

Trappist-1, la ambición de descubrir alguna forma de vida extraterrestre

Subdirección de Asesoría Jurídica



'Ingeniería jurídica' para el Consejo de Seguridad Nuclear

Manuel Rodríguez Martí, secretario general del CSN



"Nuestra fortaleza está
en la cualificación y en
la experiencia del personal"



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

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



www.csn.es

Fórmulas para el avance y la cooperación

¿Hay vida más allá de la tierra? El mundo científico está de celebración, y es que un equipo internacional de astrónomos ha descubierto un sistema planetario que abre la puerta a complejas especulaciones sobre las posibilidades de vida extraterrestre. Las observaciones indican que en órbita de la estrella Trappist-1 hay al menos siete planetas, algunos de ellos parecidos al nuestro.

Quizás también le sorprenda saber que ya se habla de una “nueva gasolina”, el litio. Utilizado para fines industriales y como tratamiento de psicopatologías desde antaño, hoy se erige como una posible alternativa energética al petróleo.

¿Sabían que la tierra que contiene residuos radiactivos puede lavarse? En julio de 2016 el CSN aprobó una planta de lavado de tierras para el desmantelamiento de la central nuclear José Cabrera. Su función es la de gestionar y tratar los suelos afectados por la contaminación. ¿Quieren conocer su funcionamiento?

La entrevista de este número está dedicada al recién estrenado secretario general de CSN, Manuel Rodríguez Martí. Es la primera vez, desde la creación del organismo regulador, que un funcionario de la Escala Superior del Cuerpo de Se-

guridad Nuclear y Protección Radiológica asume este cargo. Su dilatada trayectoria en la institución y el profundo conocimiento de sus dos grandes áreas de actividad resultará de gran valía en la gestión del CSN, una organismo cuya fortaleza reside en “la cualificación y la experiencia de su personal”, tal y como ha remarcado el secretario general.

¿Sabían que la tierra que contiene residuos radiactivos puede lavarse? En julio de 2016 el CSN aprobó una planta de lavado de tierras para el desmantelamiento de la central nuclear José Cabrera y, en nuestras páginas, explicamos cómo funciona

Este número nos brinda la ocasión de conocer al equipo de profesionales encargado de sustentar legalmente al CSN, que trabaja para detectar de forma temprana los problemas que puedan surgir en la materia. En la sección ‘El CSN por dentro’, podrán conocer más acerca de la Subdi-

rección de Asesoría Jurídica. También nos acercamos al físico italiano, Enrico Fermi, premio Nobel que llevó a cabo la primera reacción en cadena automantenida, iniciando así la liberación controlada de energía nuclear.

En la parte más técnica de **ALFA**, encontraremos tres artículos, dos de ellos dedicados a mejoras en la seguridad de las centrales nucleares. El primero nos presenta los códigos de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD, por sus siglas en inglés), una herramienta muy útil en los análisis de simulación de incendios en centrales nucleares y en otra línea, a través del proyecto BSAF de la OCDE, conoceremos los avances hechos por la comunidad internacional ante los retos planteados por el accidente de Fukushima. El último artículo manifiesta la importancia de la interacción con los conocidos como ‘stakeholders’ para los organismos reguladores. Se debe encontrar la mejor fórmula para implicar a todos aquellos que de alguna manera se ven afectados por los asuntos nucleares y radiológicos, en el dialogo y en la toma de decisiones.

Por último, a través de la radiografía de este número de **ALFA**, podremos conocer un poco más acerca de la protección contra ataques cibernéticos en las instalaciones nucleares.

ALFA

Revista de seguridad nuclear
y protección radiológica
Editada por el CSN
Número 33 / Año 2017

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

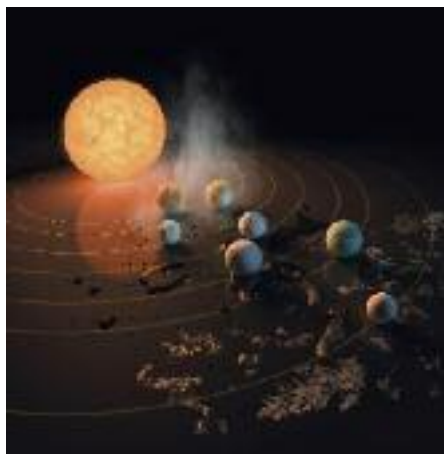
Agencias

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 Siete nuevos planetas desatan las especulaciones de vida extraterrestre

Un equipo internacional de astrónomos encuentra un sistema planetario que desencadena las especulaciones sobre las posibilidades de vida extraterrestre. Las observaciones, realizadas con telescopios en la superficie terrestre y en el espacio, indican que en órbita de la estrella Trappist-1 hay al menos siete planetas, algunos de los cuales serían parecidos al nuestro.

23 Así se lavan las tierras con residuos radiactivos en la central nuclear José Cabrera

Con un avance de cerca del 80 por ciento, los trabajos de desmantelamiento que Enresa acomete en la central nuclear José Cabrera han alcanzado una etapa singular y específica dentro del proyecto: la gestión de hormigones y tierras. Para el tratamiento de estas últimas que han sido afectadas por contaminación radiológica, se va a utilizar una técnica pionera en el sector, pero con amplia experiencia en el campo de la descontaminación: una planta de lavado de suelos.



36 Enrico Fermi: el cerebro sin descanso

En la Universidad de Chicago, estudiantes, profesores y turistas se cruzan con una escultura donde tres gruesos pilares enlazados entre sí parecen sostener una nube de forma semicircular. Su autor es Henry Moore y el motivo que la inspiró se explica en una de las placas en su base: “El 2 de diciembre de 1942, la Humanidad logró aquí la primera reacción en cadena automantenida, iniciando de esta manera la liberación controlada de energía nuclear”. Ese es el título de la figura: ‘Energía Nuclear’, erigida en 1967, “para conmemorar el vigésimo quinto aniversario de la primera generación controlada de energía nuclear, un experimento de Enrico Fermi”.



56 Fiebre del litio

Utilizado para usos industriales y como tratamiento de psicopatologías desde hace medio siglo, el litio ha saltado a la palestra como posible alternativa al petróleo. Su concentración en los salares de Chile, Bolivia y Argentina ha renombrado a la zona como el ‘triángulo del litio’, y se habla de un cambio geopolítico de poder desde Oriente Medio a esa región, con la sustitución de los coches eléctricos por los de combustible derivado del petróleo. Goldman Sachs lo denomina la ‘nueva gasolina’.

54 RADIOGRAFÍA

Protección contra ataques cibernéticos en las instalaciones nucleares españolas.

EL CSN POR DENTRO

20 La SAJ, 'ingeniería jurídica' al servicio de la seguridad nuclear y la protección radiológica

El apoyo jurídico es indispensable para dar sustento legal al Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) y a toda su plantilla. La subdirección de Asesoría Jurídica es la encargada de este trabajo y cumplir la función, a veces invisible, de detectar de forma temprana los problemas que puedan surgir en esta materia y, desde el inicio de los proyectos, encauzarlos, transformarlos y hacerlos posibles.



ENTREVISTA

14 Entrevista a Manuel Rodríguez Martí, secretario general del Consejo de Seguridad Nuclear

“La fortaleza del CSN es la cualificación y la experiencia de su personal”.



ARTÍCULOS TÉCNICOS

28 Aplicación del código FDS a la simulación de incendios en centrales nucleares

El marco regulador español requiere a los titulares de centrales nucleares un programa de protección contra incendios que se ajuste a la Instrucción IS-30 del CSN.

42 La importancia de los 'stakeholders' en el ámbito nuclear y radiológico

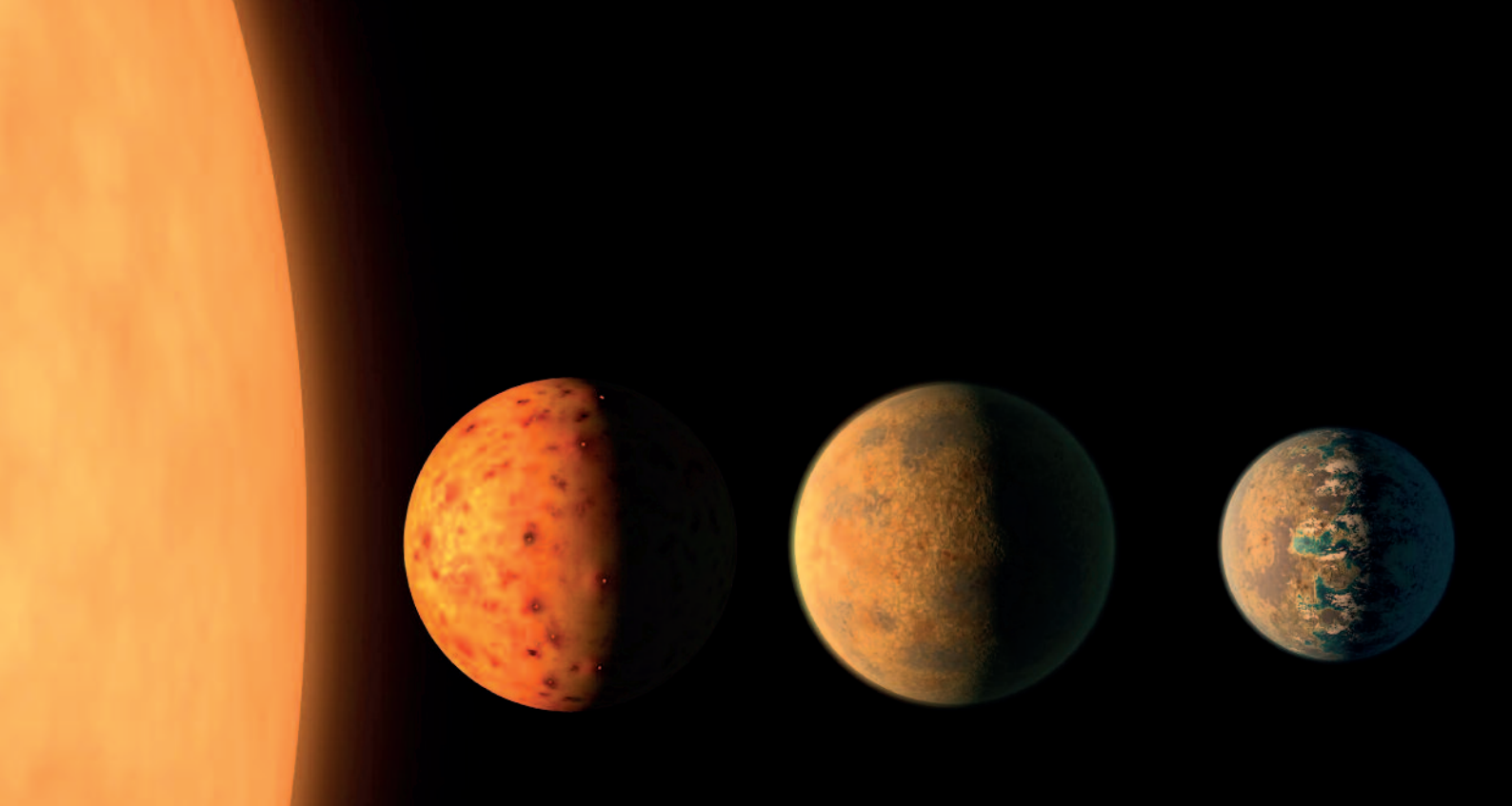
El concepto de 'stakeholders' (partes interesadas, en castellano) ha ido cobrando más importancia con el paso de los años en el sector nuclear y radiológico.

47 Proyectos OECD-BSAF: Colaboración internacional frente a los retos planteados por el accidente de Fukushima

Tras el accidente de Fukushima, la comunidad internacional inició esfuerzos para arrojar luz sobre sus elementos clave; uno de los esfuerzos más importantes hasta la fecha es el proyecto BSAF (Benchmark Study of the Accident at the Fukushima Daiichi NPP), de la Agencia de la Energía Nuclear (AEN) de la OCDE.



62	Reacción en Cadena
64	Panorama
68	Acuerdos del Pleno
69	csn.es
70	Publicaciones



Descubiertos siete mundos alrededor de una pequeña estrella cercana al Sol

7 nuevos planetas desatan las especulaciones de vida extraterrestre

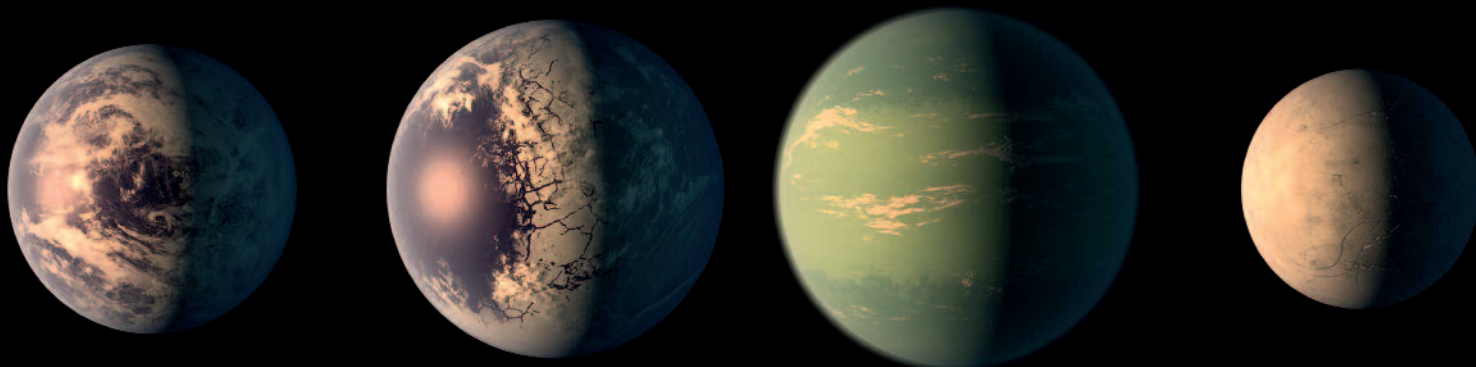
A una distancia de la Tierra de casi 40 años luz (unos 235 billones de kilómetros) se ha descubierto un grupo de siete planetas de tipo terrestre que giran en torno a una estrella enana. El hallazgo, anunciado el pasado 22 de febrero, mereció un gran entusiasmo científico y suscitó en todo el mundo las especulaciones y la fascinación por encontrar otros mundos similares al nuestro y, ¿por qué no?, alguna forma de vida extraterrestre.

La estrella, denominada Trappist-1, es mucho más pequeña que el Sol y su tenue luz debe bañar de color salmón los cuerpos rocosos que tiene en órbita. Al menos, tres de ellos –y posiblemente alguno

más– están en lo que los científicos denominan, con un evocador término, ‘zona habitable’, es decir que están a una distancia tal del astro que podrían albergar en su superficie agua en estado líquido si tienen atmósfera.

“Es la primera vez que se encuentran tantos planetas de este tipo en torno a la misma estrella”, declaró Michael Gillon, astrónomo de la Universidad de Lieja (Bélgica) y líder del equipo que los ha descubierto. “El sistema Trappist-1 es un análogo compacto del Sistema Solar interior. Representa una oportunidad única de caracterizar planetas parecidos a la Tierra que están en órbita de una estrella

mucho más fría y pequeña que el Sol”, destacan los investigadores en el artículo que publicaron en la prestigiosa revista científica *Nature* (22 de febrero) para dar a conocer su hallazgo. En su investigación utilizaron telescopios en tierra situados en Chile (del Observatorio Europeo Austral, ESO), en Hawai, en Marruecos, en Sudáfrica y en España (La Palma), así como el telescopio espacial Spitzer, de la NASA, cuyo seguimiento del astro fue clave y permitió a la agencia espacial estadounidense casi apuntarse el descubrimiento como propio cuando se hizo público. Los estudios siguen en marcha, utilizando los observatorios que puedan



Un equipo internacional de astrónomos encuentra un sistema planetario que desencadena las especulaciones sobre las posibilidades de vida extraterrestre. Las observaciones, realizadas con telescopios en la superfi-

cie terrestre y en el espacio, indican que en órbita de la estrella Trappist-1 hay al menos siete planetas, algunos de los cuales serían parecidos al nuestro.

