



Ver a través de la materia

Fuente europea de Espalación de Neutrones

El CSN por dentro



Subdirección de Emergencias y Protección Física

Jorge Fabra Utray,
consejero del CSN:
"En materia
de neutralidad,
de independencia
y de transparencia,
siempre hay espacio
para la mejora"

El CSN acoge la reunión
para las misiones IRRS
y ARTEMIS del OIEA



Súmate a los 125.000

Desde su inauguración en 1998, los 125.000 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 125.000.

A través de la materia

Este nuevo número de ALFA incluye un extenso reportaje sobre lo que está sucediendo en el sur de Suecia, a pocos kilómetros de Dinamarca, en una ciudad de apenas 90.000 habitantes llamada Lund, donde se construye una de las grandes infraestructuras de investigación europea, la Fuente Europea de Espalación de Neutrones. Dicho de otra manera más coloquial, un superacelerador de protones para ver a través de la materia. Un proyecto de más de 1.800 millones de euros, en el que participan 15 países y que cuando comience a operar en 2023 será la fuente de neutrones más intensa del mundo.

Como reportaje técnico, un extenso artículo sobre la 'Estrategia de Purga y Aporte del sistema de refrigeración del reactor en centrales PWR', con el objetivo de hacer frente a los accidentes en los que se pierde totalmente la capacidad de extracción del calor residual por los generadores de vapor.

La radiografía, en esta ocasión, trata sobre el grupo de científicos que asesora a la Comisión Europea para el establecimiento de las normas básicas de protección radiológica, de obligado cumplimiento por parte de todos los estados miembros, y que se encuentra en artículo 31 del Tratado de Euratom.

Además, incluimos un reportaje de divulgación sobre el futuro del kilo, el amperio, el kelvin y el mol, una vez que la Conferencia General sobre Pesos y Medidas

defina en noviembre de este mismo año estas cuatro unidades científicas básicas. Y, también, un extenso reportaje sobre los grandes foros de la energía nuclear, es decir, sobre las organizaciones nacionales, regionales y mundiales que garantizan la seguridad de las instalaciones nucleares y de los aparatos derivados de la tecnología nuclear.

Este número incluye un extenso artículo sobre la 'Estrategia de Purga y Aporte del sistema de refrigeración del reactor en centrales PWR', con el objetivo de hacer frente a los accidentes en los que se pierde la capacidad de extracción del calor residual por los generadores de vapor

En cuanto a la entrevista habitual en ALFA, en este número el protagonista es el consejero Jorge Fabra Utray, la última incorporación al Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN).

El Consejo de Ministros aprobó en diciembre de 2017 el nombramiento de Jorge Fabra Utray como nuevo consejero del CSN y, el pasado febrero, tuvo lugar, su ac-

to de toma de posesión, con la presencia de los restantes miembros del Pleno, de su antecesora en el cargo, Cristina Narbona –hoy presidenta del Partido Socialista Obrero Español (PSOE)– y del secretario de Estado de Energía, Daniel Navia, así como representantes del Congreso de los Diputados, de numerosas instituciones públicas y del sector eléctrico y numerosos técnicos y personal del Consejo.

Fabra asegura en sus declaraciones que la principal materia prima del CSN es el conocimiento y añade también que "en materia de neutralidad y transparencia, siempre espacio para la mejora".

Dos importantes reuniones celebradas en el CSN son también objeto de reportajes: la reciente reunión para las misiones IRRS y ARTEMIS del OIEA, así como la jornada de I+D de Protección Radiológica celebrada en el Consejo.

Dentro de nuestra sección 'El CSN por dentro', es el turno de a la Subdirección de Emergencias y Protección Física (SEP).

Y en la de 'Ciencia con nombre Propio', la protagonista es Lise Meitner, cuyo papel fue determinante en el descubrimiento de la fisión nuclear y que, entre 1921 y 1934, fue una de las científicas más relevantes de Alemania y que, sin embargo, posteriormente rechazó incorporarse al Proyecto Manhattan por no querer tener nada que ver con las aplicaciones bélicas de la energía nuclear.

ALFA

Revista de seguridad nuclear
y protección radiológica
Editada por el CSN
Número 36 / Año 2018

Comité Editorial
Fernando Martí Scharfhausen
Antonio Munuera Bassols
Fernanda Sánchez Ojanguren
Enrique García Fresneda
Ángel Laso D'Lom
Felipe Teruel Moya

Comité de Redacción
Ángel Laso D'Lom
Natalia Muñoz Martínez

Manuel Aparicio Peña
Ana Gozalo Hernando
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 El superacelerador de protones para ver a través de la materia

La Fuente Europea de Neutrones por Espalación (ESS) es un gran acelerador lineal de partículas que permitirá observar el interior de los materiales que componen nuestro mundo para así ser capaces de estudiar cómo se mueven e interactúan sus átomos por dentro. Entre otras aplicaciones, permitirá desarrollar nuevas terapias y materiales. España fabricará componentes clave, pero aún no ha firmado el acuerdo para convertirse en país miembro.

28 Lise Meitner, fisión y humanidad

Todo científico excepcional cuenta en su biografía con un hecho determinante que sitúa su nombre en la lista de investigadores dignos de un puesto de honor en la historia. En el caso de Lise Meitner, el hecho tiene una doble vertiente y no se entiende una sin la otra: la primera sería su papel en el descubrimiento de la fisión nuclear, y la segunda, cómo este papel fue ninguneado por la institución encargada de otorgar los galardones científicos más reconocidos del mundo.

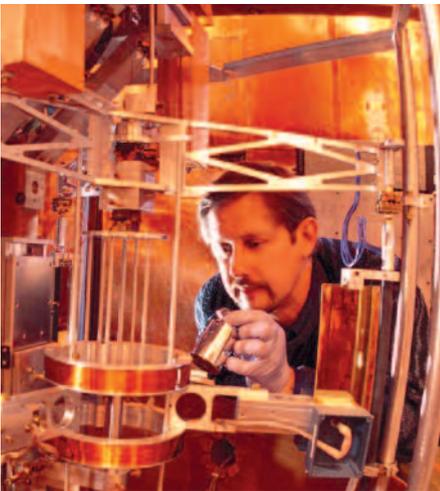


36 Los grandes foros de la energía nuclear

La tecnología nuclear se utiliza para suministrar energía, para usos médicos, en la gestión sostenible de los recursos hídricos, en el mundo del arte y en una larga lista más de utilidades, todas ellas supervisadas por altos organismos. Los países desarrollados tienen organizaciones nacionales, regionales y mundiales para garantizar la seguridad de las instalaciones y de los aparatos derivados de la tecnología nuclear, para proteger a quienes están concernidos por ellos y para garantizar la inocuidad de sus desechos.

42 Cómo serán el kilo, el amperio, el kelvin y el mol

La Conferencia General sobre Pesos y Medidas redefinirá en noviembre de 2018 cuatro unidades científicas básicas: el amperio, el kilogramo, el kelvin y el mol. Los cambios entrarán en vigor en mayo de 2019. Se trata de la mayor revisión del Sistema Internacional (SI) desde la instauración de este sistema de referencia internacional en 1960. Las redefiniciones de estas unidades se basarán en relaciones con constantes fundamentales, en lugar de constantes abstractas o definiciones arbitrarias, como sucede en la actualidad. Esto permitirá a los científicos trabajar con el más alto nivel de precisión, aunque estos cambios no afectarán a las escalas convencionales.



34 RADIOGRAFÍA

El grupo de expertos científicos del artículo 31 del Tratado de Euratom

EL CSN POR DENTRO

20 La SEP, más allá de la gestión de riesgos nucleares y radiológicos

Probablemente lo que más llame la atención de esta subdirección sea la gestión de las emergencias, es decir, las amenazas y los riesgos que puedan producirse dentro del ámbito nuclear y radiológico, que son siempre una prioridad. Pero la subdirección de Emergencias y Protección Física (SEP) tiene un papel más amplio: desde su actuación evaluadora, hasta ser la encargada de tejer y mantener la red de colaboradores del CSN con otros departamentos del Ejecutivo.

ENTREVISTA

14 Jorge Fabra Utray, consejero del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN)

“En materia de neutralidad, de independencia y de transparencia, siempre hay espacio para la mejora”

ARTÍCULOS TÉCNICOS

24 El CSN acoge la reunión preparatoria de las misiones IRRS y ARTEMIS del OIEA

La sede del Consejo de Seguridad Nuclear acogió, durante los pasados 25 y 26 de enero, el *preparatory meeting*, sesiones en la que se acordaron todos los aspectos necesarios para el correcto desarrollo de la misión IRRS-ARTEMIS en el próximo mes de octubre de 2018.

48 La plataforma PEPRI celebra la jornada ‘I+D en Protección Radiológica’

El pasado marzo se celebró la jornada ‘I+D en Protección Radiológica’ de la Plataforma PEPRI y su Asamblea General. Un acto que tuvo como objeto actualizar al colectivo de profesionales españoles relacionados con esta materia, los planteamientos y proyectos del Plan Nacional y de los Programas Europeos de I+D+i.

51 Estrategia de Purga y Aporte del sistema de refrigeración del reactor en centrales PWR

En este artículo se describe la estrategia de Purga y Aporte del sistema de refrigeración del reactor y las características de su implantación en las centrales españolas.



57	Reacción en cadena
60	Panorama
64	Acuerdos de Pleno
65	csn.es
66	Publicaciones



Fuente Europea de Espalación de Neutrones

El superacelerador de protones para ver a través de la materia



En el sur de Suecia, a pocos kilómetros de la frontera con Dinamarca, se encuentra Lund, una ciudad de 90.000 habitantes, menor que Orense o Cáceres. Su pequeño tamaño no ha sido obstáculo para acoger una de las 100 mejores universidades del mundo. Allí, en la que los suecos llaman la ciudad de las ideas, se está construyendo una de las grandes infraestructuras

europeas de investigación: la Fuente Europea de Espalación de Neutrones (ESS, por sus siglas en inglés) es un proyecto de más de 1.800 millones de euros, financiado por 15 países europeos. Cuando empiece a operar, en 2023, será la fuente de neutrones más intensa del mundo.

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

El poder de penetración de estas partículas subatómicas sin carga, capaces de atravesar la materia sin verse perturbadas, permite observar lo que sucede bajo la superficie de distintos materiales. La luminosidad de esta nueva fuente tendrá un gran impacto en campos muy diversos, desde las ciencias biomédicas al diseño de nuevas baterías.

“Un ejemplo de lo que podremos hacer en la ESS es lo que ya está sucediendo en Japón con el desarrollo de baterías que almacenan más energía para utilizarlas en coches eléctricos”, apunta John Womersley, director general de la infraestructura. “Para desarrollar baterías con más capacidad de almacenamiento, es necesario entender su química fundamental, y eso, como hemos visto con los casos de baterías que se incendian, no es sencillo”, continúa. Los neutrones permitirían observar lo que sucede en las baterías a nivel atómico y eso hará posible mejorar su diseño, algo que interesa a compañías como, por ejemplo, Toyota, que quieren sacar nuevas baterías diseñadas con estas tecnologías a partir de 2020.

Este análisis de nuevos materiales también puede servir, por ejemplo, para desarrollar superconductores a temperatura ambiente. Ahora, llevar la electricidad a través de los cables de alta tensión desde los lugares donde se producen hasta los consumidores supone una importante pérdida de energía en el camino por la resistencia que ofrecen a la corriente eléctrica materiales como el cobre a temperatura ambiente. Ese problema desaparecería con estos nuevos materiales.

Para conseguir los preciados neutrones con los que observar lo que sucede en el interior de distintos materiales, hay dos métodos fundamentales. Uno de ellos requiere la construcción de un reactor nuclear similar a los que se emplean para producir electricidad en las centrales atómicas. En esos reactores, se dividen átomos pesados que en ese proceso liberan neutrones. Después, estas partículas se redirigen a distintos dispositivos experimentales en los que se pueden lanzar contra diferentes tipos de muestras para desentrañar sus secretos.

Este tipo de fuente produce un flujo

continuo de neutrones, pero tiene mayores requerimientos de seguridad y produce residuos radiactivos más peligrosos. El sistema diseñado para la fuente europea de espalación de neutrones es diferente. Allí se generarán protones que viajarán por un acelerador lineal de 600 metros, el más grande del mundo en su categoría, hasta una diana de tungsteno. El impacto provocará una reacción nuclear que hará que se desprendan neutrones que después se ralentizarán y se separarán en haces para dirigirlos a una de las 22 estaciones experimentales que, según está previsto, llegará a albergar ESS.

Retos únicos

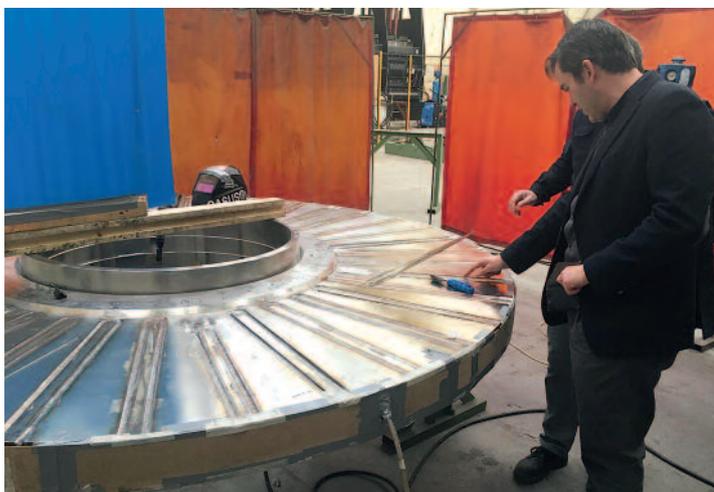
Como en otras infraestructuras de estas dimensiones y de este grado de innovación, como el reactor de fusión nuclear ITER del sureste de Francia o el Gran Colisionador de Hadrones (LHC, por sus siglas en inglés) instalado cerca de Ginebra, en la frontera franco-suiza, los responsables de la construcción de ESS se enfrentan a retos únicos.

En casos como los anteriores, se han producido importantes retrasos y aumentos de presupuesto. En Lund, Womersley reconoce un pequeño incremento del presupuesto, que ya supera los 1.800 millones de euros, para “responder a requerimientos de protección radiológica”, pero asegura que trabajan para reducir al máximo los retrasos y afirma que hacia 2019 está planeado que comiencen las primeras pruebas del acelerador, con la producción de los primeros neutrones prevista para 2021 y la llegada de los primeros usuarios en 2023.

Cuando la construcción finalice, ESS será la fuente de neutrones más intensa del



España participa en el desarrollo del ‘corazón’ de la ESS, el target o blanco de choque contra el que se dispararán los protones. / ESS



En el centro estratégico de tecnologías neutrónicas ESS Bilbao (Zamudio, Vizcaya), su plantilla de 60 trabajadores se encuentra diseñando y fabricando siete piezas clave del proyecto: entre ellas una sección del acelerado.

mundo. Eso permitirá aplicaciones en ciencias de la vida que no eran posibles con las máquinas ahora en marcha.

“ESS es una infraestructura que produce radiación. Después de un tiempo de uso, los blancos se vuelven radiactivos, y necesitamos el visto bueno de los reguladores suecos en protección radiológica para operar”, señala Womersley. “Sin embargo, la cantidad de material radiactivo es mucho menor (que la generada por un reactor nuclear) y no producimos plutonio, por ejemplo”, continúa. “Es un nivel de protección radiológica similar al necesario para instalaciones médicas”, explica. Además, después de lo sucedido en Fukushima, ahora es necesario que la infraestructura resista un terremoto como el de Japón, aunque la sismicidad de Suecia no sea igual. “También hemos tenido que plantear medidas de seguridad contra ataques terroristas”, indica.

‘Made in Spain’

El papel español en la construcción de la fuente europea de neutrones ha variado con el tiempo. Cuando Europa comenzó a aceptar propuestas para construir la nueva fuente de neutrones, el Estado propuso Bilbao como sede en competición con Lund y Debrecen, en Hungría. “En un principio se formó la institución para llevar la candidatura de España a alojar la fuente y en 2009 ya se estaba formando

un equipo de investigadores, pero ese año hubo una cena de ministros de economía europeos en la que se decidió que la mejor oferta iba a ser la de Lund”, explica Pedro González, director tecnológico de ESS Bilbao. El acuerdo final recogió que Suecia y Dinamarca serían los países an-

Directivos de la ESS aseguran que se ha incrementado el presupuesto de la infraestructura para responder a requerimientos de protección radiológica

fitrones y se harían cargo de casi la mitad de la financiación, un 35% y un 12,5%, respectivamente. Lund, en Suecia, acogería la instalación científica y, Conpenhague, en Dinamarca, el centro de gestión de datos y *software*.

González está ahora a cargo de la sección bilbaina de la ESS a la espera de que se encuentre un sustituto a José Luis Martínez, el director ejecutivo que dimitió en septiembre del año pasado. Aunque Mar-

tínez alegó motivos personales para tomar su decisión, ésta se produjo después de reducirse un 30% la financiación de la parte española para la entidad hasta 2025 y que se sitúa ahora en 64 millones de euros. Esa aportación supondrá alrededor del 3% de la inversión total necesaria para construir la ESS, una cifra que los responsables españoles consideran más adecuada a las capacidades del país para obtener un retorno industrial y científico que lo compense. “En Bilbao se van a construir secciones del acelerador, sistemas de diagnóstico para garantizar la calidad del haz y se va a desarrollar la diana de tungsteno o wolframio” contra la que se disparan los protones para producir neutrones, explica Pedro González, director de la sección bilbaína de ESS. Además, el equipo de ESS Bilbao, compuesto por 60 personas altamente cualificadas en física e ingeniería, es responsable principal del instrumento *Miracles*, una de esas 22 estaciones experimentales que aprovecharán los neutrones para hacer ciencia. En este caso, el programa científico estará centrado en el estudio de polímeros y materia condensada blanda.

Tras la decisión de las autoridades europeas de construir la fuente de neutrones en Lund, el Gobierno español quiso mantener una especie de subse, aportando el 10% del total de la construcción, pero esa cifra se ha ido reduciendo progresiva-

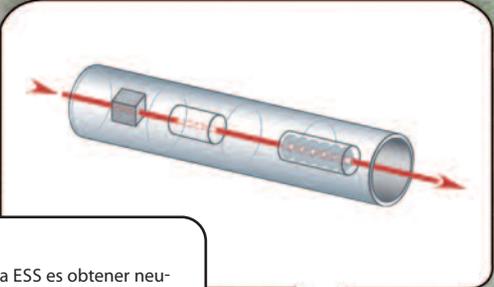
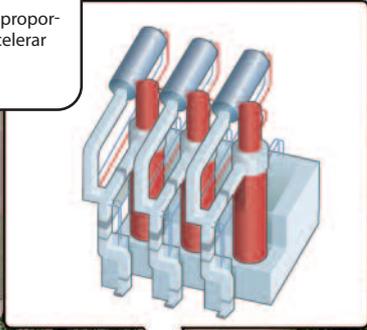
Así será el ESS, el mayor acelerador de protones

65.000 m² construidos



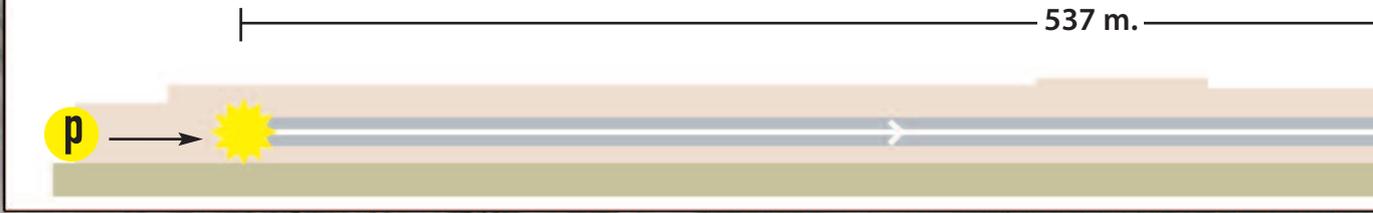
CENTRO DE DATOS DEL ESS (DMSC)
Centro de gestión de datos, donde se recopilan, analizan y difunden datos experimentales, situado en Copenhagen.

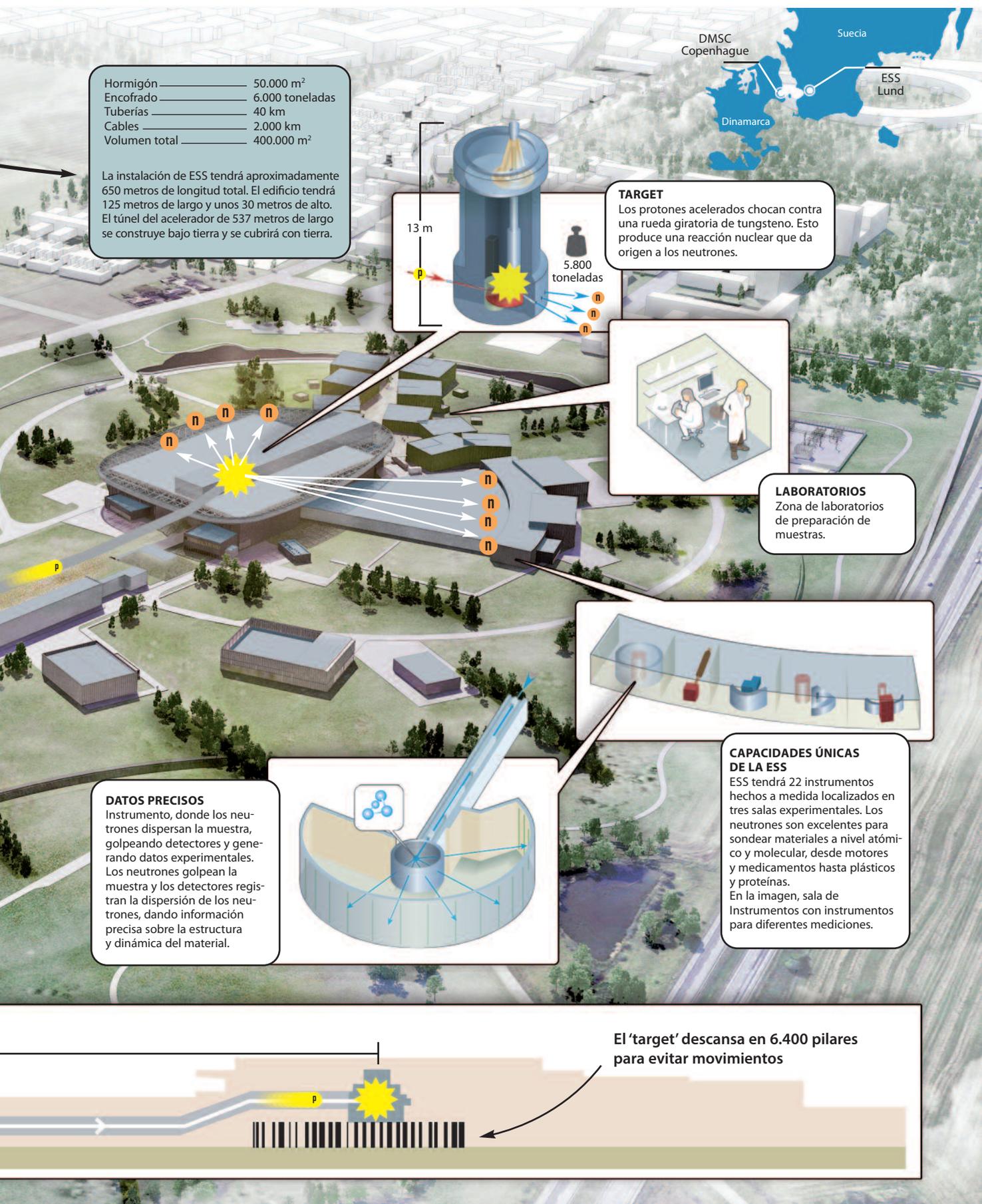
ACELERADOR
Campos electromagnéticos aceleran los protones hasta alcanzar el 96% de la velocidad de la luz. En la segunda parte, hay unas cavidades conductoras que se enfrían hasta -271°C. Clistrones y moduladores proporcionan la potencia para acelerar los protones.



GENERADOR
El objetivo de la ESS es obtener neutrones acelerando protones procedentes del hidrógeno. El proceso comienza introduciendo protones en el acelerador lineal.

PERFIL DEL COMPLEJO



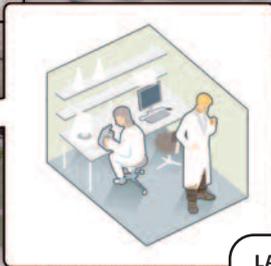


Hormigón	50.000 m ²
Encofrado	6.000 toneladas
Tuberías	40 km
Cables	2.000 km
Volumen total	400.000 m ²

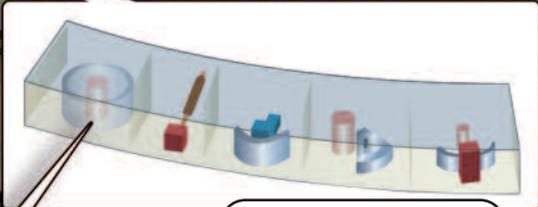
La instalación de ESS tendrá aproximadamente 650 metros de longitud total. El edificio tendrá 125 metros de largo y unos 30 metros de alto. El túnel del acelerador de 537 metros de largo se construye bajo tierra y se cubrirá con tierra.



TARGET
Los protones acelerados chocan contra una rueda giratoria de tungsteno. Esto produce una reacción nuclear que da origen a los neutrones.

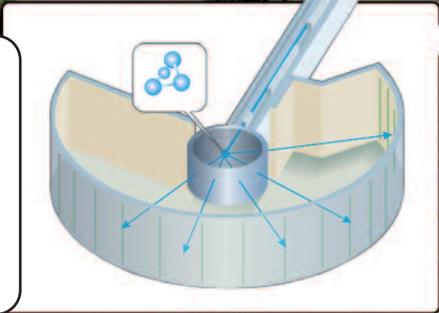


LABORATORIOS
Zona de laboratorios de preparación de muestras.

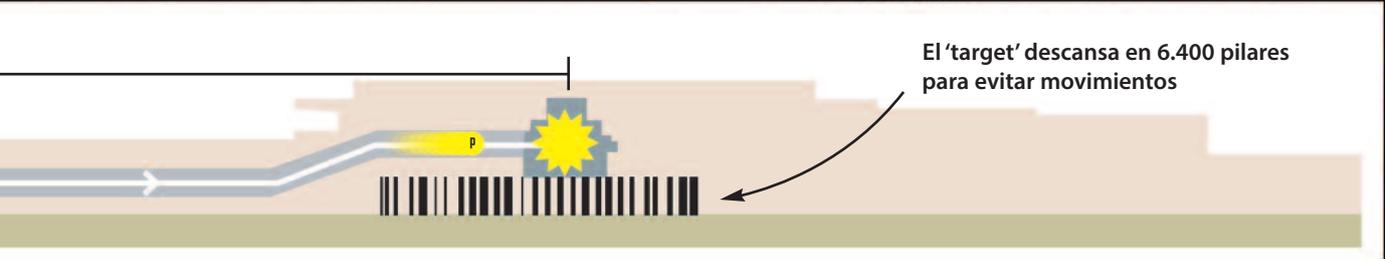


CAPACIDADES ÚNICAS DE LA ESS
ESS tendrá 22 instrumentos hechos a medida localizados en tres salas experimentales. Los neutrones son excelentes para sondear materiales a nivel atómico y molecular, desde motores y medicamentos hasta plásticos y proteínas. En la imagen, sala de Instrumentos con instrumentos para diferentes mediciones.

