma CEIDEN coordina la investigación, el desarrollo y la innovación que España hace en fisión nuclear

Ciencia y tecnología españolas en el universo del átomo

Hay un lugar y hay una placa. Está en un muro grande de la parte de atrás de un estadio, en Chicago, y dice así: “El 2 de diciembre de 1942 / el hombre logró aquí / la primera reacción automática en cadena / iniciando con ello / la liberación controlada de la energía nuclear”. Es, como dice Laura Fermi en su maravilloso libro *Átomos en mi familia*, el certificado de nacimiento de la era atómica. Es el lugar en el que Enrico Fermi, junto a su equipo, llevó a cabo la primera reacción atómica controlada, es decir, el primer experimento de I + D nuclear. La plataforma CEIDEN reúne, en España, a todos los que buscan hoy la I + D + i nuclear para llegar cada vez más lejos, subidos, claro está, a hombros de gigantes.

Avanzar juntos en la misma dirección, aprovechar las sinergias, saber cuáles son las cuestiones peliagudas y plantear en común las soluciones podrían ser algunos de los lemas que inspiran la creación y el funcionamiento de la Plataforma CEIDEN. Podrían resumirse también en las características que tiene la I + D nuclear, según Pío Carmena Servert, secretario general de la Plataforma Tecnológica de I+D de Energía Nuclear de Fisión, que es lo que significa el acrónimo CEIDEN,: “es necesariamente colaborativa y se desarrolla en un entorno abierto. Por supuesto, es internacional, 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”.

La Plataforma Tecnológica CEIDEN, es, para Pío Carmena, “un organismo de coordinación de las necesidades y esfuerzos de I+D a escala nacional en el campo de la energía nuclear”. En la plataforma “están representadas más de 80

entidades, lo que supone, de hecho, la presencia de todos los sectores relacionados con la I+D nuclear en España.” Su labor permite plantear y abordar los proyectos “de forma conjunta por parte de las entidades que están afectadas por la problemática que pretenden resolver. Además, permite presentar una posición nacional única frente a las propuestas o los compromisos internacionales”. En sus programas y grupos de trabajo están involucrados más de 100 técnicos e investigadores.

“La actual Plataforma Tecnológica CEIDEN se creó en el año 2007, aunque su antecedente está en 1999, en el Comité Estratégico de I+D Nuclear”, dice Antonio Colino, su presidente y consejero del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN). El comité se creó, auspiciado por el Ministerio de Industria, con la participación del CSN, el sector eléctrico y los principales agentes implicados en el sector nuclear. “Su objetivo, añade Colino, era coordinar los diversos planes y programas nacionales de I+D, así como la participación en los programas internacionales. Desde el principio tratamos de

optimizar los esfuerzos, de evitar duplicidades o carencias y sacar el mayor partido a la aplicación de los recursos disponibles. Se trata, en definitiva, de orientar de forma coherente los esfuerzos de las entidades implicadas”.

A este esfuerzo nacional se le añadió, en el año 2007 y en el ámbito europeo, la Plataforma Tecnológica de Energía Nuclear Sostenible, SNETP. CEIDEN es quien, en España, sigue los trabajos de SNETP, que tiene un notable impulso porque, como dice Colino, “Europa necesita una combinación de fuentes de energía que ayuden a afianzar los tres pilares de la política energética: la seguridad de suministro, la contención de los costes y la protección del entorno, sobre todo en lo referido a la emisión de los gases de efecto invernadero. Además, queremos afianzar el liderazgo tecnológico de la industria nuclear europea y eso solo será posible gracias a una investigación pensada para el lar-

go plazo y a un programa de desarrollo en el que participen todos los agentes implicados. En esa dirección trabajan las dos plataformas”.

El objetivo primordial de la Plataforma CEIDEN es, por tanto, mantener la investigación española en el sector nuclear en primera línea porque, en palabras de Pío Carmena, “la tecnología nuclear es, en nuestro país, una tecnología madura. Pero, como cualquier tecnología de vanguardia, debe mantenerse en constante actualización. Además, en el sector nuclear contamos con notables exigencias de mejora continua de la seguridad y de la eficiencia de las instalaciones, además de la búsqueda de soluciones para los nuevos desafíos que plantea la operación a largo plazo y, desde luego, la incorporación de desarrollos de los nuevos modelos de nuevas plantas de producción”.

De aquel primer objetivo de CEIDEN, coordinar los diferentes planes y pro-

gramas nacionales de I+D, así como la participación en los programas internacionales, para evitar duplicidades o carencias y optimizar la aplicación de los recursos disponibles, procurando orientar de forma coherente los esfuerzos de las entidades implicadas, se ha pasado a un buen número de programas y proyectos coordinados por la plataforma, en la que están presentes, hoy por hoy, todos los actores del mundo nuclear representando a todos los ámbitos.

La misión que a sí misma se ha encomendado la plataforma CEIDEN es desarrollar actividades de I+D+i orientadas a la operación segura, fiable y económica de las instalaciones nucleares actuales y del ciclo del combustible nuclear, y al desarrollo de posibles nuevos proyectos nucleares. Y, para poder alcanzar estos objetivos, la plataforma se ha marcado como objetivos prioritarios los siguientes:



Antonio Colino.



Reunión de la Plataforma CEIDEN en la sede de Enresa.



Pío Carmena.

Capacidad española para un nuevo proyecto nuclear

¿Podría España, hoy, afrontar un nuevo proyecto nuclear? Los responsables de CEIDEN se han formulado esta pregunta y, para saber la respuesta, pusieron en marcha un grupo de trabajo que ha publicado recientemente sus conclusiones en español e inglés. Se trata del informe *Capacidades de la Industria Nuclear Española para un Nuevo Proyecto Nuclear*, un trabajo que, en palabras del expresidente de CEIDEN y exconsejero del CSN Francisco Fernández Moreno, “simboliza en buena medida el espíritu y la historia misma de esta plataforma tecnológica. Integra a todos los actores del sector en una actuación colaborativa en la que el objetivo es buscar sinergias y un posicionamiento común”.

Su conclusión sobre el trabajo es clara: dice Fernández Moreno que “a lo largo de los últimos años, he escuchado con demasiada frecuencia afirmaciones gratuitas sobre la escasa

importancia y capacidad de la industria y las compañías de servicios del sector nuclear español, como resultado de un supuesto proceso de desmantelamiento ante la ausencia de nuevos proyectos de construcción. Confío en que este trabajo contribuya a matizar o revertir estas impresiones pesimistas, muchas veces interesadas.”

El estudio se llevó a cabo bajo la coordinación de Gas Natural Fenosa y con la participación de Endesa, Iberdrola y el Foro Nuclear, y contando con la colaboración de expertos de Westinghouse, General Electric-Hitachi y Areva. El objetivo último era comprobar el estado del arte y del conocimiento de las empresas españolas, partiendo de la base de que, en las últimas centrales construidas en España, de la II generación, la participación de la industria nuclear nacional llegó a significar algo más del 80%.

En el año 2007, cuando comenzó el proyecto, se formalizó un listado de actividades necesarias para un nuevo proyecto nuclear genérico, que fue enviado a diferentes empresas del sector para que señalaran en qué medida tendrían capacidad para llevar a cabo cada una de ellas. Después se llevó a cabo un análisis histórico de los últimos proyectos nucleares realizados en España, incluida la recuperación de la documentación existente



Generador de vapor vendido por ENSA a China en 2011.

a) Impulsar el crecimiento de la base científica y tecnológica de la energía nuclear de fisión, mediante el fomento de la participación de empresas, organismos y grupos de investigación en este campo y el impulso a la formación.

b) Formar una entidad de coordinación de iniciativas de I+D+i a nivel nacional, que permita fomentar la colaboración entre los diferentes actores: empresas, Administración, centros de investigación y universidades, en el desarrollo de nuevas tecnologías aplicadas a la utilización de la energía nuclear de fisión. También en este apartado se incluye sugerir al Plan Nacional de I+D las preferencias tecnológicas del sector.

c) Formar una entidad de asesoramiento y coordinación nacional que per-

mita afrontar proyectos internacionales de modo coherente, incrementando las oportunidades para las empresas e instituciones de I+D+i españolas en proyectos internacionales mediante estrategias comunes.

d) Detectar los órganos de decisión o comités de proyectos internacionales para sugerir la participación institucional española en dichos órganos.

e) Promoción de la tecnología española en los foros que corresponda.

Para alcanzar estos objetivos, en la actualidad la plataforma contempla el desarrollo de cuatro programas básicos. El primero de ellos estudia el almacenamiento y transporte del combustible gastado. El segundo, el aprovechamiento de materiales de la central nuclear

José Cabrera, tanto los internos de la vasija del reactor como los hormigones empleados en su construcción. El tercer programa es la participación en el diseño de un reactor experimental, el *Jules Horowitz*, que sustituya los actuales. Y, por último, un proyecto para determinar las capacidades de la industria nuclear española frente a un hipotético nuevo proyecto nuclear.

A través de estos programas y de las actividades desplegadas por la plataforma, se están desarrollando proyectos tecnológicos en el ámbito de la I+D+i nuclear, aprovechando las sinergias entre los diversos grupos y entidades del sector. Pero, por encima de todo, CEIDEN persigue convertirse en un instrumento de cooperación que permita enfocar me-

sobre la participación de la industria nuclear española en los últimos proyectos nucleares.

La conclusión de este estudio retrospectivo es que la participación de las empresas españolas evolucionó desde el 43% de la primera, Jose Cabrera, al 86% de la última, Trillo. Esas cifras supusieron suministrar el 100% de la obra civil y montaje, el 95% de la ingeniería y el 78% de los equipos. En el momento de máxima actividad, en el año 1980, estas obras generaban un empleo directo de unas 20.000 personas, 5.000 de ellas de alta cualificación, y un empleo indirecto de otras 50.000, en múltiples empresas suministradoras de bienes y servicios.

Como conclusión, el estudio afirma que la industria española tiene capacidades para realizar el 77% de un nuevo proyecto nuclear en el momento actual, con experiencia contrastada y que esta participación aumentaría a un 82% tras cinco años del lanzamiento de un nuevo programa nuclear en nuestro país. ■

por la utilización de los recursos y esfuerzos de todos a favor de los intereses estratégicos de España, manteniendo y potenciando las capacidades nacionales en tecnología y seguridad nuclear. “La innovación, afirma Antonio Colino, desempeña un papel importantísimo como motor de la competitividad y la creación de empleo. Innovar es convertir ideas en proyectos, y en eso trabaja CEIDEN.”

Además, CEIDEN colabora con las autoridades del Plan Nacional de I+D para enfocar con la mayor eficacia posible la participación de España en las iniciativas europeas sobre desarrollo tecnológico en energía nuclear, en particular en los proyectos de la Plataforma e Iniciativa Industrial europeas para una energía nuclear más sostenible. ©

Aprovechamiento de materiales

¿En qué estado quedan, cuando se estudian en profundidad, los materiales de una central nuclear tras una larga vida operativa? Las respuestas pueden estar en Guadalajara, en la central nuclear Jose Cabrera, actualmente en desmantelamiento. Allí hay un excelente vivero de experimentación a partir de sus materiales de diferentes tipos que, durante los 40 años de funcionamiento, han estado expuestos a las condiciones habituales en este tipo de plantas. Para hallar las respuestas se han puesto en marcha dos líneas de investigación; la primera está dirigida a los materiales de los internos de la vasija, sobre todo los aceros sometidos simultáneamente a niveles altos de irradiación neutrónica y temperatura; y la segunda a los hormigones, en concreto aquellos que rodeaban la vasija y que durante todo este tiempo han estado sometidos simultáneamente a irradiación neutrónica, humedad y agentes químicos como el ácido bórico.

La primera línea de investigación de este proyecto, que está coordinado por Gas Natural Fenosa Engineering y que ha despertado un gran interés internacional, consiste en recuperar parte de los componentes internos de la vasija de José Cabrera para evaluar en el laboratorio la degradación de sus propiedades, tras haber estado sometidos a un largo período de irradiación en un reactor comercial.

Este proyecto ayudará a rellenar la laguna que actualmente tenemos sobre el conjunto de datos para aceros inoxidables irradiados, considerado insuficiente para poder evaluar el comportamiento de los componentes internos de los reactores en todo el espectro de exposiciones a las radiaciones durante el servicio que se prevé para los reactores de agua ligera (LWR) y, en particular, para los PWR. Por lo tanto, el objetivo final del proyecto es generar datos de alta calidad para subsanar las lagunas existentes y mejorar el conocimiento mecanicista, con el fin de evitar extrapolaciones inadecuadas en la evaluación de las partes internas de los reactores PWR y BWR.

El objetivo de la segunda línea de investigación del proyecto es adquirir nuevos conocimientos sobre los procesos y el grado de envejecimiento de las estructuras de hormigón de una central nuclear al final de su ciclo de vida útil. Además, se pretende identificar, desarrollar, optimizar y validar métodos de ensayos no destructivos aplicables a este tipo de estructuras que permitan predecir de manera fiable su estado de envejecimiento y deterioro, después de haber estado sometidas a altos niveles de irradiación. También tiene aplicación en el estudio de los efectos a largo plazo de la radiación en los contenedores de combustible gastado y en las estructuras del ATC.

En esta investigación, que como la anterior ha suscitado un notable interés más allá de nuestras fronteras, participan el CSN, Enresa, Gas Natural Fenosa, Endesa, Gas Natural Fenosa Engineering y el CISDEM (Centro de Investigación en Seguridad y Durabilidad Estructural y de Materiales, entidad creada en 2009 por la Universidad Politécnica de Madrid y el CSIC). El objetivo específico del proyecto es cortar y extraer parte de las estructuras de hormigón del reactor y las piscinas de combustible gastado para conocer experimentalmente la variación de las características de estos materiales. El plazo de ejecución previsto es el período 2011-2016. ■

Programa sobre almacenamiento y transporte del combustible gastado



A la izquierda, piscina de almacenamiento de combustible gastado. A la derecha, transporte de material nuclear.

El objetivo de este programa, comenzado en el año 2004, coordinado por la Enusa Industrias Avanzadas, S.A. y en el que participan el CSN, Enresa, el Ciemat, ENSA y Gas Natural Fenosa Engineering, es la identificación, el impulso y, finalmente, el desarrollo de distintos proyectos que permitan profundizar en los criterios de diseño y seguridad que garanticen la integridad estructural del combustible gastado tanto durante su almacenamiento en seco como durante el transporte. Se trata de optimizar la gestión y disposición del combustible, atendiendo a sus particulares características y al proceso de almacenamiento y transporte seleccionado.

El almacenamiento en seco del combustible gastado proporciona una barrera que debe garantizar que el combustible se mantiene subcrítico y a temperaturas adecuadas, así como permitir una posterior recuperación y manejo de los elementos almacenados. Para ello, además de los requisitos propios del contenedor, es necesario asegurar la integridad estructural del combustible. Se trata de una modalidad de almacenamiento que será empleada en España con creciente frecuencia en los próximos años y por periodos significativamente prolongados.

Como se cuenta con importante experiencia internacional al respecto, en primer lugar se ha procurado la asimilación y el

aprovechamiento de ese conocimiento acumulado, sobre todo en lo que respecta a la definición y bases de los criterios de diseño. En segundo lugar, se ha trabajado en la investigación de las propiedades y características significativas en especímenes de combustible gastado de interés singular por los materiales avanzados que emplea la vaina o por las condiciones particularmente envolventes de operación bajo las que ha sido irradiado. Finalmente, el programa también considera la investigación de ciertos mecanismos primarios de fallo en el combustible gastado, así como el desarrollo de herramientas analíticas que permitan su simulación.

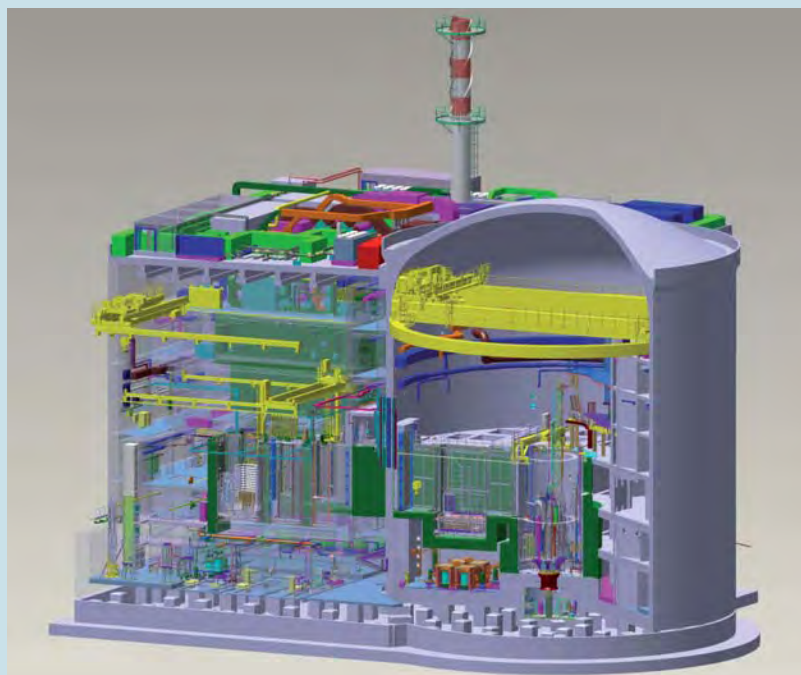
Los resultados de los proyectos ya realizados han permitido acuerdos tecnológicos en el ámbito internacional con otras entidades para complementar la investigación realizada, tales como EPRI, W, DOE, ONL, IRSN, EDF, Vattenfall y NEA/OCDE. Asimismo, parte de estos resultados se han divulgado en congresos y publicaciones especializadas de reconocido prestigio. En este programa es importante reseñar las colaboraciones internacionales que se han derivado de su realización. Entre ellas destacan la colaboración en el Programa ESCP coordinado por EPRI y con el CRP *Demonstrating performance of Spent Fuel and related system components during very long term storage* de la OIEA.

Un nuevo reactor experimental

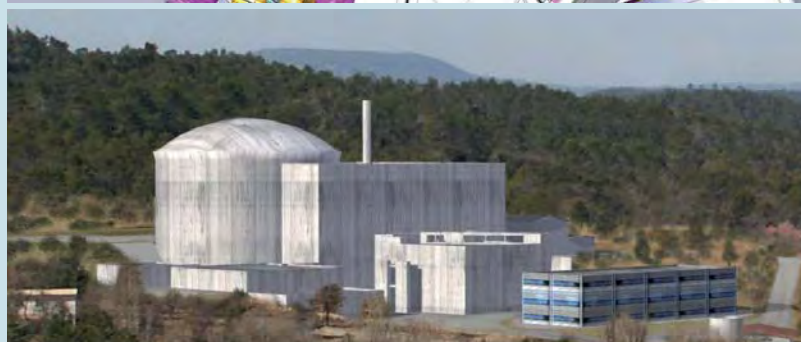
En cualquier actividad industrial de I + D es necesario contar con prototipos, con elementos que permitan, con la mayor exactitud posible, comprobar el comportamiento que tendrán los desarrollos una vez que se hayan llevado a cabo, especialmente antes de que estén en explotación. La industria nuclear no es una excepción y por eso, la plataforma, junto a otros socios internacionales, participa en este programa.

El proyecto del reactor *Jules Horowitz* (JHR) es una iniciativa del Comisariado de la Energía Atómica, CEA, una entidad pública francesa involucrada en la investigación en los diversos campos de la energía. La aspiración de este proyecto es disponer en el año 2014 de un reactor experimental que sustituya a los reactores experimentales actuales (*Halden*, *Osiris*, etc.), que se encuentran en una fase final de su explotación. Este proyecto está promocionado, además de por el CEA, por la empresa eléctrica francesa EDF y por el constructor nuclear Areva, que aportan el 75% de la inversión necesaria.

Por parte española el proyecto cuenta con una variada participación establecida gracias al marco de un acuerdo de colaboración entre el CEA y el Ciemat. El consorcio español JHR está liderado por el Ciemat y en él participan, además, el CSN, Enusa, ENSA, Empresarios Agrupados, Tecnatom y Gas Natural Fenosa Engineering. La aportación total del consorcio español al proyecto supone unos 10 millones de euros, cerca de un 2% del total, y se materializará básicamente en el suministro de componentes del circuito primario (con la participación de Empresarios Agrupados, que realiza el diseño, y ENSA, que los fabricará) y de un simulador para la preparación de los experimentos de irradiación (que llevarán a cabo Tecnatom y Gas Natural Fenosa Engineering), así como otras actividades adicionales a realizar por el Ciemat y el CSN. Se han comenzado las obras del proyecto, y las diferentes participaciones de las entidades españolas en el proyecto están cumpliendo los hitos prefijados. ▶



JHR



De arriba a abajo, maqueta del reactor Jules Hrowitz, detalle del reactor y vista del emplazamiento.



› Elena Denia,
física y periodista científica

Los científicos se proponen atrapar y enterrar el dióxido de carbono para mitigar la alteración del clima

¡Detenido en nombre del planeta!