■ Texto **Alicia Rivera** | Periodista | ■

aportar algo más de luz sobre estos mundos ahora descubiertos, incluidos los telescopios espaciales Hubble y Kepler.

Pero las grandes esperanzas están depositadas en los nuevos instrumentos científicos súper potentes que empezarán a ser operativos en los próximos años. Tanto el nuevo telescopio espacial James Webb (de la NASA y la Agencia Europea del Espacio, ESA), como los telescopios gigantes en Tierra son máquinas científicas idóneas para escudriñar esos planetas y, posiblemente, determinar la composición de sus atmósferas (si las tienen), lo que sería un paso clave en la búsqueda de trazas de vida extraterrestre. La relativa cercanía a la

Tierra de Trappist-1 (39 años luz es poca distancia en términos astronómicos) es un factor muy favorable en estas pesquisas.

Miles de exoplanetas

Trappist-1 no es, ni mucho menos, el primer sistema planetario, además del nuestro, que se descubre (unos 600 se han encontrado ya alrededor de otras estrellas de la Vía Láctea). Ni son los primeros planetas del tipo Tierra situados en zona habitable en torno a su estrella. En total, desde que los astrónomos del Observatorio de Ginebra Michael Mayor y Didier Queloz descubrieron el primer exoplaneta (planetas extrasolares) en torno a una estrella, en

1995, se ha confirmado la presencia de unos 3.500 cuerpos girando en torno a otros astros de la galaxia, la mayoría de ellos gigantes gaseosos del tipo de Júpiter o de Saturno.

Potentes equipos científicos internacionales están aplicando técnicas avanzadas a la búsqueda de estos cuerpos que, hasta finales del siglo pasado, se consideraban una posibilidad más que razonable (¿por qué iba a ser nuestro Sistema Solar un caso único en el universo?), pero cuya detección se resistía a los empeños de los astrónomos. Hay que tener en cuenta la dificultad de captar con los telescopios unos cuerpos pequeños y oscuros en las proxi-



Recreación artística que permite imaginar cómo podría ser la superficie del exoplaneta Trappist-1f. *Caltech manages JPL for NASA*

midades de objetos brillantes, como son las estrellas. De hecho, los miles de exoplanetas descubiertos hasta ahora han sido detectados con métodos indirectos que analizan minúsculos cambios que esos objetos provocan en la luz que nos llega de sus estrellas o en los movimientos de éstas.

Ni siquiera los siete planetas de Trappist-1 presentados este año son todos nuevos: el mismo equipo científico internacional, dirigido por Gillon, anunció, en 2016, el hallazgo de los tres primeros. Y tampoco son los más cercanos a la Tierra: otro grupo, liderado por el científico espa-

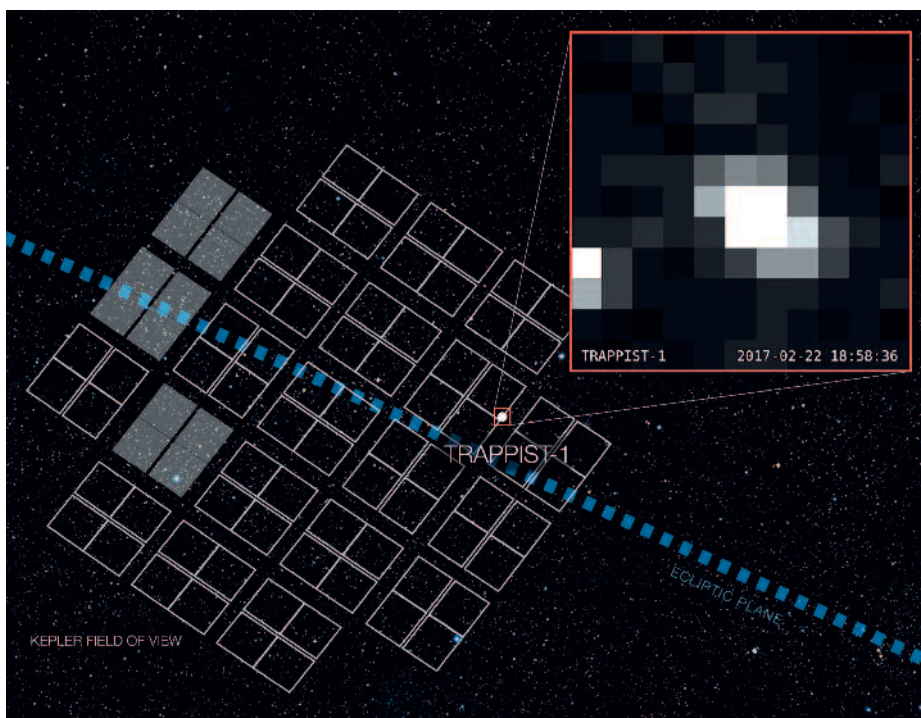
ñol Guillem Anglada-Escudé (Queen Mary University, en Londres) descubrió hace unos meses que en torno a la estrella más cercana al Sol, Próxima Centauri, a solo 4,2 años luz de distancia de nuestra estrella, gira un planeta, también en este caso a una distancia del astro que se considera zona habitable. Esa situación podría alimentar alguna esperanza de tener éxito en la búsqueda de vida extraterrestre en Próxima b (como se denomina el planeta), pero “las condiciones en la superficie pueden estar fuertemente afectadas por los estallidos de radiación ultravioleta y rayos X

de la estrella, mucho más intensos que los que la Tierra recibe del Sol”, advirtió entonces el ESO.

Aunque esté más lejos, Trappist-1 y su sistema planetario es un hito que intensifica la búsqueda de mundos parecidos al nuestro en el universo y estimula los esfuerzos por conocerlos lo mejor posible. “Un objetivo de la astronomía moderna es detectar exoplanetas templados, parecidos a la Tierra que sean apropiados para realizar su caracterización atmosférica”, escribían los investigadores del equipo de Gillon en la revista *Nature*.



Trappist es una enana roja ultrafría, el tipo más abundante de estrellas en nuestra galaxia; tiene una masa de tan solo un 8% de la solar y su tamaño es algo mayor que el de Júpiter. Si el Sol fuera como un balón de baloncesto, Trappist-1 sería como una pelota de Golf, comparó Gillon en la presentación en Washington del descubrimiento, según citó *The New York Times*. A su alrededor dan vueltas al menos siete planetas, muy cerca de la estrella, tanto que todos cabrían holgadamente en la órbita de Mercurio, el planeta del Sistema Solar más cercano al Sol. En realidad, esas siete órbitas no son mucho mayores que



Localización de la estrella enana Trappist-1 en el campo de visión del telescopio espacial de la NASA Kepler y, en el recuadro, la cantidad de luz detectada por cada pixel en una pequeña sección de la cámara del telescopio. La luz captada de Trappist-1 se aprecia en el centro de la imagen. Los planetas alrededor de la estrella no son visibles. Crisis al Tetraedro del Fuego, debido a la incorporación de Internet y las Redes Sociales de manera masiva. NASA Ames/W. Stenzel

las de los satélites galileanos (Europa, Ganimedes, Io y Calisto) alrededor de Júpiter. Por ello, los investigadores hablan de “análogo compacto del Sistema Solar” en su artículo científico. Pese a estar tan cerca de la estrella, dado que ésta es mucho más pequeña y tenue que la nuestra, la energía que reciben al menos tres de esos planetas debe ser similar a la que reciben Venus, Tierra y Marte del Sol, señaló el ESO en su

comunicado acerca del descubrimiento.

“El *output* de energía de las estrellas enanas como Trappist-1 es mucho más débil que el de nuestro Sol. Los planetas necesitarían estar en órbitas mucho más cercanas de lo que observamos en nuestro Sistema Solar para tener en su superficie agua en estado líquido y, afortunadamente, parece que este tipo de configuración compacta es justo lo que vemos alrededor de Trappist-1”, señaló Amaury Triaud, científico del Instituto de Astronomía (Cambridge, Reino Unido) y miembro del equipo de Gillon.

Tan próximos están estos planetas entre sí que una persona que estuviera en la superficie de uno de ellos distinguiría los rasgos geológicos de los mundos vecinos

Mundos vecinos

Tan próximos están esos planetas entre sí que una persona que estuviera en la superficie de uno de ellos distinguiría fácilmente los rasgos geológicos de los mundos vecinos; y, en algunos casos, se apreciarían en el cielo de mayor tamaño que la Luna vista desde la Tierra, apuntó

Juno y el origen de Júpiter

■ Texto A. Rivera | Periodista ■

Para intentar comprender el origen y la evolución de Júpiter, la NASA desarrolló y envió la sonda espacial Juno que, tras un viaje de 2.800 millones de kilómetros desde la Tierra, llegó al planeta gigante el 4 de julio de 2016. Allí está ahora, dando una vuelta completa alrededor del planeta gigante del Sistema Solar cada 53 días, en una órbita muy elíptica que sobrevuela los polos y acercándose hasta algo menos de 5.000 kilómetros de la capa más alta de las nubes. La cuarta órbita, tomando datos con sus ocho instrumentos científicos (magnetómetro, radiómetro, espectrógrafo, etcétera) más una cámara, se cumplió el pasado 2 de febrero. Los científicos de la misión afirman que están obteniendo datos, según lo planeado, del intenso campo magnético del planeta y de sus cinturones de radiación, están observando las auroras e investigando la atmósfera, y tomando, además, las primeras fotos detalladas de sus polos. De momento, han descubierto que el campo magnético y las auroras allí son más potentes de lo que se creía y que las bandas y estructuras de la capa nubosa más externa son más profundas de lo que se estimaba.

“Juno va a suponer un paso enorme hacia nuestra comprensión de cómo se formaron los planetas gigantes y del papel que estos gigantes jugaron en la conformación del sistema Solar”, asegura la NASA. Pero la misión no está exenta de contratiempos que han obligado a sus responsables a tomar decisiones delicadas para cumplir los objetivos iniciales. Un fallo de dos válvulas del sistema principal de propulsión de la Juno, registrado en octubre de 2016, desaconsejó realizar los encendidos del motor necesarios para reducir la órbita de la sonda espacial. “La na-

ve está en buen estado y cumpliendo admirablemente la misión”, asegura la NASA. Pero, tras el comportamiento anómalo de las válvulas se decidió no arriesgar: si el sistema fallaba, la Juno podría colocarse en una órbita inapropiada para la toma de datos científicos. El plan era que, tras las órbitas iniciales de 53,4 días, la sonda realizaría las maniobras necesarias para cumplir 30 órbitas de 14 días, alejándose mucho menos que ahora de la capa superior de nubes del planeta. El plan actual es que complete 12 órbitas más amplias hasta julio de 2018, cuando termina oficialmente la misión, si no se prorroga. Y como la nave, en la órbita de 53 días, estará menos tiempo sometida a la intensa radiación de Júpiter, los ingenieros confían en que llegará en buenas condiciones para seguir funcionando más allá del plazo inicialmente previsto.

Los responsables de la misión afirman que aún con ese cambio de órbita de trabajo, se pueden cumplir todos los objetivos científicos, e incluso obtener información adicional de las regiones más alejadas de la magnetosfera del planeta.

La misión Juno, cuyo coste asciende a unos mil millones de euros, se diseñó para determinar propiedades clave de la atmósfera de Júpiter, como su composición, temperatura y desplazamiento de nubes; para cartografiar los campos magnético y gravitatorio del planeta y explorar su estructura interna (incluida la cuestión de si tiene o no un núcleo sólido) y estudiar la magnetosfera cerca de los polos (y las auroras), así como conocer cómo el enorme campo magnético afecta a la atmósfera.

Júpiter, una gigantesca bola fundamentalmente de hi-

la NASA. Serían mundos bañados probablemente de luz de color salmón, conjeturarán los científicos teniendo en cuenta la radiación que emite la estrella. Y seguramente están atados gravitacionalmente a su estrella, lo que significa que siempre mostrarían una cara al astro, como la Luna a la Tierra, mientras que en la opuesta sería siempre de noche. Esto provocaría un contraste de temperaturas extremo entre una y otra cara, provocando fuertes vien-

tos (si es que tienen atmósfera) que soplarían desde la cara diurna a la nocturna, explicó la NASA.

“Los siete planetas podrían, potencialmente, tener agua líquida en sus superficies, aunque sus diferentes distancias orbitales hacen que algunos sean mejores candidatos que otros”, señaló el ESO. Son cuerpos rocosos y de tamaño parecidos a la Tierra, todos ellos comprendidos entre un 25% más pequeños que nuestro plane-

ta y un 10% mayor. Según los modelos que han aplicado los científicos, los tres planetas que giran alrededor de la estrella más cerca de ella (Trappist-1b, c y d) probablemente son demasiado calientes para albergar océanos y, como mucho, tendrían alguna pequeña zona capaz mantener agua en estado líquido. El más alejado, Trappist-1h, pese a que su distancia a la estrella no se había confirmado cuando se publicó el artículo en *Nature*, parece demasiado

drógeno y helio, tiene un radio de unos 70.000 kilómetros (frente a los 6.371 kilómetros de radio terrestre) y una masa 318 veces la de la Tierra. Su distancia al Sol es unas cinco veces la terrestre y tarda casi 12 años de los nuestros en cumplir una órbita completa alrededor de la estrella. Su velocidad de rotación es alta, de manera que su día dura algo menos de 10 horas terrestres.

La Juno sufrió otros problemas a los pocos meses de llegar a Júpiter: la sonda espacial se puso en modo de seguridad, desconectando todos los sistemas no vitales, ante un fallo de funcionamiento. No se pudieron tomar datos científicos durante el segundo sobrevuelo de aproximación a Júpiter, pero los equipos se reactivaron cinco días después y los expertos descubrieron que el problema se originó en la transferencia de datos de uno de los instrumentos.

Lanzada al espacio desde Cabo Cañaveral (Florida) en agosto de 2011, Juno es la primera sonda espacial especialmente diseñada para sobrevolar repetidas veces los polos de Júpiter, varias naves de investigación se han acercado al planeta gigante del Sistema Solar en el pasado. Primeros fueron las Pioneer 10 y Pioneer 11, de la NASA, que pasaron cerca de Júpiter, en 1973 y 1974, y enviaron las primeras fotos tomadas desde allí. Luego, también sobrevolaron ese planeta las Voyager 1 y Voyager 2 en su histórico viaje por los planetas exteriores del Sistema Solar. La nave Ulysses sobrevoló Júpiter en su ca-



Ilustración de la sonda espacial Juno, de la NASA, sobre una foto de Júpiter.

mino hacia el Sol. Y, desde 1995 hasta 2003, la Galileo, también de la NASA, estuvo en órbita de Júpiter observando, sobre todo, sus lunas.

La Agencia Europea del Espacio (ESA) prepara su misión Juice, que debe ser enviada en 2022 para estudiar tres de las cuatro grandes lunas galileanas: Ganímedes, Calisto y Europa. También para la próxima década, la NASA prepara la misión Clipper, dedicada a la luna Europa.

La Juno es una nave de 3,5 metros de altura y otros tantos de diámetro, con tres grandes paneles solares y 3.625 kilos (incluido combustible) en el lanzamiento; lleva una carcasa especial de titanio para proteger de la radiación sus instrumentos más sensibles. Cuando termine su misión recibirá las órdenes precisas para zambullirse en la atmósfera de Júpiter y destruirse, evitando así que en el futuro pudiera estrellarse en alguna de las lunas que rodean el planeta y contaminarlas

distante. Así, los que están en la zona habitable más favorable son Trappist-1e, f y g. En cuanto a la duración de sus años, los siete tardan en cubrir su órbita entre 1,5 y 12,3 días terrestres.