DATOS PRECISOS
Instrumento, donde los neutrones dispersan la muestra, golpeando detectores y generando datos experimentales. Los neutrones golpean la muestra y los detectores registran la dispersión de los neutrones, dando información precisa sobre la estructura y dinámica del material.



El 'target' descansa en 6.400 pilares para evitar movimientos





Vista aérea del pasado mes de julio del estado de las obras de construcción de la Fuente Europea de Neutrones por Espalación en Lund (Suecia). / ESS

mente hasta el 3% actual. Esa cantidad se alcanzará a partir de una inversión de 42,5 millones de euros del Estado y 22 millones del Gobierno vasco. Las dudas de los responsables autonómicos y la necesidad de garantizar una inversión de 18 millones de euros para continuar con la colaboración en enero de 2017 han mantenido un cierto grado de incertidumbre durante los últimos meses. Finalmente, el crédito llegó en diciembre del año pasado y España entró como socio de pleno derecho del consorcio de países que construyen la fuente.

Womersley muestra cierto alivio al reconocer que, por fin, España se incorporará plenamente al esfuerzo de construir la máquina. Como en otros grandes proyectos similares, además de las aportaciones económicas en efectivo, gran parte de la construcción se realizará con aportaciones en especie. “Ahora van a llegar los primeros

componentes en especie desde varios países”, explica el responsable de la ESS.

Esta forma de construir una gran instalación como la de Lund, habitual en infraestructuras de estas dimensiones, es una forma de que sirvan de impulso a las



Las previsiones apuntan la visita de más de 2.000 científicos al año para hacer sus experimentos en la ESS.

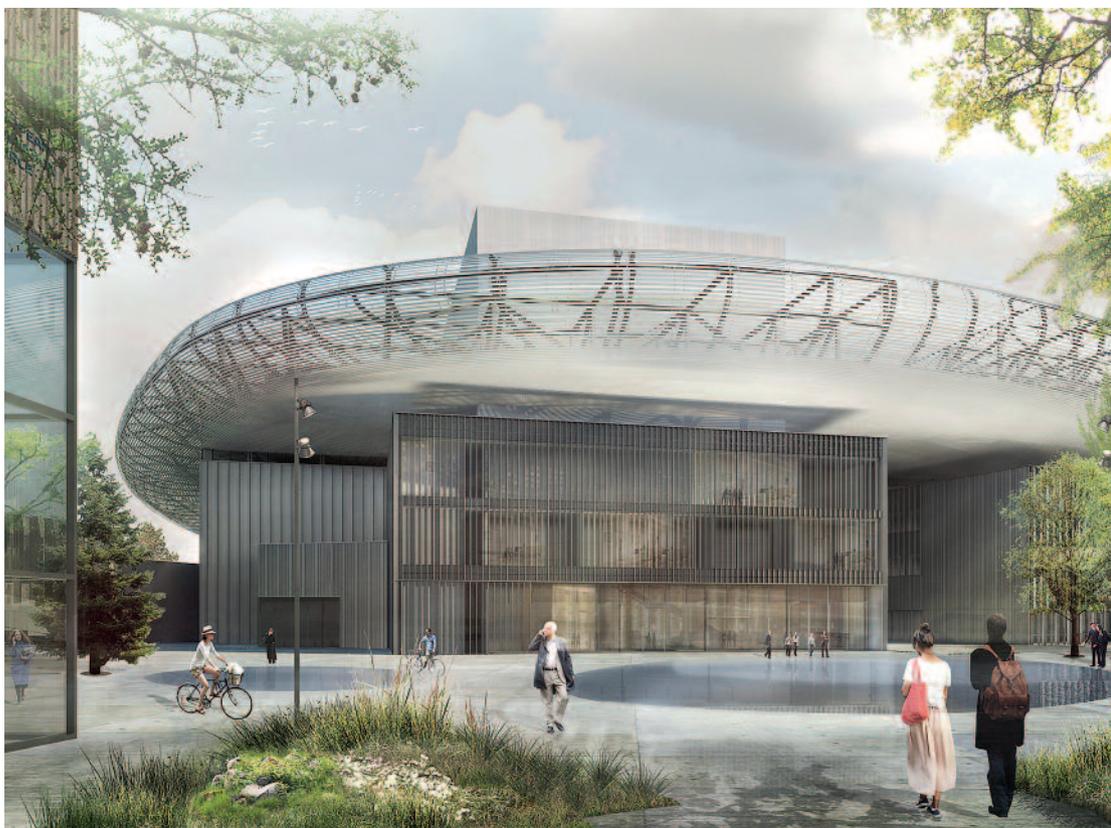
industrias de alta tecnología de los países participantes. A veces, las labores de coordinación entre los socios puede resultar

ardua, pero Womersley no cree que vaya a ser el caso en Lund. “Hemos sido capaces de elegir con quién trabajamos, y creo que los socios que hemos elegido para hacer las contribuciones en especie han sido los mejores que hemos podido conseguir en

Europa, tan buenos como si hubiésemos ido con el dinero a los proveedores. Y respetamos que los países quieran gastar el dinero cerca de casa”, continúa.

“En ESS Bilbao siempre hemos sentido la responsabilidad de que esta inversión en el proyecto europeo debía revertir en el desarrollo de la industria local y de nuestro sistema de investigación, la universidad y los centros tecnológicos”, asegura González.

“Para este tipo de proyectos, tenemos la suerte de contar con la industria vasca y española, que está muy bien preparada para los retos que pre-



Además de las instalaciones científicas, se está construyendo el Science Village Scandinavia, un pequeño ‘pueblo’ de 17 hectáreas justo al lado de los límites de la instalación. / ESS

sentamos”, añade. “Por un lado, los equipos que son capaces de responder a las necesidades de la industria de la ciencia, que es un sector en crecimiento, pero también se está aprovechando conocimientos de la industria aeroespacial o de la industria nuclear”, concluye.

I+D+i+c

A nivel europeo, además de las aportaciones de la industria en la construcción, la idea de los responsables de ESS es que haya una participación importante de las grandes empresas en el desarrollo y la investigación. “Nos estamos fijando en lo que hacen los japoneses, que tienen entre un 20 y un 30 por ciento del uso de sus fuentes por la industria”, apunta Womersley. Por el momento, las cifras europeas son menores y están buscando las vías para que las compañías puedan colaborar con las instituciones académicas en las que se

encuentran los especialistas que saben trabajar con los neutrones.

En 2019 comenzarán las pruebas del acelerador, con la producción de los primeros neutrones en 2021 y la llegada de los primeros usuarios en 2023

En Europa, la comunidad neutrónica está formada por unos 6.000 investigadores, muchos de ellos concentrados alrededor de las grandes instalaciones que los producen en Reino Unido, Francia o Alemania. Además de proporcionarles una

máquina con capacidades inéditas, la fuente de Lund será una oportunidad para fortalecer esa comunidad. González explica que, además de involucrarse en las fases de operación iniciales de Lund, ESS Bilbao quiere convertirse en un complemento. “ESS va a ser una gran instalación con un conjunto de instrumentos de primera clase, pero su oferta de horas de haz es limitada”, explica. “A medio plazo, va a haber una falta de horas para la comunidad neutrónica y habrá espacio para otras instalaciones compactas, que tengan uno o dos instrumentos especializados, de altas prestaciones”, añade.

A principios del verano, toda la planta de ESS Lund se mudará al lugar de construcción. Comenzará la cuenta atrás para que empiecen a brotar neutrones de la fuente. Se estima que cerca de 3.000 usuarios utilizarán ese recurso al año. Los científicos podrán realizar sus experimentos de manera gratuita. Las empresas, también, siempre que después publiquen en abierto sus resultados. Si los quieren utilizar de forma exclusiva o para desarrollar patentes, tendrán que pagar derechos.

Como es habitual en este tipo de instalaciones científicas, gran parte del trabajo irá dedicado a la investigación básica, similar a la que llevó en 1932 a James Chadwick a descubrir un nuevo componente del átomo. Aquella partícula desconocida, permitió en pocos años construir bombas atómicas o centrales nucleares y hará posible en Lund escudriñar el interior de la materia para diseñar nuevos fármacos o baterías más eficientes. 

El Consejo de Ministros aprobó, el 7 de diciembre de 2017, el nombramiento de Jorge Fabra Utray como nuevo consejero del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN). Fabra es licenciado en Economía por la Universidad Complutense de Madrid; doctor en Derecho por la Universidad Carlos III de Madrid, fue presidente del Colegio de Economistas de Madrid (1980-1983) y es miembro fundador de la asociación Economistas Frente a la Crisis. A lo largo de su dilatada trayectoria ha ocupado diversos cargos vinculados al sector de la energía:

fue delegado del Gobierno en la explotación del sistema eléctrico de 1983 a 1988; Presidente de la Oficina de Compensaciones Eléctricas (OFICO) desde 1985 a 1988; consejero de Babcock, Wilcox y Endesa entre 1984 y 1988; ocupó la presidencia de Red Eléctrica de España (REE) desde 1988 a 1997 y desde 2005 a 2011 fue consejero de la Comisión Nacional de Energía (CNE). Entre sus numerosas publicaciones destaca el libro '¿Liberalización o regulación?: un mercado para la electricidad' (2004).

Jorge Fabra Utray, consejero del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN)

“En materia de neutralidad, de independencia y de transparencia, siempre hay espacio para la mejora”

■ Á. Laso D'Íom ■

El pasado febrero tuvo lugar, en el salón de Plenos del CSN, el acto de toma de posesión de Jorge Fabra como nuevo consejero del regulador, con la presencia de los miembros del Pleno, de su antecesora en el cargo, hoy presidenta del Partido Socialista Obrero Español (PSOE), Cristina Narbona, y del secretario de Estado de Energía, Daniel Navia, así como representantes del Congreso de los Diputados, de numerosas instituciones públicas y del sector eléctrico y numerosos técnicos y personal del Consejo.

PREGUNTA. ¿Cómo ha sido su aterrizaje en el regulador español de la seguridad nuclear y la protección radiológica? ¿Cómo ha sido recibido?

RESPUESTA. Debo reconocer que tanto mis compañeros del Pleno, como el cuerpo técnico del CSN han propiciado que mi aterrizaje en el Consejo haya si-

do suave y agradable. Todas las semanas, para preparar los expedientes que llegan al Pleno, hago no pocas consultas –directamente o indirectamente a través de mis colaboradores– a los miembros del cuerpo técnico del CSN. Y siempre recibo respuestas prontas, con mucha amabilidad y con exquisito rigor, lo que me resulta de gran ayuda de cara a establecer criterios claros y fundamentados para establecer mi posición en la toma de decisiones. Es cierto que me hubiera gustado iniciar mi labor en julio de 2017, es decir, al mes siguiente de que mi predecesora en el cargo, Cristina Narbona, cesara en su puesto de consejera. Si así hubiera sido, hoy podría haber alcanzado un nivel de rendimiento mayor como regulador. No obstante, a pesar del retraso en el nombramiento, gracias al equipo más

cercano de secretaría y asesoramiento con el que cuento, a la formación recibida en la SALEM y que seguiré recibiendo en TECNATOM y, desde luego, a la disponibilidad que percibo entre los técnicos del CSN, mis progresos en la comprensión de lo que es y debiera ser la regulación de la seguridad nuclear y de la protección radiológica son significativos. Sí, creo que, poco a poco, voy acabando de dibujar en mi cabeza un mapa del estado del arte de la regulación en el CSN, de su funcionamiento interno y de quién es quién y de qué papel juegan en la compleja estructura en esta institución.

P. Una vez que está conociendo el regulador por dentro, ¿su llegada al CSN ha sido como esperaba?

R. Sí, en un cierto porcentaje. Llego al Consejo de Seguridad Nuclear tras una



Jorge Fabra Utray destacó en su toma de posesión la neutralidad, la transparencia y el rigor técnico como los tres aspectos "fundamentales" que deben estar en la labor diaria del Consejo de Seguridad Nuclear.

dilatada carrera profesional vinculada al mundo de la regulación energética. Por lo tanto, sabía que no ingresaba en un organismo ajeno a mi quehacer, a mis conocimientos y a mi experiencia.

P. ¿Qué es lo que más le ha llamado la atención del CSN como experto en regulación?

R. Los organismos reguladores y supervisores, tales como la Comisión Nacional del Mercado de Valores (CNMV), la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC), la Autoridad Independiente de Responsabilidad Fiscal

“La seguridad de nuestras instalaciones nucleares es la más llamativa y conocida. Pero, desde el CSN también velamos por el correcto funcionamiento de las instalaciones radioactivas”

(AIREF) o el Banco de España (BdE), por poner sólo algunos ejemplos, tienen muchos elementos comunes en su tarea reguladora –desde una perspectiva formal y metodológica– con la que también debe cumplir el CSN. Todos los organismos reguladores y supervisores deben hacer gala de independencia, neutralidad y transparencia en su proceder regulador. El CSN, en este sentido, tiene el deber de operar bajo esas mismas lógicas. Por consiguiente, estas cuestiones capitales no me han llamado la atención. Eran y son las que cualquier regulador con expe-

riencia tenía que esperarse encontrar en el CSN. Ahora bien, hay algo que sí me ha llamado la atención, y es la parte menos conocida, al menos por mí, del CSN: la protección radiológica. La seguridad de nuestras instalaciones nucleares es la más llamativa y conocida. Pero, desde el CSN también velamos por el correcto funcionamiento de las instalaciones radiactivas. Actualmente, hay más de 1.300 instalaciones en España. Una cantidad a la que hay que sumar más de 37.000 instalaciones de radiodiagnóstico registradas en nuestro país. Se trata, por tanto, de una importante labor que, creo, debe tener más visibilidad y reconocimiento social.

P. ¿Qué piensa que puede aportar al CSN dada su experiencia?

R. He tomado posesión del cargo de consejero del CSN siendo muy consciente de la responsabilidad que este nombramiento comporta. Un nombramiento que me ocupará poco más de un año para desarrollar mi labor teniendo clara una idea: que son muchas las perspectivas y los ángulos regulatorios desde los que puede ser abordada la cuestión de las radiaciones ionizantes. Digo esto porque es evidente que los riesgos de accidente, cuando trabajamos con radiaciones ionizantes, nunca pueden ser eliminados por completo. La regulación, la supervisión y los procedimientos nunca podrán garantizar la seguridad absoluta, simplemente porque nada hay que sea absoluto. Pero, sí, puede y debe disminuir los riesgos, minimizar las probabilidades de ocurrencia de accidentes, hasta aquellos niveles que sean asumibles por la sociedad respecto a los cuales el CSN debiera hacer un esfuerzo de percepción no ignorando los estados de la opinión publicada y de la opinión “encuestada”. Por otra parte, creo que podemos hacer un mayor esfuerzo para dar puntual y riguroso cumplimiento a las resoluciones de la Comisión de Energía del Congreso; utilizar la capaci-

dad legal que tiene esta institución, en el ámbito de sus responsabilidades, para proponer al Gobierno nueva reglamentación; elevar, en definitiva, los estándares de seguridad nuclear y radiológica. Ese debe ser un empeño prioritario, en mi opinión, porque no podemos dejar que la confianza en nuestros conocimientos técnicos y en nuestros procedimientos nos conduzca a su relajamiento. El margen de mejora y perfeccionamiento siempre existe. En el CSN y en cualquier otra institución.

P. ¿Qué fortalezas ve en el CSN que habría que potenciar y cuáles son los aspectos de mejora?

R. El alto nivel del cuerpo técnico y su experiencia, tanto de los técnicos como de los administrativos de esta casa, son encon-

“Nuestra gran materia prima es el conocimiento. Por lo tanto, la gestión del mismo debe ser un asunto prioritario”

miables. Sin duda, esta es la mayor fortaleza, en mi opinión, del CSN. En la otra cara de la moneda creo que hay margen de mejorar en materia de comunicación interna y externa, así como en el reforzamiento de la cultura de seguridad que, más allá de profesiones de fe al respecto, debe vincularse a los procedimientos de gestión de discrepancias técnicas, en mi opinión, todavía lejos de haber alcanzado un nivel de maduración suficiente que nos permita estar completamente seguros de que todos los conocimientos que esta casa acumula –inmensos– están siendo puestos al servicio de la cultura de seguridad, es decir, de la seguridad misma. Tenemos un parque nuclear envejecido, al

borde o por encima de los 40 años de operación, al que habrá que destinar más recursos, tanto económicos como humanos, para que la seguridad nuclear y radiológica no se resienta. Enfrentamos, por tanto, el desafío de regular reactores envejecidos, así como gestionar adecuadamente los residuos radiactivos que generan y su desmantelamiento. Algo que debemos abordar sin rebajar los más exigentes estándares en materia de seguridad nuclear y protección radiológica. Se trata de una labor que debe ser hecha de acuerdo con las normas, las buenas prácticas y las directrices y experiencias internacionales de seguridad consolidadas.

P. Se ha cumplido el séptimo aniversario del accidente en Fukushima. ¿Cree que hay un antes y un después en la regulación?

R. Sí, sin duda alguna. El desastre de Fukushima ha propiciado, al menos, una coordinación internacional reforzada y ha obligado a incrementar las medidas de seguridad.

P. ¿Cree que hay diferencias entre las distintas culturas de seguridad y de regulación en el panorama internacional en estos momentos?

R. No puedo afirmarlo con certeza, pero presumo que sí las hay. En cualquier caso, de lo que sí estoy casi seguro es de que, si las hubiera, estarán disminuyendo. En la Unión Europea han sido muy bienvenidas las dos directivas que buscan, precisamente, esta armonización internacional. Me refiero, más concretamente, a la Directiva 2014/87/Euratom del Consejo, de 8 de julio de 2014, por la que se modifica la Directiva 2009/71/Euratom, por la que se establece un marco comunitario para la seguridad nuclear de las instalaciones nucleares. Y también, por supuesto, a la Directiva 2011/70/Euratom del Consejo de 19 de julio de 2011, por la que se establece un marco comunitario para la gestión responsable y segura del combustible nuclear gastado y de los residuos radiactivos,

sin olvidar la Directiva 2013/59/Euratom del Consejo de 5 de diciembre de 2013, por la que se establecen normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes. Y pronto el Gobierno de España presentará un proyecto de Real Decreto de Seguridad Nuclear. El CSN deberá ser consultado y elevar su informe preceptivo. Es una oportunidad de mejora para incorporar en nuestro ordenamiento jurídico muchos de los elementos indicados por Bruselas.

P. ¿Qué le parece la colaboración entre el CSN y la universidad a través de las actuales cátedras?

R. La colaboración con la universidad la considero prioritaria. Es en la universidad donde está la cantera de nuestros futuros profesionales. Y es en el ámbito académico donde suelen producirse los grandes avances en materia de investigación. Por lo tanto, las relaciones con la universidad deben ser mimadas al máximo. El CSN tiene firmados cuatro convenios con tres universidades públicas españolas para la constitución de Cátedras, con el objetivo de promover la formación de profesionales altamente cualificados en seguridad nuclear y protección radiológica. Yo soy responsable de la gestión de la Cátedra Federico Goded, ubicada en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Politécnica madrileña. Ya he mantenido una fructífera reunión con los catedráticos Emilio Mínguez y Eduardo Gallego con el objetivo de buscar fórmulas para la renovación del convenio de colaboración y facilitar así que más estudiantes puedan beneficiarse de becas de doctorado, o para realizar proyectos fin de grado, proyectos fin de máster o investi-



En la imagen superior, el consejero Jorge Fabra durante la visita que ha realizado recientemente a las instalaciones de la central nuclear de Almaraz.

gar en materias relacionadas con la seguridad nuclear, la protección radiológica, la ingeniería nuclear, las emergencias y la protección física, u otros asuntos de especial interés para el CSN. Ojalá tanto económica como administrativamente podamos ampliar este tipo de colaboraciones. Espero que las dificultades presupuestarias del Estado y el modo en que son gestionadas no dificulten la continuidad del apoyo del CSN a las cátedras con las que tenemos firmados convenios de patrocinio y colaboración.

P. Respecto a I+D+i, ¿cree que hay más vías de colaboración para ampliar estas actividades en relación con el CSN?

R. Sin I+D+i no hay progreso, ni avance. Siempre hay nuevas vías para investigar, para innovar. Por eso creo que es indispensable apostar por la investigación, especialmente cuando hablamos de materias científicas y tan técnicas como son la seguridad nuclear y la protección radiológica. El CSN cuenta con un exhaustivo Plan de I+D para el período 2016-2020, dirigido a mejorar el conocimiento téc-

nico y científico necesario para el regulador, que, como era previsible, ha sufrido importantes cambios en los últimos tiempos debido, por un lado, a las lecciones aprendidas del accidente de Fukushima, y, por otro lado, a la cada vez más presente y necesaria cooperación a nivel nacional e internacional en lo referente a I+D. Es previsible que, a medida que se afrontan los actuales retos reguladores, se vayan generando nuevas lagunas de conocimiento, que sólo podrán cubrirse recurriendo a la investigación, al desarrollo y a la innovación.

P. Se están produciendo numerosas jubilaciones en el CSN y, aunque hay incorporaciones nuevas y otras en cartera, ¿considera que la transmisión del conocimiento va a ser una de las políticas más necesarias a medio plazo en organizaciones tan técnicas como el CSN?

R. Este es un asunto que preocupa no sólo al CSN, sino, también, al Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y a la Agencia para la Energía Nuclear (NEA) de la OCDE. Es una de

“El cuerpo técnico del CSN evalúa la solicitud de la autorización de construcción del ATC”

–Hay ahora asuntos en los medios de comunicación que de distintas maneras afectan al CSN: la actual situación del licenciamiento del futuro Almacén Temporal Centralizado (ATC) en Villar de Cañas (Cuenca), los planes para abrir una explotación de uranio en Retortillo/Santidad (Salamanca), y los residuos de Palomares (Almería) sobre los que la anterior administración norteamericana de Obama y el Gobierno español llegaron a un acuerdo para su retirada. ¿Quiere decir algo sobre estos asuntos?

–Tal y como aseguré durante mi comparecencia parlamentaria en noviembre de 2017, no quisiera pronunciarme sobre ninguno de esos temas hasta que no lleguen al Pleno los expedientes y los estudie pormenorizadamente.

En estos momentos, el cuerpo técnico del Consejo está evaluando la solicitud de la autorización de construcción del Almacén Temporal Centralizado (ATC) solicitada por Enresa en enero de 2014. Desde julio de 2015, cuenta con el informe favorable del CSN para el emplazamiento, aunque todavía ni el Ministerio de Agricultura y

Pesca, Alimentación y Medio Ambiente le ha concedido la Declaración de Impacto Ambiental, ni el Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital le ha otorgado tal autorización administrativa. Creo, eso sí, que para realizar adecuadamente el licenciamiento de esta instalación nuclear, España debería contar con un Plan General de Residuos Radiactivos (PGRR) actualizado a 2018, porque el actual Plan, el que tenemos vigente, data de hace más de 12 años. Fue aprobado en 2006. El contexto del sector nuclear era muy diferente al actual. Mantengo la misma posición con respecto a la mina y a la planta de procesamiento de uranio que la empresa australiana Berkeley pretende explotar en la provincia de Salamanca: esperaré a que el cuerpo técnico del CSN eleve su informe al Pleno sobre la autorización de construcción. Y, en ese momento, con toda la documentación e información sobre la mesa, votaré en consecuencia.

Sobre el tema de los terrenos contaminados en Palomares, el CSN tiene un papel muy limitado, circunscrito a informar sobre las cuestiones relativas a la seguridad radiológica. Desde ese accidente militar aéreo, hace 52 años, se viene desarrollando en esta zona un programa de vigilancia radiológica. El 17 de diciembre de 2004, el Consejo de Ministros aprobó la realización de un plan de investigación energética y medioambiental en materia de vigilancia radiológica, la expropiación forzosa de los terrenos previsiblemente afectados y la restricción de uso de otros donde hubiese indicios de contaminación. El CIEMAT inició las actividades de este plan en 2006, realizando la caracterización radiológica en superficie y en profundidad de una extensión de 660 hectáreas aproximadamente, y en abril de 2009 presentó el informe final al CSN. Por su parte, el CSN realizó un análisis del informe final de caracterización radiológica de la zona de Palomares y, una vez concluido, soli-

(Sigue en la página 19)



El consejero Fabra considera que la colaboración con la universidad es prioritaria y que en el ámbito universitario “está la cantera de nuestros futuros profesionales”.

(Viene de la página 18)

citó al CIEMAT la elaboración de un plan específico para la restauración de las zonas afectadas, incluyendo los objetivos finales de descontaminación.

El CIEMAT presentó en 2010 al CSN un plan preliminar de rehabilitación, que fue apreciado favorablemente, y cuya puesta en marcha ha sido recientemente exigida por la organización Ecologistas en Acción.

–¿Y sobre la decisión del Gobierno de cerrar la central nuclear de Santa María de Garoña, tras autorizar su explotación con condiciones el CSN?

–Al parecer las empresas propietarias de Garoña, Iberdrola y Endesa, no quisieron realizar las cuantiosas inversiones en seguridad que requería la vuelta a operación de esa planta. En consecuencia, sin inversiones en seguridad, prioritarias e innegociables, era imposible generar electricidad con esa instalación. A día de hoy, tras la denegación del Gobierno de España en agosto de 2017, de la solicitud de renovación de la explotación de la CN de Santa María de Garoña, disponemos de cinco centrales nucleares en operación, con un total de siete reactores que suman

una potencia nominal de 7.400 MW y una edad media de funcionamiento de 37 años. Enfrentamos, por tanto, el desafío de regular reactores envejecidos, así como gestionar adecuadamente los residuos radiactivos que generan y su desmantelamiento. Algo que debemos abordar sin rebajar los más exigentes estándares en materia de seguridad nuclear y protección radiológica.

Todos los países tienen derecho a utilizar las radiaciones ionizantes con fines médicos, industriales o para producir energía eléctrica. Pero todos los que opten por esta vía deben estar obligados a hacerlo con las máximas garantías, capacitando al número necesario de ingenieros, físicos, químicos, biólogos, médicos, juristas y expertos en diferentes disciplinas, capaces de construir y desarrollar una sólida infraestructura técnica y regulatoria. Se trata de una labor que debe ser hecha de acuerdo con las normas, las buenas prácticas y las directrices y experiencias internacionales de seguridad consolidadas. Garoña debería servirnos como ejemplo para aprender lecciones de lo que se ha hecho bien, de lo que no se hizo bien y de lo que pudiera haberse hecho mejor.

“Garoña debería servirnos de ejemplo para aprender lecciones”

las cuestiones más importantes que se están tratando a nivel internacional, junto con el reforzamiento de la cultura de seguridad. Nuestra gran materia prima es el conocimiento. Por lo tanto, debe ser un asunto prioritario. Afortunadamente, durante los últimos años ha habido un importante proceso de renovación y rejuvenecimiento de la plantilla, que se verá reforzado próximamente con la convocatoria de nuevas oposiciones para ingresar en el cuerpo técnico del CSN.

P. ¿Cómo cree que se refuerzan los estándares de independencia y transparencia que ha alcanzado el CSN? ¿Qué trabajo queda por hacer en estas materias?

