

Juzbado, la fábrica del combustible nuclear

Subdirección de Ingeniería del CSN



Garantes de la seguridad en las instalaciones nucleares

Josep Maria Serena,
presidente del CSN



“Estamos preparados para
afrontar los próximos retos”



Súmate a los 135.000

Desde su inauguración en 1998, los 135.000 visitantes del Centro de Información del Consejo de Seguridad Nuclear han tenido ocasión de aproximarse al conocimiento sobre las radiaciones ionizantes, sus usos, sus riesgos y los controles y la protección que son necesarios para garantizar su utilización fiable, en la cual el CSN –como organismo encargado de la seguridad nuclear y la protección radiológica– juega un papel muy importante.

En la vida diaria utilizamos las radiaciones con una enorme frecuencia, tanto en relación con la salud y la medicina –en diagnóstico y en terapia– como también en la industria y en la investigación. A través de un recorrido guiado por los 29 módulos, se pueden conocer con detalle estos aspectos relacionados con las radiaciones. Consigue más información en www.csn.es/index.php/es/centro-informacion o pide cita en centroinformacion@csn.es
Súmate a los 135.000.

El organismo regulador, a la vanguardia de la ciencia

El Consejo de Seguridad Nuclear comienza una nueva etapa en sus casi 40 años de andadura con la renovación de algunos de los miembros de su Pleno. El nuevo presidente del organismo regulador nuclear, Josep Maria Serena i Sender nos traslada, en las páginas dedicadas a la entrevista, las líneas maestras de su mandato y sus primeras impresiones después de algunos meses al frente del garante de la seguridad nuclear y la protección radiológica.

El cumplimiento con las resoluciones emanadas del Parlamento, la mejora de la transparencia y la comunicación o el refuerzo del programa de Cultura de Seguridad son algunas de las cuestiones que enumera Serena en sus respuestas. Además, pone especial énfasis en los asuntos relacionados con el funcionamiento interno del Consejo; un organismo, según sus palabras “con un altísimo componente científico, que debe mantenerse en la vanguardia de la ciencia”.

En los artículos técnicos de ALFA, hacemos un repaso a las convenciones y normas internacionales que se han ido aplicando en las instalaciones nucleares y radiactivas en materia de seguridad física y que tienen su origen en los atentados en Nueva York de 2001. Desde esa fecha, se

ha reforzado, internacionalmente, la protección física de infraestructuras y de cualquier actividad susceptible de ser atacada. Las instalaciones nucleares y radiactivas no han sido una excepción y España ha fortalecido de manera muy significativa su protección física, teniendo en cuenta, además, la experiencia habida en nuestro país.

Asimismo, comprobaremos cómo se ha efectuado el cambio de los equipos ana-

El nuevo presidente del CSN, Josep Maria Serena i Sender, nos traslada, en una entrevista, las líneas maestras de su mandato y sus primeras impresiones y retos de futuro

lógicos a los digitales en los sistemas de instrumentación y control en las centrales nucleares que están operativas. La mayoría de los diseños de estos sistemas se basan en tecnología analógica que ha ido envejeciendo y sufriendo averías de difícil reparación. Gracias al alto nivel de desarrollo, el uso de los equipos digitales se ha ex-

tendido en todo tipo de industrias.

La sección más visual de nuestra revista, Radiografía, nos expone los campos de trabajo de la protección radiológica y sus retos en un futuro próximo.

En los reportajes divulgativos de ALFA descubriremos cómo se fabrica el combustible nuclear en la fábrica de Juzbado, en Salamanca. Esta instalación es una de las cinco fábricas de pastillas de uranio existentes a día de hoy en la Unión Europea. Gestionada por Enusa (Empresa Nacional del Uranio S.A.), se puso en marcha en 1985 y cuenta con 350 empleados.

Además, conoceremos la historia de los elementos que componen la tabla periódica. Detrás de su composición, la tabla esconde relatos de personalidades notables que se han asegurado su inmortalidad dejando su nombre detrás de la denominación de algunos elementos.

Cerramos el apartado divulgativo de ALFA abordando nuevas técnicas para el reciclaje de los isótopos radiactivos. Su producción es fundamental para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades como el cáncer. Un proceso que genera residuos que amenazan la sostenibilidad de su fabricación. Un proyecto belga busca una forma de reutilizar este material, para reducir al mínimo los residuos nucleares.

ALFA

Revista de seguridad nuclear
y protección radiológica
Editada por el CSN
Número 41 / Año 2019

Comité Editorial
Josep Maria Serena i Sender
Pilar Lucio Carrasco
Rafael Cid Campo
M^a Fernanda Sánchez Ojanguren
David Redolí Morchón
Ángel Laso D'Lom
Felipe Teruel Moya

Comité de Redacción
Ángel Laso D'Lom
Natalia Muñoz Martínez

Juan Enrique Marabotto García
Manuel Aparicio Peña
Felipe Teruel Moya

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

Fotografías
CSN, Estugraf, Miguel G. Rodríguez,
Agencias (ThinkstockPhotos, Getty)

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

Fotografías de portada
Agencias

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

© Consejo de Seguridad Nuclear

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

REPORTAJES

06 Así se fabrica el combustible nuclear



En Juzbado, una localidad de menos de 200 habitantes a 20 kilómetros de Salamanca, se encuentra una de las cinco fábricas de combustible nuclear existentes hoy en la Unión Europea. Gestionada por Enusa (Empresa Nacional del Uranio S.A.), se puso en marcha en 1985 y cuenta con 350 empleados. En los próximos años se tendrá que adaptar a lo que puede ser un nuevo entorno debido a varias decisiones políticas acerca de la energía nuclear, que se podrían concretar en un plazo relativamente breve.

30 Nombres en su elemento



La tabla periódica ha evolucionado de acuerdo con los avances del mundo de la química en los 150 años transcurridos desde su creación. Un aspecto fascinante y menos conocido de la tabla es la historia de los elementos que lo componen y, lo que es más curioso, de personalidades notables que se han asegurado su inmortalidad dejando su nombre detrás de la denominación de algunos.

40 El reciclaje llega a los radioisótopos médicos

La producción de isótopos radiactivos es fundamental para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades como el cáncer. Sin embargo, su creación también genera residuos, que amenazan la sostenibilidad del proceso a largo plazo. Un proyecto belga busca una forma de reutilizar este material radiactivo para reducir al mínimo los residuos nucleares.

48 Arturo Duperier, el genio relegado



Se han cumplido 60 años de la muerte del físico Arturo Duperier (Pedro Bernardo, Ávila, 1896 - Madrid, 1959). Discípulo predilecto y aventajado de Blas Cabrera, con quien formuló la conocida como 'ley de Cabrera-Duperier', se exilió a Inglaterra al final de la Guerra Civil y se especializó en las variaciones de intensidad de los rayos cósmicos a nivel del mar en el transcurso del tiempo. El proyecto estaba dirigido por el que sería Premio Nobel de Física en 1948, P. M. S. Blackett. Duperier se consolidó, gracias al trabajo de esos años, como una autoridad mundial en materia de rayos cósmicos.

RADIOGRAFÍA

38 La protección radiológica en 2018. Retos futuros

El pasado mayo se celebró la Jornada ‘La Protección Radiológica en 2018’, organizada por la Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR) en el Ciemat. La directora técnica de Protección Radiológica del CSN, M^a Fernanda Sánchez Ojanguren, destacó el proceso de mejora continua del organismo regulador, que ha dotado al mismo de un sistema de gestión y de un código ético.

ENTREVISTA

14 Josep Maria Serena i Sender, presidente del CSN: “Nos corresponde evaluar, inspeccionar y regular la seguridad nuclear y la protección radiológica en España”

El nuevo presidente del Consejo de Seguridad Nuclear, Josep Maria Serena i Sender, asegura que se ve preparado para afrontar todos los retos futuros, con la máxima brevedad.

ARTÍCULOS TÉCNICOS

23 Nueva normativa de protección física de fuentes radiactivas


Tras el atentado en 2001 en Nueva York, se ha reforzado en todo el mundo la protección física de infraestructuras y cualquier actividad susceptible de ser atacada y han aparecido una serie de convenciones y normas internacionales. Las instalaciones nucleares y radiactivas no han sido una excepción y España ha reforzado de manera muy significativa su protección física, teniendo en cuenta además la experiencia habida en nuestro propio país.

54 Licenciamiento de sistemas digitales en centrales nucleares

La mayoría de los diseños de los sistemas de Instrumentación y Control (I&C) en las centrales nucleares en operación se basan en tecnología analógica. Con el paso del tiempo, los equipos analógicos han ido envejeciendo y presentando averías de difícil reparación. Paralelamente, la tecnología digital ha alcanzado un alto nivel de desarrollo y el uso de los equipos digitales se ha extendido en todo tipo de industrias, demostrando que se trata de productos maduros y que, por lo general, presentan una alta fiabilidad.



- 61 Reacción en cadena
- 64 Panorama
- 68 Acuerdos de Pleno
- 69 csn.es
- 70 Publicaciones



En la factoría salmantina de Juzbado

Así se fabrica el combustible nuclear

En Juzbado, una localidad de menos de 200 habitantes a 20 kilómetros de Salamanca, se encuentra una de las cinco fábricas de combustible nuclear existentes hoy en la Unión Europea. Gestionada por Enusa (Empresa Nacional del Uranio S.A.), se puso en marcha en 1985 y cuenta con 350 empleados. En los próximos años se tendrá que adaptar a lo que puede ser un nuevo entorno debido a

varias decisiones políticas acerca a la energía nuclear, que se podrían concretar en un plazo relativamente breve. Las circunstancias están impulsando el interés en el mercado internacional, pero el mercado nacional sigue siendo fundamental, con un volumen de negocio de 100 millones de euros al año

■ Texto **Daniel Mediavilla** | Periodista | ■

La ministra para la Transición Ecológica, Teresa Ribera, había declarado en varias ocasiones que, tal y como estaba recogido en el programa electoral del PSOE, el final de la energía nuclear en España llegaría en 2028. No obstante, afirmó que poder cumplir ese compromiso dependería de los escenarios climáticos. En declaraciones más recientes, reconoció que el cierre nuclear podría llegar casi una década más tarde, en 2035. La hoja de ruta para el cierre de las centrales españolas que se ha negociado recientemente indica que esta última será –si se mantienen los plazos– la fecha en la que se clausure la última central del país.

Este cierre restaría mercado a la fábrica de Juzbado, que vende el 40% del combustible que produce a las centrales nucleares españolas, a las que también ofrece asistencia técnica relacionada con la recarga de combustible y otras operaciones. Sin embargo, la medida también podría ofrecer oportunidades para la instalación de Enusa. Alemania, el país que además de Reino Unido, Francia y Suecia cuenta con una fábrica de combustible nuclear en Europa, asegura que cerrará su última central atómica en 2022, algo que, aunque también quitaría algún cliente actual a la factoría salmantina, significaría que los fabricantes de combustible nuclear de ese país

perdiesen capacidad de suministro o cerrasen del todo sus instalaciones.

La provincia de Salamanca es una de las pocas de que cuenta con yacimientos de uranio en España, donde se extrajo durante los ochenta y los noventa. Más recientemente, la empresa australiana Berkeley trató de poner en marcha la que sería la mayor mina de uranio de Europa a cielo abierto, en Retortillo también en Salamanca, pero el proyecto no se ha llegado a concretar.

Sin embargo, el elemento en su estado natural no es útil para la fabricación de combustible. Antes de estar listo para ser convertido en pastillas, el uranio debe superar varios procesos hasta convertirse en óxido de uranio enriquecido y en España no existe la capacidad para realizar este proceso. El uranio que llega a Juzbado ha sido puesto a punto previamente en Reino Unido y Estados Unidos.

Pastillas enriquecidas

El óxido de uranio se somete a un proceso con similitudes al de la fabricación de otro tipo de cerámicas para obtener pastillas de uranio enriquecido al 4,5%. El polvo se compacta a alta presión y se cuece a temperaturas de hasta 1.700 grados durante 17 horas, como si, salvando las distancias, se tratase de una cazuela de barro. Las

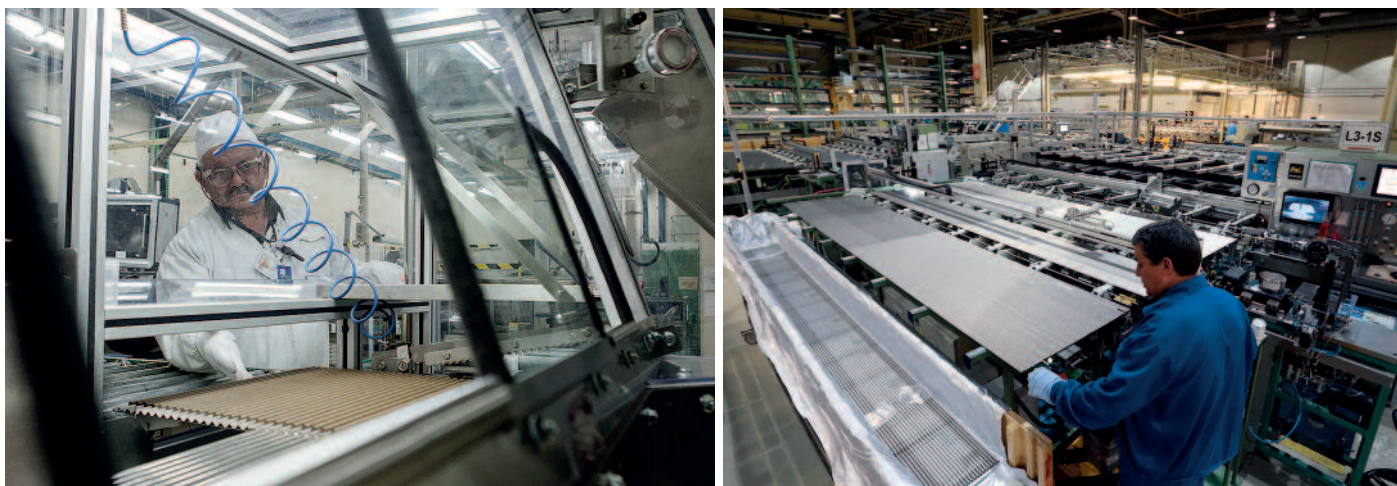
pastillas que se obtienen, de un color mate, miden poco menos de dos centímetros de alto y uno de diámetro.

En un negocio que ya tenía unas medidas de seguridad excepcionales, el accidente de Fukushima, en Japón, hizo que las medidas preventivas se incrementasen. Todos los participantes en el proceso se someten a un control estrecho. Las normas del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) piden que se vigile un área de 10 kilómetros a la redonda en torno a la fábrica de Juzbado, tomando medidas de los niveles de radiación en muestras vegetales o en el agua, además de controlar los gases que salen al exterior a través de las chimeneas de los hornos donde se cuecen las pastillas. El agua empleada en los procesos es almacenada y testada para conocer todos sus parámetros químicos, biológicos o radiológicos. Si el límite legal es de 0,1 milisieverts, los responsables de la fábrica afirman que sus mediciones son 10.000 veces inferiores.

Una vez obtenidas las pastillas, se tienen que rectificar para que cumplan con los requerimientos para un reactor específico, y después, se miden con métodos láser y se examinan con sistemas robotizados para comprobar que cumplen con los niveles de calidad exigidos. Este sistema automatizado que se utiliza en la fábrica de



La de Juzbado (Salamanca) es una de las cinco fábricas de combustible nuclear existentes hoy en la Unión Europea.



Una vez procesado el uranio y convertido en pastillas, estas se agrupan en cilindros de aleaciones de circonio agrupadas en haces de más de cuatro metros.

Enusa se ha creado allí mismo y es un factor de innovación que ha mejorado su competitividad a nivel internacional.

Avances como este han abierto las posibilidades de cooperación con China, un país que entre el año pasado y el presente prevé poner en marcha 13 reactores nucleares, tiene 10 más en construcción y ya ha autorizado la construcción de cuatro más. Con un panorama de cierres en algunos países de Europa, los planes de futuro chinos para la energía nuclear lo convierten en un país de gran interés para Enusa, cuyos representantes ya se han reunido con ejecutivos del grupo CGN, el mayor operador nuclear en China y el tercero a nivel mundial. Entre otras consideraciones, CGN quiere que la empresa española les ayude a diseñar e implantar una planta de producción de combustible que el país asiático tiene previsto construir en Yangjiang. En esta ciudad se encuentra la mayor central nuclear del país, que produce casi tanta energía como todas las centrales españolas de la actualidad.

Enusa celebraba estos contactos a principios de este año como la apertura de “importantes expectativas para la industria nuclear española, no sólo en el ciclo de combustible o en el desarrollo de tecnología, sino también en el proceso de digitalización iniciado por el sector nuclear chino, y en el que España es referente”. Esta

capacidad “es fruto de la intensa labor iniciada hace ya más de una década por la industria nuclear española en la digitalización de sus procesos para mejorar la calidad y la seguridad de sus productos”, concluían.

De vuelta a Juzbado, una vez que se ha procesado el uranio y convertido en pastillas, estas se agrupan en cilindros de aleaciones de circonio agrupados en haces de más de cuatro metros de longitud que ya están listos para su transporte, tanto hacia las centrales españolas como hacia clientes internacionales, principalmente en Europa. Cuando se empleen en una central eléctrica, cada una de las pastillas producirá tanta electricidad como la que consume una familia en un año. En la actualidad, Enusa cuenta como clientes con 10 centrales nucleares francesas, cuatro belgas, una alemana, una sueca y una finlandesa.

El óxido de uranio se somete a un proceso similar al de la fabricación de cerámica para obtener pastillas de uranio enriquecido al 4,5%

Las circunstancias están impulsando el interés en el mercado internacional de Enusa, pero el mercado nacional sigue siendo fundamental, con un volumen de negocio de 100 millones de euros al año. Para que el apagón nuclear que podría llegar en algo más de una década no les pille a contrapié, los responsables de la fábrica de Juzbado se han aliado con la empresa estadounidense Westinghouse para conseguir contratos en Ucrania y Eslovaquia. En las instalaciones salmantinas se producen 300 toneladas de combustible nuclear al año y tienen previsto incrementar esa cantidad hasta las 330 entre 2020 y 2023. Si los contactos internacionales fuesen especialmente fructíferos, Enusa tiene licencia para producir hasta 500 toneladas al año.

Nuevos mercados

Además de firmar un contrato de 150 millones de euros hasta 2038 con la empresa finlandesa TVO, los responsables de Enusa quieren aprovechar otra circunstancia política favorable para buscar nuevos mercados. Las centrales de Ucrania dependen del combustible que les suministra Rusia, un país con el que se encuentra enfrentado en una guerra más o menos fría. Las presiones rusas ya han malogrado contratos que no convenían a los intereses del país que dirige Vladimir Putin.

No obstante, las relaciones del equipo

Acopio de uranio, ingeniería y fabricación

En las instalaciones de Juzbado, las actividades se centran en el acopio de uranio y de los componentes necesarios para el proceso, la ingeniería y la fabricación de elementos combustibles para las centrales nucleares españolas y europeas, con la tecnología más innovadora y los últimos avances del mercado. Estos combustibles son de tres tipos:

- PWR: Reactores de agua a presión, bajo licencia de Westinghouse
- BWR: Reactores de agua en ebullición, General Electric
- VVER: Reactores de agua a presión, en colaboración con Westinghouse

La fabricación de elementos combustibles se divide en dos procesos: el cerámico, en el que partiendo de polvo de óxido de uranio se fabrican pastillas que se introducen en tubos de aleaciones de circonio que una vez cargados, presurizados y sellados reciben el nombre de barras combustibles. Y el cerámico, en el que las barras combustibles son ensambladas formando los elementos que se envían a las centrales.

Proceso cerámico

La primera operación es la recepción de bidones con el polvo de óxido uranio. El siguiente paso es el mezclado, etapa que consiste en la creación de una mezcla uniforme del polvo de óxido de uranio virgen (UO_2), y del material limpio reciclado (U_3O_8) y habitualmente un formador de poros. Después se pasa a la etapa de preprensado y granulado, que consiste en prensar el polvo para formar una pastilla con una densidad mayor y que, una vez tamizada, genera un polvo granulado que mejora las características de fluidez. El polvo granulado es previamente mezclado con un polvo lubricante en un homogeneizador adecuado, para favorecer la formación de la pastilla en el prensado y garantizar la vida de la prensa.

Las pastillas prensadas pasan a un proceso de sinterizado para obtener la apropiada densidad e integridad para su uso en un reactor nuclear. Se sinterizan las pastillas a altas temperaturas dando lugar a una mayor solidez y dureza a su estructura.

El siguiente paso es el rectificado. El combustible nuclear para un reactor está diseñado con un diámetro de pastilla y vaina específico. Este diámetro de la pastilla permite una se-

paración determinada entre la pared interior de la vaina y la pastilla de acuerdo a un plano.

Finalmente las pastillas son medidas con métodos láser y examinadas superficialmente con sistemas robotizados de inspección por visión artificial mediante cámaras de alta definición. De esta forma, las pastillas que no cumplen los niveles de calidad marcados son identificadas y eliminadas. Las pastillas eliminadas en cualquier etapa y especialmente en la de inspección son oxidadas y recuperadas como óxido de uranio reciclado que es introducido de nuevo en el mezclado.

Proceso mecánico

En esta segunda fase, primero se lleva a cabo la fabricación de tapones. Para ello reciben las barras de zircaloy a partir de las cuales se fabrican esos tapones que, una vez inspeccionados, se emplean para cerrar las barras de combustible. Para el proceso de fabricación de barras de combustible se parte de tubos a los que previamente se ha soldado por un extremo el tapón inferior y se procede a la carga de barras; es decir, a la introducción de las pastillas en dichos tubos.

Una vez cargados, a los tubos se les coloca en su interior un muelle, el segundo tapón y, después de presurizarlos con un gas inerte, se suelda el segundo tapón, operación con la que queda la barra terminada y sometida a una serie de controles de calidad (ultrasonidos, radiografía, fugas de He, corrientes inducidas y escáneres) para verificar que cumple con todos los requisitos de especificación.

El siguiente paso es la fabricación del esqueleto, una estructura formada por barras, cabezales y rejillas, que, tras ser inspeccionado, servirá de soporte para ir insertando después las barras combustibles.

Montaje final

Debido a su constitución distinta, se establece una diferencia entre los elementos combustibles de tipo PWR y BWR. De manera general, esta última operación del proceso consiste en la inserción de las barras de combustible en el esqueleto soporte, colocando finalmente cabezales y estructuras de soporte. Los elementos combustibles son sometidos a diversas inspecciones, previamente a ser embalados en contenedores homologados para su transporte. Algunos diseños tienen una etapa de lavado previo a su embalaje.

Fabricación de un elemento combustible



de Enusa con corporaciones rusas dedicadas a la industria nuclear son frecuentes. Hace unos meses, una delegación del fabricante de combustible nuclear TVEL visitó la fábrica de Juzbado. El objetivo era explorar nuevas áreas de colaboración entre la empresa estatal rusa y la española en lo referente a la primera parte del ciclo del combustible nuclear. Enusa mantiene una relación comercial con la industria nuclear rusa, principalmente como compradora de servicios de conversión y enriquecimiento a través de una filial de Rosatom, el conglomerado ruso que agrupa las actividades nucleares rusas en el ámbito civil.

Debido a las medidas de seguridad necesarias para todas las actividades que requiere producir energía nuclear, siempre se emplean espacios especializados. El polvo de uranio suele llegar a España a

través del puerto de Bilbao para después trasladarlo a Juzbado. En el camino hacia las centrales nucleares de toda Europa que producen electricidad con los cilindros de combustible elaborados en la fábrica salmantina, cuando la vía marítima es más apropiada que la terrestre, el puerto de salida, también en el Cantábrico, suele ser Santander.

Enusa fue creada en 1972, cuatro años después de la puesta en marcha de la primera central nuclear española, la José Cabrera, en Almonacid de Zorita (Guadalajara). El objetivo de la empresa era la exploración e investigación de los yacimientos españoles con el objetivo de producir combustible nuclear. Por ese motivo, el Estado hizo responsable a Enusa de la explotación de las minas de uranio que había entonces en el país.

La de La Haba, en la provincia de Badajoz, estuvo activa entre los años 1966 y 1990. Ese año, cesó su actividad y se iniciaron las labores de restauración medioambiental que finalizaron en 2004. Actualmente el emplazamiento está en fase de vigilancia y control a largo plazo. Por otro lado, las minas de uranio de Saelices el Chico, en Salamanca, finalizaron su actividad en 2000. A partir de ese momento comenzó el desmantelamiento de las instalaciones radiactivas y la restauración del espacio natural afectado por los trabajos de minería. Este proyecto de recuperación medioambiental minera es uno de los de mayor magnitud acometido en España y uno de los más importantes de la Unión Europea con un presupuesto previsto de 150 millones de euros.

En sus décadas de trabajo, los estrictos

protocolos de funcionamiento han hecho que, pese a la relevancia de su labor, haya tenido una presencia mediática escasa, algo que para la industria nuclear suele ser una buena noticia. Uno de los pocos casos en los que lo sucedido en Juzbado trascendió a los medios nacionales tuvo lugar en 2007. En septiembre de ese año, una empleada de la limpieza de Enusa descubrió un frasco con 70 pastillas de óxido de uranio enriquecido al 4,5%, el mismo que se emplea como combustible en las centrales nucleares. Aquellas pastillas estaban fuera de la zona de seguridad, junto a una encina. El incidente no tenía precedentes.

La cantidad de material encontrado fuera de la zona de control era inferior a la que puede detectarse en los inventarios de material nuclear y se llegó a plantear que algún empleado lo hubiese colocado allí a modo de protesta o queja laboral. Las cantidad de combustible contenido en las pastillas no habría servido ni siquiera para fabricar una bomba sucia. Para una bomba atómica el uranio tiene que estar enriquecido al 90%. Las sospechas se centraron en tres empleados de la factoría, pero la Guardia Civil no encontró pruebas concluyentes contra ninguno.

Isótopos radiactivos

El conocimiento generado por la experiencia en el trabajo con la producción de combustible nuclear, también ha tenido efectos en otras áreas que no tienen que ver con la producción de electricidad. Uno de estos ámbitos es la generación y distribución de isótopos radiactivos para su uso en los hospitales de toda España. Según contaba Enusa, en 2018, su filial ETSA, que también tiene sede en Salamanca, distribuyó más del 95 por ciento de todos los isótopos radiactivos de uso médico que se consumen en España. Tal y como explicó a EFE recientemente el director de operaciones de combustible

Una producción acumulada de 8.000 toneladas

La fábrica de elementos combustibles de Juzbado acumula una producción de 8.000 toneladas y más de 23.000 elementos combustibles fabricados desde su puesta en marcha en 1985. Estos son algunos de los datos que un grupo de periodistas pudo conocer de primera mano en la visita organizada conjuntamente por Enusa y Foro Nuclear a las instalaciones salmantinas de la compañía.

Enusa es una empresa pública creada en 1972 y que cubre dos áreas de negocio: nuclear y medioambiental. En el área nuclear trabajan todo el ciclo del combustible, desde la minería, diseño e ingeniería, fabricación, transporte y servicios a sus clientes hasta la gestión del combustible usado. La fábrica de Juzbado, que cuenta con más de 400 empleados de los más de 700 del Grupo Enusa, es una de las cinco fábricas europeas dedicadas al combustible nuclear.

Desde Juzbado se gestiona el acopio de uranio para cubrir el 100% de las necesidades de combustible de sus clientes, entre los que se encuentran, además de las centrales españolas, plantas de países como Francia, Bélgica, Alemania, Suecia o Finlandia. Actualmente exportan más del 60% de su producción anual. La gestión unificada de aprovisionamiento del uranio enriquecido para el parque nuclear español que realiza Enusa permite una mayor seguridad de suministro, una gran flexibilidad ante los cambios, una mayor capacidad de negociación con los suministradores y un ahorro en los costes de gestión.

En cuanto a la disponibilidad de uranio, según el 'Libro Rojo del Uranio', existen suficientes reservas de este mineral en el mundo para el suministro a todas las centrales nucleares mundiales durante más de 135 años, lo que supone 15 años adicionales a las previsiones anteriores.





La fábrica acumula una producción de 8.000 toneladas y más de 23.000 elementos combustibles desde su puesta en marcha en 1985.

nuclear de la fábrica de Juzbado, Javier Montes, el reparto de estas unidades radiactivas requiere una capacidad logística para hacer las entregas a tiempo manteniendo un seguimiento exhaustivo de los productos.

“Cuando se produce un pedido, la rapidez tiene que ser máxima y los envíos suelen gestionarse por transporte terrestre o aéreo, y, dependiendo del nivel de radiactividad que contengan, se usan embalajes plomados para proteger de las radiaciones ionizantes”, explicaba Montes. La mayor parte de estos fármacos se fabrican en el extranjero y en su mayoría tienen una vida media relativamente breve para que la permanencia en el organismo del paciente no sea prolongada. Esto, al mismo tiempo, hace que el reparto tenga que ser más eficiente.

Fuera de la producción de combustible nuclear, desde Enusa recuerdan que también tienen capacidad y experiencia para gestionar de manera integral residuos con distinto nivel de peligrosidad y en el tratamiento de suelos y aguas contaminadas. Este tipo de trabajos los llevan a cabo a

través de la Empresa para la Gestión de Residuos Industriales (EMGRISA), que participa en el tratamiento de ciudades como Valladolid o ha trabajado en el rescate medioambiental de algunas zonas como la antigua mina de Saelices.

En un entorno cambiante para la industria nuclear, la diversificación tanto en lo que se refiere a los clientes como a las actividades realizadas es importante para Enusa. El pasado mes de junio, José Vicente Berlanga, presidente de la corporación, aseguraba que mantiene contactos avanzados con los propietarios de las centrales nucleares españolas (Iberdrola, Naturgy y Endesa) para acordar el suministro de combustible nuclear hasta 2035, la fecha que ahora parece más probable tras la negociación de la hoja de ruta entre eléctricas y Gobierno. El cierre de ese acuerdo supondría que el 35% del combustible producido en Juzbado iría al mercado nacional por una cantidad que rondaría los 400 millones de euros. El resto de la producción se dedicaría al mercado internacional.