En los últimos 100 años la población mundial se ha multiplicado por cuatro, mientras que el consumo energético lo ha hecho por 80; un crecimiento basado fundamentalmente en la quema de combustibles fósiles —petróleo, gas y carbón—. Ante el preocupante panorama, surge una alternativa del consenso internacional científico y tecnológico que podría ser la clave para mitigar el cambio climático y atenuar sus consecuencias: las tecnologías de captura y almacenamiento del dióxido de carbono (CO_2), una potencial solución en la que trabajan ya numerosos centros de investigación de los países más avanzados.

La Conferencia de Naciones Unidas sobre Desarrollo Sostenible, celebrada en Río de Janeiro en junio, finalizó sin grandes logros, al igual que la cumbre de la ONU sobre cambio climático de Durban, de finales de 2011. Río+20 conmemoraba la Cumbre para la Tierra, celebrada en esa misma ciudad en 1992, que supuso un punto de inflexión en la sensibilización sobre la proble-

mática ambiental. La actual situación de crisis económica no parece favorable a la adopción de propuestas políticas que propicien un cambio de modelo (mandatarios como el presidente Obama ni siquiera han asistido a la cumbre y el *Global Green New Deal* propuesto en 2008 ha desaparecido de la agenda política).

Sin embargo, los científicos no cesan de alertar sobre las graves consecuencias



Las emisiones de CO_2 en la atmósfera están provocando un cambio climático.

asociadas al cambio global antropogénico, propiciado por un desarrollo tecnológico desbocado que, de no frenarse y reconducirse con criterios de sostenibilidad, puede llevar al planeta a una situación de colapso en no demasiados años. Así, el Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC), advierte de que, sin acciones adicionales para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, se prevé que la temperatura media del aire en la superficie, a nivel global, aumentará durante este siglo entre 1,8°C y 4°C; incluso, en el peor de los escenarios posibles, podría subir hasta 6,4°C. Otras fuentes, como el Informe Stern de 2006, confirman los enormes costes económicos, sociales y medioambientales de la falta de intervención y destacan que con una inversión de tan solo un 1% del PIB mundial se lograría rebajar fuertemente este impacto.

Por otro lado, todos los datos indican que, en los próximos años, el aumento de la población mundial (1.700 millones de personas más en 2035) unido al crecimiento económico de los países emergentes, multiplicará notablemente la demanda energética mundial. La Agencia

Internacional de la Energía (AIE), en su informe de 2011, estima que los países en vías de desarrollo representarán cerca de un 90% del crecimiento de la demanda energética total hasta 2035 y alcanzarán el 64% de la demanda energética total. En particular, China utilizará en 2035 un 70% de energía más que Estados Unidos, y los índices de crecimiento en la India, Indonesia, Brasil y Oriente Medio serán incluso más rápidos.

Todo indica que los combustibles fósiles (petróleo, gas natural y carbón), van a seguir siendo los más utilizados como fuentes de energía, cubriendo el 82% de la demanda primaria. El consumo de carbón, según un informe de la Energy Information Administration de Estados Unidos de 2011, experimentará un crecimiento en torno al 74% entre 2004 y 2030, siendo los países ajenos a la OCDE los responsables del 85% del incremento, con lo que sus emisiones supondrán ya en 2030 el 43% del total.

En el futuro, los enormes retos de aumentar considerablemente la energía disponible y de mejorar su distribución con criterios que conduzcan a un nuevo estilo de desarrollo sostenible requerirán no

solo voluntad política sino también la incesante mejora de la eficiencia en el uso de los recursos mediante tecnologías ecoeficientes.

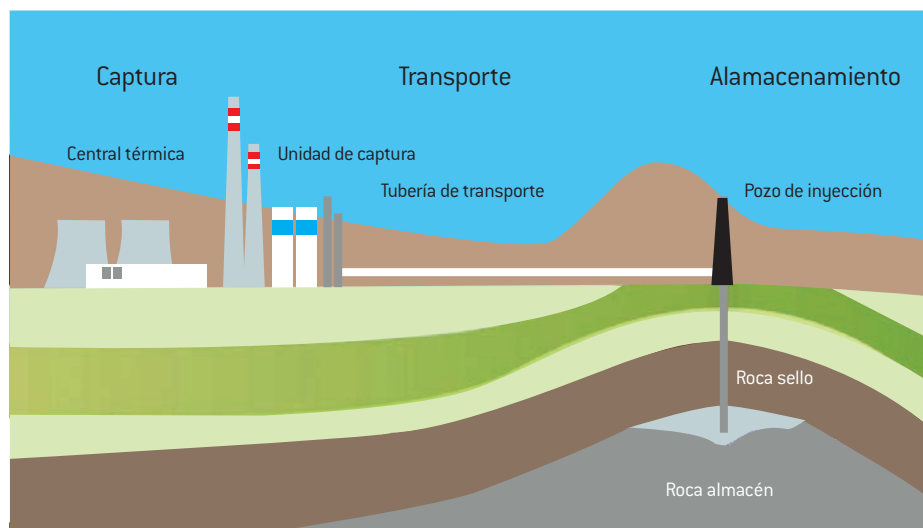
En este contexto, tecnologías como la de captura y almacenamiento del CO₂ producido por la combustión del carbón (CAC) se contemplan como una de las medidas para la mitigación del cambio climático, pudiendo estimarse que su contribución a la reducción de emisiones puede ser de entre el 20 y el 30%. Los científicos consideran viable, tanto tecnológica como económicamente, la posibilidad de aislar el dióxido de carbono y confinarlo en rocas del subsuelo, a partir de fuentes donde se concentren las emisiones, como las centrales eléctricas de carbón y las industrias que lo usan profusamente, como las cementeras. Según cálculos avalados por la AIE, se podría conseguir así reducir en un 90% las emisiones en este tipo de instalaciones. También el Protocolo de Kioto la considera como una tecnología muy eficaz, segura y viable.

Tanto la UE, uno de cuyos objetivos es alcanzar el 20% de reducción de emisiones de CO₂ en 2020 respecto al año 1990, como Estados Unidos y el resto de países desarrollados han puesto en marcha distintos proyectos de investigación en este terreno. También grandes inversores como Warren Buffet, Bill Gates o Lakshmi Mitta se han interesado por empresas del sector con la vista puesta en esta nueva tecnología.

En España las emisiones de gases de efecto invernadero crecieron en 2011 en torno al 6%, por el incremento del empleo del carbón en las plantas térmicas de producción eléctrica, y el Estado ha tenido que gastar 770 millones de euros en comprar derechos de emisión de CO₂ durante la pasada legislatura. Nuestro país está también, lógicamente, interesado en el desarrollo de estas tecnologías y también ha impulsado la investigación en CAC.



Vista aérea de la planta experimental de captura de CO₂ de Ciuden en Ponferrada.



Esquema básico del sistema de captura y almacenamiento del CO₂.

Tecnologías de captura de CO₂

La captación y almacenamiento de dióxido de carbono es un proceso que consiste en la separación de este gas antes de exhalarlo a la atmósfera por parte de plantas industriales y energéticas, y en su transporte a un lugar donde será almacenado y aislado de la atmósfera a largo plazo.

Para conseguirlo se pueden emplear diferentes tecnologías. Las más importantes y prometedoras pueden clasificarse en tres grupos: precombustión, oxicomcombustión y postcombustión. Esta última proporciona grandes avances en lo que se refiere a la reducción del CO₂ generado en los procesos industriales, precisamente aquéllos que requieren la combustión de combustibles fósiles.

La postcombustión consiste en la captura del dióxido de carbono a partir de los gases de escape del proceso de combustión. Una gran ventaja es que esta tecnología es aplicable a instalaciones ya existentes, y dispone de diversos métodos de separación, siendo el de la captura de CO₂ por absorción, concretamente por la absorción química con aminas, la técnica más estudiada y desarrollada hoy en día, y con mayor garantía de poder ser escalada a nivel industrial.

Los gases de combustión se introducen por la parte inferior de una columna de platos (absorbedor) y entran en contacto con una corriente líquida que circula en sentido opuesto basada en aminas. El CO₂, que reacciona con los grupos de amina formando carbonatos, se extrae por la parte inferior y se reconduce a otra unidad en la que se eleva su temperatura, con lo que se vuelven a separar las aminas, que se reintroducen en el proceso y el CO₂, que se comprime para su posterior almacenamiento. Así se consigue recuperar y concentrar el 99,9% en volumen del dióxido de carbono emitido.

A pesar de la gran eficiencia del proceso cabe destacar que presenta algunos inconvenientes relevantes. Por un lado, el volumen de gases que se maneja es muy grande, y por cada tonelada de CO₂ el consumo de vapor es de aproximadamente una tonelada, y el de energía de unos 18 kWh; por otro, la amina se degrada y el equipo tiene tendencia a corroerse. También se suma la necesidad de una depuración adicional para eliminar dióxido de azufre (SO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x).

Uno de los proyectos más prometedores, con tecnologías de aminas diferentes, se está desarrollando en el Centro Tecnológico Mongstad (TCM), recién

inaugurado en Noruega, donde se van a probar inicialmente estas tecnologías de captura de CO₂ a gran escala, y posteriormente otras, ya que el sitio está diseñado para poder probar diferentes tecnologías de captura de CO₂. Los socios del TCM han invertido alrededor de 700 millones de euros para la construcción y el desarrollo del centro, que ha sido diseñado para capturar cerca de 100.000 toneladas anuales de CO₂, por lo que será la más potente instalación de captura de CO₂ disponible hasta la fecha. Su objetivo es llevar el desarrollo tecnológico hasta la escala de su implantación industrial.

Además de las variaciones de los solventes basados en aminas, se están utilizando también otros solventes que requieren menor cantidad de energía en la etapa de regeneración, por ejemplo: amoníaco, carbonato potásico u otros ácidos aniónicos. Otro método poco estudiado aún es la absorción física, un proceso en el que no existe reacción química entre los gases y la disolución, dependiendo únicamente de la solubilidad del gas —y en consecuencia de la presión parcial del mismo—. Con una corriente de gases con una presión parcial elevada puede conseguirse una buena separación con un menor consumo de energía para desorber los gases ácidos, y con este procedimiento se evita la transformación química de productos de reacción no deseados, aunque puede complicarse debido a la presencia de absorción selectiva en etapas o la desorción en varias etapas, entre otros inconvenientes.

Según explica Tore Amundsen, director ejecutivo del centro, “el principal reto de la captura, transporte y almacenamiento de CO₂ es reducir el coste y los riesgos financieros, técnicos y ambientales. Por lo tanto, los centros para aplicar esta tecnología deben diseñarse con gran flexibilidad para el uso de la instrumentación necesaria, que debe permitir experimentar con las diferentes tecnologías de



Vista general y detalle de la planta experimental de Mongstad, en Noruega.

captura de CO_2 ”. Además en las investigaciones debe contemplarse otro reto: la integración con la refinería, lo que incluye los factores previamente citados como las fuentes de escape de gases, el vapor condensado, y otros parámetros.

En España, concretamente en la localidad de Cubillos del Sil (León), se ubican las instalaciones de la Fundación Ciudad de la Energía (Ciuden), que ocupan una superficie de 64.500 m^2 con una inversión que roza los 130 millones de euros. Además de otras instalaciones, cuenta con un centro de investigación en CAC denominado ES. CO_2 , con una planta experimental para captura de CO_2 también por absorción química con aminas. Se trata de la primera planta piloto de captura inte-

grada en una central térmica que se construye en el país y trata 800 m^3/h de gases de combustión, con una capacidad de captura de 3 a 5 toneladas de CO_2 al día, y una eficiencia del 90%.

Al margen de esta planta, abundan los procesos basados en la oxidación, que consiste en la combustión del carbón utilizando oxígeno mezclado con gases en forma de corriente de aire modificada como comburente en el proceso de combustión. De este modo, se consigue obtener directamente un flujo concentrado de CO_2 en los gases de escape y se evita la separación del nitrógeno introducido con el aire en la combustión convencional. Posteriormente es relativamente fácil separar el CO_2 del vapor de agua.

Las instalaciones de ES. CO_2 permiten investigar con todo tipo de carbones e incorporar dos tecnologías distintas de oxidación que se llevan a cabo en dos calderas: carbón pulverizado (CP) y lecho fluido circulante (LFC), siendo esta última única en el mundo. Ambas calderas pueden ser alimentadas con aire normal y aire enriquecido en O_2 en proporciones variables, lo que hace posible, en el futuro, ensayar también otras configuraciones para la captura con tecnologías de postcombustión.

España también cuenta con un proyecto que emplea el tercer tipo de la tecnología de CAC, es decir, la precombustión, además de trabajar también con la absorción con aminas. Se trata de la planta piloto de la central GICC de Elcogas, en Puertollano, que se encuentra en funcionamiento. En la precombustión, el CO_2 presente en el combustible se elimina, previamente a su oxidación, mediante su conversión en gas de síntesis, es decir, en un combustible gaseoso que es una mezcla de hidrógeno (H_2) y CO_2 ; el primero se mezcla con aire para su combustión, produciendo nitrógeno y vapor de agua, y el segundo se comprime y almacena.

Los centros de investigación de CAC apuestan por formas muy diversas para llevar a cabo su cometido. En España existen otros proyectos como el de la planta de captura de CO_2 con microalgas, coordinado por Endesa, que se ha implantado en su central térmica del litoral de Carboneras (Almería), la más grande de Europa en su género, pudiendo llegar a capturar hasta 20 toneladas de dióxido de carbono al año. O como el de una planta experimental de 1 MW en Mieres (Asturias) junto a la central termoeléctrica de La Pereda, con una potencial capacidad de captura de 8 toneladas de CO_2 al día mediante el uso de caliza como material sorbente.

Los proyectos en el marco internacional

En países de la talla de EEUU, Australia, Canadá y en la Unión Europea, la captura y el almacenamiento de CO₂ es considerada por los gobiernos una opción necesaria y que requiere tanto apoyo político como incentivos económicos para lograr su desarrollo comercial e incorporación progresiva.

Ya en el año 2003 se anunció en EEUU el Proyecto Futurgen, con una asignación de fondos por un importe de 1.000 millones de dólares (820 millones de euros al cambio actual), con el propósito de conseguir en una primera fase la captura del 60% del CO₂ y del 90% en una segunda etapa. Posteriormente se incrementaron los fondos en unos 2.800 millones de euros. Las subvenciones se financian con ingresos provenientes de la venta de derechos de emisión, y se estima que en el período 2014-2030 se subastarán alrededor de mil millones de derechos al año.

En el caso australiano, el Gobierno creó en 2009 el Instituto Global para la CAC, que apoyará proyectos con una financiación anual de 85 millones de euros, además de que el Fondo Carbón 21, establecido en 2006 por la Asociación de Carbón Australiana, ha comprometido un total de 290 millones de euros en tres proyectos de captura con postcombustión, oxidación y gasificación integrada en ciclos combinados. En sus presupuestos del 2009-2010, el Gobierno ha destinado 1.370 millones de dólares para un período de nueve años con el objetivo de lograr 1.000 MW de generación fósil de bajas emisiones de CO₂.

En lo que respecta a la Unión Europea, Alemania, el Reino Unido y los Países Bajos presentan los avances más significativos, siendo Alemania líder con varios proyectos piloto en captura, como el de Vattenfall, en Schwarze Pumpe; y en almacenamiento, como el de Ketzin a 40 km de Berlín. En el caso del Reino Unido su Gobierno anunció en 2007 la convocatoria de un concurso para construir una planta de CAC, y en 2010 confirmó su intención de financiar hasta cuatro proyectos antes de 2025. La UE cofinancia seis proyectos de demostración de captura y almacenamiento de carbono, entre los que se encuentra el de Cúden.

Las nuevas tecnologías necesitan, en general, de un apoyo decidido por parte de los gobiernos; así ocurrió con la electricidad en el pasado y ocurre hoy con las renovables. Que las tecnologías de almacenamiento de CO₂ existen, están probadas y son viables, lo demuestran los estudios técnicos y científicos, por tanto, puede concluirse que el hecho de que lleguen a ser comercialmente viables dependerá de la voluntad política de impulsarlas y financiarlas. 

Uno de los grandes problemas por resolver es “la falta de estándares para los procedimientos de laboratorio y los métodos, que constituye un obstáculo para el intercambio de conocimientos entre centros dedicados a CAC”, según el noruego Amundsen. Por ello se hace necesario cooperar entre las diferentes organizaciones de investigación del área así como participar en conferencias es-

pecíficas y difundir adecuadamente los artículos científicos que se publiquen. Añade que “ante la envergadura de la problemática se debería mantener al mundo exterior actualizado sobre el estado de la investigación en cada centro y mantener una buena comunicación con los medios y las ONG”.

Dado que aún no se sabe cuál o cuáles de las tecnologías en desarrollo serán

las que permitan una mayor reducción de emisiones de estos gases a menor coste, hoy en día existe un trabajo de investigación muy intenso en diversos sectores. Por el momento, Amundsen concreta que en el TCM ya han “aprendido mucho de la construcción de las instalaciones de pruebas”. Una de las dificultades técnicas reside en que “en los procesos que deben llevarse a cabo, al ser de talla industrial y estar instrumentados casi como algunas unidades de laboratorio, el número de puntos de medición es muy elevado, superior a 4.000”.

Los expertos estiman que se tardarán entre cinco y diez años en tener el sistema integrado completo. Además, con los precios actuales del carbón, dicha técnica queda muy lejos de ser rentable, por lo que no cabe esperar una lluvia de proyectos de hoy para mañana; es más, la CAC parece haber perdido fuelle en los últimos años lo que es atribuible a decisiones políticas y al difícil momento financiero para grandes proyectos de energía. Por ejemplo en 2011 Iberdrola canceló la planta que preparaba en Escocia por falta de financiación estatal, ya que el coste superaba los 1.000 millones de euros.

No obstante, el director ejecutivo del TCM confía en la eficacia del proyecto, y concluye que “contribuir a la lucha contra el avance del cambio climático mediante la captura de carbono es, probablemente, una de las acciones atenuantes más eficaces disponibles”.

Un caso más cercano es el que están sufriendo de manera directa los mineros españoles, al decidir el Gobierno en sus Presupuestos para 2012 reducir en 200 millones de euros las ayudas directas a la producción del carbón español, cuya extracción es deficitaria debido a sus costes, lo que sin duda afecta a la potencial investigación e implementación de las CAC. Dichas ayudas estaban pactadas con la UE hasta 2018, año en que las explotaciones no rentables



Detalle interior de la caldera de la planta de Ponferrada.



Chimenea de la instalación de Ciuden.

deberían cerrar. El recorte, según los sindicatos y empresas mineras, abocará a un cierre temprano de la mayoría de las explotaciones.

En España, la entonces presidenta de la Comisión Nacional de la Energía, María Teresa Costa, avaló en Ponferrada el proyecto de Ciuden, al margen de los problemas del sector minero leonés y español, afirmando que “estamos hablando de un cambio tecnológico trascendental en la historia. Esta planta de captura de CO₂ es imprescindible, porque las tecnologías que aquí se desarrollan van a poder utilizarse no solo en las centrales térmicas de carbón, sino también en las de ciclo combinado. El CO₂ es un reto en el cambio tecnológico mundial”, y no deberíamos quedarnos atrás en la investigación para potenciar su uso.

Almacenamiento

La captura del dióxido de carbono no serviría de nada sin su posterior almacenamiento, que es la última fase que debe zanjarse el proceso. Consiste en inyectar el CO₂ a profundidades superiores a 800 metros en formaciones geológicas adecuadas que garanticen su aislamiento seguro y

permanente. A esta profundidad la densidad del dióxido de carbono se incrementa bruscamente, de manera que pasa a ocupar un volumen 500 veces inferior que en la superficie, obteniendo así un almacenamiento más eficiente. Para llevar a cabo el proceso se requiere de una roca almacén con agua salobre en sus poros que permita la disolución del gas inyectado y una roca sello situada en la parte superior que impida el ascenso del mismo a la superficie.

Pese a todas las garantías tecnológicas, el almacenamiento despierta suspicacias, especialmente entre la población de las zonas donde se vaya a producir. En la cumbre de Durban los países firmantes del Convenio de Cambio Climático avalaron, con la oposición de las organizaciones ecologistas, el almacenamiento de CO₂, reconociendo así a esta tecnología como uno de los denominados mecanismos de desarrollo limpio (MDL), por lo que genera créditos de CO₂ si se realiza en países en desarrollo. Por su parte, la UE, en el marco del denominado paquete de energía y cambio climático presentado en 2008, dictó la Directiva sobre almacenamiento geológico de CO₂,

que en España se plasmó en la Ley 40/2010 de Almacenamiento Geológico de Dióxido de Carbono.

En este aspecto final del proceso, Ciuden lidera la construcción del Centro de Desarrollo Tecnológico de Almacenamiento Geológico de CO₂ en la localidad de Hontomín (Burgos), donde existen emplazamientos que reúnen las condiciones adecuadas para la experimentación con tecnologías asociadas a esta técnica, es decir, para determinar qué interacciones geoquímicas se dan con la presencia del CO₂ en el almacén y el posible impacto que pueda tener en la geomecánica del mismo o en los mecanismos de confinamiento.

Según manifiestan los expertos de esta institución, el CO₂ que emite España en un año cabría en un depósito de 40 kilómetros de largo y de 200 metros de alto si se almacenara bajo tierra. A nivel mundial, el depósito exigiría un diámetro de 350 kilómetros para albergar todo el CO₂ del planeta. El objetivo final es el ‘geoatrapamiento’ definitivo del CO₂, es decir, que con el paso del tiempo reaccione químicamente hasta convertirse en mineral.