No es casual que Gillon y su equipo encontraran el puñado de planetas en torno a una estrella enana roja. Precisamente los astros de este tipo son lo que buscan en su proyecto de investigación para aprovechar no solo el hecho de ser tan abundantes en

la galaxia, sino también su luminosidad más apagada que la de las estrellas como el Sol (Trappist-1 no se ve a simple vista, ni siquiera con buenos telescopios de aficionado). Esta característica favorece la búsqueda de planetas con la técnica de tránsito que el equipo internacional ha utilizado. Se trata de detectar caídas minúsculas y periódicas de la luz que nos llega de una estrella, caídas debidas a que un cuerpo pasa por delante de ella, desde la línea de

visión de la Tierra, y la oscurece ligeramente. La técnica de tránsito es perfectamente útil para detectar planetas en otras estrellas siempre y cuando, en su órbita, esos cuerpos se crucen por delante del astro radiante.

“La duración del ligerísimo oscurecimiento del astro determina la órbita del planeta que lo provoca al cruzarse por delante, mientras que el grado de oscurecimiento indica su tamaño”, explicó la revis-

ta *Science* al hacerse eco del hallazgo del sistema Trappist-1. “Como las estrellas enanas son pequeñas y poco brillantes, los tránsitos de los planetas bloquean una mayor proporción de su luz, lo que los hace más visibles desde la Tierra. Así, para detectar y medir los tránsitos más eficazmente, los astrónomos se centraron en estas estrellas poco luminosas, en lugar de buscar alrededor de astros como el Sol.

Otra técnica, también indirecta, para encontrar planetas extrasolares mide el ligero bamboleo de una estrella debido al efecto gravitatorio de objetos en órbita a su alrededor. Es la técnica que utilizaron Mayor y Queloz para encontrar el primer planeta, 51Pegasisb, en torno a una estrella similar al Sol, y la que aplicó el equipo de Anglada-Escudé en Próxima Centauri.

Gillon y sus colegas empezaron en 2010 a trabajar con el telescopio robótico Trappist, que da nombre a la estrella, de 60 centímetros de diámetro, instalado en el observatorio europeo de La Silla (Chile), vigilando la luz de unas sesenta estrellas enanas ultrafrías y cercanas a la Tierra. El año pasado presentaron el descubrimiento de tres planetas en torno a Trappist-1, atendiendo a los tránsitos detectados. A partir de ahí, intensificaron sus pesquisas con otros telescopios, como el conjunto VLT del ESO (también en Chile), y el Spitzer de la NASA, un observatorio de infrarrojo lanzado al espacio en 2003, que está ya en fase de prorrogación de su vida útil. La NASA aprovechó intensamente la indudable aportación de Spitzer y su capacidad de comunicación para destacar en primer lugar su protagonismo en el trabajo de Gillon y sus colegas. Pudiera tener que ver la necesidad de presentar casi como propio un gran descubrimiento justo en febrero de 2017, con un director de la NASA en funciones y a la espera de que se aprueben sus presupuestos para 2018 (19.100 millones de euros, solo ligeramente inferior al total de este año) con la recién estrenada Administración Trump.



Telescopio espacial Hubble.

El telescopio espacial Hubble ya está observando cuatro de los planetas de Trappist-1 con el objetivo de establecer si estos cuerpos planetarios tienen atmósferas dominadas por el oxígeno

El interés científico del sistema Trappist-1 es incuestionable y el equipo de Guillon, tras los primeros registros, obtuvo horas de observación en varios telescopios que pudieran aportar algo de luz sobre esos planetas, datos que vayan ayudando a caracterizarlos. El Spitzer estuvo observando el sistema casi continuamente durante 20 días, captando 34 tránsitos que, “junto con los datos de las observaciones desde Tierra, permitieron a los científicos identificar no tres, sino siete planetas”, recalcó *The New York Times*. Los planetas, añadía el periódico estadounidense, son demasiado pequeños y están demasiado cerca de la estrella para poder ser fotografiados directamente.”

El telescopio espacial Hubble (de la

NASA y la ESA) ya está observando cuatro de los planetas de Trappist-1, incluidos los tres que están claramente en la zona habitable, con el objetivo de intentar establecer si estos cuerpos planetarios tienen atmósferas dominadas por el oxígeno, informó la NASA. Ya en mayo de 2016, el famoso telescopio espacial observó los dos planetas más próximos a la estrella y no encontró evidencias de dichas atmósferas. También se ha buscado después información en los datos en bruto de otro telescopio espacial estadounidense, el Kepler, identificando indicios de al menos seis planetas en Trappist-1.

Gillon sigue con su programa científico, ampliado en el proyecto Speculos, dotado con 1,96 millones de euros del Consejo Europeo de Investigación (ERC, por sus siglas en inglés). Speculos incluye la instalación de cuatro telescopios de un metro de diámetro en el observatorio del ESO en Paranal (Chile). El proyecto, “que observará diez veces más objetivos y con gran precisión, debe detectar muchos más [sistemas planetarios], situándose en la primera línea de la investigación en busca de vida en otros lugares del universo”, señala Guillon.

Las mayores expectativas para dar un vuelco en el conocimiento y caracterización de estos siete planetas se centran en

El telescopio robótico Trappist Sur está en el Observatorio de La Silla (Chile), del Observatorio Europeo austral (ESO). El telescopio, de 60 centímetros de diámetro, se opera por control remoto desde Lieja (Bélgica), a 12.000 kilómetros.



los futuros telescopios que se están preparando. El telescopio espacial James Webb (de la NASA, con a colaboración de la ESA) se debe lanzar el año que viene y posiblemente será capaz de detectar las huellas químicas de agua, metano, oxígeno, ozono y otro componentes de la atmósfera de un planeta. Además, podría medir su temperatura y presión en la superficie, datos clave para evaluar su habitabilidad y que no se han logrado hasta ahora para planetas tipo Tierra, señala la NASA. Para conocer la composición de la atmósfera de estos mundos, los astrónomos recurren también a la técnica de tránsito: a medida que un planeta pasa por delante de su estrella, los gases atmosféricos pueden absorber ciertas frecuencias de la luz que la atraviesa, obteniéndose así una firma de los elementos químicos presentes.

También tendrán su gran oportunidad en la detección e investigación de planetas extrasolares la nueva generación de telescopios gigantes instalados en Tierra, como el E-ELT europeo, de espejo principal de 39 metros de diámetro (los mayores actuales rondan los ocho-diez metros) que debe empezar a funcionar en Chile, en 2022.

Trappist-1 y sus siete planetas han despertado una vez mas la ambición por descubrir alguna forma de vida extraterrestre. Aunque los datos solo permiten hasta ahora acotar márgenes de búsqueda, las especulaciones son muy atractivas y la imaginación es libre, incluidas la recreación artística que hizo la NASA de un mundo casi acogedor para uno de estos nuevos planetas. “Trappist es el sistema que tiene a la vez el mayor número de planetas telúricos y el mayor número de mundos potencialmente habitables descubierto hasta ahora, lo que relanza la búsqueda de la vida en el universo”, destacó la Universidad de Lieja tras el hallazgo.

El hecho de que pudieran albergar agua líquida sería un punto favorable, pero puede que no tengan atmósferas o que la radiación de la estrella sea demasiado intensa

Habrà que esperar para tener información concluyente acerca de las posibilidades de albergar vida en estos mundos extraterrestres. El hecho de que pudieran albergar agua líquida sería un punto a favor, pero puede que no tengan atmósferas, o que la radiación de la estrella sea demasiado intensa. Unos científicos conceden más probabilidades a la vida extraterrestre, otros, menos. Por ahora, las incógnitas superan a las certezas, pero la única forma de salir de dudas es diseñar estrategias científicas viables para dar respuesta a las preguntas y, a menudo, tener suerte.

“¿Puede alguno de estos planetas albergar vida? Sencillamente: no lo sabemos”, puntualizaba Ignas A.G. Snellen, experto de la Universidad de Leiden y autor del comentario que acompañó en *Nature* al artículo científicos sobre los siete planetas de Trappist-1. “Una cosa está clara, dentro de unos cuantos miles de millones de años, cuando el Sol haya consumido sus combustibles y el Sistema Solar deje de existir, Trappist-1 será todavía una estrella juvenil. Quema hidrogeno tan despacio que durará otros diez billones de años, más de 700 veces más que la edad del Universo actual, lo que se supone que es tiempo suficiente para que evolucione la vida.”

El Consejo de Ministros nombró el pasado 17 de marzo de 2017 a Manuel Rodríguez Martí como nuevo secretario general del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN). Nacido en la localidad gaditana de Vejer de la Frontera en 1959, Rodríguez Martí es Ingeniero Industrial y funcionario de la Escala Superior del Cuerpo de Seguridad Nuclear y Protección Radiológica del CSN, organismo al que accedió en 1985. Su trayectoria profesional ha

estado centrada en la protección radiológica y la seguridad nuclear y en casi toda su extensión se ha desarrollado en el CSN. Hasta su nombramiento como secretario general del organismo regulador ocupaba el cargo de subdirector de Instalaciones Nucleares dentro de la Dirección Técnica de Seguridad Nuclear, y entre los años 2000 y 2013 desempeñó la función de subdirector de Protección Radiológica Operacional.

Entrevista a Manuel Rodríguez Martí, secretario general del CSN

“La fortaleza del CSN es la cualificación y la experiencia de su personal”

■ A. Laso D'Ílom / CSN

La titularidad de la Secretaría General del CSN es designada por el Gobierno, a propuesta del ministro de Energía, Turismo y Agenda Digital, y previo informe favorable del Pleno del CSN. Tal y como establece la disposición adicional tercera de la Ley 3/2015, de 30 de marzo, reguladora del ejercicio del alto cargo de la Administración General del Estado, el secretario general del CSN debe acudir ante la Comisión correspondiente del Congreso de los Diputados. Dicha comparecencia tuvo lugar el pasado 7 de marzo y, una vez concluida, la Comisión de Energía, Turismo y Agenda Digital emitió el correspondiente informe en el que no se apreció conflicto de intereses. A la Se-

cretaría General del CSN le corresponde la dirección, el impulso, la coordinación y la supervisión de la actividad de todos los órganos del Consejo de Seguridad Nuclear, así como las funciones que se detallan en el artículo 37 del mencionado Estatuto.

PREGUNTA. ¿Cómo ha recibido su nombramiento como secretario general del CSN?

RESPUESTA. De manera muy positiva, tanto desde el punto de vista personal como por lo que supone para el conjunto del cuerpo técnico del CSN. La alternativa de que el CSN contase con un Secretario General del cuerpo técnico siempre se ha valorado como muy conveniente para el organismo regulador.

Asumir un papel tan importante en el desarrollo de la misma resulta para mí muy satisfactorio.

P. ¿Qué piensa que puede aportar a sus nuevas labores profesionales, dada su dilatada experiencia en numerosos puestos en el organismo regulador?

R. En mi opinión las labores de la Secretaría General del CSN se despliegan en tres grandes grupos: las relacionadas con la secretaría del Pleno, las de interacción con las direcciones técnicas y las de gestión de los asuntos generales del organismo. En cuanto a las primeras, el hecho de que un miembro del Pleno del CSN, con voz y sin voto, cuente con experiencia en las dos grandes áreas de actividad técnica, seguridad nuclear y



Manuel Rodríguez Martí, el nuevo secretario general del Consejo de Seguridad Nuclear, en su despacho durante la entrevista.

protección radiológica, creo que puede aportar mayor agilidad y consistencia a las actuaciones del Pleno. Para las direcciones técnicas entiendo que debe redundar en una mejor coordinación entre ellas y en una mayor facilidad de los flujos de información en ambos sentidos. En este grupo de actividades es importante desde la Secretaría General respetar la independencia y capacidad de propuesta técnica que el estatuto del CSN asigna a los directores técnicos, apoyando y reforzando las decisiones que estos adopten. En cuanto a los

asuntos generales del organismo regulador, tradicionalmente todo su personal ha tenido cierta percepción de que se aplicaban estilos de gestión importados de la administración general del Estado o de otras organizaciones, y que no siempre encajaban perfectamente con las particularidades del CSN. Creo que el hecho de que mi carrera profesional haya transcurrido casi íntegramente en el CSN debería tener como resultado una gestión que tenga más en cuenta esas particularidades.

P. ¿Piensa que sus conocimientos técni-

cos pueden enriquecer las deliberaciones del Pleno del CSN?

R. En el momento presente, el presidente y la mayoría de los consejeros cuentan ya con una larga experiencia en el análisis y la toma de decisiones sobre temas relacionados con las funciones del CSN. El consejero de más reciente incorporación es una persona que ha trabajado en el sector y dispone de una elevada cualificación técnica. Creo que esto determina, y así lo he podido comprobar de primera mano, que las deliberaciones del pleno mantengan un alto

nivel desde todos los puntos de vista. El actual Pleno del CSN ha adoptado como práctica de funcionamiento que los dos directores técnicos asistan a sus reuniones para aportar información adicional o aclaraciones sobre los asuntos técnicos incluidos en el orden del día. Este hecho creo que también contribuye en gran medida a la calidad de los debates y deliberaciones posteriores. Supongo que mi presencia permanente en las reuniones del Pleno puede, en algún caso, constituir una contribución adicional en base a mi formación y experiencia técnica, que estaré encantado de aportar.

P. ¿Es consciente de que es el primer funcionario del cuerpo técnico que accede al Pleno del CSN, aunque sea sin voto desde su puesto de Secretario General?

R. Muy consciente. Desde siempre, y especialmente desde que el CSN cuenta con más de una dirección técnica, la opinión de las personas del cuerpo técnico es que la mejor opción para el organismo es que el secretario general sea una persona de ese cuerpo. Sin embargo, en las sucesivas ocasiones en que ha sido necesario designar al secretario general, hasta ahora, se había optado por personas con experiencia en organizaciones externas al CSN. Creo que es muy de agradecer que los miembros del Pleno y el Gobierno se hayan inclinado por ver primera por esta alternativa.

P. ¿Cómo le han recibido sus compañeros en este nuevo cargo? Y, también, ¿cómo le han recibido los consejeros en el Pleno?

R. Bueno, en el caso de los compañeros, resulta difícil hablar de que haya habido una recepción como tal, ya que yo estaba en el CSN y en un puesto de trabajo en el que tenía interacción con muchas personas de la organización. En general, yo creo que la noticia ha sido bien recibida. Han sido muchas las personas

Mi presencia en el Pleno puede constituir una contribución adicional en base a mi formación y experiencia técnica que estaré encantado de aportar

de la casa que me han hecho llegar su valoración positiva por el nombramiento y sus mejores deseos para el desarrollo mis nuevas funciones. Respecto al Pleno, tengo que decir que la acogida ha sido absolutamente cordial por todos sus miembros que, además de sus mejores deseos, me han transmitido su apoyo y su voluntad de cooperación.

P. ¿Considera que tiene la experiencia jurídica y administrativa suficiente que requiere su nueva responsabilidad?

R. Evidentemente, esas son las áreas en las que voy a tener que desarrollar más aprendizaje. Sin embargo, estoy tranquilo, puesto que el CSN cuenta actualmente en ambas áreas con personas muy cualificadas, con amplia experiencia y que conocen el organismo porque

Los aspectos a mejorar tienen que ver con la flexibilidad del CSN para adaptarse a los cambios que se están produciendo, tanto en los sectores regulados como en los organismos públicos y en la administración

llevan suficiente tiempo en el mismo. Esto, por un lado, asegura continuidad y calidad en el funcionamiento y, por otro, me va a facilitar completar los conocimientos necesarios. Durante los periodos en que he ocupado los puestos de jefe de gabinete de la dirección técnica y subdirector, he desarrollado algunas actividades con una importante componente jurídica o administrativa, por lo que esas áreas no me resultarán del todo novedosas.

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

R. La fortaleza a destacar en el CSN es la cualificación y la experiencia de su personal. Han transcurrido más de treinta y cinco años desde su creación y todo este tiempo su actividad ha tenido lugar en sectores muy dinámicos y desarrollados. Esto, junto con una actitud de mejora y aprendizaje continuo, que ha estado presente en todas las personas que se han ido incorporando al organismo, y una buena disponibilidad de recursos para formación, ha dado como resultado que el CSN cuente a día de hoy con un plantilla con un nivel técnico muy elevado. Los aspectos a mejorar pienso que tienen que ver con la flexibilidad del organismo para adaptarse a los cambios que se están produciendo, tanto los sectores regulados como en los organismos públicos y en la administración.