En esa misma entrevista, Berlanga re-

sumía los objetivos de futuro de la compañía y las posibilidades de mantener el empleo que genera. Por un lado, para el desmantelamiento de las centrales españolas será necesario “personal tremendamente cualificado” durante las próximas tres décadas. El éxito de este tipo de proyectos también debería servir para el rejuvenecimiento de la plantilla, algo que a su vez daría un impulso a la fijación de población joven en la comarca.

Más allá de lo que suceda en España, en el exterior, se ha vuelto a fabricar combustible para las centrales nucleares de los países nórdicos después de algunos años de ausencia y, según destacaba Berlanga, han logrado el hito de competir directamente con los rusos en un país del este de Europa como es Eslovaquia, dentro de un mercado que suelen monopolizar ellos. Además de diversos acuerdos en algunos países árabes o en Latinoamérica, Berlanga fija las ilusiones de la empresa que lidera en China y otros países del entorno: “El camino del futuro se encuentra en Asia, estamos muy ilusionados con el mercado que podamos abrir allí?”

Josep Maria Serena i Sender nació en Barcelona. Es Doctor Ingeniero Industrial y diplomado en Ingeniería y Gestión Ambiental. A lo largo de su carrera profesional, ha sido presidente y consejero delegado de AUMA Consultores en Medio Ambiente y Energía, S.L. Entre otros cargos, ha ocupado el puesto de presidente de la Comisión de Medio Ambiente del Colegio de Ingenieros Industriales de Cataluña, miembro del Consejo

Asesor para el Desarrollo Sostenible, consultor del Fondo para el Medioambiente Mundial (GEF), y también del Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (agencia federal de Estados Unidos). Ha sido también consultor del programa de la Unión Europea CETREGIO (Colaboración entre regiones europeas y chinas) y comisionado de Sostenibilidad y Economía Circular del Centro Tecnológico LEITAT.

Josep Maria Serena i Sender, presidente del Consejo de Seguridad Nuclear

“Al CSN le corresponde evaluar, inspeccionar y regular la seguridad nuclear y la protección radiológica en España, nada más y nada menos”

■ ALDL / NMM ■

Fue director de Servicios de Control Ambiental de la Corporación Metropolitana de Barcelona, desarrollando las redes de control de contaminantes, montando los laboratorios para analizar contaminantes en el aire, agua y suelo, y elaborando normativa medioambiental. Dentro de su función docente, destaca su puesto como profesor de ET-SEIB y de ESADE. Desde abril de 2019 es presidente del Consejo de Seguridad Nuclear, el organismo regulador español de la seguridad nuclear y de la protección radiológica.

PREGUNTA. ¿Qué referencias previas tenía del Consejo de Seguridad Nuclear?

RESPUESTA. Las mejores. Dentro del sector del que vengo, que es el de la ener-

gía y el medio ambiente, es conocida por todo el mundo la gran cualificación y la profesionalidad de los técnicos del Consejo de Seguridad Nuclear. Y respecto al CSN como institución, también había re-

“No esperen o teman que yo enarbole banderas ideológicas. Actuaré desde el compromiso con la institución y la honestidad profesional y personal”

cibido desde siempre las mejores referencias.

P. ¿Cómo ha sido recibido en el CSN?

R. Con absoluta normalidad, como debe de ser en un organismo maduro como este, con una política activa de renovación de los miembros de su Pleno cada seis años. Nada más llegar al Consejo, he podido sentir la cercanía de toda su plantilla. Cercanía que, además, si me permite, yo mismo intento seguir cultivando cada día, al considerar que debe ser una de las atribuciones del presidente, estar siempre cerca de todos. De hecho, al poco de llegar al Consejo, al margen de las primeras reuniones técnicas y organizativas, he querido reunirme, junto con el resto de miembros del Pleno, con toda la plantilla



El nuevo presidente del Consejo de Seguridad Nuclear, Josep Maria Serena i Sender, asegura que, “con más de 43 años de vida profesional, puedo aportar la experiencia y la formación necesarias para desempeñarme en un sector tan complejo, pero tan apasionante, como es la regulación de la seguridad nuclear y radiológica”.

del CSN, para conocer de primera mano sus inquietudes y planteamientos. Ya hemos celebrado esas reuniones y le aseguro que han sido encuentros muy fructíferos, en los que estoy seguro que todos hemos aprendido mucho.

P. ¿Algún mensaje para quien pueda considerarle ajeno al sector de la regulación nuclear?

R. Soy un ingeniero experto en medio ambiente y energía con un gran conocimiento del mundo de la empresa y de la

administración pública. Durante muchos años trabajé también como funcionario en el Ayuntamiento de Barcelona. He convivido con los reguladores toda mi vida. No es un mundo ajeno para mí. Creo, en consecuencia, que con más de 43 años

de vida profesional a mis espaldas puedo aportar la experiencia y la formación necesarias para desempeñarme en un sector tan complejo, pero tan apasionante, como es la regulación de la seguridad nuclear y radiológica. Por otro lado, soy consciente de que la plantilla del CSN es una plantilla numerosa, con opiniones, retos e inquietudes diferentes, pero quienes me conocen saben que tengo capacidad para generar consensos entre diversas partes con distintos intereses. Y, además, consciente de la relevancia del CSN como institución, tengo que decirle que no estoy solo afrontando el desafío, ya que cuento con excelentes compañe-

ros y compañeras de Pleno. Formo parte, en definitiva, de un órgano colegiado de dirección que hereda 40 años de excelente gestión. Y, por supuesto, tengo plena confianza en el cuerpo técnico del Consejo, que es de primer nivel. A todos estos aspectos, añádale además mi trabajo diario y todo el empeño, la imaginación y las horas que sean necesarias para sacar nuestro trabajo adelante de la mejor manera posible. Como dije en el Congreso de los Diputados antes de mi nombramiento, no esperen o teman que yo enarbole banderas ideológicas. Actuaré desde el compromiso con la institución y la honestidad profesional y personal. No per-

tenezco, ni he pertenecido a ningún partido ni organización política, vengo del mundo de la energía y el medio ambiente, pero soy perfectamente consciente de que el CSN no es el lugar en el que se decide el mix energético de España ni las políticas de sostenibilidad ambiental. No es su función pronunciarse sobre ello. Al Consejo le corresponde la tarea de evaluar, inspeccionar y regular la seguridad nuclear y la protección radiológica en España, nada más y nada menos.

P. En un organismo colegiado, que suele adoptar las decisiones por unanimidad, ¿cómo describiría las relaciones con el resto de miembros del Pleno?



Josep Maria Serena i Sender encabezó una delegación del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) durante su reciente participación en Bruselas, en la Fifth European Nuclear Safety Conference, organizada por el Grupo Europeo de Reguladores de Seguridad Nuclear (ENSREG).

R. Muy buenas, realmente. Los cinco miembros del Pleno hemos establecido una magnífica relación entre nosotros. Durante estos primeros meses, que han sido de mucho escuchar, de numerosas reuniones, es evidente que hemos ido ampliando nuestras relaciones al ensancharse muchos espacios comunes. Me atrevería a asegurar que, en este momento, en el Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear existe muy buena armonía. Déjeme añadir que nos gusta que las decisiones se tomen por unanimidad, y ese será mi empeño y el del resto del Pleno. Pero, si hay algún punto en el que discrepamos y no logramos el acuerdo, para eso están los votos particulares en los que se puede explicar con precisión lo que cada uno opina y por qué no se pudo llegar a un acuerdo. No hay que dramatizar si esto ocurre. De hecho, en el corto periodo de tiempo desde que este Pleno está constituido, es algo que ya ha sucedido y no ha tenido mayor relevancia. Nuestro esfuerzo se orientará en sumar y lograr consensos, sin desdeñar visiones opuestas que se planteen de forma razonada. Si todos opinásemos siempre lo mismo, sería poco útil la pluralidad de criterios y de formaciones que el legislador le dio, deliberada y acertadamente, a la configuración del Consejo.

Las fortalezas del regulador

P. Tras los meses que lleva en el cargo ¿qué destacaría como mayores fortalezas del CSN?

R. Principalmente, el alto nivel del cuerpo técnico del CSN, su entrega y espíritu de colaboración, así como de los servicios administrativos del organismo. Me gustaría destacar también el elevado consenso internacional existente sobre el reconocimiento a la labor del CSN. Y, por supuesto, la experiencia, el conocimiento, que es la gran materia prima de esta institución, por lo que su gestión debe ser un asunto prioritario para nosotros, y lo

tenemos que encauzar adecuadamente.

P. Y por el contrario, ¿dónde y en qué asuntos cree que el CSN tiene recorrido de mejora?

R. Permítame que los divida en cinco bloques. El primero se refiere al uso de la energía nuclear; el segundo a los desafíos relacionados con la protección radiológica; el tercero al propio funcionamiento interno; el cuarto, a todo lo que tiene que ver con la gestión de emergencias, donde debemos seguir implantando las lecciones aprendidas de Fukushima, Chernobyl y Three Mile Island; finalmente, un quinto bloque dedicado a la consolidación del Consejo como órgano de refe-

“Me gusta que las decisiones se tomen por unanimidad, y ese será siempre mi empeño, pero si hay algún punto en el que discrepamos para eso están los votos particulares”

rencia a nivel internacional. Entre los retos referidos al uso de la energía nuclear, voy a prestar atención a la garantía de seguridad de funcionamiento de las centrales nucleares, cualquiera que sea su periodo de vida, de diseño o de su vida útil, y a la gestión del almacenamiento de los residuos nucleares y del combustible nuclear usado, en el formato y con la tecnología que el Gobierno decida. Me preocupa el desmantelamiento de las centrales. Aquí el desafío va a ser la gestión final de las centrales, empezando por Santa María de Garoña. En cuanto a los retos relacionados con la protección radiológica, no solo es el gran volumen de instalaciones que tenemos, más de 37.000 radio-

diagnósticos y más de 1.300 unidades radiactivas, sino también la evaluación y control de nuevas tecnologías, sin olvidar la vigilancia y control de los terrenos contaminados. Déjeme destacar que los asuntos relacionados con el funcionamiento interno del Consejo tienen una relevancia especial para mí, por eso he querido conocer muy de cerca la plantilla que voy a comandar los próximos años. Otro de los retos que tenemos muy presentes, y que casi llega a nivel personal, es cumplir con las resoluciones emanadas del Parlamento. En concreto, y ya me he referido a ello en otras ocasiones, creo que debemos poner especial énfasis en mejorar los niveles de transparencia y comunicación. Adicionalmente, me gustaría desarrollar, con más amplitud, nuestro Centro de Información, el programa de Cultura de Seguridad y el Código Ético, reforzar el papel del Comité Asesor para la información y participación pública e implantar las recomendaciones y sugerencias de la misión internacional del OIEA IRRS-Artemis, entre otras muchas cuestiones.

P. ¿Qué importancia tiene para el CSN la inversión en I+D+i?

R. Mucha. Somos un organismo regulador con un altísimo componente científico, de manera que es prioritario para nosotros mantenernos en la vanguardia de la ciencia, a lo que nos ayudan los planes de I+D+i que ponemos en marcha. Por ello, además le anticipo que es nuestra intención reforzar estos programas todo lo que sea posible. Se trata de una labor fundamental como soporte científico y técnico para los procesos de análisis y toma de decisiones. Las evidencias científicas resultantes de estos proyectos de I+D+i nos ayudan siempre para definir la normativa aplicable y llevar a cabo el control de las instalaciones nucleares y radiactivas, así como para mantener actualizados los conocimientos del cuerpo técnico. Además, el CSN desarrolla tam-

bién estos planes de I+D+i para dar respuesta a los nuevos retos de conocimiento que plantea la experiencia propia e internacional y los cambios tecnológicos, que siempre requieren nuevos enfoques. Es una forma de asegurar la aplicación de las técnicas más avanzadas en el desempeño de nuestras funciones reguladoras. Y los planes que vamos aprobando también nos ayudan a definir las prioridades estratégicas y las líneas de investigación más relevantes.

P. Las encomiendas de funciones con las comunidades autónomas parecen un buen sistema para controlar y regular las más de 30.000 instalaciones radiactivas que hay en España pero ¿son suficientes para abarcar todas las instalaciones?

R. Cada una de las instalaciones, ya sea del ciclo del combustible o con fines médicos industriales o de investigación y docencia, tiene su correspondiente programa de inspección para supervisar los aspectos relativos a la seguridad y a la protección radiológica. Le voy a dar un dato, anualmente se realizan, directamente por el personal del CSN o bien por el de las comunidades autónomas, entre 1.500 y 2.000 inspecciones a instalaciones radiactivas, a simple vista puede parecer un número bajo, pero le aseguro que supone un esfuerzo importante. También le confirmo que estamos barajando ampliar nuestro marco de acuerdos de encomienda. La capacidad de mejora continua es un objetivo presente para este Pleno.

P. El próximo año el CSN tendrá que informar sobre las solicitudes para la renovación de las autorizaciones de explotación de Almaraz y Vandellós II. ¿Supone un esfuerzo adicional este trabajo?

R. Nuestros informes de evaluación para las solicitudes de autorización de renovación de explotación son hitos muy importantes de nuestra actividad reguladora. La casa está más que entrenada en la realización de este tipo de informes. Le puedo garantizar que, tal y como estable-

“El conocimiento es la gran materia prima de esta institución, por lo que su gestión debe ser un asunto prioritario para nosotros”

ce el artículo 5 del Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas, el CSN remitirá su informe al Ministerio para la Transición Ecológica al menos un mes antes de la fecha de caducidad de las autorizaciones vigentes.

Nuestra faceta más conocida es la regulación de la seguridad nuclear, eso es cierto, pero también debemos mostrar a la sociedad que nuestra labor no está solo detrás del funcionamiento seguro de una central nuclear, sino al lado de la población, cuando se hace una radiografía de tórax, pasa por el arco del control de seguridad de un aeropuerto o bebe una lata de refresco.

P. ¿Qué le parece la colaboración entre el CSN y la Universidad a través de las cátedras del Consejo?

R. Me parece básica y es nuestra intención aumentarla todo lo que se sea posible, para lo que ya estamos explorando diversas posibilidades. Le recuerdo que en estos momentos el Consejo de Seguridad Nuclear tiene firmados cuatro convenios con tres universidades públicas es-

“Creo que debemos poner especial énfasis en elevar los niveles de transparencia y comunicación”

pañolas, con el objetivo de promover la formación de profesionales altamente cualificados en seguridad nuclear y protección radiológica. Nuestra intención es aumentar la colaboración entre el CSN y la universidad tanto como sea posible.

P. En su comparecencia ante el Congreso prometió reforzar la independencia y la transparencia en el CSN. ¿Cuál es el camino a recorrer para alcanzar esa meta?

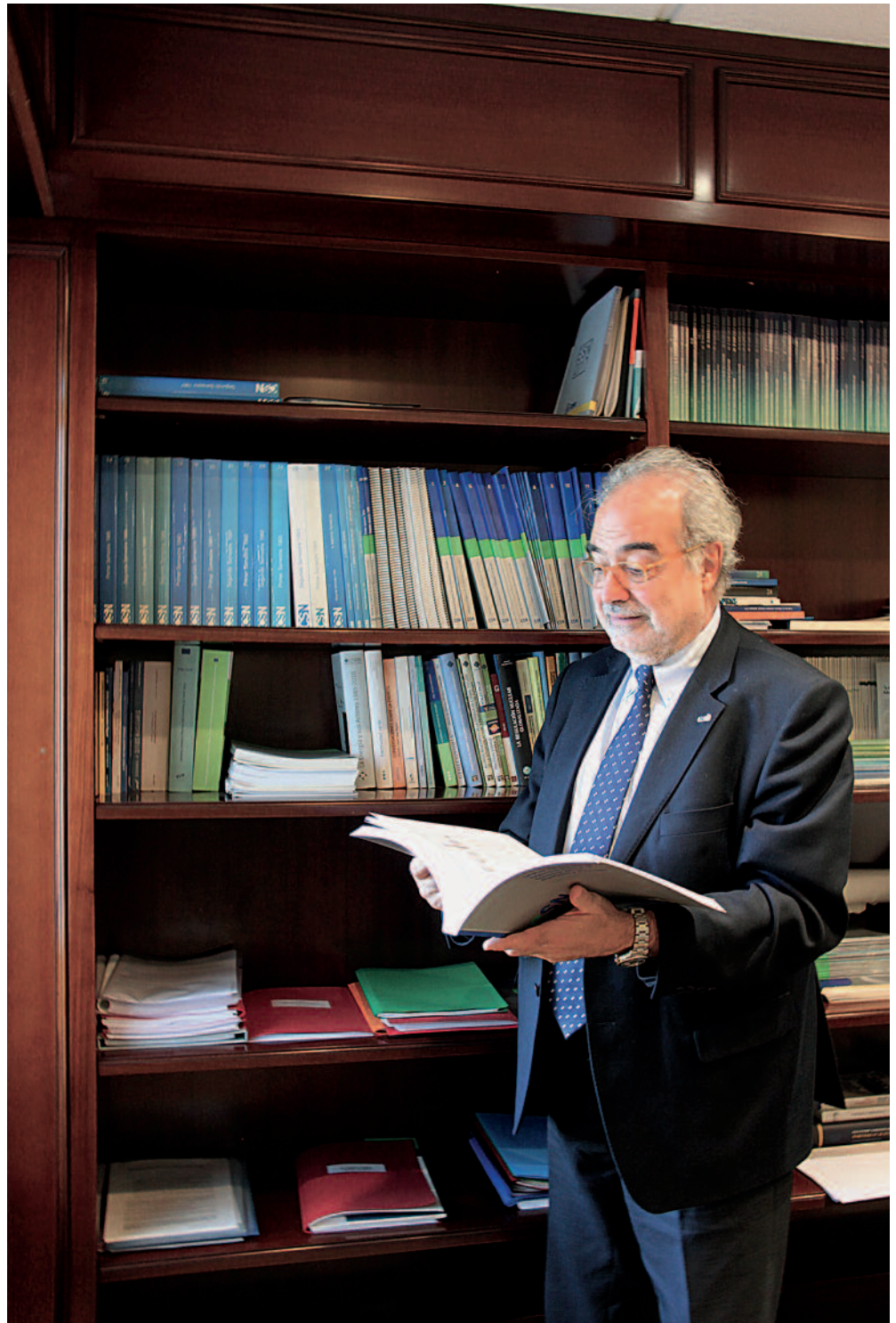
R. Efectivamente, durante mi intervención en el Congreso de los Diputados el pasado 27 de febrero subrayé la importancia de la comunicación y de la transparencia en el CSN. Por eso, una de las primeras tareas que he desarrollado ha sido mejorar ambas cuestiones. Como cualquier ciudadano puede ya comprobar, hemos lanzado el canal del CSN en YouTube (para acceder a información audiovisual tanto del propio Consejo, como relacionada con temas de interés de nuestro ámbito competencial), hemos revitalizado la cuenta del Consejo en Twitter y estamos introduciendo numerosas mejoras en nuestra web, incluyendo, por ejemplo, la agenda institucional de todos los altos cargos. Y, por supuesto, también vamos a cuidar la comunicación interna. Sobre este asunto quisiera añadir una reflexión. Para mejorar los niveles de transparencia, el CSN tiene que ganarse cada día su credibilidad como garante de la seguridad nuclear y la protección radiológica desde dos aspectos fundamentales: la independencia y la eficiencia. Y llegados a este punto, debe de hacerse a través de la calidad del trabajo del cuerpo técnico y desde la neutralidad política y la independencia de sus consejeros. Y herramientas para seguir este camino, pues hay muchas y le aseguro debemos tenerlas siempre todas a punto. Me refiero a un buen plan estratégico, pero también a otro de comunicación y de gestión del conocimiento, a una reforzada política de cultura de seguridad, a las relaciones institucionales e internacionales, pero tam-

bién a las que mantenemos con nuestros grupos de interés, por ejemplo en las reuniones del Comité Asesor. En fin, sinceramente creo que todo lo que se hace día a día con oficio, pero también con devoción, es lo que es imprescindible para reforzar la transparencia y la independencia del CSN.

Cuarenta aniversario


P. El próximo mes de abril el CSN cumple 40 años de existencia, ¿se le puede considerar un regulador en la cumbre de su madurez o todavía le resta recorrido por experimentar?

R. Sin lugar a dudas que el Consejo de Seguridad Nuclear es un organismo maduro, de hecho, como usted dice, vamos a celebrar nuestro cuarenta cumpleaños, pero le aseguro que tiene la suficiente exigencia consigo mismo para mantenerse joven y siempre a punto para desarrollar su cometido. Nuestra propia actividad en terrenos científicos de una gran complejidad tecnológica nos obliga a no dejar nunca de estudiar para poder enfrentarnos a retos que cambian permanentemente. Está en nuestro ADN. Y me explico: la cultura de seguir aprendiendo algo nuevo cada día está totalmente instalada en el Consejo, igual que la de dejar el terreno bien abonado a los que lleguen después. Y tengo ejemplos clarísimos. No creo que haya ninguna reunión importante en el CSN en la que al final no se dedique un tiempo al apartado de 'lecciones aprendidas'. Otro ejemplo puede ser la seriedad y el rigor con el que todo el cuerpo técnico del regulador está poniendo en marcha una política de transmisión del conocimiento. Para terminar, y como ya expliqué en el Congreso, 40 años de vida son la edad de la madurez. Son



De cara al cuarenta aniversario del CSN, su presidente asegura que el organismo regulador "tiene la suficiente exigencia consigo mismo para mantenerse joven y siempre a punto para desarrollar su cometido".

cuatro décadas que han demostrado que el organismo regulador es una pieza fundamental del armazón institucional de España. Por ello, mis esfuerzos, y que no lo dude nadie, se concentrarán en dejar un

legado que permita a la institución seguir creciendo y adaptándose a los nuevos retos, a las nuevas exigencias de la regulación de la seguridad nuclear y de la protección radiológica. 

La Subdirección de Ingeniería, una tupida red de actividades que garantizan la seguridad en las instalaciones nucleares

Uno de los pilares del organismo regulador es la Subdirección de Ingeniería (SIN), una tupida red de disciplinas técnicas que se centra en garantizar desde diferentes ángulos la seguridad de las instalaciones nucleares en España. Entre sus funciones más relevantes están las de evaluación e inspección a los

titulares de las instalaciones nucleares, su papel en la Organización de Respuesta ante Emergencias (ORE) y forman el núcleo de los tribunales de licencia de operación, además de su participación internacional.

■ Texto **Adriana Scialdone García** | Área de Comunicación | ■

El propio nombre de esta área, Subdirección de Ingeniería (SIN), nos indica que se trata de un tema determinante en cuanto a la supervisión del buen funcionamiento de una instalación nuclear. En concreto, la SIN abarca numerosas disciplinas técnicas que confluyen entre sí con el único fin de que el funcionamiento de estas instalaciones sea seguro; en la SIN nos encontramos con cuarenta y seis trabajadores, en su mayoría ingenieros o físicos, especializados en un trabajo que se distribuye en seis áreas: In-

geniería de Sistemas (INSI), Ingeniería Mecánica y Estructural (IMES), Ciencias de la Tierra (CITI), Ingeniería del Núcleo (INNU), Sistemas Eléctricos y de I&C (INEI) y Gestión de Vida y Mantenimiento (GEMA).

La columna vertebral del trabajo de esta subdirección son las continuas revisiones a las que tienen que ser sometidas las centrales nucleares en España para llegar a los altos estándares de seguridad exigidos tanto a nivel nacional como internacional. Para ello, el proceso de ins-

pección trata de garantizar que los titulares cumplen los requisitos de seguridad que están asociados a la licencia concedida y, que en el proceso de evaluación, se autoricen solo aquellas modificaciones que contribuyan a la mejora de la seguridad.

Licenciamientos y renovaciones

Actualmente, los dos grandes temas en los que está involucrada la SIN son el proceso de renovación de las autorizaciones de explotación y los licenciamientos relacionados con la gestión a medio y a medio-largo plazo del combustible gastado de las centrales nucleares.

En el primero de ellos, el CSN ha requerido en los últimos años a cada titular la realización de una Revisión Periódica de Seguridad (RPS) de la central nuclear para la que se solicita una renovación de la autorización de explotación; el objetivo es definir el nuevo nivel de seguridad que cada central debe alcanzar para operar los siguientes diez años. Al final de este proceso el CSN establece, si lo considera oportuno, requisitos de seguridad adicionales a los titulares.

En cuanto a la gestión del combustible gastado, cabe destacar la importan-



La Subdirección de Ingeniería (SIN) se centra en garantizar la seguridad de las instalaciones nucleares en nuestro país.

cia de asegurar en el futuro una gestión segura y eficiente de estos residuos, los cuales actualmente se encuentran en su mayoría almacenados en las piscinas de combustible gastado de cada central. En los últimos años la SIN, y otras unidades del CSN, han dedicado especial atención y recursos a los licenciamientos presentados de diversos diseños de contenedores de combustible gastado, así como a los Almacenes Temporales Individualizados (ATI) que los alojan y al Almacén Temporal Centralizado (ATC)

que eventualmente se podría construir en nuestro país.

También es relevante la participación de la subdirección en diversos grupos y proyectos nacionales e internacionales relacionados con proyectos de I+D que, aparte de los objetivos concretos de cada actividad, permiten mantener un contacto directo con los especialistas que existen a nivel internacional en cada tema.

Además, a nivel europeo y bajo la Directiva 2014/87/Euratom que revisa el marco europeo sobre seguridad nuclear,

la SIN está inmersa en otro tipo de exámenes a las centrales, las revisiones temáticas de seguridad entre pares (Topical Peer Review). En abril de 2018 se debatieron en un seminario celebrado en Luxemburgo los resultados de la primera revisión temática que trató sobre el envejecimiento de componentes de las centrales nucleares.

Otro tema relevante al que la SIN dedica una parte considerable de su tiempo es a la participación de un número importante de sus miembros en los tribuna-

Entrevista a José Ramón Alonso Escós, subdirector de Ingeniería

“Tratamos de garantizar que los procesos que desarrollamos respondan a las expectativas de la sociedad”

José Ramón Alonso Escós es funcionario de la Escala Superior del Cuerpo de Seguridad Nuclear y Protección Radiológica en el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN). Desde el 2013 ocupa el cargo de subdirector de Ingeniería, previamente ostentó puestos como jefe de Área de Sistemas Nucleares y coordinador de instalaciones nucleares. Previamente a su incorporación al CSN trabajó varios años en dos empresas de ingeniería del sector nuclear: Empresarios Agrupados y Tecnatom.

PREGUNTA. ¿Qué es lo que destacaría profesionalmente de todos estos años al servicio del CSN?

RESPUESTA. Sin duda alguna, lo más importante para mí en estos años ha sido el poder participar de manera activa en un proceso gradual y extremadamente ilusionante, en el que el organismo regulador se ha ido consolidando como una referencia técnica, tanto a nivel nacional como internacional. Es importante mencionar que el ordenamiento jurídico español otorga al CSN una autoridad reguladora muy significativa, mayor que la de muchos otros reguladores de nuestro entorno, pero es que creo que contamos también con una importante *autoritas*, que es el fruto de un trabajo riguroso y constante de este



José Ramón Alonso Escós lleva seis años al frente de esta subdirección, acompañado de un equipo multidisciplinar.

organismo a lo largo de todos estos años.

P. Como subdirector de Ingeniería, ¿cuáles cree que son los retos futuros en este área?

R. El reto fundamental al que nos enfrentamos actualmente en el CSN es, indudablemente, el de poder responder con absoluto rigor técnico, y en los plazos debidos, a las numerosas demandas que estamos recibiendo de la sociedad en su conjunto y, en particular, de los titulares de las instalaciones nucleares y radiactivas existentes en nuestro país, y para las que nuestra dotación humana actual considero que es extremadamente ajustada.

Al igual que en otras administraciones públicas, la crisis de 2009 y los llamados recortes supusieron un parón muy importante en el proceso normal de renovación del

(Sigue en la página 22)

(Viene de la página 21)

personal. Los miembros del Pleno anterior ya fueron conscientes de esta situación e iniciaron diversas acciones al respecto que, afortunadamente, vemos que ahora continúan e incluso se amplían, aunque sin duda estamos todavía en una situación muy compleja.

Es innecesario recordar, por sabido, que nuestra principal misión es garantizar ante la sociedad que las instalaciones nucleares y radiactivas operen de forma segura y sin riesgos socialmente inaceptables y a ello consagramos nuestros principales esfuerzos, tratando de garantizar que los procesos de evaluación e inspección que desarrollamos responden a las altas expectativas de la sociedad. Pero entiendo que además la respuesta de las administraciones públicas debe ser suficientemente ágil para no introducir retrasos innecesarios en los procesos de los regulados, y esto es también un reto con el que estamos comprometidos.

P. Uno de los temas que ha implicado a gran parte de la plantilla del CSN durante estos últimos años ha sido la implantación de las medidas post-Fukushima. ¿Qué ha supuesto la introducción de estas medidas para su Subdirección?

R. Me alegro mucho de que plantee esta cuestión, ya que es un tema de gran interés y que posiblemente no ha sido bien entendido por todos, ni siquiera por muchos especialistas en el campo nuclear.

Las centrales nucleares occidentales, y en concreto las que funcionan en España, fueron diseñadas para hacer frente a unos accidentes que se consideraron creíbles, aunque altamente improbables (accidentes base de diseño); en caso de su ocurrencia, la actuación automática de

los sistemas de seguridad debía garantizar que el daño al combustible nuclear y, por tanto, el impacto radiológico sobre la población, fuera extremadamente limitado.

Si repasamos la historia de la energía nuclear, realmente este tipo de accidentes han tenido consecuencias limitadas, debido probablemente a la robustez de los diseños. Sin embargo, han ocurrido al menos tres accidentes (TMI en 1979, Chernóbil en 1986 y Fukushima en 2011) que supusieron la fusión total o parcial del núcleo del reactor (lo que se denomina accidente severo) y, sin embargo y hasta muy recientemente, las medidas de seguridad implantadas eran relativamente escasas.

Aunque el CSN ya había iniciado un programa de análisis para implantar mejoras para hacer frente a este tipo de accidentes severos, el proceso realizado a nivel europeo tras Fukushima ha supuesto, en el CSN y en la industria, un esfuerzo y una dedicación de recursos muy importante en el análisis de las mejoras factibles y necesarias, y su implantación en las centrales.