› María del Vigo Fernández,
Área de Comunicación
del CSN



El desmantelamiento de la central nuclear José Cabrera

La central nuclear José Cabrera fue la primera que entró en operación en España. Su construcción comenzó en 1965 y se inauguró el 12 de diciembre de 1968. En 2002, el Ministerio de Economía, previo informe del Consejo de Seguridad Nuclear, concedió la última renovación de la autorización de explotación hasta el 30 de abril de 2006, día en que la planta paró definitivamente.

En aquel momento se iniciaron los trabajos de preparación que requiere un desmantelamiento y que finalizaron cuatro años después, en 2010, cuando se concedió la autorización de desmantelamiento a la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (Enresa) y se transfirió a esta última la titularidad de la planta.

Desde entonces, Enresa remite cada mes un informe sobre las actividades realizadas al Consejo.

El desmantelamiento es un proceso industrial que consiste en devolver un determinado emplazamiento a un estado tal, que permita que el lugar pueda ser utilizado después para otras actividades de tipo convencional. En este tiempo, el CSN ha continuado realizando un control equiparable al llevado en las fases anteriores de la vida de la instalación, teniendo en cuenta las diferencias de los riesgos que se presentan en ambos casos.

El ciclo completo de desmantelamiento comprende varias actividades: desmontaje, descontaminación, desclasificación, demolición y restauración del terreno. El



Desmantelamiento de la central nuclear José Cabrera

El desmantelamiento es el proceso empleado para desmontar un emplazamiento nuclear y devolver el terreno a un estado que permita su reutilización en otras actividades.

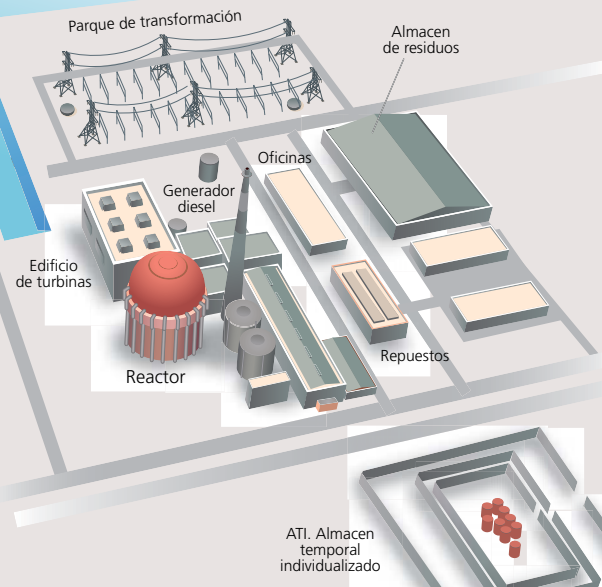


La cantidad total de materiales a gestionar en el desmantelamiento de la planta ronda las 100.000 toneladas, de las cuales un 4% son residuos radiactivos. Aproximadamente el 40% de los materiales procede de zonas no radiológicas, por lo que será gestionado convencionalmente.

Clasificación de materiales



Río Tajo



Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) clasifica estas actividades en tres niveles básicos, que podríamos resumir en: acondicionar, dismantlar y retirar el reactor.

En la central José Cabrera el combustible del reactor se descargó y evacuó entre 2006 y 2010. En 2008 se terminó la construcción de un almacén en seco, al cual se trasladaron 12 contenedores con el combustible gastado previamente extraído de la piscina de la central. Además, en ese periodo concluyó la gestión de los residuos generados durante la explotación de la central, y se realizó la descontaminación del circuito primario.

La duración total prevista de las obras de dismantlar es de seis años (2010-2015). Durante los cinco primeros años se están llevando a cabo tareas de dismantlar y descontaminación, así como demoliciones y actividades de gestión de materiales, y el último se dedicará a la restauración del emplazamiento.

En mayo del presente año se iniciaron los trabajos de dismantlar de los elementos del interior de la vasija del reactor, después de haber realizado las actividades preparatorias requeridas para acometer este dismantlar con éxito. Esto no quiere decir, sin embargo, que la fase de actividades preparatorias haya concluido, sino que se irá realizando de forma paralela con el resto de las fases del proyecto de dismantlar.

Desde que se autorizó el dismantlar, el CSN ha llevado a cabo dos licenciamientos destacables, ambos en 2011, que son los correspondientes al nuevo sistema de protección contra incendios y a la modificación de los sistemas de ventilación de varios edificios. Estas actividades se llevaron a cabo para adaptar los sistemas de seguridad a las tareas de dismantlar.

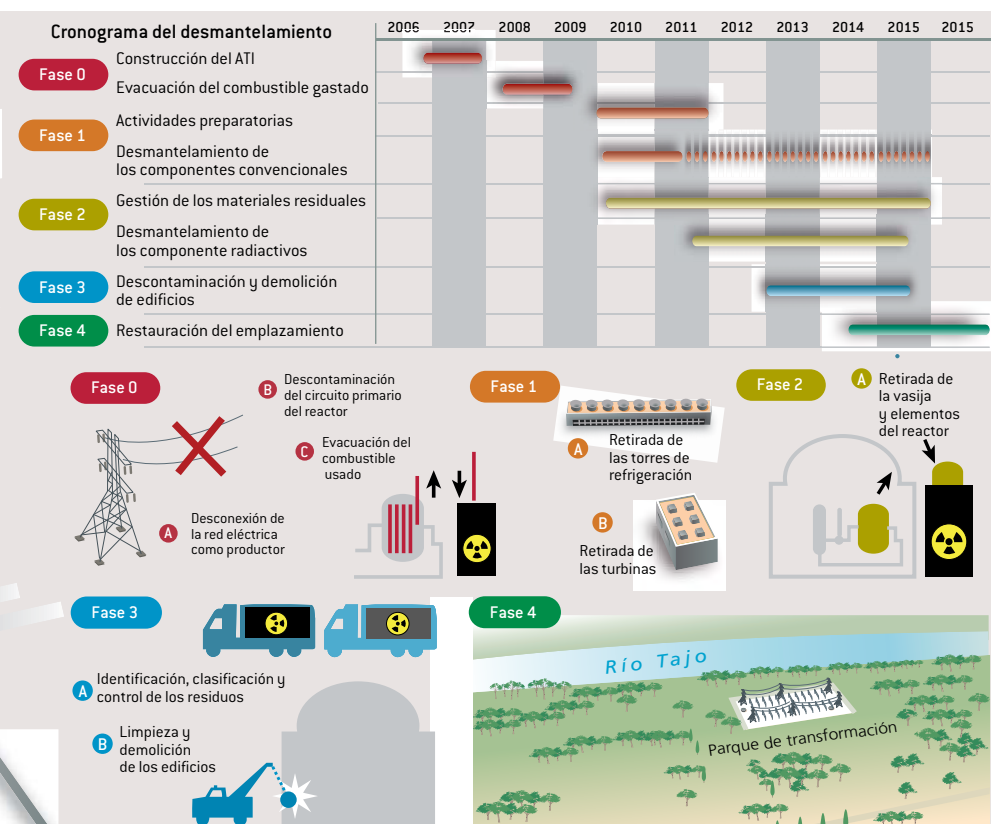
Actualmente el regulador trabaja en diversos licenciamientos, como el de la adecuación de los almacenes temporales

de residuos a su función durante el dismantlar, y el del Almacén Temporal Individualizado (ATI), que se adaptará para albergar en contenedores ciertos residuos procedentes de la central. Los de desclasificación de materiales y las modificaciones de diseño del edificio de turbina para su uso como edificio auxiliar del dismantlar fueron aprobados el 12 de septiembre.

La desclasificación de materiales es un proceso que permite gestionar por vía convencional aquellos elementos con muy bajo contenido radiactivo sin requerir un control posterior del organismo regulador. Aproximadamente el 40% de los materiales procede de zonas no radiológicas, por lo que será gestionado convencionalmente. El resto, procedente de zonas radiológicas, podrá ser gestionado también de esta manera tras ser sometidos a este proceso de desclasificación.

La cantidad total de materiales, a gestionar en el dismantlar de la planta, ronda las 100.000 toneladas, de las cuales un 4% son residuos radiactivos. Salvo algunos componentes del reactor, que se almacenarán en el ATI junto con las 175 toneladas de combustible, los materiales radiactivos se enviarán al Almacén Centralizado de Residuos Radiactivos de Baja y Media Actividad de El Cabril.

La última fase del dismantlar consiste en rehabilitar el emplazamiento para dejarlo libre, de forma que se pueda realizar en él cualquier tipo de actividad. En el caso de José Cabrera, Enresa y Gas Natural Unión Fenosa, empresa propietaria del terreno, han acordado que este se empleará para usos industriales. Así, Enresa realizará los trabajos de limpieza del terreno correspondiente y en la zona se podrán realizar nuevamente actividades de carácter industrial, en principio, en 2016, previa declaración de clausura por parte del Minetrur, previo informe del Consejo de Seguridad Nuclear. ©



› Ignacio F. Bayo
periodista científico,
director de Divulga

Entrevista a Tomás Díaz de la Rubia, subdirector del
Lawrence Livermore National Laboratory

“Esperamos alcanzar ya las condiciones en las que se produzca la fusión nuclear”

Tomás Díaz de la Rubia (Asturias, 1960) estudió ciencias físicas en Estados Unidos, en la State University of New York, Albany, y en ese país ha desarrollado toda su carrera científica, la mayor parte de la misma en el Lawrence Livermore National Laboratory, donde ingresó como *postdoc* en 1989. Allí ha ocupado diferentes puestos y, desde 2002, cargos de responsabilidad. En 2009 fue nombrado director asociado principal del responsable de Investigación y Desarrollo, participando, entre otras cosas, en el desarrollo de su estrategia quinquenal. Ha publicado más de 150 artículos en revistas de referencia y coeditado varios libros. Su trabajo ha sido citado en 5.800 ocasiones y es miembro de la American Physical Society y de la American Association for the Advancement of Science, entre otros reconocimientos. En 2010 fue nombrado subdirector del Lawrence Livermore National Laboratory, responsable de Ciencia y Tecnología.

El Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL) es uno de los laboratorios de investigación más importantes de EE UU, con una docena de centros dedicados a temas tan diferentes como la genómica, el cambio climático, las energías renovables y la nanotecnología. Entre ellos destacan el más avanzado supercomputador actual y la National Ignition Facility (NIF), el mayor láser del mundo, inaugurado hace un par de años y donde se va a intentar producir la fusión nuclear mediante la energía de los rayos de luz concentrados. Díaz de la Rubia se encuentra al frente de toda la parte científica de esta organización, siendo el primer español que ocupa una responsabilidad semejante. Nos recibe en Madrid, durante una de sus frecuentes visitas a nuestro país.

PREGUNTA: El LLNL nació como un laboratorio militar.

RESPUESTA: Sí, nació como el segundo laboratorio de diseño nuclear militar, para competir con Los Álamos, con la idea de que de esa competencia surgieran ideas más creativas y originales sobre cómo afrontar la guerra fría, con una escalada de armamento tremenda.

P: ¿Y se consiguió?

R: Sí, de hecho de esa competencia salieron nuevos diseños nucleares durante los años 50 y hasta finales de los 80 que forman la base actual de la disuasión.

P: ¿Armas nucleares y también aplicaciones civiles?

R: Sí, aunque el laboratorio tiene una base fundamentalmente nuclear tiene también una parte científica muy amplia, que permite hacer cosas en aspectos civiles, sobre todo en temas de energía y de medio ambiente.

P: ¿Qué relaciones mantienen con el OIEA?

R: Tenemos programas en los que trabajamos conjuntamente, especialmente los relacionados con el control de la no proliferación nuclear, que ahora son muy importante. Nosotros tenemos expertos en ese tema dentro del laboratorio, para saber qué es lo que se puede hacer y lo que no se puede hacer dentro de un país u otro y saber qué nivel tienen, qué han resuelto ya, cuánto tiempo tardarán en disponer de un arma nuclear etc.

P: El caso de más actualidad es el de Irán...

Ese es un tema reservado.

P: El LLNL ha sido esencial para que EE UU decidiera dejar de hacer pruebas nucleares y sustituirlas por simulaciones.

R: Sí, con el programa de Stockpile Stewardship. Durante la administración del presidente Bush padre se decidió que no se iban a hacer más pruebas en Nevada, y luego, en la del presidente Clinton, se mantuvo y se creó este programa para reemplazar los test nucleares con ciencia. Para ello, se puso en marcha el programa de simulación mediante supercomputadores y experimentos, para entender mejor el funcionamiento de estos dispositivos sin tener que hacer pruebas.



P: ¿Y eso se ha conseguido?

R: Se está haciendo con un éxito tremendo, porque de hecho uno aprende mucho más cuando hace los experimentos por partes, que permite entender bien las bases científicas y los mecanismos, y te da mucha más confianza en que la persuasión nuclear pueda ser efectiva sin necesidad de utilizarlo, para proteger tanto los Estados Unidos como los países que dependen de su paraguas nuclear.

P: Pero ¿no cree que la simulación se acerca a la realidad pero no puede igualarla?

R: Claro, la simulación sin experimentos no tiene valor, y lo que hacemos son experimentos parciales que, unido a las simulaciones, te pueden dar una guía para mejorar los modelos teóricos que entran dentro de las simulaciones, por comparación con los experimentos. Poco a poco vas avanzando y entendiendo mejor todos los temas básicos físicos que son muy difíciles de entender y que no te ofrece ni siquiera un test de verdad (una prueba nuclear), porque lo único que tienes es una respuesta del sistema completo, pero no de las partes del mismo; y es un sistema tan

“Tuvimos que desmentir que las emisiones radiactivas de Fukushima podían llegar a California”

PREGUNTA: *En el uso pacífico de la energía nuclear, ¿han hecho alguna contribución?*

RESPUESTA: Sí, el laboratorio ha tenido muchos programas en el campo de la seguridad nuclear de las centrales nucleares históricamente desde los años 70, y también en el diseño de reactores avanzados de cuarta generación.

P: *Ha tenido, dice.*

R: Sí, hemos tenido; porque hoy en día hay algo, pero mucho menos. Realmente en EE UU la investigación en temas avanzados nucleares ahora está concentrada en otros laboratorios y no abarca un rango muy amplio tampoco.

P: *¿Y en seguridad nuclear?*

R: Fue en los años 70, antes de que estuviera yo en el laboratorio, así que no podría entrar en muchos detalles. Actualmente en ese terreno no se trabaja.

P: *Creo que sí trabajan en detección de nubes radiactivas.*

R: En ese aspecto sí. Por ejemplo, tenemos un centro de investigación atmosférica que funciona 24 horas al día y siete días a la semana y que depende del Department of Homeland Security (DHS, Ministerio de Seguridad Interior), donde se utiliza para todas las emergencias de emisiones a la atmósfera, ya sean de productos químicos, industriales o radiactivos. Ese centro fue activado nada más ocurrir Fukushima por el DHS y por el Department of Energy (DOE, Ministerio de Energía), y participó desde el primer momento en todos los temas de detección y seguimiento de las nubes radiactivas, con muchos análisis isotópicos etc. Allí se hacen predicciones sobre la evolución de esas nubes radiactivas, basadas en los modelos y sistemas de computación que tenemos y de las predicciones meteorológicas.

P: *Se habló de que iba a llegar radiactividad a las costas de California*

R: Hubo voces alarmistas, y tuvimos que desmentirlo. Tuvimos una participación importante en este caso, porque pudimos calcular perfectamente que no iba a ser así, que las emisiones que se estaban produciendo, cuando llegaran a California, estarían tan diluidas que no tendrían ningún efecto sobre el medio ambiente.

complejo que es muy difícil extraer información de detalle.

P: *El bosque no deja ver los árboles.*

Exacto.

P: *¿Y NIF va a cumplir parte de esta función?*

R: El NIF está cumpliendo una función fundamental en este tema porque nos está permitiendo realizar los experimentos en condiciones energéticas, de presión y de temperatura a las que nunca se había llegado y nos está dando resultados espectaculares. Es fantástico. En presión, por ejemplo, llegas a condiciones semejantes a las que pueden existir, por ejemplo, en planetas gigantes, con presiones dinámicas de 100 megabares, algo que hemos conseguido hace poco.

P: *Pero el objetivo de conseguir reacciones de fusión en NIF se están retrasando ¿no?*

R: Llevamos un año haciendo experimentos que van en la dirección adecuada para llegar al punto de fusión dentro de NIF. Hemos progresado mucho y estamos entendiendo cosas nuevas y ajustando modelos y conocimientos. Estamos haciendo progresos, obteniendo dentro de la cámara, por ejemplo, diagnósticos de rayos X, de rayos gamma y de neutrones

nucleares. La máquina funciona fantásticamente; hemos llegado a los dos megajulios, que es un récord de energía: 100 veces más que el anterior; los sistemas ópticos están dando muy buen resultado, gracias a toda la investigación que hemos hecho en los últimos 10 años para entender el daño en los materiales de los equipos ópticos; y ahora nos estamos acercando a las cantidades de neutrones emitidos que nos indican que se ha producido la fusión.

P: *Creo que ha habido algún problema con la microesfera donde va el combustible.*

R: No, simplemente lo que hemos hecho es ir mejorando poco a poco, según vas cogiendo más práctica con la fabricación de estos sistemas, que nunca antes de habían fabricado a este nivel y en estas cantidades. Vamos aprendiendo y vamos cambiando. Desde el principio hemos ido mejorando la calidad de las capas internas de deuterio y tritio y de las capas externas. Así es la tecnología, según vas aprendiendo vas mejorando, pero no ha habido ninguna cosa que exigiera un parón y un cambio radical.

P: *El cilindro donde va la cápsula, ¿ha funcionado bien?*

R: Desde el primer momento, en 2010, los experimentos demostraron que las temperaturas que se podían conseguir eran las adecuadas, las predichas, 300 electronvoltios, y eso funciona muy bien y la interacción del láser con el plasma es lo suficientemente baja para que no haya desarreglos. En ese aspecto, la física atómica funciona tal como se había calculado, y eso nos ha dado mucha confianza en que podemos conseguirlo.

P: ¿Para cuándo la primera reacción de fusión?

R: Es un poco difícil de predecir, porque la naturaleza te da sorpresas y no le gusta soltar sus secretos fácilmente, pero estamos acercándonos. Los experimentos van por el camino previsto y este verano estamos haciendo nuevos experimentos, tras un periodo de mantenimiento del láser en el que hemos estado parados.

P: ¿Podemos decir que en 2013?

R: Tenemos mucha confianza en que los experimentos próximos nos marquen el camino hacia la fusión en los próximos meses o en el año que viene, digamos. Es lo esperable, pero es difícil poner una fecha en estas cosas.

P: Imagino que hay una serie de pasos que hay que dar antes.

R: Claro. Nosotros ahora vamos a hacer experimentos enfocados a aumentar la velocidad de la implosión de la cápsula y minimizar la mezcla entre las diferentes capas de deuterio y tritio dentro de la cápsula y el plástico de fuera.

P: Las esferas que se están utilizando hasta ahora tienen ya deuterio y tritio.

R: Sí, sí. En capa sólida y con gas dentro y la capa de plástico de fuera; el diseño que siempre hubo. Hemos estado haciendo experimentos entre 1,2 y 1,4 megajulios y ahora vamos a subir la energía a 1,8 megajulios, 500 terawattios de potencia.

P: ¿Con qué energía es esperable que se produzca la reacción?

R: Según el diseño original, hacia esos 1,8 megajulios. Hemos estado haciendo muchos experimentos para entender bien la física de todo esto y los parámetros, la entropía del combustible, la presión... todo; y ahora vamos a subir la energía y llegar a las condiciones en las que se puede producir la fusión. Pero como digo ya veremos qué sorpresas aparecen por el camino. Tenemos a mucha gente trabajando en ello, tanto dentro del laboratorio como fuera, y

muchas reuniones con expertos mundiales en el tema para discutir sobre los mejores caminos a seguir, de los parámetros a los que llegar.

P: Otro de los ámbitos que estudian tiene que ver más con su formación, que es en ciencia de materiales. Imagino que las paredes de la cámara, que reciben intensa radiación, son objeto de especial interés.

R: No. En el NIF ahora no, porque las capsulas de fusión van a producir muy pocos neutrones. Hay que tener en cuenta que cuando se hace el experimento se hace una sola reacción; no es como en una planta de fusión comercial, en la que tendrá que haber 10 o 15 reacciones por segundo. Por tanto, el flujo total de neutrones es mínimo. Fuera de NIF trabajamos mucho en estas cuestiones y en anticipar lo que van a ser las necesidades de materiales para el día en que se plantee una planta comercial, pero no dentro de NIF.

P: La ciencia de materiales es otro de los pilares del LLNL.

R: Yo siempre digo que hay tres pilares en Lawrence, láser, porque incluso hay gente que dice que LLNL significa *Lasers, Lasers and Nothing but Lasers* (láseres, láseres y nada más que láseres); el segundo es computación, y muestra de ello es que acabamos de instalar aquí el superordenador más potente del mundo, tal como se anunció en la conferencia de supercomputación de Alemania de este verano; y el tercero, materiales y física.

P: ¿Materiales para qué tipo de aplicaciones?