R. Lo dije durante mi discurso de investidura. En materia de neutralidad, de independencia y de transparencia siempre hay espacio para la mejora. Creo

que existen tres bienes intangibles que deben servir para construir la buena reputación y la credibilidad del organismo regulador. En primer lugar, la neutralidad en su toma de decisiones, definida por la independencia del Gobierno. Pero por encima de todo, la independencia de las empresas reguladas, es decir, de los titulares con el Gobierno coincidimos en lo que es esencial: en la responsabilidad compartida de defender los intereses generales. Con las empresas, no. A las empresas les corresponde legítimamente defender sus intereses privados. Con esto no quiero decir (no se me mal entienda) que sus intereses no tengan por qué no converger con el de los ciudadanos, pero, –es obvio– su perspectiva es distinta. En segundo lugar, la transparencia, con el objetivo de generar confianza dentro y

fuera de estas paredes. Un asunto que tiene mucho que ver con una buena comunicación, tanto interna como externa. Y, en tercer lugar, el rigor técnico en el desempeño de nuestras funciones de supervisión, de evaluación, de inspección y de regulación, orientadas a cimentar la cultura de seguridad de los titulares de instalaciones nucleares y radiactivas... pero desde luego, también orientadas a cimentar la cultura de seguridad dentro del propio CSN. Y digo esto porque, en mi opinión, sobre la seguridad nuclear y radiológica no caben interferencias: la seguridad y la protección no deben encontrarse con obstáculos. La seguridad y la protección no deben ser eclipsadas por ningún otro elemento que les sea ajeno. Dicho de otra manera: la seguridad debe ser la prioridad única.

La SEP, más allá de la gestión de riesgos nucleares y radiológicos

Probablemente lo que más llame la atención de esta subdirección sea la gestión de las emergencias, es decir, las amenazas y los riesgos que puedan producirse dentro del ámbito nuclear y radiológico, que son siempre una prioridad.

Pero la subdirección de Emergencias y Protección Física (SEP) tiene un papel más amplio dentro del organismo regulador; de su actuación evaluadora

hasta ser la encargada de tejer y mantener la red de colaboradores del CSN con otros departamentos del Ejecutivo, como los ministerios de Energía e Interior, o las subdelegaciones del Gobierno, entre otros.

■ Texto **Adriana Scialdone** | Área de Comunicación del CSN | ■

Cuando oímos por primera vez hablar del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), sin duda, lo que más interés despierta en la población es el término ‘Seguridad Nuclear’ y, una vez medidos en materia, la palabra ‘emergencias’ es definitivamente lo que más preocupa dentro de la labor del organismo regulador. Pero, aparte de las emergencias, ¿sabemos lo que es la protección física?

Justamente es la subdirección de Emergencias y Protección Física (SEP) la que engloba dos de las mayores preocupaciones de la población respecto al tema nuclear y radiológico y, además, sus funciones van más allá de su nombre, puesto que detrás de esta subdirección se esconde el resultado de muchos años de trabajo y la fórmula que hace que, cuando hay una emergencia, todo el sistema de coordinación entre distintos organismos funcione a perfección.

Pero, vamos por partes. Empecemos por la seguridad física, uno de los estándares de esta subdirección y un término poco conocido entre los ciudadanos. La seguridad física de las instalaciones, los materiales nucleares y las fuentes radiactivas es la prevención, detección y respuesta de actos malévolos contra el material nuclear o radiactivo y sus instalaciones y actividades asociadas.

La protección física en España se ha ido desarrollando y fortaleciendo de forma paralela y similar a como lo ha hecho el régimen internacional de seguridad física nuclear. Pero hubo varios puntos de inflexión; el primero, el 11 de septiembre de 2001, cuando ocurrieron los atentados terroristas de Nueva York y Washington. A partir de este momento, el CSN, de acuerdo con el Ministerio de Interior,

El organismo regulador, a través de la SEP, mantiene una estrecha colaboración con el CNPIC, con objeto de reducir en lo posible el riesgo de ataques cibernéticos

aprobó el modelo integrado de seguridad física de las instalaciones nucleares, basado en tres pilares: el sistema de protección física de la instalación, bajo la responsabilidad del titular de la misma; el plan exterior de respuesta y apoyo, bajo la responsabilidad de las unidades de las fuerzas de seguridad en la demarcación territorial donde se emplazan las instalaciones nucleares, y el programa de infor-

mación e inteligencia, bajo la responsabilidad del Estado.

Posteriormente, en 2005, la comunidad internacional de manera consensuada dio un nuevo giro a estas políticas con la aprobación de la Enmienda de la ‘Convención sobre la protección física del material nuclear’ y que España aceptó en 2007. Diez años después, en diciembre de 2015, la Secretaría de Estado de Seguridad, con la colaboración del Consejo de Seguridad Nuclear, aprueba la ‘Amenaza Base de Diseño’ para las centrales nucleares de potencia y para aquellas otras instalaciones nucleares que legalmente se determinen. En esta ‘Amenaza Base de Diseño’ confidencial, se contemplan todos los riesgos que representan los actos malintencionados potencialmente factibles con respecto a ataques a las instalaciones mencionadas. Los sistemas y efectivos de seguridad han de ser capaces de hacer frente con éxito a estas amenazas. A raíz de la aprobación de la ‘Amenaza Base de Diseño’ se ha reforzado el Modelo de Seguridad Física de las centrales nucleares, con el despliegue permanente de efectivos de la Guardia Civil en el interior de las instalaciones, en el que ha tenido un papel fundamental la SEP. El CSN forma parte de la Comisión Nacional de Protección de Infraestructuras Críticas,

así como del Grupo de Trabajo Interdepartamental para la Protección de Infraestructuras Críticas y colabora activamente con el Centro de Protección de Infraestructuras y Ciberseguridad (CNPIC), en la implantación y desarrollo del sistema nacional de protección de estas infraestructuras.

La ciberseguridad es un concepto global que contempla diversos aspectos y es por ello por lo que el organismo regulador, a través de la SEP, mantiene una estrecha colaboración con el CNPIC, con objeto de reducir en lo posible el riesgo de ataques cibernéticos, imponiendo condiciones específicas sobre los sistemas informáticos que soportan los relacionados con la seguridad nuclear, la protección radiológica, las emergencias y la seguridad física de las instalaciones nucleares.

El Sistema Nacional de Emergencias

En los últimos años, la SEP ha ido tejiendo una red de colaboradores y apoyos que son imprescindibles a la hora de tener una buena coordinación en una emergencia nuclear o radiológica. Hay

varios ejemplos de la cantidad de apoyos externos que posee el organismo regulador; la colaboración con la Dirección General de Protección Civil y Emergencias (DGPCE) perteneciente al Ministerio de Interior, que se encarga de mantener la eficacia de los Planes de Emergencia Nuclear Exterior (PEN), así como del funcionamiento de las estaciones de la Red de Alerta a la Radiactividad. Las comunidades autónomas de Extremadura, Valencia, Cataluña y País Vasco que complementan la red propia del CSN de estaciones automáticas de vigilancia radiológica en emergencias. También la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), que regula las actividades conjuntas de ambas instituciones en materia de información meteorológica.

En el caso de emergencias radiológicas, se cuenta con la colaboración de los grupos de intervención radiológica de las comunidades, así como con su apoyo en las actuaciones que se realicen en campo, con la participación directa de personal del organismo regulador.

Por supuesto, la Unidad Militar de Emergencias (UME) como apoyo logístico

de comunicaciones, transporte y cesión de la sala de emergencias de respaldo (Salem-2); Enresa, con respecto a la retirada de residuos radiactivos derivados de las actuaciones en emergencias; Ciemat, con relación a las mediciones radiológicas en el terreno y el Instituto Nacional de Gestión Sanitaria, como apoyo para el control dosimétrico de los intervinientes en emergencias, son cuatro de los pilares con los que cuenta el regulador.

Por otra parte, esta subdirección es la encargada de mantener en perfecto estado de funcionamiento más de 8.000 equipos radiométricos (dosímetros, radiómetros, contaminómetros, espectrómetros, etc.), que están distribuidos por toda la geografía nacional para su utilización en caso de necesidad en emergencias nucleares o radiológicas.

Con respecto a las actuaciones en el marco del organismo regulador, en los últimos años la SEP ha desarrollado un programa de actividades para controlar y supervisar la implantación de mejoras en los planes de formación, entrenamiento, equipamiento e infraestructuras asociadas a la gestión de emergencias de



Desde la subdirección de Emergencias y Protección Física (SEP) se trabaja en el estudio de nuevas tendencias y propuestas de mejora centradas en su adaptación a la evolución de las nuevas tecnologías y también en la respuesta a sus amenazas asociadas.

Entrevista a Miguel Calvín, subdirector de Emergencias y Protección Física

“Tras Fukushima, en las centrales nucleares españolas tenemos unas medidas de seguridad muy exigentes”

Miguel Calvín es licenciado en Ciencias Físicas y diplomado en Técnicas Directivas y en Planificación y Administración de Empresas. Además, posee un máster ejecutivo en Dirección de Sistemas de Emergencias y en Seguridad Corporativa. Calvín inició su recorrido profesional en 1981 en una empresa privada de ingeniería e inspección de la industria nuclear, siendo su primer destino la central nuclear de Cofrentes en la etapa de su construcción y pruebas. Diez años después, ingresó en el Cuerpo Técnico Superior del Consejo de Seguridad Nuclear. Tras desempeñar diversas funciones relacionadas con la evaluación y control de los sistemas de calidad, planificación, inspección y emergencias, en 2013 fue nombrado subdirector de Emergencias y Protección Física, cargo que ocupa desde entonces.

PREGUNTA. Usted lleva veintiocho años dentro del organismo regulador y más de cuatro años ejerciendo de subdirector de la Subdirección de Emergencias y Protección Física (SEP). ¿Cuál cree que ha sido la tarea más difícil a la que se ha enfrentado como subdirector de este área?

RESPUESTA. Realmente, en estos últimos años las tres tareas que han sido más complejas de llevar a cabo en la subdirección han sido la adaptación del nivel de respuesta interior de los titulares de las centrales nucleares a los requisitos post Fukushima, el diseño y articulación del nuevo modelo de seguridad física aplicable en las centrales nucleares y el establecimiento de los criterios de seguridad física de las fuentes radiactivas.

El primer caso ha supuesto esfuerzos importantes de evaluación, supervisión y control por parte de los técnicos de la subdirección, ya que los titulares han tenido que realizar desde cambios organizativos y de recursos humanos



Desde la SEP, el equipo que dirige Miguel Calvín se enfrenta a los retos post Fukushima y de ciberseguridad en materia de Emergencias y Protección Física.

profundos, hasta modificaciones sustanciales en sus procedimientos de actuación, pasando por el diseño, construcción y puesta en marcha de infraestructuras y sistemas de seguridad importantes.

En cuanto a la dificultad que ha entrañado el llevar a cabo las tareas de seguridad física, hay que indicar la gran complejidad que ha supuesto y supone resolver las interacciones con otras autoridades competentes en la materia, así como abordar las modificaciones reglamentarias y normativas que de su implantación se han derivado. La articulación de la participación del CSN en el Sistema Nacional de Emergencias es un tema importantísimo, pero su consolidación no ha supuesto dificultades excesivas, aunque haya que continuar mejorando sus hitos asociados: Plan y organización de respuesta ante emergencias, Salem y el tejido de colaboraciones y apoyos externos.

P. Desde su perspectiva, ¿cómo ha evolucionado la respuesta ante emergencias desde el accidente de Fukushima en 2011?

R. Se puede decir, sin ningún género de dudas, que existe

(Sigue en la página 23)

los titulares de las centrales nucleares, todas ellas derivadas de las lecciones aprendidas post Fukushima.

Asimismo, la SEP tiene otro frente abierto en el ámbito internacional tan

importante como el nacional y es seguir e implantar en el marco del Sistema Nacional de Emergencias las nuevas tendencias internacionales en la preparación, planificación y respuesta ante

emergencias nucleares y radiológicas. Desde esta subdirección se participa en los foros internacionales (OIEA, HERCA, WENRA NEA-OCDE,) que analizan y ponen en común las experiencias

(Viene de la página 22)

un antes y un después en la planificación, preparación y respuesta ante emergencias tras Fukushima.

En estos últimos años ha habido una auténtica movilización a nivel internacional de organismos y asociaciones de reguladores competentes en materia de emergencias (Comisión Europea, OIEA, OCDE/NEA, HERCA, WENRA), al que el CSN, como organismo regulador español, se ha sumado y que ha tenido como consecuencia la implantación por parte de las centrales nucleares españolas de unas medidas muy exigentes.

A modo de resumen, en cuanto al nivel de respuesta interior han sido construidas nuevas infraestructuras tales como un Centro de Apoyo a Emergencias, Centros Alternativos de Gestión de Emergencias y helipuertos en todas las centrales nucleares, se han dotado a los emplazamientos de equipamientos portátiles complementarios para mitigar las posibles consecuencias de los accidentes, se han ejecutado importantes modificaciones de diseño que disminuyen la probabilidad de accidentes como los de Fukushima, y además se han revisado los procedimientos y guías de respuesta e incrementado los recursos destinados a la organización de respuesta de los titulares en base a las más recientes recomendaciones internacionales. Adicionalmente a todo lo anteriormente expuesto, el CSN ha propiciado la colaboración de la Unidad Militar de Emergencias con las centrales nucleares para su posible intervención en el interior de los emplazamientos en caso de situaciones de gravedad extrema, lo cual incrementa sus capacidades de respuesta con el objetivo de evitar o disminuir al mínimo las posibles consecuencias radiológicas en el exterior de las instalaciones derivadas de un accidente nuclear.

Con respecto al nivel de respuesta exterior, actualmente tenemos pendiente incorporar las lecciones aprendidas tras Fukushima y las recomendaciones internacionales que se han derivado de las mismas en el Plan Básico de Emergencia Nuclear y en la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante Riegos Radiológicos, para lo que el CSN está colaborando intensamente con la Dirección General de Protección Civil y Emergencias del Ministerio del Interior. En este aspecto además se cumpliría con la traspo-

sición de la Directiva 2013/59/EURATOM.

P. ¿Cuáles son, a su juicio, los principales retos a los que se enfrenta su subdirección?

R. La Directiva 2013/59/EURATOM y las lecciones aprendidas post-Fukushima suponen cambios profundos en la preparación, planificación y respuesta ante emergencias nucleares asociados al nivel de respuesta exterior que tendrán que quedar plasmados en el nuevo Plan Básico de Emergencia Nuclear y en los planes directores que lo desarrollen. Estos cambios también afectarán de manera significativa al actual *modus operandi* del CSN, por lo que se requerirán nuevos medios de apoyo, fundamentalmente en la respuesta exterior en campo, así como una mayor cooperación internacional.

En cuanto al desarrollo normativo, debemos completar el marco normativo en emergencias y sobre todo en seguridad física. En esta última disciplina, una vez desarrollado el aplicable a las instalaciones nucleares y fuentes radiactivas, hay que afrontar el correspondiente al transporte de material nuclear y radiactivo, al control de la información sensible y al de la ciberseguridad, en este caso en estrecha colaboración y siguiendo las directrices de las autoridades nacionales competentes en la materia, al tratarse de una problemática general que abarca a instituciones, empresas y administraciones del conjunto del Estado.

Otro reto importante es el refuerzo del papel que tiene el CSN en el Sistema Nacional de Emergencias. En este contexto se está abordando un proyecto ambicioso de renovación de la red de estaciones automáticas de vigilancia radiológica para orientarla a funcionalidades más propias de la respuesta ante emergencias y para mejorar sus capacidades de detección y de comunicación. En este mismo reto también cabe destacar la mejora continua de las herramientas, aplicaciones e infraestructura de nuestra Salem, y digo continua porque, desde el 2006, año de su inauguración, se han realizado más de una treintena de mejoras significativas.

Por último, quisiera indicar que estos retos serían imposibles de llevar a cabo sin la profesionalidad, buen hacer y compromiso con la institución de todos los técnicos y personal de apoyo que forman parte de la Subdirección de Emergencias y Protección Física. 

en diferentes países y extraen conclusiones y recomendaciones que pueden ayudar a mejorar la eficacia y la efectividad de la participación del CSN en el Sistema Nacional de Protección Civil.

En esta subdirección son conscientes de que se enfrentan a un futuro en el que todavía queda mucho por hacer para mantener la eficacia de los planes de emergencias y seguridad física, por lo que

siguen trabajando en el estudio de nuevas tendencias y propuestas de mejora centradas en su adaptación a la evolución de las nuevas tecnologías y también en la respuesta a sus amenazas asociadas. 



El CSN acoge la reunión preparatoria de las misiones IRRS y ARTEMIS del OIEA

De acuerdo con las disposiciones legales establecidas en la normativa de ámbito comunitario europeo (Directivas 2014/87/Euratom y 2011/70/Euratom), España, como todos los Estados Miembros de la Unión Europea, debe llevar a cabo autoevaluaciones de sus marcos nacionales, sus autoridades reguladoras competentes y sus programas nacionales cada diez años, e invitar a una revisión internacional inter pares,

con el fin de mejorar constantemente la seguridad nuclear y asegurar que se alcanzan altos niveles de seguridad en la gestión de combustible nuclear gastado y los residuos radiactivos.

■ Texto **Isabel Villanueva** | Jefa de la Unidad de apoyo a la Secretaría General | **Diego Encinas** | Asesor | **Jacobo Zegri** | Asesor | ■



La sede del CSN acogió, durante los pasados 25 y 26 de enero, el *preparatory meeting*, sesiones en la que se acordaron todos los aspectos necesarios para el correcto desarrollo de la misión IRRS-ARTEMIS en el próximo mes de octubre de 2018.

ve *Waste and Spent Fuel Management, Decommissioning and Remediation*, por sus siglas en inglés) cubren el marco y la estrategia nacional en relación a la gestión segura de residuos radiactivos y combustible nuclear gastado.

El CSN, como único organismo competente en España en materia de seguridad nuclear y protección radiológica, tiene un papel prioritario en la preparación y desarrollo de la misión IRRS, mientras que el Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital (MINETAD) y la empresa nacional de residuos radiactivos (ENRESA) tienen un papel fundamental en la preparación y desarrollo de la misión ARTEMIS. Además de estas instituciones, también están involucradas otras como el Ministerio de Asuntos Exteriores y Cooperación (MAEC), el Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad (MSSSI) o el Ministerio de Fomento, por lo que la ejecución de estas misiones de forma coordinada precisa una óptima cooperación y colaboración entre todas ellas.

Las revisiones *inter pares* no son ni una inspección, ni una auditoría, sino un mecanismo de aprendizaje mutuo que acepta diferentes enfoques de la organización y práctica de una autoridad reguladora competente y en las que, al mismo tiempo, se examinan las cuestiones reglamentarias, técnicas, y políticas de los Estados miembros que contribuyen a garantizar un sistema de seguridad nuclear firme. Por tanto, deben ser consideradas una oportunidad de mejora, de intercambio de experiencias

Para dar respuesta a las obligaciones que emanan de las directivas comunitarias, los estados miembros, de acuerdo con lo establecido en el preámbulo de las directivas y compromisos alcanzados en el seno del grupo de reguladores europeos (ENSREG, por sus siglas en inglés), utilizarán mediante solicitud formal los servicios de revisión inter pares auspiciados por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Estos, tienen por objeto ayudar a los Estados a evaluar el grado de cumplimiento y mejorar la eficacia de las in-

fraestructuras legislativas, reguladoras y organizativas, respecto a las normas básicas del OIEA en materia de seguridad nuclear, protección radiológica y gestión segura del combustible nuclear gastado y de residuos radiactivos. En particular, las misiones IRRS (*Integrated Regulatory Review Service*, por sus siglas en inglés) cubren todos los aspectos reguladores relacionados con la seguridad nuclear y protección radiológica de todo tipo de instalaciones, actividades y prácticas, mientras que las misiones ARTEMIS (*Integrated Review Service for Radioacti-*

profesionales y de puesta en común de las lecciones aprendidas y buenas prácticas.

Fase de autoevaluación

Una vez se realizó la petición formal por parte del Estado Español al OIEA, siguiendo el procedimiento establecido en las guías oficiales correspondientes, se inició un periodo de preparación de la misión, que ha tenido como eje principal la realización de una autoevalua-

Las 'revisiones inter pares' deben considerarse una oportunidad de mejora, de intercambio de experiencias profesionales y de puesta en común de las lecciones aprendidas y buenas prácticas

ción. En un primer momento, dentro del CSN, se formó un grupo de coordinación liderado por el consejero Javier Dies y la vicepresidenta Rosario Velasco que, conjuntamente con el secretario general Manuel Rodríguez y los directores técnicos Antonio Munuera y María Fernanda Sánchez, ha tenido como objetivo principal definir, coordinar, seguir y analizar todas las actividades relacionadas con la misión IRRS. En este sentido, la figura de ambos directores técnicos resulta de especial relevancia para la misión, puesto que han sido designados como *Liaison Officers* (directivos de enlace) para la parte IRRS.

La autoevaluación es una herramienta mediante la cual el CSN ha analizado el estado actual del organismo en relación con la implementación y cumplimiento de las normas básicas del OIEA, identificando fortalezas, debilidades, oportunidades de mejora, y amenazas. Este proceso de autoevaluación ha requerido una significativa dedicación del personal del CSN, puesto que ha significado una participación directa de, aproximadamente, cincuenta expertos.

La culminación de la autoevaluación ha resultado en el desarrollo de un Plan de Acción, mediante el cual se han señalado las acciones a acometer en base a las oportunidades de mejora, debilidades y amenazas identificadas en la autoevaluación. Una vez se apruebe dicho plan de acción por parte del Pleno del CSN, este servirá como hoja de ruta de las actividades a realizar



La culminación de la autoevaluación ha resultado en el desarrollo de un plan de acción, mediante el cual se han identificado las acciones a acometer en base a las oportunidades de mejora, debilidades y amenazas identificadas en la autoevaluación.

para mejorar la eficacia del organismo regulador.

Asimismo, una vez se reciba la misión IRRS, este Plan de Acción deberá ser sometido a revisión, a fin de actualizarlo e incluir las recomendaciones y sugerencias identificadas por el equipo revisor participante en la misión.

Toda la documentación que se está generando durante la fase de autoevaluación, basada en la respuesta por parte de España a un extenso cuestionario que compila todos los requerimientos de las normas básicas del OIEA, se remitirá tres meses antes de que comience la misión a dicho organismo internacional para facilitar el análisis y preparación de los expertos internacionales que componen el equipo revisor.

Organización previa

En el marco de la fase previa a la realización de la misión IRRS-ARTEMIS, existe un hito establecido en las guías oficiales del OIEA, que sirve, básicamente, de foro de presentación y discusión sobre los aspectos más relevantes del marco regulador del país anfitrión, incluyendo una primera aproximación a los resultados preliminares de la autoevaluación, en el que participan representantes del país anfitrión y los líderes del equipo de expertos revisor bajo la coordinación de representantes del OIEA.

Este hito recibe el nombre de *preparatory meeting* y, en el caso de España, se acogió por parte del CSN, en su sede, durante los días 25 y 26 de enero de 2018. En este encuentro participaron los líderes del equipo de expertos internacionales que conforman el equipo revisor (jefe del equipo revisor, jefe adjunto de la misión IRRS y jefe adjunto de la misión ARTEMIS), los coordinadores responsables del OIEA, los miembros del grupo de coordinación del CSN y representantes del Ministerio de Ener-

gía, Turismo y Agenda Digital (MINE-TAD), del Ministerio de Asuntos Exteriores y de Cooperación (MAEC), y de ENRESA, para concretar su papel durante ambas misiones.

El presidente del CSN, Fernando Marti Scharfhausen, dio la bienvenida a los asistentes a la reunión y destacó la importancia que tienen las dos misiones para seguir mejorando la infraestructura reguladora en materia de seguridad nuclear, protección radiológica y gestión segura del combustible nuclear gastado y residuos radiactivos. Por su parte, el jefe de la sección de actividades reguladoras del OIEA, David Senior, explicó los objetivos principales de la reunión y resaltó el gran valor añadido que tiene esta misión combinada para el OIEA y otros Estados pues es la primera

vez que ambas misiones se realizan de forma simultánea.

A continuación, se explicó el marco regulador en España a través de las presentaciones de MINETAD, CSN y ENRESA. Las presentaciones del CSN se realizaron por parte del consejero Javier Dies y del secretario general Manuel Rodríguez, abordando la descripción de la totalidad de instalaciones y actividades reguladas en España y la misión, funciones y actividades principales del Consejo de Seguridad Nuclear.

Durante la sesión de la tarde de la primera jornada, tras una presentación por parte del director técnico de Seguridad Nuclear y la directora técnica de Protección Radiológica sobre el desarrollo global del proceso de autoevaluación realizado por el CSN, expertos del CSN realizaron presentaciones con los resultados preliminares del proceso de autoevaluación de la parte IRRS.

Tal y como se requiere en las guías del OIEA, la autoevaluación de la IRRS está dividida en módulos específicos en función de la práctica reguladora para los que el CSN ha designado dos equipos independientes, uno de respuesta y otro de análisis con objeto de abordar con mayor garantía de independencia y objetividad el proceso de autoevaluación. Por otro lado, los representantes de MINETAD y ENRESA realizaron presentaciones análogas en relación con los resultados preliminares de la autoevaluación llevada a cabo para la parte ARTEMIS.

Finalmente, en el contexto de esta reunión, se acordaron todos los aspectos necesarios para el correcto desarrollo de la misión IRRS-ARTEMIS en el próximo mes de octubre de 2018.

Durante las jornadas, el jefe del equipo revisor (Estados Unidos) y el jefe adjunto de la misión IRRS (Australia) pudieron participar en la reunión vía remota.

IRRS previas en España

España ya acogió una misión IRRS de alcance total en el año 2008 y su correspondiente misión de seguimiento en 2011. En 2016, el gobierno de España solicitó al OIEA una nueva 'revisión inter pares', esta vez sin embargo, combinando la realización de una misión IRRS junto con una misión ARTEMIS para cumplir de una forma más eficiente con las obligaciones que emanan de las Directivas Euratom 2014/87 y 2011/70.

Esta misión combinada IRRS-ARTEMIS tendrá lugar, en España, del 14 al 26 de octubre de 2018, y será la primera vez que el OIEA realiza una misión de revisión de este tipo. ▶

Lise Meitner, fisión y humanidad



Entre 1921 y 1934, Meitner se convirtió en uno de los científicos más relevantes de Alemania, en uno de los campos de mayor interés: la radiactividad desde el aspecto físico, mientras Hahn hacía lo propio desde el químico, estableciendo así una de las primeras colaboraciones entre ambas disciplinas de la ciencia moderna.

Todo científico excepcional cuenta en su biografía con un hecho determinante que sitúa su nombre en la lista de investigadores dignos de un puesto de honor en la historia. Algunos de estos hechos quedan fijados y resumidos con más o menos puntería en la imaginaria popular: Einstein y la Teoría de la Relatividad, Darwin y El Origen de las Especies.

Meitner ha sido calificada como una de las científicas más importantes del siglo XX, haciendo así una injusta separación de sexos, pues si se tratara de juzgar solo el talento científico de una mente, sin importar el sexo del cráneo donde esté alojada, seguiría quedando entre los primeros lugares. Por otra parte, su excepcional talento suele ensombrecer su fuerza y su constancia. Porque, aunque contó con apoyo económico y familiar para cumplir su sueño de dedicarse a la investigación, en su biografía aparecen con agobiante frecuencia obstáculos suficientes como para acabar con una vocación menos firme que la suya.