P. ¿Qué es lo que destacaría de su equipo?

R. Aunque pudiera sonar a palabrería fácil, la realidad es que la Subdirección de Ingeniería cuenta actualmente con un equipo humano de primerísima calidad, tanto en lo personal como en lo profesional, que hace que el trabajo del subdirector sea muy gratificante y que yo no tenga palabras para agradecer el esfuerzo y el compromiso del personal de la subdirección.

Además, yo destacaría dos aspectos importantes en los que el compromiso de la subdirección está siendo extraordinario: las renovaciones de las autorizaciones de explotación con la posible entrada en la llamada Operación a Largo Plazo (OLP), y la gestión del combustible gastado. ▀


les de licencia del personal de operación de las instalaciones nucleares.

El artículo 47 del Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas (RINR), requiere que el personal que dirige la operación y el que opere los dispositivos de control y protección de una instalación nuclear o radiactiva del ciclo del combustible nuclear, debe de estar provisto de una licencia de supervisor o de operador, concedida por el CSN. Para obtener una de estas licencias es preciso que el candidato acredite amplios conocimientos sobre el funcionamiento, las

normas y procedimientos de actuación, los riesgos existentes y las medidas de protección de la instalación en que van a realizar su actividad.

Para cada instalación existe un tribunal específico designado al efecto por el Pleno del organismo regulador. Actualmente, el presidente de estos tribunales es el subdirector de SIN y gran parte de los vocales, especialistas en la tecnología y la operación de cada instalación, pertenecen a esta subdirección. Hay que destacar, que este es un funcionamiento específico del regulador español ya que

en otros países, como en Estados Unidos, el regulador dispone de un departamento específico para gestionar este asunto.

Además, la SIN es responsable del Grupo de Análisis Operativo (GAO) de la Organización de Respuesta ante Emergencias del Consejo (ORE). La misión principal del GAO es analizar las causas del accidente que está ocurriendo, pronosticar su posible evolución y valorar el cumplimiento por parte del titular del Plan de Emergencia Interior (PEI) de la instalación. 

Nueva normativa de protección física de fuentes radiactivas

Tras el atentado de las Torres Gemelas de septiembre de 2001 en Nueva York se ha reforzado en todo el mundo la protección física de infraestructuras y cualquier actividad susceptible de ser atacada con fines malévolos. Ello ha producido una serie de convenciones y normas internacionales a las que cualquier Estado responsable se ha sentido obligado a responder. Las instalaciones nucleares y radiactivas no han sido una excepción y España ha reforzado

de manera muy significativa su protección física, teniendo en cuenta además la experiencia habida en nuestro propio país.

■ Texto **Javier Zarzuela** | Subdirector de Protección Radiológica Operacional | **Dolores Aguado** | Jefa de Área de Instalaciones Radiactivas Industriales | **Carmen Álvarez** | Coordinadora técnica de Protección Radiológica Operacional | **Paula Muñoz** | Jefa de Área de inspecciones de instalaciones radiactivas | ■

Ya en 2011 entró en vigor la normativa española de protección física de materiales e instalaciones nucleares y desde 2018 está plenamente vigente la nueva normativa de protección física de fuentes radiactivas.

El Real Decreto 1308/2011, de 26 de septiembre, sobre protección física de las instalaciones y los materiales nucleares, y de las fuentes radiactivas, informado previamente por el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), fue emitido por el Gobierno a propuesta conjunta del ministro de Industria, Turismo y Comercio y del ministro del Interior. El documento dio cumplimiento a los compromisos asumidos por España en convenciones internacionales sobre la materia y se alinea con los requerimientos del Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA), dependiente de Naciones Unidas y con sede en Viena.

El Real Decreto establece:

- Que fuentes están sometidas a requisitos de Protección Física (PF): las de Categoría 1, 2 y 3 recogidas en el Anexo II, extraído de la Guía RS-G-1.9 *Clasificación de fuentes radiactivas* del OIEA.
- La obligación de que cada instalación disponga de un sistema de protección física

descrito en un Plan de Protección Física (PPF) aprobado por el ejecutivo que concedió la autorización de funcionamiento de la Instalación radiactiva, previo informe favorable tanto del CSN como del Ministerio del Interior.

- Medidas de protección de la información referida al PPF.

La IS-41 gradúa el rigor de los requisitos en función de la categoría de las fuentes, la práctica en que se usan y el inventario que maneje la instalación

- Que el titular de la instalación debe identificar un responsable directo de su protección física y:

i. constituir un departamento de Seguridad, al frente del cual se encontrará un director de Seguridad habilitado por el Ministerio del Interior. Aquellos titulares que no deban constituir un departamento de Seguridad propio, o bien, ii. encarar esas funciones a una empresa de seguridad debidamente habilitada para ello

por el Ministerio del Interior.

Asimismo, el Real Decreto asigna al Ministerio del Interior, con la colaboración del CSN, determinar qué titulares deben de ir por la vía i) o la ii).

- Asigna al CSN y al Ministerio del Interior la inspección y control.

Además, el Real Decreto incluye una Disposición transitoria única, que requiere al CSN emitir las instrucciones de seguridad sobre la protección física de las fuentes radiactivas, es decir, que desarrolle requisitos de detalle.

En cumplimiento de la mencionada disposición, en julio de 2016, el CSN acordó emitir la **Instrucción IS-41**, por la que se aprueban los requisitos sobre protección física de fuentes radiactivas, que desarrolla el Real Decreto en el ámbito concreto de las fuentes radiactivas. Esta Instrucción fue publicada en el BOE del 16 de septiembre y estableció un plazo para su implantación hasta mediados de marzo de 2018.

La IS-41 gradúa el rigor de los requisitos en función de la categoría de las fuentes, la práctica en que se usan y el inventario que maneje la instalación, y se alinea con las recomendaciones del documento *Nuclear Security Series N.º 11 Security of Radioactive Sources*, publicado en 2009 por el OIEA.

Del mismo modo, la IS-41 establece el criterio para requerir la constitución de un departamento de seguridad propio en aquellas instalaciones que tengan fuentes de Categoría 1, o más de diez fuentes de Categoría 2, para el resto de instalaciones bastará con que contraten una empresa de seguridad debidamente habilitada por el Ministerio del Interior. No obstante, las instalaciones con irradiadores de sangre o irradiadores con fines de investigación y docencia podrán solicitar de manera justificada ser eximidas de constituir un departamento de Seguridad.

La entrada en vigor de esta normativa ha supuesto la necesidad de establecer medidas de protección de los equipos, tanto físicas (barreras, cámaras, alarmas...), como organizativas (departamento de seguridad propio o empresa de seguridad contratada, formación, procedimientos, etc.), que, sin duda, han supuesto una nueva servidumbre a las instalaciones afectadas. De hecho, algunas instalaciones han dado de baja las fuentes que tenían poco uso o las ha cambiado por otras de menor actividad, cuando ello ha sido factible, para salir del ámbito de aplicación de requisitos específicos de la Instrucción.

Sin embargo, las medidas impuestas están plenamente justificadas. En primer lugar porque tienen como fin minimizar un riesgo que la sociedad ya no puede aceptar y que ha aumentado significativamente en los últimos tiempos. Además, todos los organismos internacionales competentes, sea el OIEA, la *US Nuclear Regulatory Commission* (USNRC), o los reguladores europeos, están exigiendo la puesta en marcha de este tipo de medidas.

Evaluación de los PPF

Dentro del CSN, corresponde a la Subdirección de Protección Radiológica Operacional (SRO) la evaluación y supervisión del Plan de Protección Física (PPF) de cada instalación radiactiva, excluidas las del ciclo de combustible. Para abordar la tarea, la SRO constituyó, en 2017, un equipo formado por las jefas de área competentes en evaluación e inspección de los planes y coordinado por el subdirector.

Preparación interna en CSN

La primera tarea del mencionado equipo fue elaborar el inventario de instalaciones que tienen fuentes radiactivas de Catego-

ría 1, 2 y/o 3. La base de partida fue el Inventario de instalaciones que tienen Fuentes radiactivas Encapsuladas de Alta Actividad (FEAA), las cuales envían al CSN las hojas de inventario de sus FEAA, en cumplimiento de lo requerido por el Real Decreto 229/2006, de 24 de febrero, sobre el control de fuentes radiactivas encapsuladas de alta actividad y fuentes huérfanas. Dado que hay FEAA de categoría 4, hubo que hacer un cribado y el resultado fue un inventario de instalaciones que deben solicitar aprobación de su PPF, inventario que se maneja como información confidencial.

El equipo identificó enseguida la necesidad de coordinar actuaciones tanto dentro del CSN, en particular con la Subdirección de Emergencias y Protección Física, como fuera de él, con el Ministerio del Interior y el de Energía, Turismo y Agenda Digital (Minetad), competencias que actualmente detenta el Ministerio para la Transición Ecológica (MITECO).

Asimismo se consideró necesario conocer el estado del arte internacional.

Actividad internacional

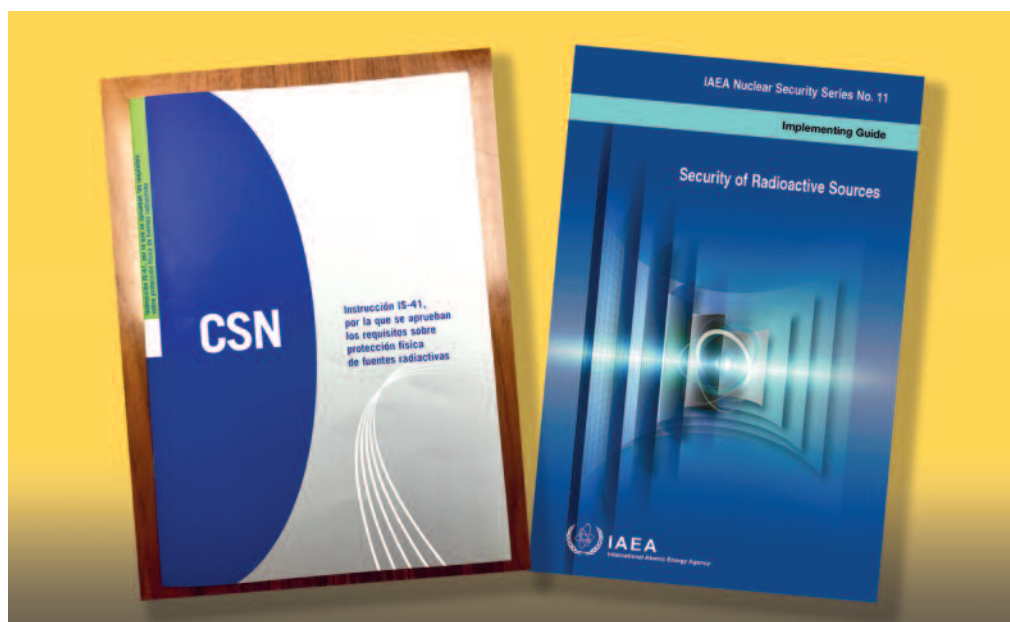
Como preparación de esta nueva activi-

TABLA 1. REUNIONES Y TALLERES DEDICADOS A LA PROTECCIÓN FÍSICA DE FUENTES RADIATIVAS EN LOS QUE HA PARTICIPADO EL CSN

FECHA	ORGANIZADOR	TÍTULO DE LA REUNIÓN	LUGAR
24-27/4/17	OIEA	Working Group on Radioactive Source Security	Viena
27-29/06/17	OIEA	Open-ended Meeting of Legal and Technical Experts on the Implementation of the Code of Conduct on the Safety and Security of Radioactive Sources	Viena
23-24/1/18	WINS* SSM*	Workshop on the Security of Radioactive Sources - The Road to Sustainability and Resilience	Estocolmo
28-29/6/18	Comisión Europea	EU-US Best Practices Workshop on the Security of Radioactive Sources Regional	Bruselas
13-14/2/19	WINS	Workshop on Ensuring the Resilience and Sustainability of Radioactive Source Security	Viena
27-31/05/19	OIEA	Open-ended Meeting of Legal and Technical Experts on the Implementation of the Code of Conduct on the Safety and Security of Radioactive Sources	Viena

*WINS: World Institute for Nuclear Security

*SSM: Autoridad Sueca de Seguridad Radiológica



La IS-41 establece nuevos criterios sobre medidas de seguridad, según las modalidad de instalaciones de las que se trate. Así, la entrada en vigor de esta normativa ha supuesto la necesidad de establecer medidas de protección de los equipos, tanto físicas (barreras, cámaras, alarmas...), como organizativas (departamento de seguridad propio o empresa de seguridad contratada, formación, procedimientos, etc.).

dad, los técnicos de la SRO han participado en diversos talleres y reuniones internacionales sobre la materia que se recogen en la tabla 1.

Como resultado de participar en estas reuniones, se ha adquirido un buen conocimiento sobre el estado del arte internacional en la materia, las vulnerabilidades críticas de determinadas fuentes y las líneas de trabajo más avanzadas para solventarlas.

Coordinación CSN – Minetad - Ministerio del Interior

Al ser la primera vez que se abordaba una tarea de este tipo, se consideró necesario acordar el enfoque del proceso de evaluación y la tramitación de los PPF, así como delinear con claridad el papel de cada una de las partes involucradas:

- Ejecutivo que emite la autorización de funcionamiento de las instalaciones (sea MITECO o autonómico)
- Ministerio del Interior
- CSN

Debe tenerse en cuenta que, por ejemplo, para los ejecutivos autonómicos era la primera vez que se abordaba un proceso de autorización de instalaciones radiactivas con características tales como:

i) necesidad de proveer medidas de pro-

tección de la información de los PPF, ii) necesidad de obtener dos informes favorables, uno del CSN y otro del Ministerio del Interior, para aprobación de cada PPF.

Por este motivo, se celebraron una serie de reuniones técnicas que pueden consultarse en la tabla 2.

Como resultado de estas reuniones, la Dirección Técnica de Protección Radiológica del CSN remitió una circular a cada instalación radiactiva que disponía de fuentes radiactivas de categoría 1, 2 y/o 3 indicando las medidas que debían adoptar para proteger la información.

Asimismo, con la colaboración del

CSN, el Minetad impartió directrices a las Comunidades Autónomas sobre las pautas que debían adoptar para proteger la información de los PPF.

Por su parte, el CSN ha adoptado sus propias medidas de protección: se han dado instrucciones al registro interno sobre cómo manejar estos documentos, se han establecido espacios de red de acceso restringido para almacenar y consultar la documentación y se ha dotado a la SRO de un archivador acorazado con clave de acceso, donde se almacenan los PPF de todas las instalaciones, así como la documentación generada durante el proceso de evaluación e inspección. Además, el

TABLA 2. REUNIONES MANTENIDAS PARA ABORDAR EL DISEÑO DEL PLAN DE PROTECCIÓN FÍSICA DE FUENTES RADIATIVAS

FECHA	LUGAR	PARTICIPANTES
19/7/17	CSN	Minetad, CSN
24/7/17	Minetad	Minetad, M. Interior, CSN
16/1/18	Minetad	Minetad, M. Interior, CSN
22/2/18	Minetad	Minetad, Ejecutivos CC.AA., M. Interior, Ertzaintza, CSN y Encomiendas
11/4/18	Minetad	Minetad, CSN

CSN ha facilitado al MITECO y al Ministerio del Interior el listado de instalaciones radiactivas sometidas a los requisitos de la IS-41.

Coordinación CSN – Interior

Al tener asignada el CSN y el Ministerio del Interior la tarea de evaluación e inspección de instalaciones radiactivas con PPF, desde el principio se ha constatado por ambas partes la necesidad de una intensa cooperación y coordinación.

De esta forma, se han mantenido cuatro reuniones en las que por parte del CSN participó personal de la SRO y, por el Ministerio del Interior, una nutrida representación encabezada por el jefe de Servicio en el Área de Seguridad Ciudadana y Operaciones de la Secretaría de Estado de Seguridad (SES), personal de esta área, así como de la Policía Nacional y de la Guardia Civil.

En estos encuentros, el CSN informó sobre los requisitos reglamentarios aplicables a los agentes del Ministerio que fuesen a llevar a cabo visitas a las instala-

ciones. Las materias facilitadas se centraron, básicamente, en formación y control dosimétrico. Además, se acordó hacer una serie de inspecciones piloto conjuntas CSN-Ministerio del Interior, a fin de familiarizarse con este tipo de inspecciones y poner criterios en común.

Por parte del Ministerio del Interior participaron representantes de la SES, Policía Nacional y Guardia Civil y por la del CSN, inspectores y evaluadores responsables de la instalación, así como el subdirector de SRO en dos de ellas.

Todas las inspecciones siguieron el mismo esquema, previamente acordado. Como paso inicial, se mantuvo una reunión interna de todo el equipo inspector en la instalación para, acto seguido, tener un encuentro con representantes del titular para exponer el planteamiento, alcance y hacer comprobaciones sobre PPF presentado. Posteriormente, se efectuaron las verificaciones físicas durante el recorrido por la instalación.

Completadas las visitas, el equipo inspector mantuvo una reunión de carácter

interno para poner en común las conclusiones. Para finalizar la actividad, el grupo se reunió con el titular para exponerle las conclusiones de la inspección, aclarar dudas y responder preguntas.

De cada inspección, el CSN levantó la correspondiente acta firmada por sus inspectores y mencionando la presencia de los inspectores del Ministerio del Interior. Por su parte, el Ministerio del Interior, Guardia Civil o Policía Nacional, levantaron su correspondiente acta siguiendo los requisitos de la reglamentación que les aplica.

Para las inspecciones piloto se eligió una muestra representativa de todo tipo de instalaciones y delegaciones, así como de la demarcación en que se encuentran, que se recoge en la tabla 3.

Una vez finalizado el programa piloto de inspecciones, se extrajeron dos conclusiones principales.

La primera de ellas es que se producen interfases entre la normativa vinculada con la seguridad privada y la de Protección Física de fuentes radiactivas puesto

TABLA 3. INSTALACIONES VISITADAS DENTRO DEL PROGRAMA PILOTO DE INSPECCIONES CONJUNTAS CSN-MINISTERIO DEL INTERIOR

FECHA	INSTALACIÓN	FUENTES AUTORIZADAS	PROVINCIA
18/05/18	Irradiación	Categoría 1 (una fuente)	Barcelona
21/05/18	Radioterapia	Categoría 1 (una fuente)	Madrid
23/05/18	Gammagrafía industrial Provincia de Madrid	Categoría 2 (más de 10 fuentes)	Madrid
24/05/18	Irradiador de sangre	Categoría 1 (una fuente)	Madrid
24/05/18	Braquiterapia	Categoría 2 (una fuente)	Madrid
25/05/18	Gammagrafía industrial	Categoría 2 (más de 10 fuentes)	Madrid
30/05/18	Gammagrafía industrial	Categoría 2 (más de 10 fuentes)	Madrid
7/06/18	Control de procesos	Categoría 3 (menos de 10 fuentes)	Ciudad Real
8/06/18	Gammagrafía industrial	Categoría 2 (menos de 10 fuentes)	Ciudad Real

Implantación de la Instrucción del Consejo de Seguridad Nuclear IS-41 sobre requisitos de protección física de fuentes en instalaciones nucleares

■ Texto **Pedro Lardiez** | Jefe de Área de Seguridad Física del CSN | ■

El Real Decreto 1308/2011, de 26 de septiembre, sobre protección física de las instalaciones y los materiales nucleares y las fuentes radiactivas establece las bases del régimen nacional de protección física del Estado Español y también define los objetivos de protección de estos materiales, instalaciones y fuentes tanto contra el sabotaje radiológico como contra el robo u otra forma de apropiación ilícita de los mismos.

El Real Decreto establece un procedimiento, aceptado internacionalmente, para la clasificación de las fuentes radiactivas en tres categorías, en función de los riesgos o de las potenciales consecuencias que se podrían derivar de actos ilícitos o malintencionados relacionados estas fuentes, utilizando un enfoque gradual por el riesgo y estableciendo un objetivo de protección para cada categoría de las fuentes, en función de la peligrosidad derivada de las mismas.

El Real Decreto también prevé que el CSN emitiría una instrucción sobre la protección física de fuentes radiactivas. Esta instrucción fue elaborada por el área de Seguridad Física de la Subdirección de Emergencias y Protección física en un proceso largo y sistemático que tomó muy en cuenta las interfaces existentes entre la protección física, la seguridad radiológica y la protección radiológica de la utilización y almacenamiento de las fuentes radiactivas dentro de las categorías 1, 2 y 3 definidas en el Real Decreto. Finalmente, tras el proceso de audiencia pública correspondiente, el Consejo de Seguridad Nuclear aprobó la Instrucción del CSN IS-41, de 26 de julio de 2016, que reúne los requisitos de protección física de fuentes radiactivas que, a juicio del CSN, deben aplicarse para alcanzar los objetivos de protección física de las fuentes que se establecen en el artículo 32 del Real Decreto 1308/2011.

El propósito de la IS-41 es dictar requisitos para proteger las fuentes radiactivas de actos ilícitos, dolosos o simplemente no autorizados, de acuerdo con las mejores prácticas internacionalmente aceptadas, donde se empleen, procesen o almacenen independientemente de la clasificación administrativa de las instalaciones y prácticas en las que se hallen.

Del alcance de la IS-41 se excluyen aquellas fuentes radiactivas empleadas o almacenadas en las centrales nuclea-

res, fábricas de combustible nuclear y de un futuro almacén temporal centralizado, al entender que éstas son blancos protegidos por los sistemas y planes de protección física de las instalaciones citadas. Sin embargo, no se excluyen del alcance de la IS-41 aquellas otras fuentes radiactivas que se emplean o almacenan en otras instalaciones nucleares como el CIEMAT o el centro de almacenamiento de residuos de baja y media actividad de ENRESA en El Cabril.

La IS-41, tras el plazo de adaptación establecido en la misma entró en vigor 17 de marzo de 2018. Mientras que la implantación y la verificación del cumplimiento de los requisitos establecidos por la IS-41 para las fuentes radiactivas empleadas en instalaciones radiactivas corresponde dentro del CSN a la Subdirección de Protección Radiológica Operacional, dicha verificación y control para las fuentes radiactivas empleadas en las instalaciones nucleares mencionadas corresponde a la Subdirección de Emergencias y Protección Física y dentro de ella al área de Seguridad Física.

La implantación de la IS-41 en estas instalaciones no está siendo fácil, quizá por una falta de concienciación acerca de las amenazas específicas que podrían cernirse sobre las fuentes y por las inversiones que son necesarias para su protección, especialmente dentro de las de categoría 1. No obstante, la ventaja que ostentan estas instalaciones frente a las instalaciones radiactivas es que tienen una amplia experiencia en la operación y en el diseño de sistemas de protección física desde el año 2006, fecha en la que se implantó la IS-09 del Consejo de Seguridad Nuclear y desde luego la existencia en las mismas de una amplia cultura de seguridad física respecto al material nuclear, fomentada a lo largo de muchos años que debería de ser fácilmente extensible a las fuentes radiactivas dentro de las categorías 1, 2 y 3.

La expectativa del CSN respecto a la implantación completa de la IS-41 para las fuentes radiactivas en estas instalaciones nucleares, es sin duda muy positiva, una vez superadas las primeras dificultades por sus titulares y se está en la convicción de que ésta será completa en los próximos meses durante los que estos titulares deberán aplicar las medidas de compensación más adecuadas y pertinentes. ▶

que el Real Decreto correspondiente a la PF (1308/2011) se publicó en 2011 y, tres años después, se emitió la ley 5/2014 de 4 de abril de Seguridad Privada.

Por ello, ciertos términos utilizados en la Instrucción IS-41 y en el propio RD 1308/2011 al que desarrolla, basados en terminología de protección física del OIEA, pueden tener distinta interpretación desde la óptica de la seguridad privada. Por poner un ejemplo: para el CSN, el término 'seguridad', significa seguridad nuclear, radiológica y física, lo que no coincide con los términos utilizados en seguridad privada.

La segunda conclusión a la que se llegó es que el Ministerio del Interior involucra en la tarea de evaluación e inspección a la Policía Nacional y diversas comandancias de la Guardia Civil y, en sus respectivos territorios, son los Mossos d'Esquadra y la Ertzaintza los competentes en esta materia. Por su parte, el CSN precisa la coordinación de sus áreas competentes y entre su sede en

Madrid y las encomiendas de funciones en nueve CC.AA.

Guía de evaluación e inspección de los planes de protección física

Desde los primeros contactos del CSN con el Minetad y el Ministerio del Interior, se hizo evidente la necesidad de elab-

Se hizo evidente la necesidad de una Guía de evaluación de los PPF con las materias de cada parte en función de sus competencias, así como los mecanismos de coordinación entre las partes

orar una Guía de evaluación de los PPF que fijara claramente las materias en las que cada parte debería centrarse, en función de sus competencias y a fin de evitar

en lo posible redundancias y solapes innecesarios, así como los mecanismos de coordinación entre las partes.

Por ejemplo, la Instrucción IS-41 establece requisitos diferentes según que las instalaciones dispongan de fuentes radiactivas de Categoría 1, 2 ó 3 y su agregación. Obviamente, la Guía refleja que es el CSN quien evalúa este aspecto, mientras que las características de los sistemas de monitorización y alarma son evaluadas por el Ministerio del Interior.

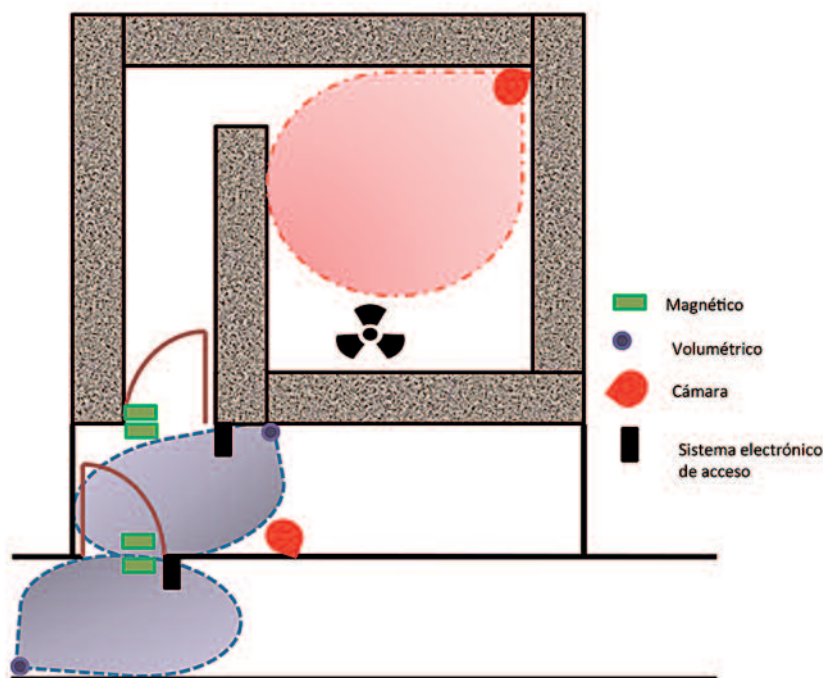
La Guía parte de la normativa española y el documento *Nuclear Security Series No. 11*, del OIEA –ya citado– e imparte directrices sobre el manejo y custodia de la información protegida.

El CSN elaboró un primer borrador, que una vez consensuado con el Minetad y el Ministerio del Interior se expuso en dos seminarios celebrados en la sede del CSN. El 23 de marzo del año pasado tuvo lugar la primera sesión, de carácter interno, y enfocada para el personal técnico de la Subdirección de Protección Vigilancia Radiológica Operacional (SRO). Unos días más tarde, el 4 de abril, se celebró la segunda jornada ya dirigida, además de para personal técnico de la SRO, para los técnicos de encomiendas del CSN en las comunidades autónomas y personal del Ministerio del Interior: Policía Nacional y Guardia Civil.

Las observaciones y discusiones habidas durante estos seminarios se incorporaron a la Guía que, a partir de entonces, incluyó también una sección dedicada a inspección.

La Guía ha resultado esencial para la coordinación interna del CSN: tanto entre sus áreas competentes como entre su sede en Madrid y las encomiendas de funciones en nueve comunidades autónomas, a fin de garantizar coherencia y homogeneidad de criterios durante el proceso de evaluación e inspección. De hecho, tras la serie de inspecciones piloto se revisó de nuevo la Guía y se impartió

EJEMPLO DE UN SISTEMA DE SEGURIDAD FÍSICA



un nuevo seminario para personal del CSN, sede y encomiendas, el 27/09/18.

Instrucción técnica complementaria

Al iniciar la aplicación de la Instrucción IS-41, se identificaron diferencias de terminología originadas en la distinta normativa utilizada por las partes, como se ha mencionado.

Además, tanto las inspecciones piloto conjuntas, como la interacción con los titulares durante las mismas y la variedad de contactos con titulares, foros, sociedades, etc., pusieron en evidencia la necesidad de introducir precisiones y aclaraciones en la normativa citada.

Por ello, de acuerdo con el Artículo 2.a) de la Ley 15/1980, de 22 de abril, de creación del Consejo de Seguridad Nuclear el CSN elaboró un borrador de Instrucción Técnica Complementaria (ITC), que fue enviado formalmente al Ministerio del Interior, quien remitió sus comentarios mediante también de un modo formal. Una vez resueltos los comentarios, se elevó la ITC al Pleno del Consejo, que la aprobó el 25/07/18 y se remitió a los titulares de las 155 instalaciones entonces afectadas.

La ITC precisa una serie de requisitos que la experiencia de las inspecciones piloto y otros contactos con los titulares demostraba que lo necesitaban, a destacar los referidos a lo siguiente:

I) **Servicio de vigilancia contratado** fuera del horario laboral, circuito cerrado de televisión (CCTV) con grabación permanente y Sistema de Alarma Grado 3, de doble vía de comunicación, conectado a una Central Receptora de Alarmas.

II) **Responsable directo de la protección física** que debe de identificar el titular en su Plan de PF si no constituye Departamento de Seguridad. A destacar que esta figura es responsable de implementar las medidas de formación en los procedimientos de protección física y de verificar la aplicación



El CSN valora que las medidas implantadas en aplicación de la nueva normativa añade un plus de seguridad y se ha dado un salto cualitativo que las sitúa entre las más avanzadas a nivel internacional.

de los mismos, pero en ningún momento adquiere la responsabilidad de la seguridad física de las fuentes, que la autorización de la instalación asigna exclusivamente a su titular.