P. ¿Es importante el CSN en lo que se refiere a regulación de la seguridad nuclear y protección radiológica a nivel internacional?

R. El CSN ha participado tradicionalmente en todos los grupos internacionales de mayor relevancia a nivel internacional y creo que nuestros representantes gozan de un elevado prestigio y reconocimiento. Prueba de ello son las numerosas demandas que recibimos para que personal del CSN se



Rodríguez Martí estima que la fortaleza del CSN es la cualificación y la experiencia de su personal.

integre en nuevos grupos de trabajo o para su participación en revisiones internas y en ejercicios de intercomparación. Todo ello, sin olvidar el papel del CSN en la Asociación Internacional de Reguladores Nucleares o en el Foro de Reguladores Iberoamericanos, el liderazgo en algunos de los grupos de trabajo de ENSREG y WENRA o los puestos ocupados por personas del

cuerpo técnico del CSN en el OIEA y en la NEA.

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

R. A mi manera de ver el CSN ha actuado, prácticamente desde su creación, con un adecuado nivel de independencia tanto respecto a los poderes públicos

como a los intereses de las empresas o particulares que operan en las actividades reguladas. Un elemento fundamental para esto ha sido su propia ley de creación, que estableció muy claramente las bases del carácter independiente del CSN. A día de hoy, creo que cualquier mejora de la independencia de un organismo regulador pasa por definir e implantar un modelo sólido de cultura de seguridad, de acuerdo con las directrices marcadas por los organismos internacionales, y transmitir a todas las organizaciones que se relacionan con

Debemos trabajar en la dirección señalada por el Consejo de Transparencia, ya que nos permitirá evolucionar con estándares generalmente aceptados para organismos públicos

nosotros y a la sociedad en general que la actividad del CSN se desarrolla con total adherencia a los principios del mismo. En este sentido, el CSN ha definido una política de cultura de seguridad y está dando los pasos para su desarrollo y aplicación práctica a través del sistema de gestión. En relación con la transparencia recientemente se ha publicado el Informe de evaluación de los órganos constitucionales y reguladores elaborado por el Consejo de Transparencia y Buen Gobierno. En este informe, el CSN obtiene muy buena calificación en lo que se refiere a la publicación en su página *web* de indicadores, datos e informaciones que el organismo tiene la

La gestión del conocimiento, herramienta fundamental para acometer procesos de relevo generacional

PREGUNTA. ¿Está preocupado por las numerosas jubilaciones y, aunque haya incorporaciones nuevas y otras en cartera en un organismo con un componente técnico tan elevado como es el CSN?

RESPUESTA. Que en un organismo como el CSN se produzcan jubilaciones es un hecho normal y previsible. Es cierto que actualmente y en los próximos años, están alcanzando la edad de jubilación personas que ingresaron en las primeras oposiciones del cuerpo técnico, en las que se convocaron un elevado número de plazas. Esto va a suponer para el CSN una salida de recursos humanos importante tanto por el número de personas como por la elevada cualificación y experiencia que poseen. Efectivamente estas circunstancias deben impulsar actuaciones del CSN para incorporar nuevas personas al organismo y para desarrollar programas de formación que permitan seguir contando con las capacidades necesarias para atender las activi-

dades que se van a presentar en los próximos años.

P. ¿Cree que una política de transmisión del conocimiento puede ser la solución además de los relevos de plantilla con la incorporación de nuevos funcionarios?

R. Desde luego la aplicación de políticas de gestión del conocimiento es una de las herramientas que hoy en día se consideran fundamentales para acometer procesos de relevo generacional en organizaciones como el CSN, en las que cualificación y experiencia del personal constituye un activo importante. Como indicaba antes, la obtención del nivel de competencia técnica que tiene el CSN ha sido un proceso largo y costoso, cualquier política o herramienta que contribuya a que las personas, antes de abandonar el organismo, transmitan al menos en parte su bagaje de conocimientos o experiencias debemos tratar de utilizarlas para dar mantener los niveles de competencia técnica alcanzados de la manera más eficiente posible. ▀

obligación de comunicar de forma proactiva. En el capítulo de información voluntaria sobre el funcionamiento en el día a día del organismo es donde se identifica un amplio margen de mejora para la transparencia en la actuación del CSN. Yo creo que debemos trabajar en la dirección señalada por el Consejo de Transparencia ya que ello nos permitirá evolucionar de acuerdo con estándares generalmente aceptados para los organismos públicos y contar con una evaluación periódica externa y objetiva sobre la situación del CSN en esta materia.

P. ¿Qué opina sobre algunos de los asuntos más polémicos en los que trabaja o ha trabajado recientemente el CSN, como los pasos que se están dando para el licenciamiento del futuro Almacén Temporal Centralizado (ATC),

la explotación minera de El Retortillo-Santidad, o la reciente aprobación con condiciones por parte del CSN a la solicitud de renovación para operar de la central nuclear Santa María de Garoña por parte de su titular Nuclenor?

R. Bueno, en primer lugar me gustaría matizar el significado del término polémicos. Efectivamente, todos los asuntos que menciona están sometidos a una cierta controversia ya que existen grupos que mantienen, de forma legítima, una posición contraria a que las correspondientes instalaciones o actividades entren en funcionamiento, basada en consideraciones de impacto ambiental o de percepción del riesgo. Mi opinión como ciudadano es que efectivamente deben atenderse las demandas de esos grupos de opinión para mantener los

correspondientes debates, con el fin de que las decisiones se adopten teniendo en cuenta todos los puntos de vista. Pero eso no es una tarea que le corresponda al CSN sino a los responsables políticos, económicos y sociales involucrados de una forma u otra en la toma de decisiones sobre esas actividades.

Al CSN le corresponde como única, pero muy importante, función la de garantizar que esas instalaciones o actividades, desde su fase de diseño hasta la clausura, mantengan unos niveles de seguridad nuclear y protección radiológica acordes con los estándares generalmente aceptados a nivel nacional e internacional. Para conseguir esto, nuestra reglamentación contempla fundamentalmente dos mecanismos, los procesos de autorización administrati-



El nuevo secretario general del Consejo de Seguridad Nuclear durante la toma de posesión de su cargo.

va y la inspección y control por los organismos competentes, ambos establecidos con bastante detalle en el reglamento de instalaciones nucleares y radiactivas.

En el caso del ATC y de Retortillo-Santidad, se han iniciado los procesos de autorización previstos en esa norma, el CSN ha realizado los informes técnicos sobre seguridad nuclear y protección radiológica que le ha solicitado el Ministerio y ha identificado los límites y condiciones que deben acompañar a las autorizaciones correspondientes para en esta fase de autorización de emplazamiento. Evidentemente, el único objetivo de los informes y condiciones del CSN ha sido garantizar que esas instalaciones y actividades produzcan en todas las fases de su vida un impacto y unos

riesgos aceptables para los trabajadores, la población y el medio ambiente. En este sentido creo que las actuaciones del CSN no han tenido nada de polémicas y se han ajustado a lo que la normativa establece y a lo que la sociedad espera de un organismo como el CSN.

El debate social sobre la energía nuclear o con la planificación energética no son competencia del CSN y por lo tanto deben abordarse desde otras instancias

En el caso de la central nuclear de Santa María de Garoña, la situación ha sido muy similar si bien ha tenido sus particularidades debido a los antecedentes de operación de la instalación, a las repercusiones del accidente de la central de Fukushima y la situación de la opinión pública en España en relación con la operación a largo plazo de las centrales nucleares. Esos temas tienen algunas componentes con impacto en la seguridad nuclear o en la protección radiológica que, por supuesto, se han tenido en cuenta en las actuaciones del CSN, no ha sido así con los componentes que tienen que ver con el debate social sobre la energía nuclear o con la planificación energética, estos no son competencia del CSN y por lo tanto deben abordarse desde otras instancias. 

La SAJ, ‘ingeniería jurídica’ al servicio de la seguridad nuclear y la protección radiológica

El apoyo jurídico es indispensable para dar sustento legal al Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) y a toda su plantilla. La subdirección de Asesoría Jurídica es la encargada de este trabajo y cumplir la función, a veces invisible, de detectar

de forma temprana los problemas que puedan surgir en esta materia y, desde el inicio de los proyectos, encauzarlos, transformarlos y hacerlos posibles.

■ Texto **Arturo Fernández** | Área de Comunicación (CSN) | ■

Dentro del organigrama del CSN se encuentra la Subdirección de Asesoría Jurídica (SAJ), que es la encargada, como indica su propio nombre, de realizar el asesoramiento jurídico a todos los estamentos del organismo regulador en lo relacionado con la aplicación de normativas, leyes y reglamentos en materia de Derecho, una actividad que suele ser compleja, debido a la subordinación a las leyes.

No obstante, también presta otros servicios dentro del CSN, como la asistencia especializada en los límites del derecho y la representación legal del organismo regulador, así como el apoyo a la elaboración de instrucciones, guías y documentos jurídicos.

Dentro de las funciones más destacadas de esta subdirección se encuentran las de coordinar las relaciones con los ór-

ganos judiciales y defender al organismo ante los mismos. Además, también emiten informes y propuestas, tramitan e informan de las iniciativas de reglamentación –tanto las instrucciones como las guías de seguridad del CSN– e informan los expedientes de contratación y los convenios. Cabe resaltar que son, sin lugar a dudas, una unidad de apoyo al trabajo especializado de los técnicos en ma-



Dentro de las funciones más destacadas de Subdirección de Asesoría Jurídica (SAJ) se encuentran las de coordinar las relaciones con los órganos judiciales y defender al organismo ante los mismos.

teria de seguridad nuclear y protección radiológica.

Términos de referencia

A pesar de ser una de las subdirecciones con menos personal dentro de la plantilla, su actividad es ciertamente relevante. Está constituida por once profesionales, divididos entre los consejeros técnicos, tanto jurídicos como letrados, personal de apoyo administrativo y personal laboral, todos ellos dirigidos por Victoria E. Méndez Sánchez. Además, deben tener una visión estratégica del CSN, con la capacidad de comprender la misión del organismo regulador, para que los pronunciamientos jurídicos sean coherentes con la estrategia institucional, siempre permaneciendo en el absoluto respeto a la legalidad vigente. Cuando uno pregunta a Victoria el porqué de su implicación en la defensa de los intereses del Consejo, la respuesta es “que el CSN está claramente comprometido en contribuir y servir, por lo que su encaje jurídico debe ser el de facilitar la seguridad nuclear y la protección radiológica de toda la sociedad”.

El equipo jurídico cuenta con especialización en varios ámbitos de las aplicaciones del derecho, ya que las actividades del CSN se desarrollan en múltiples materias y deben ser capaces de amoldarse a cualquier tipo de situación. No obstante, la especial cualificación del derecho nuclear no es sencilla, debido a que se trata de una disciplina muy específica y a que se deben conocer muy bien sus bases y sus límites, lo que no se logra sin numerosos años de esfuerzo, experiencia, disciplina y estudio.

El derecho nuclear es un derecho nacional por sus aspectos constitucionales, administrativos, penales y de sanidad y, además, reglamenta la responsabilidad civil por daños nucleares. Es también internacional porque da lugar a la constitución de organizaciones intergubernamentales a las que se les confieren



La subdirectora de Asesoría Jurídica del CSN, junto con su equipo, es la encargada del asesoramiento jurídico a todos los estamentos del organismo regulador.

Entrevista a Victoria E. Méndez Sánchez

“Luchamos para adecuar la actividad del CSN con el ordenamiento jurídico de la forma más constructiva, ágil y eficaz”

Victoria lleva más de 20 años de servicio en la Administración Pública, quince de ellos en el Consejo de Seguridad Nuclear. Desde entonces, nunca ha dejado de identificarse con la misión reguladora del mismo. Su trabajo: aportar toda la “ingeniería jurídica” que necesita un organismo como el CSN para adecuar su actividad al ordenamiento jurídico de la manera más constructiva, ágil y eficaz posible.

PREGUNTA. ¿Qué es lo que resaltaría de estos años de dedicación?

RESPUESTA. La SAJ es una unidad de apoyo a los técnicos y nuestro trabajo es dar respaldo jurídico a sus actividades. El CSN es un organismo público y tiene que actuar con una legalidad diferente y, en este sentido, hay unas normas muy estrictas que controlan su actuación. Supervisamos que todos los expedientes

estén jurídicamente correctos y realizamos una labor de cooperación para facilitar que esos proyectos salgan con una visión comprensible para la sociedad. De esta forma, trabajamos en equipo con los técnicos para llegar a las soluciones más adecuadas y que nos satisfagan a todos. Damos consejos legales participando y haciendo partícipes a los interesados.

P. Siguiendo el hilo de la palabra equipo que ha mencionado, ¿qué supone estar rodeada de los mejores profesionales?

R. Tengo la suerte de contar con un equipo que, además de una gran preparación en todos los ámbitos, tienen una actitud de estudio continuo y lo combinan siendo muy proactivos. Tenemos que afrontar el derecho nuclear que es muy especí-

(Sigue en la página 22)

(Viene de la página 21)

fico, buscando la mejor forma de alcanzar el objetivo técnico. Se trata de unir la faceta técnica y la legal. Y esto requiere agilidad, porque los plazos suelen ser cortos y los recursos, limitados. Aunque seamos pocos, estoy muy contenta por la actitud y la aptitud de mi equipo.

P. ¿De qué manera os formáis para los retos venideros?

R. Nuestra formación no debe ser únicamente sobre asuntos legales, sino que tenemos que tener conocimientos técnicos y hay que conocer el funcionamiento del sector nuclear. Por ello, procuramos asistir a todos los seminarios que creemos que puedan tener sentido para internarnos en el mundo nuclear de forma rigurosa. Representamos al CSN y tenemos que defender sus intereses, todo ello en colaboración con la Abogacía del Estado. Cuando estamos dando cobertura legal, necesitamos conocer las deliberaciones técnicas sobre las que ha trabajado el consejo. Cada día tienes que estar innovando y, a eso, se une que la legislación cambia continuamente, lo que obliga a un permanente reciclaje para tratar de estar siempre al día.

P. ¿Qué papel juega internacionalmente esta subdirección?

R. Tenemos que participar en los grupos de trabajo en los que se adoptan normas, es decir, armonización normativa desde el punto de vista legal. Se trabaja siempre en ver qué hacen otros países, es decir, derecho comparado. Nos integramos con los diferentes equipos de técnicos, donde se captan ideas del derecho nuclear para averiguar cuáles van a ser los criterios que se van a seguir desde la Unión Europea y estudiar la mejor forma de transponer esas directrices.

P. Nuevos conceptos, ¿*Better regulation* y *Smart regulation*?

R. Desde aquí se participa en tramitar normativa, normas técnicas, guías e instrucciones. Ahí es donde el Consejo tiene la capacidad de cambiar la conducta de la sociedad hacia una mayor cultura de la seguridad y hacia una mejora de la misma. Tiene que ofrecer a la sociedad un marco reglamentario estable que regule la actividad de este sector. Las nuevas normas de funcionamiento administrativo requieren de una mayor participación y transparencia en los procesos de elaboración y deben estar liderados por la SAJ. Y ahí es donde nos encontramos estos nuevos conceptos o técnicas de mejora que tratan de buscar una legislación eficiente, ambos suponen siempre un reto para nosotros.

P. ¿Hacia dónde va encaminada esta subdirección y cuáles son los retos futuros?

R. El apoyo jurídico es un complemento indispensable para dar legitimidad al consejo como organismo público. Es una función que nunca debe ser considerada una traba y tiene que seguir ayudando, día a día, al compromiso del CSN de servir a la sociedad. Servir desde el punto de vista legal, diseñando los instrumentos legales adecuados, dentro de un abanico de posibilidades técnicas, para la materialización de cualquier proyecto. Siempre queremos aportar un valor añadido, así como rigor valor y solvencia para que el organismo siga teniendo esa credibilidad que tiene ante la sociedad. Pero todo esto solo se puede hacer trabajando continuamente, con la máxima ilusión y siempre en equipo. 

poderes legislativos para salvaguardar el empleo de materiales e instalaciones nucleares. Y no hay que olvidar que está en constante evolución, por lo que cada vez son más los países que necesitan legislar sobre esta materia.