Meitner nació en Viena en 1878, la tercera de los ocho hijos de Philipp Meitner, un abogado judío de Austria que, en contra de las opiniones mayoritarias de la época, defendía que mujeres y hombres debían recibir la misma educación, y suplió las barreras académicas pagando a sus hijas clases privadas. La inversión dio sus frutos, ya que tres hermanas de Lise también se graduaron, pero, ya en sus primeros años, esta mostró una particular inquietud intelectual. Su biógrafa Ruth Lewin Sime cuenta en el libro *Lise Meitner: a Life in Physics* una anécdota ocurrida cuando era una niña: su abuela le advirtió de que no debía ponerse a coser durante el *sabbath* “o los cielos se derrumbarán”. La pequeña Lise cogió sus avíos de cultura y, a escondidas, salió al jardín, donde dio una decidida puntada mientras observaba atentamente el cielo. Tras varias puntadas sin consecuencias visibles, siguió cosiendo tranquilamen-

te, apuntando en su interior la importancia de pasar cualquier información recibida por el tamiz de la comprobación personal.

El apoyo familiar continuó siendo decisivo cuando, en 1901, entró en la Universi-

Para acceder a la universidad de Viena en 1901, Lise Meitner tuvo que estudiar en veinte meses el equivalente a ocho años de docencia

dad de Viena. Austria había comenzado a admitir mujeres en sus facultades en 1897, pero el ingreso requería un certificado de estudios superiores, para el que Meitner tuvo que estudiar en veinte meses el equi-

En el caso de Lise Meitner, el hecho tiene una doble vertiente y no se entiende una sin la otra: la primera sería su papel en el descubrimiento de la fisión nuclear, y la segunda, cómo este papel fue ninguneado por la institución encargada de otorgar los galardones científicos más reconocidos del mundo.

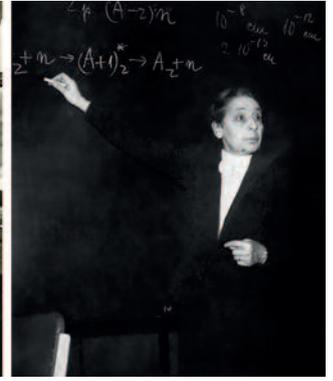
■ Texto **Vicente Fernández de Bobadilla** | Periodista ■

valente a ocho años de docencia. Una vez admitida, encontraría su primer mentor en la figura de Ludwig Boltzmann, quien le sugirió orientar su carrera hacia la Física; según recordaría su sobrino, el también físico Otto Frisch, “Boltzmann le dio la visión de la Física como una búsqueda de la verdad definitiva, y fue una visión que jamás perdió”. En 1906 se convirtió en la segunda mujer del mundo en obtener un doctorado en esta disciplina. Ese mismo año, Boltzmann se suicidó en Italia; aquella muerte, por motivos nunca completamente esclarecidos, llevó a Viena al presidente de la Sociedad Alemana de Física y uno de los físicos más ilustres de Europa, Max Planck. Tras conocer a Meitner, Planck le convencería para trasladarse a Berlín y realizar allí el postdoctorado.

Estaba claro que el padre de la teoría cuántica había visto en aquella joven algo que contradecía su convicción de que las mujeres debían quedarse relegadas al papel de esposa y ama de casa; algo que



En 1906, Lise Meitner se convirtió en la segunda mujer del mundo en conseguir un doctorado en Física. A la derecha, durante la Primera Guerra Mundial, en la que sirvió como radióloga en un hospital del frente.



En las imágenes superiores, de izquierda a derecha, Lise Meitner en un encuentro de físicos, en 1921, en Dahlem, con Neils Bohr en el frente; la investigadora, en su laboratorio, en 1938, y, por último, una imagen durante una clase magistral en el universidad de Princeton, en Estados Unidos.

también le llevó a convertirla en la primera mujer a la que concedió el privilegio de asistir a sus clases. El traslado no fue fácil para Meitner, que durante años dependió de la pensión que le enviaba su familia. Su talento no tardó en dar frutos: en 1909 publicó dos trabajos sobre radiación beta. Para entonces ya había comenzado a trabajar con un científico de su edad, especializado en química, el alemán Otto Hahn.

Ciencia a contra corriente

Fuera por ausencia de prejuicios o porque se dio cuenta de que había encontrado una colaboradora excepcional, el comportamiento de Otto Hahn fue una excepción a la misoginia que contaminaba todo el entorno científico de la Europa de principios de siglo. La correspondencia entre ambos y sus testimonios evidenciaban una fuerte conexión académica, profesional y personal: sus maneras de ser, tan opuestas –él era más abierto, ella padecía de una timidez exagerada–, se entendían y se complementaban como verdaderos amigos.

Pero su colaboración de igual a igual chocaba con los estamentos oficiales: en 1912, ambos se trasladaron al Instituto de Química Emil Fischer, que no admitía investigadoras. Meitner trabajó en un principio como ‘invitada’ en el departamento de radioquímica que Hahn dirigía, y habilitaron una carpintería en los sótanos del edificio para que le sirviera de laboratorio. Hahn podía moverse libremente por el

resto del edificio; Meitner solo podía hacerlo si él la acompañaba. Tampoco cobró ningún sueldo, y siguió sin cobrarlo cuando Hahn se trasladó en 1912 al recién creado Instituto de Química Kaiser Wilhelm y la llevó con él. Todo comenzó a cambiar ese año, cuando Max Planck la nombró su ayudante –primera mujer que ocupaba ese puesto– con el que llegó su primer salario; al año siguiente, tras recibir una oferta para trasladarse a Praga como profesora asociada, fue contratada por el Instituto, con laboratorio propio, pero con un sueldo inferior al de Hahn, situación que no cambiaría hasta 1917. Ese año, su descubrimiento, junto con Hahn, de un nuevo elemento de la tabla periódica, el protactinio, le valió recibir la Medalla Leibniz de la Academia de Ciencias de Berlín.

Entre 1921 y 1934, publicaría 56 trabajos científicos propios y, en 1926, se convirtió en la primera mujer admitida como

profesora de Física en la Universidad de Berlín. Los años de lucha parecían haber terminado. Meitner al fin estaba asentada como uno de los científicos más relevantes de Alemania y, además, en uno de los campos de mayor interés para la comunidad investigadora de toda Europa. Estudiaba la radioactividad desde el aspecto físico, mientras Hahn hacía lo propio desde el químico, estableciendo así una de las primeras colaboraciones entre ambas disciplinas de la ciencia moderna.

La Primera Guerra Mundial –en la que Meitner sirvió como radióloga en un hospital del frente austriaco– quedaba atrás y el tumultuoso escenario de la República de Weimar parecía impulsar la curiosidad y la vanguardia en la ciencia, las artes y la cultura. Fueron tiempos felices, con el intenso y gratificante trabajo de laboratorio y las reuniones vespertinas en casa de Planck, donde Meitner, Paul Ehrenfest, Einstein y otros físicos pasaban las horas charlando y escuchando música. Como un avance de lo que vendría después, llegaron también los primeros sinsabores: en 1923 Meitner descubrió el proceso de emisión electrónica no radiactiva por el cual la desaparición de un electrón interno de un átomo causa la emisión de un segundo electrón, y publicó su descubrimiento en la revista *Zeitschrift für Physik*, con un peso específico escaso dentro de la comunidad científica internacional. El hallazgo pasó lo bastante desapercibido co-

La investigadora rechazó la invitación a incorporarse al Proyecto Manhattan por no querer tener nada que ver con las aplicaciones bélicas de la energía atómica

mo para que, dos años después, el francés Pierre Victor Auger llegara por su cuenta al mismo resultado y se quedara con el mérito, gracias a que publicó su artículo en la revista *Radium*, de mucha mayor relevancia. Lo que pudo ser bautizado como Efecto Meitner se convirtió a partir de ese momento, y hasta hoy, en Efecto Auger.

El descubrimiento del neutrón a principios de los años 30 por James Chadwick y la posibilidad de crear en laboratorio elementos más pesados que el uranio, espoleó la carrera atómica internacional. Los contendientes incluían a Ernest Rutherford, en Inglaterra; Irène Joliot-Curie, en Francia; Enrico Fermi, en Italia, y el equipo Meitner-Hahn, en Alemania. El terreno inexplorado de un nuevo campo teórico de investigación, el ansia por descubrir y la sabrosa perspectiva de un hipotético premio Nobel eran las principales motivaciones de todos. Su aplicación bélica no estuvo nunca encima de ninguna de sus mesas, como no lo estaba para muchos, a pesar de unos signos progresivamente ominosos, la posibilidad de una nueva guerra.

Guerra y exilio

La posibilidad pasó a amenaza en 1933, con la llegada al poder de Hitler. Al principio, Meitner no se convirtió en un objetivo prioritario del nazismo por no ser ciudadana alemana ni judía practicante –se había convertido al luteranismo en 1908–, pero era solo cuestión de tiempo que llegarán hasta ella; cuando los primeros científicos judíos –entre ellos, su sobrino, Otto Frisch– fueron despedidos, su reacción fue encerrarse en su trabajo. Posteriormente reconocería que fue una equivocación y que tenía que haberse marchado inmediatamente.

En 1938, tras la anexión de Austria, la situación le explotó en la cara: convertida por la fuerza en ciudadana alemana, se encontró con su pasaporte invalidado y la prohibición de abandonar el país. La huida



Sobre estas líneas, Meitner junto al presidente Truman durante su visita a EE.UU. en 1946. En la imagen inferior, la estatua en su honor, situada en Denkmal Unter den Linden, en Berlín.

era la única solución. Niels Bohr le había invitado en más de una ocasión a dejar Alemania y establecerse en Copenhague y ahora, con la ayuda de otros físicos holandeses, colaboró en organizar su fuga. Dirk Coster viajó a Berlín para acompañarla en un viaje cuyo destino era Suecia, pasando previamente por Groningen y Copenhague, y Hahn le regaló un anillo de diamantes



que había pertenecido a su madre, por si tenía que sobornar a los guardias fronterizos. No fue necesario y Meitner lo conservaría el resto de su vida.

Al llegar a Estocolmo descubrió que la misoginia había dejado de ser para ella un fantasma del pasado. Aunque consiguió trabajo en el laboratorio de Manne Siegbahn, uno de los principales físicos suecos, “ni solicitó entrar en el grupo de Siegbahn, ni se le dieron los recursos para crear uno propio; tenía espacio de laboratorio, pero no tenía colaboradores, equipo ni soporte técnico, ni siquiera su propio juego de llaves”, escribe Ruth Lewin Sime. Su verdadero trabajo seguía estando en Alemania y lo desarrolló a través de una abundante correspondencia con Hahn y Fritz Strassman, en la que se proponían nuevos experimentos y se analizaba el desarrollo de los que estaban en marcha. Incluso llegó a reunirse clandestinamente con Hahn en Copenhague en el mes de



Meitner recibió 21 premios y reconocimientos por su labor, e impartió clases en la universidades más importantes del mundo; el elemento meitnerio de la tabla periódica se llama así en su honor, y hay cráteres con su nombre en la Luna y en Venus. Y, a pesar de todo, siempre mantuvo su amistad con Hahn.

noviembre. Este estaba dispuesto a llegar a dónde hiciera falta para no permitir que la distancia le arrebatase a su colaboradora y su igual.

De regreso a Berlín, poco después de ese encuentro en Copenhague, llegó el hallazgo: Hahn y Strassmann bombardearon con neutrones el núcleo de un átomo de uranio y consiguieron un resultado que no estaban seguros de querer explicar; el neutrón había desestabilizado el núcleo hasta el punto de romper su número atómico y alterar su comportamiento químico, dividiéndolo en dos elementos nuevos. Era absurdo pensar que Hahn carecía del genio para barruntar lo que parecía haber ocurri-

do, pero la carta que envió inmediatamente a Meitner donde le explicaba los pormenores del experimento y pedía su colaboración para explicarlo muestra hasta qué punto seguía necesitando su opinión. “Si tienes alguna propuesta que puedas publicar, seguiría siendo en cierto modo un trabajo de los tres”. Meitner la tenía; durante un paseo por la nieve en la localidad sueca de Kungälv, junto con Otto Frisch, desarrollaron su interpretación del experimento, que Frisch corroboraría en enero de 1939 mediante experimentación directa. Y la explicación pasaba por el uso, por primera vez en la historia, del término ‘fisión nuclear’, de la eyección de neutrones y de una gran cantidad de energía que compensaban la pérdida de masa. Meitner fue también la primera en darse cuenta de que esta conversión de masa en energía se explicaba mediante la famosa ecuación de Einstein $E = mc^2$.

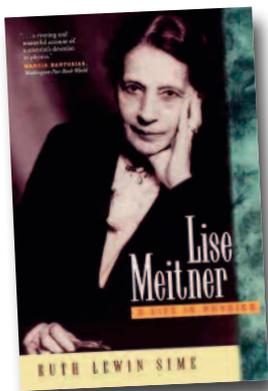
Pero en aquel experimento se dividieron más cosas además del núcleo de uranio. Hahn y Strassmann publicaron los resultados en *Naturwissenschaften*, el 6 de enero de 1939, sin mencionar a Meitner y Frisch. Estos publicaron su interpretación del mismo en *Nature*, en

febrero del mismo año. La colaboración parecía haberse roto. Lise, en una carta a su hermano Walter, escribió: “Hahn acaba de publicar unas cosas maravillosas basadas en nuestro trabajo conjunto... Aunque estos resultados me hagan sentirme feliz por Hahn, tanto personal como científicamente, mucha gente debe creer que no contribuí en absoluto a conseguirlos... Me siento muy desanimada”.

Rechazo al Proyecto Manhattan

Ha habido muchas especulaciones sobre los motivos que tuvo Hahn para regatear los méritos de su colaboradora y amiga: celos personales, miedo a soliviantar a las autoridades nazis por colaborar con una judía, o la tentación de eliminar cualquier sombra que le restara mérito a su entrada triunfal en la historia de la ciencia.

Fuere como fuera no fue un arrebato espontáneo: en los años siguientes continuó promocionándose y minusvalorándola. “En ningún momento del trabajo tuvimos que recurrir a la física”, llegó a escribir en 1939. Mientras, el artículo de Meitner impulsó a un grupo de científicos a solicitar a Albert Eins-



‘Lise Meitner: a life in Physics’ (Lise Meitner: una vida dedicada a la Física), de la escritora Ruth Lewin Sime, se considera la biografía más completa sobre la vida y el trabajo de la investigadora de origen austriaco.

tein que escribiera una carta al presidente Roosevelt advirtiendo sobre el potencial destructivo del descubrimiento, pues la energía liberada por el mismo podía multiplicarse hasta conseguir bombas de enorme poder destructivo. Una carta que daría lugar al desarrollo del Proyecto Manhattan, y a una oferta para que Meitner se incorporara al mismo, que rechazó por no querer tener nada que ver con las aplicaciones bélicas de la energía atómica.

Una vida dedicada a la ciencia

En total, Lise Meitner recibió 21 premios y reconocimientos por su labor, incluidos cinco doctorados honorarios y la membresía de muchas academias. En 1945 entró en la Real Academia Sueca de Ciencias, y en 1947 se creó para ella un puesto específico en el University College de Estocolmo, con sueldo de profesor y fondos del Consejo para Investigación Atómica. El año anterior había visitado Estados Unidos, donde fue tratada como una celebridad, dando conferencias en Princeton y Harvard y recibiendo varios doctorados honorarios. Cenó con el presidente Truman y fue felicitada por Eleanor Roosevelt por su contribución al papel de las mujeres en la ciencia.

A su regreso a Europa, le esperaban más premios y una oferta sorprendente: Hahn y Strassmann le invitaron a unirse a ellos en la nueva Sociedad Max Planck, de la que el primero era presidente. Sorprendente no solo por la polémica del Nobel, sino por la carta que Meitner había enviado a Hahn en 1945 en la que le reprochaba su actitud frente al nazismo: “todos vosotros habéis trabajado para la Alemania nazi y nunca habéis intentado una resistencia pasiva (...) Habéis permitido que millones de personas inocentes fueran exterminadas sin efectuar la menor protesta”. Meitner declinó la invitación.

¿Qué pasó en la Fundación Nobel?

La fisión nuclear solo fue reconocida por los premios Nobel con un único premio para Otto Hahn, en la categoría de Química, en 1945. Un estudio publicado en 1997 por la revista *Physics Today* concluyó que la omisión de Meitner fue “un raro caso en el que las opiniones personales negativas, aparentemente, llevaron a la exclusión del premio de una científica que se lo merecía”.

El historial de olvidos, extravagancias y aberraciones que ha ensombrecido las decisiones de la Fundación puso aquí un nuevo jalón. Los muchos premios y homenajes que Meitner recibiría en los años siguientes no bastaron para borrar la tristeza que le supuso verse ignorada por la comisión y, de forma indirecta, por el país que la había acogido y en el que había decidido permanecer tras la guerra.



Aún más, los registros de la institución muestran que Meitner recibió más nominaciones para el Nobel que Otto Hahn. Gustav Källstrand, historiador de los premios, ha explicado que, si bien ambos científicos fueron nominados para el Nobel, el miembro del comité que examinó el trabajo de Meitner subestimó el papel que había jugado en el descubrimiento. Ruth Lewin Sime ha apuntado también a un favoritismo hacia Hahn de los miembros del Comité de Física, alguno de los cuales había trabajado con él y le ayudaría a acaparar la gloria desestimando a Meitner de las nominaciones.

En 1960 se retiró y se mudó a Inglaterra, donde vivía la mayor parte de su familia. Continuó dando conferencias y trabajando a tiempo parcial, pero en 1964 un ataque cardíaco dejó su cuerpo seriamente mermado. En 1966 el gobierno de Estados Unidos le concedió –junto con Hahn y Strassmann– el premio Enrico Fermi, uno de los más prestigiosos en el campo de la ciencia, pero su delicado estado de salud le impidió acudir a recogerlo en persona. Sería incorrecto pensar que se perdió la oportunidad de una foto de la reconciliación, porque, a pesar de todo lo ocurrido, Meitner y Hahn jamás rompieron su amistad ni perdieron el aprecio mutuo desarrollado en treinta años de trabajo conjunto.

Lise Meitner murió en una residencia de ancianos, el 28 de octubre de 1968. El elemento meitnerio de la tabla periódica se llama así en su honor, y hay cráteres con su nombre en la Luna y en Venus, además de un asteroide. Su epitafio, escrito por su sobrino Otto Frisch, reza “Lise Meitner: una física que nunca perdió su humanidad”. No perdió su humanidad, ni cuando ser mujer le dificultó el acceso a los estudios, ni cuando ser judía le obligó a exiliarse, ni cuando quedó apartada del reconocimiento máximo al trabajo científico. Aunque no le gustaba hablar ni escribir sobre ella, una frase que pronunció constituye un acertado epitafio alternativo: “La vida no tiene que ser fácil, lo que hace falta es que no esté vacía.”

El grupo de expertos científicos del artículo 31 del Tratado de Euratom

■ Texto **Ignacio Amor** | Jefe de Área de Servicios de Protección Radiológica | ■

El artículo 31 del Tratado de Euratom establece que las normas básicas de protección radiológica de la Unión Europea, que son de obligado cumplimiento para todos sus Estados Miembros, serán elaboradas por la Comisión Europea, previo dictamen de un grupo de expertos científicos independientes designados por el Comité Científico y Técnico de Euratom.

Este grupo de expertos a que se refiere el artículo 31 del Tratado de Euratom (GE31) constituye, *de facto*, el grupo asesor de la Comisión Europea en materia de protección radiológica, puesto que sus dictámenes no solo se limitan a las normas básicas mencionadas, sino que abarcan otros muchos aspectos.

Como muestra de ello, en los últimos años, el GE31 ha expresado formalmente su opinión en relación con:

–La propuesta de modificación de la Directiva 2009/71/Euratom por la que se establece un marco comunitario para la seguridad nuclear de las instalaciones nucleares (marzo de 2013).

–La propuesta de Reglamento por el que se establecen los niveles máximos de contaminación radiactiva en alimentos y piensos tras un accidente nuclear o cualquier otra emergencia radiológica (noviembre de 2012).

–El copatrocinio por la Comisión Europea de las Normas Básicas de Protección Radiológica del Organismo Internacional de la Energía Atómica (noviembre de 2011).

–Las medidas a adoptar en relación con los alimentos, piensos y cosméticos importados por la Unión Europea tras el accidente de Fukushima (junio de 2011).

–Medidas a adoptar en relación con los contenedores, medios de transporte y bienes importados por la Unión Europea tras el accidente de Fukushima (junio de 2011).

–La propuesta de Reglamento sobre el establecimiento de un sistema comunita-

pública o con temas científicos en el ámbito de la protección radiológica (universidades, I+D, etc.)

El desarrollo de las actividades del GE31 está formalmente regulado mediante unas ‘Normas de Funcionamiento’, aprobadas por el propio GE31. Entre otros aspectos, se establece:

–Que el GE31 está presidido por un Presidente y un Vicepresidente, designados entre los miembros del grupo y cuyos mandatos se renuevan cada dos años y medio.

–Que la Secretaría Técnica del GE31 corresponde a un representante de la Comisión Europea.

–Que el GE31 se reúne, al menos, dos veces al año, excepto en circunstancias especiales.

–Que a las reuniones del GE31 asisten, en calidad de observadores, representantes de las principales organizaciones internacionales relacionadas con la protección radiológica (ICRP, IAEA, HERCA, WHO, IRPA, NEA-OCDE, etc.).

Por acuerdo de sus miembros, el GE31 puede constituir grupos de trabajo *ad hoc* para abordar temas monográficos dentro de su ámbito de competencias. En dichos grupos sólo pueden participar los miembros del GE31 y, actualmente, están constituidos los siguientes:

–Exposiciones médicas.

–Radiación natural.

–Implicaciones de la I+D en la normativa.

–Restricciones de dosis.

Un grupo de expertos asesora a la Comisión Europea para el establecimiento de las normas básicas de protección radiológica, de obligado cumplimiento por todos los estados miembros

rio para el registro de transportistas de material radiactivo (noviembre de 2009).

Los miembros del GE31 son designados por el Comité Científico y Técnico de Euratom para un período de cinco años. Se designan un máximo de dos expertos por Estado Miembro, salvo para Alemania, Francia y Reino Unido en que se designan tres expertos.

Normalmente, los miembros del GE31 tienen un perfil profesional relacionado o con la regulación en protección radiológica, o con temas de salud

Siguiendo una estrategia general impulsada por la Comisión Europea, las actividades del GE31 están sujetas a una política de total transparencia, que se traduce en que, a través la página *web*

de la Comisión Europea (<http://ec.europa.eu/energy/node/1183>), están accesibles:

–Las Normas de Funcionamiento del grupo.

–Las opiniones y dictámenes emitidos por el GE31.

–Los nombres de los miembros.

–Los informes relativos a las reuniones del GE31.



Normas de funcionamiento aprobadas en el GE31

–El GE31 está presidido por un Presidente y un Vicepresidente designados entre los miembros del grupo y cuyos mandatos se renuevan cada dos años y medio.

–La Secretaría Técnica del GE31 corresponde a un representante de la Comisión Europea.

–El GE31 se reúne, al menos, dos veces al año, excepto en circunstancias especiales.

–A las reuniones del GE31 asisten, en calidad de observadores, representantes de las principales organizaciones internacionales relacionadas con la protección radiológica (ICRP, IAEA, HERCA, WHO, IRPA, NEA-OCDE, etc.)

Grupos de trabajo ad-hoc para abordar temas monográficos

Exposiciones médicas

Radiación natural

Implicaciones de la I+D en la normativa

Restricciones de dosis

Actividades del GE31 sujetas a una política de total transparencia, que se traduce en que en la página web de la Comisión Europea (<http://ec.europa.eu/energy/node/1183>) están accesibles:

Los nombres de los miembros del grupo

Las Normas de Funcionamiento del grupo

Las opiniones y dictámenes emitidos por el GE31

Los informes relativos a las reuniones del GE31



Los organismos reguladores nucleares establecen una serie de regulaciones, homologaciones y responsabilidades para asegurar el uso seguro, fiable y responsable de la energía nuclear en todas sus aplicaciones e instalaciones.

La ordenación de la seguridad de las centrales nucleares y la protección radiológica corre a cargo de una serie de altos organismos reguladores internacionales y nacionales

Los grandes foros de la energía nuclear

La tecnología nuclear se utiliza para suministrar energía, para usos médicos, en la gestión sostenible de los recursos hídricos, en el mundo del arte y en una larga lista de utilidades supervisadas por altos organismos. Los países desarrollados tienen organizaciones nacionales, regionales y mundiales para garantizar la seguridad de las instalaciones y de los aparatos derivados de la tecnología nuclear, para proteger a quienes están preocupados por ellos, y

para garantizar la inocuidad de sus desechos. Estas organizaciones realizan normativas, aconsejan sobre la utilización de la tecnología nuclear con fines exclusivamente pacíficos y supervisan el cumplimiento de los acuerdos. En España, el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) trabaja y colabora con todas ellas.

■ Texto **Susana Blázquez** | Periodista de información económica | ■

El uso pacífico de la tecnología nuclear es una realidad social y económica, ampliamente extendida por todo el mundo. El punto de inflexión para esta generalización fue el histórico discurso del presidente norteamericano Dwight Eisenhower ante la Asamblea General de la Organización de Naciones Unidas (ONU). El 8 de diciembre de 1953, el presidente estadounidense hizo un llamamiento para “quitar esas armas (se refería a las atómicas) a los soldados, y dedicarlas a la paz y al bienestar de la humanidad”. El discurso fue un aldabonazo para la historia de la humanidad, porque se pronunció con el telón de fondo de la carrera por el armamento nuclear y en plena escalada de la guerra fría.

El presidente estadounidense originó un cambio de percepción en la ONU y en las potencias mundiales, fundamental para extender el uso de la tecnología nuclear con fines pacíficos y científicos y para beneficio de toda la humanidad. El espectacular crecimiento del uso de la energía atómica para producir electricidad contribuyó a crear la necesidad de ordenar el uso de esta tecnología con organismos que trascendieran el límite de sus empresas explotadoras. La ONU y otras entidades multilaterales impulsaron la creación de organismos nacionales e internacionales para que las naciones compartieran sus experiencias y trabajaran de forma conjunta en mejorar la seguridad y el uso de la energía nuclear en sus respectivos países y regiones.

La creación de los organismos reguladores de seguridad nuclear y de protección radiológica, como garantes del uso pacífico de la tecnología nuclear en beneficio de toda la población, ha sido fundamental para la aceptación social de una tecnología difundida durante la segunda guerra mundial. Hoy, la industria nuclear es una de las más reguladas del mundo. No es casualidad, utiliza una tecnología muy sofisticada que precisa un manejo

cuidadoso, una protección especial de sus trabajadores y de las personas cercanas a sus instalaciones y un diseño seguro de los cementerios para sus residuos.

La comunidad internacional tiene asumida la necesidad del control público de la actividad nuclear. Sin embargo, tan-

Los organismos internacionales permiten que las naciones compartan sus experiencias y trabajen de forma conjunta

to los organismos internacionales como los gobiernos han dado plena competencia a los organismos reguladores sobre el funcionamiento de la industria derivada de esta tecnología, que está presente en las centrales nucleares, la medicina, la detección de los recursos hidrológicos, la

agricultura, el mundo del arte o la carrera espacial.