III) **Departamento de seguridad**, que expone que su director ha de estar integrado en la plantilla de la instalación, mediante una relación contractual, aunque sea a tiempo parcial.

IV) **Justificación para eximir el requisito de constituir un Departamento de Seguridad**, que expone las medidas a adoptar para que un titular pueda solicitar ser eximido de este requisito.

V) **Traslados de fuentes**, que expone requisitos específicos a que están sometidas estas operaciones así como los **vehículos utilizados para el traslado**.

Balance actual y previsiones

Hasta la fecha, 155 instalaciones radiactivas han presentado ya el PPF para aprobación, sin contar las del Ciclo de combustible.

Hay 44 instalaciones que tienen fuentes de categoría 1 o al menos diez fuentes de Categoría 2 y que, en principio, debe-

rían de constituir Departamento de Seguridad propio. Sin embargo, 30 de ellas pueden eximirse de constituirlo porque las fuentes son irradiadores de sangre o irradiadores con fines de investigación y docencia, siempre que cumplan los requisitos establecidos. Quedan 14 instalaciones que han tenido que constituir Departamento de Seguridad.

Con las dificultades propias de implantar nueva normativa, el CSN considera que el proceso de autorización avanza a buen paso, ha informado ya favorablemente los Planes de PF de 33 instalaciones y planea concluir la evaluación de todos en los próximos meses.

Independientemente del proceso administrativo, que sigue su curso, el CSN valora que las medidas implantadas en aplicación de la nueva normativa añade un plus de seguridad, no solo física, a las instalaciones y que la robustez del sistema de protección de las fuentes ante actos o grupos malévolos está dando un salto cualitativo y está situando el sistema español entre los más avanzados a nivel internacional.

titanium 22 Ti 47.867	vanadium 23 V 50.942	chromium 24 Cr 51.996	manganese 25 Mn 54.938	iron 26 Fe 55.845
zirconium 40 Zr 91.224	niobium 41 Nb 92.906	molybdenum 42 Mo 95.96	technetium 43 Tc [98]	ruthenium 44 Ru 101.07
hafnium 72 Hf 178.49	tantalum 73 Ta 180.95	tungsten 74 W 183.84	rhenium 75 Re 186.21	osmium 76 Os 190.23
rutherfordium 104 Rf [261]	dubnium 105 Db [262]	seaborgium 106 Sg [266]	bohrium 107 Bh [264]	hassium 108 Hs [265]

Quién es quién en la Tabla Periódica al cumplir 150 años de su creación

Nombres en su elemento

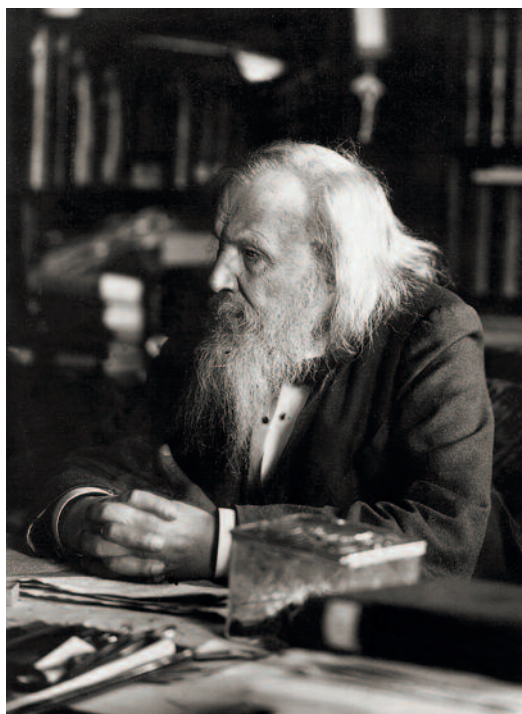
Hubo un tiempo en que todo estudiante de bachillerato tenía como parte de su equipo escolar una reproducción plastificada de la tabla periódica. Aquel rectángulo constituido por pequeños cuadrados llenos de siglas y números, coloreados siguiendo unas pautas que resultaban indescifrables para los legos en la materia, ha cambiado de acuerdo con los avances que han ido zarandeando al mundo de la química en los 150 años transcurridos desde que fue creado. Las nuevas tecnologías, con la incorporación de la interactividad

y las herramientas digitales, han contribuido a facilitar su asimilación y su aprendizaje; pero es esta funcionalidad, su carácter de herramienta, lo que ha dejado en segundo plano un aspecto no menos fascinante, como es la historia de los elementos que lo componen y, lo que es más curioso, de personalidades notables que se han asegurado su inmortalidad dejando su nombre detrás de la denominación de algunos.

■ Texto **Vicente Fernández de Bobadilla** | Periodista | ■

Los nombres con que se bautizaron en su día elementos básicos son bastante sencillos de rastrear, ya que se tomaron de personajes de la mitología o de lugares geográficos ligados al sitio donde fueron descubiertos o a la biografía humana o sentimental del científico que los halló: por ejemplo, el helio (número 2 en la tabla) fue bautizado así en honor al dios griego del Sol; el mercurio (número 80), por el dios romano del mismo nombre; el iridio (77), por Iris, diosa griega del arco iris; el lutecio (71) por la ciudad gala de Lutecia, tan presente en los cómics de Asterix, y el kriptón (36) no tiene nada que ver con el planeta nativo de Superman –fue descubierto mucho antes de la creación del personaje–, sino que procede de la palabra griega *kryptos*, que significa ‘oculto’.

Pero, otros de los 118 elementos de la tabla recibieron su nombre como reconocimiento a seres humanos reales. Algunos son personajes históricos sin ninguna relación con la ciencia. Únicamente dos son mujeres. Sólo uno de estos homenajeados



El químico ruso, Dimitri Mendeleev, creador de la primera tabla periódica, da nombre al mendelevio (elemento 101).

continúa vivo. Casi ninguno de los elementos a los que dan nombre se encuentra en la naturaleza; son artificiales, creados como resultado de reacciones nucleares.

Fue después de que comenzaran a aparecer estas nuevas adiciones a la tabla periódica cuando se pensó que sería de justicia bautizarlos según el nombre de personalidades que realizaron contribuciones significativas a la ciencia, o a otros campos siempre relacionados con el avance de la humanidad. Algunos son bastante evidentes: no es difícil especular con cuál es la procedencia del einstenio (99), el fermio (100) o el curio (96), pero hay otros nombres de procedencia más particular.

El ‘padre’ de la tabla

Es lógico que en esta lista encontremos el mendelevio (101), con el que se rinden merecidos honores a Dmitri Mendeleev, el creador de la propia tabla, pero no lo es tanto que éste no fuera la primera persona en recibir esta distinción: el primer ser humano que quedó unido para la posteridad a un elemento de la tabla fue el ruso Vasili Samarsky-Bykhovets (1803-1870), de cuyo nombre se deriva el elemento samario (66).

Más curioso resulta el hecho de que la vida de Samarsky-Bykhovets no tuvo nada que ver con la química; ni siquiera era científico en el sentido estricto de la palabra, sino ingeniero de minas, formado en el cuerpo de cadetes del *oblast* de Tomsk, y su carrera estuvo compuesta de una sucesión de puestos militares administrativos, siempre relacionados con la minería, hasta que en 1835 fue nombrado jefe del Cuerpo de Ingenieros de Minas. En ese puesto, autorizó



El samario (elemento 66) recibe su nombre en honor a un funcionario de minas ruso, el coronel Vasili Samarsky-Bykhovets.

al mineralogista alemán Gustav Rose el acceso a unas muestras recogidas en la zona de los Urales, en las que este encontró un nuevo mineral, al que llamó inicialmente uranotantalio, pensando que el tantalio formaba parte dominante en su composición.

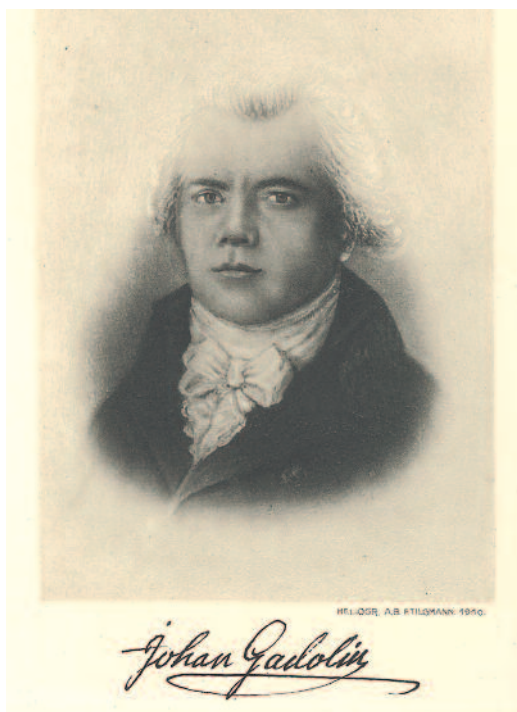
En 1846, su hermano Heinrich le hizo notar que el metal dominante era el niobio y, que para evitar confusiones, era conveniente rebautizar el hallazgo. Se eligió el nombre de samarskita como agradecimiento a Vasili, y cuando en 1879 el químico francés Paul-Émile Lecoq aisló en él mineral un nuevo elemento, decidió seguir con la corriente y bautizarlo como samario. Sin comerlo ni beberlo, nueve años después de su muerte, Vasili Samarsky-Bykhovets se convirtió en la primera persona en dar nombre a un elemento químico sin mayor mérito para ello que el de haber firmado más de cuarenta años antes un permiso administrativo.

Más justicia tuvo, desde luego, el caso del mendelevio (101), si bien su llegada se hizo de rogar, hasta 1955. Este elemento

se obtuvo por bombardeo con iones helio del isótopo einstenio-253 por el equipo formado por los científicos Albert Ghiorso, Bernard G. Harvey, Gregory R. Choppin, Staley G. Thompson y Glenn T. Seaborg en el ciclotrón de la Universidad de California, en Berkeley. El resultado fue un elemento metálico de alto índice de radiactividad, y cabe pensar que a la hora de bautizarlo el equipo coincidiera en que el creador de la tabla a la que su descubrimiento sería incorporado merecía por fin formar parte de ella.

Porque los logros de Mendeleev van más allá de su trabajo científico, y se extienden a su propia biografía; nacido en la ciudad rusa de Tobolsk en 1834, y miembro de una familia más que numerosa –algunas fuentes hablan de 16 hermanos– perdió a su padre a los 13 años de edad y su familia tuvo que trasladarse a San Petersburgo, a 1.500 kilómetros, donde los esfuerzos de su madre le permitieron matricularse en la escuela. Se graduó el primero de su clase, superando los obstáculos presentados por ataques de tuberculosis que le mantenían postrado en la cama –donde, a pesar de todo, seguía trabajando– y por un carácter tirando a intratable. Graduado en 1856, se trasladó a Alemania donde su pasión por la química –escribió su libro *Principios Químicos*, porque, a su juicio, no existía ninguna obra en Rusia que tratara la materia adecuadamente– comenzó a enfocarse en el campo de los elementos.

Cuando en 1869 presentó su tabla periódica, siguió el camino de otros científicos que, antes que él, habían intentado poner orden en el número creciente de elementos descubiertos; su mérito radicó en disponer ese orden según el peso atómico de cada uno, proporcionando así un patrón



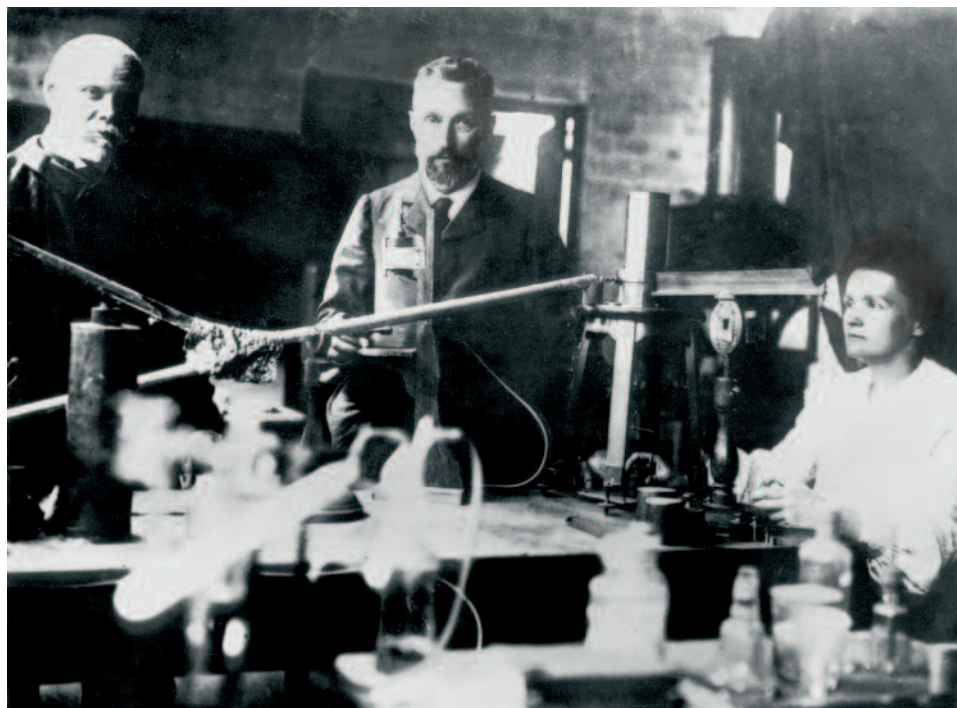
El óxido del gadolinio fue denominado gadolinia en honor a Johan Gadolin, químico, físico y mineralogista finés.

que hasta hoy ha permanecido inalterable. Y un último detalle: dejó sitio en su tabla para elementos que aún no habían sido descubiertos. Tres de ellos aparecien-

ron cuando aún vivía, reforzando su capacidad de anticipación, pero no puede saberse si llegó a predecir que algún día su propio nombre se incorporaría a la tabla para bautizar uno de esos elementos aún inexistentes.

Peculiares nomenclaturas

Su adaptación a partir de apellidos de personajes reales es lo que puede explicar la peculiar sonoridad de algunos de los elementos de la tabla; es el caso del gadolinio, que casi parece propio del protagonista de una ópera, y que deriva del apellido del químico y mineralogista finlandés Johan Gadolin (1760-1852). Hijo y nieto de profesores, Gadolin estudió química en la ciudad sueca de Uppsala, y luego pasó años viajando por Europa y familiarizándose con el trabajo de sus colegas, hasta regresar en 1797 a su ciudad natal de Turku (llamada entonces Åbo) para ocupar la plaza de profesor de Química en la Real Academia, que conservó hasta su retiro en 1822. Los testi-



El curio (elemento 96), descubierto por Gleen Seaborg, Ralph James y Albert Ghiorso en 1944, en la Universidad de Chicago, fue nombrado así en honor del matrimonio Curie (en la imagen superior).



El impulso a ciencia de Alfred Nobel fue recompensado otorgando su nombre al nobelio (elemento 102).

monios sobre su vida nos hablan de un espíritu inquieto y activo en varios frentes (en el político, jugó un papel significativo en la separación de Suecia y Finlandia), que se mantenía al día de todas las ideas y teorías en su campo que iban surgiendo en el entorno europeo, a veces para apoyarlas, otras para refutarlas, pero incluso en este segundo caso nadie pudo acusarle nunca de falta de conocimiento.

Fue en 1792, al examinar una piedra de un mineral negro y pesado encontrada en una cantera de Ytterby, Suecia, cuando descubrió en ella un nuevo mineral, al que bautizó ytria, y que luego mostraría contener diversos elementos del género clasificado bajo la denominación de tierras raras. En 1880, el químico suizo Jean Charles Marignac aisló de la ytria un óxido mineral, al que llamó gadolinia en honor al descubridor del metal, y seis años después, el francés Paul Émile Lecoq de Boisbaudran consiguió separar el gadolinio del óxido, incorporando un nuevo elemento, y un nuevo

nombre, a la tabla periódica. Fue un consuelo póstumo para una carrera que tuvo un epílogo triste, pues en 1827 Åbo sufrió el mayor incendio de su historia, que arrasó con toda la parte central de la ciudad, y destruyó, como daño colateral, la colección de minerales reunida por Gadolin con el tesón de una vida entera; se retiró al campo, donde murió a los 92 años.

La tabla también presenta alguna controversia sobre el verdadero origen del nombre de dos elementos, el berkelio (97) y el livermorio (116), de los que se ha dicho que fueron nombrados en honor a George Berkeley y Robert Livermore, respectivamente. Pero, si consideramos que el primero fue un obispo y pensador irlandés de gran influencia en el siglo XVIII y el segundo un rancharo y terrateniente inglés que llegó a poseer grandes extensiones de terreno en la California del siglo XIX, su elección parece aún más rara que la de Vasili.

Centros de investigación

La verdad es que estos elementos recibieron su nombre no tanto en honor a estos dos personajes como a los centros de investigación ubicados en ciudades que, estas sí, fueron nombradas por ellos: Berkeley, en California, hogar del Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley, uno de los enclaves principales de la ciencia estadounidense durante más de setenta años, y Livermore, también en California, donde está enclavado el Laboratorio Nacional Lawrence Livermore.

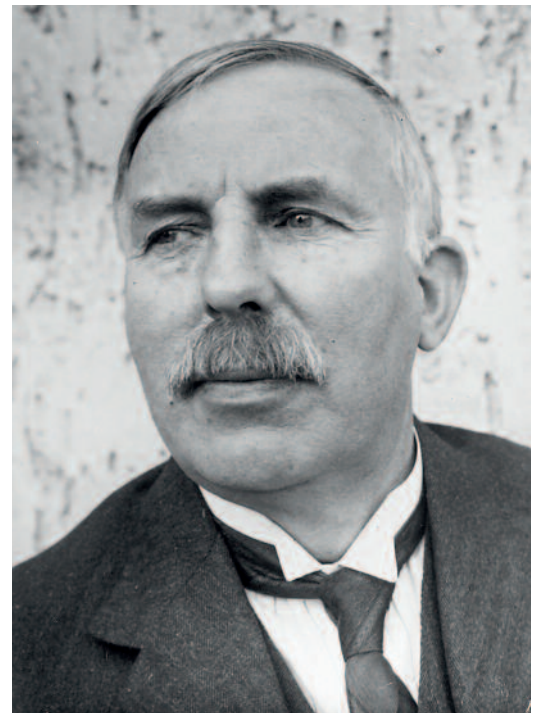
Esa falsa asociación ha dado lugar a confusiones que aún durante hoy día, y que otorgan a la

tabla más nombres propios de los que en realidad contiene.

La incorporación de elementos denominados según personajes reales abarcó también una función de reconocimiento a personalidades alejadas de la ciencia

La incorporación de elementos con nombres de científicos abarcó también al reconocimiento de personalidades ajenas a la ciencia

moderna, pero de una indudable relevancia histórica: es el caso de Americo Vesputio (1454-1512), navegante y cartógrafo que, sin proponérselo bautizó por igual a un continente entero y al elemento 95 de la tabla, el americio; de Nicolás Copérnico (1473-1543), autor de la teoría heliocéntrica del Sistema Solar y hon-



El elemento 104 de la tabla se denomina Rutherfordio en honor al científico neozelandés Ernest Rutherford.

rado durante más de quinientos años con su nombre presidiendo instituciones y monumentos por todo el mundo, y ocupando el puesto 112 de la tabla, con el elemento copernicio. Elemento que, cabe añadir, se llamó en principio ununcio tras ser descubierto en el Centro de Investigación de Iones Pesados de Darmstadt (Alemania), por el equipo dirigido por el profesor Sigurd Hofmann.

Cuando la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC) lo incorporó oficialmente a la tabla en 2009, sugirió al equipo que le buscara un nombre definitivo, y el del astrónomo polaco parecía una de las opciones más naturales; y de Alfred Nobel, cuyo impulso a las principales ramas de la ciencia fue recompensada otorgando su nombre al nobelio (102), haciéndole así compartir honores en la tabla con algunos de los galardonados con el premio que él creó.

Y relacionado con el Nobel está el uso de los nombres en la tabla periódica como una vía para la reparación de injusticias. A nadie se le escapa que el bautizo del meitnerio (109) fue una manera de compensar la marginación de la física Li-



se Meitner, apartada del premio sueco, que sí consiguió su compañero de investigación Otto Hahn por la creación del modelo teórico que explicaba la fisión nuclear, sin duda uno de los descubrimientos clave de la ciencia del siglo XX, y

se Meitner, apartada del premio sueco, que sí consiguió su compañero de investigación Otto Hahn por la creación del modelo teórico que explicaba la fisión nuclear, sin duda uno de los descubrimientos clave de la ciencia del siglo XX, y

uno de sus episodios más indignantes.

Uno de los investigadores que sintetizó el nuevo elemento, el alemán Peter Armbruster, declaró abiertamente que con la elección del nombre buscaban “hacer justicia a una víctima del racismo alemán

¿Quién decide los nombres?

El organismo detrás de la tabla periódica es la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC, por sus siglas en inglés). Fue creada en 1919 por un grupo de químicos procedentes de los ámbitos profesionales y académicos, con el objetivo de establecer unos estándares internacionales para el desarrollo de esta disciplina. La nomenclatura de la química orgánica e inorgánica, la estandarización de los pesos atómicos y de las constantes físicas, así como las tablas sobre las propiedades de la materia, están entre sus cometidos. Como lo está la decisión del nombre de los elementos de la tabla periódica.

El proceso es algo enrevesado; en primer lugar, debe confirmarse que en efecto se ha descubierto o sintetizado un nuevo elemento, siguiendo los criterios establecidos por el IUPAC. Mientras esta confirmación se obtiene, al ele-

mento se le otorga un nombre y un símbolo temporales, y se pone en marcha el proceso de elaboración de informes oficiales que determinen no solo la existencia del elemento, sino el crédito del laboratorio que anuncia el descubrimiento.

Una vez todo queda resuelto, comienza el proceso del nombre en sí. Se invita al laboratorio autor del descubrimiento a proponer un nombre y un símbolo, y si estos cumplen con los parámetros establecidos por el IUPAC, el nombre se formaliza después de un periodo obligatorio de cinco meses. Una vez se ha aprobado, el nombre del nuevo elemento se anuncia en la revista científica *Química Pura y Aplicada*, y de ahí, según la relevancia del nombre elegido, puede saltar a los medios generalistas y al caos del ‘cotilleo’ de las redes sociales. ▶



El roentgenio, sintetizado en Alemania en 1994, recibe su nombre en honor a Wilhelm Röntgen.

(Meitner había tenido que huir del país por ser judía) y dar el justo crédito a una vida y trabajo científicos”.

Más ambiguo es el propósito del curio (96), descubierto por Glenn Seaborg, Ralph James y Albert Ghiorso en 1944 en la Universidad de Chicago: fue nombrado así en honor del matrimonio Curie, aunque si se considera que Marie ganó dos premios Nobel frente al único de su marido, podría pensarse que se lo merecía el doble que él, y habría que hacer también un hueco imprescindible para su hija Irene-Joliot, que también había sido galardonada con el Nobel de Química, en 1935. Había, sin duda, demasiados genios en la familia como para confinarlos en un solo elemento.

El resto de los nombres propios escondidos en la tabla van marcando hitos científicos del siglo XX, todos ellos de merecimiento indiscutible y cada vez más cercanos en el tiempo, hasta el punto de contar por primera vez con testimonios de los protagonistas sobre lo que ha significado para ellos el galardón. Algunos cayeron por su propio peso, y en un

caso al menos el nombre estaba concedido de antemano, esperando tan sólo la llegada de un nuevo elemento. Era obvio que uno de los científicos que más se lo merecía era el neozelandés Ernest Rutherford, padre de la física nuclear, descubridor de la radiactividad alfa y beta, descubridor del núcleo del átomo, creador del modelo atómico que lleva su nombre, descubridor del protón, premio Nobel de Química en 1907, etc. Esta sucesión de descubrimientos le garantizaba un lugar de privilegio en la tabla, que llegó en 1964,

con el bautizo del rutherfordio (104). Pero, antes que él, había otra persona en la fila: todos los nuevos elementos eran hijos de la era nuclear, y habían sido no tan-

Nombres propios recogidos en la Tabla Periódica han marcado hitos científicos de merecimiento indiscutible en el siglo XX

to descubiertos como sintetizados, un proceso que no habría sido posible sin la ayuda del ciclotrón, el primer acelerador de partículas, inventado por el físico norteamericano Ernest Lawrence y puesto en marcha por primera vez en 1932. Los científicos que se dedicaban al rastreo de nuevos elementos cayeron en la cuenta de su deuda con la persona que les había facilitado un equipamiento imprescindible para su tarea; de hecho, se dice que



El flerovio (elemento 114), sintetizado en 1999, lleva el nombre del científico soviético Georgy Flyorov.

hubo un cierto consenso general en que el próximo elemento en incorporarse a la tabla recibiría el nombre de laurencio (103). Este llegó gracias al trabajo de los norteamericanos Albert Ghiorso, Torbjørn Sikkeland, Almon E. Larsh y Robert M. Latimer, en marzo de 1961, tres años después de la muerte de Lawrence.

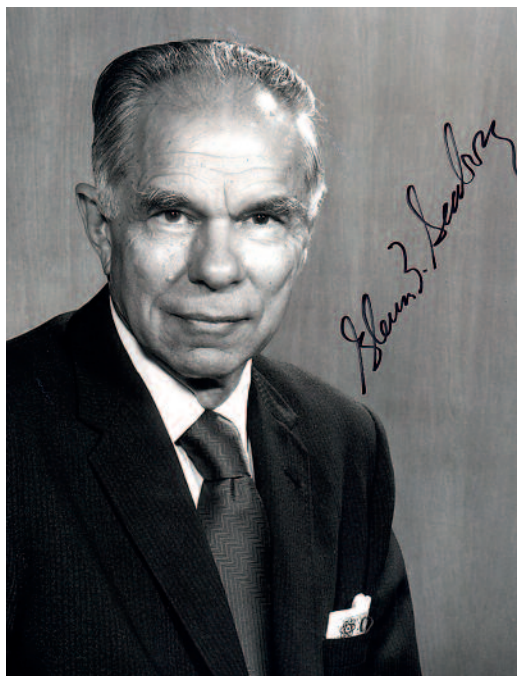
En 1981 se descubrió el bohrio (107), que fue nombrado así en reconocimiento a la labor de Niels Bohr, premio Nobel de Física en 1922, uno de los especialistas que más contribuyó a descifrar la estructura atómica, miembro del Proyecto Manhattan y uno de los creadores del CERN (Organización Europea para la Investigación Nuclear); de nuevo, el nombre se incorporó a la tabla de manera póstuma, pues Bohr había fallecido en 1962. Y lo mismo ocurrió con el roentgenio, sintetizado en Alemania en 1994, exactamente 99 años después de que Wilhelm Röntgen, el científico del que recibió el nombre, hubiera producido y detectado un tipo de radiación electromagnética que también sería conocido con su nombre –rayos Roentgen– o, más popular-

mente, rayos X, llevándose en 1901 el primer Nobel de Física de la historia. En los últimos años, la comunidad y el organismo encargado de certificar los nombres se han dado cuenta de que estos desajustes temporales eran, quizá excesivos, y se han intentado paliar con casos como el del flerovio (114), sintetizado en 1999 y nombrado por Georgy Flyorov, el científico soviético descubridor de la fisión espontánea y fundador del Instituto de Investigación Nuclear bautizado también con su nombre; la distinción en la tabla le llegó sólo 22 años después de su muerte, mucho más tarde que el de Lawrence, pero todo un prodigio de celeridad comparado con Roentgen.

El único que sigue con vida

Todos estos reconocimientos, aunque sin duda merecidos, dejaban el regusto de una metodología mal rematada, que había hecho imposible conocer la reacción del homenajeado, ya que parecía una norma no escrita esperar al fallecimiento de un científico para considerar su inclusión.

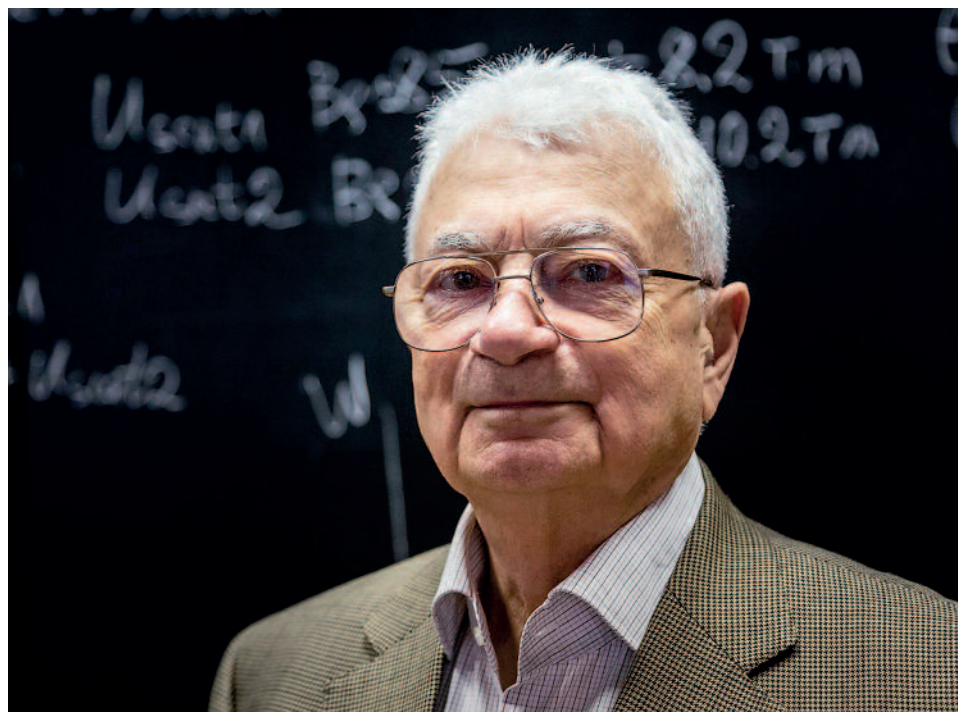
Un candidato incontestable para cambiar la tendencia era el químico Gleen Theodore Seaborg, premio Nobel en 1951 junto con Edwin M. McMillan, ya que su trabajo en la Universidad de California en Berkeley había permitido la incorporación a la tabla de diez elementos de la familia de los actínidos, los que van del número 93 al 102. En 1997, la IUPAC aceptó bautizar como seaborgio al elemento 106. Era la primera vez que un científico recibía este reconocimiento en vida, y la primera vez que se pudo recoger el testimonio de lo que significaba para él: “este es el mayor honor que nunca se me haya podido hacer; incluso más, creo, que ganar el premio Nobel. Los futuros



En 1997, la IUPAC aceptó bautizar como seaborgio al elemento 106 en honor al químico Gleen Theodore Seaborg.

alumnos de química, cuando estudien la tabla periódica, puede que se pregunten por qué a ese elemento se le dio mi nombre, y de ese modo aprender más cosas sobre mi trabajo”.