El consejo legal que proporciona la SAJ no pretende ‘tumar’ proyectos ni iniciativas, sino facilitarlos y, si hace falta, transformarlos para que sean posibles. Podemos decir que la SAJ trabaja para que se resuelvan los proyectos y las iniciativas técnicas, manejando una especie de medicina preventiva o curativa, cuando se desencadena algún conflicto legal. Su actividad dentro del CSN, según asegura Victoria, “no debe verse como un conjunto de trabas administrativas”.

A su juicio, “todo proceso del CSN, por muy técnico o especializado que sea, debe enmarcarse en un marco regulador, en unas normas y unas leyes de obligado cumplimiento”, dado que es un organismo público y, por eso, “debe existir siempre una justificación de su actuación”.

Prueba superada

Uno de los casos más complicados para esta subdirección fue la defensa de los inspectores residentes citados en unas diligencias de investigación penal, abiertas a raíz del suceso producido en la Central Nuclear de Ascó hace 10 años. El suceso fue la consecuencia de la liberación en diversas localizaciones de la central: terraza de los edificios de combustible, auxiliar, turbina y control, zona de penetraciones mecánicas de la contención y otras zonas a nivel del suelo.

Estos inspectores pasaron por un calvario jurídico, ya que se cuestionó su trabajo, lo que implicó un esfuerzo extra de la SAJ y de ellos mismos, hasta que se demostró que habían efectuado su labor de manera correcta y la causa se archivó. Este caso, por su complejidad y por afectar al personal técnico de la organización, fue una verdadera prueba de fuego para la SAJ. 

El desmantelamiento de la central nuclear alcarreña afronta la fase de gestión de hormigones y tierras

Así se lavan las tierras con residuos radiactivos en la central nuclear José Cabrera

Con un avance de cerca del 80 por ciento, los trabajos de desmantelamiento que Enresa acomete en la central nuclear José Cabrera han alcanzado una etapa singular y específica dentro del proyecto: la gestión de hormigones y tierras. Para el tratamiento de estas últimas, de aquellas que han sido afectadas por contaminación radiológica, se va a utilizar una técnica pionera en el sector, pero

con amplia experiencia en el campo de la descontaminación: una planta de lavado de suelos. A simple vista, si no se tienen nociones previas, alguien puede pensar “¿cómo es posible lavar la tierra?”. Pero, como suele ocurrir en estos casos, la ingeniería tiene la explicación.

■ Texto **Álvaro Rojo, Teresa Palacio y Cristina Correa** | Enresa | Fotos **Enresa** | ■

El pleno del Consejo de Seguridad Nuclear aprobó, en julio de 2016, una planta de lavado de tierras para el desmantelamiento de la central nuclear José Cabrera (Almonacid de Zorita, Guadalajara) que se encuentra situada en la parte este del emplazamiento. Su función es la de gestionar y tratar los suelos afectados por contaminación radiológica, utilizando técnicas de descontaminación que ya se han empleado con éxito en otros sectores.

Tal y como explica el director del desmantelamiento de José Cabrera, Manuel Ondaro, el proceso es sencillo: “en la planta se separan las partes más finas (limos y arcillas), donde se concentra la

mayor parte de la contaminación, de las más gruesas (arenas y gravas), que suelen ser más limpias y cuya contaminación es, en general, desprendible”. De esta manera, añade Ondaro, “se reduce el volumen y la generación de residuos radiactivos de muy baja actividad en esta fase del desmantelamiento”.

Con este método de descontaminación se concentran los contaminantes en un volumen mucho menor (en una especie de “torta”) que deberá ser gestionado como residuo. El resto del material, una vez limpio y desclasificado radiológicamente, se podrá gestionar como material convencional.

Esta técnica, subraya Ondaro, “permi-

te tratar las cantidades de terrenos que vamos a manejar, aproximadamente unas 9.000 toneladas”. La capacidad de tratamiento de la planta, por su diseño, es de 10 toneladas/hora, y su operación, que se realiza siempre en húmedo, tendrá lugar en forma de tandas de unas 500 toneladas. Consta de cuatro líneas principales de tratamiento y cuatro acopios.

Funcionamiento de la planta

A lo largo del tratamiento, se realizan diferentes controles radiológicos en los acopios y en la línea de recuperación de agua, con el fin de medir la efectividad de los diferentes procesos realizados y

(Sigue en la página 26)



EL PROCESO. REPORTAJE FOTOGRÁFICO

(Fotografías realizadas en fase montaje y pruebas)



1. ALIMENTACIÓN DE MATERIAL. Previamente, se separa el material de tamaño superior a 100 mm en la zona de acopio de entrada. Posteriormente, se aporta el material en la tolva de la plataforma de carga.



2, 3. LÍNEA DE CLASIFICACIÓN GRANULOMÉTRICA Y SEPARACIÓN DE GRAVAS. Desde la tolva se trasladan las tierras mediante la cinta de alimentación de banda transportadora, hasta el primer equipo de lavado: cilindro de lavado ("tromel"). La mezcla de tierra lavada y agua de lavado se conduce por gravedad a una criba vibrante inclinada que permite clasificar granulométricamente.



4,5,6,7. LÍNEA LAVADO DE GRAVAS. Las gravas se lavan en una rampa y se pasan por un escorridor vibrante. Desde este punto, se conducen mediante una cinta transportadora hasta el acopio de gravas desclasificables.

8-9. SEPARACIÓN DE FINOS Y LAVADO DE ARENAS. La separación entre arenas y finos tiene lugar a través de dos fases de hidrociclonado, antes y después de proceso de lavado denominado atrición. Las arenas se descontaminan mediante un proceso de rozamiento desprendiéndose la contaminación adherida. Las arenas obtenidas, una vez escurridas, se conducen por medio de una cinta transportadora hasta el acopio de arenas desclasificables.





10. RECUPERACIÓN DE AGUA Y DESHIDRATACIÓN DE FINOS. El material más fino, tras un proceso de decantación, se envía a la etapa de filtración.



11-12. LA ETAPA DE FILTRACIÓN SE REALIZA MEDIANTE UN FILTRO-PRENSA. En el cual se consigue concentrar todo el material fino compactado en condiciones adecuadas ("tortas").



13. EL RESIDUO GENERADO (LAS "TORTAS") SE ALMACENA EN BIG-BAG. Adecuados para su posterior gestión por Enresa.



14. LÍNEA DE TRATAMIENTO DE AGUA. El agua procedente de la deshidratación de finos se reincorpora al proceso o se envía a la planta de tratamiento de agua. Ésta incluye los tratamientos de filtración e intercambio iónico (en caso de ser necesario), que garantizarán el cumplimiento de los criterios radiológicos y medioambientales de vertido.

(Viene de la página 23)

decidir la gestión final de los materiales, o bien como desclasificables o bien como residuos.

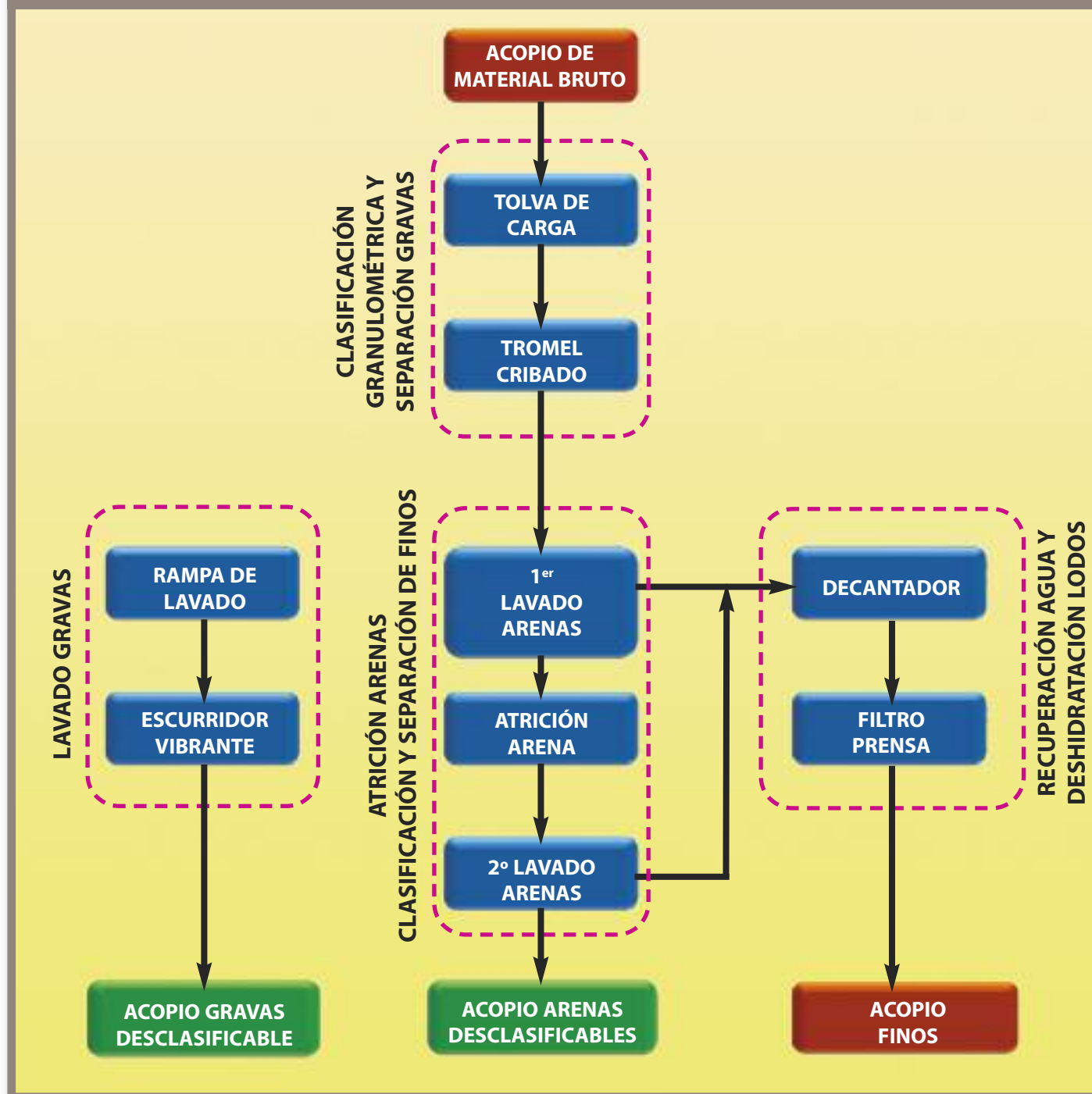
Puesta a punto de la instalación

La planta de lavado de tierras de la cen-

tral nuclear José Cabrera estará en funcionamiento durante dos años, a medida que vayan avanzando los trabajos de demolición de los diferentes edificios de la instalación. Para su puesta en marcha han sido necesarias dos fases de pruebas: una con tierra limpia, destinada a

comprobar la seguridad de la planta y su correcto funcionamiento, y otra, que se está realizando en la actualidad, con tierra contaminada, cuyo objetivo es ajustar los parámetros del proceso y la implantación de medidas de protección radiológicas. Superadas estas dos fases y

ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE LAVADO DE SUELOS



una vez que el Consejo de Seguridad Nuclear emita su apreciación favorable, la planta podrá empezar a funcionar.

Para calcular la cantidad de tierras a tratar se han considerado los resultados de las campañas de caracterización radiológica de terrenos realizadas. La estimación inicial es que se requiere un movimiento de tierras de, aproximadamente, 18.000 toneladas. De esta cantidad, se enviará al proceso de desclasificación de materiales la mitad. Las 9.000 toneladas restantes serán las que sean tratadas en la planta de lavado, obteniéndose una eficacia del proceso de entre un 40 y un 70 por ciento.

Una técnica consolidada y eficaz

Según explica Cristina Correa, jefe del proyecto de José Cabrera y una de las responsables de la puesta en marcha de la planta, “es la primera vez que se aplican estas técnicas de descontaminación en el ámbito del desmantelamiento de instalaciones nucleares en España, y uno de los primeros casos en los que se implanta a nivel industrial en un desmantelamiento en Europa”.

Hasta ahora, el tratamiento de estos terrenos se ha realizado mediante la excavación y segregación de la tierra contaminada. Con la nueva planta, añade Correa, “tras esa segregación se aplica esta técnica cuyo objetivo último es la reducción del volumen de residuos”.

La elección de esta técnica dentro de los trabajos de desmantelamiento de la central nuclear José Cabrera responde a varios factores.

Entre las principales ventajas del lavado de suelos se encuentran su facilidad de implantación (por la experiencia existente, al basarse en técnicas ya utilizadas en la industria minera), la rapidez relativa del proceso y la capacidad de operar con grandes volúmenes de mate-



DESCONTAMINAR, SU OBJETIVO. La función de la planta de lavado de áridos es la de gestionar y tratar los suelos afectados por contaminación radiológica, utilizando técnicas de descontaminación

Supervisión del CSN

“El Consejo de Seguridad Nuclear ha estado desde el primer momento supervisando todo”, detalla Manuel Ondaro, “analizando la propuesta de modificación de diseño y asistiendo a las pruebas que se han realizado en la planta”.

Durante su operación, añade el director de la instalación, “el CSN establecerá los mecanismos de control e inspección reglamentarios para asegurar su correcto funcionamiento y el cumplimiento de todos los protocolos”. “Se realizarán sucesivas inspecciones, a las que se añade el control diario permanente que realiza la inspección con residentes del CSN en la central”, resume Ondaro. ►

rial. A ello se une la existencia de experiencias con resultados positivos, tanto a escala de laboratorio como a escala industrial.

Esta metodología se encuentra consolidada tanto en Europa, como en Estados Unidos y Japón para el tratamiento de suelos contaminados orgánica e inorgánicamente. También está siendo implantada con éxito en EE.UU., Corea, Rusia y, recientemente, en Japón para el tratamiento de suelos contaminados radiológicamente. En España, se está utilizando este proceso en el embalse de Flix, en la provincia de Tarragona, contaminado por vertidos químicos.

Antes de implantar la técnica en Zorita, se visitaron las instalaciones de Flix y se realizaron los correspondientes ensayos de laboratorio, que permitieron valorar la efectividad y viabilidad del tratamiento. Todo con el objetivo de, una vez terminado el desmantelamiento, devolver el emplazamiento a su situación radiológica inicial. ©

El marco regulador español requiere a los titulares de centrales nucleares un programa de protección contra incendios que se ajuste a la Instrucción IS-30 del CSN

Aplicación del código FDS a la simulación de incendios en centrales nucleares

El marco regulador español requiere a los titulares de centrales nucleares un programa de protección contra incendios que se ajuste a la Instrucción IS-30 del CSN. Una herramienta muy útil para realizar los análisis requeridos es el uso de modelos de simulación numérica en los que, de forma creciente, se aplican códigos de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD, por sus siglas en inglés).

El empleo de estos códigos en el CSN supone un apoyo en las evaluaciones en la protección contra incendios mediante la simulación de los fenómenos de incendio en centrales nucleares, el análisis de propagación o la identificación de combustibles primarios y secundarios. Su mayor potencial se manifiesta en la simulación de escenarios realistas de incendios en configuraciones geométricas complejas.

El CSN viene impulsando actividades formativas y de investigación con objeto de analizar diversos escenarios realistas de incendios en centrales nucleares,

como los referidos en el NUREG-1934 de la USNRC o los analizados en las pruebas experimentales a escala real en el proyecto internacional PRISME promovido por la OCDE.

Asimismo, el CSN tiene suscrito un acuerdo con el grupo GIDAI de la Universidad de Cantabria y promueve una beca de formación para post-graduados en modelización y simulación de incendios en centrales nucleares.