En la cúspide mundial

La cúspide internacional de los organismos de seguridad y de protección es el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), creado por la ONU en 1957, como un foro mundial de cooperación científica y técnica para el uso pacífico de la energía nuclear. El OIEA está en Viena (Austria), tiene 2.500 empleados, 14 laboratorios, un presupuesto de casi 360 millones de euros y oficinas en Suiza, Estados Unidos, Canadá y Japón. Una de sus funciones principales es impedir la proliferación de las armas nucleares mediante la detección temprana de la desviación de materiales nucleares o del uso indebido de la tecnología nuclear. El OIEA trabaja para proteger a la población y al medio ambiente, y pone especial énfasis en solucionar los grandes problemas de la humanidad.

El OIEA tiene 168 estados miembros (uno es España), y trabaja con ellos en todas las direcciones. De entrada, desarrolla y promueve los estándares de seguri-



Un equipo de expertos del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) concluyó el pasado mes de febrero una revisión de seguridad operacional en la central nuclear de Almaraz (Cáceres).

dad tecnológica y física en las aplicaciones pacíficas de la energía nuclear, que son normas de carácter recomendatorio. El OIEA los publica, junto con el resto de la documentación científica, técnica y divulgativa. Dentro de las recomendaciones normativas hay un capítulo especial para la protección de las personas, la sociedad y el medio ambiente de los efectos nocivos de la radiación ionizante.

Además del desarrollo normativo, el OIEA facilita el transporte, la manipulación y el uso de los materiales radiactivos en condiciones de seguridad física y tecnológica. Este apoyo incluye medidas que posibilitan la extracción sostenible y adecuada de elementos químicos esenciales para la producción de energía nuclear, la clausura eficaz de las instalaciones nucleares y la gestión de los desechos radiactivos y del combustible gastado durante su vida útil.

Otra línea de actuación consiste en prestar asistencia a los estados miembros que se inician en el uso de la ciencia y la tecnología nuclear para usos pacíficos. El OIEA lo hace a través de actividades de capacitación, ejercicios de preparación para emergencias, servicios de examen y labores de vigilancia de la ges-

ción de los recursos nucleares. El OIEA verifica que todos sus estados miembros utilizan la tecnología y la ciencia nucleares con fines exclusivamente pacíficos, y ofrece garantías de que lo hacen, apli-

El Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) verifica que todos sus estados miembros utilizan la tecnología nuclear con fines exclusivamente pacíficos

cando medidas técnicas (denominadas salvaguardas) a las declaraciones de sus miembros sobre este punto.

En 1962, el OIEA instaló ocho laboratorios de aplicaciones nucleares en Seibersdorf (Austria), para abordar desafíos globales fundamentales, como la seguridad alimentaria y la inocuidad de los alimentos, el cambio climático, las luchas contra el cáncer o contra la contaminación del medio ambiente. Sus resultados

se transfieren a los estados miembros, para hacer frente a los retos del desarrollo.

Los reguladores nucleares nacionales de Alemania, Canadá, Corea del Sur, España, Estados Unidos, Francia, Reino Unido, Japón y Suecia celebraron un encuentro en 1997 para discutir temas estratégicos y de alto nivel de la regulación nuclear, y entre ellos está el de la protección y la seguridad. Es la Asociación Internacional de Reguladores Nucleares (INRA) que acoge a los máximos responsables de los reguladores de dichos países dos veces al año, para dialogar sobre temas estratégicos y de alto nivel de la regulación nuclear y facilitar la adopción de acuerdos y posiciones comunes en el escenario global.

La electricidad

La industria más extendida de la tecnología nuclear es la de producción de energía eléctrica y está supervisada por la Agencia de Energía Nuclear (NEA, por sus siglas en inglés). Este organismo depende parcialmente de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), tiene sede en París, e integra a 32 países de Europa, de América y de la región de Asia-Pacífico, juntos represen-



Las reuniones de los organismos internacionales son el punto de encuentro para compartir las experiencias positivas y negativas en el campo de la energía nuclear.

La seguridad española

El Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) es el único organismo competente en seguridad nuclear y protección radiológica en España. Independiente del gobierno de turno, rinde cuentas al Congreso de los Diputados y al Senado. Su misión es proteger a los trabajadores, la población y el medio ambiente de los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes, consiguiendo que las instalaciones nucleares y radiactivas sean operadas por los titulares de forma segura, y estableciendo las medidas de prevención y corrección frente a emergencias radiológicas.

La creación del CSN en 1980 igualó a España con los países más avanzados en seguridad nuclear y permitió equiparar el marco normativo nacional a los de los países más avanzados en este ámbito. Es así, porque el Consejo de Seguridad Nuclear entró a formar parte de los organismos supranacionales de seguridad nuclear existentes, el mundial OIEA, el aglutinador de los países con centrales nucleares NEA, el europeo Euratom, y los dedicados a la seguridad radiológica ICPR y UNSCEAR. Se podría afirmar que las instalaciones nucleares de los miembros de estos organismos internacionales son las más vigiladas del mundo.

El CSN acogió en su sede (los pasados 25 y 26 de enero), la reunión preparatoria de las misiones de IRRS (Integrated Regulatory Review Service) y ARTEMIS (Integrated Review Service for Radioactive Waste and Spent Fuel Management, Decommissioning and Remediation), dos grupos de expertos de la OIEA, diseñados para reforzar la eficacia de los marcos reguladores y de las infraestructuras de sus países miembros.

España, como todos los miembros de la Unión Europea, debe realizar una autoevaluación de su marco nacional sobre seguridad nuclear, la gestión segura del combustible nuclear irradiado y los residuos radioactivos, cada diez años, y después invitar a una revisión internacional. Siguiendo esta dinámica, España se sometió a una revisión IRRS en 2008 y será el primer país en recibir la supervisión conjunta de las misiones IRRS y ARTEMIS durante el próximo mes de octubre.

Desde el inicio de su andadura, el CSN ha participado en la creación de los organismos de seguridad y control internacionales y regionales, como el de los principales reguladores nucleares del mundo INRA, la Asociación de Reguladores Nucleares de Europa Occidental (WENRA, por sus siglas en inglés), la Asociación Europea de Autoridades Competentes en Protección Radiológica (HERCA), el Gru-



El CSN ha participado desde sus inicios en la creación de organismos de seguridad y control internacionales y regionales.

po Europeo de Reguladores de Seguridad Nuclear (ENSREG) y el Foro Iberoamericano de Reguladores Radiológicos y Nucleares (FORO).

El trabajo exterior del organismo español no acaba ahí. Con la financiación del Instrumento de Cooperación para la Seguridad Nuclear (INSC) de la Unión Europea, el CSN ha diseñado y ejecutado varios proyectos para fortalecer la regulación y el desarrollo de capacidades propias en las autoridades de seguridad nuclear de terceros países.

La guinda del trabajo internacional son los acuerdos bilaterales de cooperación técnica y colaboración con sus homólogos de otros países, como la Comisión Reguladora nuclear de los Estados Unidos (NRC, de sus siglas en inglés), o la Autoridad de Seguridad Nuclear francesa (ASN de sus siglas en francés). Las relaciones bilaterales son continuas. Baste un ejemplo, una delegación del Consejo de Seguridad Nuclear encabezada por su presidente Fernando Marti y por su secretario general Manuel Rodríguez, asistió a la Conferencia AtomEco en Moscú, y mantuvo una reunión con el organismo regulador ruso Rostechnadzor, en noviembre de 2017. El pasado mes de enero, el CSN firmó un Memorando de Entendimiento con la Agencia marroquí para la seguridad nuclear y radiológica, en materia de intercambio de información en seguridad nuclear y regulación.

Por último, el CSN asesora al gobierno sobre sus compromisos con otros países y entidades y sobre cualquier actividad internacional relativa a la seguridad nuclear, la protección radiológica y la seguridad física de las instalaciones y materiales nucleares y radiactivos.

tan casi el 83% de la potencia nuclear instalada en el mundo. La energía nuclear asegura casi la quinta parte de la producción de electricidad de los países miembros de la NEA, informa la web de la agencia.

La NEA se creó en 1958 como punto de encuentro para compartir y difundir las mejores experiencias en el campo de la energía nuclear. Sus seis principales áreas de trabajo son la seguridad y regulación nucleares, para el desarrollo de la energía nuclear, en la gestión de residuos radioactivos, para la protección contra la radiación y salud pública, para asegurar la responsabilidad y el derecho nucleares, y para promover la ciencia nuclear.

El plan estratégico 2017-2022 de la NEA destaca la respuesta que puede tener la energía nuclear en la demanda mundial de energía, mientras se reduce la dependencia de los combustibles fósiles y las emisiones de CO₂. “La electrol nuclear es una tecnología probada y fiable, numerosos países estiman que puede ser parte de la respuesta para establecer economías bajas en carbono”, puntualiza el plan de la NEA.

Protección radiológica

La protección radiológica está normalizada por organizaciones especializadas. Dos años antes de crear el OIEA, en 1955, la ONU puso en pie el Comité Científico sobre los Efectos de la Radiación Atómica (UNSCEAR, por sus siglas en inglés) para estimar e informar sobre los efectos de la exposición a la radiación ionizante, y los niveles aconsejables a ella. La UNSCEAR solo ha realizado 15 publicaciones de importancia, pero son consideradas como fuentes autorizadas de información en el establecimiento y revisión de las normas de seguridad y protección radiológica en todo el mundo.

Mucho más activa en la publicación científica sobre la protección radiológica es la Comisión Internacional de Protec-



Además del desarrollo normativo, los organismos reguladores controlan el transporte, la manipulación y el uso de materiales radioactivos en condiciones de seguridad física y tecnológica.

ción Radiológica (ICRP, de sus siglas en inglés), creada en 1928 para hacer recomendaciones y asesorar sobre todos los aspectos relacionados con la protección contra las radiaciones ionizantes. La ICRP es un organismo independiente de carácter científico y sin ánimo de lucro, con más de 200 miembros voluntarios de unos 30 países (entre ellos España) de los seis continentes, que representan a los científicos y los diseñadores de políticas en la protección radiológica. Se financia con las aportaciones de las entidades interesadas en la protección radiológica. Las recomendaciones y estimaciones de la ICRP y UNSCEAR constituyen la base científica del sistema de protección radiológica de numerosos países, como es el caso de la normativa europea y española en este ámbito.

La ICRP ha publicado más de cien informes sobre todos los aspectos de la protección radiológica. Son de base científica, pero tienen en cuenta la ética y la experimentación en la aplicación del sis-

tema. Con ellos se ha elaborado el sistema internacional de protección radiológica, utilizado en todo el mundo como la base común de normas de protección radiológica en la legislación, los programas y la práctica. “El trabajo de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) ayuda a prevenir el cáncer y otras enfermedades, los efectos asociados con la exposición a las radiaciones ionizantes, y proteger el medio ambiente”, indica la ICRP, que divide sus oficinas entre Gran Bretaña y Canadá.

Europa

La Unión Europea (UE) es una de las regiones del mundo más activas en seguridad nuclear. El tratado del Mercado Común Europeo se firmó en marzo de 1957, junto con la creación de la Comunidad Europea de la Energía Atómica (Euratom) para desarrollar una industria nuclear europea de energía, dado el déficit de la misma durante los años 50, y realizar unas normas básicas de seguridad para

proteger a la población, que era uno de sus objetivos fundacionales. Con esta premisa, la Euratom coordina los programas de investigación de la energía nuclear de los miembros de la UE, aunque Suiza también participa en sus programas como un estado asociado.

Los países de la UE participan directamente en las decisiones de sus instituciones. Así, las directivas europeas sobre seguridad nuclear, gestión segura de los residuos radiactivos y normas básicas de protección radiológica nacieron como una propuesta de la Comisión Europea, y fueron debatidas junto con las perspectivas nacionales (para construir posiciones de consenso) por el Grupo de Cuestiones Atómicas del Consejo de la Unión Europea.

Por si fuera poco, el Consejo y el Parlamento europeos cuentan con el asesoramiento del Grupo Europeo de Reguladores de Seguridad Nuclear (ENSREG, por sus siglas en inglés), un grupo consultivo de expertos independientes de 28 estados miembros de la UE, que aconseja en las cuestiones de la



El plan estratégico de la NEA destaca la respuesta de la energía nuclear en la demanda mundial mientras se reduce la dependencia de los combustibles fósiles.

seguridad nuclear y la gestión de los residuos radioactivos, así como de sus regulaciones, desde 2007. ENSREG ayuda en los acuerdos globales de estados miembros de la Unión Europea. ENSREG está formado por altos funcionarios de las autoridades nacionales de seguridad nuclear, de seguridad de los residuos radioactivos o de protección radiológica de 28 estados miembros de la UE y por representantes de la Comisión Europea. ENSREG participa, por ejemplo, en los ejercicios para la revisión sobre la gestión del envejecimiento en las centrales nucleares en 2018.

Desarrollar una posición convergente en la seguridad de la energía nuclear es el principal objetivo de la Asociación de

Reguladores Nucleares de Europa Occidental (WENRA, según sus siglas en inglés), desde 1999. La organización acoge a las autoridades reguladoras de los países comunitarios con reactores nucleares, Suiza y Ucrania, y es un punto de encuentro para intercambiar experiencias, y discutir sobre la continua mejora de la seguridad nuclear.

WENRA ha desarrollado, y mantiene actualizado, un cuerpo de niveles de referencia para la seguridad de las centrales nucleares en operación y las distintas fases en la gestión de los residuos radiactivos y del combustible gastado. También ha desarrollado los objetivos de seguridad para los nuevos reactores.

La Asociación Europea de Autoridades competentes en Protección Radiológica (HERCA, por sus siglas en inglés) fue creada en 2007 para facilitar la aplicación de las directivas y reglamentos europeos de protección radiológica, así como para promover prácticas de trabajo armonizadas.

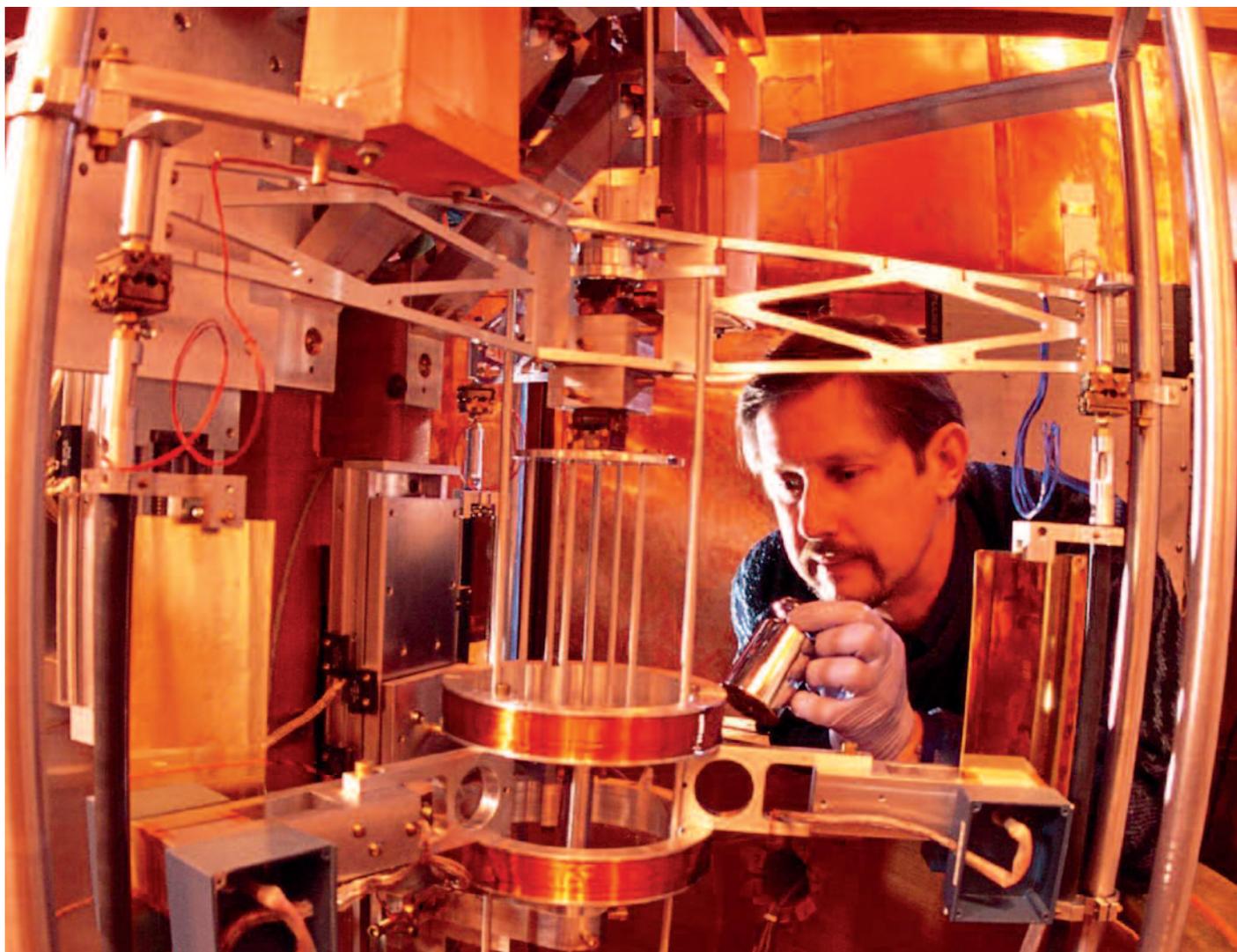
Foro Iberoamericano

Iberoamérica tiene un organismo especializado en seguridad nuclear y radiológica. Es el Foro Iberoamericano de Reguladores Radiológicos y Nucleares (FORO), una asociación creada en 1997 para promover la seguridad radiológica, nuclear y física en la región. Está integrada por los organismos reguladores radiológicos y nucleares de Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Cuba, España, México, Paraguay, Perú y Uruguay.

El FORO aborda un amplio programa de trabajo técnico inspirado en las necesidades y prioridades regionales en este ámbito, colabora de forma sostenible con su propia financiación, y cuenta con el apoyo del OIEA como secretaría científica.



Sede central del Organismo Internacional de Energía Atómica en Viena (Austria). El OIEA es el principal foro mundial de cooperación científica y técnica en el uso pacífico de la tecnología nuclear.



El físico Richard Steiner con la balanza de Watt, un instrumento que compara la potencia mecánica con la potencia electromagnética (foto de archivo).

La Conferencia General sobre Pesos y Medidas redefinirá las cuatro unidades científicas básicas

Cómo serán exactamente el kilo, el amperio, el kelvin y el mol

En mayo de 2019 –o quizá en noviembre de este mismo año– las redes sociales tendrán un nuevo tema sobre el que exagerar, cuando se anuncie que cuatro unidades de medición cambiarán sus procedimientos de cálculo. Puede que mucha gente no tenga muy claro lo que es el kelvin o el mol, pero casi seguro que todos conocerán el amperio, no digamos ya el kilogramo, así que es previsible

la oleada de chistes y ‘memes’ diciendo que el kilo pierde peso o la electricidad no brilla tanto como antes; sin contar a quienes restarán mérito o necesidad a todo el asunto, argumentando que es absurdo alterar unas unidades que han permanecido inmutables durante siglos.

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

Por eso mismo, son convenientes ciertas aclaraciones. La primera, que ninguna unidad de medida va a sufrir alteración alguna; el kilo seguirá siendo el kilo, y el kelvin el kelvin. Lo que se cambia son sus procedimientos de cálculo; es decir, la manera en la que se define qué es exactamente un kilo, un kelvin, un mol, un amperio. Los descubrimientos y avances de las últimas décadas en todo lo relacionado con la determinación de las unidades de medida han abierto la puerta a una revisión profunda de la que se beneficiarán no tanto el común de los ciudadanos –ni nuestras reglas ni el contador de la luz sufrirán alteraciones– como los laboratorios que necesitan estas unidades de medidas afinadas a exactitudes infinitesimales.

Las unidades básicas de medida son siete: el metro, para la longitud; el segundo, para el tiempo; la candela, para la intensidad luminosa; el kilogramo, para el peso; el amperio, para la electricidad; el kelvin, para la temperatura termodinámica, y el mol, para la sustancia. Estas cuatro últimas son las que cambiarán su manera de medirse en la Conferencia General de Pesos y Medidas, que se celebrará en Sèvres (Francia) el próximo mes de noviembre. Antes, entre los días 16 y 20 de octubre, se llevarán a cabo unas reuniones previas en las que se establecerán las recomendaciones sobre las que las redefiniciones deberán desarrollarse; y los cambios serán efectivos a partir del mes de mayo de 2019. No pocos investigadores consideran que ya iba siendo hora, ya que las solicitudes para emprender estas mejoras tienen no años, sino décadas, pero si las cosas de palacio van despacio, las de la ciencia ya se sabe que aún más. En un artículo publicado en 2010, el profesor Waldemar Nawrocki, de la Universidad Tecnológica de Poznan (Polonia) comentaba que las discusiones para cambiar la definición de estas unidades habían comenzado ya en 1995 y recordaba que el Sistema Interna-

cional de Unidades lleva en vigor –y sin cambios– desde 1960. Esto supone medio siglo de antigüedad, al que habría que añadir otros seis años, ya que las seis unidades aceptadas oficialmente entonces –el mol, que llegó en 1971, es un poco posterior– eran aceptadas de facto desde 1954.

Muchas cosas han pasado desde entonces, tanto en el campo de las mediciones como en el de las cosas que son influidas por estas; la ciencia se ha multiplicado, y con ella los laboratorios y centros de investigación que necesitan de unos patrones de medición cada vez más exactos y fiables. Las definiciones anteriores fueron es-

La Conferencia General sobre Pesos y Medidas (CGPM), que supervisa el SI, redefinirá cuatro unidades científicas básicas: amperio, kilogramo, kelvin y mol

tablecidas en base a términos demasiado abstractos o, en el caso del kilogramo, a las propiedades de un artefacto material. Aún más, los científicos debían aceptar estos patrones como una verdad inmutable, sin tener la oportunidad de comprobarlo por sí mismos. Y aquí es donde radica el cambio principal: las nuevas definiciones estarán basadas en constantes físicas fundamentales, que garantiza su invariabilidad y permite su comprobación directa a cualquier laboratorio que desee realizar él mismo las operaciones de medición. Dicho de un modo más prosaico, tal y como publicó en 2016 el Instituto Nacional de Metrología de Alemania (PTB por sus siglas en alemán), ahora “incluso un marciano podría entender qué es un kilogramo, lo que hoy sería imposible salvo que le enviáramos el patrón primario del kilogramo, es decir, esa pieza de metal metrologícamen-

te santa que está en una caja fuerte de la Oficina Internacional de Pesos y Medidas”, en Sèvres (Francia).

Las resoluciones de la XXIII Conferencia General, celebrada en 2007, ya consideraban “que, durante muchos años, los Institutos Nacionales de Metrología así como la Oficina Internacional de Pesos y Medidas (BIPM, por sus siglas en francés) han hecho esfuerzos considerables para avanzar y mejorar el Sistema de Unidades extendiendo las fronteras de la metrología de forma que la base del Sistema de Unidades pudiera ser definida en términos no variables de la naturaleza: las constantes físicas fundamentales”, y recomendaban “trabajar en vías prácticas de determinar cualquier nueva definición basada en valores fijos de constantes fundamentales, preparar una *mise en pratique* (puesta en práctica) para cada una de ellas y considerar la manera más apropiada de explicar las nuevas definiciones a los usuarios”.

Más de diez años después, está a punto de concluir un proyecto que ha sido defendido por algunos de los investigadores más brillantes. En 1832, Carl Gauss propuso un sistema de medida de unidades para longitud, masa y tiempo basado en las propiedades magnéticas de la Tierra, concepto que amplió unos años después junto con su primero discípulo, y luego colega, Wilhelm Weber, con un sistema de medidas para las corrientes eléctricas. En 1870 el escocés James Clerk Maxwell escribió que “si queremos obtener estándares de longitud, tiempo y masa que sean absolutamente permanentes, no debemos buscarlos en las dimensiones, o el movimiento, o la masa de nuestro planeta, sino en la longitud de onda, el periodo de vibración y la masa absoluta de estas moléculas imperecederas, inalterables y perfectamente similares”.

Tendremos, entonces, un mundo más exacto. Pero, examinando cada unidad por separado, ¿qué es lo que va a cambiar, y por qué? Lo analizamos a continuación.

De los cuatro patrones que serán sujetos a cambio, pocas dudas hay de que el ki-

logramo es el más conocido y utilizado fuera del ámbito científico. También es el único que está definido siguiendo las características de un objeto físico, el patrón primario, nombre por el que se conoce al cilindro de platino (90%) e iridio (10%) que se guarda, desde 1889, en la sede de la Oficina Internacional de Pesos y Medidas, y al que hay que acudir para certificar que una medida de un kilogramo es exacta. Para evitar desplazamientos, la Oficina ha creado alrededor de cien copias del cilindro, distribuidas por laboratorios de todo el mundo; España cuenta con dos copias, las denominadas K3 y K24, que se guardan en una caja fuerte de donde solo se sacan una vez cada cuatro años para la calibración de los patrones de referencia.

Kilogramo, el más conocido y utilizado

Los inconvenientes del uso de un patrón físico se han señalado y puesto en evidencia en repetidas ocasiones. El primero es el más obvio: si solo hay un patrón original ¿qué ocurriría si, por un accidente, fuera dañado o destruido? Podría responderse que siempre queda-

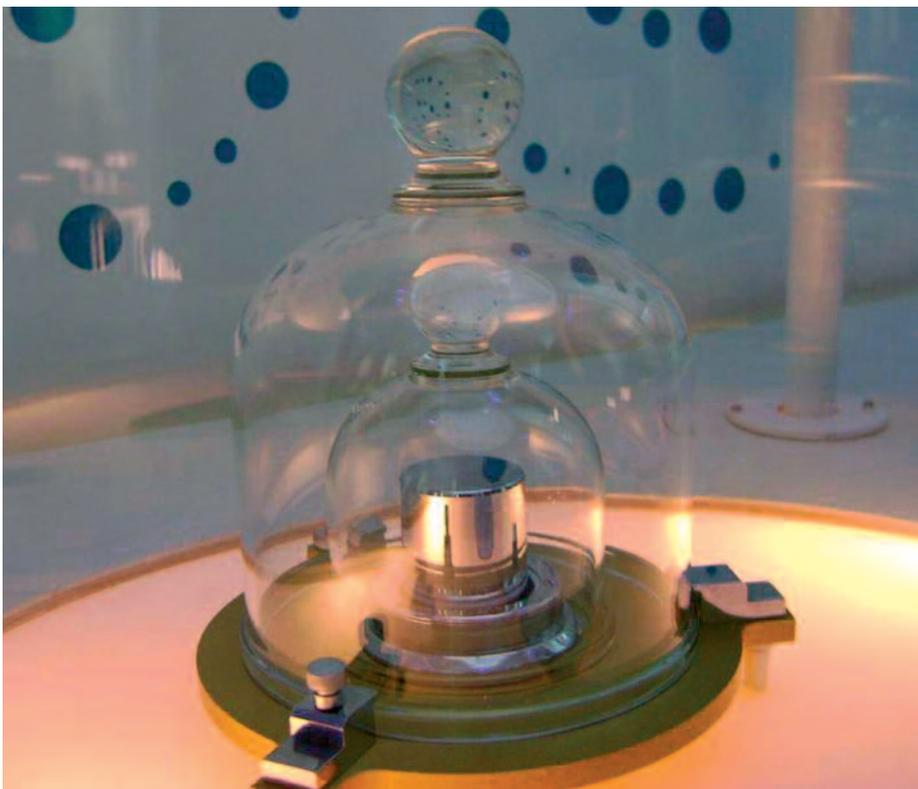
El kilogramo podrá medirse con la denominada balanza de Watt, un instrumento que compara la potencia mecánica con la potencia electromagnética

rán las copias, pero es que el tiempo ha demostrado que estas no son tan indistinguibles

del original como parecía en un principio; algunas han engordado unos 50 microgramos en los últimos cien años; si consideramos que, cada vez que se utiliza el patrón no solo hay que sacarlo de la caja fuerte, sino someterlo a un proceso específico de lavado y secado que dura tres semanas para asegurarse de que no tiene adherida ninguna partícula extraña, se entenderá que esta diferencia de peso entre distintos patrones, aunque sea inapreciable en el mundo real, es una catástrofe en magnitudes metrológicas

A partir de ahora, el kilogramo prescindirá del prototipo y se calculará mediante el uso de la Constante de Planck; en 1900, el físico y matemático alemán Max Planck describió cómo los objetos radian energía en pequeños valores denominados cuantos; esta energía es proporcional a una cantidad llamada 'h'. Si se conoce el valor de 'h', entonces es posible equiparar la masa con una cantidad determinada de electricidad y calcular la cantidad de corriente eléctrica necesaria para levantar un kilogramo, que quedará definido según los números obtenidos. Pero aquí también hay un factor susceptible de fallos: si el valor de 'h' no se ha calculado con la máxima precisión, el resultado no tendrá una fiabilidad completa.