Seaborg falleció dos años después, lo que deja al químico armenio Yuri Oganessian como el único científico vivo cuyo nombre está incorporado a la tabla periódica, hecho que le ha colgado el sobrenombre de ‘Mr. 118’, que es el número que corresponde al oganesón, el elemento nombrado en su honor en 2016, después de que sus trabajos resultaran de una importancia clave para la síntesis de seis nuevos elementos desde el año 2000. Desde el Laboratorio Flerov de Reacciones Nucleares en Dubna (Rusia), donde desarrolla su trabajo, y donde se han sintetizado nueve elementos en el último medio siglo, continúa en activo a sus 86 años de edad, centrado en resolver la cuestión que no deja de sobrevolar el mundo de la química: ¿quedan nuevos elementos por sintetizar? Oganessian cree que sí, y dirige sus investigaciones al hallazgo de los 119 y 120; un proyecto que, de tener éxito, podrá proporcionarle algo de compañía entre los seres humanos presentes en la tabla. 🌐



Tras fallecer Seaborg, el químico armenio Yuri Oganessian es el único científico vivo cuyo nombre está incorporado a la tabla periódica, hecho que le ha colgado el sobrenombre de ‘Mr.118’, número que corresponde al oganesón.

La protección radiológica en 2018. Retos futuros

■ Texto **M^a Fernanda Sánchez** | Directora técnica de Protección Radiológica | **Ana Hernández** | Jefa de la Unidad de Apoyo de Gabinete de la Dirección Técnica de Protección Radiológica | ■

El pasado 7 de mayo se celebró la Jornada 'La Protección Radiológica en 2018', organizada por la Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR) en el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (Ciemat). La directora técnica de Protección Radiológica del CSN, M^a Fernanda Sánchez Ojanguren, destacó el proceso de mejora continua del organismo regulador, dentro del cual se ha revisado su sistema de gestión y se ha definido un código ético.

Recientemente, el CSN ha dado un paso más dentro de este proceso y se ha propuesto progresar, arropado en la tendencia internacional creciente, en la consolidación de la cultura de seguridad.

En el ámbito de la protección radiológica (PR), se desarrollan diversas actividades que tiene como objetivo último cumplir la misión del CSN y que se deriva de las funciones asignadas al mismo en su Ley de creación. Detallar todas estas actividades en el transcurso de la jornada no es posible, por lo que la directora técnica se centró en las más relevantes.

Se destacaron dos temas transversales de especial interés y a los que durante 2018 se ha dedicado un importante esfuerzo:

- Transposición de la Directiva 2013/59/Euratom por la que se establecen las normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes.
- La misión IRRS-Artemis que se llevó a cabo por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) al estado español en octubre de 2018.

Se resaltaron las principales actividades reguladoras realizadas en el ámbito de la PR en las Instalaciones Nucleares (IINN) e Instalaciones del Ciclo de Combustible (IICC), que incluyen aspectos de PR trabajadores, del público y del medio ambiente (cálculo de blindajes, vigilancia radiológica ambiental, impacto radiológico, residuos radiactivos de media y baja actividad), Emergencias y Protección Física.

En lo que se refiere a las Instalaciones Radiactivas con fines científicos, médicos, agrícolas, comerciales o industriales (IIRR) o instalaciones de rayos X, se presentó un resumen de las actividades reguladoras llevadas a cabo, destacándose el esfuerzo realizado en relación con el licenciamiento de las primeras instalaciones de protonterapia.

En cuanto a las Entidades de servicio (Servicios de PR-SPR, Unidades Técnicas de PR-UTPR, y Servicios de Dosimetría Personal-SDP; Empresas de Venta y Asistencia Técnica-VAT), se mencionó la tramitación de las solicitudes (autorizaciones y modificaciones) y se verificó su adecuado funcionamiento.

A lo largo de 2018, se continuó con la tramitación de las licencias de personal así como con la homologación e inspección de los cursos de formación.

En el ámbito de las Emergencias y la Protección Física, se destacó la renovación de la Red de Estaciones Automáticas (REA), la mejora de la Organización de Respuesta en Emergencias (ORE) del CSN, la implantación del Modelo Reforzado de Protección física en centrales nucleares y la implantación en IIRR, Ciemat y Juzgado de la IS-41, por la que se aprue-

ban los requisitos sobre protección física de fuentes.


Los resultados de las actividades reguladoras en relación con la PR de los trabajadores, el público y el medio ambiente, ponen de manifiesto:

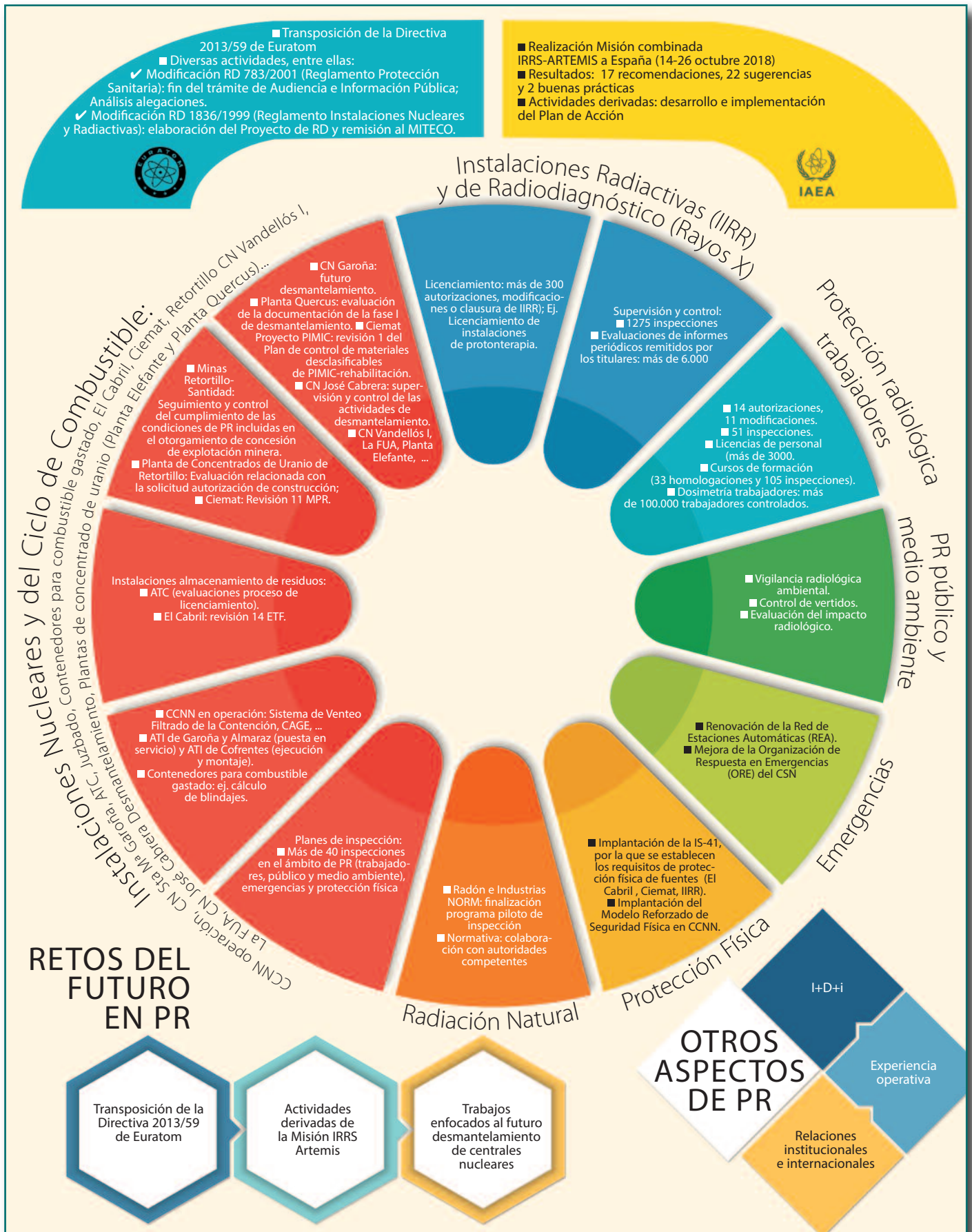
- la buena tendencia de la distribución de los datos dosimétricos de los trabajadores en relación con el cumplimiento de los límites establecidos.
- las dosis derivadas de los vertidos radiactivos de las instalaciones son muy inferiores a los límites de dosis para el público.
- la calidad radiológica del medio ambiente se mantiene en condiciones aceptables.

En el ámbito de la radiación natural, se destacó la finalización del programa bienal piloto de inspección a industrias NORM y a lugares de trabajo especialmente expuestos al radón, así como la colaboración entre el CSN y otras autoridades competentes de cara a la implantación de los nuevos requisitos.

En relación con los suelos con presencia de radiactividad, se presentó un resumen de las actuaciones del CSN en relación con las necesidades de desarrollo normativo, así como de regulación e información al público.

Durante 2018, la dirección técnica ha continuado colaborando en el impulso de proyectos I+D.

Por último, la directora técnica destacó entre los retos futuros, la continuación de los trabajos asociados con la transposición de la Directiva 2013/59/Euratom, las actividades derivadas de la Misión IRRS-Artemis y los trabajos enfocados al futuro desmantelamiento de las centrales. 





Un proyecto desarrollado por una empresa belga busca su reutilización

El reciclaje llega a los radioisótopos médicos



La medicina nuclear ha transformado el diagnóstico y tratamiento en campos como la oncología, la cardiología y la neurología.
/ Fotos: RECUMO

La producción de isótopos radiactivos es fundamental para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades como el cáncer. Sin embargo, su creación también genera residuos, que amenazan la sostenibili-

dad del proceso a largo plazo. Un proyecto belga busca una forma de reutilizar este material radiactivo para reducir al mínimo los residuos nucleares.

■ Texto Sergio Ferrer | Periodista | ■

La medicina nuclear ha transformado el diagnóstico y tratamiento en campos como la oncología, la cardiología y la neurología. Esta especialidad utiliza pequeñas cantidades de material radiactivo, que se inyecta en el paciente y recorre su organismo hasta llegar al órgano de interés, que será 'fotografiado' gracias a un detector. Por ello, la producción de estos radioisótopos ha aumentado al mismo tiempo que su demanda por parte de los hospitales. El problema es que en su creación también se producen residuos. Ante la dificultad de su gestión, ¿sería posible optimizar estos procesos y facilitar el reciclado y reutilización de los radioisótopos destinados a fines médicos?

En la localidad de Mol (Bélgica), a unos cien kilómetros de Bruselas, encontramos el centro de investigación nuclear SCK-CEN. En su interior se alberga el reactor de investigación BR2, la 'fábrica' de la que salen el 25% de los isótopos

radiactivos que se utilizan en el mundo. En especial, molibdeno-99 (^{99}Mo), un radioisótopo de diagnóstico empleado para obtener imágenes en medicina nuclear y uno de los más utilizados en este contexto junto a su 'hijo', el tecnecio. Se calcula que, al año, siete millones de pacientes en todo el mundo se benefician del producto belga.

“Los 'targets' [de uranio-235] son irradiados en el reactor BR2 y luego enviados a una instalación de procesado en el Instituto Nacional de Radioelementos de Bélgica [IRE], donde se extrae el isótopo, en este caso el molibdeno-99, por un proceso de fisión”. Así resume el proceso a ALFA Peter Baeten, Director General Adjunto del SCK-CEN. Este proceso no es novedoso: se lleva a cabo en Mol y otros lugares desde hace años. Pero, como explica el ingeniero nuclear, “siempre queda un residuo”.

Estos restos que se dejan atrás son conocidos como 'de alto nivel' (*high-level*

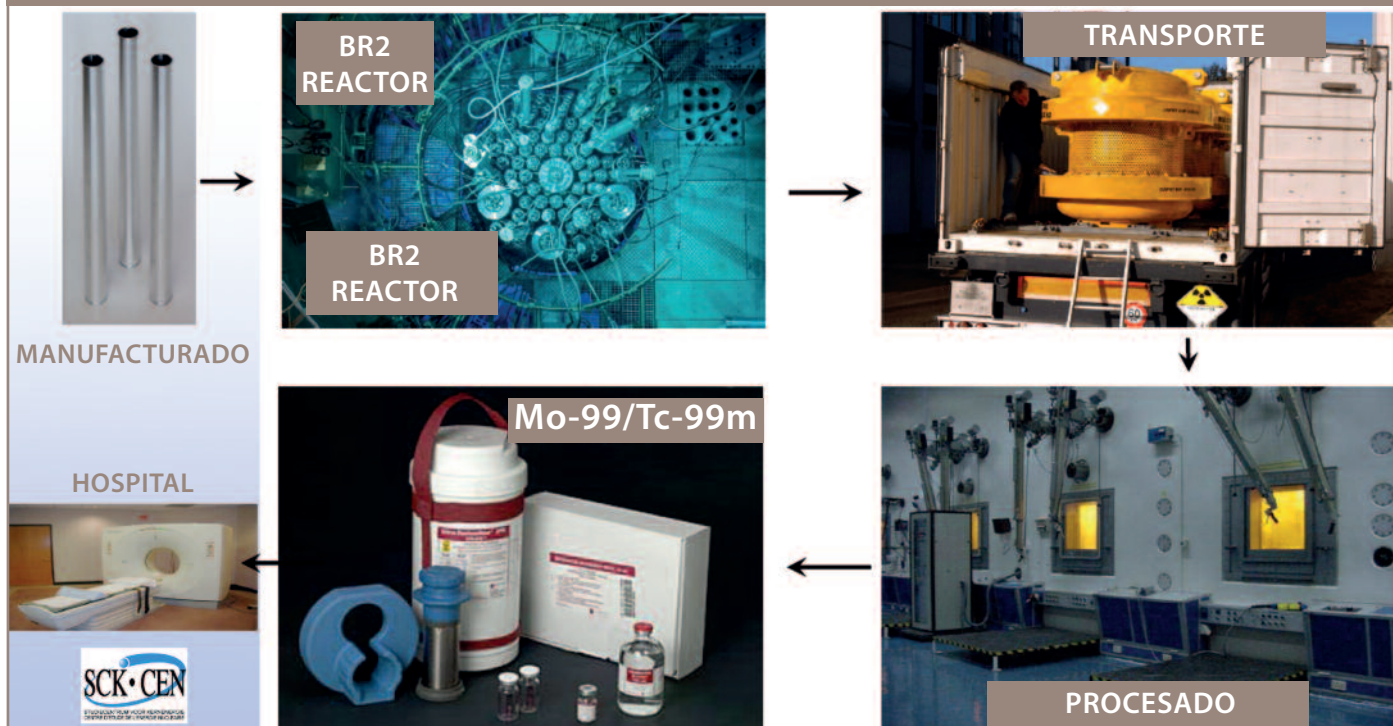
waste, HLW), un tipo de residuo nuclear que contiene los productos de fisión, es muy radiactivo y debe ser manejado con cuidado.

¿Qué hacen con ellos en países como Bélgica? “Hasta ahora, se almacenaban y ponían a un lado”, cuenta Baeten. Hasta ahora. “En algún momento tienes que hacer algo con eso, necesitas una solución final”, añade. Baeten explica que “en el pasado, la gente prestaba menos atención a la producción de residuos de alto nivel”. Hoy, sin embargo, “hay una preocupación” por su acumulación y por la búsqueda de una solución estructural. De hecho, el experto alerta de que, de no hacerlo, los residuos podrían amenazar el propio proceso de producción. Un problema grave si tenemos en cuenta que los hospitales de todo el mundo necesitan un suministro constante de estos isótopos: el molibdeno-99 y el tecnecio permiten realizar unas 30 millones de exploraciones al año.



Los isótopos que se utilizan en España provienen de los 17 ciclotrones con los que cuentan los servicios de medicina nuclear. Otros, como el molibdeno-99, vienen de Bélgica, Francia y Reino Unido, gracias a que su vida útil es de unas 66 horas.

PRODUCCIÓN DE RADIOISÓTOPOS PARA DIAGNÓSTICOS: Mo-99/Tc-99m



Los 'targets' de uranio-235 son irradiados en el reactor BR2 y luego enviados a una instalación de procesamiento en el Instituto Nacional de Radioelementos de Bélgica (IRE), donde se extrae el isótopo, en este caso el molibdeno-99, por un proceso de fisión.

“Si quieres asegurar esta forma de producción de radioisótopos en el futuro, tienes que encontrar una solución para estos residuos”, asegura Baeten. Este es exactamente el objetivo del proyecto RECUMO, aprobado por el gobierno belga en 2017 y con un presupuesto de 255 millones de euros para su construcción y funcionamiento hasta 2038.

“El proyecto RECUMO tiene como objetivo la purificación de los residuos que vienen del IRE, que es el que proce-

sa estos 'targets'”, comenta Baeten. De momento, este organismo se ha encargado de almacenar los residuos en Fleurus (Bélgica), pero el gobierno belga lleva décadas preocupado por su acumulación.

Solución estructural

La historia de RECUMO se remonta a los años ochenta, cuando el SCK-CEN comenzó a investigar una solución al problema de los residuos, conscientes

de que era la única manera de hacer el proceso sostenible a largo plazo. “Las autoridades belgas dijeron que si el IRE quería continuar generando radioisótopos tendría que buscar una solución estructural. Al final nos pidieron diseñar una nueva instalación para ello”, cuenta el experto.

La nueva instalación tras el nombre de RECUMO, según Baeten, se encuentra en su fase final de diseño. “En uno o dos años empezaremos a construir, y



Peter Baeten, director general adjunto del SCK-CEN, en Mol (Bélgica), el centro de investigación nuclear que alberga el reactor del que salen el 25 % de los isótopos radiactivos que se utilizan en el mundo.

esperamos estar operativos en 2023”, añade. La iniciativa fue anunciada a comienzos de este año como una colaboración entre el SCK-CEN y el IRE, lo que el ingeniero nuclear define como “una colaboración pública-pública, con el apoyo del gobierno”.

Pero, ¿qué hará exactamente la nueva instalación a partir de 2023? El molibdeno-99 se obtiene a partir de uranio-235 pero, como explica Baeten, “dentro de los residuos todavía queda uranio altamente enriquecido”. Por eso, la primera tarea será ‘rebajar’ la parte sobrante “a uranio poco enriquecido”. En otras palabras, RECUMO extraerá uranio poco enriquecido de los residuos generados tras la producción de radioisótopos médicos. Este se podrá usar más tarde en nuevos ‘targets’ y combustibles. “Por un lado obtenemos material todavía válido que se puede reutilizar; la parte que que-

da, los productos de fisión, se purifican y separan para dar lugar al residuo final”.

RECUMO será, según asegura el director general adjunto del SCK-CEN, el primer proyecto en hacer algo parecido a una escala que sea semi-industrial y no de laboratorio. “Hay unidades de procesamiento similares en el mundo, pero aquí buscamos una solución para la situación belga”.

Ya en 2018, la empresa NGR anunció que sus reactores nucleares de Petten (Países Bajos) se habían convertido en los primeros del mundo en dejar de utilizar uranio altamente enriquecido para producir molibdeno-99. En su lugar, la instalación emplea solo uranio de bajo enriquecimiento como combustible.

A pesar del auge de la medicina nuclear y la alta demanda de radioisótopos para este fin, el reactor BR2 de Mol es más bien una excepción a la norma. “Se han

ido cerrando reactores de investigación que tenían ese uso en Europa y quedan pocos, ahora hay menos países que lo hagan”, explica el investigador de la Universidad Politécnica de Madrid e ingeniero nuclear, Gonzalo Jiménez. Según él, eso explica, en parte, que el 25 % de la producción mundial salga del SCK-CEN, ya que los supervivientes “tienen más negocio”.

Crisis de isótopos

Este menor número de productores tiene sus peligros. Entre 2009 y 2010 tuvo lugar la llamada ‘crisis del molibdeno’, cuando algunos de los reactores sufrieron imprevistos y paradas por mantenimiento que provocaron una interrupción en el suministro de isótopos médicos. Para evitar que se repita este déficit, proyectos como RECUMO también van encaminados a aumentar la

capacidad de producción y hacer su suministro más estable.

¿De dónde vienen los radioisótopos que utilizan los hospitales españoles a diario? Algunos se producen en nuestro país, en uno de los 17 ciclotrones con los que cuentan los servicios de medicina nuclear. Estos pequeños aceleradores de partículas generan, sobre todo, fluorodesoxiglucosa (18F-FDG), uno de los radiofármacos más utilizados y cuya vida media es tan corta que hace imposible el transporte. Otros, como el molibdeno-99, vienen de Bélgica, Francia y Reino Unido, gracias a que su vida es de unas 66 horas. “La clave es producir un isótopo con una vida suficiente como para que lo puedan mandar urgente desde fuera”, dice Jiménez. Así las radiofarmacias pueden recibir molibdeno-99 y generar tecnecio, cuyo transporte es inviable debido a su duración reducida, de unas seis horas.

“En España, ahora mismo, no tenemos ningún reactor experimental. Hubo

Hospitales de todo el mundo necesitan un suministro constante de estos isótopos: el molibdeno-99 y el tecnecio permiten realizar unas 30 millones de exploraciones al año

hace un millón de años en Barcelona y el CIEMAT [Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas], pero los cerraron todos”, lamenta Jiménez. El reactor Argos de la Universitat Politècnica de Barcelona, por ejemplo, operó entre 1962 y 1977 y su demolición tuvo lugar en 2003. Su objetivo fue el de formar ingenieros nucleares, muchos de los cuales terminaron en

la Central Nuclear Vandellòs I, inaugurada en 1967.

“Es una decisión de país”, comenta Jiménez sobre las carencias en la producción de radioisótopos médicos y la falta de reactores experimentales en nuestro país. “España debería hacer este tipo de cosas, independientemente de lo que piensas de la energía nuclear. El problema aquí es que si un partido no apuesta por la energía nuclear le suena todo nuclear, aunque esto esté un poco fuera”.

La situación española es, además, paradójica. “Hay muchos más países que tienen reactores de investigación que países que tienen centrales nucleares”, asegura Jiménez. Dicho de otra forma, muchos países cuentan un reactor de investigación, pero no tienen una central nuclear, justo al revés de lo que sucede en España. “Fuimos de los primeros países de Europa en tener reactores experimentales, con tecnología americana, pero los cerramos pronto”. “Es necesario para un país del



El centro de investigación nuclear SCK-CEN alberga el reactor de investigación BR2. En especial, molibdeno-99 (^{99}Mo), un radioisótopo de diagnóstico empleado para obtener imágenes en medicina nuclear. Al año, siete millones de pacientes en todo el mundo se benefician del producto belga.

El 'Amazon' español de los radioisótopos

España tiene unas 150 unidades de medicina nuclear, que cada año llevan a cabo unos 700.000 procedimientos diagnósticos y 30.000 aplicaciones terapéuticas, según datos de la Sociedad Española de Medicina Nuclear e Imagen Molecular. ¿Cómo llegan los radioisótopos desde sitios como el IRE en Bélgica hasta los centros de nuestro país?

ETSA, con sede en Salamanca, es la empresa encargada del reparto de estos productos en nuestro país. "Gestionamos al año más de 120.000 bultos radiactivos, en más de 45.000 envíos para 269 instalaciones de uso médico, como hospitales y laboratorios", asegura el director de la empresa, Millán Morán. Con tanta actividad, la logística del transporte de los radioisótopos se convierte en un reto.

"Es un producto urgente, radiactivo y que caduca enseguida", resume Morán sobre las dificultades de la distribución de radioisótopos. ETSA nació para dar servicio a la fábrica de combustible nuclear de Juzbado, a 26 kilómetros de Salamanca. Hoy se han diversificado y, según sus datos, distribuyen más del 95 % de los isótopos radiactivos que se consumen en España para fines médicos.

Tanto los paquetes como los vehículos que los transportan están adaptados. "Los bultos van plomados y los

vehículos tienen placas que dividen la cabina donde va el conductor de la carga", aclara Morán, que asegura que también se controla la cantidad de radiación que reciben los conductores, para que no sea mayor de la permitida.

Las precauciones no terminan ahí. "Se controlan los paquetes, las entregas y los vehículos", dice Morán. Gracias al GPS y las aplicaciones móviles es posible seguir en todo momento dónde están, su trayectoria y momento de entrega. La logística no termina en ese momento, ya que es un proceso de ida y vuelta. "Una vez el hospital ha sacado el radiofármaco, se devuelve; nosotros lo recogemos y lo devolvemos a las radiofarmacias y los ciclotrones", comenta Morán. Si el origen del producto es extranjero, "se acumula en una serie de almacenes hasta que tenemos muchos y podemos enviarlos de vuelta".

Los envíos son en su mayoría bimodales, por tierra y aire. Laboratorios y radiofarmacias empiezan a trabajar de madrugada, ya que los hospitales necesitan estos radioisótopos desde primera hora de la mañana. "Esto llega prácticamente a toda España porque todos los hospitales quieren tener esta tecnología; tiene que estar perfectamente coordinado y controlado tecnológicamente".



tamaño de España, que ya tiene gente con el conocimiento necesario y un organismo regulador.

Hay países que lo montan solo para hacer un reactor de investigación, pero nosotros ya tenemos todo el aparataje: la in-

dustria, la ingeniería y el Consejo de Seguridad Nuclear", añade.

¿Y qué pasa con el resto de residuos?

Proyectos como RECUMO buscan reducir al mínimo los re-



Se controlan los paquetes, las entregas y los vehículos. Gracias al GPS y las aplicaciones móviles es posible seguir en todo momento dónde están y la trayectoria de los radioisótopos hasta su destino.

residuos nucleares generados durante la producción de radioisótopos médicos. Sin embargo, estos restos son un problema común a cualquier proceso nuclear. ¿Podría España hacer algo similar a la iniciativa belga en sus centrales nucleares? “Es otro mundo”, comenta Jiménez. “En este caso, una vez gastados los elementos combustibles los sometemos a un proceso industrial para separar los isótopos que tienen en su interior. El resultado es, por una parte nuevo combustible y, por otra, residuos radiactivos de alta actividad que se vitrifican”.

Este proceso tiene lugar en países como Francia y Reino Unido, aunque Jiménez asegura que “hay muy pocos” que lo hagan. El motivo no es otro que el precio: “Es muy caro y para que tenga sentido hacer una instalación así necesitas asegurar un ritmo de reciclado de combustible lo bastante alto”.

En países como Francia, con suficientes reactores, el reciclaje sí que sale a cuenta. Pero, entonces, ¿podría España enviar su combustible al país vecino para su reciclaje? Según cuenta Jiménez, no es tan fácil: “Hay una diferencia entre el combustible normal y el reciclado, porque el primero utiliza uranio-235 como isótopo y el que te devuelven

es con plutonio-239”. Esta diferencia conlleva que haya que hacer modificaciones en la licencia de una central nuclear para que esta pueda utilizar el combustible reciclado, algo que cuesta “dinero y tiempo”.

La reticencia al reciclaje nuclear no es

Para asegurar la producción de radioisótopos en el futuro, es imprescindible encontrar cuanto antes una solución para los residuos que generan

solo por motivos económicos y políticos, sino también históricos. El profesor de la Universidad Autónoma de Madrid Valentín González, hoy jubilado, comentaba en 2015 en una entrevista concedida a Europa Press que esta actitud se fraguó en 1976: “[Fue] cuando entró Jimmy Carter en el gobierno americano. Desde ahí se tomaron dos vías: los países que sí reciclan y los que no. Entre los que sí re-

ciclan se encuentra Francia, Reino Unido, Rusia y Bélgica. Entre los que no, Suecia, España y EE. UU.”

Gonzalo Jiménez confirma la historia y lamenta que España se haya guiado mucho por la tecnología y las prácticas de otros países, en lugar de desarrollar las suyas propias. “Lo bueno de la estrategia de reciclado es que lo que tienes que guardar en un almacenamiento geológico profundo es mucho más pequeño”. Asegura que el Almacén Temporal Centralizado (ATC), proyecto aprobado en 2011 pero actualmente paralizado, “era una manera de darnos tiempo para pensar cuál es la mejor solución” para los residuos nucleares.