R: Hay mucha investigación en materiales para energía y también en materiales para sensores, diseño de sensores y detectores de radiación; en cosas que incluyen no solo la ciencia de materiales sino también la biología y la química, en una intersección donde se usan estos sistemas de nanotecnología para aplicaciones en contrterrorismo biológico o químico. Hay muchos grupos que trabajan en estas cosas.

P: La computación imagino que es porque simular eventos nucleares exige una gigantesca capacidad de computación.

R: Enorme, de ahí han salido esos grandes ordenadores, que empezaron realmente con el programa

“

Acabamos de inaugurar en nuestras instalaciones el supercomputador más potente del mundo

”

de Stockpile Stewardship. Hubo una decisión en 1994 de crear centros de supercomputación y aumentar la capacidad de computación de entonces en seis órdenes de magnitud, que era lo que se necesitaba para llegar a hacer cálculos válidos. Se pusieron superordenadores en Los Alamos, Sandia y Livermore y ese programa sigue vigente. Ya hemos sobrepasado las previsiones iniciales del programa, que eran 100 teraflops (billones de operaciones de coma flotante por segundo), y hemos llegado a varios petaflops (miles de billones) y la máquina nueva llegará a 20 petaflops. De ahí seguiremos hasta alcanzar el exaflops (trillones; es decir, 10^{18}), aunque eso va a ser mucho más difícil. Un problema importante es que la cantidad de electricidad que necesita una máquina para computar ese trillón de operaciones por segundo es enorme. Es como si necesitaras un reactor nuclear para simular lo que ocurre en un reactor nuclear, lo cual no tiene mucho sentido. Así que para

llegar a esos niveles hará falta también innovación en el consumo de energía de los ordenadores.

P: ¿El supercomputador lo diseñan en el LLNL o se encarga fuera?

R: Las dos cosas, tenemos un grupo de arquitectura de computación muy, muy fuerte, que trabaja junto con las empresas que luego nos proveen de los equipos. Es decir, la decisión de comprar un ordenador a una empresa u otra se hace por medio de un concurso público, y se decide en

función de las características y el precio. Luego trabajamos junto con la empresa, normalmente IBM, pero también trabajamos con INTEL y otras, para diseñar la función y optimizar el resultado. Normalmente las máquinas que compramos son las primeras del mundo, nunca compramos la segunda o la tercera, siempre arquitecturas y elementos nuevos, por delante de la tecnología. Y también tenemos equipos muy buenos en el diseño de *software* científico para estas máquinas.

P: ¿Antes de este supercomputador, habían estado en el nº 1 de la lista?

R: Estuvimos durante siete años seguidos con Blue Gene/L, 500 teraflops, que fue una revolución porque mejoró lo anterior en un factor de 5, y tardó mucho en ser superada. Se desarrolló junto con IBM.

P: ¿Se utiliza este supercomputador para otro tipo de investigaciones?

R: En realidad estamos instalando dos ordenadores, el de 20 petaflops, que se utilizará para temas clasificados, y otro que será de 10 petaflops, y se empleará en la parte abierta del laboratorio. En la parte clasificada, los temas están muy bien definidos y trabajamos conjuntamente con otros laboratorios nacionales, como Los Alamos y Sandia. En la parte abierta, se usan en diferentes aplicaciones. Por ejemplo, tenemos un grupo de clima, ya que somos el repositorio de todos los modelos internacionales de cambio climático y cambio global, y en esos ordenadores se comparan los modelos y esa información se utiliza para las decisiones del IPCC (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático). También tenemos mucha investigación en proteínas y biología, tanto para la defensa contra el terrorismo biológico como para empresas farmacéuticas para diseñar nuevos fármacos. Y estamos haciendo contratos con empresas para utilizar esta capacidad de computación en acelerar la introducción de tecnologías nuevas. Se trata de acelerar el ciclo de innovación; es decir, el tiempo que tarda un nuevo material o nueva tecnología, desde su descubrimiento hasta la aplicación comercial.

P: ¿Cuál es la proporción de parte militar, secreta, y civil del LLNL?

R: A grandes rasgos podemos decir que dos tercios son investigación reservada y un tercio abierta.

P: ¿Originalmente era así también?

R: No, era 90-10. Siempre hubo en Livermore un programa de fusión magnética, que sigue, porque entre la gente que vino al principio de Berkeley había expertos en fusión magnética, con física de plasmas, y siempre fue 90-10 o 95-5 o así.

P: Ustedes tienen un programa, el LIFE, para el desarrollo de un reactor híbrido, de fisión y fusión, ¿cómo va esa investigación?

R: No era una idea nueva, porque ya (Andrei) Sajavov en los 50 lo había propuesto, cuando diseñó los tokamaks, y hemos explorado esa vía, pero en un momento determinamos y decidimos que era más interesante, de momento, enfocarse en la fusión. Cuando se consiga quizá decidamos hacer un híbrido, pero en principio nos hemos enfocado en fusión. El programa LIFE no está parado, hay un grupo muy activo haciendo diseños de ingeniería, pero ahora mismo no es una prioridad.

Dos tercios de la actividad del LLNL es secreta y un tercio abierta a la investigación civil



Tomás Díaz de la Rubia (derecha) e Ignacio Fernández Bayo, durante la entrevista.

P: Dependerá también de si la ganancia energética con fusión es suficiente.

R: Sí, pero nosotros somos muy optimistas sobre la ganancia energética que se conseguirá con la fusión, porque subir la barrera de la ganancia energética será posible mejorando diseños y con láseres más potentes.

P: ¿En los experimentos de NIF se fusionará todo el deuterio y el tritio que hay en la esfera de combustible?

R: No, solamente una fracción, no sé exactamente cuánto. Ahí podría estar la clave de la ganancia energética. Y hay diseños que permiten también mejorar.

P: ¿No le vendría bien al NIF un poco de competencia, como el Megajoule de Francia?

R: Nos viene bien, el láser Megajoule lo seguimos muy de cerca y trabajamos mucho con ellos, y está claro que tanto los chinos como los rusos van a construir máquinas parecidas al NIF para trabajar en este campo.

P: ¿Hay planes concretos o sospechas?

R: Creo que hay planes concretos en China, aunque no hay mucha información sobre ello, y en Rusia está empezando a haber también, porque si NIF lo consigue, habrá una aceleración en el desarrollo de máquinas de fusión inercial en la comunidad internacional.

P: ¿Cree que el proyecto europeo HiPER de fusión inercial (en el que participa España) llegará a ser realidad?

R: Sí, yo creo que sí. Es un concepto muy interesante, pero todo depende de lo que pase en estos años con NIF. Una cosa es diseñar reactores en el papel y hacer el diseño de ingeniería y otra empezar a construir.

P: Así que todos los demás proyectos están a la espera de lo que pase en NIF.

R: Exacto. Tenemos una responsabilidad muy grande.

P: ¿Tienen una relación fuerte con la NRC; son su brazo armado en investigación?

R: No. Realmente no tenemos una gran relación. En los años 70 y 80 sí la hubo, pero ahora no, porque en la parte civil no participamos ya tanto. Nuestro regulador no es la NRC, que es quien se ocupa de la parte civil de la energía nuclear, sino el DOE, que también tiene una parte reguladora nuclear y trabajamos con ellos.

P: ¿No es una pena que hayan dejado de investigar en la generación IV de fisión?

R: Hay otros laboratorios nacionales, como Oak Ridge, Idaho y Argo, que están mucho más metidos en eso y son la referencia para el DOE. Nosotros trabajamos con estos laboratorios en temas de materiales y simulación, pero nuestro enfoque es la fusión y ya está. No se puede hacer todo. 



› Antoni Gurguí*
y Antonio Munuera**

* Antoni Gurguí i Ferrer,
consejero del Consejo de Seguridad
Nuclear y vicepresidente del Plenario
del *peer review* de las pruebas
de resistencia europeas.

** Antonio Munuera Bassols,
subdirector de Ingeniería
y adjunto al coordinador del Grupo
de Accidentes Severos
y coordinador del Grupo de Revisión
que realizó las visitas a
Eslovenia, Francia y Bélgica.

La revisión inter pares (*peer review*) de las pruebas europeas de resistencia post-Fukushima

El proceso de pruebas de resistencia a las centrales nucleares europeas, puesto en marcha a raíz del accidente de Fukushima, arrancó con los informes que llevaron a cabo los titulares, prosiguió con las evaluaciones de dichos trabajos por parte de las autoridades reguladoras de cada país y el posterior envío de los informes nacionales a la Comisión Europea. Finalmente, se ha procedido a revisar cada uno de estos informes por parte de expertos y representantes de diferentes países. Es lo que se conoce como revisión inter pares (o *peer review*, como se denominan internacionalmente). Representantes españoles han participado activamente en todo el proceso de revisión inter pares y en las visitas a Holanda, Alemania, Suiza, Eslovenia, Francia y Bélgica. Este artículo explica el proceso realizado e incluye, a modo de ejemplo, una descripción de los resultados de estos tres últimos países.

A l accidente de Fukushima Daiichi le siguió una fuerte y lógica repercusión mediática y pública. Por ello, no es sorprendente que los diversos estamentos políticos rápidamente se involucrasen en el tema: desde estados que dieron un giro súbito a su política energética hasta entidades municipales exigiendo el cierre de instalaciones más o menos cercanas. La Unión Europea, en particular, a pesar de no tener competencias en este ámbito, difícilmente podía permanecer ajena a la cuestión, por lo que fueron múltiples las iniciativas hasta conseguir forzar un proceso de revisión de la fortaleza de las centrales nucleares europeas en coordinación con los reguladores. La primera propuesta fue tan abstracta como decir que debían hacerse unos *test de estrés*, seguramente por analogía con la propuesta que se había hecho anteriormente con el sector financiero. Este concepto, a priori tan ambiguo, se recogió primero por parte de ENSREG¹ y después de WENRA², quienes lo reconvirtieron a un conjunto de análisis de la capacidad de respuesta de las centrales a sucesos mas allá de las bases de diseño, iniciando un proceso que culminó con las pruebas de resistencia. Con ello se consiguió reenfocar el esfuerzo hacia un ejercicio capaz de aportar valor real

a la seguridad de las centrales, huyendo de la idea de un *examen* puramente académico, con aprobados y suspendidos, como esperaban algunos. A la vista de lo sucedido con el sector financiero, debemos congratularnos de este giro. La presión mediática es a menudo mala compañera cuando se trata de temas tan técnicos y complejos como es la seguridad nuclear.

Las pruebas de resistencia han sido descritas ampliamente en esta misma revista³, y sus conclusiones y, sobre todo, las actuaciones que de ellas se derivan son el núcleo del ejercicio llevado a cabo. De poco sirve saber que en Fukushima el venteo fue un tema crítico en el desarrollo del accidente; lo importante es que en breve todas las plantas españolas estarán obligadas a disponer de venteos filtrados. Por parte de los reguladores, con las pruebas de resistencia se pretendía incorporar aquellas mejoras que garantizaran que en situaciones análogas a Fukushima el impacto en el exterior quedaría mucho mas acotado.

No obstante, ya desde el principio se acordó que las pruebas de resistencia serían seguidas de una revisión *inter pares* (*peer review*, en inglés) en la cual se revisarían por todos los reguladores los informes nacionales respectivos. Es decir, que



Fachada del edificio de la Comisión Europea.

aunque la parte más significativa del ejercicio ya quedaba completada, por razones de visibilidad, confianza y transparencia, el proceso se sometería a un examen cruzado en el que todos los reguladores —más la UE— revisarían las conclusiones individuales de cada país, a fin de constatar el rigor y la consistencia de los respectivos tratamientos de las debilidades encontradas.

Todo el proceso del *peer review* en general estuvo muy influenciado por la estructura y desarrollo de las misiones IRRS del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y misiones similares en el mundo nuclear. Una revisión *inter pares* hecha más en la línea de las que se desarrollan en el ámbito de la I+D o en el académico, habría sido un proceso diferente, probablemente más enfocado a analizar el rigor y la coherencia de las diversas propuestas y a la comparación entre ellas. Si este hubiese sido el enfoque adoptado en el ejercicio de las pruebas de resistencia y su revisión, sin duda se hubiese puesto de manifiesto que las pruebas de resistencia que se han llevado a cabo en España han sido de las más rigurosas y exigentes a nivel europeo. Aunque se trata de un ejercicio pendien-

te, cuando, en el futuro, alguien lleve a cabo el ejercicio de comparación entre las medidas adoptadas por los diferentes países como consecuencia de las pruebas de resistencia, se constatará que a las centrales nucleares españolas se les ha exigido un muy alto nivel de resistencia y unos plazos de aplicación de las medidas extremadamente ambiciosos.

Como se dijo, el núcleo de las pruebas de resistencia y la parte más importante de todo el ejercicio, son los informes de los titulares, los de los reguladores y, sobre todo, las Instrucciones Técnicas Complementarias que los organismos reguladores han emitido y emitirán a fin de que se implanten las medidas derivadas de las lecciones aprendidas de Fukushima. No obstante, el proceso en su conjunto, y en particular la fase de revisión *inter pares*, han resultado un excelente foro para contrastar y compartir experiencias entre países y, de alguna manera, verificar el valor añadido de las medidas que se exigirán.

Las pruebas de resistencia y su revisión se han realizado siguiendo tres etapas. En la primera, los titulares de las autorizaciones de las instalaciones presentaron una evaluación de cada insta-

lación, teniendo en cuenta cada uno de los tres temas a analizar, o *topics* (sucesos externos, pérdida de sistemas y gestión de accidentes severos), con el objetivo de identificar en cada caso el cumplimiento con las bases de licencia, la existencia de márgenes por encima del diseño y la posibilidad de incorporar mejoras en la instalación. La segunda correspondió a los organismos reguladores nacionales, que realizaron una revisión independiente de las evaluaciones realizadas por los operadores y que se concretaron en un informe nacional presentado a la Comisión Europea a finales de 2011. Finalmente, la tercera ha consistido en esta revisión *inter pares* a nivel europeo de los informes nacionales presentados por cada uno de los distintos organismos reguladores.

Desarrollo de la revisión

La revisión *inter pares* tenía como objetivo final comprobar la conformidad de los informes nacionales con las especificaciones para las pruebas de resistencia aprobadas por ENSREG y, en consecuencia, comprobar que nada importante se había pasado por alto, e identificar la robustez, los puntos débiles y las posibles mejoras relevantes a incorporar en las centrales nucleares, a la luz de las lecciones aprendidas del desastre de Fukushima. Esta ha sido la primera vez que se ha llevado a cabo un ejercicio multilateral de esta naturaleza sobre más de 140 reactores, que ha incluido no solo los existentes en los países de Unión Europea sino también en Suiza y en Ucrania.

Los titulares presentaron sus informes de progreso el 15 de agosto de 2011 y los informes finales el 31 de octubre. Por su parte, los organismos reguladores concluyeron sus informes nacionales definitivos el 31 de diciembre. Para la revisión *inter pares*, cada organismo regulador de los países participantes en este proceso tuvo la opción de designar a un experto

nacional para participar en cada uno de los tres *topics* analizados (sucesos externos, pérdida de sistemas y gestión de accidentes severos). En el caso del CSN se propuso la participación del jefe del Área de Ciencias de la Tierra (Antonio Jiménez Juan), del jefe del Área de Sistemas Eléctricos e Instrumentación y Control (Alfonso Pérez Rodríguez) y del subdirector de Ingeniería (Antonio Munuera), para cada uno de los grupos de revisión de cada *topic*. En el tercero de ellos (gestión de accidentes severos) la participación fue como adjunto al coordinador de este grupo y, consecuentemente, en el proceso posterior le correspondió la función de coordinador del grupo de revisión que realizó las visitas a Eslovenia, Francia y Bélgica. La revisión *interpares* fue gestionada por un grupo de coordinación compuesto por siete representantes de alto nivel procedentes tanto de organismos reguladores como de la Comisión Europea. El consejero del CSN Antoni Gurgu, participó en dicho grupo como vicepresidente.

A partir de la designación de los expertos nacionales, como se ha mencionado más arriba, se constituyeron tres grupos, uno para cada *topic*, en los que estaban presentes expertos con gran experiencia en temas de seguridad nuclear, personal científico procedente de universidades y centros de investigación y consultores designados por los organismos reguladores. La Comisión Europea también asignó expertos a cada uno de estos tres grupos. Con todo ello se contó con la participación del orden de 70 expertos de 24 nacionalidades, a los que se sumaron observadores de otros países no comunitarios (como Canadá, Croacia, Japón, Emiratos Árabes y Estados Unidos) y del OIEA.

La revisión *interpares* propiamente dicha comenzó el 1 de enero de 2012, mediante una revisión de cada uno de los informes nacionales presentados por los organismos reguladores. Los expertos

asignados a cada uno de los *topics* tuvieron acceso a los informes nacionales presentados por cada país e iniciaron un proceso de preguntas y respuestas. Para tratar de conseguir que hubiese una distribución razonable de preguntas, los expertos asignados a cada tema se distribuyeron en subgrupos de revisión con la finalidad de abarcar los informes de todos los países. En cualquier caso, cada experto pudo generar las preguntas escritas que consideró oportunas, que se canalizaron por la Comisión Europea al organismo regulador correspondiente. En esta fase de revisión se generaron más de 1.800 preguntas en total a los 17 informes nacionales, de las cuales España recibió 176 preguntas y realizó 126.

Una vez finalizada esta fase de trabajo de despacho, que tuvo lugar dentro del mes de enero de 2012, todos los expertos designados se reunieron, distribuidos en tres grupos, en Luxemburgo a partir del día 5 de febrero y durante dos semanas seguidas sin interrupción se realizó una revisión completa de cada uno de los temas correspondientes a cada país. Esto constituyó lo que se llamó una revisión horizontal.

Estas reuniones para cada uno de los tres *topics* (sucesos externos, pérdida de sistemas y gestión de accidentes severos) se realizaron en paralelo de forma separada. Cada uno de estos grupos estuvo compuesto por 23 o más expertos, y se reunió consecutivamente con representantes de cada uno de los 17 organismos reguladores. Estos contaron con el apoyo que cada organismo regulador consideró oportuno. A cada país se le reservaron dos horas y media para exponer su informe nacional, presentar las respuestas a las preguntas recibidas y responder a las preguntas dentro de la propia reunión. En cada grupo se había designado previamente entre los expertos propuestos un coordinador y un suplente, así como el correspondiente secretario (designado por la CE). Para la elaboración

del informe de cada país en ese *topic*, se había acordado con anterioridad que los editores/revisores asignados en cada subgrupo de revisión deberían disponer de un borrador previo a la presentación de cada país. Por ello, el día anterior a la presentación de cada país, el coordinador y el coordinador adjunto se reunieron con cada subgrupo para transmitir los comentarios a ese borrador inicial. Adicionalmente, al día siguiente a la presentación de cada país se mantuvieron reuniones con cada uno de los subgrupos para revisar de nuevo el borrador del informe de cada país en cada uno de los temas.

Los hallazgos que surgieron en esta revisión horizontal se debatieron dentro de cada grupo al final de este proceso, y fueron la base para la elaboración de un informe global de cada *topic*, destacando los aspectos identificados más significativos en cada uno de los tres, de forma genérica para el conjunto de los 17 países analizados. Esta revisión horizontal generó también un informe nacional de cada país, en cada uno de los tres apartados, referido ya a los aspectos concretos del país en cuestión.

Los tres informes nacionales de cada *topic*, debidamente unificados, constituyeron la base del informe *vertical* de cada país, mientras que los informes globales elaborados en cada apartado constituyeron la base de partida para el primer borrador de informe *horizontal* global.

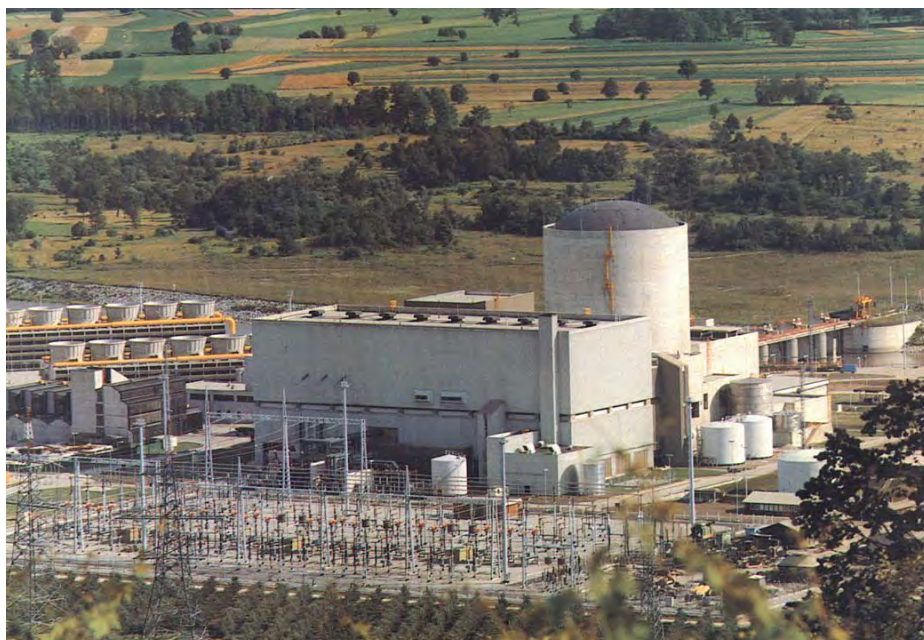
El siguiente paso en la revisión *interpares* consistió en realizar en cada país una revisión que hemos denominado *vertical*. Para ello se organizaron seis grupos, cada uno de ellos compuesto por unos ocho expertos, de los cuales uno actuaba de coordinador, dos pertenecían a la CE (uno como experto que había participado en la revisión *horizontal* en Luxemburgo y otro como secretario-*rapporteur*) y los otros cinco seleccionados entre los participantes en cada uno de los grupos de revisión *horizontal*. Durante

tres semanas consecutivas del mes de marzo de 2012, cada uno de estos grupos llevó a cabo las visitas a los 17 países. En todos los casos se incluyó una visita al emplazamiento de una central cuya selección correspondió al propio grupo de revisión. El objeto de esta revisión *vertical* fue el informe nacional de cada país, elaborado como borrador en la reunión de Luxemburgo, para abordar los puntos abiertos que se habían identificado, descartar errores de interpretación, facilitar el acceso directo a la información o documentación y permitir la observación directa de los temas de interés.