Por eso, previamente a la adopción del nuevo sistema, se ha encargado una nueva medición de 'h' a instituciones de cinco países; tres de ellos deberán alcanzar resultados con un nivel de incertidumbre no mayor de 50 partes por billón, y uno con no más de 20 partes. El resultado será el equivalente a un libro de instrucciones donde en cualquier parte del mundo podrá calcularse la masa exacta de un kilogramo con toda exactitud... y ahorrarse el proceso de lavado y secado.



El kilogramo (unidad básica de masa) está actualmente definido por la masa que tiene un cilindro de platino-iridio con una altura y dimensión específica.

Llamado así en honor a André-Marie Ampère (1775-1836), científico francés pionero en el

estudio de los fenómenos eléctricos, el amperio es la unidad que mide la intensidad de una corriente eléctrica. Su definición hasta el momento se basaba en el resultado de un experimento teórico, imposible de reproducir en el mundo real: correspondía a la intensidad de una corriente constante que, manteniéndose en dos conductores paralelos de longitud infinita situados en el vacío a una distancia de un metro uno de otro, produciría una fuerza concreta por metro.

La nueva definición empleará una bomba de electrones que puede atrapar estas partículas cuando viajan a través de un conductor, y medir la corriente que generan; el amperio será el equivalente al flujo de una cifra concreta de cargas elementales por segundo. Varios dispositivos de medición se están po-

El amperio, electrones a través de un conductor

niendo a punto por diversos centros de investigación en todo el mundo –el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología de Estados Unidos es uno de los principales–, para facilitar la tarea de generar y contar electrones individuales y conseguir que cualquier instalación

científica pueda comprobar por sí misma el valor del amperio en un proceso de medición individual y estar segura de que el resultado no difiere del obtenido por el mismo procedimiento en cualquier otro laboratorio.

Pero, ¿por qué es tan importante este cálculo? Desde que se estableció la definición anterior, en los años 70 del pasado siglo, se han abierto nuevos campos de investigación, o se han desarrollado otros ya existentes, para los que una medición exacta de las corrientes eléctricas es crucial, y esto incluye desde la energía fotovoltaica a la fabricación de semiconductores, pasando por la fabricación a nanoescalas de componentes electrónicos. El amperio redefinido será una de las principales armas para alejarnos del uso de combustibles fósiles y meter todavía más funciones deslumbrantes en nuestros nuevos *smartphones*.

La nueva técnica, con una bomba de electrones, podrá generar una corriente medible contando electrones individuales



El amperio (unidad de corriente eléctrica), que actualmente se define por un experimento imaginario que genera una fuerza entre dos cables infinitos, podrá redefinirse con una bomba de electrones.



Con termometría acústica se redefinirá el kelvin (unidad de temperatura), que actualmente se relaciona con la temperatura y presión a la que coexisten agua, hielo y vapor de agua en equilibrio

La unidad de temperatura fue creada en 1848 por William Thomson, lord Kelvin, uno de los fundadores de la termodinámica y uno de los investigadores más avanzados de su tiempo. El título, que se le concedió por la excelencia de su trabajo científico, toma su nombre de un río próximo a la universidad de Glasgow, con lo que “kelvin” tiene la peculiaridad de dar nombre al mismo tiempo a un accidente geográfico, un título nobiliario y una unidad de medida. En este último campo, su valor se ha calculado hasta ahora como la fracción $1/273,6$ del punto triple del agua; es decir, la temperatura y presión atmosférica que hacen posible al agua convivir en sus tres posibles estados: sólido, líquido y gaseoso.

Pero este método de cálculo, como los de otras unidades, es sensible a pequeñas variables que pueden trastocar sus resultados. No puede calcularse utilizando cualquier agua, porque entre la composición de una y otra hay las suficientes diferencias como para que respondan de manera distinta a la tempe-

El kelvin, temperatura y presión en equilibrio

ratura y presión; por eso, la definición del experimento va acompañada de una exigencia específica sobre la composición isotópica del agua a utilizar. Lo cual

La técnica consiste en que la velocidad del sonido en una esfera llena de gas se puede determinar a una temperatura fija

implica que todos los laboratorios del mundo que quisieran realizar el cálculo deberían hacerlo utilizando exactamente la misma agua, algo, evidentemente, poco práctico.

Por eso la nueva definición es algo menos exigente en los elementos a usar.

La base sobre la que se desarrolla es la Constante de Boltzmann, que relaciona la energía cinética

media de las moléculas y la temperatura. Consiste en determinar la velocidad del sonido dentro de una esfera llena de gas (que es proporcional a la velocidad promedio de los átomos en ella) a una temperatura fija, mediante el análisis de la frecuencia de las ondas que suenan en el interior y la medición del volumen de la esfera. El kelvin quedará definido como la modificación de la temperatura termodinámica que se corresponde a una modificación de la energía térmica establecida exactamente a $1,380\ 648\ 52 \cdot 10^{-23}$ joules.

Por enrevesado que parezca el procedimiento, la documentación facilitada por el propio BIPM explica que, gracias a él, “el sistema de medidas de temperatura será estable en forma ilimitada en el tiempo. Este objetivo hace que valgan la pena tantos esfuerzos mundiales”. Más aún si recordamos que el propio lord Kelvin fue quien dijo en su día “si no puedes medirlo, no puedes mejorarlo”.

La última incorporación al sistema de unidades es la que se utiliza para definir la unidad de sustancia, y hasta ahora se ha medido según la cantidad de un sistema que contenga tantas unidades –átomos, moléculas, iones, electrones– elementales como átomos haya en un 0,012 kilogramos de carbono 12. La nueva definición buscará una precisión mucho mayor tomando como base la Constante de Avogadro para determinar como nueva unidad la cantidad de átomos de silicio contenidos en una esfera de silicio puro-28. El creador de la Constante fue Amedeo Avogadro, físico, químico y aristócrata italiano –era conde de Quarregna y Cerreto–, que en el siglo XIX se fijó en la teoría atómica creada por John Dalton según la cual todos los gases se expanden de la misma manera con el calentamiento, y razonó que eso solo era posible si los mismos volúmenes de

El mol y la ‘constante de Avogadro’

todos los gases contenían la misma cantidad de partículas elementales en idénticas condiciones externas.

La complicación fue encontrar ese número con la tecnología del siglo XIX, y tampoco ha sido fácil ahora: la nueva medición ha sido el resultado de años de experimentación llevados a cabo por varios institutos de metrología y por el BIPM –coordinados mediante el Consorcio Internacional del Avogadro– para encontrar un material que permitiera determinar la constante con la menor incertidumbre de medición posible, que concluyó en 2011 cuando el silicio enriquecido 28 se demostró como el mejor candidato. Utilizando láseres será posible medir la longitud de una unidad del entramado cristalino de una esfera per-

fecta de este material, y su diámetro principal; el resultado es una manera mucho más exacta de medir

las partículas y definir el número de la Constante.

Lo importante de todos estos cambios no son sus consecuencias, siempre bienvenidas, sino lo que implican de descentralización de los pesos y medidas; la verdad deja de estar encerrada en la sede de un organismo y su comprobación queda abierta a especialistas de todo el mundo. Todavía más, hay pocas dudas sobre que estas nuevas bases de cálculo seguirán siendo válidas en el futuro próximo y lejano a la hora de hacer comprobaciones más exactas de estas cuatro unidades. Una idea ya establecida en el lema de la Convención del Metro: “Para todos los tiempos, para todos los pueblos”, y que más de dos siglos después está por fin muy cerca de hacerse realidad. 

La necesidad de contar, ordenar y medir se le

Un mundo sin medida

presentó a la Humanidad tan pronto cesó en su nomadismo y comenzó a establecerse en sociedades fijas. La construcción, la agricultura y el comercio, eran actividades que necesitaban medidas de longitud, de peso y de tiempo. Lo que ocurrió es que, durante muchos siglos, estas quedaban circunscritas a las jurisdicciones locales donde habían sido creadas, y nadie le daba demasiada importancia a las diferencias que surgían entre una u otra, salvo quizá los comerciantes que siempre se las arreglaban para manejarlas en beneficio propio.

Con el despertar de la sociedad moderna se hizo evidente que la anarquía en las mediciones debería concluir. La Europa del siglo XVIII era una Torre de Babel en cuanto a medidas se refiere, con importantes variaciones de una nación a otra, e incluso, de una zona a otra de un mismo país. En su libro *La medida de todas las cosas*, el profesor e historiador Ken Adler recordaba que “algunos contemporáneos calculaban que, bajo la cobertura de unos ochocientos nombres, el Antiguo Régimen de Francia utilizaba la asombrosa cifra de unas 250.000 unidades diferentes de

pesos y medidas”. Algo tan cotidiano como una pinta

de cerveza equivalía a 1,46 litros en Saint-Denis y a 0,93 litros en París, y la libra que utilizaban los panaderos era más liviana que la libra de los ferreteros. “Estas discrepancias causaban una infinita confusión por toda Francia, perturbaban el comercio, desconcertaban a los funcionarios del Estado, invitaban al fraude”, escribe Adler. No es necesario añadir que, además de todo esto, constituían una plataforma más que inestable sobre la que desarrollar cualquier tipo de investigación científica.

La modernización y unificación del sistema llegó con la Revolución Francesa, donde se pusieron en marcha las primeras operaciones de medición de longitud y peso. Aquellos primeros pasos –en sentido literal, ya que la medida del metro requirió enviar a dos geógrafos a recorrer miles de kilómetros en direcciones opuestas– dieron lugar a los primeros patrones para el metro y el kilogramo –datan de 1799– y, en 1875, al acuerdo internacional que dio lugar a la Convención del Metro. España fue uno de los 17 países fundadores y, por tanto, de los primeros receptores de las copias de los patrones originales. 



El pasado marzo se celebró la jornada 'I+D en Protección Radiológica' de la Plataforma PEPRI y su Asamblea General. Un acto que tuvo como objeto actualizar al colectivo de profesionales españoles relacionados con esta materia, los planteamientos y proyectos del Plan Nacional y de los Programas Europeos de I+D+i.

La plataforma PEPRI celebra la jornada 'I+D en Protección Radiológica'

La Plataforma Española de Investigación en Protección Radiológica (PEPRI) fue fundada en 2014 como un foro de encuentro de todas las entidades (universidades, centros tecnológicos y de investigación, sanidad, industria, etc...) implicadas en la I+D+i relacionada con la protección radiológica en España. PEPRI persigue estimular la comunicación dentro de esta comunidad,

la búsqueda de sinergias en las actividades de I+D+i y la elaboración de documentación que pueda ser de utilidad por las mismas y a los gestores de los Planes de I+D+i, en todos los niveles de la administración autonómica, nacional y de la Unión Europea (UE).

■ Texto **Vanesa López Lorenzo** | Área de Comunicación del CSN | ■

En España existe una larga tradición de Investigación y Desarrollo (I+D) en el campo de la Protección Radiológica (PR). Las pruebas nucleares que se realizaron en las décadas de 1950 y 1960, y el gran desarrollo de la industria nuclear de aquellos años, fueron un acicate para ello. Los prime-

ros trabajos de medidas de radiactividad y niveles del *fallout* radiactivo en España, tuvieron lugar en la antigua Junta de Energía Nuclear (JEN).

Fue a principios de los años 60 cuando comenzó la regulación formal de la radiación, introduciéndose conceptos tales como 'dosis tolerable', creándose los ser-

vicios de protección médica, definiéndose las zonas controladas y vigiladas, fijándose las concentraciones máximas permisibles de isótopos radiactivos en agua para beber y aire respirable, etc.

La promulgación de la Ley 25/64 sobre Energía Nuclear reforzó la investigación sobre los usos científicos e industriales de

la radiación y la producción de isótopos. Entre los temas que resultaba imprescindible desarrollar por aquel entonces, se identificaron los de la protección sanitaria contra las radiaciones ionizantes y la gestión de los residuos radiactivos.

El accidente de Chernóbil (1986) hizo que se potenciaron los estudios y España comenzó su participación en proyectos internacionales. Desde nuestra adhesión a la UE, grupos de investigadores en este campo han accedido de manera regular al Programa Marco de I+D de EURATOM en el área de la seguridad de la fisión nuclear, que ha incluido siempre, desde su implantación, como uno de sus objetivos específico clave, la investigación en PR.

En los últimos años, asistimos a un nuevo período de evaluación y debate que nos enfrenta a nuevos retos, entre los que destacan la gestión de la radiactividad natural o el control de la exposición a radiaciones ionizantes en el ámbito médico, para mejorar entre otros aspectos, la seguridad de los pacientes y de los profesionales sanitarios. Sobre este último aspecto, España se encuentra actualmente trabajando en la transposición de la Directiva 2013/59/EURATOM por la que se establecen normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes.

Nuestro país dispone también de adecuadas infraestructuras tecnológicas y capacidades experimentales con una actividad notable en I+D en PR, con una creciente presencia en programas europeos. Con diverso grado de extensión, la I+D en España cubre todo el espectro: desde la que podría denominarse investigación básica (efectos de las radiaciones, epidemiología, dosimetría, radioecología, etc.), hasta la más operativa o de aplicación.

Como referente en esta materia encontramos, entre muchos otros, a la Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR), una veterana asociación de carácter científico y técnico cuya función

es la promoción científica y la divulgación de la protección radiológica. Impulsada por ésta, en julio de 2014 se creó la Plataforma Tecnológica de Protección Radiológica (PEPRI), una asociación cuyo objetivo es promover las actividades de I+D+i orientadas a la protección contra las radiaciones ionizantes y no ionizantes, así como la minimización de sus efectos y el conocimiento. La plataforma aborda aspectos en los que el sector español pueda aportar un valor añadido sobre las actividades que se vienen desarrollando en el contexto internacional, a través de diversos proyectos, grupos de trabajo y publicaciones en este ámbito.

Desde su constitución, el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) ha mantenido un especial apoyo y compromiso con los objetivos y actividades de PEPRI, ostentando incluso su presidencia. El ex consejero del organismo regulador, Francisco Fernández, fue el primer presidente de la Plataforma, cargo que en la actualidad recae sobre el consejero del CSN, Fernando Castelló.

Precisamente, el propio consejero Castelló fue el encargado de inaugurar el pasado marzo la jornada 'I+D en Protección Radiológica' de la Plataforma PEPRI y su Asamblea General. Un acto que tuvo

como objeto actualizar al colectivo de profesionales españoles relacionados con esta materia, los planteamientos y proyectos del Plan Nacional y de los Programas Europeos de I+D+i, tanto sobre los logros y resultados anteriores como sobre las novedades y los retos previstos a corto y medio plazo.

En su intervención en la jornada, organizada también por la SEPR, Fernando Castelló quiso destacar el carácter multidisciplinar de las entidades que forman parte de la plataforma, que cuenta actualmente con sesenta y siete miembros de los sectores hospitalario, instituciones de I+D+i, universidades, industria y energía, empresas de ingeniería y servicios, fabricantes y comercializadores de equipos y el organismo regulador en protección radiológica. Los más de 100 expertos de todos estos sectores contaron también con la presencia del presidente de la SEPR, Borja Bravo, quien destacó el papel de PEPRI en el desarrollo tecnológico y de recursos humanos de cara a los retos que se presentan en las aplicaciones de las radiaciones.

La primera ponencia de la mañana corrió a cargo de la directora general de Política, Investigación, Desarrollo e Innovación del Ministerio de Economía,



Al término de esta jornada, los miembros de la plataforma PEPRI celebraron su Asamblea General, en la que revisaron las actividades más importantes desde su anterior edición.

Los principales programas en PR

La I+D en el campo de la protección radiológica (PR) en España se ha venido realizando tanto en centros básicamente dedicados a ese fin, como en grupos de investigadores de universidades y otros centros de investigación. Actualmente existen varios programas en marcha, que contemplan, de manera directa o indirecta, la I+D en PR entre sus objetivos.

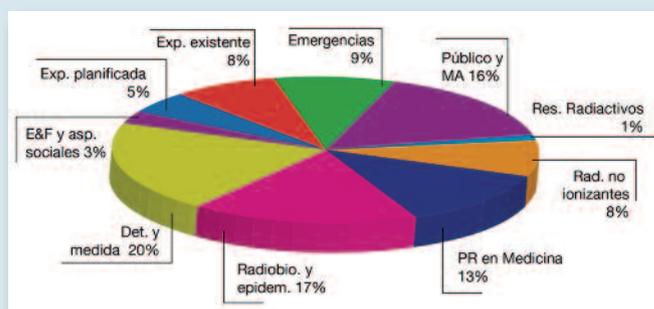
Por orden de contribución de recursos económicos a la I+D en PR de las entidades españolas, los principales programas son:

- Programa Marco de I+D de EURATOM
- Plande I+D del CSN
- Plan Nacional de I+D
- Programa de I+D de UNESA
- Programa de I+D de ENRESA

Las líneas de trabajo actuales de la investigación sobre PR están relacionadas con las líneas de interés que, a ni-

vel europeo se encuentran reflejadas en las agendas estratégicas de las diferentes Plataformas de I+D europeas en PR como NERIS, MELODI, EURADOS, ENETRAP, ALLIANCE, etc.

El total de recursos dedicados en el periodo 2009-2014 a la I+D en PR en España ha sido de 62,7 M€ (10,45 M€ anuales), con la siguiente distribución por Área temática:



Industria y Competitividad, Clara Eugenia García, encargada de presentar el Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación, aprobado en diciembre de 2017 por el Gobierno.

Un Plan que está integrado por cuatro programas estatales que corresponden a los objetivos generales establecidos en la Estrategia Española de Ciencia y Tecnología y de Innovación 2013-2020: promoción del talento y su empleabilidad, generación de conocimiento y fortalecimiento del sistema, liderazgo empresarial en I+D+i e I+D+i orientada a los retos de la sociedad.

“La Secretaría de Estado de Investigación, Desarrollo e Innovación del Ministerio de Economía y Competitividad sometió al trámite de consulta pública previa el avance del Plan Estatal. La Plataforma PEPRI remitió en su momento comentarios al mencionado Plan. Finalmente, según comunicó la Directora General, la protección radiológica está incorporada de forma explícita en el ámbito de la investigación en energía nu-

clear y aunque no de forma explícita, está considerado dentro de la investigación de los riesgos en el ámbito sanitario.”

La jornada continuó con Eduardo Gallego, Catedrático de Ingeniería Nuclear de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Po-

Entre las novedades, se informó de la incorporación de la Plataforma a la Alianza por la Investigación y la Innovación Energéticas (ALINNE)

litécnica de Madrid, quien compartió con los asistentes las experiencias y perspectivas de la protección radiológica en los Planes Europeos de I+D+i.

En la tercera ponencia del día, la responsable del grupo de radiaciones médicas del Institute for Global Health de Ca-

taluña, Isabelle Thierry, presentó el proyecto europeo MEDIRAD sobre las implicaciones de la exposición a bajas dosis de radiación ionizante en las aplicaciones médicas. Este proyecto de 10 millones de euros está financiado por la Comisión Europea, es coordinado por el Institute for Global Health de Cataluña y cuenta con el apoyo de las cinco asociaciones médicas europeas (EANM, EFOMP, EFRS, ESR y ESTRO) y EURAMED, así como de las principales plataformas europeas de investigación en radiación (MELODI y EURADOS).

Al término de esta jornada, los miembros de la plataforma PEPRI celebraron su Asamblea General, en la que revisaron las actividades más importantes desde su anterior edición. Como novedad se informó a los asistentes de la reciente incorporación de la Plataforma a la Alianza por la Investigación y la Innovación Energéticas (ALINNE) y el actual proceso en el que se encuentra para unirse a la Alianza por la Investigación y la Innovación en la Salud (ALINNSA).

Estrategia de Purga y Aporte del sistema de refrigeración del reactor en centrales PWR

La estrategia de Purga y Aporte del sistema de refrigeración del reactor ha sido desarrollada en las centrales PWR con el fin de hacer frente a los accidentes en los cuales se pierde totalmente la capacidad de extracción del calor residual por los generadores de vapor. Dichos escenarios no se encuentran entre los sucesos postulados de los estudios de seguridad de las centrales nucleares, encontrándose en lo que se conoce como condiciones de extensión de diseño. Esta estrategia constituye un elemento importante desde el punto de vista de la seguridad nuclear, dado que conduce a la disminución de la contribución a la frecuencia

de daño al núcleo de estos accidentes. Esta estrategia está integrada en los procedimientos de operación de emergencia de las centrales PWR, tanto de tecnología Westinghouse como de tecnología alemana.

En este artículo se describe la estrategia de Purga y Aporte del sistema de refrigeración del reactor y las características de su implantación en las centrales españolas.

■ Texto **Santiago Aleza Enciso y Eunate Armañanzas Albaizar** | Área de Ingeniería de Sistemas de la Subdirección de Ingeniería del CSN | ■

La estrategia de Purga y Aporte (o B&F, por su denominación en inglés *Bleed and Feed*) del sistema de refrigeración del reactor (RCS, por sus siglas en inglés) ha sido desarrollada en las centrales PWR con el fin de hacer frente a los accidentes en los cuales se pierde totalmente la capacidad de extracción del calor residual por los generadores de vapor. Dicho escenario se produce por la pérdida de toda la capacidad de inyección a los generadores de vapor, es decir, en caso de que se pierda completamente el suministro de agua de alimentación a los generadores de vapor, impidiéndose la refrigeración del RCS a través de los generadores de vapor.

El accidente que requiere la aplicación de la estrategia de B&F no es uno de los accidentes analizados en el capítulo de análisis de accidentes de los estudios de seguridad de las centrales PWR, dado que se excluyó de las bases de diseño originales de estas centrales por haber sido considerado como suceso de muy baja probabilidad. En consecuencia, para el éxito de la estrategia no

es necesario aplicar el criterio de fallo único y para su demostración analítica no se aplican las metodologías del análisis de accidentes conservadoras, sino que se hace uso de hipótesis realistas, aunque envolventes.

La estrategia de Purga y Aporte, tal y como se ha comentado en la introducción del presente artículo, constituye un elemento importante desde el punto de vista de la seguridad nuclear, ya que permite evitar que se produzca daño al núcleo. No obstante, al aplicarla, tanto en centrales de tecnología alemana como americana, se produce un LOCA (*Loss Of Coolant Accident*), una pérdida de refrigerante primario inducida por la apertura continuada de las válvulas de alivio.

En los apartados de este artículo se describe la estrategia Purga y Aporte del RCS y las características de su implantación en las centrales españolas.

Escenario

Para ser conscientes de la importancia de la estrategia de B&F es necesario conocer la evolución del escenario sin la

realización de ninguna acción por parte del personal de operación, para lo que a continuación se presenta una breve exposición de la evolución de dicho transitorio.

Como se ha comentado con anterioridad, la estrategia de B&F está pensada para dar respuesta a un escenario en el que, ante la pérdida del sistema de agua de alimentación principal, el sistema de agua de alimentación auxiliar no es capaz de cumplir su función. En consecuencia, el RCS experimenta una primera etapa de calentamiento y presurización que termina en el momento en que se produce el disparo del reactor y que podría conducir a la apertura de las válvulas de alivio del presionador. En el momento en que el reactor dispara, se registra una reducción de presión y temperatura, tras la cual el reactor estará refrigerado manteniéndose estable la presión y temperatura del RCS, debido a que los generadores de vapor garantizan la extracción del calor residual mientras exista agua en el lado secundario. Dicho periodo finalizará en el momento en que los tubos se hayan

descubierto casi en su totalidad, dado que, al no haber transferencia de calor entre el primario y el secundario, el RCS comenzará a calentarse y la presión subirá hasta el punto de tarado de las válvulas de alivio del presionador.

Una vez que el generador de vapor se haya secado en su totalidad, y mientras el ciclado de las válvulas de alivio del presionador mantiene la presión del RCS alrededor de su punto de tarado, el calor residual calentará el primario hasta que se alcance la temperatura correspondiente a las condiciones de saturación a la presión del RCS. Durante este proceso, se producirá una considerable pérdida de inventario debido a la actuación de las válvulas de alivio que, aunque permite extraer el calor residual, conducirá al descubrimiento del núcleo.

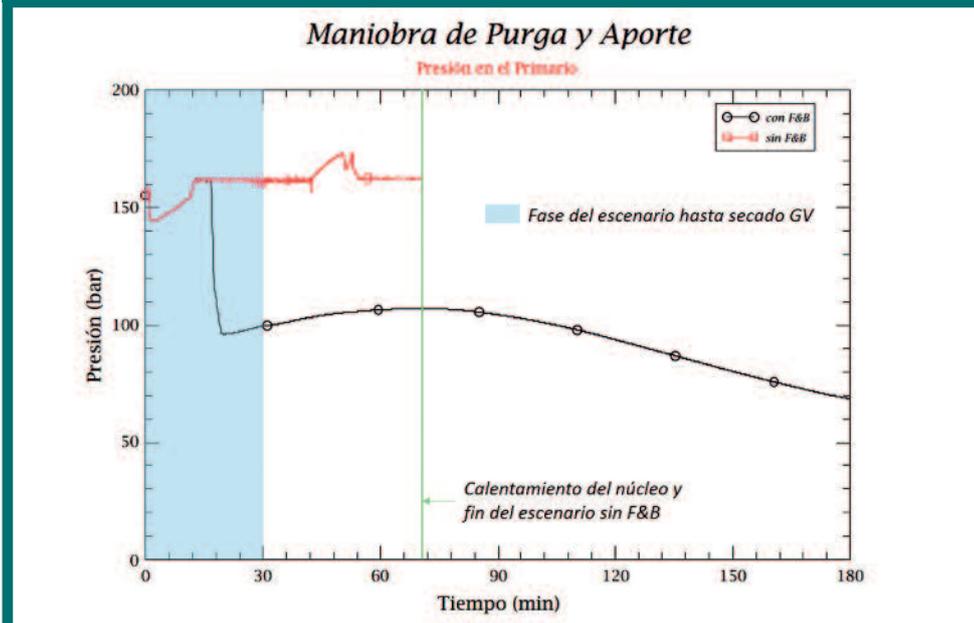
Estrategia

La estrategia a seguir por parte del personal de sala de control para hacer frente a este escenario consiste en disparar las bombas de refrigerante del reactor (BRR) y, una vez confirmada la existencia de caudal a través de al menos un camino de Inyección de Seguridad (IS) y que las bombas de carga estén funcionando, establecer un camino de purga del primario que, al reducir la presión del RCS, permita la entrada de un mayor caudal desde el sistema de inyección de seguridad.