Pacientes ‘limpios’

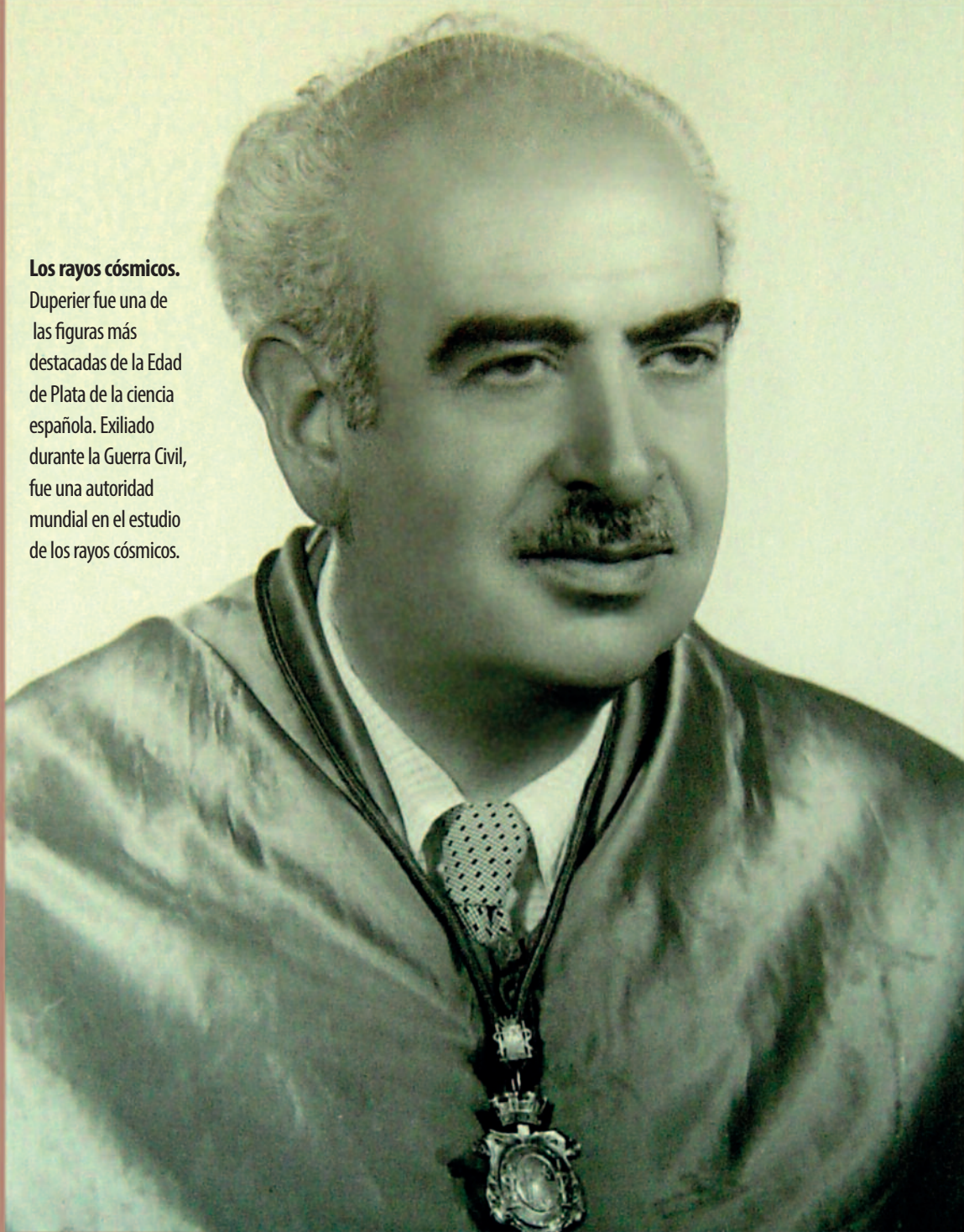
Cabría preguntarse, ya que hablamos de sustancias radiactivas y residuos, qué pasa con los radioisótopos una vez se utilizan. ¿También generan residuos? ¿Sería necesario reciclarlos, de manera similar a lo que pretende hacer RECYMO con el proceso de producción?

“Los radioisótopos que se inyectan en el paciente suelen tener vidas muy cortas, por lo que se degradan de forma natural a través de los procesos biológicos que tienen lugar dentro de los seres humanos”, comenta Baeten. “Estas inyecciones no tienen residuos”, aclara. Esta vida tan corta es la que hace de su transporte y distribución un reto para ETSA. De hecho, como “algunos duran horas, si tardas mucho entregas agua”, asegura Millán Morán.

Caso aparte son las “fuentes radiactivas”, que no decaen. Un ejemplo es el cobalto, que se utiliza en los hospitales en radioesterilización y supone un riesgo para la salud mayor que los componentes de los radiofármacos. “En este caso se lleva la fuente y luego se retira y devuelve al fabricante, que está siempre fuera de España”, subraya el director de ETSA.

Los rayos cósmicos.

Duperier fue una de las figuras más destacadas de la Edad de Plata de la ciencia española. Exiliado durante la Guerra Civil, fue una autoridad mundial en el estudio de los rayos cósmicos.



Arturo Duperier, el genio relegado

Parfraseando los versos de Jaime Gil de Biedma “de todas las historias de la historia (sin duda la más triste es la de España) porque termina mal”, puede hacerse sin problemas una traslación a la historia personal y científica de Arturo Duperier. Buena parte de los apelativos con los que ha pasado a la historia no se refieren a su excelencia como investigador, sino

a las vicisitudes que se cebaron en su trayectoria. La exposición homenaje que le dedicó el pasado año la Universidad Complutense de Madrid fue titulada ‘Mártir y mito de la ciencia española’ y otros papeles dedicados a él califican su biografía como la historia más triste de nuestra ciencia.

■ Texto V. F. de B. | Periodista ■

Todos los honores póstumos en forma de exposiciones, calles y centros educativos no son suficientes para remendar una biografía truncada, que comenzó el 12 de noviembre de 1896 en el pueblo abulense de Pedro Bernardo, donde el farmacéutico Adolfo Duperier y la maestra Eugenia Vallesa recibirían al único de sus tres hijos que sobrevivió a la infancia. La pérdida de sus dos hermanos –y de sus padres– a una edad temprana podría interpretarse como una de las pruebas con las que la vida forja el carácter de algunos individuos, pero es más razonable interpretarlo como un aviso de la predisposición familiar a las muertes antes de tiempo, que décadas después tendría una final y dramática confirmación.

Los años de estudiante de Duperier mostraron que también había heredado el apetito intelectual de sus padres, y más concretamente la inquietud de su progeni-

tor, quien complementaba su formación como farmacéutico con una amplia curiosidad sobre todo tipo de materias. Su único hijo comenzaría sus estudios en ciencias en Valladolid, en 1912, y al año siguiente los continuaría en la Universidad Central de Madrid. En pocos años obtuvo una cosecha excepcional: licenciado en Químicas, en 1916, con sobresaliente y premio extraordinario; en Físicas, en 1919, con las mismas calificaciones, y número uno en 1920 en las oposiciones a Auxiliar de Meteorología del Servicio Meteorológico Español. Y, con todo, le quedó tiempo para dedicarse a otras actividades, que definirían los inicios de su carrera científica.

De forma simultánea a sus estudios, Duperier había comenzado a trabajar en el Laboratorio de Investigaciones Físicas de la Junta de Ampliación de Estudios. Era un puesto de auxiliar –que posteriormente se convertiría en doctorando–, y como tal,

sin remuneración económica, pero muy rico en oportunidades de contacto profesional; de hecho, fue allí donde conoció a Blas Cabrera, otro nombre incontestable de nuestra Física, que reparó al momento en todo lo que aquel recién llegado tenía que ofrecer. Cabrera dirigió su tesis doctoral, *Estudio termomagnético del agua y de algunas disoluciones de sales paramagnéticas*, que Duperier leería en 1924, y comenzó con él un periodo de trabajo conjunto, que iba a producir algunas de las más brillantes trayectorias de investigación de la llamada Edad de Plata de la ciencia española, con las líneas que separaban a alumno y maestro cada vez más desdibujadas.

Pero, lo que Cabrera no tenía eran plazas fijas, que le habrían permitido meter a su discípulo en plantilla y pagarle un sueldo. El motivo por el que Duperier se presentó a las oposiciones a meteorología fue tan prosaico como la necesidad de contar



A partir de 1924, en un estudio dedicado al ‘Paramagnetismo de la materia’ junto con Arturo Duperier, Blas Cabrera completaría la ecuación de Curie-Weiss del Paramagnetismo, que pasaría a conocerse desde entonces como de Cabrera-Duperier. En las imágenes superiores, Cabrera junto a colegas científicos del Laboratorio de Investigaciones Físicas de la Junta de Ampliación de Estudios, donde colaboró Duperier y que visitó Einstein en los años 20.



Entre los múltiples reconocimientos que el científico español recibió durante su exilio, Duperier tuvo el honor de ser el único extranjero, después de Albert Einstein, en pronunciar una conferencia inaugural de la Sociedad Física británica.

con los ingresos mensuales que le proporcionaría un puesto de trabajo; pero, irónicamente, allí encontraría un nuevo campo de investigación que se convertiría en su camino propio, independiente del de su profesor y amigo, y en el que terminaría siendo reconocido como una de las primeras autoridades mundiales.

Los inicios de los años veinte vieron llegar una serie de publicaciones de calado firmadas por los dos científicos y centradas en campos en los que Cabrera llevaba tiempo destacando internacionalmente, como eran las tierras raras y el paramagnetismo. Y el principal de todos ellos probablemente haya sido el que enmendó la plana a la ecuación de Curie-Weiss, hasta el punto de convertir desde entonces su denominación a la de ecuación de Cabrera-Duperier del paramagnetismo. Hay que añadir aquí que el francés Pierre Weiss era considerado la máxima autoridad europea en magnetismo, y que Cabrera había viajado hasta su laboratorio en Zurich (Suiza) para trabajar con él. Hubo una fuerte y sincera amistad entre los dos científicos y, del mismo modo en que el físico estadounidense y premio Nobel John Has-

brouck van Vleck dejó escrito, en 1978, que “en la historia del paramagnetismo, Blas Cabrera será recordado como el físico que hizo los experimentos adecuados, en el momento adecuado”, también añadió que “las medidas de Cabrera y Duperier

Su etapa británica tras el exilio, que duraría 15 años, permitió a Duperier trabajar con algunas de las figuras más relevantes de la ciencia internacional del siglo XX

fueron esenciales en la confirmación de la teoría mecánico-cuántica”.

El apellido Duperier empezó a brillar en el extranjero con tres de sus trabajos publicados en revistas científicas francesas –uno, en *Le Journal de Physique et le Radium*, en 1924, y otros dos en *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, en 1927

y 1929– y llamaron la atención fuera de nuestras fronteras. En 1928, al puesto en el Observatorio Meteorológico del Retiro de Madrid que había conseguido en sus oposiciones se le sumó el de profesor auxiliar de Electricidad y Magnetismo en la Facultad de Ciencias, lo que le permitió dejar atrás la incertidumbre económica que hasta el momento le había acompañado.

Fueron los siguientes unos años de ingente desarrollo académico y profesional, pero también de un aislamiento progresivo en el campo más íntimo. En 1922, durante una visita que realizaba con sus padres a Ávila, su madre falleció de sopetón, y su padre sólo le sobrevivió cinco años más. Quedó Arturo Duperier sin familia, en una ciudad alejada de su pueblo natal, ingredientes que parecían pensados para desembocar de modo irremediable en el aislamiento y la soltería. Amigos y biógrafos recuerdan aquella época suya como un deambular por habitaciones de pisos que alquilaban entre varios compañeros de profesión, donde se forjaron algunas amistades tan perdurables como las de los científicos Alejandro Familiar y Mariano Velasco.

En toda biografía hay años decisivos y Duperier vivió claramente uno de ellos en 1934. Por un lado, la estancia en Berlín y Postman le había servido para estudiar los métodos para la detección de rayos cósmicos, y regresó a España determinada a hacer de la radiación cósmica en la atmósfera su campo principal de investigación. Por otro, conoció a Ana María Aymar y Gil, que al año siguiente se convertiría en su esposa.

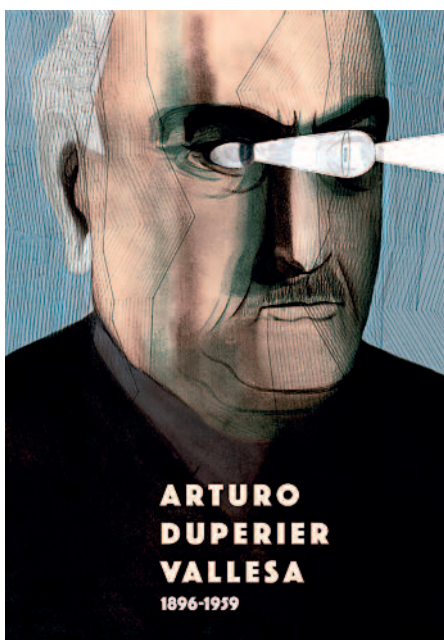
Camino del exilio

Llegaron nuevas publicaciones y el nombramiento de Duperier como presidente de la Sociedad Española de Física y Química. Preocupado por su trabajo y su familia antes que por avatares políticos o bélicos, la reacción de Duperier a la llegada de la Guerra Civil fue, sobre todo, asegurarse nuevas bases desde las que proseguir con sus líneas de investigación. Como otros muchos de sus colegas, no se había interesado en la política republicana más de lo necesario y esperable en un ciudadano de su categoría intelectual; y, al igual que esos colegas, pronto iba a descubrir que incluso aquella mínima implicación era suficiente para que la dictadura implantada tras la guerra le clasificara en la lista de los indeseables y le empujara camino del exilio.

Un repaso al expediente de depuración que le fue abierto en 1939 por el Tribunal de Responsabilidades Políticas sorprende por la ambigüedad de los cargos presentados contra él, que sólo pueden explicarse si se los toma como mera excusa o se engloban dentro de la corriente de revancha colectiva que sacudió la inmediata posguerra también en el campo científico: se le separó de su cátedra por no haberse “presentado a servir sus cargos de catedrático en el plazo fijado por las disposiciones vigentes y cumplidos los preceptos señalados en la Ley de 22 de julio de 1918”. Más virulento fue el informe del vicerrector Julio Palacios: “izquierdista, afiliado a un partido del

Frente Popular y como tal es designado para formar parte del comité del Instituto (Nacional de Física) en septiembre de 1936. Deja de asistir al mismo en noviembre de dicho año, saliendo para Valencia”. No faltaron tampoco las esperadas acusaciones de masón, obviando hechos tan contrastables como que aquel izquierdista mantenía un catolicismo practicante, y que jamás faltaba a su cita con la misa dominical, tanto en España como durante su posterior etapa inglesa.

Pero sí era cierto que había convertido a



Cartel-homenaje de la figura de Arturo Duperier y su relación con los rayos cósmicos.

Valencia y Barcelona en los nuevos escenarios de sus trabajos, hasta que el final de la guerra le arrastró a una estancia en principio indefinida fuera de su país.

Fue uno de los cinco catedráticos, de los ocho con que contaba entonces la Sección de Físicas de la Universidad de Madrid, que optó por exiliarse. Otro fue su maestro y amigo Blas Cabrera, aunque difiriendo en circunstancias y destinos: Cabrera terminó en México, como otros tantos investigadores huídos, pero cuando se estableció allí estaba claro que sus años más fértiles como científico habían quedado

atrás. Duperier, en cambio, se instaló en Inglaterra, como resultado de una invitación. Según escribió Ángel Martín Muncio, en 2004, “en 1939, el conocimiento preciso de las variaciones de intensidad de los rayos cósmicos al nivel del mar en el transcurso del tiempo era considerado de importancia fundamental en el campo de la investigación de la radiación cósmica. Los intentos realizados hasta entonces en Austria, Alemania y Estados Unidos no habían podido determinar las causas de estas complejas variaciones y, en tales circunstancias, el Departamento de Física de la Universidad de Manchester, interesado particularmente en la cuestión, invitó a Duperier a emprender un nuevo estudio”.

La etapa británica

Comenzó su etapa británica, que duraría quince años, con su categoría de autoridad en la radiación cósmica cimentándose en cada uno de ellos. Trabajó con Paul Maynard Stuart Blackett, primera figura inglesa en rayos cósmicos y futuro premio Nobel, y en su departamento desarrolló un nuevo método de técnica experimental, que continuaría en la Universidad de Londres. Gracias a su trabajo fue posible descubrir una serie de efectos atmosféricos y confirmar las teorías sobre la interacción de los rayos cósmicos en la materia; posteriormente, ahondaría en la asociación entre la intensidad y los fenómenos de actividad solar, y en la emisión de rayos cósmicos procedentes del Sol, entre otros campos. Todos sus descubrimientos se publicarían de manera regular en *Nature* y en la revista de la Royal Society of Physics.

Al éxito de sus experimentos se unió la llegada, en 1942, de una nueva hija, llamada, como la primera, María Eugenia, y que, esta sí, llegaría a la edad adulta y continuaría con la saga familiar. En 1945, tras el lanzamiento de la bomba atómica en Hiroshima, la BBC le llamó para que explicara a sus oyentes en español las características de la nueva arma, y ese mismo

año la Physical Society le invitó a pronunciar la Conferencia Guthrie, uno de los más altos honores científicos a que se podía aspirar en el país, que hasta la llegada de Duperier sólo se había permitido invitar como orador a otro investigador de origen extranjero: Albert Einstein. Que solo un año antes, en España, el franquismo hubiera acordado inhabilitarle como investigador durante un periodo de cinco años queda para la historia como un imborrable estertor de mezquindad.

Regreso al 'hogar'

En aquellos años, las ofertas para incorporarse a, o dirigir, equipos de investigación en las instituciones más respetables de la ciencia mundial, comenzaron a sucederse. Las respuestas de Duperier tenían un punto en común: su prioridad por regresar a España, una determinación que no deja de sorprender si se consideraba el trato que había recibido por parte del franquismo y de algunos de sus antiguos compañeros, así como su falta de vínculos familiares. Fue aquí cuando, por mediación del poeta Leopoldo Panero y sobre todo de la mujer de este, Felicidad Blanc, entró en escena Torcuato Luca de Tena, a la sazón corresponsal de *ABC* en Inglaterra. Tras conocer a Duperier a través de los Panero y enterarse de su relevancia científica, el trato

personal que con él mantuvo no le ofreció motivos para concebir que tuviera que continuar en el exilio, o incluso que hubiera habido alguna vez razones para que lo padeciera. Según recordó Luca de Tena, en una de sus conversaciones. “Tengo entendido que quien no tiene manchadas las manos de sangre no tiene nada que temer. De otra parte usted nunca se ha metido en política. Yo creo que podría regresar con toda libertad”. “No –me respondió, muy afectado, Duperier-. Porque he sido desti-

Duperier regresó a España desde Londres en 1953, para incorporarse a una cátedra en la Universidad de Madrid creada expresamente a su medida

tuido de mi cátedra. Y fuera de la universidad, no tendría de qué vivir”.

Una crónica de Luca de Tena aparecida en *ABC*, el 9 de abril de 1947, comenzó a allanar el camino para un eventual regreso. Con el título *Un sabio español en Londres*, calificaba a Duperier de “la principal

autoridad” en rayos cósmicos, y mencionaba la oferta que había recibido de un observatorio de Perú, y que había rechazado, porque “lo alejaría demasiado de España”. Con el paso del tiempo y la eficacia de las gestiones, el yugo del exilio se fue aflojando, como demuestra la timidez, expresada en breves titulares que aún no parecen saber bien a qué carta quedarse, con que la prensa española recogía sus primeras tentativas de regreso, o los primeros viajes a España de su mujer y su hija. Nada se dijo nunca, obviamente, en aquellas crónicas, de los motivos por los que los Duperier se habían instalado en la capital británica. Duperier trabajaba y esperaba, pero su ritmo de vida, tranquilo y sin excesos, no fue suficiente para evitar un infarto que le sobrevino en 1951. Los médicos le recomendaron una cura de descanso que, gracias al acuerdo de las autoridades británica y españolas, pasó en Mallorca.

Su deseo por regresar se enfrentaba a las reticencias que le despertaba las trabas o zancadillas de sus compañeros de profesión. España seguía contando con científicos íntegros, empeñados en sacar adelante sus proyectos incluso en el nuevo aire de desprecio por la investigación y penuria económica; pero también estaban los otros, los que habían contribuido a los exilios, o callado cuando estos se hicieron

efectivos, y aprovecharon el vacío de grandes investigadores para el desarrollo de sus propias carreras.

Así que, cuando por fin Duperier regresó de Londres, en 1953, para incorporarse a una nueva cátedra en la Universidad de Madrid, creada expresamente para él, se encontró con la escasa efectividad del respaldo oficial frente a la malicia de los obstáculos officiosos: su equipamiento científico quedó retenido en la adua-



En enero de 2013 se inauguraba un monolito en el parque El Calero, en el madrileño distrito de Ciudad Lineal, lugar donde vivió (en el número 37 de la calle de Virgen del Portillo) y desarrollo gran parte de su carrera este destacado científico.

na del puerto de Bilbao, donde unas trabas burocráticas imposibles de salvar le impidieron acceder a él durante cinco años. Era imposible no entrever intereses ocultos en una situación que habría podido arreglarse con una simple llamada telefónica de la persona adecuada. Sin sus instrumentos, tuvo que dedicarse a la docencia; quienes asistieron a sus clases recuerdan su dedicación, tan entusiasta que tapaba para muchos la resignación que guardaba en su interior, y el progresivo desánimo ante la evidencia de los rencores que le seguían esperando en el país por el que dejó todo con tal de regresar.

Mientras, las invitaciones a Congresos en el extranjero se sucedían, y el peso internacional que seguía manteniendo Duperier quizá podría haber hecho pensar en una solución, que parecía acercarse con su reconocimiento oficial como académico en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Pero el infarto que había sufrido en Londres se repitió con resultados irreparables en 1959, y el 10 de febrero Arturo Duperier falleció en su casa de Madrid, antes de tomar posesión.

Sí le fue posible asistir al homenaje que se le rindió en su pueblo natal de Pedro Bernardo; luego, los honores póstumos se multiplicaron, comenzando por el Premio de la Fundación Juan March en el mismo año de su muerte, confirmando la sentencia de Jardiel Poncela sobre lo bien que se entierra en España. Hoy en día su nombre esta presente en institutos, calles, bibliotecas y exposiciones conmemorativas. Probablemente quede por encima de cualquier otro testimonio el párrafo de la carta que, desde su recuperación en Mallorca, dirigió a su amigo Alejandro Familiar: “Me interesa hacer lo posible para que mi honradez en todos los campos quede patente, puesto que es el único patrimonio que puedo legar a mi hija. Esto, en el mundo en que vivimos, sé que es bien poco, pero es lo único”.



El Nobel que no pudo ser

Si bien murió sin llegar a obtenerlo, el premio Nobel sobrevoló una y otra vez la biografía y la figura de Arturo Duperier, pues a medida que pasaban los años, parecían multiplicarse los factores que aproximaba su figura al máximo galardón mundial de la Ciencia. No sólo había tratado durante su carrera a varios Nobel, sino que trabajó mano a mano con quienes acabarían obteniéndolo, como Stuart Blackett, quien lo ganó en 1948. Es cierto que la proximidad a un Nobel no garantiza la posterior obtención del reconocimiento, pero existen evidencias de que el nombre de Duperier sonó en más de una ocasión dentro de los muros de la academia sueca; y su invitación a la Conferencia Guthrie puso por las nubes todas las conjeturas.

Tanto fue así, que sus biógrafos, y Francisco González Redondo, comisario de la exposición que conmemora su figura, han afirmado que la fuerza de las sospechas movilizó los engranajes del franquismo para recuperar al investigador, para evitar que el primer Nobel de Física concedido a un español recayera en un científico que trabajaba en el exilio. En 1946 se sobreseyeron sus “responsabilidades políticas” y al año siguiente se le restituyeron los bienes incautados, mientras autoridades como Joaquín Ruíz Giménez, Pedro Laín Entralgo y el secretario general del CSIC, José María Albareda, hacían lo posible por acelerar su regreso.

Hubo regreso, pero no hubo Nobel. Preguntarse si lo hubiera conseguido de haber podido proseguir sin obstáculos con su labor investigadora, y de no haber visto truncada su vida tan de repente, es pura especulación, justo lo que más puede rechazar la mente de un científico. Pero sí cabe reseñar un dato relevante: desde que empezó a publicar, la producción científica de Duperier sólo se interrumpió en dos ocasiones: en su regreso a España, y en el año y medio que siguió al nacimiento de su hija. El Nobel, sí, podría al fin haberse rendido ante la calidad y cantidad de su labor, si le hubieran dado la oportunidad.

Licenciamiento de sistemas digitales en centrales nucleares

La mayoría de los diseños de los sistemas de Instrumentación y Control (I&C) en las centrales nucleares en operación se basan en tecnología analógica y han demostrado un adecuado comportamiento en la realización de las funciones previstas dentro del sistema al que supervisan o controlan. Con el paso del tiempo, los equipos analógicos utilizados en la industria en general han ido envejeciendo y presentando averías, a veces

de compleja reparación puesto que resulta difícil disponer de repuestos. Paralelamente, la tecnología digital ha ido alcanzado un alto nivel de desarrollo y, actualmente, el uso de los equipos digitales está ampliamente extendido en todo tipo de industrias, demostrando que se trata de productos ya maduros y que, por lo general, presentan una alta fiabilidad.

■ Texto **Francisco Gallardo** | Jefe de proyecto de la central nuclear de Cofrentes | ■

La transición de los sistemas de I&C de tecnología analógica a la digital es un proceso natural. Los equipos digitales son igual o incluso más fiables que los analógicos, su desarrollo más económico, su implantación suele ser más sencilla y, dado que en los mercados es omnipresente, resulta mucho más fácil encontrar un equipo digital para la realización de una determinada función que uno analógico. Adicionalmente, las prestaciones funcionales que presentan los equipos digitales suelen ser mayores, incluyen mejores características en cuanto al procesamiento y almacenamiento de información, así como capacidades de comunicación, lo cual permite mejorar el mantenimiento y operación de los sistemas en los que están implantados.

Como es obvio, la industria nuclear no se encuentra al margen de esta evolución tecnológica, y si bien la experiencia operativa de las centrales nucleares ha mostrado un funcionamiento satisfactorio de los sistemas analógicos, en los últimos tiempos se han puesto de manifiesto las dificultades asociadas al mantenimiento de esta tecnología analógica. No obstante, también se ha constatado la dificultad que presenta llevar a cabo el licenciamiento de la tecnología digital para funciones de seguridad de instalaciones nu-

cleares, motivo por el cual el uso de la misma en las centrales nucleares se viene realizando a un ritmo más lento en comparación con otras industrias.

La implantación de tecnología digital en las centrales nucleares procede, fundamentalmente, de dos situaciones:

- Actuaciones voluntarias de los titulares orientadas a la actualización tecnológica de la instalación, al objeto de sacar provecho de los beneficios aportados por las mejores prestaciones funcionales que ofrecen los componentes digitales frente a sus equivalentes analógicos y a un desarrollo del producto más económico.
- Actuaciones de sustitución de componentes al objeto de hacer frente y resolver una necesidad operativa presente en la instalación. Esta necesidad de sustitución de componentes, consecuencia de la presencia de averías o envejecimiento de los mismos, usualmente pone de manifiesto las dificultades existentes cuando se trata de componentes relacionados con la seguridad en centrales nucleares, dificultades derivadas de circunstancias tales como: falta o reducción de existencias para ese componente, inexistencia de repuestos analógicos equivalentes en el mercado, pérdida del soporte técnico del fabricante del equipo original, desaparición de suministradores de equipos analógi-

cos, y otras. Ante estas circunstancias, lo que se pone de manifiesto es la ausencia de alternativas claras de sustitución del componente, fundamentalmente consecuencia en muchos casos de la no existencia en el mercado actual de opciones alternativas que hayan sido desarrollados aplicando los criterios requeridos a componentes asociados a funciones de seguridad para aplicaciones en centrales nucleares.

En el caso de las centrales nucleares españolas, lo que se aprecia es que las actuaciones orientadas a una actualización voluntaria de la instalación con tecnología digital se centran en la parte convencional de la instalación. En cambio, la implantación de esta tecnología para su utilización en sistemas de seguridad suele estar, en la mayoría de los casos, más asociada a cubrir la necesidad antes mencionada de sustitución de componentes obsoletos para los cuales ya no existen adecuados repuestos analógicos en el mercado. Las limitaciones a una implementación más extensa de instrumentación digital en sistemas de seguridad es consecuencia, en gran medida, de la complejidad asociada al licenciamiento de tales componentes.

Dificultades en el licenciamiento

La dificultad del licenciamiento de equipos digitales para su uso en funciones de

seguridad en las centrales nucleares no deriva, inicialmente, de que no se pueda considerar que tales equipos son de una calidad adecuada; su uso extendido y el comportamiento en diferentes industrias ha puesto de manifiesto que se trata de productos maduros y fiables. La dificultad del licenciamiento deriva en la necesidad reguladora de ser capaces de llevar a cabo la adecuada demostración de esa fiabilidad, tal y como se requiere para cualquier componente relacionado con la seguridad en este tipo de instalaciones.

El comportamiento de un sistema analógico puede preverse, típicamente, mediante el uso de modelos ingenieriles. Éstos pueden predecir las regiones dentro de las cuales el sistema analógico muestra un comportamiento continuo.

La capacidad de analizar un diseño utilizando modelos basados en principios físicos, y el uso de estos modelos ingenieriles para establecer una expectativa del comportamiento continuo del sistema sobre amplios rangos de condiciones de entrada, son factores clave en la calificación del diseño de los sistemas analógicos. Tales aspectos facultan el uso extenso de pruebas tipo, pruebas de aceptación y de la inspección del producto final de cara a obtener la calificación de componentes y sistemas analógicos.

Los sistemas digitales difieren de los analógicos en cuanto a que, en lugar de presentar un comportamiento continuo, su comportamiento es discreto, y errores en su diseño o en su implementación pueden llevar a estos equipos a mostrar comportamientos que no pueden ser previstos con antelación.