Cada organismo regulador nacional que recibió la visita, tuvo la oportunidad de hacer observaciones o comentarios al informe nacional antes de su última edición, aunque la decisión de aceptar, o no, los cambios se mantuvo en el equipo de revisión. Los 17 informes de los países se incluyen como anexos al informe final elaborado por el grupo de coordinación. En este proceso también se ha tenido en cuenta la posible implicación de la sociedad, y para ello todos los informes nacionales se han hecho públicos en inglés y, la mayoría de ellos, también en la versión original en la lengua nacional.

Figura 1. Características de la central nuclear de Krsko

Propietario	GEN Energija-50% HEP-50%
Operador	Nuklearna elektrarna Krsko
NSSS suministrador	Westinghouse
Tipo de reactor	PWR (dos lazos)
Permiso de construcción	1975
Operación comercial	1983
Licencia de operación	40 años
Número de empleados	626
Potencia	727 MW



Vista general de la central de Krsko.

El informe final de la revisión *inter pares* junto con los anexos de la revisión del país es también accesible para el público, en la página web de ENSREG. En enero de 2012 se llevó a cabo asimismo un evento público para informar a las partes implicadas y recibir comentarios. Las sugerencias fueron recogidas en una página web pública y tenidas en cuenta durante el proceso de revisión *inter pares*. Los comentarios recibidos relativos a los países, o a los reactores específicos, se remitieron a los reguladores nacionales, y también influyeron en la estructura del informe final. También se realizó otro acto público adicional, en Bruselas el 8 de mayo de 2012, en el que se presentaron los resultados finales.

Ejemplos de resultados obtenidos en las *peer review*

Como se ha indicado, el CSN estuvo ampliamente representado tanto en la revisión horizontal como en la vertical, asignado a la coordinación de la visitas a tres países (Eslovenia, Francia y Bélgica), por lo que serán los que nos sirvan de ejemplo para presentar a continuación los resultados más relevantes. Hay que destacar que los resultados no son homogéneos entre los 17 países, pero sería excesivamente prolijo detallar las diferencias, y los ejemplos que siguen ilustran perfectamente la tipología de actuaciones que se están planteando a nivel europeo para reforzar la robustez de las centrales nucleares frente a sucesos excepcionales.

Eslovenia

Eslovenia dispone de un único reactor (Krsko, diseño PWR- dos lazos) con una potencia eléctrica de 727 MWe. Esta central está en operación comercial desde 1983 y su propiedad y gestión es compartida al 50% entre Eslovenia y Croacia. El sistema regulador que se ha seguido en Eslovenia es una adaptación del existente en EEUU (país de origen de la tecnología)

Tabla 1: Pruebas de resistencia en Eslovenia. Resultados destacables

Los niveles de referencia de WENRA incorporados en la regulación
La revisión periódica de seguridad como una herramienta reguladora
Evidencias sísmicas: SSE 0,3g, margen sísmico 0,6g (nuevo GD 3º y almacén de equipo móvil]
Inundaciones y condiciones meteorológicas extremas: emplazamiento seco; la rotura de presas aguas arriba no es una amenaza

Tabla 2: Plan de acción y mejoras previstas (finales de 2015)

Control de H ₂ para accidente severo
No dispone de venteo filtrado de la contención
Acceso a la instalación en caso de afectar al puente sobre el río Sava
Mejoras iniciadas: nuevo DG (3º), nuevo diesel móvil (2 MVA), protección del dique y construcción de una sala de control de emergencia
Nuevo tren de ESFAS (tercer tren ESFAS: GD 3º, bomba IS y de AFW) en bunker y sala de control de emergencia
Instalación de FCV y PAR's
UHS alternativo
Control manual de la turbobomba de AFW
Inyección a la cavidad y rociado de la contención (<i>fire pump</i>)
Uso extensivo de equipo móvil: DG, bombas PCI, conexiones rápidas

modificaciones y entre ellas la sustitución de los generadores de vapor (a un modelo F), aumento de potencia (de 664 MWe iniciales a los 727 MWe actuales), sustitución de la turbina de baja, ciclo de 18 meses (aumento de enriquecimiento, combustible con vainas de zirlo, *re-racking* de la piscina de combustible gastado), sustitución de la tapa de la vasisa o incorporación de un simulador de alcance total.

Con posterioridad al accidente de Fukushima, en la central se han incorporado un conjunto de mejoras, entre las que destaca la del equipo móvil (generadores diesel de baja y media tensión y bombas de baja y media presión), así como la instalación de conexiones rápidas para estos equipos.

El grupo encargado de la revisión inter pares llevó a cabo una visita a la central, además de entrevistarse con los representantes del organismo regulador (SNSA), así como de la institución que le proporciona soporte técnico y del operador de la central, en su sede central en Ljubljana. En esta visita se recorrió la instalación según un itinerario previamente definido por el propio grupo revisor, lo que permitió observar directamente la disposición de los equipos ya instalados y las actividades en curso, de acuerdo con el plan de acción. Los aspectos más destacables en esta central que se han puesto de manifiesto tras las pruebas de resistencia se incluyen en la tabla 1.

El titular de la instalación presentó al organismo regulador de Eslovenia un plan de acción, que se espera pueda estar finalizado a finales de 2015, en el que se incluyen entre otras las mejoras que se describen en la tabla 2. De ellas destaca la mejora ya iniciada para disponer de un nuevo tren de salvaguardias (tercer tren EFAS), compuesto por un nuevo generador diesel, una bomba de agua de alimentación auxiliar y de inyección de seguridad ubicadas en un nuevo edificio

Figura 2: Ubicación de las centrales nucleares en Francia

- 34 reactores de la serie 900MWe (PWR- 3 lazos):
- 4 de la serie CPD (4 en Bugey, reactores 2 a 5) y en Fessenheim:
 - Serie CPY, comprende 28 restantes:
 - 18 CP1 (Le Blayais, Dampierre, Gravelines and Tricastin), y
 - 10 CP2 (Chinon, Cruas-Meyssse and Saint-Laurent-des-Eaux).
- 20 reactores de la serie 1300MWe (PWR- 4 lazos):
- 8 de la serie P4 reactores (Flamanville, Paluel y Saint-Alban)
 - 12 de la serie P4 reactores (Bellville-sur-Loire, Cattenom, Golfech, Nogent, Penly)
- 20 reactores de la serie N4, de 1.450 MWe (PWR- 4 lazos) (Chooz y Civaux)
- 1 EPR en construcción (PWR-4 lazos)
- 900 MWe PWR series
 - ▲ 1.300 MWe PWR series
 - ▼ 1.450 MWe PWR series
 - ▲ 1.600 MWe PWR series (under construction)

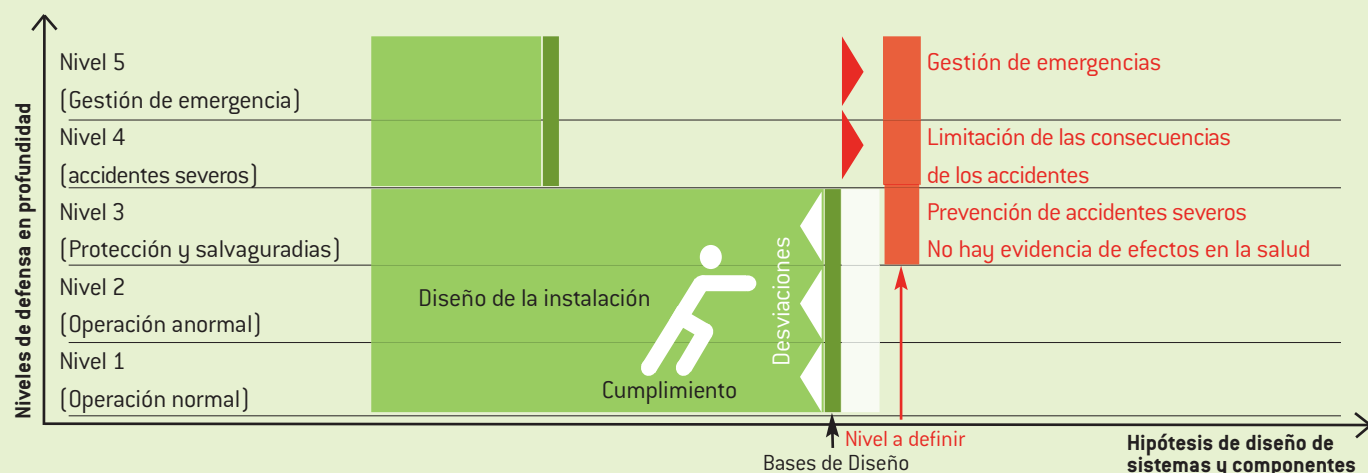


y por ello la central dispone de licencia de operación válida por un plazo de 40 años y se espera que obtenga una renovación de la licencia para más allá de

2023 por otros 20 años más. Dentro del proceso continuo de modernización de la instalación, desde su operación comercial se han incorporado numerosas

Figura 3: Concepto de sistemas pertenecientes al núcleo duro (*hardened safety core*)

Sistemas que forman parte de núcleo duro que deben estar protegidos frente a sucesos externos, incendios, explosiones, etc.

**Tabla 3: Pruebas de resistencia en Francia. Resultados destacables**

La ASN ha identificado más de 40 requisitos y análisis (corto y largo plazo)

Impondrá un rango de requisitos (evaluación del margen sísmico, fenómenos climáticos en las RPS, listado de equipo de núcleo duro, accidentes severos en varias unidades, habitabilidad de la sala de control y de emergencia, uso de equipo móvil, protección de contaminación de agua subterránea, retención del corium ex-vessel, instrumentación, optimización de FCV, etc.)

A final de año emitirá órdenes específicas para cada planta (tras evaluar las respuestas que se esperaban para finales de abril)

La lista de equipo de núcleo duro se esperaba que estuviera definida en junio de 2012.

Este equipo específico de cada planta estará protegido frente a sucesos naturales

Grupo de intervención rápido: FARN (24 h) a nivel nacional con personal de EDF

tipo bunker (actualmente en construcción), en el que además se ubicará una nueva sala de control de emergencia desde la que se podrá llevar a cabo la parada segura de la instalación y operar ese equipo dedicado para gestión de emergencias (SAME). Este edificio se diseña para ser capaz de resistir un sismo que produjera una aceleración horizontal de 0,6 g (el doble de la del DBE).

Francia

Dispone de 58 reactores en funcionamiento, de diseño PWR (34 de la serie 900 MWe, 20 de la serie 1.300 MWe y cuatro de la serie N4, de 1.450 MWe). Además está en construcción un reactor de diseño EPR (PWR-cuatro lazos) en Flamanville. El titular único de las centrales nucleares en funcionamiento en Francia es EDF, con reactores suministrados en su momento por Framatome (ahora integrada en AREVA). La ubicación de las centrales nucleares en Francia se describe en la figura 2.

La Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN), como organismo regulador en Francia, considera que las centrales nucleares en funcionamiento cumplen con las bases de licencia presentes en las normas nacionales y en la regulación francesa. La

Tabla 4: Plan de Acción y Mejoras previstas (finales de 2018)

Los niveles de referencia de WENRA RL están pendientes de implantación

Los análisis no cubren por completo las condiciones meteorológicas extremas

Las inundaciones han requerido estudios adicionales

Autonomía de las baterías 1h (serie 900)

La habitabilidad de la sala de control debe mantenerse

El equipo para accidentes severos (SAM) no cualificado sísmicamente

FCV

Control de H₂

PARs

Áreas de mejora: completar el análisis del comportamiento de diques, FCV y riesgo de H₂, analizar posibilidad de UHS alternativo, habitabilidad de sala de control, SAMG para accidentes simultáneo en todas las unidades y en SFP, cualificación de equipo vital, vigilancia de radiación (*monitoring*), refrigeración de la SFP, instrumentación, etc.

Plan de acción (hasta 2018)

ASN dispone de un sistema para identificar las posibles desviaciones del cumplimiento de las bases de licencia, tanto en operación normal como durante pruebas periódicas y mantenimiento, así como durante las revisiones periódicas de seguridad que se llevan a cabo cada diez años. Este sistema se ha reforzado a partir de una orden ministerial emitida en febrero de 2012.

Tras el accidente de Fukushima Daiichi, se ha llevado a cabo una evaluación complementaria de la seguridad de las centrales. La estrategia seguida para mejorar la seguridad de las centrales nucleares, frente a sucesos externos más allá de la base de diseño, ha llevado a incorporar un sistema más robusto basado en análisis y evaluaciones que han identificado un número relativamente elevado de modificaciones. Entre ellas se ha identificado el concepto de que los sistemas que forman parte del núcleo duro (*hardened safety core*) deben estar adecuadamente protegidos frente a sucesos externos, incendio, inundaciones y explosiones. De esta forma existirán garantías de que esos sistemas puedan estar disponibles en las situaciones extremas consideradas. Se espera que la compañía eléctrica EDF elabore la lista final de los sistemas que forman parte de esta clasificación, que será específica para cada instalación, y que a finales de este año se disponga de la evaluación correspondiente por parte de la ASN. La figura 3 que aparece en la página anterior, pretende resumir cómo surge la idea de los sistemas que componen ese núcleo duro, concepto que no está limitado a los sistemas sino que incluye también los métodos y organizaciones necesarios para prevenir la ocurrencia de accidentes severos, la limitación de sus consecuencias y la gestión de la emergencia.

Un resumen de los resultados más destacables se incluye en la tabla 3

Un aspecto adicional es la constitución de un grupo de intervención rápi-

do, FARN, que dispondrá de capacidad para intervenir en menos de 24 horas en una instalación, en caso de ser requerido. Este grupo, formado por personal de la empresa eléctrica EDF, dispondrá de medios suficientes para hacer frente a una situación de emergencia en todas las unidades existentes en un emplazamiento. Según se manifestó, estará compuesto por un centro nacional y tres o cuatro centros regionales próximos a los emplazamientos donde se encuentran las centrales nucleares y dispondrá de más de 300 personas a turnos, localizables para su intervención en caso necesario.

La tabla 4 resume los aspectos más destacables de las mejoras que se describen en el plan de acción correspondiente y que tiene un horizonte final en 2018.

Bélgica

En Bélgica existen dos emplazamientos (Doel y Tihange), con siete reactores PWR, suministrados por Westinghouse y por Framatome. Tihange está localizado en la margen derecha del río Mosa y dispone de tres unidades: Tihange 1 (Framatome-3 Lazos, 962 MWe), Tihange 2 (Framatome-3 Lazos, 1.008 MWe) y Tihange 3 (W-3 Lazos, 1.054 MWe). Además dispone de un almacenamiento de combustible (*spent fuel wet storage*). En Doel hay cuatro unidades Doel 1/2 (diseño W 2-lazos), Doel 3 (diseño Framatome 3-lazos) y Doel 4 (diseño W 3-lazos). En este emplazamiento también hay almacenamiento de combustible gastado en seco. La figura 4 incluye tanto el emplazamiento como las características de la central de Doel.

El diseño inicial de las centrales de diseño Framatome existentes en Bélgica incluye dos niveles de sistemas de seguridad, uno para hacer frente a sucesos internos (sucesos base de diseño, como LOCA, LOOP, SLB, etc.) y un segundo nivel para sucesos externos incluyendo

terremotos. Las centrales más antiguas (Tihange 1 y Doel 1/2) incorporaron el segundo nivel de sistemas tras la primera revisión periódica de seguridad, ya que no estaba incluido en su diseño inicial. La central de Doel dispone de un dique de separación que ofrece protección frente a posibles inundaciones, con capacidad sísmica por encima del DBE. En el supuesto de una inundación por encima de la de diseño, como máximo se alcanzarían unos 25 centímetros por encima del nivel de explanación, razón por la cual está previsto dotar al emplazamiento de una protección volumétrica que evite la entrada de agua en los edificios.

La tabla 5 resume los resultados de las pruebas de resistencia

Por su parte, las mejoras más destacables incluidas en el plan de acción preparado por los titulares, y en evaluación por el organismo regulador, se resumen en la tabla 6.

Resultados generales

El informe concluye que todos los Estados han dado pasos significativos en la mejora de la seguridad de sus centrales nucleares. Si bien es cierto que los niveles de realización de dichas medidas son diversos, el ejercicio puso de manifiesto que existe bastante coherencia entre los países participantes en cuanto a identificación de fortalezas, debilidades y posibles vías para aumentar la robustez de las plantas, a la luz de las primeras lecciones aprendidas de Fukushima Daiichi. En este sentido, son bastante unánimes las previsiones de medidas relativas a equipos móviles y fijos adicionales, mejora de la gestión de accidentes severos, así como medidas para mejorar la formación y entrenamiento del personal.

Así mismo, el informe identificó cuatro grandes áreas de mejora. La primera hace referencia a la necesidad de desarrollar a nivel europeo una guía so-

Figura 4: Emplazamiento y características de la central de Doel

Unidades	Tipo	Potencia térmica (MWth)	Año de puesta en marcha	Características de la contención	Sustitución de los generadores de vapor	Capacidad de almacenamiento de combustible	Diseño
Doel 1	PWR (2 lazos)	1312	1974	Doble contención (acero y hormigón)	2009	672 posiciones	Westinghouse
Doel 2	PWR (2 lazos)	1312	1975	Doble contención (acero y hormigón)	2004		Westinghouse
Doel 3	PWR (3 lazos)	3064	1982	Doble contención con funda metálica interna	1993	672 posiciones	Framatone
Doel 4	PWR (3 lazos)	3000	1985	Doble contención con funda metálica interna	1997	628 posiciones	Westinghouse
Edificio SCG	Almac. en seco de combustible gastado	—	—	—	—	165 contenedores de combustible gastado	Tractebel Engineering



Vista general de la central de Doel.

bre evaluación de riesgos naturales, incluyendo terremotos, inundaciones y condiciones meteorológicas extremas, así como una guía para la evaluación de márgenes más allá de la base de diseño. Esta conclusión se deriva de la falta de consistencia que la revisión *inter pares* identificó en relación con la evaluación

de riesgos naturales, debido a que los enfoques nacionales son bastante distintos y a que, en algunos casos, la evaluación más allá de las bases de diseño no fue una tarea sencilla.

La segunda gran área de mejora está relacionada con las revisiones periódicas de seguridad, que la revisión *inter pares*

identificó como una herramienta eficaz en el mantenimiento y mejora de la seguridad y fortaleza de las plantas. Por ello, se destacó la importancia de estas revisiones y la necesidad de que en el contexto de las mismas se reevalúen los riesgos naturales siempre que sea necesario, y como mínimo cada 10 años. En el caso de España, todas las plantas deben superar revisiones periódicas de seguridad cada 10 años.

En tercer lugar, el informe final de la revisión *inter pares* pone de relieve, como no podía ser de otra manera, la importancia del mantenimiento de la integridad de la contención, como última barrera de protección del público y el medio ambiente frente a las liberaciones de radiactividad. Aunque este es un tema ya ampliamente analizado como consecuencia de la experiencia en otros accidentes, el informe de la revisión *inter pares* recoge la necesidad de que los respectivos organismos reguladores consideren la rápida implementación de las medidas ya identificadas de protección de la integridad de la contención.

Finalmente, y en cuarto lugar, también se urge a los reguladores a considerar la necesidad de aplicar medidas de

Tabla 5: Pruebas de resistencia en Bélgica. Resultados destacables

PSR: herramienta reguladora (10 años), incluye la revisión del cumplimiento de las bases de licencia

Los niveles de referencia de WENRA (RL's) incorporados en la regulación

Sismos: iniciado un APS sísmico de acuerdo con el estado del arte

Protección frente a inundaciones externas en Doel

Medidas implantadas:

1º RPS: Segundo nivel de sistemas de seguridad

UHS alternativo en Doel

Equipo móvil: no convencional DG

Mejoras planificadas: plan de acción, corto (junio 2012) y largo plazo (2018)

Tabla 6: Plan de acción y mejoras previstas (final de 2015)

Las condiciones meteorológicas extremas no han sido analizadas por completo

Poca protección en el emplazamiento de Tihange frente a inundación

En caso of SBO, con el RCS abierto, no es posible inundar por gravedad desde el RWST en Tihange 3

Se ha identificado un depósito de gasoil (500m³) como suministro al segundo nivel de los generadores diesel sin cualificación sísmica en Tihange 1

Área de mejora de refuerzo de los diques, FCV, UHS alternativo, conexiones para equipo móvil

Inconsistencias en el programa de formación entre Tihange y Doel en emergencias y en accidentes severos.