La purga se realiza, en las centrales de tecnología Westinghouse, abriendo manualmente las dos válvulas de alivio del presionador una vez verificadas abiertas sus válvulas de aislamiento respectivas.

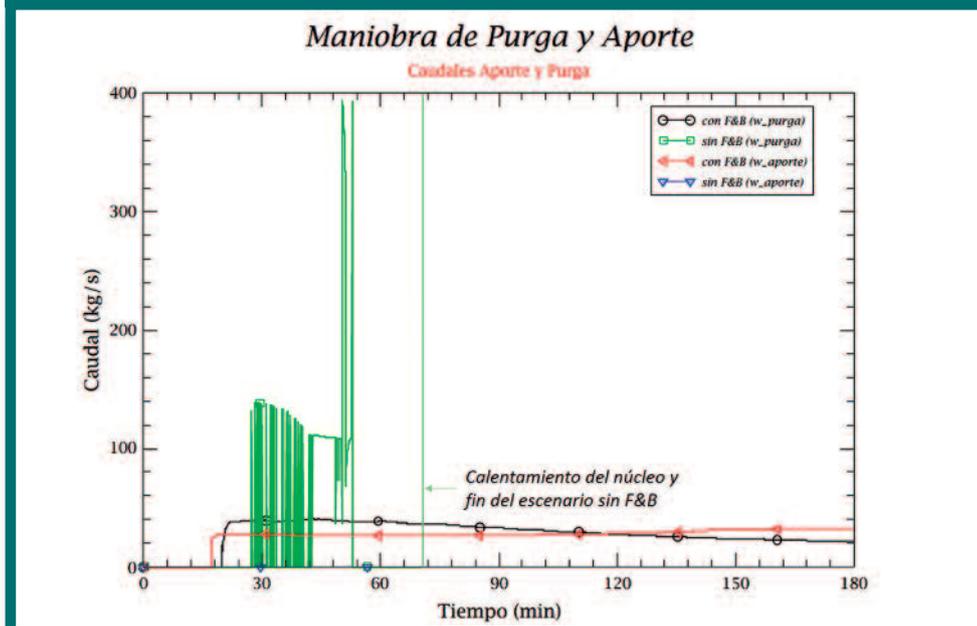
Evolución de la presión del RCS en el caso de pérdida total de extracción de calor por el sistema secundario

Fuente: área Modelación y Simulación - Cátedra Juan Manuel Kindelán de la Escuela de Minas de la UPM



Evolución de los caudales de aporte y purga en caso de pérdida total de extracción de calor por el sistema secundario

Fuente: área Modelación y Simulación - Cátedra Juan Manuel Kindelán de la Escuela de Minas de la UPM



EN ESTAS GRÁFICAS SE REPRESENTA LA EVOLUCIÓN DE LA PRESIÓN DEL RCS Y DE LOS CAUDALES DE LA PURGA Y APORTE para secuencias ejecutadas con el código MAAP 4.06 para una central PWR de Westinghouse de tres lazos. Estos resultados se han extraído del trabajo de colaboración entre el área Modelación y Simulación del CSN y la cátedra Juan Manuel Kindelán de la Escuela de Minas de la UPM para la elaboración del artículo 'C. Queral, J. Mula, C. París, M. Ruiz, J. Gómez, M. Sánchez, E. Meléndez, J. Gil, *Impact of FLEX Strategies and Auxiliary Feedwater Recovery in Total loss of Feedwater Sequences*', en proceso de publicación en la revista 'Reliability Engineering and System Safety' (RESS).

La purga es necesaria dado que, tal y como se ha recogido durante el apartado anterior de desarrollo del escenario, una vez alcanzada la presión de actuación de las válvulas de alivio del presionador (aproximadamente 164 kg/cm²), el RCS se mantiene a dicha presión o a presiones superiores, y a esos valores la capacidad de inyección de las bombas de carga es muy reducida. Por este motivo, la estrategia seleccionada exige que se mantenga la purga abierta y no se deje que las válvulas abran al alcanzar sus puntos de tarado.

Implantación

a) Centrales de tecnología Westinghouse

En las centrales de tecnología Westinghouse esta estrategia se implantó en la primera revisión de los Procedimientos de Operación de Emergencia (POE) y está recogida en el procedimiento POE-FR-H.1 de ‘Respuesta ante la pérdida de sumidero de calor’.

Dicho procedimiento tiene entrada desde el POE-E-0 de ‘Disparo del reactor y/o inyección de seguridad’ cuando no se verifica el caudal mínimo en el sistema de agua de alimentación auxiliar y el nivel de rango estrecho en todos los generadores de vapor es inferior a un valor en torno al 20% (el valor concreto depende de cada central) o, desde el árbol de estado de la Función Crítica de Seguridad de sumidero de calor, por bajo caudal de agua de alimentación y bajo nivel en generadores de vapor.

Siguiendo los procedimientos de emergencia, al alcanzarse un nivel de rango ancho en dos generadores de vapor inferior a un valor en torno al 10% (el valor concreto depende de cada central), los operadores procederían a parar todas las BRR, actuar la Inyección de Seguridad (IS), verificar su caudal y, tras dicha verificación, a abrir y verificar abiertas las válvulas de alivio del presionador y sus válvulas de aislamiento asociadas. Dichos pasos, tal y como recogen los proce-

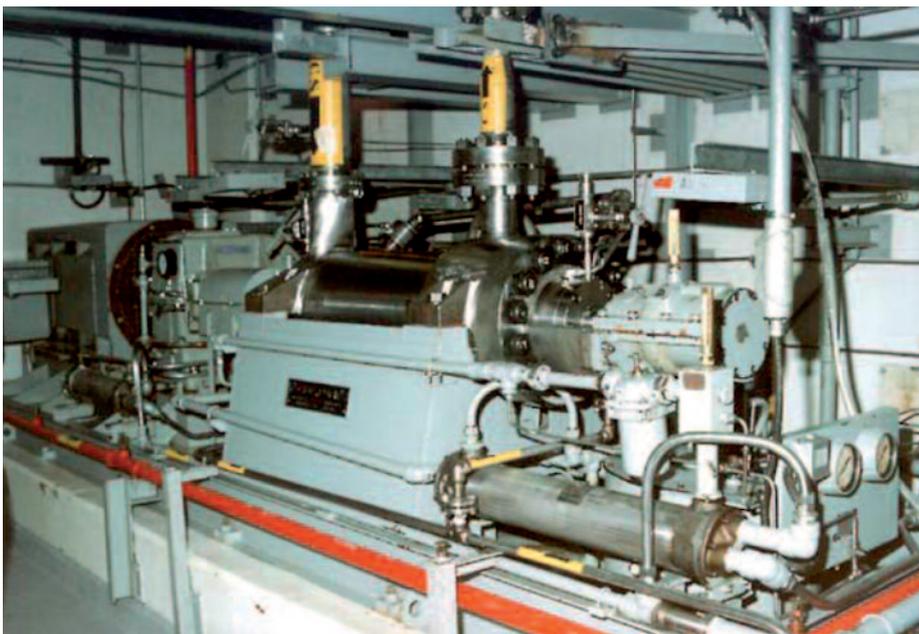


Accionador neumático de la válvula de alivio del presionador. Central PWR de tecnología Westinghouse. (Fuente: CN Almaraz).

dimientos, deben realizarse con rapidez con el fin de establecer la evacuación de calor del RCS mediante purga y aporte.

Tras la realización de dichas acciones, el operador seguiría intentando restablecer el sumidero de calor en, al menos, un

generador de vapor y, en caso de tener éxito y una vez comprobado que el nivel de rango estrecho es superior al 20%, se continuaría con las acciones orientadas a la normalización de la planta. Las primeras acciones que se realizarían para finali-



Bomba de inyección de seguridad de alta presión. Central PWR de tecnología Westinghouse. (Fuente: CN Almaraz).

zar la estrategia de purga y aporte consistirían en: comprobar la posibilidad de finalizar la IS, cerrar una válvula de alivio del presionador, esperar a que se produzca un incremento de presión para, tras dicho aumento, comprobar nuevamente la posibilidad de finalizar la IS y a continuación comprobar el alineamiento del sistema de IS para parar una bomba de carga.

En caso de que no se consiga recuperar el sumidero de calor en al menos un generador de vapor antes de que se alcance un nivel determinado en el tanque de agua de recarga, el procedimiento remite al procedimiento POE-ES-1.3 de 'Cambio a recirculación a ramas frías' en el que se realiza el alineamiento necesario para aspirar con el Sistema de Extracción de Calor Residual (RHR) desde el sumidero de contención, y desde di-

cho sistema alimentar a las bombas del sistema de IS.

Para que la estrategia de purga y aporte sea eficaz, es necesario que dicha estrategia se inicie en el momento adecuado y que la capacidad de las válvulas de alivio del presionador y del sistema de inyección de seguridad sean los necesarios.

El instante en que se debe iniciar la estrategia de purga y aporte depende, a su vez, de la relación existente entre el caudal que se puede evacuar a través de las válvulas de alivio del presionador y la potencia del reactor. Para la selección de la estrategia adecuada, en la documentación soporte de los POE se establece un valor por encima del cual la purga y aporte puede comenzarse momentos antes o incluso justo después de que se produzca el secado de los generadores de vapor, momento en el que también suele alcan-

zarse en el RCS la presión de tarado de las válvulas de alivio (aproximadamente 164 kg/cm²). En las centrales de tecnología Westinghouse españolas, el ratio el caudal de alivio/potencia del reactor considerando ambas válvulas de alivio corresponde a esta situación.

Por el contrario, para las centrales en las que dicha relación es inferior, la condición de inicio de la estrategia de purga y aporte debería producirse cuando aún exista una masa de agua suficiente en cada uno de los generadores de vapor.

Adicionalmente, para el éxito de la estrategia es necesario que se realice el disparo de las BRR en el momento en que se detecta la necesidad de realizar la estrategia de purga y aporte debido a dos motivos. Por un lado, su disparo temprano conduce a que se disponga de más tiempo hasta el secado de los generadores de vapor y, por otro lado, el no disparar las BRR conduce a que el calor aportado por las mismas incremente la generación de vapor y el incremento de presión producido por su operación reduzca la entrada de caudal de IS e incremente la pérdida de inventario a través de las válvulas de alivio del presionador.

En el apartado anterior se analizó la evolución del escenario teniendo en cuenta que no se realizaba ninguna acción por parte de los operadores. A continuación, se analiza la evolución del escenario en una central de tecnología Westinghouse considerando que se lleva a cabo de manera efectiva la estrategia de purga y aporte.

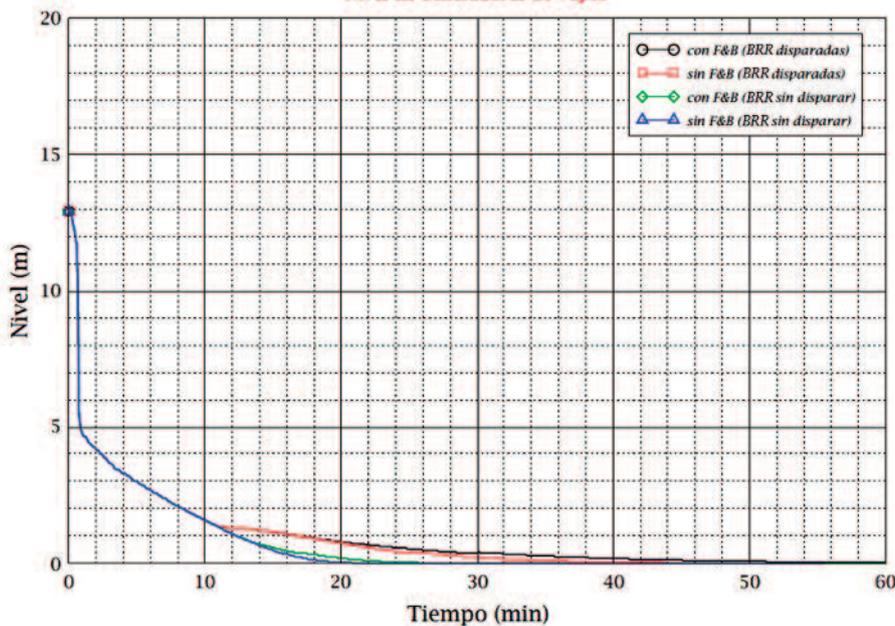
Una vez alcanzado el punto de tarado relativo al nivel de rango ancho en dos de los tres generadores de vapor, los operadores, tal y como se ha comentado con anterioridad, dispararían las BRR, actuarían la Inyección de Seguridad, verificarían su caudal

Evolución del nivel de los generadores de vapor

Fuente: área Modelación y Simulación - Cátedra Juan Manuel Kindelán de la Escuela de Minas de la UPM

Maniobra de Purga y Aporte

Nivel en Generadores de Vapor



y, tras dicha verificación, abrirían y verificarían abiertas las válvulas de alivio del presionador y sus válvulas de aislamiento asociadas. Dicha actuación se producirá cuando la presión en el RCS tenga un valor cercano a 164 kg/cm². Al producirse la apertura de las válvulas de alivio, el RCS experimentará una rápida despresurización y el presionador se llenará. La despresurización inicial durará hasta alcanzarse la presión correspondiente a las condiciones de saturación en el punto más caliente del sistema, momento en el cual se producirá una ligera presurización hasta alcanzarse unas condiciones de equilibrio entre por un lado el caudal aportado por el sistema de IS y la expansión volumétrica del RCS, y por el otro, el caudal evacuado a través de las válvulas de alivio del presionador. Tras alcanzar dicho equilibrio, en el momento en que se recupere el caudal de agua de alimentación a los generadores de vapor, comenzará un nuevo periodo de enfriamiento y despresurización y el nivel de los GV aumentará hasta lograr alcanzar el punto de tarado en el que se puede comenzar a realizar las acciones de finaliza-

ción de la estrategia de purga y aporte que se ha comentado con anterioridad.

b) Centrales de tecnología Siemens-KWU

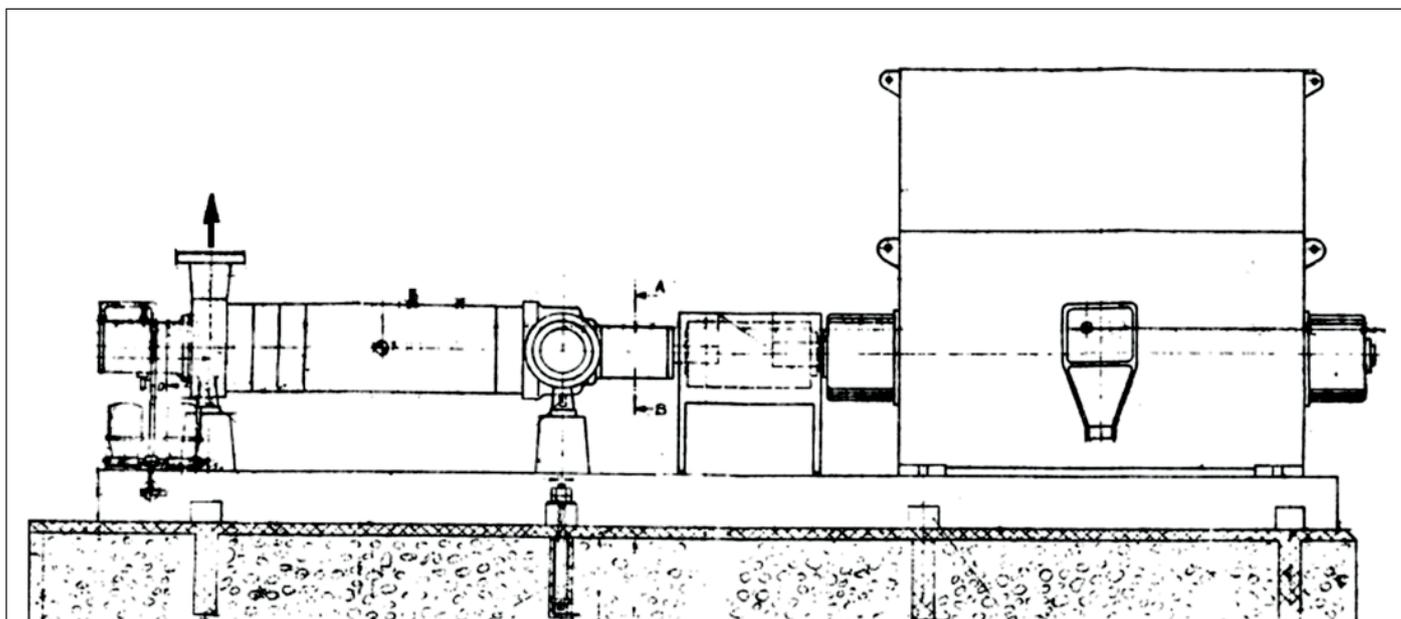
La estrategia de purga y aporte también está establecida en las centrales de tecnología alemana, como es el caso de la central nuclear de Trillo, y trata de hacer frente igualmente a una situación que no está incluida entre los accidentes desarrollados en el capítulo de análisis de accidentes del estudio de seguridad. La evolución termohidráulica y las situaciones para las cuales se desarrolla esta estrategia son similares a las descritas para el caso de las centrales de tecnología Westinghouse, pero existen significativas diferencias en cuanto a la capacidad de los componentes implicados y en cuanto al procedimiento de operación, especialmente en lo relativo a las condiciones para su iniciación y al orden de las acciones individuales.

La estrategia de purga y aporte en las centrales de tecnología alemana no estaba contemplada en su diseño original. En las centrales alemanas se fueron implantando una serie de mejoras para hacer frente a accidentes de baja probabilidad;

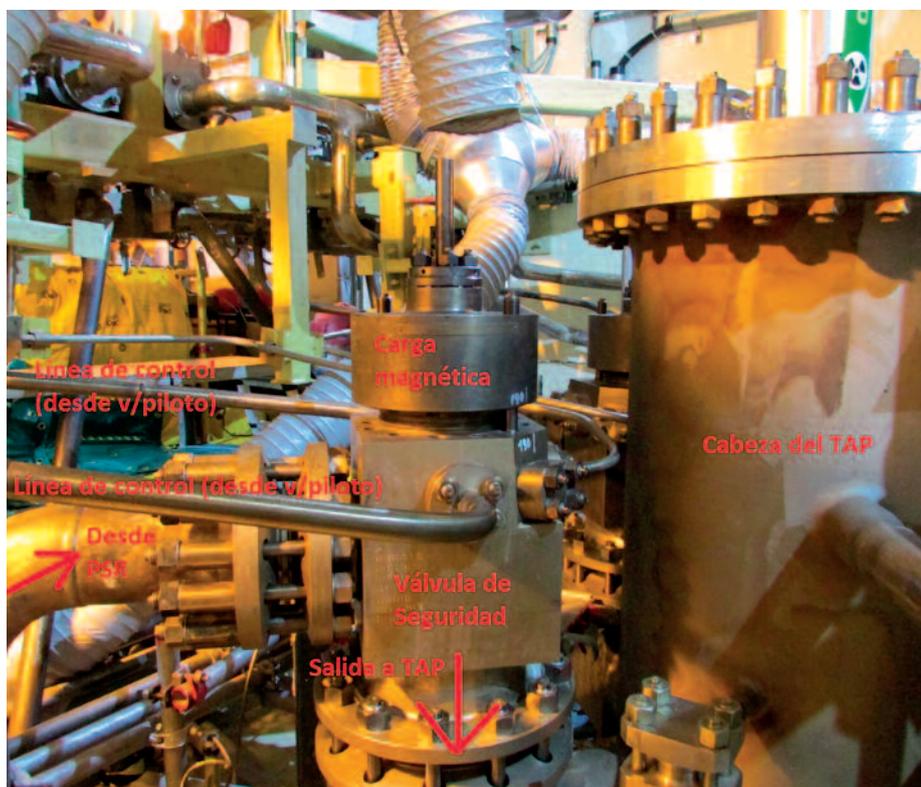
entre ellas, se incluyeron las estrategias de purga y aporte del secundario y del RCS. La primera de ellas consiste en la purga a través de las válvulas de alivio de vapor principal y la alimentación a través de una bomba movida por un motor diesel. La segunda consiste en la purga a través de las válvulas de alivio y seguridad del presionador y la alimentación a través de las bombas de alta presión del sistema TH (sistema de refrigeración de emergencia y evacuación de calor residual).

En el caso de la central nuclear de Trillo, al igual que en el caso del resto de centrales de tecnología alemana, para la implantación de la estrategia de purga y aporte del RCS fue necesario llevar a cabo una modificación de diseño, debido a que el diseño original de la planta no permitía la apertura de las válvulas de alivio y de seguridad del presionador de la manera en que se precisa para la estrategia. Estas modificaciones de diseño, que en el caso de CN Trillo se implantaron en la recarga del año 2013, incluían los siguientes elementos:

- Cambios mecánicos: las válvulas de alivio y las de seguridad están actuadas por el medio, es decir, son accionadas en función de las presiones en su cámara



Bomba de inyección de seguridad de alta presión. Central PWR de tecnología alemana. (Fuente: CN Trillo).



Válvula de seguridad del presionador. Central PWR de tecnología alemana. (Fuente: CN Trillo).

de actuación; la relación de presiones a ambos lados de sus émbolos se modifica a través de la apertura de las válvulas piloto que tienen alimentación eléctrica y que comunican la cámara con el tanque de alivio del presionador. Con el objetivo de proporcionar un circuito de control independiente para las válvulas de alivio y las de seguridad, fue necesario instalar nuevas válvulas de aislamiento y nuevas tuberías de control que comunican la cámara superior de sus émbolos con el tanque de alivio de presión.

- Cambios en las alimentaciones eléctricas para instalar cabinas en el edificio eléctrico, con el fin de albergar los interruptores de mando de las válvulas. La alimentación eléctrica se suministra desde barras de emergencia.

- Cambios en el sistema de limitación, para bloquear la señal que cierra la válvula de aislamiento de la válvula de alivio, así como nuevas alarmas de temperatura a la salida del núcleo y de nivel de agua en vasija.

- Cambios en procedimientos de operación: se desarrolló el procedimiento MAS-2.3.4 'Despresurización y alimentación del primario (PBF)'

Otra diferencia respecto a las centrales PWR de tecnología Westinghouse es la relativa a la capacidad de los componentes. Por un lado, para la purga del RCS, es necesaria la apertura de todas las válvulas del presionador, tanto las dos de seguridad, que proporcionan el 80% del área necesaria, como la válvula de alivio; con este área de purga se garantiza la despresurización del RCS que permite, inicialmente, la inyección con las bombas de alta presión del TH y, posteriormente, la inyección con los acumuladores del TH (a partir de los 25 kg/cm²) y la inyección con las bombas de baja presión del TH para la refrigeración a largo plazo. Por otro lado, las bombas de alta presión del TH tienen una presión de *shut-off* o de corte de 110 kg/cm², por lo cual la presión del RCS debe disminuir por debajo de este valor para que se inicie el aporte al RCS.

Estas características de diseño y la interferencia con el sistema de limitación condicionan el desarrollo de la estrategia, que en el caso de la central nuclear de Trillo ha sido incluida en el procedimiento MAS 2.3.4 'Despresurización y alimentación del primario (PBF)'. El objetivo de la estrategia es evitar el daño del núcleo, y en ella se entra, según el MAS 2.4.1 'Despresurización y alimentación del secundario' cuando, frente a una situación de pérdida total de agua de alimentación a los generadores de vapor, no ha tenido éxito la estrategia de purga y aporte a través del sistema secundario.

El procedimiento MAS 2.3.4 detalla las acciones para llevar a cabo la estrategia e informa a los operadores sobre el momento hasta el cual la eficacia de la maniobra está garantizada desde el punto de vista de refrigeración del núcleo. En este sentido, el procedimiento establece que las acciones preparatorias para hacer la purga del RCS deben iniciarse cuando se produce bajo nivel de agua en los generadores de vapor y deben estar completadas antes de que el nivel de agua en vasija descienda por debajo de un nivel en torno al plano medio de las toberas de la vasija (el denominado mínimo 3) o de que la temperatura de salida del núcleo alcance los 400 °C, momento en el cual se debe iniciar la purga. El aporte al RCS se produce de manera automática gracias a que el sistema de protección arranca la inyección de seguridad.

Estos límites se han establecido sobre la base de cálculos de la evolución de las secuencias realizados con códigos termo-hidráulicos en los cuales adicionalmente se ha determinado que, en caso de una pérdida total de alimentación a los generadores de vapor que sería la situación más limitante, los criterios para proceder a la purga del RCS se alcanzarán aproximadamente a la hora y media del comienzo del accidente. 

Reacción en cadena

INVESTIGACIÓN

Un matrimonio de neurólogos español logra curar el tumor cerebral más letal

Quince años de paciencia, tozudez y determinación han tardado Candelaria Gómez-Manzano y Juan Fueyo, un matrimonio español de neurólogos que trabaja en el Centro de Cáncer MD Anderson, en Texas (EE.UU.), en demostrar que un virus del resfriado, al que le han realizado modificaciones genéticas, puede destruir de forma efectiva el glioblastoma, el tumor cerebral maligno más común, agresivo y letal. Este tipo de cáncer no responde a la quimioterapia ni a la radioterapia y tiene una esperanza de vida de apenas 14 meses.

En un ensayo clínico fase 1 con personas que padecían este tumor, les inyectaron un adenovirus, su Delta24-NGR, y vieron cómo en el 20% de los pacientes, el tumor “se fundió” por completo y lograron vivir entre 3 y 5 años más, con calidad de vida, sin los efectos secundarios que producen la quimioterapia y la radioterapia. Desafortunadamente, pasado ese tiempo las personas desarrollaron un nuevo tipo de tumor cerebral, mucho más agresivo, el gliosarcoma, que fue el que acabó con sus vidas.



Para un 20% de los 25 enfermos que participaron, el tratamiento ha sido “muy efectivo, incluso ha destruido el tumor”, aseguran los investigadores.

“Es muy esperanzador. En el futuro quizás podremos cronificar la enfermedad; inyectar distintas combinaciones de virus junto con otros

tratamientos de inmunoterapia para tratar a los pacientes afectados con este tipo específico de tumores”, afirman Gómez-Manzano y Fueyo, que han publicado sus resultados en el *Journal of Clinical Oncology*.

Esta pareja de científicos llegó en 1994 al MD Anderson cada uno con una beca para investigar terapia génica. Allí conocieron a Ramón Alemany, actual investigador del Institut Català d'Oncologia (ICO), quien ya trabajaba con adenovirus y les propuso usar este tipo de microbios en su investigación. Ahora, el Delta24-NGR se está usando en la Clínica Universidad de Navarra en un ensayo clínico con adultos y otros con niños pequeños con tumor de tronco difuso.



Los neurólogos españoles Juan Fueyo y Candelaria Gómez-Manzano reconocen con optimismo que es ahora, después de 20 años, cuando se empieza a avanzar “a pasos agigantados” en el tratamientos de los tumores cerebrales.