■ **Texto Eugenia Morgado Cañada** | Becaria en modelización y simulación de incendios del Área de APS de la Subdirección de Tecnología Nuclear del CSN | **Miguel Ángel Jiménez García** | Especialista en incendios. Técnico del Área de APS de la Subdirección de Tecnología Nuclear del CSN | **Julián Peco Espinosa** | Especialista en incendios. Jefe de Proyecto Instalaciones del Ciclo y Desmantelamiento de la Subdirección de Protección Radiológica Ambiental del CSN | ■

El análisis de las posibles consecuencias para una central nuclear de un incendio que pudiera afectar a Estructuras, Sistemas y Componentes (ESC) importantes para la seguridad nuclear, es un requisito regulador y está además justificado por tratarse de incidentes con una probabilidad de ocurrencia no desdeñable de acuerdo con la experiencia operativa de la industria nuclear.

Concretamente, dentro del marco regulador español, se requiere a los titulares de centrales nucleares con autorización de explotación un Estudio de Seguridad que, entre otros aspectos, incluya el análisis y evaluación de los riesgos derivados de incendios postulados. Para dar cum-

plimiento a este requerimiento, el CSN ha emitido la Instrucción de Seguridad IS-30, actualmente en su revisión 2, de 16 de noviembre de 2016, que establece los criterios que debe satisfacer el programa de Protección Contra Incendios (PCI), mediante el cual el titular deberá garantizar que, ante los incendios postulados, la planta podrá alcanzar y mantener la condición de parada segura.

Así, el programa de PCI consiste en el conjunto de componentes, análisis, procedimientos, actividades, personal y recursos necesarios para definir y desarrollar todas las actividades de protección contra incendios que garantizan la prevención de incendios en las áreas con ESC

importantes para la seguridad; su rápida detección y extinción en caso de que se produzcan; y su confinamiento en áreas de fuego diseñadas de modo que, ante cualquier incendio en cualquier área de fuego de la central, se puede alcanzar y mantener la parada segura, y que se minimiza la posibilidad de liberaciones radiactivas al exterior. Esto incluye el propio sistema de protección contra incendios, el diseño de la instalación, la prevención de incendios, la detección, las alarmas, el confinamiento, la extinción, los controles administrativos, la organización de lucha contra incendios, la inspección y mantenimiento, el entrenamiento, la garantía de calidad, las pruebas, etc.

En los últimos tiempos se han incorporado métodos de modelización y simulación como alternativa válida para el análisis de la idoneidad de los programas de protección contra incendios por parte de los organismos reguladores. Una herramienta muy útil para soportar los análisis requeridos, que dan cumplimiento a algunos de los criterios recogidos en la IS-30, rev.2, es el uso de códigos de simulación de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD, por sus siglas en inglés).

Entre los potenciales campos de aplicación de estos códigos cabe destacar su empleo como apoyo en la verificación de la compartimentación en áreas de fuego, del diseño y la disposición de barreras pasivas resistentes al fuego y de la separación de trenes redundantes para aportar información, por ejemplo, sobre los tiempos disponibles de actuación, el alcance del daño a elementos, sean o no necesarios para la parada segura, o las condiciones de habitabilidad de las distintas dependencias para el personal de operación y/o de lucha contra incendios.

Asimismo, el empleo de códigos CFD puede resultar de interés en el análisis de riesgos de incendios por área de fuego exigido a los titulares para demostrar que se cumplen los requerimientos normativos basados en el principio de defensa en profundidad teniendo en cuenta los riesgos de incendios, las ESC y los medios de detección y extinción de incendios presentes en el área.

Otro ámbito de aplicación es la cuantificación de hallazgos, concretamente en la etapa de cribado cuantitativo, donde se evalúa el incremento de la frecuencia de daño al núcleo esperada para distintos escenarios de daño y de propagación de incendios que puedan resultar de interés, particularmente en escenarios multi-compartimentados.

En los análisis probabilistas de seguridad de incendios, el empleo de códigos CFD proporciona conocimiento e infor-

mación útil sobre los tiempos de fallo o la probabilidad de éxito en la detección y/o extinción de incendios.

Con objeto de explorar las capacidades y consolidar la experiencia en el manejo de los códigos CFD para la simulación de potenciales incendios en centrales nucleares, el CSN viene impulsando desde 2004 diversas becas de formación y la participación en proyectos de I+D con ingenierías y universidades españolas y ha participado en los proyectos internacionales PRISME y PRISME-2 de la OCDE, haciendo uso del *Fire Dynamics Simulator* (FDS), desarrollado por el National Institute of Standards and Technology (NIST) para la simulación de incendios.

1. Simulación de escenarios de incendios prototipo en centrales nucleares

Una de las actividades de trabajo desarrolladas en el CSN en el ámbito de la beca de formación de los últimos años ha consistido en reproducir y analizar los casos descritos en el NUREG-1934 de la USNRC 'Nuclear Power Plant Fire Modeling Analysis Guidelines', que presenta una guía para modelar escenarios de incendios prototipo en centrales nucleares, haciendo uso de distintas aproximaciones

numéricas, comenzando con la aplicación de correlaciones, pasando por modelos zonales más detallados y, finalmente, mediante códigos CFD, que ofrecen una alta resolución espacial y permiten explorar los fenómenos de incendio en geometrías con compartimentaciones complejas en las que los modelos anteriores tienen una aplicabilidad limitada. En contrapartida, el uso de estos códigos conlleva un elevado coste computacional, que puede requerir un elevado tiempo de simulación, cada vez más asumible con las arquitecturas computacionales de alta capacidad de procesamiento (servidor *Red Hat Enterprise Linux*, de hasta 20 procesadores de 2,40 GHz y una memoria de 126,0 GiB).

Se han analizado distintas configuraciones de escenarios representativos de incendios en centrales nucleares, haciendo uso de la herramienta FDS. El notable esfuerzo realizado para establecer un equilibrio entre la resolución de las simulaciones y los tiempos de ejecución requeridos para estos escenarios realistas ha dado lugar al NUREG-1934 como una referencia básica en este tipo de análisis.

Los objetivos de los análisis de estos escenarios son diversos: en algunas situaciones, se trata de estimar el tiempo nece-

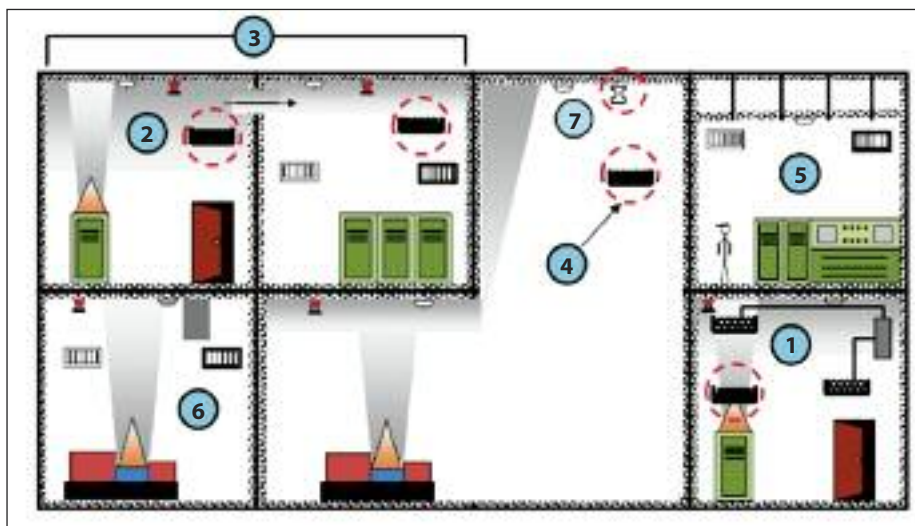


Figura 1. Esquema de escenarios prototipo de incendios en centrales nucleares. Fuente NUREG-1934 de la USNRC.

sario para que se produzca daño en los cables o cabinas importantes para la seguridad, y que pueden o no encontrarse envueltos por las llamas y los gases calientes derivados de la combustión; en otras situaciones, se trata de estimar la adecuación en el funcionamiento de los sistemas de detección, extinción y ventilación, y las condiciones de habitabilidad en áreas donde se prevean actuaciones humanas o la propagación de incendios a habitaciones adyacentes.

Uno de los principales requisitos en las centrales nucleares se establece en asegurar la habitabilidad de la sala de control para realizar las acciones necesarias para garantizar la condición de parada segura de la central, por lo que el análisis en esta ubicación de un escenario de incendio –iniciado, por ejemplo, en una de las cabinas eléctricas–, reviste un gran interés. Ha podido comprobarse cómo un diseño adecuado de la ventilación y la extracción de los humos puede evitar el establecimiento de una capa creciente de gases y humo calientes que pueda afectar a la visibilidad y establecer otras condiciones adversas para la presencia y traba-

jo de los operadores y así garantizar la habitabilidad de la sala de control ante un incendio en la misma.

El empleo de estos códigos también puede ser de utilidad en la simulación de escenarios que permitan analizar el cumplimiento de los criterios de separación entre cables de trenes redundantes, recogido en la Instrucción IS-30 del CSN, para lo que se han simulado diversos escenarios. Por un lado, un incendio en una cabina del edificio eléctrico, donde se ha podido evidenciar el incremento de los daños producidos a fuentes de ignición secundarias o intermedias y, por otro lado, se ha simulado un incendio producido en una bandeja de cables en el anillo.

Se ha mencionado anteriormente la ventajosa aplicabilidad de los códigos CFD para la simulación de escenarios con geometrías complejas, como puede ser el caso de salas de múltiples alturas, muy difíciles de analizarse correctamente con otras herramientas más sencillas. En esta configuración se ha considerado un escenario limitante en que se produce el incendio de una cabina de un centro de control de motores en la zona de menor

altura. La complejidad de la resolución de este escenario se debe a que las condiciones de contorno en la proximidad de la llama, por la presencia de la bandeja objetivo como obstáculo, producen una deflexión de la llama, que adquiere un comportamiento oscilante. Asimismo se han analizado geometrías multicompartimentadas con la finalidad de estudiar los efectos de propagación de fuegos, gases y humo entre áreas adyacentes.

Otro de los escenarios de incendio más destacados en centrales nucleares es aquel en el que se ven involucrados combustibles líquidos. Como ejemplo se ha analizado el incendio en un recinto del aceite de lubricación de una bomba hidráulica, con el objetivo de estudiar el posible fallo de cables de parada segura situados cerca del techo. También se ha analizado el incendio del aceite de lubricación de una turbina en distintas localizaciones en el edificio de turbina estudiando su impacto sobre la integridad de perfiles estructurales de acero.

Finalmente, cabe mencionar que el empleo de simulaciones puede ser de utilidad para analizar las estrategias y maniobras realizadas por las brigadas de lucha contra incendios, puesto que permite simular la actuación de sistemas de extinción, así como la apertura de puertas y la consiguiente alimentación con oxígeno al área donde tiene lugar el incendio.

1.1 Análisis de consistencia y convergencia del código FDS

Una tarea fundamental en la aplicación de las herramientas numéricas en la simulación de los incendios es el proceso de validación y verificación de los resultados. La validación consiste en determinar si un modelo reproduce adecuadamente el fenómeno de interés, mientras que la verificación consiste en comprobar si el modelo ha representado correctamente el concepto deseado.

Los análisis realizados han permitido

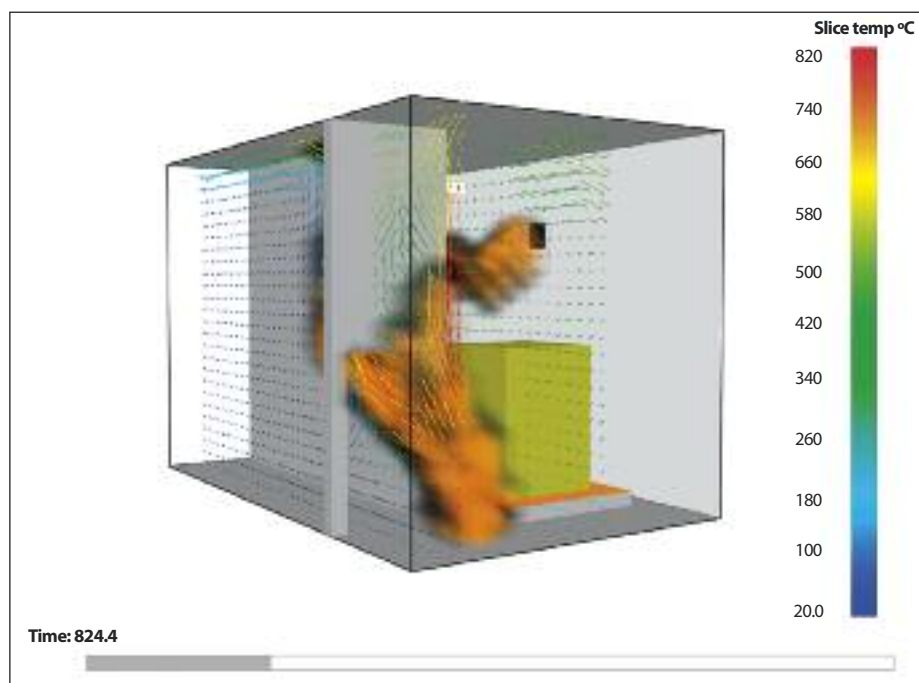


Figura 2. Escenario del incendio del aceite de lubricación en la sala de una bomba con FDS.

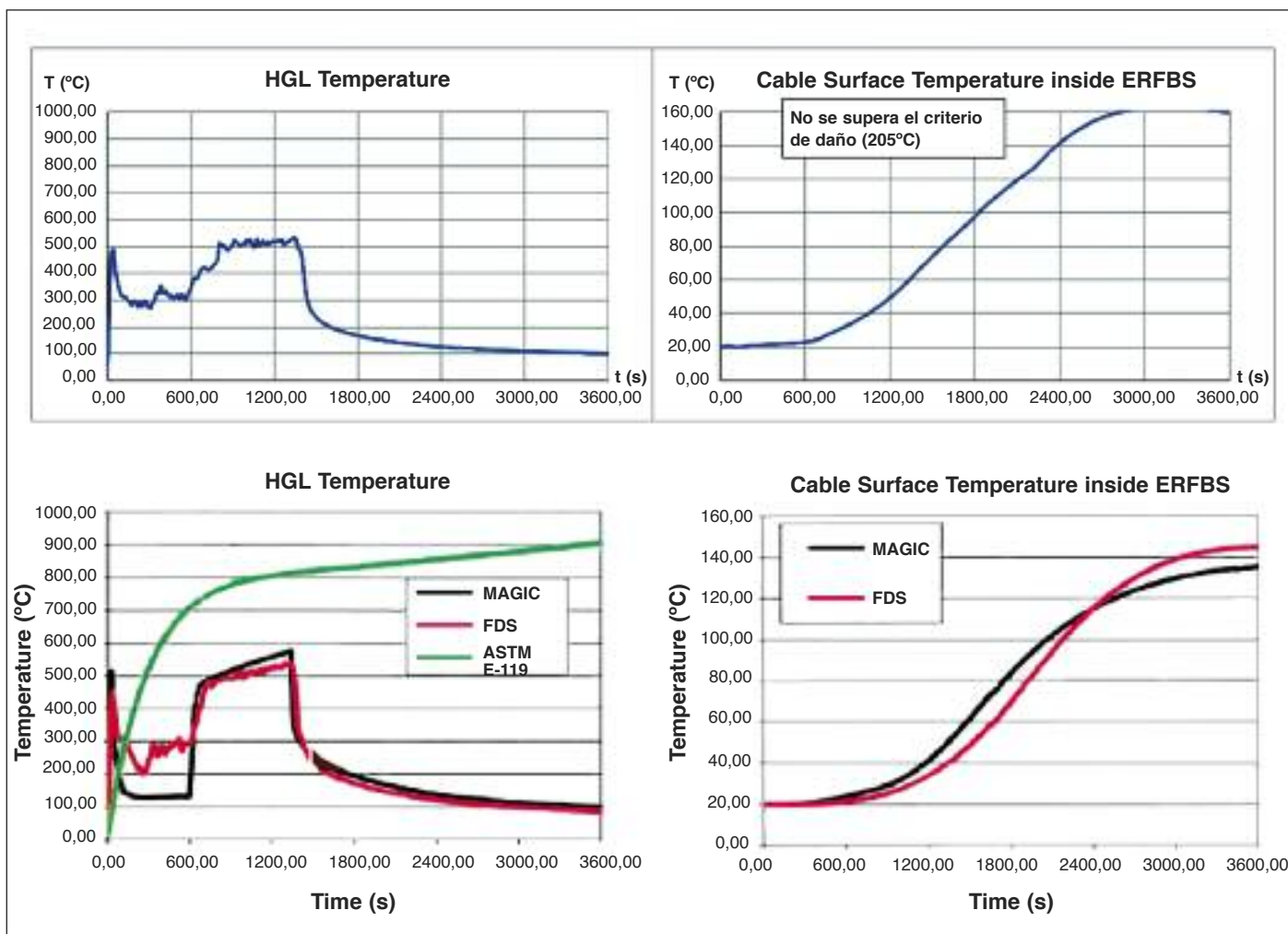


Figura 3. Validación de resultados del incendio del aceite de lubricación en la sala de una bomba con FDS.

detectar situaciones destacables en el campo de las simulaciones numéricas: una tiene que ver con la estabilidad del algoritmo de solución, otra donde se ha estudiado el impacto sobre la integridad estructural ante un incendio del aceite de lubricación de una turbina.