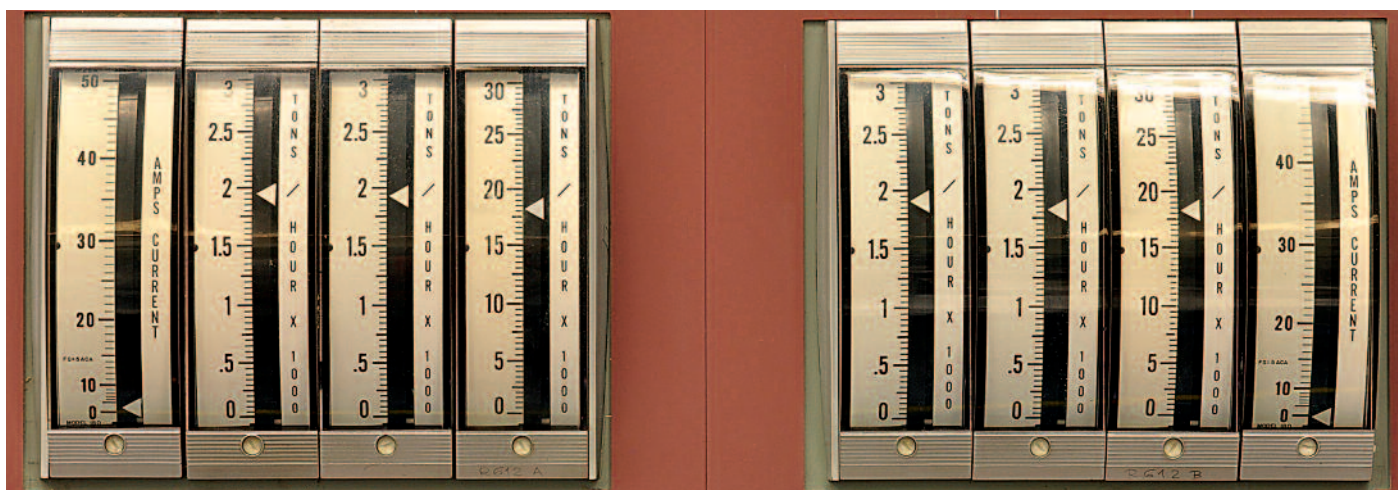
Consecuentemente, el comportamiento de un sistema digital sobre todo el rango de condiciones de entrada no pue-

La concepción y el diseño de sistemas modernos altamente automatizados para el control e instrumentación de centrales nucleares ha obligado a la introducción de nuevos parámetros de medición de su calidad

de ser inferido a partir de la prueba de una muestra de las condiciones de entrada. Las inspecciones, pruebas tipo y pruebas de aceptación por sí mismas no logran un nivel idóneo de confianza de la calificación del diseño en el caso de sistemas digitales, por lo que no son suficientes para llevar a cabo su licenciamiento.

Es por ello que la revisión de la calificación del diseño en sistemas digitales se basa, por un lado, en la confirmación de que se ha aplicado un proceso de desarrollo del producto de alta calidad, que incorpore una especificación de requisitos de diseño altamente disciplinada y, por otro, en un proceso riguroso de implementación de éstos. La inspección y las pruebas se utilizan para verificar la correcta implantación de los requisitos de diseño y para validar la funcionalidad deseada del producto final.

Desde principios de los años 90 ya se disponía de cierta regulación relativa al proceso de licenciamiento de sistemas digitales. En 1997, el *Standard Review Plan* de la *United States Nuclear Regulatory Commission* (USNRC, por sus siglas en inglés) incluía un apéndice dedicado exclusivamente al licenciamiento de sistemas digitales. A lo largo de los años ha sido numerosa la literatura y regulación emitida para el uso de estos sistemas en aplicaciones de seguridad de centrales nucleares, pero aún hoy algunos de los aspectos todavía no han alcanzado un nivel de concreción suficiente en cuanto a la postura reguladora que permita el establecimiento de unos criterios de aceptación específicos y definitivos que puedan



El comportamiento de un sistema analógico puede preverse, típicamente, mediante el uso de modelos ingenieriles. Éstos pueden predecir las regiones dentro de las cuales el sistema analógico muestra un comportamiento continuo.

ser fácilmente evaluables. Aspectos tales como: nivel requerido de diversidad y defensa en profundidad, niveles de independencia, requisitos sobre comunicaciones entre sistemas, requisitos aplicables a *software* preexistente, definición de complejidad de un equipo digital, aplicabilidad de certificaciones por terceras partes, etc.

Por este motivo, el licenciamiento de un sistema digital requiere todas las actuaciones que sean necesarias para poder disponer de la información y demostración suficiente de la calidad del producto que permita generar un nivel aceptable de confianza sobre la capacidad del mismo para cumplir su función de seguridad, nivel de confianza que resultará de la aplica-

ción de un juicio ingenieril en base a las evidencias existentes.

De cara a optimizar este proceso de generación de confianza en la calidad del sistema o componente digital que permita llevar a cabo un proceso de licenciamiento eficiente, es oportuno tener en consideración aquella normativa de referencia disponible, tanto a nivel nacional como mundial, sobre el licenciamiento de tecnología digital para centrales nucleares.

A tal efecto, los siguientes apartados del presente artículo se destinan a citar, y destacar, algunos aspectos sobre documentación de referencia relevante que debe ser tenida en cuenta tanto por los titulares en la elaboración de su propuesta

para el licenciamiento de un sistema digital, como por el regulador a la hora de llevar a cabo la valoración de la misma.

Conviene indicar, no obstante, que la mención a las referencias posteriores no excluye otras valiosas referencias aplicables al licenciamiento de sistemas digitales, por ejemplo, la IEC 60880 *Nuclear power plants – Instrumentation and control systems important to safety – Software aspects for computer-based systems performing category A functions*, que aborda el tema con un alcance global.

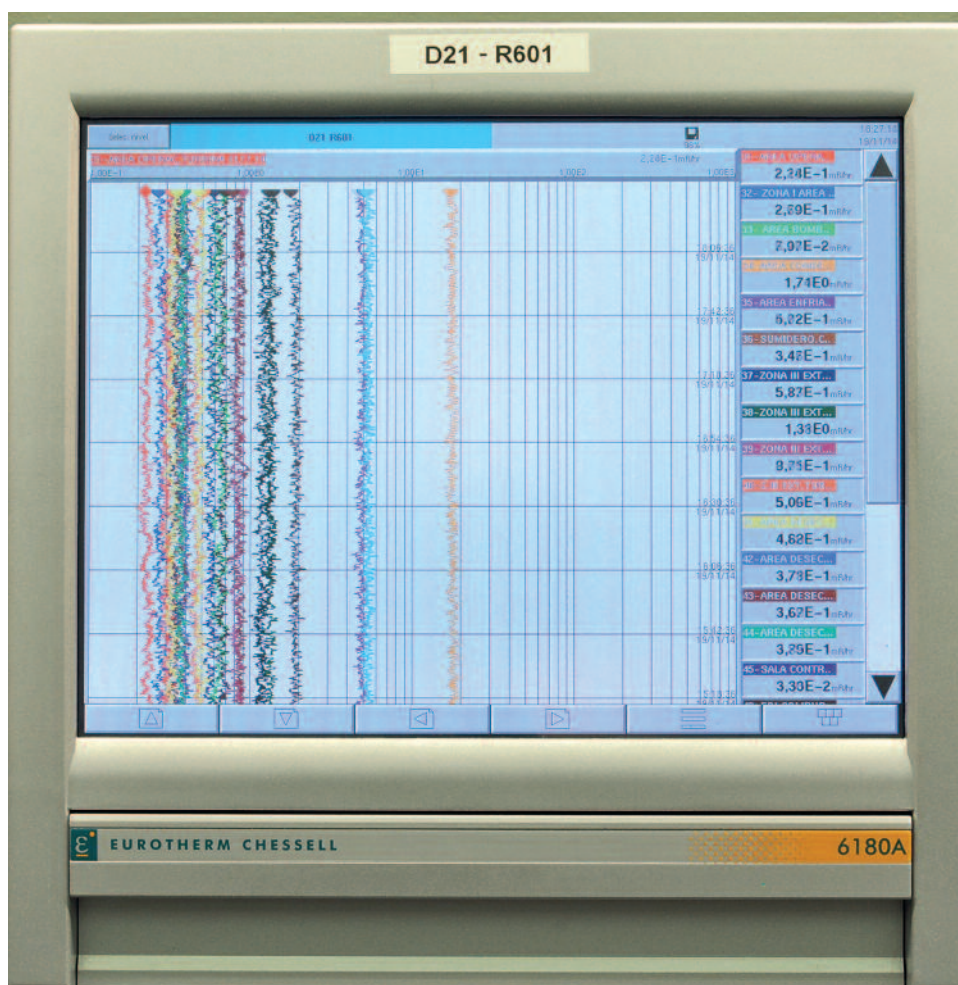
Situación en España

El proceso de licenciamiento aplicable en nuestro país para la implantación de un sistema o equipo digital en una instalación nuclear es el mismo que se aplica a cualquier otra modificación de diseño. Está recogido en la Instrucción del Consejo IS-21, de 28 de enero de 2009, sobre Requisitos aplicables a las modificaciones en las centrales nucleares, y su desarrollo en la Guía de Seguridad GS-1.11, Modificaciones de diseño en centrales nucleares.

La citada normativa establece que cualquier modificación de diseño ha de ser sometida a un análisis previo para determinar si está relacionada con la seguridad, en cuyo caso habrá de procederse con una evaluación de seguridad.

El objeto de dicha evaluación es determinar si un cambio o modificación tiene más que un efecto mínimo en la probabilidad de fallo de un sistema o componente o en las consecuencias de un fallo asociado con el cambio. La conclusión alcanzada con esta evaluación determina cuando una modificación de diseño requiere autorización o no por parte del regulador, y en el caso de que sí la requiera implica la realización de un análisis de seguridad de la modificación.

La realización de la evaluación de



El análisis de fallos del sistema se basa en una evaluación de la fiabilidad del sistema, normalmente cualitativa, basada en la calidad de diseño del 'software' y en las características del diseño final.

seguridad de la modificación se concreta en dar respuesta a las ocho preguntas establecidas en la IS-21. Para el caso de modificaciones de diseño involucrando el uso de tecnología digital, la respuesta correcta a algunas de estas preguntas puede resultar difícil de justificar adecuadamente. La experiencia ha demostrado discrepancias en cuanto a la interpretación de las cuestiones de la evaluación por parte del titular y del CSN, así como en ocasiones falta de profundidad o inadecuado alcance en los análisis realizados por el titular en soporte de la respuesta dada a las cuestiones planteadas.

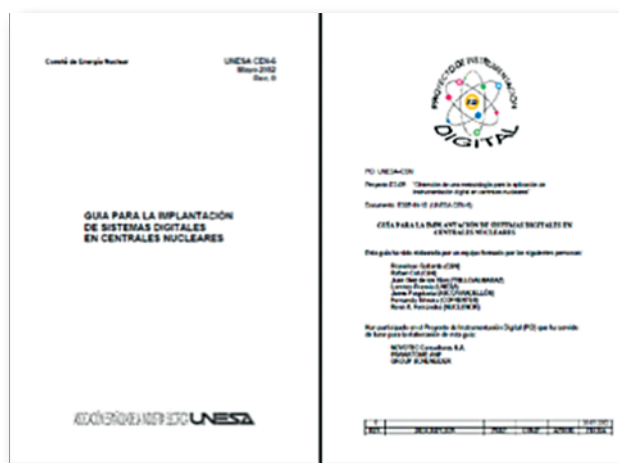
La evaluación de seguridad de una modificación de diseño que incorpore componentes digitales se basa en una evaluación ingenieril, que requiere una identificación precisa de los fallos potenciales del nuevo equipo, de la probabilidad de ocurrencia de los fallos, y de las consecuencias de tales fallos en la función de diseño. El análisis de fallos del sistema se basa en una evaluación de la fiabilidad del sistema, normalmente cualitativa, basada en la calidad de diseño del *software* y en las características del diseño final (capacidad de detección de fallos, redundancia, experiencia operativa, complejidad, etc.).

El documento del Nuclear Energy Institute NEI 01-01 “*Guideline on Licensing Digital Upgrades: EPRI-102348 to Reflect Changes to the 10 CFR 50.59 rule*”, respaldado por la USNRC, trata en profundidad el proceso americano de gestión de las modificaciones de diseño, equivalente al recogido en la IS-21, para el caso de sistemas digitales, y en ese sentido resulta una herramienta clarificadora y de gran utilidad como referencia en la realización de la evaluación de seguridad de un sistema digital.

Los desacuerdos entre el regulador y el

titular sobre el análisis realizado, son, en ocasiones, difíciles de solventar una vez que la modificación ha sido implementada. En este sentido, el documento UNESA CEN-6 recomienda una interacción temprana titular-regulador para clarificar el proceso de licenciamiento aplicable en la modificación de un sistema digital.

El documento UNESA CEN-6 “Guía para la implantación de sistemas digitales en centrales nucleares”, es el fruto del proyecto de instrumentación digital que se desarrolló en España entre 1999 y 2002, y



El documento UNESA CEN-6 ‘Guía para la implantación de sistemas digitales en centrales nucleares’, en la imagen superior.

que contó con la participación de UNESA, los titulares de centrales nucleares y el CSN.

Su objetivo era analizar y elaborar una guía bajo la perspectiva de proporcionar una visión global de los aspectos más relevantes que lleva asociado el proceso de implantación de un sistema digital en sistemas de seguridad de centrales nucleares.

En la guía se establece un proceso general de licenciamiento de un sistema digital, orientado a una modificación involucrando un proyecto para la implantación de un sistema de amplio alcance y contemplando todo el proceso de desarrollo de *software*, que establece la participación por eta-

pas del organismo regulador, al objeto de planificar en una etapa temprana el alcance y requisitos para el licenciamiento. Otro de los aspectos tratados en la guía es la evaluación técnica de la modificación. La implantación de equipos digitales para aplicaciones de seguridad requiere una adecuada evaluación técnica, cuyo objeto es determinar el efecto de la presencia del *software* en la función de seguridad.

Esta evaluación técnica comprende: el análisis de fallos del sistema digital, una evaluación de la fiabilidad y un análisis de defensa en profundidad y diversidad.

La guía indica que el análisis de fallos tiene por objeto la detección de posibles modos de funcionamiento no deseados y que el riesgo asociado a la implementación del equipo digital está determinado por la probabilidad del fallo y sus consecuencias.

El objetivo de la evaluación de la fiabilidad es la valoración cualitativa de la probabilidad de fallo, determinando así la calidad del sistema digital. No existe ningún estándar definitivo que evalúe, de forma cuantitativa, la complejidad ni la importancia

para la seguridad asociada a componentes software. La guía indica que en la evaluación de la fiabilidad habrán de tomarse en consideración factores diversos: el proceso de diseño, la tolerancia al fallo, la experiencia operativa, la complejidad de los equipos y la capacidad de ser probados, entre otros.

Marco regulador en Estados Unidos

El marco regulador en Estados Unidos en cuanto al licenciamiento de sistemas digitales para su utilización en centrales nucleares es muy extenso. Comprende una gran cantidad de normativa, estándares de la industria respaldados por la USNRC y numerosa documentación de

referencia que desarrolla diversos aspectos sobre el tema.

El *NUREG-0800 Standard Review Plan for the Review of Safety Analysis Reports for Nuclear Power Plants: LWR Edition* contempla, dentro de su capítulo 7, un apéndice exclusivamente dedicado al proceso de revisión de la USNRC en procesos de licenciamiento de sistemas digitales. En él se identifica la normativa y guías reguladoras aplicables a los distintos aspectos de revisión para sistemas digitales.

Cabe destacar que este marco regulador americano se ha mantenido en constante evolución para hacer frente a aquellas incertidumbres reguladoras detectadas en diversos aspectos asociados al licenciamiento de sistemas digitales de I&C. En este sentido, entre otras actuaciones, la USNRC puso en marcha en 2007 el *Digital Instrumentation and Controls Steering Committee*, con la finalidad de proporcionar una visión para la formulación de una estrategia de modernización de la infraestructura reguladora en instrumentación y control digital, y el desarrollo y ejecución de un Plan Integrado de Acción que facilitase su puesta en marcha.

Grupo de trabajo internacional

El *Nuclear Regulators Working Group* (NRWG, por sus siglas en inglés) *on Safety Critical Software* se creó en 1994 con el objetivo de hacer frente a la necesidad de comparar los procesos de licenciamiento de países de la Unión Europea y alcanzar una armonización progresiva de los requisitos de seguridad y criterios aplicables en el proceso de licenciamiento de sistemas y equipos utilizando *software*. Este grupo se mantiene activo en la actualidad.

Si bien inicialmente los participantes eran organismos reguladores de la Unión Europea, con el paso del tiempo se han ido incorporando al grupo de trabajo otros países, de forma que actualmente el grupo cuenta con la presencia de Bélgica,

Alemania, Reino Unido, Suecia, Finlandia, Estados Unidos, Canadá, Corea del Sur, China y España, que ha sido miembro del grupo desde sus orígenes.

El resultado de las actividades del NRWG sobre *software* crítico para la seguridad se plasma en el documento *Licensing of safety critical software. Common positions of international nuclear regulators and authorised technical support organizations*. Las sucesivas versiones del documento se han ido emitiendo conforme se han ido ampliando los temas relativos al licenciamiento del *soft-*



España participa en grupos de trabajo para la armonización de la normativa internacional.

ware que han sido tratados por el grupo. La última revisión del documento corresponde a la versión de 2018.

Este documento no debe ser entendido como una norma sino como una guía de aspectos asociados al licenciamiento de sistemas digitales, sobre los cuales se ha analizado el consenso existente entre los organismos reguladores.

El documento consta de dos partes,

una (*Generic Licensing Issues*) donde se han ido incorporando y tratado aquellos aspectos específicos relativos al licenciamiento del *software* que se han considerado de especial interés, y otra (*Life Cycle Phase Licensing Issues*) en la que se tratan los aspectos asociados al proceso de desarrollo del *software*, esto es, cada una de las fases identificadas ampliamente en la literatura internacional que conforman el ciclo de vida de desarrollo de un sistema digital.

En cuanto a la primera parte, los capítulos sobre aspectos concretos que forman parte de la revisión 2018 del documento abarcan:

- Demostración de la seguridad.
- Requisitos graduados, categorías de las funciones y clases de sistemas.
- Documentos estándar de referencia.
- *Software* pre-existente.
- Herramientas.
- Requerimientos organizacionales.
- Plan y programa de garantía de calidad del *software*.
- Seguridad.
- Métodos formales.
- Evaluación independiente.
- Sistemas relacionados con la seguridad y requisitos graduados.
- Diversidad en el diseño del *software*.
- Fiabilidad del *software*.
- Uso de la experiencia operativa.
- Sensores y actuadores inteligentes.
- Equipos lógicos programables.
- Certificación por terceras partes.

Cada uno de los capítulos del documento se estructura en cuatro apartados: 'Rationale', 'Issues involved', 'Common position' y 'Recommended practices'.

El apartado *Rationale* está dedicado a enfocar el tema que es objeto del capítulo que se está tratando.

El apartado *Issues involved* tiene por objeto identificar aquellos aspectos del tema bajo tratamiento sobre los cuales se requiere, por su relevancia, prestar especial atención.

El apartado *Common position* identifica las conclusiones sobre el tema objeto del capítulo que gozan de la unanimidad por parte de todos los organismos reguladores.

El apartado *Recommended practices* identifica aquellas conclusiones sobre el tema que, si bien no han sido acordadas por unanimidad por todos los organismos reguladores, se considera oportuno identificar por su relevancia.

Deben destacarse algunas de las ideas recogidas en el capítulo dedicado a la demostración de la seguridad, que exponen directrices metodológicas para mejorar la eficacia del proceso de licenciamiento.

En ese capítulo, *Safety Demonstration*, se establece que se debe acordar un *Safety Plan* entre el titular y el regulador desde el inicio de un proyecto involucrando sistemas digitales. Este plan identificará la forma en que se alcanzará la *Safety Demonstration*. Se identificarán, asimismo, el tipo de evidencias que serán consideradas, y el

cómo y cuándo se producirán.

Se identifican tres tipos básicos de evidencias que se deben obtener:

- Calidad del proceso de desarrollo del *software*.
- Adecuación del producto a la función a realizar.

El licenciamiento de un sistema o componente digital requiere la construcción de pruebas de seguridad que satisfagan plenamente la confianza del titular y del regulador

- Competencia y cualificación del personal involucrado en cada una de las fases del ciclo de vida del sistema.

El documento refleja que pueden existir diferentes enfoques entre un titular y

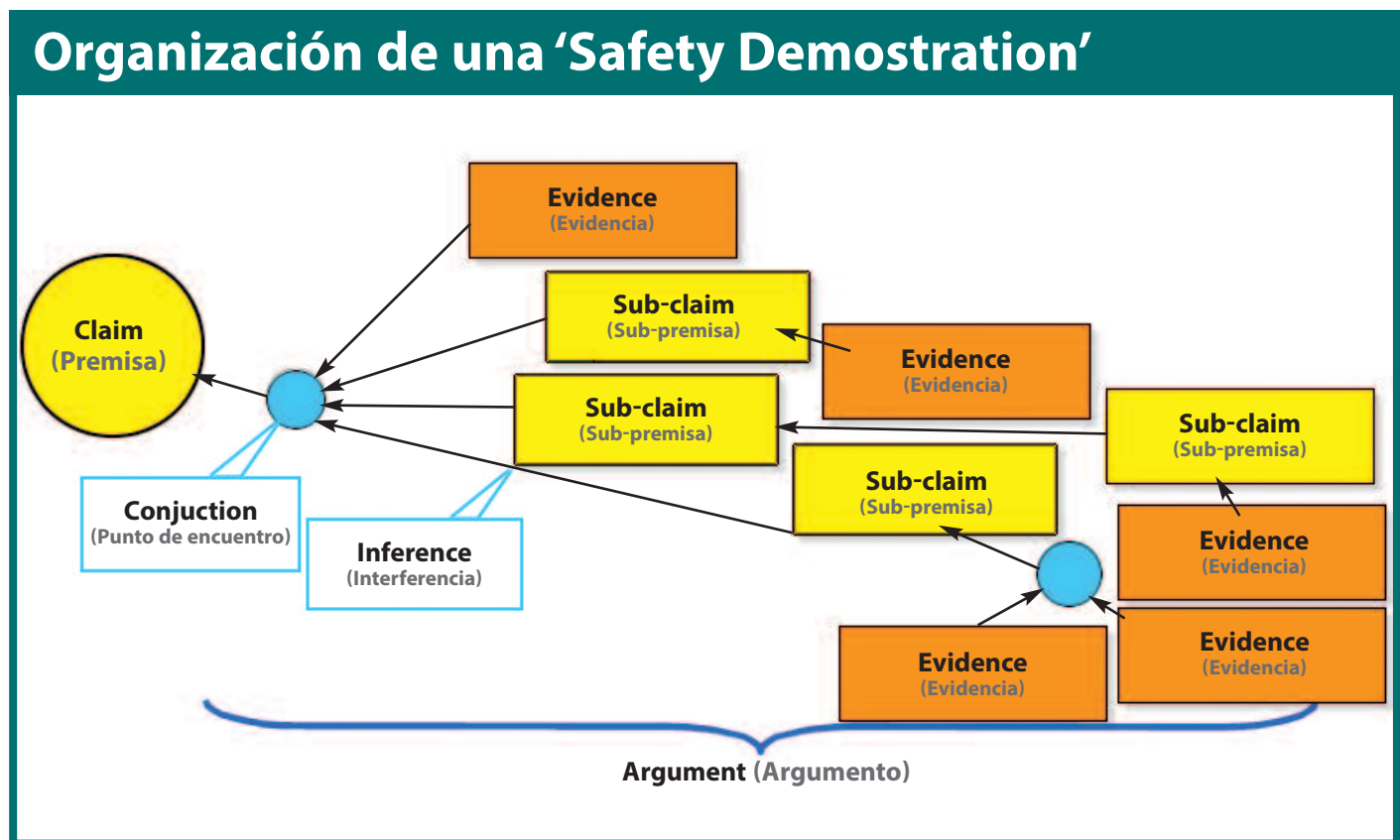
el regulador para alcanzar la *Safety Demonstration*:

- Enfoque basado en la regulación.
- Enfoque basado en el método de las tres piernas; evidencias relativas a demostrar la calidad del diseño, la calidad en la evaluación, y la calidad en las pruebas.
- Enfoque probabilista.

Como consecuencia de la revisión y comparativa de los procesos de licenciamiento aplicados en diferentes países se ha observado que no existe un método sistemático único y definido para demostrar la seguridad de los sistemas basados en *software*.

Un enfoque bien planificado puede contribuir a mejorar la calidad de la *Safety Demonstration* y reducir sus costes. Sus beneficios asociados son:

- Centrar la atención en las cuestiones específicas de seguridad de mayor relevancia y en los requisitos del sistema que deben ser cumplidos.
- Realizar una priorización de los requisi-



tos del sistema, y con ello una asignación de los recursos acorde a esta priorización.

- Organizar los requisitos del sistema para que los argumentos y evidencias sobre el mismo se ajusten a lo que se entiende estrictamente necesario por todas las partes involucradas.

Se define la *Safety Demonstration* como el conjunto de argumentos y evidencias que soportan un conjunto de premisas sobre la fiabilidad de la operación de un sistema importante para la seguridad en el entorno operativo de la central.

Las premisas (*claims*) identificarán las propiedades funcionales y/o no funcionales que debe satisfacer el sistema. Estas premisas se pueden descomponer en varias sub-premisas (*sub-claims*) más simples, que a su vez se pueden se-


guir descomponiéndose en más sub-premisas.

Las premisas habrán de estar soportadas por evidencias (*evidence*), esto es, datos o hechos sobre los que existe un acuerdo de aceptabilidad por todas las partes involucradas, sin necesidad de mayor evaluación.

Conclusiones

El licenciamiento de tecnología digital para aplicaciones relacionadas con la seguridad en centrales nucleares es, probablemente, uno de los mayores retos a afrontar hoy en día tanto por los titulares como por el organismo regulador.

En este artículo, por consiguiente, se pone de manifiesto que el licenciamiento de un sistema o componente digital para

su utilización en funciones de seguridad requiere llevar a cabo un proceso riguroso, en ocasiones muy complejo, abarcando y soportando todos los aspectos implicados en la utilización de tecnología digital, de manera que se construya una adecuada demostración de seguridad del producto que permita concluir, con una razonable confianza, tanto para el titular como para el regulador, que se trata de un producto con la calidad adecuada para realizar satisfactoriamente la función de seguridad asociada al mismo. La adecuada construcción de esta rigurosa demostración de seguridad es lo que, en último término, permitirá incrementar la eficacia del proceso de licenciamiento, con el consecuente beneficio que ello implica tanto para los titulares como para el organismo regulador. 



El licenciamiento de tecnología digital para aplicaciones relacionadas con la seguridad en centrales nucleares es, probablemente, uno de los mayores retos a afrontar hoy en día tanto por los titulares como por el organismo regulador.

Reacción en cadena

INVESTIGACIÓN



Se estudiará la atmósfera, el mar y el hielo, y cómo interactúan entre ellos, para comprender mejor cómo afectará el calentamiento global a la región ártica.

España, en la mayor expedición científica al Ártico

Tres equipos de investigadores del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) participan en la mayor expedición científica al Ártico de la historia. Se trata del proyecto MOSAIC, que, a bordo del rompehielos de investigación *Polarstern* partió de Tromso (Noruega), en septiembre, para pasar un año atrapado en el Océano Ártico. El objetivo de la misión es estudiar el Ártico como epicentro del calentamiento global para obtener datos que permitan comprender mejor el cambio climático. El proyecto reú-

ne a 600 investigadores, de 19 países, que trabajarán de forma rotativa, e incluye tres equipos de investigación españoles procedentes del Instituto de Ciencias del Mar y del Instituto de Ciencias del Espacio / Instituto de Estudios Espaciales de Cataluña, financiados por la Agencia Estatal de Investigación.

El plan de la expedición MOSAIC prevé que el rompehielos *Polarstern*, del Instituto Alfred Wegener (Alemania), navegue en dirección noreste, hacia el mar de Laptev, en la Siberia central, y se adentre en

la banquisa de hielo, en un emplazamiento seleccionado a partir de datos de satélite y radar, para quedar allí deliberadamente atrapado en el hielo. Una vez fijado, el rompehielos viajará a lo largo de una ruta conocida como deriva transpolar hacia el polo norte, lo cruzará y luego se dirigirá hacia el sur, para desembocar en el estrecho de Fram, entre Groenlandia y el archipiélago de las Svalbard (Noruega), entre 12 y 14 meses después de la salida.

De este modo, se convertirá en un centro de investigación

itinerante, el llamado MOSAIC o *Multidisciplinary drifting Observatory for the Study of Arctic Climate* (Observatorio multidisciplinar a la deriva para estudiar el clima ártico). La expedición contará con un equipo de 60 investigadores expertos en investigación ártica, más unos 40 tripulantes, que operarán su instrumental a bordo y en el hielo. Los científicos estudiarán la atmósfera, el mar y el hielo, y cómo interactúan entre ellos, con el objetivo de comprender mejor cómo afectará el calentamiento global a la región ártica.

Adiós al blanco y negro: Llegan las radiografías a todo color

Una empresa de Nueva Zelanda ha desarrollado un nuevo tipo de escáner que permite realizar radiografías en 3D y en color. Este método se basa en la tecnología de rastreo de partículas que se utiliza en el Large Hadron Collider, el acelerador de partículas del CERN de Ginebra (Suiza).

Esta nueva tecnología podría utilizarse para obtener imágenes más detalladas y precisas que las radiografías tradicionales en blanco y negro y contribuir a un mejor diagnóstico médico. Las primeras radiografías a colores que se han presentado públicamente muestran el detalle de un tobillo y una muñeca en la que se puede ver incluso el reloj del paciente.

El escáner, desarrollado por los científicos Phil y Anthony Butler, de las Universidades de Canterbury y Otago, en Nueva Zelanda, utiliza un detector que capta la información espectral; es decir, la información de color o energía de los rayos X que los detectores tradicionales no utilizan.



Bautizado como 'edscottita', se trata de un carburo de hierro que, probablemente, se formó en el núcleo del planeta desaparecido.

MINERALOGÍA

Descubren en un meteorito un mineral nunca visto en la Tierra

El análisis de un objeto del tamaño de un limón que se encontró a las afueras de Wedderburn, a 200 kilómetros al norte de Melbourne (Australia), en 1951, identifica un metal que proviene del núcleo de un planeta ya desaparecido. Una de las particularidades del objeto es que, por lo que sugerían sus características, procedía del núcleo de un planeta despedazado por algún choque catastrófico contra un gran asteroide u otro planeta en formación. Esta rareza ha hecho que, según cuenta el diario australiano *The Age*, se haya repartido, rebanada a rebanada, entre científicos de todo el mundo.

De los 220 gramos que el meteorito pesaba al llegar a nuestro planeta, solo quedan intactos 71. El amplio reparto ha tenido interesantes resultados científicos. El último de ellos, el descubrimiento de un mineral nunca visto en la naturaleza, a cargo de Chi Ma, del Instituto Tecnológico de California, y Alan Rubin, de la Universidad de California en Los Ángeles, ambos en Estados Unidos.