Plan de Acción: a corto (junio 2012) y largo plazo (2015)

prevención y de limitación de las consecuencias de accidentes en caso de riesgos naturales extremos. Fukushima ha puesto de relieve la necesidad de reforzar la defensa en profundidad a través de la consideración de accidentes consecuencia de riesgos naturales extremos que excedan las bases de diseño y los actuales requisitos a las centrales nucleares. Estamos hablando de situaciones en las que el resultado pueda ser la devastación y aislamiento del emplazamiento, eventos de larga duración, indisponibilidad de muchos sistemas de seguridad, accidentes simultáneos de diversas plantas y fugas radiactivas. En este *topic* se han considerado diversos tipos de medidas; entre ellas, la protección reforzada de equipos para la gestión de accidentes severos, equipos móviles protegidos frente a riesgos natu-

rales, centros de respuesta a emergencias protegidos frente a este tipo de amenazas, o equipos de rescate que puedan apoyar a los operadores locales en caso de situaciones de larga duración.

Conclusiones

Como conclusiones de todo lo anterior se pueden destacar las siguientes:

Ha sido la primera vez que se lleva a cabo a nivel europeo este ejercicio de realización de las pruebas de resistencia y la revisión *inter pares* de una forma multilateral, lo que ha supuesto la dedicación de un esfuerzo considerable con un calendario muy exigente. A pesar de esos inconvenientes se han cumplido los objetivos inicialmente previstos.

La experiencia ha permitido identificar diferencias en la aplicación reguladora

entre distintos países, pero también elementos comunes. Entre ellos, la realización de las revisiones periódicas de seguridad, que se evidencian como una herramienta reguladora dentro del proceso de mejora de la seguridad de las instalaciones, y la incorporación de los niveles de referencia elaborados por WENRA a la reglamentación de los distintos países. En este último caso con diferentes grados de aplicación y de implantación de requisitos.

En todos los casos se ha identificado la existencia de planes de acción con medidas a corto, medio y largo plazo, con las que se incorporarán mejoras en todas las instalaciones. Entre ellas destaca el uso extensivo de equipo móvil (de suministro de energía eléctrica y bombas de aporte de agua) ubicado en el propio emplazamiento, que estará protegido frente a sucesos extremos y con capacidad para ser utilizado, en caso necesario, mediante conexiones rápidas. En algún caso, además, se instalará un equipo permanente dedicado a afrontar acciones preventivas o mitigadoras de accidentes severos. En estos casos los equipos estarán ubicados en edificios resistentes frente a sucesos externos más allá de la base de diseño de la instalación.

La importancia de la función de la contención, como última barrera para proteger al público y al medio ambiente frente a liberaciones radiactivas derivadas de un accidente, quedó de manifiesto en otros accidentes anteriores al de Fukushima Daiichi, y por ello se identificaron en su momento mejoras potenciales. La pronta incorporación de estas medidas, encaminadas a proteger la integridad de la contención, es algo que se ha puesto de manifiesto de nuevo en la revisión *inter pares*. Obviamente estas medidas son distintas en cada caso y dependen del diseño de cada planta. Para los reactores refrigerados por agua ligera incluyen la incorporación de equipos,

procedimientos y guías de gestión de accidentes, con el fin de:

—Garantizar la despresurización del circuito primario y prevenir una fusión del núcleo en condiciones de alta presión.

—Prevenir las explosiones del hidrógeno.

—Prevenir sobrepresión de la contención.

En cuanto a la interacción entre los equipos de revisión y sus interlocutores en cada país, se puede destacar que los equipos de revisión no tuvieron limitación alguna en el acceso a la documentación, la observación directa de los aspectos identificados o la discusión de los puntos abiertos previamente identificados. Esto ha sido extensivo tanto a los representantes de los organismos reguladores como a los titulares de las instalaciones. La dedicación, preparación de las visitas a los países y, en definitiva, el trato recibido por los equipos de revisión ha estado siempre dentro de los niveles de profesionalidad y transparencia que eran de esperar.

Como consideraciones finales, cabe señalar que con la aprobación del informe final de los *peer review* se completó toda la estrategia acordada entre la Comisión y los reguladores después de Fukushima. Ha sido un ejercicio extraordinariamente intenso, que ha requerido una gran cantidad de recursos, tanto por parte de los titulares como de los reguladores. Unas primeras estimaciones indican que a nivel de España, han intervenido en el proceso 150 expertos durante seis meses por parte de los titulares, y un esfuerzo correspondiente por parte del regulador. A nivel europeo las estimaciones alcanzan los 500 personas-año, lo que equivaldría a un coste de unos 100 millones de euros por lo que respecta al esfuerzo dedicado. Las acciones resultantes a llevar a cabo por parte de las instalaciones, sin duda multiplicarán en dos órdenes de magnitud estas cifras. Se hace pues evi-



Central nuclear de Tihange.

dente que la reacción del sector nuclear a Fukushima ha sido muy importante. Por este motivo, y como dice el propio informe de la revisión *inter pares*, para la mayoría de los participantes este ejercicio ha sido muy positivo y ha contribuido a reforzar la seguridad nuclear en Europa, pero debe considerarse excepcional y no puede repetirse a menudo.

El informe reconoce que el estudio y el conocimiento del accidente de Fukushima Daiichi será un proceso largo, que se prolongará durante años, y constata también que el ejercicio de compartir experiencias reguladoras nacionales y propuestas para la mejora de la seguridad de las plantas ha sido beneficioso. Por ello, en la línea de continua mejora de la seguridad, se valora positivamente la posibilidad de hacer un seguimiento de las acciones que resulten de las pruebas de resistencia y de futuras evaluaciones, siempre que este seguimiento se lleve a cabo a través de las estructuras ya existentes, es decir, sin necesidad de constituir grupos u organismos *ad hoc*.

En nuestra opinión, el principal valor de la continuidad de un ejercicio como el de las pruebas de resistencia, y nos referimos a lo que algunos denominan *follow up* de las mismas, sería llevar a cabo un seguimiento conjunto y compartido de cómo se van aplicando las diferentes medidas a lo largo y ancho del territorio europeo, compartiendo experiencias para maximizar el valor desde el punto de vista de la seguridad de las medidas adoptadas. Sería bueno evitar cualquier tipo de politización de este ejercicio. Las lecciones de Fukushima Daiichi son claramente de ámbito tecnológico y regulador, y deberían quedar al margen de debates de competencias o de poder y de control político. ©

¹ENSREG-European Nuclear Safety Regulators Group (Grupo Europeo de Reguladores de Seguridad Nuclear).

²WENRA-Western European Nuclear Regulators Association (Asociación Europea de Reguladores Nucleares).

³José Ramón Alonso. "Las pruebas de resistencia realizadas a las centrales nucleares españolas". *ALFA, Revista de Seguridad Nuclear y Protección Radiológica*, núm. 16, IV trimestre de 2011.



› Antonio Baeza Espasa⁽¹⁾,
José Ángel Corbacho Merino⁽¹⁾,
Montserrat Llauredó Tarragó⁽²⁾,
Isabel Vallés Murciano⁽³⁾

Dificultades existentes en la medida de la actividad alfa total en muestras de agua

Las mediciones de actividad alfa presente en las aguas ofrece con frecuencia una gran diversidad de resultados, tanto por las diferentes características del agua en función de variables naturales como de los procedimientos y técnicas aplicados en dichas mediciones. Para abordar este problema, los laboratorios representados por los autores de este artículo realizaron un proyecto de investigación experimental, que analizó en profundidad tres tipos de procedimientos o técnicas seleccionados (dsecación, coprecipitación y evaporación) y tres técnicas de medida (contador proporcional, detectores de centelleo sólido y detectores de centelleo líquido). Presentan aquí un breve resumen de los resultados de su trabajo.

Parece hasta cierto punto paradójico hablar de dificultades en la determinación de la actividad de las partículas alfa emitidas por un material que puede parecer relativamente simple, como es el agua, máxime cuando la medida precisa de este tipo de radiaciones, constituyó, ya en 1909, la determinación experimental^[1] que permitió a Sir Ernest Rutherford formular su modelo atómico, que sin duda constituye una de las aproximaciones mas intuiti-

vas y didácticas a la cuestión de cómo podría estar estructurada a nivel microscópico la materia.

La pregunta que surge es si realmente aún hoy en día subsiste algún tipo de dificultad en llevar a cabo la medida de la actividad alfa en muestras ambientales, como son las aguas. Dos son las respuestas a la misma.

La primera dificultad estriba en el propio material que emite la radiación alfa a medir, el agua. Aunque se ha indicado



Contadores de centelleo sólido

[1] LARUEX, Universidad de Extremadura

[2] LRA, Universitat de Barcelona

[3] INTE, Universitat Politècnica de Catalunya

Figura 1

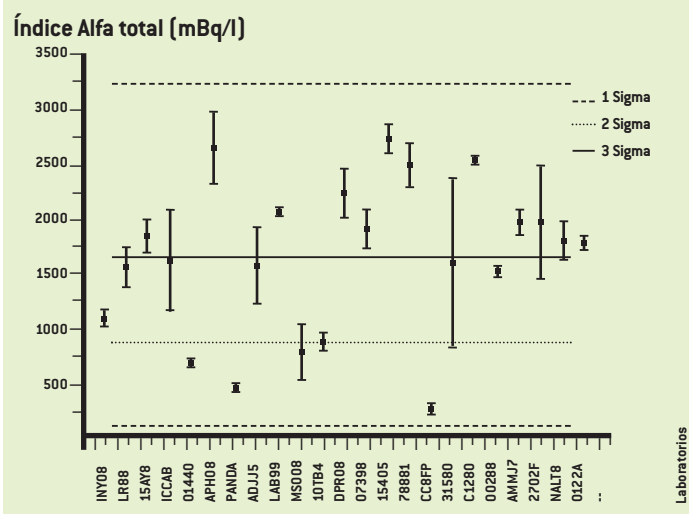
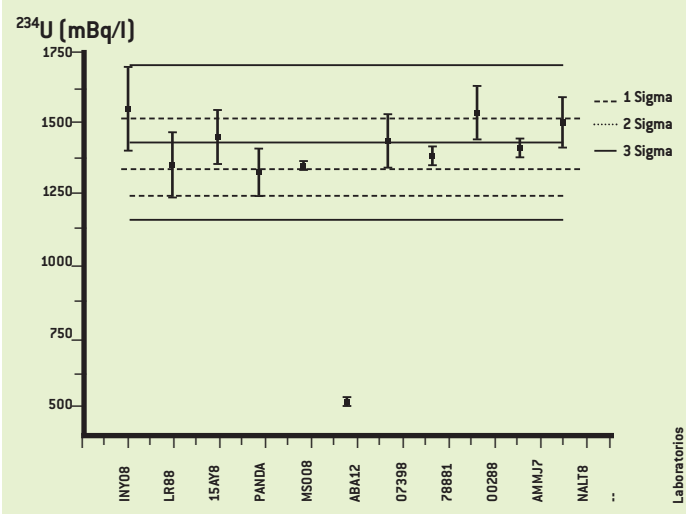


Figura 2



Resultados de la Intercomparación LARUEX-2008 para (figura 1) la actividad alfa total y (figura 2) para la actividad del isótopo ^{234}U .

su relativa simplicidad, al compararlo con la composición de otros materiales ambientales, esta no deja de ser muy variopinta, existiendo una amplia variedad de tipos de aguas naturales^[2], como consecuencia de las posibles concentraciones en que están presentes los aniones (cloruros, sulfatos, nitratos, entre otros) y los cationes mayoritarios (sodio, potasio, calcio, magnesio, entre otros). Este hecho tiene a su vez una doble consecuencia desde la óptica de la emisión y de la detección de las partículas alfa. Por una parte, emparejada a dicha composición de cationes mayoritarios, existe otra de cationes minoritarios radiactivos, asimismo *a priori* muy variable. Esta concentración radiactiva en las aguas, depende fundamentalmente de la existente en los medios por dónde atraviesan y de la capacidad que estas tengan para disolver las sales radiactivas que contengan dichos medios. En consecuencia, pueden existir aguas con actividades mesurables para los isótopos de uranio, o de radio, o de polonio, o de torio, entre otros, y obviamente, con diversas combinaciones de varios de los citados elementos radiactivos. Además, esta disparidad en la composición radiactiva, conlleva que los espectros de

emisión de las partículas alfa puedan ser también muy variables y en muchos casos, extraordinariamente complejos. Esta variabilidad energética del espectro alfa emitido por las muestras de agua, es la segunda consecuencia destacable. Así, la medida de la actividad alfa total es una medida global de, en principio, todas las partículas alfa emitidas desde una muestra de agua y que impactan en el detector. Dado que de unas aguas a otras puede cambiar su composición radiactiva y a su vez la concentración que posean para sus iones mayoritarios, la fracción de partículas alfa que, tras ser emitidas desde el agua, es finalmente detectada, depende del agua concreta de que se trate, debido a:

I) La diferente autoabsorción que experimentan las partículas alfa al atravesar muestras de agua con composiciones mayoritarias distintas;

II) La diferente característica energética del espectro que incide sobre el detector. Todo ello afecta en consecuencia a la eficiencia de la detección de la citada actividad alfa total.

La segunda dificultad es la falta de definición de que, salvo en contadas excepciones^[3], adolecen la práctica totalidad de procedimientos^[4,5,6], normalizados o

no, diseñados para describir la preparación y medida de la actividad alfa en muestras de agua. Realmente, los procedimientos diseñados para la preparación de las muestras de agua para su medida alfa total, pueden calificarse de muy sencillos, al compararlos con los que normalmente se utilizan para la medida espectrométrica de cualquiera de los emisores alfa presentes en esas mismas muestras de agua. Por lo que a los procedimientos de preparación se refiere, estos se fundamentan en la concentración por calor de un volumen dado de agua, hasta su desecación total^[4] o hasta conseguir una reducción significativa de volumen^[6], para llevar a cabo respectivamente su medida, ya sea directa ya sea tras su mezcla con el adecuado líquido de centelleo. Otro de los procedimientos se basa en la coprecipitación de todos los emisores alfa presentes en la muestra de agua^[5], antes de la medida de dicho precipitado. Esa carencia de concreciones, en aspectos fundamentales de la preparación, tanto de las muestras, como de los respectivos patrones de calibrado y del modo y momento en que medir a unas y a otros, son los principales causantes de que cuando se determina la actividad alfa total en muestras de aguas rea-



Contador de centelleo líquido

les, con contribuciones al recuento alfa de más de un elemento radiactivo, la predicción de dicha actividad que pueden obtener diversos laboratorios expertos en este tipo de determinaciones puede variar incluso en algún orden de magnitud.

Un ejemplo de la anterior afirmación la constituye los resultados obtenidos por 24 laboratorios españoles, que participaron en un ejercicio de intercomparación organizado por el Ejercicio de Intercomparación entre Laboratorios (LARUEX)^[7], entre cuyos objetivos se encontraba el de predecir el contenido radiactivo alfa total y para el isótopo ^{234}U ,

existente en una muestra de agua subterránea natural, recolectada en la Comunidad Autónoma de Extremadura. En las figuras 1 y 2 se muestran de modo resumido las predicciones efectuadas por los laboratorios cuyas claves se indican, muchos de ellos acreditados por ENAC para efectuar tanto la determinación de la actividad alfa total (1), como para la del isótopo ^{234}U (2). De su observación pueden deducirse claramente diversos resultados:

I) La gran dispersión de valores con que se predice la actividad alfa total existente en el agua analizada. En particular, el valor medio de la actividad pre-

dicha por todos los laboratorios es de 1.680 mBq/l, siendo su desviación estándar robusta de un 46%.

II) Que dicha dispersión es muy superior a la asociada a las otras determinaciones espectrométricas alfa realizadas en la misma intercomparación. De hecho, para el caso particular del ^{234}U , salvo para un laboratorio, que claramente ha tenido algún problema en dicha determinación, se observa fácilmente que los valores predichos por los restantes laboratorios están mucho más agrupados que en la predicción alfa total, a pesar de la mayor dificultad técnica que encierra la preparación y medida de una muestra de agua, para determinar la actividad del ^{234}U . En concreto, el valor medio ofrecido por todos los laboratorios para la actividad del ^{234}U fue de 1.430 mBq/l, con una desviación estándar robusta de tan sólo el 6%. Por último, debe señalarse que aun cuando la actividad alfa total debe representar la suma de las actividades de todos los emisores radiactivos alfa presentes en la muestra de agua así analizada, con mucha frecuencia y debido a las causas y dificultades antes apuntadas, puede no obtenerse este resultado. En concreto, los niveles de actividad para los principales emisores radiactivos alfa existentes en esta agua, fueron además del ya citado para el ^{234}U , los siguientes: $A(^{238}\text{U}) = (240 \pm 20(\text{DS})) \text{ mBq/l}$, $A(^{226}\text{Ra}) = (400 \pm 100(\text{DS})) \text{ mBq/l}$; $A(^{210}\text{Po}) = (16,4 \pm 1,4(\text{DS})) \text{ mBq/l}$. De esta forma puede comprobarse que el valor medio predicho para la actividad alfa total fue al menos un 20% inferior a la actividad de los emisores alfas realmente presentes en dicha muestra de agua.

En definitiva y debido a las causas y/o dificultades antes enumeradas, la determinación de la actividad alfa puede frecuentemente estar aquejada de dos problemas fácilmente calificables de importantes. Uno es que los valores que



Contador proporcional de flujo de gas

predicen diferentes laboratorios pueden diferir entre sí mucho más que las incertidumbres asociadas a cada una de dichas medidas, y el otro, que la actividad que se predice puede diferir significativamente de la realmente existente en el agua analizada.

Si dichos problemas son de suficiente envergadura en cualquier aspecto relacionado con la metrología de radiaciones ionizantes, cobran una especial importancia en la medida de la actividad alfa en muestras de agua, desde el momento en que esta medida es legalmente utilizada^[8] para discernir entre aguas cuyo contenido radiactivo debe considerarse despreciable^[9], de aquellas otras en las que, al superar el nivel paramétrico alfa total establecido en la legislación^[8,9], cuando menos debe determinarse la dosis indicativa total que supone el consumo de estas aguas.

Planteamiento de la investigación

Con el fin de contribuir a resolver los precitados problemas, investigadores de tres laboratorios acreditados (en base a la norma UNE-ISO 17025^[10]) para lle-

var a cabo este tipo de ensayos, el LRA de la Universitat de Barcelona, el INTE de la Universitat Politècnica de Catalunya y el LARUEX de la Universidad de Extremadura, plantearon en 2009 al Consejo de Seguridad Nuclear, la ejecución de un proyecto de investigación titulado “Estudio de la problemática existente en la determinación del índice de actividad alfa total en aguas potables. propuesta de procedimientos”^[11].

Tres fueron los principales objetivos perseguidos con su ejecución, para los también tres tipos de procedimientos y/o de técnicas mas frecuentemente utilizados en la determinación de la actividad alfa total en muestras de agua:

—Determinar y cuantificar los factores que más influyen en la variabilidad con que vienen afectados los resultados que se obtienen.

—Analizar y valorar en su integridad los tres tipos de procedimientos más frecuentemente utilizados: desde la preparación de las muestras, hasta su medida, desde el uso de los patrones, a la medida de los fondos, entre otros muchos aspectos.

—Determinar para los tres tipos de

procedimientos o técnicas seleccionados, sus rangos de validez, sus ventajas e inconvenientes, y la repercusión que podría tener la modificación parcial de los mismos, con respecto a las descripciones procedimentales actualmente en uso.

En definitiva, se proponía la ejecución de un proyecto de investigación eminentemente experimental, que analizase en profundidad los tres tipos de procedimientos o técnicas inicialmente seleccionados. Dichos procedimientos se identifican brevemente como de desecación, de coprecipitación y de evaporación. Por su parte, las técnicas de medida utilizadas con las fuentes preparadas con los precitados procedimientos, fueron la de contador proporcional, la de detectores de centelleo sólido y la de detectores de centelleo líquido, respectivamente. Como consecuencia de todo ese bagaje experimental, se debía estar finalmente en situación de proponer una serie de procedimientos derivados de los actualmente existentes, pero sumamente detallados y justificados en todos sus puntos, que permitieran garantizar:

—Que con su aplicación los resultados que se obtienen para determinar la actividad alfa total en muestras de agua son los más representativos de la suma de las actividades de todos los emisores alfa que realmente poseen las muestras analizadas.

—Que ese resultado de la actividad alfa total está aquejado de la mínima variabilidad técnicamente posible.

—Que la citada variabilidad remanente, es correctamente tenida en cuenta, en la determinación de la incertidumbre asociable al resultado obtenido.

Investigación desarrollada

Dado que es imposible describir con detalle en este artículo, aunque fuera muy someramente, las actividades y resultados que se han obtenido en la ejecución del citado proyecto, se recomienda al lec-

tor interesado en el mismo, que consulte el informe final elevado al respecto al Consejo de Seguridad Nuclear^[11]. No obstante lo anterior, a continuación se van a destacar las pautas seguidas en la investigación y las principales conclusiones obtenidas.