La muestra recorre la obra de grandes matemáticos, físicos y naturalistas de la historia.

La Biblioteca Nacional se abre al ‘Cosmos’

El mundo científico, el universo y la naturaleza son el eje central de *Cosmos*, una exposición de la Biblioteca Nacional de España, abierta hasta el próximo 9 de septiembre, que recorre la obra de grandes matemáticos, físicos y naturalistas de la historia, desde el nacimiento de la astronomía hasta la exploración espacial.

El objetivo de la exposición, según su comisario, José Manuel Sánchez Ron, catedrático de Historia de la Ciencia de la Universidad Autónoma de Madrid y académico de la Real Academia Española, es la presentación de una visión global sobre el contenido del universo y los sistemas científicos elaborados a lo largo de la historia para conocerlo y comprenderlo.

El astrofísico y divulgador Carl Sagan definía el cosmos co-

mo “todo lo que es o lo que fue o lo que será alguna vez”, una frase que resume bien el contenido de la muestra, que está constituida por más de 200 piezas destacadas de la historia de la ciencia: manuscritos, incunables, primeras ediciones, cuadros, tapices, mapas, maquetas, esferas y todo tipo de objetos e instrumentos tecnológicos.

Entre otras obras, están expuestas los dos volúmenes de los *Códices Madrid* de Leonardo da Vinci; cuadros del Museo del Prado de Adriaen van Stalpent, José Ribera, Jean Ranc y Girolamo Mazzola Bedoli; el gran tapiz *Hércules sostiene la esfera terrestre*, manufactura bruselense, de Patrimonio Nacional; *el Arca matemática*, un arcón de instrumentos matemáticos de Carlos II (1675); *la Biblia de Gutenberg*

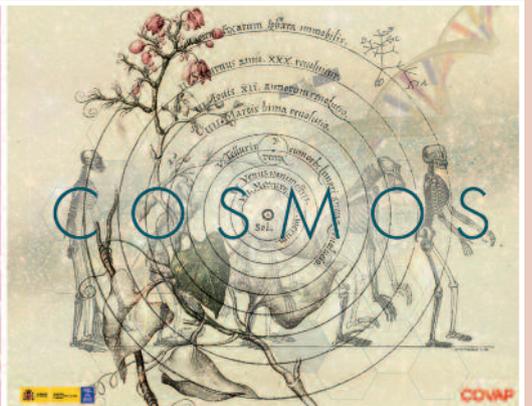
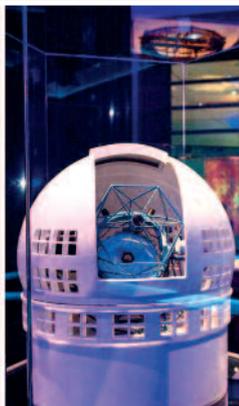
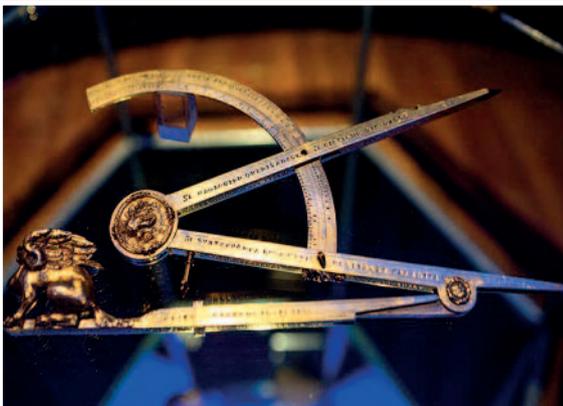
de la Biblioteca de la Universidad de Sevilla; dos esferas armilares, una geocéntrica y otra heliocéntrica; las maquetas de barcos del Museo Naval y las de aviones del Museo de Aeronáutica y Astronáutica; el modelo de gran dimensión de la máquina de vapor *Lady Pamela*, los mapas antiguos o los ejemplares botánicos y zoológicos del Jardín Botánico y el Museo de Ciencias Naturales. La muestra presenta los avances realizados por Euclides, Arquímedes, Ptolomeo, Copérnico, Kepler, Galileo, Newton, Marie Curie, Darwin o Ada Lovelace.

Biblioteca Nacional de España

Sala Recoletos. Paseo de Recoletos, 20 y 22. Madrid

Abierta de martes a sábados, hasta el 19 de septiembre.

Entrada libre



ZOOLOGÍA

Descubiertas 15 nuevas especies de invertebrados en la Sierra de Guadarrama

Un equipo de científicos ha descubierto más de 75.000 colémbolos de 59 especies distintas en el Parque Nacional de la madrileña Sierra de Guadarrama. De ellas, 15 son nuevas para la ciencia, ya que no habían sido descritas previamente.

Los colémbolos son pequeños invertebrados que poseen ciclos reproductivos muy cortos y respiran a través de la piel. Son muy sensibles a cualquier cambio en el medio que les rodea y, según los expertos, podrían utilizarse como un bioindicador de la situación ambiental en entornos como los parques naturales. “A través de su estudio podemos saber cómo afectan las alteraciones provocadas por el cambio climático, el aumento de las temperaturas o la reducción de las precipitaciones”, subraya Enrique Baquero, zoólogo de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Navarra y director del Máster en Biodiversidad, Paisajes y Gestión Sostenible del centro académico.



Los colémbolos podrían utilizarse como bioindicadores de su entorno.

LIBROS

Cincuenta innovaciones que han cambiado el mundo

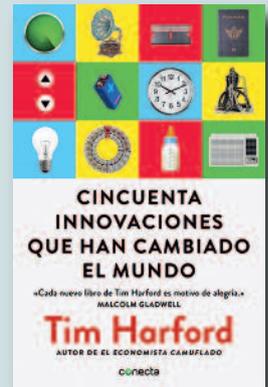
Tim Harford

Conecta. 2018. 352 páginas

A través de las fascinantes historias de cincuenta ideas e inventos, el autor de *El economista camuflado* explica en este nuevo libro cómo la innovación puede cambiar nuestras vidas y alterar el complejo sistema económico global.

Hay innovaciones, ideas e inventos que permiten curar el cáncer. Otras nos permiten llegar a nuestros destinos de vacaciones mucho más deprisa. Son divertidas. Generan dinero. Y, por descontado, los inventos tienen éxito porque resuelven un problema que alguien, en algún lugar, quiere resolver. El arado, por ejemplo, tuvo éxito porque ayudó a los agricultores a producir más comida con menos esfuerzo.

Sin embargo, los inventos configuran nuestra vida de manera impredecible y, mientras resuelven un problema para alguien, a menudo crean un problema para otra persona. ¿Por qué el código de barras cambió el equilibrio de poderes en la industria alimentaria? ¿Y cómo el alambre de púas forjó el futuro de Estados Unidos? Las innovaciones afectan a una compleja red de conexiones económicas. A veces nos complican la vida, otras rompen viejos límites y, en ocasiones, crean patrones completamente nuevos.



ENERGÍA

Ionity, la red de alta potencia que electrificará las carreteras europeas

La tecnología para ofrecer turismos con elevada autonomía eléctrica está ya disponible en numerosos fabricantes. El gran inconveniente es la dificultad para recargar las baterías. Por ello, un grupo de grandes marcas automovilistas han constituido un frente común para desarrollar en Europa una red que permita desarrollar cuanto antes la movili-

dad eléctrica, y han constituido la *joint venture* IONITY, que desarrollará e implementará una Red de Carga de Alta Potencia (HPC, por sus iniciales en inglés) para vehículos eléctricos en toda Europa. Su previsión es construir hasta 400 estaciones de carga de alta potencia de aquí a 2020, un importante paso adelante para los vehículos eléctricos.



IONITY desarrollará 400 estaciones de carga de alta potencia en Europa antes de finales de 2020.

Panorama



En las reuniones de trabajo se intercambió información sobre distintos aspectos asociados con el protocolo de vigilancia radiológica de materiales metálicos.

El Consejo recibe a una delegación de su homólogo ruso, Rostechnadzor

Una delegación del organismo regulador ruso (Rostechnadzor), encabezada por su presidente, Alexey Aleshin, ha visitado el CSN durante los días 27 y 28 de febrero.

El objeto de la visita de carácter técnico fue el intercambio de información sobre la actividad reguladora en el ámbito de la seguridad física y el control de las fuentes radiactivas que se realiza tanto en España como en la Federación de Rusia. Las jornadas contaron con presentaciones institucionales realizadas por parte del presidente del CSN, Fernando Marti Scharfhausen, y de su homólogo ruso.

En las reuniones de trabajo se intercambió información sobre distintos aspectos asociados con el protocolo de vigilancia radiológica de materiales metálicos y sobre el proyecto de Real Decreto sobre control y recuperación de fuentes huérfanas que se publicará próximamente.

Los representantes de Rostechnadzor tuvieron la oportunidad de visitar el centro de información del Consejo de Seguridad Nuclear. Posteriormente, la delegación rusa se desplazó junto con miembros del CSN a El Cabril, la instalación de almacenamiento de residuos radiactivos de muy baja, baja y media

actividad en España situada en el término municipal de Hornachuelos, en la provincia Córdoba, cuyo titular es la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, S.A. (ENRESA), donde tuvieron ocasión de comprobar en directo cómo se gestionan este tipo de residuos de forma práctica.

El mantenimiento de relaciones oficiales con organismos similares extranjeros en temas de seguridad nuclear y protección radiológica forma parte de las funciones de este organismo, establecidas en la Ley 15/1980 de creación del Consejo de Seguridad Nuclear. ▸

El CSN acoge la reunión del comité de enlace con la Asociación Española de la Industria Eléctrica

El Consejo de Seguridad Nuclear acogió la reunión del comité de enlace con la Asociación Española de la Industria Eléctrica (Unesa). El encuentro estuvo presidido por el consejero del CSN, Javier Dies, quien estuvo acompañado por la vicepresidenta del organismo regulador, Rosario Velasco, y los consejeros Fernando Castelló y Jorge Fabra. Además, participaron por parte del CSN los directores técnicos de Seguridad Nuclear y Protección Radiológica, Antonio Munuera y María Fernanda Sánchez.

Durante la reunión, se revisó el análisis global realizado por Unesa respecto a las alternativas de gestión del combustible gastado de las centrales nucleares españolas, tanto en almacenamiento en húmedo en las piscinas, donde se ha revisado el actual grado de ocupación, como las actividades de licenciamiento



La sede del Consejo de Seguridad Nuclear acogió la reunión del comité de enlace con Unesa.

de contenedores de almacenamiento en seco en los Almacenes Temporales Individualizados (ATI).

Paralelamente se plantearon referencias a otras actividades en el marco del grupo de trabajo Ministerio de Energía,

Turismo y Agenda Digital (Minetad)–Unesa–Empresa Nacional de Residuos Radioactivos (Enresa), entre las que se encuentra el proceso de licenciamiento del Almacén Temporal Centralizado (ATC). ▶

El consejero Jorge Fabra visita la central nuclear de Almaraz

El consejero del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) Jorge Fabra visitó el pasado 26 de febrero las instalaciones de la central nuclear de Almaraz, en Cáceres, donde fue recibido por el equipo directivo de la instalación.

Antes de iniciar el recorrido programado de la visita, Jorge Fabra mantuvo una reunión con la inspección residente del CSN. Durante su itinerario por la central nuclear, Jorge Fabra tuvo la oportunidad de visitar la sala de control, el edificio de turbinas, los generadores diésel de emergencias, la zona controlada y la sala de cables. ▶



En la imagen, el consejero Jorge Fabra en la sala de control de la central nuclear de Almaraz.

El secretario general participa en la inauguración de la jornada ‘Las centrales nucleares en 2017. Experiencias y perspectivas’

El secretario general del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), Manuel Rodríguez, participó en la sesión inaugural de la jornada ‘Las centrales nucleares en 2017. Experiencias y perspectivas’, organizada por la Sociedad Nuclear Española (SNE) y celebrada en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid el pasado 6 de marzo.

Durante su intervención, tras excusar la ausencia del presidente del CSN por motivos de agenda, el secretario general destacó algunos aspectos significativos relacionados con las centrales nucleares españolas durante el pasado año. Dentro de estos aspectos hizo mención a la modificación de la sistemática para llevar a cabo las revisiones periódicas de seguridad de las centrales nucleares que se produjo en el primer trimestre de 2017.

Asimismo, se refirió, como hitos significativos desarrollados durante el pasado año, a la elaboración y remisión a la Comisión Europea de la segunda revisión del Plan Nacional de actuaciones derivadas de lecciones aprendidas de Fukushima y del informe para la revisión por homólogos, temática requerida por la Directiva Europea 2014/87/EURATOM (*topical peer review*, en inglés) sobre gestión del envejecimiento. También hizo mención a la séptima reunión de revisión de la Convención sobre Seguridad Nuclear de 2017 y su resultado más destacable en relación con el informe nacional presentado por España.

El secretario general repasó algunos temas relacionados con el funcionamiento del CSN durante el pasado ejer-

cio y mencionó, entre ellos, la aprobación del Plan Estratégico y el Plan de Comunicación del organismo regulador. También destacó los cambios producidos en 2017 dentro de la organización del Pleno del CSN; la incorporación de Jorge Fabra Utray, como nuevo consejero del organismo regulador y su nombramiento como secretario general.

Al final de su intervención, recordó que uno de los retos más importantes para 2018 será la acogida de la misión combinada IRRS-Artemis a España, que el OIEA llevará a cabo en octubre.

El consejero del CSN, Javier Dies, también estuvo presente durante toda la jornada que reunió a numerosos profesionales del sector y en la que se dedicó una sesión especial a ‘La Industria 4.0’.



El secretario general del CSN, Manuel Rodríguez, en la sesión inaugural de la jornada ‘Las centrales nucleares en 2017. Experiencias y perspectivas’.

Expertos en materia radiológica y nuclear se reúnen con autoridades de Energía, Salud y Relaciones Exteriores de Chile

En el marco del programa de trabajo que realizó en Chile el pasado mes de enero, un grupo de expertos que conforman la misión del Sistema Integrado de Revisión Regulatoria (IRRS, por sus siglas en inglés), enviada por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y encabezada por el director de Protección Radiológica y Operacional del Consejo de Seguridad Nuclear de España, Javier Zarzuela, se reunió con Patricio Aguilera, director ejecutivo de la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN) y con las máximas autoridades de los ministerios de Energía, Salud y de la Dirección de Seguridad Internacional y Humana del Ministerio de Relaciones Exteriores. El objetivo consistió en definir los apoyos a Chile en el análisis y mejora del marco regulatorio nuclear y radiológico, además de actualizarlos en los avances de la revisión.

La primera cita de estos encuentros tuvo lugar en las dependencias del Ministerio de Energía, con la presencia de su máxima autoridad, Andrés Rebolledo. Continuó en las oficinas del Ministerio de Salud, donde fueron recibidos por la ministra Carmen Castillo y el subsecretario Jaime Burrows. La jornada finalizó con un encuentro en el Ministerio de Relaciones Exte-



Estos encuentros fueron parte de la agenda en Chile la comitiva que conforma la misión IRRS para analizar el marco regulatorio nuclear y radiológico del país.



Foto de grupo de la misión del Sistema Integrado de Revisión Regulatoria enviada OIEA y encabezada el director de Protección Radiológica y Operacional del CSN, Javier Zarzuela.

riores, presidida por el consejero Frank Tressler. En todas estas reuniones, el director Ejecutivo de la CCHEN, Patricio Aguilera, subrayó la importancia de sumarse a los países que adoptan el servicio IRRS, entre otros, Japón, EE.UU., Rusia y China.

El objetivo de esta misión, dirigida por Javier Zarzuela, director de Protección Radiológica y Operacional del CSN, es la aportación de nuevos estándares de seguridad para los usuarios de material radiactivo en el sector productivo y para la población que se beneficia de este tipo de aplicaciones, especialmente en materia de salud. “No todos los países se atreven a someterse a este tipo de revisiones y Chile es uno de los países que sí decidió a dar un paso adelante”, afirmó Zarzuela, después de agradecer al Gobierno chileno su colaboración y transparencia. Para el ministro Rebolledo, “este análisis es una buena manera de dejar planteado el tema en términos de desafíos para el siguiente gobierno”, mientras que la ministra Castillo valoró que se trata de una evaluación objetiva y que proviene de terceros. “Nos ayudará a detectar nuestras fortalezas y debilidades, dónde tenemos oportunidades de mejora, especialmente en el ámbito de la formación, dónde debemos transmitir conocimientos a la nuevas generaciones”.

Principales acuerdos del Pleno

Revisión 1 de la Instrucción IS-22 sobre requisitos de seguridad para la gestión del envejecimiento y la operación a largo plazo de CN

El Boletín Oficial del Estado publicó el 30 de noviembre la Instrucción IS-22 aprobada por el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) referente a los requisitos de seguridad para la gestión del envejecimiento y la operación a largo plazo de centrales nucleares. El artículo 2.a) de la Ley 15/1980, de 22 de abril, de creación del CSN atribuye a este Ente Público la facultad de “elaborar y aprobar las Instrucciones, Circulares y Guías de carácter técnico relativas a las instalaciones nucleares y radiactivas y las actividades relacionadas con la seguridad nuclear y la protección radiológica”.

Según el artículo 8.3 del Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas (Real Decreto 1836/1999, de 3 de diciembre) y por la necesidad de incorporar al marco jurídico español estos requisitos, el 1 de julio de 2009 el CSN aprobó la Instrucción IS-22 “Requisitos de seguridad para la gestión del envejecimiento y la operación a largo plazo de centrales nucleares” (BOE de 10 de julio de 2009).

Revisión 2 del Plan de acción nacional post-Fukushima

El CSN aprobó el pasado 21 de diciembre la Revisión 2 del Plan de acción nacional post-Fukushima, que actualiza su revisión 1 al incluir las cuestiones suscitadas en el último *workshop* del Grupo de Reguladores Europeos de Seguridad Nuclear (ENSREG, por sus siglas en inglés) celebrado en 2015. Este Plan de acción en revisión 2 concluye indicando que no se han incluido medidas adicionales relevantes, ni se han modificado las medidas previstas en la revisión anterior.

La conclusión general es que se ha terminado la implantación de las acciones y compromisos adquiridos por España tras las pruebas de resistencia europeas. Pendiente, aunque muy avanzada, está la implantación en el marco regulador de los niveles de referencia de la Asociación de Reguladores Nucleares Europeos (WENRA, por sus siglas en inglés) revisados tras Fukushima.

Informe Nacional *Topical Peer Review* sobre gestión del envejecimiento

El CSN aprobó el pasado 21 de diciembre el Informe Nacional que recoge el análisis del programa de gestión del envejecimiento global aplicable a las centrales nucleares en base a la regulación existente en España, así como su aplicación específica para los sistemas, estructuras y componentes seleccionados en las especificaciones de la Asociación Europea de Reguladores Nucleares (WENRA).

Se cumple así con los compromisos adquiridos en ENSREG, para cumplir con la Directiva 2014/87/EURATOM sobre seguridad nuclear en cuanto a las revisiones por homólogos como herramienta de mejora continua de la seguridad.

Memorando de entendimiento entre el CSN y la Agencia Marroquí de Seguridad Nuclear

El Pleno del Consejo aprobó, el 10 de enero, el Memorando de entendimiento entre el Organismo Regulador Español (CSN) y la Agencia Marroquí de Seguridad Nuclear y Radiológica (AMSSNuR), que se traduce en el incremento de la colaboración entre el regulador español y la AMSSNuR, y establece un marco de intercambio de información bilateral.

El Memorando de Entendimiento firmado en el Ministerio de Energía y

Minas en Rabat tendrá una duración inicial de cinco años y contempla el intercambio de información en materia de seguridad nuclear y regulación e incluye aspectos como la experiencia operativa y las lecciones aprendidas de los accidentes nucleares, la gestión de las emergencias y la comunicación en situaciones de crisis, la reducción del riesgo de accidentes severos y la mitigación de sus consecuencias o la investigación y el desarrollo.

Modificaciones del condicionado y de las Instrucciones Técnicas Complementarias

El 8 de noviembre de 2017, el Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear aprobó la modificación del condicionado y de las Instrucciones Técnicas Complementarias asociadas a las autorizaciones de explotación de las instalaciones nucleares y de la declaración de cese de explotación de la central Santa María de Garoña (Burgos), en lo relativo al trámite de aprobación de las revisiones del Plan de Emergencia Interior. Dicha modificación se aplicaba a las siguientes instalaciones: Almaraz I y II, Ascó I y II, Cofrentes, Vandellós II, Trillo, Santa María de Garoña y la Fábrica de elementos combustibles de Juzbado (Salamanca).

El Pleno aprobó también la modificación de las Instrucciones Técnicas Complementarias asociadas a las autorizaciones de explotación de las centrales nucleares y a la declaración de cese de explotación de la central Santa María de Garoña, relativas al análisis de la experiencia operativa propia y ajena que los titulares deben enviar al CSN. En este caso las instalaciones afectadas son: Almaraz I y II, Ascó I y II, Cofrentes, Vandellós II, Trillo y Santa M^a de Garoña. 

La revista 'Alfa', en la web del CSN

Alfa es la revista trimestral del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), que ofrece información relativa a las novedades que se producen en el organismo regulador. Además de reportajes, entrevistas y noticias breves relacionadas con el Consejo, *Alfa* da una visión general del estado en el que se encuentra el sector de las energías, y en concreto la nuclear en España. Además de su edición impresa, a través de la *home* de la web del regulador –www.csn.es– existe la posibilidad de descargar cada número en formato PDF.

Ruta en 3 pasos para consultar todos los números de 'Alfa'

1



2

3



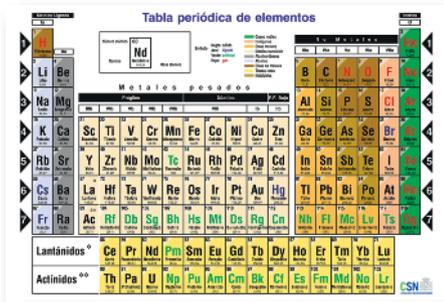
Para todas la pantallas y 'smartphones'. La web del CSN destaca por su usabilidad y su diseño *responsive*, que se adapta a todas las pantallas y terminales inteligentes, desde los que también se puede consultar la revista 'Alfa'.

(1.) A través de la pestaña **CENTRO DE DOCUMENTACIÓN** de la *home* de la web se accede a una sección (2.) donde, entre las diferentes opciones, se llega a **REVISTA ALFA**, la hemeroteca de esta publicación. (3.) En esta sección de la web del CSN se pueden consultar y descargar en formato PDF todos los números publicados, de forma completamente gratuita.



Publicaciones

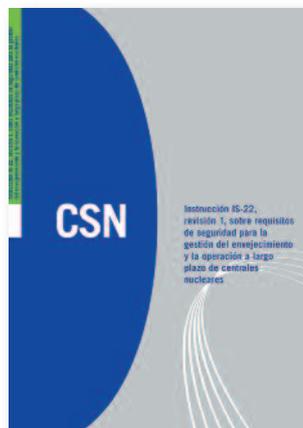
Póster Átomo



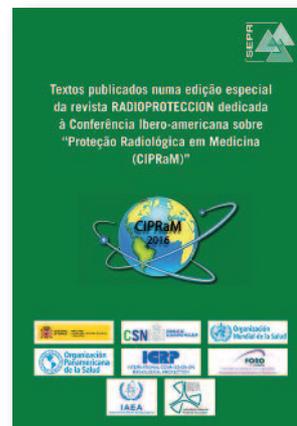
Póster Tabla periódica de los elementos



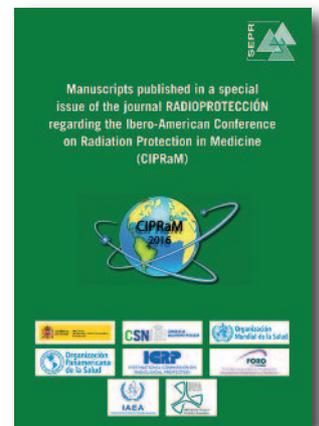
Traducción de ponencias CIPRAM 2016



Instrucción IS-27, revisión 1, sobre requisitos de seguridad para la gestión del envejecimiento y la operación a largo plazo de centrales nucleares



Portugués



Inglés

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 The proton super accelerator to see through matter

The European Spallation Source (ESS) is a large linear particle accelerator that makes it possible to look inside the materials that make up our world in order to study how their atoms move and interact internally. Among other applications, this will allow new therapies and materials to be developed. Spain will manufacture certain key components but has yet to sign the agreement to become a member country.

28 Lise Meitner, fission and humanity

The biography of all outstanding scientists includes a determining event that puts their name on the list of researchers worthy of a place of honour in history. In the case of Lise Meitner, the story has two sides to it and it is not possible to understand one without the other: the first would be her role in discovering nuclear fission and the second the way in which this role was overlooked by the institution in charge of bestowing the world's most widely recognised scientific awards.

36 The major nuclear energy forums

Nuclear technology is used to supply power, for medical uses, in the sustainable management of water resources, in the world of art and in a long list of other areas, all supervised by high-ranking organisations. The developed nations have national, regional and international organisations to guarantee the safety of the facilities and apparatus deriving from nuclear technology, the aim being to protect those concerned and guarantee the innocuousness of the wastes generated.

42 What will the kilo, the ampere, the kelvin and the mol be like?

In November 2018 the General Conference on Weights and Measures will redefine four basic scientific units: the ampere, the kilogram, the kelvin and the mol. The changes will come into force in May of 2019. This is the most important revision of this international reference system (IS) since it was established in 1960. The redefinitions of these units will be based on relations with fundamental constants instead of abstract constants or arbitrary definitions, which has been the case to date. This will allow scientists to work with higher degrees of accuracy, although the changes will not affect conventional scales.

RADIOGRAPHY

34 The group of scientific experts of article 31 of the Euratom Treaty

INSIDE THE CSN

20 The SEP, beyond the management of nuclear and radiological risks

What most attracts one's attention about this sub-directorate is probably the management of emergencies, i.e., the threats and risks that might arise in the nuclear and radiological area, which are always a priority. But the sub-directorate of Emergencies and Security (SEP) has a wider role: from its assessment activities to being in charge of putting together and maintaining the network of CSN collaborators with other departments of the Executive.

INTERVIEW

14 Jorge Fabra Utray, counsellor of the Nuclear Safety Council (CSN)

"When it comes to neutrality, independence and transparency, there is always room for improvement"

TECHNICAL ARTICLES

24 The CSN hosts the preparatory meetings for the IAEA's IRRS and ARTEMIS missions

On January 25th and 26th last, the Nuclear Safety Council headquarters hosted the preparatory meeting, sessions during which agreement was reached regarding all the issues required for correct performance of the IRRS-ARTEMIS mission in October 2018.

48 The PEPRI platform organises the session on 'R&D in Radiological Protection'

During last March the PEPRI Platform's session 'R&D in Radiological Protection' was held, along with the organisation's General Assembly. The objective of the event was to update the Spanish professionals involved in this area with regard to the approaches and projects of the National Plan and the European Programmes on R&D&i.

51 Reactor coolant system Bleed and Feed strategy at PWR plants

This article describes the reactor coolant system Bleed and Feed strategy and the characteristics of its implementation at the Spanish plants.

- 66 Panorama
- 69 Plenary Agreements
- 70 Publications



Nueva web del Consejo de Seguridad Nuclear, con mejores contenidos, 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, ahora también desde tu móvil.



www.csn.es