Bautizado como 'edscottita', se trata de un carburo de hierro que, probablemente, se formó en el núcleo del planeta desaparecido forjado por el calor y la presión. Chi Ma y su colega Alan Rubin han publicado el descubrimiento de este nuevo mineral en la revista *American Mineralogist*. En sus páginas explican cómo junto a la 'edscottita' había hierro y oro, pero también minerales mucho más extraños, que solo se encuentran en la Tierra dentro de meteoritos caídos del cielo, como la 'schreibersita' o la 'kamacita', o un metal como la 'troilita', raro en nuestro planeta, pero bastante frecuente en Ganimedes y Calisto, las lunas de Júpiter.

LIBROS

Cómo explicar física cuántica con un gato zombi

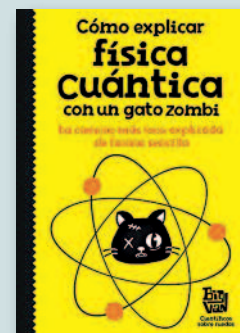
Big Van, científicos sobre ruedas

Penguin Random House. 200 páginas

Si eres de los que piensa que saber que el tiempo y el espacio son en realidad lo mismo no sirve para nada, o que lo único que le puede decir un protón a un electrón es que deje de ser tan negativo... ¡has dado con la lectura que necesitabas!

¿Sabías que el teletransporte es real? ¿Que a veces un electrón tiene probabilidades de atravesar una pared? ¿Que dos partículas pueden influenciarse mutuamente aunque estén a años luz de distancia? ¿Y que las partículas cuánticas son como Clark Kent y disimulan sus poderes cuando los científicos las están observando?

En *Cómo explicar la física cuántica con un gato zombi* descubrirás que, aunque no lo parezca, la física cuántica está por todas partes en nuestra vida cotidiana. Y además aprenderás...



AUTOMOCIÓN

‘Diésel azul’: qué es y por qué contamina menos

Un nuevo combustible podría llegar a las gasolineras en los próximos meses para revolucionar el mundo de la automoción. Su nombre comercial es *Blue-Diesel R33*, aunque comúnmente se conoce como *diésel azul*. Y es, ni más ni menos, un combustible más ecológico que el gasóleo convencional, que consigue que los vehículos contaminen menos que con los gasóleos actuales.

Desde hace varios años, se están realizando pruebas con el *diésel azul* para comprobar cuál es su viabilidad, pero no ha sido hasta hace escasas semanas cuando se ha dado un paso definitivo para que en un periodo de tiempo no muy lejano podamos empezar a verlo en nuestras gasolineras: la aprobación comunitaria de la normativa europea DIN



El ‘diésel azul’ permite reducir en un 20% las emisiones de un vehículo.

EN 590 o, lo que es lo mismo, la confirmación de que es compatible con todos los vehículos diésel del mundo.

Según las pruebas que se han llevado a cabo, el uso de este tipo de combustible permite que un vehículo reduzca sus emisiones hasta en un 20%. Tal y como indica su nomenclatura, cuenta con al menos un 33% de biocombustible, pro-

cediendo un 26% de aceite vegetal hidrogenado de parafinas de material de desecho y un 7%, de aceite de cocina usado. El 67% restante del diésel procedería del petróleo convencional.

El nuevo combustible se ha desarrollado en la Universidad de Coburg, con el apoyo de 20 grandes empresas del sector del motor.

EXPOSICIONES

La exposición *Con A de astrónomas* llega a la Casa de la Ciencia de la capital andaluza para conmemorar Sevilla Capital Europea del Espacio 2019. La muestra está formada por paneles explicativos, muebles interactivos y diversas piezas del material de *attrezzo* utilizadas en la película *Ágora*, de Alejandro Amenábar, y que relata la vida de Hipatia de Alejandría, astrónoma, matemática y filósofa nacida en el siglo IV. Este *attrezzo* incluye diversas estatuas y reproducciones de instrumentos astronómicos como sextantes, cuadrantes o una esfera armilar, entre otros utensilios.

‘Con A de Astrónomas’

La muestra repasa aspectos científicos relacionados con el Sol, el Sistema Solar, la formación y evolución estelar al

tiempo que recoge la presencia de astrónomas en la cultura (literatura, cine, etc.) y la relación entre su trabajo y los momen-



La muestra permanecerá abierta hasta finales de diciembre, en Sevilla.

tos más importantes en la historia de la lucha por la igualdad de género. Permite, también, aprender jugando a través de diversos módulos interactivos, pensados para tocar y sentir, que incluyen materiales sonoros, vídeos o juegos de preguntas.

Previamente, la muestra ha recorrido diversas ciudades del territorio español.

‘Con A de Astrónomas’
Casa de la Ciencia. Avda. de María Luisa, 8 (Sevilla).

Abierta hasta el 31 de diciembre, de martes a domingo. Horario: de 10.00 a 21.00 horas.

www.casadela-ciencia.csic.es/

Panorama

Encuentro bilateral CSN y NRC estadounidense

Una delegación de la United States Nuclear Regulatory Commission (NRC), organismo regulador de la seguridad nuclear y radiológica estadounidense, mantuvo el pasado 3 de octubre una reunión bilateral con el Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) en la sede del regulador español. La delegación norteamericana estuvo formada por su presidenta, Kristine Svinicki; el director de Programas Internacionales, Nader Mamish; el director asociado de Operaciones y Políticas de Recursos Humanos, Jason Shay, y la especialista en Relaciones Internacionales, Shannon E. King.

Durante el encuentro, ambas delegaciones constataron que se enfrentan a retos comunes, como el envejecimiento del parque nuclear y la

gestión de recursos humanos. En este sentido, la reunión sirvió para analizar los marcos reguladores existentes en ambos países, centrándose especialmente en el rejuvenecimiento de plantillas, la gestión del conocimiento, la captación y retención de talento, la gestión de residuos,



La delegación del regulador norteamericano se reunió con el Pleno Consejo de Seguridad Nuclear.

los programas de desmantelamiento y la mejora de los procesos regulatorios.

Tras la reunión en Madrid, la delegación de la NRC viajó a Barcelona para participar en la inauguración del Máster en Ingeniería Nuclear y el Máster Europeo en Energía Nuclear de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), acompañada por el presidente del CSN, Josep María Serena, la consejera Elvira Romera y el consejero Javier Dies. Posteriormente, los representantes de la NCR visitaron la central de Vandellós II (Tarragona), con el objetivo efectuar un recorrido por la planta y conocer de cerca algunas de las medidas post Fukushima implantadas en la instalación, como el Centro Alternativo de Gestión de Emergencias (CAGE).

El Pleno del CSN visita la sede del Departamento de Seguridad Nacional

El pleno del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), integrado por su presidente, Josep María Serena, y los consejeros Javier Dies, Elvira Romera, Francisco Castejón y Pilar Lucio, así como el secretario general, Manuel Rodríguez, y el director del Gabinete Técnico de Presidencia, David Redoli, visitó el pasado mes de julio la sede del Departamento de Seguridad Nacional (DSN), en el complejo de La Moncloa, en Madrid. La visita se realizó por invitación del director del DSN, el general Miguel Ángel Ballesteros Martín, tras su participación como observador en el simulacro anual de accidente en la central nuclear de Trillo desde la sala de emergencias del CSN, en junio.

Durante el encuentro, el general Ballesteros, acompañado por el director operativo del DSN, Ignacio García Sánchez, expuso al pleno del CSN el Sistema de Seguridad

Nacional, así como los objetivos generales y las líneas de acción de la Seguridad Nacional y las dinámicas de transformación de la seguridad global y las estructuras de coordinación existentes.



El Consejo del CSN visitó las instalaciones de la DSN, con el objetivo de participar en un simulacro de accidente en la CN de Trillo.

La regulación independiente, en la tercera Conferencia de Seguridad Física

El presidente del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) Josep Maria Serena i Sender, inauguró en Marrakech (Marruecos), junto con la presidenta del regulador estadounidense (NRC) y el director general de la Agencia Marroquí de Seguridad Física, Nuclear y Radiológica (AMS-SNuR), la tercera Conferencia Internacional de Seguridad Física Nuclear.

En su intervención, Serena subrayó algunas de las mejoras implementadas en la seguridad física nuclear española en los últimos años, como son la creación de un componente específico de seguridad física dentro del Sistema Integrado de Supervisión de Centrales Nucleares (SISC) y la aplicación de un nuevo modelo de seguridad física de las centrales nucleares que incluye la activación de unidades de respuesta de la guardia civil en caso de necesidad.

Por su parte, el jefe del Área de Seguridad Física del CSN, Pedro Lardiez realizó una presentación en la que recalcó la importancia de la responsabilidad del Estado en la puesta en marcha de un sistema de seguridad física robusto y la necesidad de una buena coordinación entre las instituciones que tienen encomendadas estas competencias.

El propósito de la conferencia, organizada por la AMS-SNuR, fue fortalecer la generación de capacidades de seguridad física nuclear en todo el mundo y apoyar la puesta en marcha de buenas prácticas, a través de una plataforma de diálogo, intercambio de experiencia y fortalecimiento de relaciones entre entidades reguladoras homólogas. ▶



El presidente del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) inauguró, en Marrakech, la tercera Conferencia Internacional de Seguridad Física Nuclear.



El Pleno del CSN aprobó, el pasado 25 de septiembre, el Plan de Acción Nacional sobre gestión del envejecimiento de las centrales nucleares.

Aprobado el Plan de Acción Nacional de gestión del envejecimiento de las centrales nucleares

El Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) aprobó, el pasado 25 de septiembre, el Plan de Acción Nacional sobre gestión del envejecimiento de las centrales nucleares, derivado de la primera revisión temática por homólogos (TPR, por sus siglas en inglés correspondientes a Topical Peer Review). Responde así a la Conclusión adoptada por el Consejo Europeo y a la indicación establecida por el Grupo Europeo de Reguladores de Seguridad Nuclear (ENSREG) el pasado marzo, fecha en la que se estableció que los países que hubiesen participado en la primera revisión temática por homólogos, debían publicar sus planes de acción correspondientes a finales de septiembre de 2019.

En cumplimiento de ese mandato, el CSN preparó en 2017 el Informe Nacional de Evaluación que recogió el análisis del programa de gestión del envejecimiento global aplicable por las centrales nucleares españolas en base a la regulación existente en España. Ese informe fue supervisado por un equipo de homólogos al CSN, que efectuaron 134 preguntas y el regulador español elaboró el Plan de Acción Nacional aprobado por el Pleno, y en el que se establece un calendario de acciones que deberán llevar a cabo los titulares con la supervisión del CSN.

Las áreas principales están relacionadas con el sistema de cables, la vasija del reactor, las estructuras de contención de hormigón y las tuberías enterradas o de acceso restringido. Siguiendo los bloques de análisis mencionados, el Plan de Acción Nacional recoge los hallazgos más significativos de la revisión, las buenas prácticas detectadas, el diagnóstico efectuado por cada país (tanto por parte del regulador como del titular) y las acciones que se han realizado o, por el contrario, que deberán llevarse a cabo. ▶

La consejera Pilar Lucio expone en la NEA la estrategia de comunicación de riesgos del CSN

La consejera del CSN Pilar Lucio participó en una de las sesiones informativas del segundo seminario sobre la participación de los grupos de interés en la comunicación de riesgos organizado por la Agencia de la Energía Nuclear (NEA, por sus siglas en inglés), que se celebró en la Organización

para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), en París, entre los días 24 y 26 del pasado mes de septiembre.

Lucio destacó el procedimiento interno por el que se rige el regulador español respecto a la comunicación de sucesos en instalaciones nucleares y radiactivas. Durante su intervención, subrayó la importancia de la comunicación entre el regulador y sus grupos de interés a través de diversos mecanismos como la página web institucional, las redes sociales o el trabajo conjunto que se lleva a cabo en las reuniones del Comité Asesor, en las que se reúnen los representantes de los grupos de interés del CSN, y los encuentros de los comités locales de información, que se celebran en los municipios de los territorios que albergan centrales nucleares.

La consejera recordó que el CSN apuesta por una comunicación que aúne la rapidez a la hora de transmitir a la sociedad un suceso en una instalación nuclear o radiactiva y el rigor de la información que se proporciona, contrastándola con las áreas necesarias antes de su transmisión al exterior.



La consejera del CSN Pilar Lucio, durante el seminario de la NEA celebrado en septiembre, en París.

Elvira Romera clausura la 45ª reunión anual de la Sociedad Nuclear Española

La consejera del CSN Elvira Romera clausuró la 45ª reunión anual de la Sociedad Nuclear Española (SNE), que bajo el lema 'Imprescindibles contra el cambio climático', se celebró en Vigo los pasados 25 y 27 de septiembre. En su intervención, la consejera destacó la importancia de la actual cooperación que la SNE y el Comité de Energía Nuclear (CEN) mantiene con el CSN, vital para lograr un pleno desarrollo científico y tecnológico en materia de seguridad nuclear, además de hacer un breve repaso de las principales actividades del CSN en materia de licenciamiento y control de ins-



La Consejera Romera destacó en la reunión la importancia de la cooperación en la seguridad nuclear.

talaciones nucleares y radiactivas, y destacar las primeras instalaciones de protonterapia en España así como la autorización de ejecución y montaje de un Almacén Temporal Individualizado de combustible gastado (ATI) en la central de Cofrentes (Valencia).

En cuanto a los retos de futuro del CSN, la consejera se refirió a la elaboración del nuevo Plan Estratégico, que tiene entre sus principales objetivos el refuerzo del personal, el desarrollo del plan de gestión del conocimiento y la formación continua del capital humano.

Dentro de esta jornada anual, el consejero del CSN y presidente de CEIDEN, Javier Dies, moderó la sesión plenaria I sobre 'Centrales nucleares que operan a 80 años: la experiencia de Estados Unidos', que contó con la participación de Ho Nieh, de Michael Gallagher, y la responsable adjunta de la oficina de energía nuclear de EPRI, Tina Taylor.

Francisco Castejón visita el Centro de Láseres Pulsados Ultracortos de Salamanca

El consejero del CSN Francisco Castejón visitó el Centro de Láseres Pulsados Ultracortos-Ultraintensos (CLPU) de Salamanca acompañado por el director del centro, Luis Roso, y por el gerente, Pedro García. El CLPU está clasificado como Infraestructura Científico Técnica Singular (ICTS) y es la



El consejero del CSN Francisco Castejón, durante su visita a las instalaciones del Centro de Láseres Pulsados de Salamanca.

única existente en España especializada en láseres ultrapotentes. Es un consorcio público entre el Ministerio de Ciencia, Investigación y Universidades, la Junta de Castilla y León y la Universidad de Salamanca y cuenta con la autorización del CSN como instalación radiactiva de 2ª categoría.

En 2016, el CLPU instaló dos nuevos láseres de una potencia de pico de 200 teravatios y un petavatio, respectivamente, denominados VEGA-2 y VEGA-3 en un edificio construido a tal efecto que cuenta con el blindaje y los dispositivos de seguridad requeridos para este nivel de intensidad del láser y el tipo de experimentos que se realizan. El láser VEGA hace que el CLPU sea la primera instalación en España, y de las primeras en Europa, que investiga las propiedades ópticas de láseres de petavatio, así como el comportamiento del material blanco de impacto, para permitir la utilización de la instalación en una amplia variedad de aplicaciones en I+D.

Durante el recorrido, el consejero Castejón destacó las avanzadas tecnologías de estas instalaciones que las sitúan al más alto nivel internacional, y que tienen multitud de aplicaciones científicas.

El consejero Javier Dies destaca en el OIEA la utilidad de las misiones de revisión por homólogos para reforzar el marco regulador en seguridad nuclear y protección radiológica

El consejero del CSN Javier Dies expuso una ponencia sobre los resultados de la misión IRRS-ARTEMIS, que recibió España en octubre de 2018, en un encuentro paralelo organizado por la Comisión Europea dentro del programa de la 63ª Conferencia General del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).

A lo largo de su intervención, Dies explicó las principales tareas de preparación y ejecución que llevaron a cabo todas las instituciones españolas antes y durante la recepción de la misión, así como los principales resultados, particularmente en lo que se refiere a la seguridad del combustible gastado y residuos radiactivos ya que el



El consejero del CSN Javier Dies, durante la ponencia sobre los resultados de la misión IRRS-ARTEMIS.

encuentro paralelo se centró en la parte ARTEMIS de la misión combinada.

España ha sido el primer país en recibir

una misión combinada IRRS-ARTEMIS, y el segundo que se somete a un segundo ciclo IRRS con alcance completo.

Principales acuerdos del Pleno

Se aprueba la Instrucción para formación de personal de operación de Santa María de Garoña

El Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) acordó, en su reunión del 16 de octubre, establecer a la central nuclear de Santa María de Garoña (Burgos) la Instrucción Técnica Complementaria (ITC) para la adaptación de los requisitos sobre formación del personal con licencia de operación a la situación de cese definitivo de explotación.

La instrucción IS-11 tiene por objeto fijar los criterios generales relativos a las licencias del personal de operación que concede el CSN y que los titulares deben cumplir hasta la concesión de la autorización de desmantelamiento de la central. La IS-11 indica que una vez declarada la situación de cese definitivo de una central, el CSN determinará el tipo de licencias que sean necesarias, así como el método de obtención y renovación de las mismas y el resto de las funciones y requisitos asignados a cada una de ellas, sirviendo la instrucción de marco normativo supletorio.

Santa María de Garoña se encuentra en cese definitivo de explotación desde junio de 2013 y, por tanto, permanecerá dentro del alcance de la IS-11 hasta la obtención de la autorización de desmantelamiento.

Formación de técnicos en seguridad nuclear y protección radiológica a través de cuatro cátedras universitarias

El Pleno del CSN aprobó, en su reunión del 16 de octubre, la firma de los nuevos convenios de colaboración que el organismo mantiene con las Universidades Politécnicas de Madrid, Cataluña y Valencia por el que se financian la cuatro cátedras de Seguridad Nuclear con las que el CSN busca promover e incentivar la formación de técnicos altamente cualificados en seguridad nuclear y protección radiológica, a través

de sus propios planes de estudios, cursos de especialización y participación activa en proyectos de I+D afines. Bajo el marco de estos convenios, establecidos con carácter anual desde 2014, el CSN otorga una subvención a cada cátedra por valor de 70.000 euros, de conformidad con la Ley General de Subvenciones.

Desde su creación, más de 200 becarios de fin de carrera, máster y doctorado, han podido beneficiarse de estas cátedras. A este grupo de universitarios se suma una cifra mucho más elevada de alumnos que han asistido, en estos 14 años, a cursos, congresos y seminarios sobre temas relacionados con la seguridad nuclear y la protección radiológica.

Aprobado el Plan de Acción Nacional sobre gestión del envejecimiento de las centrales nucleares

En su reunión del pasado 25 de septiembre, el Pleno aprobó el Plan de Acción Nacional sobre gestión del envejecimiento de las centrales nucleares, derivado de la primera revisión temática por homólogos (TPR, por sus siglas en inglés correspondientes a Topical Peer Review). Este documento responde así a la conclusión adoptada por el Consejo Europeo y a la indicación establecida por el Grupo Europeo de Reguladores de Seguridad Nuclear (ENSREG) el pasado mes de marzo, fecha en la que se estableció que los países que hubiesen participado en la primera revisión temática por homólogos debían publicar sus planes de acción correspondientes a finales de septiembre de 2019.

Los TPR se recogen en el artículo ocho de la Directiva 2014/87/EURATOM, donde se reconoce la importancia de las revisiones por homólogos como herramienta para la mejora continua de la seguridad nuclear.

En cumplimiento de ese mandato, el CSN preparó en 2017 el Informe Nacional de Evaluación que recogió el análisis del programa de gestión del envejecimiento

global aplicable por las centrales nucleares españolas en base a la regulación existente en España, así como su adaptación específica para los sistemas, estructuras y componentes seleccionados. Ese informe fue supervisado por un equipo de homólogos al CSN que efectuaron 134 preguntas y, basándose en las buenas prácticas y oportunidades de mejora que se recibieron y en la información facilitada por los titulares de las instalaciones, el regulador español elaboró el Plan de Acción Nacional aprobado por el Pleno.

Informe favorable a la propuesta de revisión del Plan de Protección Física de Vandellós II

El pasado 29 de julio, el Pleno informó favorablemente la solicitud del titular de la central nuclear Vandellós II (Tarragona) sobre la aprobación de la propuesta de cambio PC-007 de Revisión 1 del Plan de Protección Física (PPF). La finalidad de dicha propuesta es la de introducir diversas modificaciones en el PPF de Vandellós II, entre las que figuran las relativas a la modificación de los sistemas de control de accesos y los sistemas de detección de intrusión, así como la inclusión de la nueva delimitación del área de penetraciones y de sus sistemas de detección de intrusión y vigilancia.

El Pleno evaluó la solicitud del titular y concluyó que las modificaciones que incorpora la propuesta de cambio PC-007 Revisión 1 del PPF mejoran el contenido del documento oficial y propuso informar favorablemente las modificaciones y correcciones incluidas en la propuesta de cambio. Adicionalmente, en la evaluación se consideraron las Instrucciones Técnicas del CSN relacionadas con seguridad física y la Guía de Seguridad GS-8.02 sobre elaboración, contenido y formato de los planes de protección física de las instalaciones y los materiales nucleares.

El Consejo de Seguridad Nuclear estrena canal en YouTube

El Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) acaba de poner en marcha su canal en YouTube, con la intención de aumentar la transparencia y mejorar su proximidad con la ciudadanía. Esta nueva herramienta de comunicación ayudará a la institución a explicar su papel como organismo regulador de la seguridad nuclear y de la protección radiológica en España, así como abordar temas de especial interés relacionados con las radiaciones ionizantes y la regulación.

Los contenidos audiovisuales tienen cada vez más peso en la comunicación de las organizaciones. De ahí que el CSN haya optado por habilitar este canal en Internet, con el objetivo de poner a disposición de la opinión pública una red de vídeos divulgativos y didácticos vinculados a las labores y a las competencias del Consejo.

Este nuevo canal de YouTube está destinado a estudiantes, a profesores, a profesionales del sector y a un público generalista. A tal fin, hemos dividido nuestro canal YouTube en diferentes listas de reproducción que incorpo-

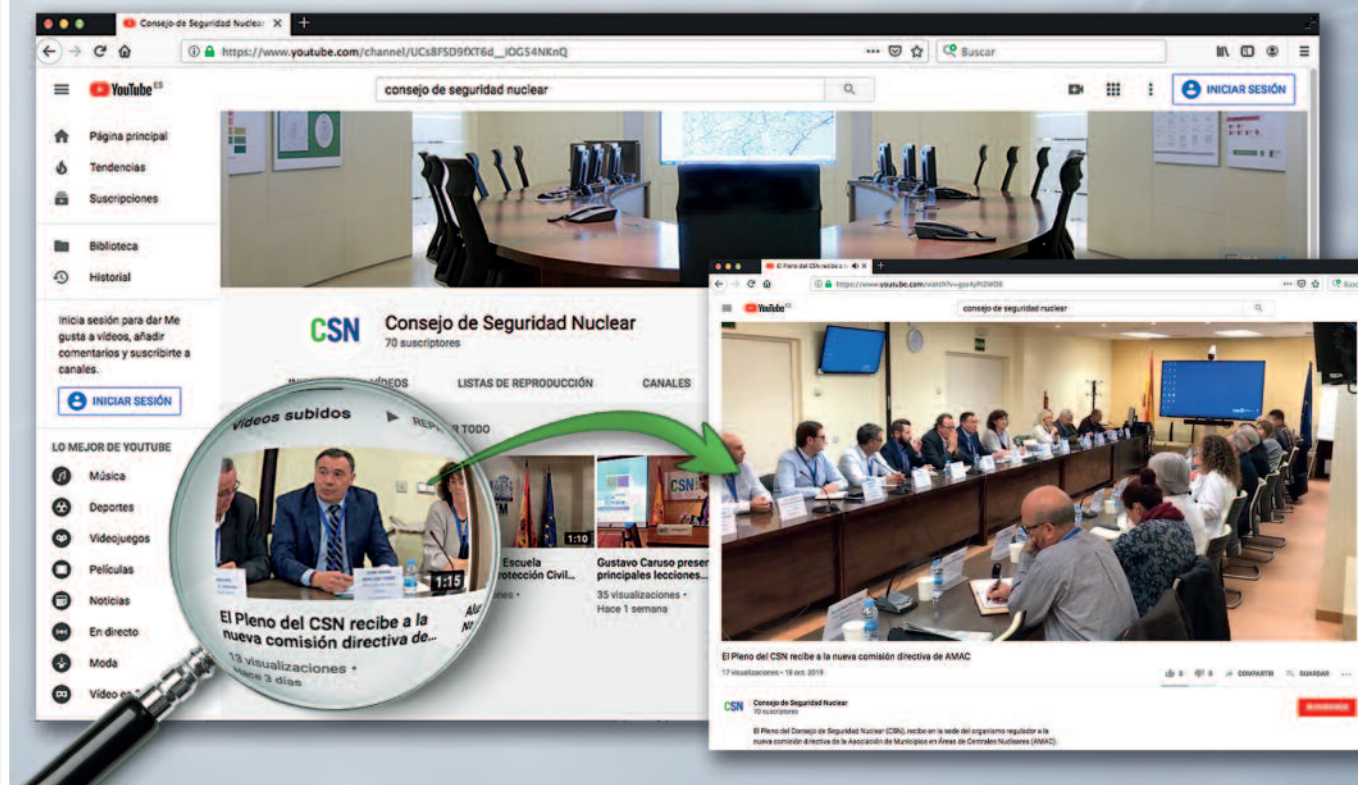
ran tanto vídeos de elaboración propia como material de otras entidades homólogas al CSN así como de organismos internacionales.

Algunos de los primeros vídeos ya están disponibles en las siguientes listas de distribución:

- ¿Quiénes somos y qué hacemos?
- El día a día en el CSN
- Usos médicos de la radiación
- Otros usos de la radiación
- Gas radón
- Información para trabajadores

Este nuevo canal de YouTube se irá actualizando de forma periódica con nuevos contenidos audiovisuales. Podrás acceder a él directamente a través de la web del CSN.

Esperamos que os resulte de interés. Desde aquí os invitamos a que os suscribáis al canal de YouTube del CSN.



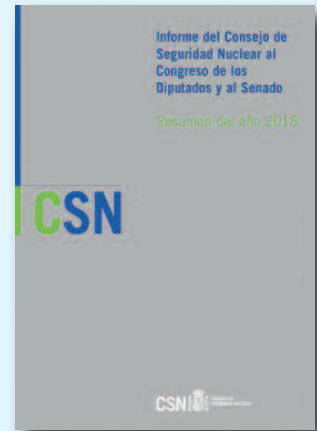
Publicaciones



Cartografía del potencial de radón en España



Informe del Consejo de Seguridad Nuclear al Congreso de los Diputados y al Senado
Año 2018



Informe del Consejo de Seguridad Nuclear al Congreso de los Diputados y al Senado
Resumen del año 2018



Convención sobre Seguridad Nuclear
Octavo Informe Nacional



Convention on Nuclear Safety
Eighth National Report

alFa Revista de seguridad nuclear y protección radiológica

Boletín de suscripción

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

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

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

Abstracts

REPORTS

06 This is the way nuclear fuel is made

One of the five nuclear fuel manufacturing facilities currently existing in the European Union is to be found at Juzbado, a village with fewer than 200 inhabitants located 20 kilometres from Salamanca. The plant is managed by Enusa (Empresa Nacional del Uranio S.A.), was started up in 1985 and has 350 employees. In the coming years it will have to adapt to a possible new set of circumstances resulting from a number of political decisions regarding nuclear energy, which might arise in the relatively short term.

30 Names of their elements

The periodic table has evolved in line with progress in the world of chemistry over the 150 years that have passed since it was drawn up. A fascinating and little known aspect of the table is the history of its constituent elements and, even more curious, of the outstanding personalities who have ensured their immortality by having their names associated with certain of them.

40 Recycling reaches the world of medical radioisotopes

The production of radioactive isotopes is fundamental for the diagnosis and treatment of illnesses such as cancer. However, their creation also generates wastes, which threaten the long-term sustainability of the process. A Belgian project is looking for a way to reuse this radioactive material to minimise nuclear waste.

48 Arturo Duperier, the relegated genius

Sixty years have now passed since the death of the physicist Arturo Duperier (Pedro Bernardo, Ávila, 1896 - Madrid, 1959). A favoured and particularly outstanding disciple of Blas Cabrera, alongside whom he formulated the so-called 'Cabrera-Duperier law', he went into exile in England at the end of the Spanish Civil War, where he specialised in variations in cosmic ray intensity at sea level with time. The project was led by P. M. S. Blackett, who would later win the Nobel Prize for Physics in 1948. Thanks to the work performed over the course of those years, Duperier became a consolidated world authority on cosmic rays.

RADIOGRAPHY

38 Radiological protection in 2018. Future challenges

INTERVIEW

14 Josep Maria Serena i Sender, president of the CSN: "We are responsible for evaluating, inspecting and regulating nuclear safety and radiological protection in Spain"

The new president of the Nuclear Safety Council, Josep Maria Serena i Sender, assures us that he is ready to address all the challenges that await us, in the very short term.

TECHNICAL ARTICLES

23 New standard on the security of radioactive sources

Since the 2001 terrorist attack in New York, the physical protection of infrastructures and of any activities open to attack has been strengthened across the world and a series of international conventions and standards has arisen. Nuclear and radioactive facilities have not been an exception in this respect, and Spain has significantly reinforced their security, taking into account also the experience gleaned in the country itself.

54 Licensing of digital systems at nuclear power plants

The design of most of the Instrumentation and Control (I&C) systems installed at the operating plants is based on analogue technology. Over time, the analogue equipment has aged and begun to suffer breakdowns that are difficult to repair. At the same time, digital technology has reached a high level of development and the use of digital equipment has spread to all types of industries, showing that the products in question are mature and in general highly reliable.

- 61 Chain reaction
- 64 Panorama
- 68 Plenary Agreements
- 69 csn.es
- 70 Publications



Descubre la web del Consejo de Seguridad Nuclear. Los mejores contenidos, la mejor usabilidad y un diseño *responsive* que se adapta a todas las pantallas y terminales inteligentes.

Toda la información sobre seguridad nuclear y protección radiológica, de la mano del organismo regulador, a tu alcance.



www.csn.es