En primer lugar debe indicarse que, por razones de operatividad, inicialmente los investigadores de cada uno de los tres laboratorios se encargaron del estudio en profundidad y de la optimización de exclusivamente una de las tres técnicas seleccionadas. Así, los investigadores pertenecientes al LARUEX se centraron en el método de desecación total y en la posterior medida con contador proporcional. Los del INTE, en el método de coprecipitación y en la posterior medida con contador de centelleo sólido. Y los del LRA, en el método de reducción de volumen por evaporación y en la posterior medida por centelleo líquido. Cada uno de estos tres procedimientos o técnicas de medida, poseen unas ventajas y unos inconvenientes frente a los otros dos. Así, el de desecación total es un método relativamente económico y ampliamente usado, que permite determinar de forma simultánea las actividades alfa y beta total presentes en la muestra de agua analizada. Por su parte, el método de coprecipitación permite obtener con frecuencia menores límites de detección que con la anterior técnica, la cual es de hecho impracticable para aguas muy salinas, a costa de no poder aportar ninguna información sobre la actividad beta de la muestra de agua analizada. Por último, el método de evaporación permite no solo la determinación simultánea alfa y beta, sino también la observación visual de los espectros que producen dichas detecciones, con lo que este hecho puede colaborar positivamente a la interpretación de los resultados que se obtengan. Sin embargo, el elevado coste de la instrumentación necesaria, retrae frecuentemente su utilización.

Una vez analizado en profundidad cada uno de los citados procedimientos de preparación y de medida, las metodologías resultantes fueron optimizadas mediante el uso de un agua sintética común a los tres laboratorios. Dicha agua se fabricó de manera tal que su contenido para los principales aniones y cationes mayoritarios normalmente presentes en las aguas (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^-) permitiera clasificarla como un agua de naturaleza mixta^[2]. Al agua sintética se le incorporaron actividades bien conocidas, siempre similares a las que pueden, frecuentemente, encontrarse en aguas recolectadas en España, para los siguientes radionucleidos o combinaciones de los mismos: ^{210}Po , ^{226}Ra y U-natural. Con la predicción de las actividades alfa total incorporadas a las muestras sintéticas analizadas, se lograron acotar los aspectos que resultaron ser más influyentes, tanto en la parte de preparación, como en la de medida de estas muestras, de forma que permitiesen obtener la mejor reproducción posible de las actividades incorporadas en cada caso al agua sintética. Con el fin de verificar que las condiciones de trabajo que finalmente se seleccionaron, para cada uno de los tres métodos estudiados, no respondían exclusivamente a las condiciones radiactivas singulares que se habían incorporado a las aguas sintéticas analizadas, se utilizaron además ocho aguas naturales procedentes de diversos puntos de España (cuatro superficiales y cuatro subterráneas), que cubren un amplísimo espectro de los contenidos estables y radiactivos naturales que se detectan en las mismas. De hecho, sus salinidades se encontraban en el rango de 0,4 a 5 g/l, y a modo de ejemplo, los rangos de sus niveles radiactivos para el U-natural eran de 0,02 a 6,0 Bq/l, mientras que para el ^{226}Ra eran de 0,002 a 0,5 Bq/l^[11]. El resultado obtenido fue que para esta ocho aguas naturales se obtuvo una adecuada predicción alfa total de la suma de

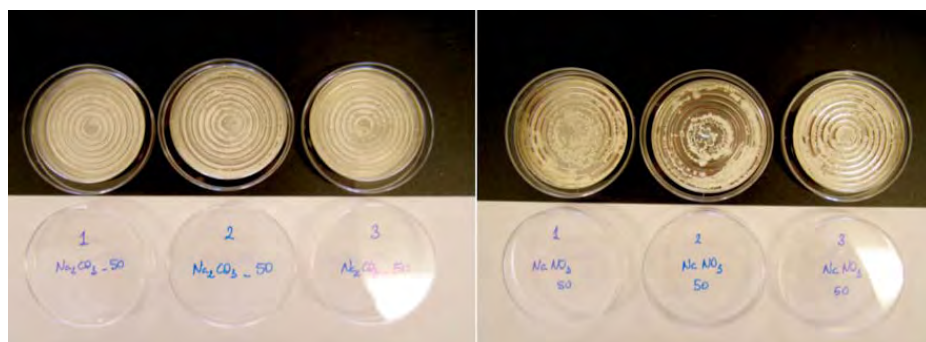
las principales actividades alfa presentes en las mismas.

Por último, se planteó verificar que las condiciones de trabajo que los investigadores de cada uno de los tres laboratorios habían encontrado para el procedimiento del que se habían responsabilizado eran fácilmente aplicables por cualquier otro laboratorio experto en este tipo de medidas. Para ello, se procedió a llevar a cabo un trabajo cruzado con los procedimientos finalmente propuestos. Es decir, a utilizar cada laboratorio con las citadas ocho aguas naturales, los dos procedimientos que no habían analizado y en su caso modificado parcialmente, siguiendo esmeradamente la descripción que se propone para cada uno de ellos en los anexos 10.5 a 10.7 del informe final entregado al Consejo de Seguridad Nuclear^[11]. La conclusión de esta parte del proyecto fue, que era perfectamente posible el obtener resultados de calidad equivalente a la proporcionada por el laboratorio que había propuesto cada uno de los procedimientos optimizados.

Seguidamente, se enumeran para cada uno de los tres procedimientos analizados en profundidad y posteriormente optimizados, aquellos aspectos, tanto de su preparación como de su medida, que más influyen en la variabilidad de los resultados obtenibles y en la exactitud de los mismos.

Para el procedimiento de desecación total y posterior medida del residuo mediante contadores proporcionales de flujo de gas, dichas fuentes de variabilidad en los resultados, se localizaron preferentemente en:

a) La selección del volumen de muestra a concentrar, ya que este debe ser lo suficientemente grande para superar el límite de detección pero, a su vez, lo suficientemente pequeño para tener valores de autoabsorción razonables. En todo caso, con valores del espesor másico den-



Vista de un patrón alfa incorporado a diferentes sustratos salinos en las planchetas

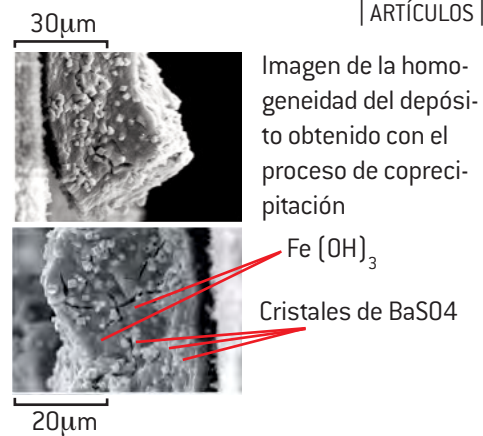


Imagen de la homogeneidad del depósito obtenido con el proceso de coprecipitación

$\text{Fe}(\text{OH})_3$
Cristales de BaSO_4

tro del intervalo de espesores para el que se ha llevado a cabo la calibración en eficiencia de los contadores de medida. Por ello, no es recomendable la aplicación de este procedimiento en aguas marinas.

b) La adecuada elección del sustrato sobre el que incorporar el patrón de calibrado en eficiencias. En el presente proyecto se ha identificado que este debe satisfacer una serie de requerimientos, que a priori son relativamente difíciles de satisfacer:

—Debe poseer características muy similares al residuo seco que se obtiene al llevar a sequedad cada muestra de agua, ya que es relativamente variable y a priori desconocido;

—Debe distribuirse homogéneamente en el interior de las planchetas de medida;

—No debe producir *escamas* ni desprenderse de las planchetas con facilidad;

—Debe ser estable en el tiempo y por tanto, relativamente poco higroscópico.

c) La existencia de radionucleidos que por sus características químicas son volátiles durante la preparación de la muestra, como sucede con el ^{210}Po , producirá en tales casos predicciones de la actividad alfa total inferiores a la suma de todos los emisores alfa existentes en las muestras analizadas.

d) La selección del patrón de calibrado debe poseer un espectro energético lo más parecido posible al de las muestras

a medir, el cual se desconoce y además puede variar notablemente de una a otra muestra de agua. A pesar de ello, se ha comprobado que patrones de calibrado de ^{230}Th y/o de ^{238}U poseen un espectro energético bastante similar al que se detecta en la gran mayoría de las muestras de agua potable de España con contenidos radiactivos mesurables de emisores alfa naturales.e)

e) La elección del momento más adecuado para efectuar la medida de la fuente fabricada, ya que la eventual presencia de radio, de radón y de sus descendientes en la muestra de agua a analizar, provoca que el conteo pueda variar significativamente a lo largo del tiempo. En el presente estudio se ha observado que, en tales casos, lo más adecuado es realizar las medidas de las muestras dentro de la ventana temporal de 48 a 120 horas tras su preparación.

Para el procedimiento de coprecipitación y posterior medida del residuo mediante contadores de centelleo sólido, dichas fuentes de variabilidad en los resultados, se localizaron preferentemente en:

a) La selección de unas condiciones de trabajo tales que se pueda garantizar que, dentro de las incertidumbres experimentales, la totalidad de los radionucleidos emisores alfa presentes en la muestra de agua son precipitados con un rendimiento del 100%. En particular, es importante fijar al respecto el valor del

pH y de la temperatura a la que llevar a cabo la coprecipitación.

b) El limitar al máximo, durante la preparación de las muestras, tanto las pérdidas excesivas (y, sobre todo, las no cuantificables, por ejemplo en la etapa de filtración) como el secado inadecuado del filtro producido. El tener en cuenta estas variables, y las citadas en el punto anterior, permite garantizar la estabilidad temporal del precipitado, así como la homogeneidad final del mismo; aspectos éstos de gran importancia a la hora de cuantificar el contenido alfa total en las muestras de agua.

c) De nuevo, dos aspectos ya citados en el método de desecación antes descrito. Estos son, la selección adecuada del patrón de calibrado en eficiencias y la elección del momento más adecuado para proceder a la medida de la fuente. El objetivo perseguido con ambos es que el contenido radiactivo que se prediga a partir del índice de actividad alfa total sea lo más aproximado posible al que resulta de la suma de las actividades alfa de todos los emisores alfa presentes en las aguas analizadas. Las conclusiones y recomendaciones que se obtienen al respecto, para el método de coprecipitación, son análogas a las ya indicadas en el procedimiento de desecación:

—Realizar la medida de las muestras unas 48 horas tras la preparación de la misma y

—Utilizar al ^{230}Th como patrón de calibrado en eficiencias.

La reproducción que se consigue con este procedimiento, una vez optimizado teniendo en cuenta todas las anteriores fuentes de variabilidad, para las ocho aguas naturales finalmente ensayadas, puede calificarse de muy satisfactoria, ya que la desviación máxima detectada, entre el contenido predicho entre el índice alfa total y la suma de todas las actividades de emisores alfa, es de un 20%.

d) Un aspecto positivo de la evolución temporal que se observa en los contajes alfa totales que presentan las muestras de agua que poseen un contenido no despreciable de ^{226}Ra (consecuencia también del relativamente menor límite de detección que este procedimiento posee, al compararlo con el de desecación y posterior medida en un contador proporcional), es que la medida en diversos momentos de la muestra, entre dos a diez días tras su fabricación, permite deducir la existencia o no en la misma de un contenido no despreciable para el ^{226}Ra , e incluso estimar el porcentaje de su actividad sobre la actividad alfa total de la muestra.

Para el procedimiento de reducción de volumen por evaporación y posterior medida por centelleo líquido, dichas fuentes de variabilidad en los resultados, se localizaron preferentemente en:

—El agente ácido a utilizar y el valor final del pH de la muestra antes de su concentración por evaporación, ya que ambos parámetros influyen significativamente en minimizar la interferencia de los contajes alfa y beta.

—El cóctel de centelleo que se utiliza. Normalmente, cada tipo de espectrómetro de centelleo líquido lleva prácticamente asociado el uso de un líquido de centelleo recomendado por el fabricante del equipo. No obstante, debe verificarse sistemáticamente que, aunque no cambie de denominación comercial, no varíen tampoco sus propiedades químicas.

—La temperatura de concentración por evaporación, de forma que, además de eliminar el contenido en radón que pueda poseer la muestra acuosa a analizar, se pueda estar seguro de que con ella no se evapora ninguno de los radionucleidos de interés presentes en la muestra de agua.

—De nuevo, al igual que se ha señalado en los anteriores dos procedimientos, los resultados que se obtienen en la medida de la fuente fabricada al mezclar en proporciones dadas el agua concentrada con el líquido de centelleo seleccionado, son altamente dependientes de:

a) El momento en que se lleve a cabo dicho contaje y

b) Los patrones que se utilicen para el calibrado del equipo.

Ambos aspectos han sido analizados con detalle, proponiendo al respecto que las muestras se midan inmediatamente después de su preparación y que para el modelo de espectrómetro y del cóctel de centelleo utilizado, los patrones alfa y beta más adecuados son el ^{236}U - ^{40}K .

—Al igual que se indicaba para el procedimiento de coprecipitación, en este se ha verificado que, realizando sucesivas medidas de la muestra de agua tras su preparación, es posible obtener, además del valor del índice de actividad alfa total, la actividad del ^{226}Ra que pueda existir en la misma, supuesto que esta no sea despreciable. 

Referencias

- [1] E. Rutherford, F.R.S., University of Manchester. "The Scattering of α particles by Matter and the Structure of the Atoms". *Philosophical Magazine*, 21(1911)669-688.
- [2] Catalán Lafuente J.G. *Química del agua*, Ed. el autor, 2ª ed., Madrid, Spain, 1990.
- [3] ISO (International Organization of Standardization), 2005. Water Quality - Measurement of gross alpha activity in non-saline water - Thick source method. ISO TC 147 N 0588 ISO/CD 9696 (E). Geneva: International Organisation for Standardisation.
- [4] EPA (Environmental Protection Agency) 600/4-80-032. 1980. Prescribed procedures for measurement of radioactivity in drinking water. Gross alpha and gross beta radioactivity in drinking water, Method 900.0, Environmental Protection Agency.
- [5] EPA (Environmental Protection Agency) 520/5-84-006. 1984. Radiochemical determination of gross alpha activity in drinking water by coprecipitation, Method 00-02, In: Radiochemistry Procedures Manual, Eastern Environmental, Radiation Facility, Environmental Protection Agency. Modified in August 1987.
- [6] Sanchez-Cabeza, J.A. y L. Pujol. "A rapid method for the simultaneous determination of gross alpha and beta activities in water samples using a low background liquid scintillation counter". *Health Phys.* 68(1995)674-82.
- [7] Ejercicio de Intercomparación entre Laboratorios. LARUEX-2008. Informe Final: LARUEX-07-01.
- [8] Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. Boletín Oficial del Estado nº 45 de 21 de febrero del 2003, 7228-7245.
- [9] Protocolo para el Control de la Radiactividad en el Agua de Consumo Humano. Subdirección General de Sanidad Ambiental y de Salud Laboral. Ministerio de Sanidad y Consumo. Versión 6. Octubre 2004. Madrid.
- [10] ISO/IEC 17025:2005. "Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y de Calibración". Norma Internacional 2005.
- [11] http://www.csn.es/index.php?option=com_kunena&view=listcat&Itemid=715%E2%8C%A9%3Des&lang=es.

ENSREG aprueba el plan de acción tras las pruebas de resistencia en las centrales nucleares europeas



El plan de acción en el que se pondrán en marcha las medidas derivadas de las lecciones aprendidas en Fukushima fue aprobado el pasado mes de julio por el Grupo Europeo de Reguladores de Seguridad Nuclear (ENSREG), tras acabar el proceso de pruebas de resistencia realizadas a las centrales nucleares europeas y las correspondientes revisiones inter pares. Dicho plan establece un programa de visitas de expertos europeos a diversas centrales nucleares, para comprobar los planes de implantación de las medidas de mejora comprometidas e intercambiar información sobre las acciones pendientes. Una de las primeras visitas se ha realizado a la central nuclear española de Trillo los días 12 a 14 de septiembre. La delegación estaba compuesta por

un miembro de la Comisión Europea y tres expertos internacionales, que mantuvieron diversas reuniones con los titulares de la central y representantes del Consejo de Seguridad Nuclear.

El objetivo del plan de acción aprobado, que será coordinado por el Grupo de Seguridad Nuclear de ENSREG, es llevar a cabo un seguimiento de las acciones de refuerzo de la seguridad implantadas en todas las centrales de la Unión Europea, así como intercambiar información sobre aquellas que se estudia aplicar. En concreto, el documento final incluye, entre otras actividades, el desarrollo de planes de acción nacionales, que deberán estar terminados antes de finales de este año, teniendo en cuenta las conclusiones de los informes nacionales sobre las pruebas de resistencia y los resultados de las revisiones inter pares, así como los de la reunión extraordinaria de la Convención sobre Seguridad Nuclear celebrada en agosto. Posteriormente, entre febrero y marzo de 2013, se realizará una revisión de los planes de acción nacionales para favorecer la consistencia entre las respuestas de los países y difundir las mejores prácticas para reforzar la seguridad.

El plan de acción hace hincapié en mantener los principios de transparencia y participación pública que han inspirado todo el proceso de las pruebas de re-

sistencia realizadas a las centrales nucleares europeas. Por ello, tanto ENSREG como las autoridades reguladoras locales publicarán los planes de acción nacionales y se pondrá a disposición del público la información más relevante en la dirección www.ensreg.eu.



El CSN analiza el incidente de la central nuclear Doel 3 (Bélgica) y su relación con las centrales nucleares españolas

El pasado 16 de agosto, la Agencia Federal de Control Nuclear de Bélgica (FANC) convocó una reunión entre diversos organismos reguladores nucleares, a causa de la detección de indicadores de defectos en la vasija del reactor de la central belga Doel 3. El caso ha sido clasificado, de manera preliminar, como de nivel 1 en la Escala Internacional de Sucesos Nucleares y Radiactivos (INES).

Los asistentes a esta cita fueron Estados Unidos, Francia, Suiza, Suecia, Holanda, Alemania, Reino Unido y España. En la mayor parte de estos países hay centrales nucleares que incorporan elementos fabricados por la empresa holandesa Rotterdam Droogdok Maatschappij, suministradora de la vasija de Doel 3.

En España, las vasijas de las centrales de Cofrentes y Santa María de Garoña proceden de este fabricante, si bien, según los primeros datos disponibles, en el primer caso la vasija no estaría afectada por estos defectos y, en el segundo, los daños no serían directamente extrapolables.

Actualmente, el Consejo está analizando la información existente sobre la fabricación de las vasijas. Una vez finalizado este proceso, el Consejo informará de los resultados obtenidos. ■

Reunión con la Autoridad de Seguridad Nuclear de Francia (ASN)

Representantes del Consejo de Seguridad Nuclear y de la Autoridad de Seguridad Nuclear de Francia (ASN) mantuvieron una reunión bilateral en París el pasado 21 de junio, en la que repasaron las principales actividades conjuntas llevadas a cabo entre los reguladores de Francia y España, en materia de seguridad nuclear y protección radiológica.

A la cita acudieron, por parte de la delegación española, su presidenta, Carmen Martínez Ten, la consejera Rosario Velasco y Manuel Rodríguez, Antonio Munuera y Ramón de la Vega, subdirectores de Protección Radiológica Operacional, Ingeniería y de Emergencias y Protección Física, respectivamente.

Martínez Ten repasó en su intervención los principales incidentes ocurridos

en las centrales nucleares españolas, el nuevo Reglamento sobre Protección Física y el proyecto de construcción del Almacén Temporal Centralizado (ATC) en Villar de Cañas (Cuenca). En la reunión se abordaron, además, diversos temas relacionados con las áreas de radioprotección, emergencias, seguridad nuclear y comunicación e información pública, así como las consecuencias derivadas del accidente nuclear de Fukushima Daiichi (Japón). ■



Representantes de la Comisión Europea verifican el control sobre antiguas instalaciones de uranio españolas

Un equipo de expertos de la Comisión Europea estuvo visitando, durante la última semana de septiembre, las antiguas minas e instalaciones de fabricación de concentrados de uranio españolas en aplicación del Tratado Euratom, que establece el derecho de las autoridades europeas a verificar el correcto funcionamiento y el control radiológico de las mismas.

Acompañados por representantes del cuerpo técnico del Consejo de Seguridad Nuclear y de las autoridades nacionales y regionales competentes, los enviados visitaron la planta Quercus (Salamanca) y la Fábrica de Uranio de Andújar

(Jaén), así como algunas antiguas minas de uranio situadas en el entorno de dichas instalaciones y los laboratorios encargados de los correspondientes programas de vigilancia radiológica ambiental, así como algunos otros de la red nacional.

Los representantes de la Comisión, que elaborarán un informe técnico detallado, concluyeron que España cumple todos los requisitos contemplados en el artículo 35 del Tratado Euratom sobre la obligación de cada Estado miembro de la Unión Europea de controlar de modo permanente el índice de radiactividad de la atmósfera, las aguas y el suelo. ■

España preside desde julio el Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores Radiológicos y Nucleares

Los días 5 y 6 de julio pasado tuvo lugar en La Habana (Cuba) la reunión anual del Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores Radiológicos y Nucleares, organismo de colaboración internacional al que pertenecen ocho países (Argentina, Brasil, Chile, Cuba, España, México, Perú y Uruguay), que ha cumplido ya 15 años de actividad. Durante el encuentro se decidió que España, representada en la reunión por el vicepresidente del Consejo de Seguridad Nuclear, Antonio Colino, asumiera la presidencia anual de este organismo.