El primero de los escenarios, la simulación del incendio del aceite de lubricación de una bomba hidráulica, tiene por objetivo analizar –bajo criterios conservadores que suponen el malfuncionamiento de distintos sistemas de detección y extinción– el posible fallo de los cables necesarios para sistemas de parada segura, considerado al superar en estos una temperatura crítica de daño estimada en 205 °C.

Dicho escenario se ha simulado con

distintas versiones del código en un ejercicio de validación, permitiendo detectar la inestabilidad numérica de una de las versiones del código FDS, en concreto la 6.3.2, por la superación de los valores límite de los parámetros de convergencia en las distintas iteraciones en aquellas localizaciones donde la ventilación impone condiciones limitantes en la reacción de combustión. Para explorar el origen de dicha inestabilidad, se han realizado pruebas más exhaustivas, analizando el efecto de distintos parámetros como el límite de Courant, el paso de tiempo, los criterios de convergencia en una de las componentes de la velocidad o el número de iteraciones permitidas en cada paso temporal para resolver la variable presión.

Ante la recurrencia de la inestabilidad del esquema numérico, se optó por modificar la malla de cálculo, considerando alternativamente las siguientes opciones: divisiones del valor de la tasa de liberación de calor (HRR), división de la geometría del tanque de aceite de lubricación que se incendia, eliminación de las fugas y entradas de aire por debajo de la puerta o consideración de distintos tamaños de celda de la malla de cálculo.

Al persistir las inestabilidades numéricas observadas, se contactó con los desarrolladores del código para concluir que se trataba de un error en el algoritmo de resolución, que se ha subsanado en las versiones posteriores, para las que se ha podido comprobar la correcta ejecución del código en las mismas geometrías.

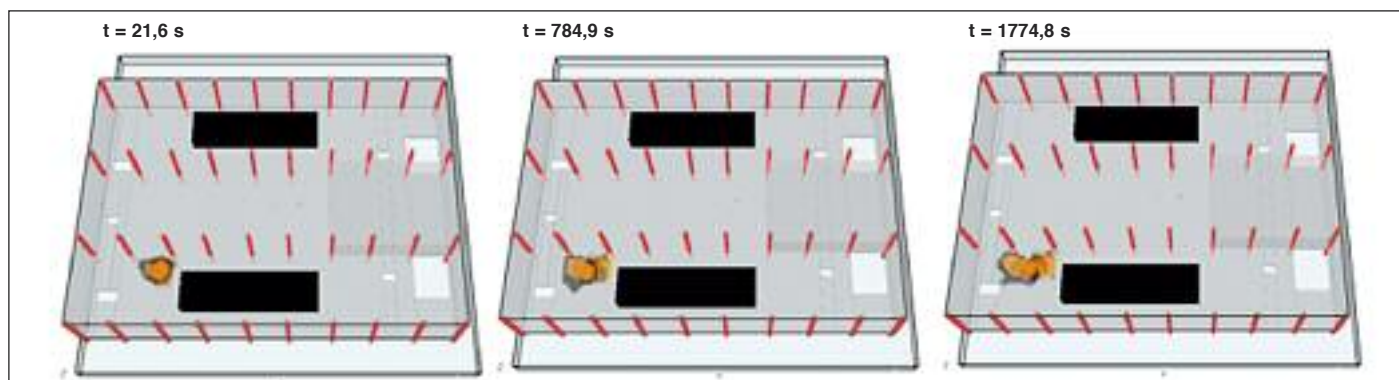


Figura 4. Evolución del incendio del aceite de lubricación de una turbina con FDS.

Por otro lado, la consistencia de los resultados se compara con los ofrecidos en el NUREG-1934, donde se hizo uso de la versión 5 de FDS, observándose grandes congruencias, pese a que la simulación realizada con las versiones más recientes ofrece ligeras desviaciones en la estimación de la temperatura de la capa de gas caliente (HGL) y la temperatura interior de los cables, resultando en una temperatura máxima ligeramente superior.

El segundo escenario consistió en analizar, en el edificio de la turbina, la carga térmica producida sobre los pilares de acero por el incendio del aceite de lubricación en dos potenciales localizaciones. El edificio de turbina cuenta con dos plantas, produciéndose el fuego en la planta inferior de forma que se espera que las llamas alcancen una altura mayor que el techo, lo que obliga a considerar el efecto de la extensión radial que sufren las llamas por la deflexión en el techo.

De los resultados de las simulaciones

se deduce que, para la primera localización, ninguna columna sufrirá daños que puedan impactar a la seguridad del edificio. Con la segunda localización, la columna C superaría el criterio de daño, con el consiguiente riesgo de colapso en el edificio.

2. Análisis de escenarios PRISME

Con objeto de continuar las investigaciones orientadas a analizar la evolución de los incendios, el riesgo en los distintos escenarios y la idoneidad de las medidas de protección contra incendios, el CSN viene participando desde 2005 en el proyecto de investigación internacional PRISME (*Propagation d'un incendie pour des scénarios multi-locaux élémentaires*), desarrollado por la Agencia de la Energía Nuclear (NEA, por sus siglas en inglés) de la OCDE.

Este proyecto tiene por objeto el análisis de la propagación del humo y el calor debidos a un incendio en escenarios multicompartimentados típicos de centrales

nucleares, basándose en una serie de ensayos reales a gran escala, realizados en la instalación DIVA del Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN).

A continuación se ilustra una simulación con FDS, que muestra la verificación y validación de sus modelos y resultados con los datos reales obtenidos en los ensayos. El escenario seleccionado es el denominado PRS_DI_D3, que consiste en un fuego que se desarrolla en la habitación 1 (ver figura 6, en pág. 49), la cual se encuentra comunicada con la habitación 2 a través de una puerta abierta. Ambas habitaciones cuentan con un sistema de ventilación y se desea analizar el impacto del fuego sobre los cables situados en las bandejas de ambos recintos.

La simulación del ejercicio requiere la caracterización de todos los elementos involucrados en el escenario y la asunción de diferentes hipótesis que permitan alcanzar un equilibrio entre el grado de detalle de estas caracterizaciones, el

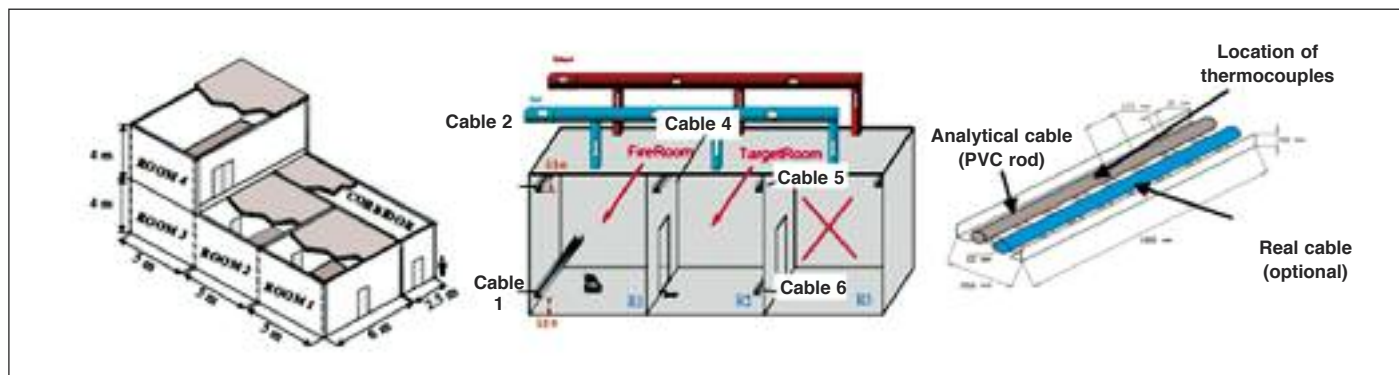


Figura 5.: Instalación DIVA (izda.). Escenario del ejercicio PRS_DI_D3 (centro). Bandejas de cables (dcha.)

mallado de cálculo y el tiempo de ejecución.

Una de las tareas críticas en las simulaciones con códigos CFD es crear una malla representativa del problema. Como análisis del mallado se presentan dos casos: uno con una malla fina y otro con una malla gruesa, con el fin de reducir el coste computacional, lo que conlleva la simplificación de las bandejas de cables. Se ha podido observar que el empleo de la malla gruesa ofrece una reducción apreciable en el tiempo de ejecución (en torno al 85%), sin presentar notables desviaciones en parámetros como la temperatura en los cables y las paredes o la altura de la capa de gas caliente. Las mayores diferencias (del orden del 10%-15%) se han identificado en la estimación de los flujos máscicos y caloríficos.

Se ha extendido el análisis de sensibilidad a la fracción radiativa y las fracciones de monóxido de carbono y hollín generados en los procesos de combustión sin apreciarse desviaciones notables en las configuraciones analizadas. Por otro lado, se ha comprobado que un diseño adecuado del sistema de ventilación resulta determinante, ya que puede ofrecer variaciones significativas en la altura de formación de la capa de gases calientes, y que una adecuada caracterización de la fuente de ignición a través de la tasa de calor producida por unidad de área (HRRPUA) o, en su defecto, la tasa de quemado por unidad de área (MLRPUA), tiene un impacto muy significativo sobre los resultados.

El ejercicio de validación y verificación se completa con el análisis de los resultados obtenidos de las simulaciones efectuadas respecto de los datos experimentales obtenidos en los ensayos.

Se presentan los perfiles de temperaturas alcanzados en los cables en tres posiciones (superficie, centro y punto intermedio entre las anteriores), observándose que las simulaciones ofrecen

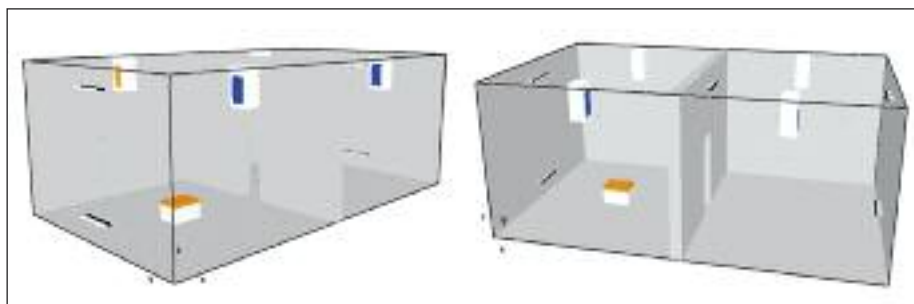


Figura 6. Escenarios simulados del ejercicio PRS_DI_D3 del proyecto PRISME.

para las bandejas de cables localizadas en la habitación donde tiene lugar el fuego (bandejas 1 y 2) mayores diferencias en los primeros instantes del incendio por las fluctuaciones térmicas ocasionadas por la liberación del calor. Por el contrario, se observa que el establecimiento de una situación mucho más uniforme y estable en la habitación colindante permite una mejor reproducibilidad de las condiciones a las que se ven sometidas las bandejas de cables 4 y 5. Finalmente, las predicciones sobre una bandeja que, como la número 6, está situada cerca de un punto de remanso presentan una peor estimación de las variables de transmisión del calor, ocasionando una mayor

discrepancia en el perfil estimado de la temperatura.

Del análisis de las diversas simulaciones se ha podido comprobar que los códigos CFD ofrecen, en general, resultados más precisos con respecto a los datos experimentales que los obtenidos con los modelos empíricos y zonales, aunque resultan computacionalmente más costosos y debe prestarse una particular atención a la simulación de escenarios con condiciones de contorno limitantes que puedan derivar en inestabilidades numéricas, aunque se han adelantado estrategias para su identificación, diagnóstico y posible superación.