Entre los temas tratados destacan la participación del Foro y sus miembros en la Conferencia General del OIEA y en el Simposio Internacional de Cuzco sobre Protección Radiológica. Además, el Plenario también debatió sobre posibles estrategias para reforzar la relación del FORO con otras instituciones. Además, los representantes de los ocho países barajaron la posibilidad de dotar de una nueva personalidad jurídica a la organización (en función del informe del grupo de asesores legales del FORO) y de estrechar lazos con el sistema de cumbres de la Secretaría General Iberoamericana (Segib), con la Organización Mundial de la Salud (OMS), con la Organización Panamericana de Salud (OPS)



y con el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). También se planteó la posibilidad de ampliar el FORO dando cabida a otros países iberoamericanos.

En cuanto a las actividades de la organización, el director del Comité Técnico del FORO, Alfredo de los Reyes, y la coordinadora del Secretariado, Sonia Fernández Moreno, presentaron los trabajos en ejecución, las nuevas propuestas de proyectos y el estado actual de los presupuestos de la institución.

Antonio Colino distribuyó entre todos los asistentes un libro conmemorativo del XV aniversario del FORO, elaborado con contribuciones de todos los países miembros de esta institución y de varias organizaciones internacionales, en el que se repasa todo el trabajo realizado desde su fundación, en 1997.

Precisamente, con motivo de este decimoquinto aniversario, se celebró en Viena el 18 de septiembre una jornada conmemorativa, que fue inaugurada por el director general del OIEA, Yukiya Amano, y la presidenta del CSN, Carmen Martínez Ten, como presidenta actual del Foro Iberoamericano. Amano señaló que para el organismo que dirige el FORO es ya un interlocutor prioritario. ■

Reunión del CSN con la nueva dirección de la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (Enresa)

El 24 de julio se celebró una reunión entre el CSN y la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (Enresa) que permitió la toma de contacto entre los responsables del organismo regulador con la nueva dirección de la empresa encargada de la gestión de los residuos radiactivos en España.

Al encuentro acudieron, por parte del CSN, su vicepresidente, Antonio Colino, el consejero Antoni Gurgu, la consejera Rosario Velasco, la directora técnica de Seguridad Nuclear, Isabel Mellado, la subdirectora de

Protección Radiológica Ambiental, Lucila Ramos, y el subdirector de Protección Radiológica Operacional, Manuel Rodríguez. La delegación de Enresa fue encabezada por su presidente, Francisco Gil Ortega.

Durante la cita se trataron las previsiones de desarrollo del proyecto de construcción del ATC, el proceso de desmantelamiento de la central José Cabrera y la situación del Almacén Centralizado de Residuos de baja y media actividad El Cabril (Córdoba). ■

Reunión de INRA en Viena

Los miembros de la Asociación Internacional de Reguladores Nucleares (INRA) celebraron en Viena una reunión el 19 de septiembre, aprovechando su presencia en la Conferencia General del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Este reconocido foro de intercambio de experiencias e información y de cooperación, conocido como el G-9 de la seguridad nuclear, está formado por los reguladores de Alemania, Canadá, Corea del Sur, España, Estados Unidos, Francia, Japón, Reino Unido y Suecia.

Durante la reunión se presentaron los informes nacionales de actividades, entre las que destacaron las relacionadas con las acciones llevadas a cabo como consecuencia del accidente de Fukushima Daiichi, incluyendo los resultados de las pruebas de resistencia a las que se han sometido las centrales nucleares europeas.

Por parte de España, la presidenta del Consejo de Seguridad Nuclear, Carmen Martínez Ten, habló del proceso de construcción del Almacén Temporal Centralizado de combustible gastado y residuos de alta actividad, que estará ubicado en el municipio de Villar de Cañas (Cuenca).

Segunda reunión extraordinaria de la Convención sobre Seguridad Nuclear

Entre los días 27 y 31 de agosto pasado tuvo lugar en Viena (Austria) la segunda reunión extraordinaria de la Convención sobre Seguridad Nuclear. El encuentro, que tuvo lugar en la sede del Organismo Internacional de Energía Atómica, contó con la asistencia de una delegación del CSN, encabezada por su presidenta, Carmen Martínez Ten, y por la directora técnica de Seguridad Nuclear del organismo, Isabel Mellado.

Durante la reunión se analizaron, entre otras muchas cuestiones, las actividades y programas de acción que las partes contratantes de la convención han llevado a cabo tras el accidente ocurrido en la central nuclear japonesa de Fukushima Daiichi en marzo de 2011.

Además, se debatió la necesidad de fortalecer dicha convención para aumentar

su eficacia, y para ello se estudiaron objetivos relativos a las normas de seguridad del OIEA, al aumento de la transparencia y a la mejora de la eficacia en materia de reglamentación, así como al uso de las misiones inter pares internacionales de revisión, cuya importancia ha sido una de las principales lecciones aprendidas tras el accidente en Fukushima Daiichi. Por ello, se decidió crear un grupo de trabajo sobre estas cuestiones, que informará en la próxima reunión sobre posibles medidas encaminadas a fortalecer la convención y, si fuera necesario, enmendarla.

La Convención sobre Seguridad Nuclear se firmó en el año 1994 y entró en funcionamiento en 1996. En la actualidad 75 países la han firmado y son partes contratantes de la misma.

Firmado el protocolo de cooperación en operaciones en emergencias entre el CSN y la Unidad Militar de Emergencias (UME)

El protocolo técnico para la afiliación del CSN a la Red Nacional de Emergencias (Renem) fue firmado el pasado 28 de junio por la presidenta del Consejo, Carmen Martínez Ten, y el teniente general jefe de la Unidad Militar de Emergencias (UME), José Emi-

lio Roldán Pascual. Con ello, el CSN obtiene acceso al conjunto de servicios de comunicación que la Renem ofrece a los organismos adscritos.

Durante el acto, Martínez Ten subrayó la importancia de esta red, que aglutina todos los sistemas de información y telecomunicaciones necesarios en una emergencia, para permitir que los organismos intercambien e integren la información de las alertas y se coordinen en la gestión de una crisis.

El teniente general jefe de la UME, por su parte, destacó la excelente relación existente entre ambas instituciones desde que se inició, en 2010, su colaboración, con el fin de planificar, preparar y responder ante situaciones de emergencia nuclear y radiológica.



Principales acuerdos del Pleno

■ Guía de Seguridad del CSN sobre planes de protección física de instalaciones y materiales nucleares

El Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear, en su reunión de 11 de julio aprobó por unanimidad la Guía de Seguridad sobre la elaboración, contenido y formato de los planes de protección física de las instalaciones y los materiales nucleares, con diversas correcciones editoriales, tras haber finalizado el trámite de consideración de comentarios externos aprobado en el Pleno de 15 de junio de 2011.

La guía tiene por objeto describir el formato y contenido de los planes de protección física de las instalaciones nucleares y de los materiales nucleares. La propuesta ha sido vista por la Comisión de Normativa y ha tenido en cuenta las observaciones formuladas por la Subdirección de Asesoría Jurídica.

■ Ayudas para la realización de proyectos de I+D relacionados con la protección radiológica

En su reunión de 11 de julio, el Pleno del CSN aprobó por unanimidad una resolución por la que se establecen las bases reguladoras y se convocan, para los años 2012 a 2014, las ayudas para la realización de proyectos de I+D relacionados con la protección radiológica, tras haber sido informada por la Subdirección de Asesoría Jurídica y la Intervención Delegada. La financiación de las ayudas asciende a un importe total máximo de 1.316.000 euros, a distribuir entre los tres años.

■ Plan de acción sobre las recomendaciones del Comité Asesor para la Información y la Participación Pública

El Pleno del Consejo, en su reunión del 11 de julio, aprobó por unanimidad, con algunas correcciones, el Plan de Acción del CSN en respuesta a las tres recomendaciones realizadas por el Comité Asesor para la Información y la Participación Pública, en su reunión de 21 de mayo de 2012, relativas a la situación radiológica en Palomares; la revisión de los planes de emergencia nuclear (PEN) como consecuencia del accidente de Fukushima; y la celebración de una conferencia sobre los resultados de las pruebas de resistencia realizadas a las centrales nucleares españolas. También aprobó el programa propuesto por

el Gabinete Técnico de Presidencia para dicha conferencia.

■ ITC sobre sucesos con pérdida potencial de grandes áreas de las centrales nucleares

En su reunión de 18 de julio, el Pleno del Consejo aprobó por unanimidad una Instrucción Técnica Complementaria (ITC) en relación con el cumplimiento, por parte de los titulares de las centrales nucleares, de las ITC de 1 de julio de 2011, sobre sucesos con pérdida potencial de grandes áreas de las centrales nucleares.

En las ITC de 2011 se requerían una serie de acciones en relación con la capacidad de mitigación de situaciones más allá de la base de diseño que, aunque muy improbables, no se pueden descartar completamente, y que incluyen atentados terroristas y otras acciones malevolentes. La nueva ITC establece acciones adicionales a las ya previstas por los titulares en sus respuestas.

■ ITC sobre la central nuclear Santa María de Garoña

El Pleno del CSN aprobó por unanimidad, el 12 de septiembre, una Instrucción Técnica Complementaria por la que se requiere al titular de la central nuclear de Santa María de Garoña la presentación de una propuesta de documentos oficiales asociados a la declaración de cese definitivo de la central, con fecha límite de 6 de noviembre de 2012.

El titular ha dejado pasar el plazo fijado en la Orden IET/1453/2012 para presentar nueva solicitud de renovación de la autorización de explotación por un plazo adicional de seis años, a partir de la fecha de extinción de la actual autorización, el 6 de julio de 2013. Ante la posibilidad contemplada en esta orden, y a solicitud del titular, el Pleno del CSN anuló el pasado 4 de julio la ITC aprobada el 20 de julio de 2011, requiriendo al titular la presentación, antes del 6 de julio de 2012, de una propuesta de modificación de los documentos oficiales de explotación de la central, correspondientes al período de tiempo desde el cese de la explotación hasta la concesión de la autorización de desmantelamiento.

Dado que el titular no presentó la solicitud de renovación en el plazo establecido, el Pleno entiende que procede restaurar la situación anterior a la anulación de la ITC, requiriendo la presentación de los documentos asociados a la declaración de cese definitivo de la central antes del 6 de noviembre de 2012. 

Información correspondiente al II trimestre de 2012

ISTOCKPHOTO



Centrales nucleares

Almaraz I y II

Número de sucesos (nivel INES)

— 1 (INES 0)

Paradas no programadas

— 1 (15 de junio de 2012)

Número de inspecciones del CSN

— 7

Actividades

— La unidad I se mantuvo funcionando al 100% durante el trimestre, excepto por la parada no programada del 15 de junio.

La unidad II inició el 6 de mayo las actividades para la vigésima recarga de combustible, que concluyeron el 16 de junio.

Ascó I y II

Número de sucesos (nivel INES)

— 3 en Ascó I y 3 en Ascó II (INES 0)

Paradas no programadas

— 0

Número de inspecciones del CSN

— 6

Actividades

— Durante el trimestre, el CSN informó favorablemente la revisión 12 del Plan de Emergencia Interior, la desclasificación de resinas y la modificación del puente-grúa del edificio de combustible de Ascó I.

Cofrentes

Número de sucesos (nivel INES)

— 0

Paradas no programadas

— 0

Número de inspecciones del CSN

— 4

Actividades

— Durante el trimestre la central estuvo funcionando de manera estable a potencia, realizando una parada programada del 14 al 22 de abril para

inspeccionar el medidor de agua de alimentación por ultrasonidos y el calentador 5B.

— El CSN informó favorablemente la propuesta de adaptación del titular de la central a los artículos 28.2 y 28.3 de la Ley 25/1964 de Energía Nuclear según la Disposición Transitoria Única de la Ley 12/2011 sobre responsabilidad civil por daños nucleares.

Santa María de Garoña

Número de sucesos

— 2 (INES 0)

Paradas no programadas

— Ninguna

Número de inspecciones del CSN

— 7

Actividades

— Durante el trimestre la central operó a plena potencia térmica.

— El 28 de junio la central llevó a cabo el simulacro anual preceptivo.

Trillo

Número de sucesos (nivel INES)

— 0

Paradas no programadas

— 0

Número de inspecciones del CSN

— 9

Actividades

Entre el 18 de mayo y el 18 de junio se llevó a cabo sin incidentes la vigesimocuarta parada para recarga de combustible.

Vandellós II

Número de sucesos (nivel INES)

— 2 (INES 0)

Paradas no programadas

— 0

Número de inspecciones del CSN

— 8

Actividades

— El trimestre se inició con la central al 89% de potencia por indicaciones anómalas en el control del sistema de agua de alimentación principal, recuperando el 4 de abril la potencia nominal.

— El 25 de mayo se inició la decimoctava parada para recarga de combustible, que continuaba al final del trimestre.

Instalaciones del ciclo y en desmantelamiento

Ciemat**Pimic-Rehabilitación**

— Continúan las actividades de rehabilitación del centro, en especial, la descontaminación del hueco de los pocillos de la In-04, antigua instalación de “Celdas calientes metalúrgicas”.

Pimic-Desmantelamiento

— Ha finalizado la rehabilitación de la zona denominada «La Lenteja» y la excavación de los terrenos de la zona denominada «El Montecillo» avanzan a buen ritmo. Se ha llegado al terreno original en dos de los seis sectores de la zona.

Otras actividades

— Se ha informado favorablemente sobre la nueva instalación IR-33 “Laboratorio de patrones neutrónicos”.

Número de inspecciones del CSN

— 0

Centro Medioambiental de Saelices El Chico (Salamanca)

Planta Quercus

— Se encuentra en cese de explotación, en una situación de suspensión temporal del desmantelamiento.

Planta Elefante

— Se han recibido los resultados correspondientes a 2011 del *Programa de vigilancia y control de aguas subterráneas y estabilidad de estructuras*.

Otras instalaciones mineras:

— La empresa Berkeley Minera España ha continuado con sus labores de investigación minera en Salamanca, presentando los planes de labores y el avance de los informes sobre el cumplimiento de los criterios radiológicos aplicables.

Inspecciones del CSN

— 2

Fábrica de Uranio de Andújar

Actividades

— La instalación se encuentra en periodo de cumplimiento y el emplazamiento sigue bajo control, sin observarse incidencias.

— Enresa ha presentado el resultado de la vigilancia y mantenimiento del emplazamiento, correspondiente al año 2011, que se encuentra en evaluación.

Inspecciones del CSN

— 2

El Cabril (Córdoba)

Actividades

— La instalación sigue bajo control, sin observarse incidencias significativas. Se han realizado las operaciones habituales del centro para la gestión definitiva de residuos radiactivos de muy baja actividad y de baja y media actividad.

— El CSN ha informado favorablemente la revisión 8 del Plan de Emergencia Interior de la instalación.

Número de sucesos

— 0

Número de inspecciones del CSN

— 3

Vandellós I (Tarragona)

Actividades

— La instalación sigue en situación de latencia, sin observarse incidencias significativas.

Número de inspecciones del CSN

— 2

José Cabrera (Guadalajara)

Actividades

— Durante el trimestre continuaron las actividades previstas en el plan de desmantelamiento y clausura. En el mes de mayo se inició la segmentación de los internos de la vasija del reactor. Se está ultimando la puesta a punto del edificio auxiliar de desmantelamiento.

Número de inspecciones del CSN

— 6

Juzbado (Salamanca)

Número de sucesos (nivel INES)

— 1 (INES 0)

Actividades

— Durante el trimestre finalizó el Programa Sistemático de Revisión de las Condiciones de los Sistemas de Seguridad de la Fábrica, iniciado a raíz del suceso ocurrido el 14 de mayo de 2009.

Número de inspecciones del CSN

— 5



Barras de combustible de Juzbado.

Instalaciones radiactivas

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

Informes para autorización de nuevas instalaciones

— 17

Informes para autorizaciones de modificación de instalaciones

— 69

Informes para declaración de clausura

— 8

Informes para autorización de servicios de protección radiológica

— 2

Informes para autorización de unidades técnicas de protección radiológica

— 1

Informes para autorización de retirada de material radiactivo no autorizado

— 5

Informes para autorizaciones de empresas de venta y asistencia técnica de equipos de rayos x para radiodiagnóstico médico

— 6

Informes para autorización de otras actividades reguladas

— 4

Informes relativos a la aprobación de tipo de aparatos radiactivos

— 5

Informes relativos a homologación de cursos para la obtención de licencias o acreditaciones.

— 23

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

Apercibimientos a instalaciones radiactivas industriales

— 6

Apercibimientos a instalaciones radiactivas de investigación o docencia

— 1

Apercibimientos a unidades técnicas de protección radiológica

— 1

Apercibimientos a instalaciones de rayos X médicos

— 2

Apercibimientos a otras actividades reguladas

— 2

Seguridad física

Actividades más relevantes

— Durante el trimestre finalizó el trabajo del Grupo ad hoc sobre Seguridad Física de Centrales Nucleares de la UE.

— Han continuado los trabajos para la revisión del modelo nacional de respuesta a ataques o intrusiones a instalaciones nucleares; los de definición de la Amenaza Base de Diseño y los de protección de infraestructuras críticas.

— Se han incorporado los comentarios externos al proyecto de Guía 8.2 del CSN sobre los Planes de Seguridad Física de Instalaciones Nucleares.

Cursos

— Asistencia al *International Training Course on Physical Protection of Nuclear Materials and Facilities* (Albuquerque, EEUU).

— Colaboración en el Curso Superior de Protección Radiológica del Ciemat.

Número de simulacros

— 0

Número de inspecciones

— 5 (Sta. Ma Garoña, Ascó, El Cabril, Ciemat y Vandellós II).

Actividades internacionales

— Seminario con Marruecos dentro de las actividades de la Iniciativa Global contra el Terrorismo Nuclear.

— Participación en el Nuclear Security

Committee Guidance del OIEA.

— Visita bilateral de la NRC al CSN para el seguimiento del proyecto de implantación de seguridad física como área estratégica del SISC.

Notificación de sucesos

Número de incidentes en instalaciones nucleares en una hora

— 7

Número de incidentes en instalaciones nucleares en 24 horas

— 20

Número de incidentes radiológicos

— 6

Hechos relevantes

— Un incendio declarado el día 28 de junio en las proximidades del pueblo de Cortes de Pallás provocó la notificación de sucesos de 1 h y 24 h los días 28 y 29 junio. Desde la sala de emergencias del CSN se llevó a cabo un seguimiento del mismo hasta su total estabilización el día 3 de julio.

Emergencias

Activación de la ORE

— Durante este periodo se ha activado la ORE parcialmente con ocasión de un incidente de transporte sin consecuencias radiológicas en el aeropuerto de Barajas.

Otras actividades relevantes

— En el marco del convenio de colaboración CSN – UME, se ha verificado la operatividad de la sala de respaldo de la Salem, ubicada en el Cuartel General de Torrejón de Ardoz, con ocasión del simulacro del PEI de la central nuclear de Garoña, ha sido cedido el equipamiento radiométrico necesario para dotar una unidad de reconocimiento de la Compañía de Riesgos Tecnológicos y el CSN se ha adherido a la Renem (Red Nacional de Emergencias).



WWW.CSN.ES

Para seguir todo el proceso de revisión de las centrales nucleares que se está llevando a cabo en Europa con el fin de mejorar sus niveles de seguridad, en aplicación de la experiencia proporcionada por el accidente de Fukushima Daiichi, se pueden obtener todos los documentos generados visitando: http://www.csn.es/index.php?option=com_content&view=article&id=18345&Itemid=760%E2%8C%A9=es



El CSN cuenta con un Centro de Información con 29 módulos interactivos que permiten conocer mejor las radiaciones ionizantes, sus aplicaciones en investigación, medicina e industria, sus riesgos y los controles que lleva a cabo el CSN para garantizar la seguridad de las personas y del medio ambiente. Si desea visitarlo puede acceder a más información aquí:

http://www.csn.es/index.php?option=com_content&view=article&id=141&Itemid=132&lang=es



Puede conocer los resultados más recientes del **Sistema Integrado de Supervisión de Centrales (SISC)** en: <http://www.csn.es/sisc/index.do>



Para consultar las **actas del Pleno del CSN**, visite:

http://www.csn.es/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=49&Itemid=74&lang=es



Puede acceder a los anteriores números de **Alfa, revista de seguridad nuclear y protección radiológica** en:

http://www.csn.es/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=72&Itemid=157&lang=es



PUBLICACIONES



Informe del Consejo de Seguridad Nuclear al Congreso de los Diputados y al Senado Año 2011



Guía de Seguridad 3.1
Modificaciones en instalaciones de fabricación de combustible nuclear



Participación del Consejo de Seguridad Nuclear en el Sistema Nacional de Protección Civil
Carta de servicios del CSN ante emergencias nucleares y radiológicas



Encuentro sobre protección radiológica y salud
Universidad Internacional Menéndez Pelayo



XV Aniversario
del Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores y Nucleares

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.

Pedro Justo Dorado Dellmans 11
28040 Madrid (España)
www.csn.es