Existe, también, una cada vez más am-

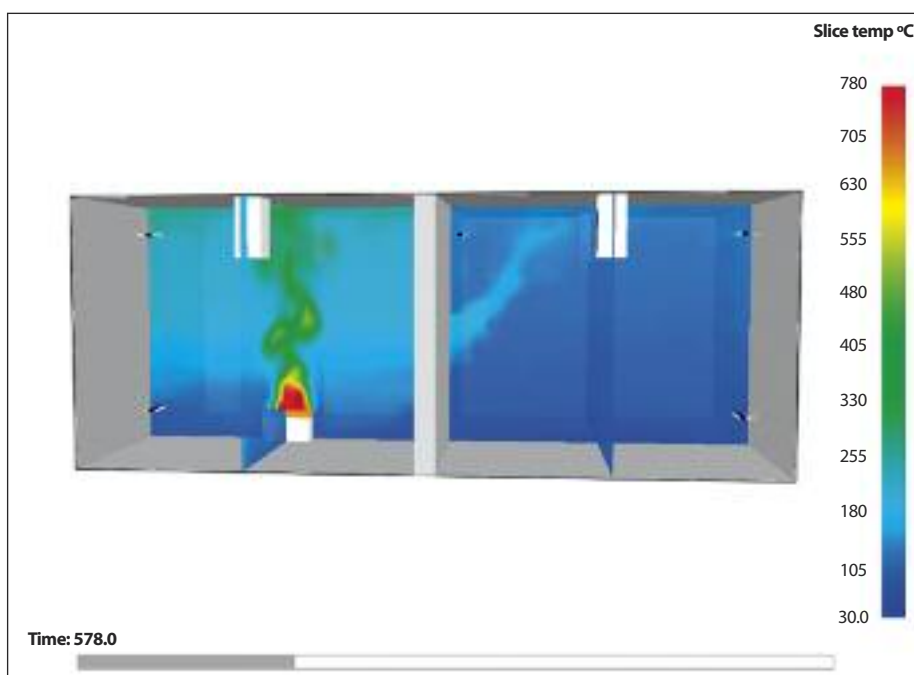
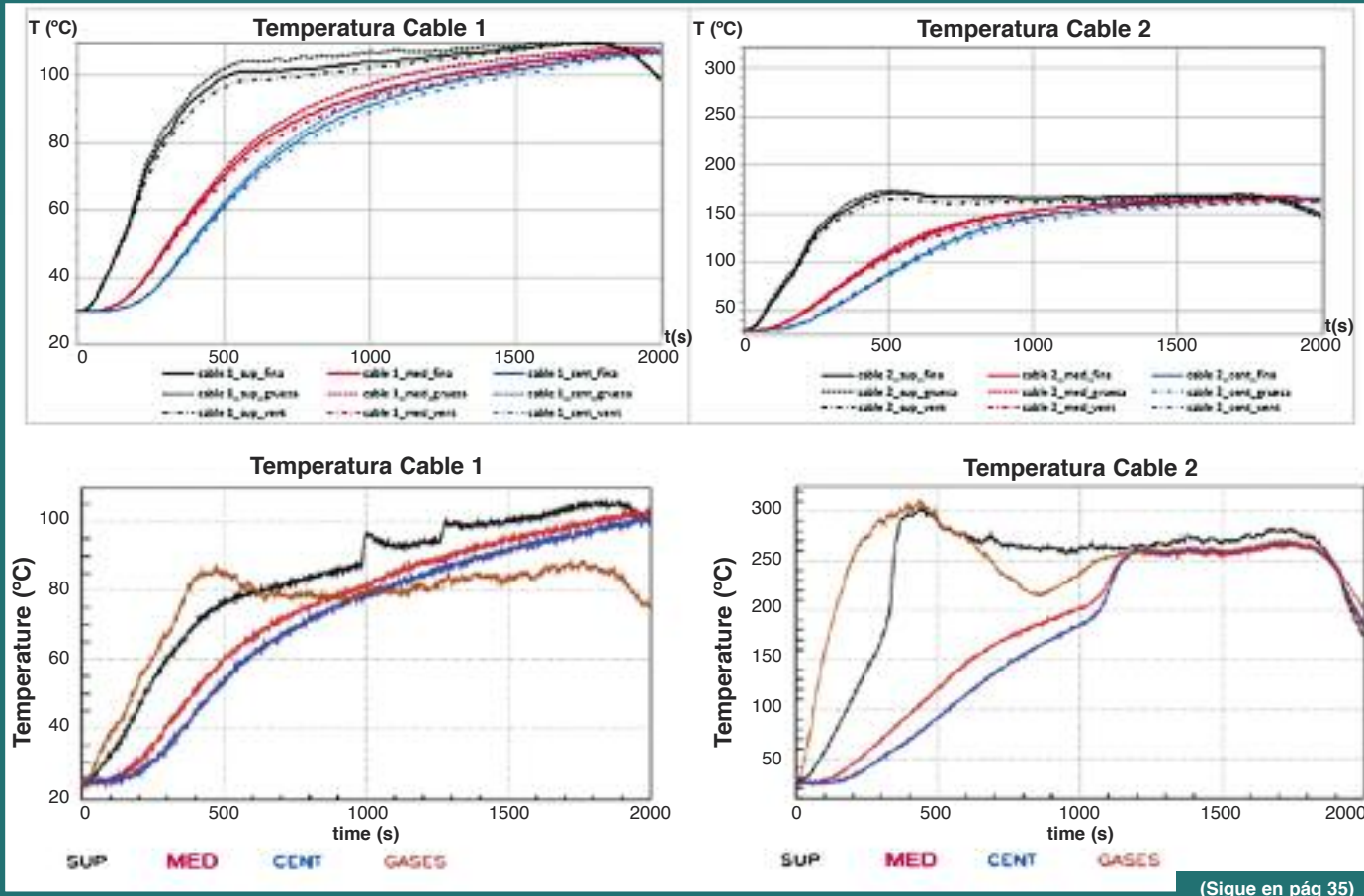


Figura 7. Simulación del escenario PRS_DI_D3 del proyecto PRISME con FDS.

**Verificación de perfiles de temperaturas de cables estimadas (arriba)
respecto de datos experimentales (abajo) del escenario PRS_DI_D3. (Fuente: PRISME)**



(Sigue en pág 35)

SIMULACIONES Y PRECISION EN LOS RESULTADOS. Del análisis de las diversas simulaciones se ha comprobado que los códigos CFD ofrecen, en general, resultados más precisos con respecto a los datos experimentales que los obtenidos con los modelos empíricos y zonales.

plia base de validación y verificación de los modelos, aplicable a las distintas versiones de los códigos.

Por otro lado ha sido posible, a través del análisis de sensibilidad de los principales parámetros que intervienen en la caracterización de los escenarios de incendios, identificar aquellos parámetros cuya adecuada caracterización resulta fundamental para la correcta simulación de incendios (tasa de calor liberada por la reacción de combustión, mallado, tasa de ventilación...).

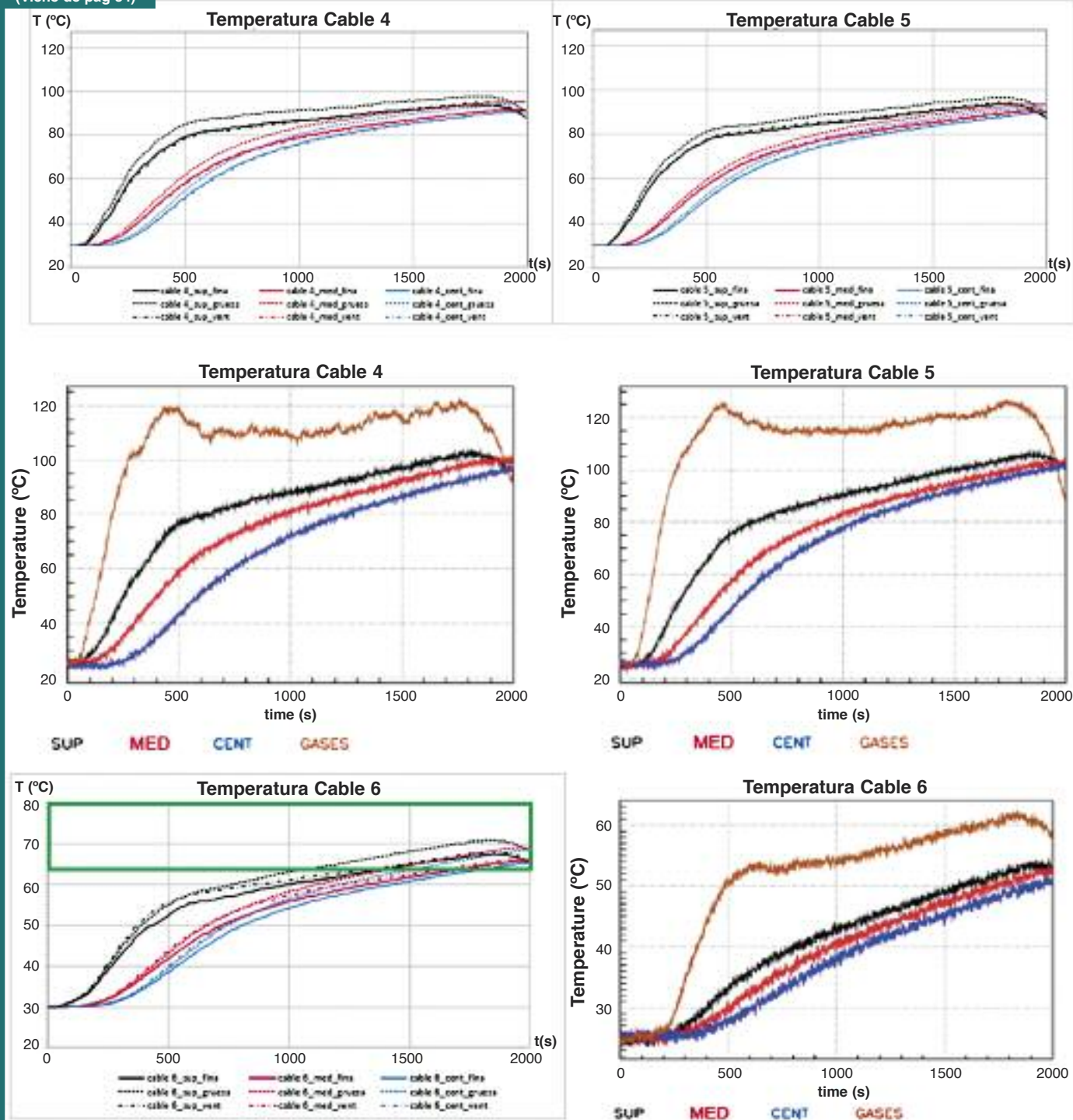
Sin embargo, existen parámetros cuya predicción presenta una mayor incertidumbre, principalmente la concen-

tración de humo, la temperatura en la capa de gas caliente, el flujo calorífico transmitido por radiación o la temperatura de la pluma de los gases de combustión.

El objetivo de la consolidación de las experiencias y de las competencias adquiridas en cualquier ámbito científico y técnico también requiere la participación y promoción de referentes de excelencia en el ámbito nacional e internacional, interno y externo. En este sentido, la suscripción de acuerdos de colaboración y la participación en proyectos de investigación contribuyen a esta tarea que permite la asimilación de

la base de conocimiento básico y experimental mediante los programas de formación de personal propio. En estas actividades, el intercambio de conocimiento tiene lugar también mediante la divulgación ante la comunidad científica de los conocimientos adquiridos mediante publicaciones y ponencias, de las que han resultado numerosas contribuciones, de las que ha merecido de forma destacada la ponencia presentada por los autores en la 42 Reunión Anual de la Sociedad Nuclear Española, y que obtuvo el reconocimiento como mejor ponencia dentro del área temática de simulación con códigos numéricos.

(Viene de pág 34)



Con este trabajo se ha podido comprobar que, pese a la complejidad de los códigos CFD, la simulación de escenarios realistas mediante FDS resulta ser una herramienta de gran utilidad como apoyo en la comprensión, análisis y toma de decisiones regulatoras puesto que, redu-

ciendo notablemente los conservadurismos deterministas clásicos, permite estimar con cierta fiabilidad de manera realista las consecuencias que pueden llegar a producirse tras un incendio y optimizar los diseños sin reducir con ello los márgenes de seguridad necesarios.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este artículo agradecen la contribución técnica de los países y organismos miembros del proyecto PRISME de la OCDE/NEA cuyos datos se han utilizado para la elaboración de esta publicación.





Enrico Fermi: el cerebro sin descanso

En una de las calles de la Universidad de Chicago, estudiantes, profesores y turistas se cruzan rutinariamente con una curiosa escultura donde tres gruesos pilares enlazados entre sí parecen sostener una nube de forma semicircular. Su autor es Henry Moore y el motivo que la inspiró está muy alejado de lo que podría considerarse cotidiano. Una de las placas en su base lo explica: “El 2 de diciembre de 1942, la

Humanidad logró aquí la primera reacción en cadena automantenida, iniciando de esta manera la liberación controlada de energía nuclear”. Ese es, precisamente, el título de la figura: ‘Energía Nuclear’. Erigida en 1967, “para conmemorar el vigésimo quinto aniversario de la primera generación controlada de energía nuclear, un experimento de Enrico Fermi”.

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

Moore explicaría más tarde que su escultura buscaba unir las dos maneras en que la energía nuclear se había utilizado en la historia de la Humanidad: la parte superior recuerda de forma inevitable al hongo atómico, pero la inferior buscaba ser “como una catedral”, que ofrecía protección a los seres humanos. Tras la ceremonia de inauguración, Laura, viuda de Fermi, confesaría que pensaba que la figura enfatizaba en exceso la participación de su marido en el desarrollo de la bomba atómica. Y no le faltaba razón, pues, aunque el éxito del experimento de Fermi fue clave en la construcción del arma, los dos años en los que colaboró en el *Proyecto Manhattan* apenas supusieron una etapa más en una vida que, tanto antes como después, mostró una riqueza inusitada en descubrimientos y en capacidad intelectual.

El menor de tres hermanos, Enrico Fermi nació en Roma, el 29 de septiembre de 1901; algunas fuentes despachan su entorno familiar de forma inexacta señalándolo como el hijo de un ferroviario; más correcto es decir que su padre, Alberto Fermi, era administrador en los ferrocarriles italianos, un puesto del nivel suficiente como para contar entre sus amigos al ingeniero Adolfo Amidei, que ayudaría a encauzar los intereses del joven Enrico hacia las matemáticas y la física. En cuanto a su madre, Ida de Gattis, no sólo era maestra, sino también una mujer de gran inteligencia, muy consciente de la ventaja que una sólida formación otorgaba en el desarrollo personal.

Enrico dispuso, desde su infancia, de los estímulos y la guía necesarios para el desarrollo de una inteligencia que no tardó en dar señales de estar por encima de la media. Después de que Amidei despertara su interés por la física, anotó en su diario que aquel muchacho era un prodigio como teórico; los experimentos científicos ocupaban buena parte del tiempo libre de su adolescencia, como el que llevó a cabo junto con su amigo de toda la vida, el también físico Enrico Persico, para determinar la densidad del agua potable de Roma. Y el estudio intenso fue su manera de encontrar consuelo tras la repentina muerte de Giulio, su hermano mayor, ocurrida

cuando Enrico tenía catorce años. No fue, pues, sorprendente que consiguiera una beca para iniciar sus estudios superiores en la Scuola Normale Superiore di Pisa cuando tenía diecisiete años; ni que tardara menos de cuatro años en graduarse *magna cum laude* como doctor en Físicas por la Universidad de Pisa, gracias a su trabajo experimental sobre los rayos X.

En 1923, obtendría una beca de investigación Rockefeller que le llevaría a la universidad de Göttingen, entonces uno de los centros de referencia para los estudiantes de física; allí trabajaría bajo la tutela del alemán Max Born, y tendría entre sus compañeros a Weiner Heisenberg.



En la imagen superior, la escultura titulada ‘Energía nuclear’, obra de Henry Moore, situada en una de las calles principales de la Universidad de Chicago.

Entre sus cargos académicos de la época destaca su actividad en la Universidad de Florencia, donde comenzaría a trabajar en lo que se convertiría en la Estadística de Fermi-Dirac (desarrollada junto con el físico británico Paul Dirac), que permitiría una comprensión más amplia de la conducción de electricidad en los metales y el desarrollo de un modelo atómico estadístico, que conocería un amplio uso en la comunidad científica.

En lo personal, perdió a sus padres en esos años. Poco después de la muerte de Ida, en 1924, conoció a Laura Capon, hija de un almirante de la marina italiana. Se casarían en 1928, formando un matrimonio mixto, ya que la familia de Laura era judía, algo que, en esos momentos, no parecía tener demasiada importancia. El matrimonio se estableció en Roma, donde Enrico fue nombrado, en 1927, profesor de física teórica, y donde nacerían sus dos hijos, Giulio y Nella.

Era inevitable que en los años siguientes la existencia de Fermi se dividiera entre dos caminos, que tarde o temprano acabarían cruzándose. Pues si, por un lado, su trabajo científico

Los dos años que colaboró en el Proyecto Manhattan apenas supusieron una etapa más en una vida que mostró una riqueza inusitada en descubrimientos y en capacidad intelectual

avanzaba a toda máquina, espoleado por una mente sin tiempo para el descanso, la conmoción política que agitaba a su país sustituía de forma progresiva el conocimiento por la sinrazón. La estructura atómica acaparaba al principio toda su atención, pero en 1932 se concentró en la

física nuclear, tanto teórica como experimental. En este campo desarrolló su teoría de la emisión de radiación beta y aportó evidencias matemáticas de la existencia de los neutrinos. Su trabajo llegó a la cumbre en 1934, cuando halló que la transformación nuclear podía darse en prácticamente cualquier elemento conocido que fuera bombardeado por neutrones. En octubre llegó el descubrimiento de la ralentización de los neutrones, que llevó a su vez al descubrimiento de la fisión nuclear y la producción de nuevos elementos de origen plenamente artificial. En 1938 ganaría el premio Nobel “por su trabajo con la radioactividad artificial producida por neutrones, y por las reacciones nucleares provocadas por los neutrones retardados”.

Muchas cosas habían cambiado para entonces en su país; la sombra proyectada por Mussolini se extendía ya sobre los judíos, como parte de la política del Duce de acercamiento a la Alemania nazi. En 1938 se promulgaron las primeras leyes antisemitas, que convirtieron la situación de Fermi –y muy especialmente de Laura– en insostenible.



A la izquierda, Fermi a los 17 años, al iniciar sus estudios superiores en la Scuola Normale Superiore di Pisa. Arriba, Con su esposa Laura y sus dos hijos, Giulio y Nella. Abajo, en la conferencia de Solvay, en 1930, junto con otros representantes del mundo científico, entre ellos, Einstein.

Enrico Fermi

Bajo estas líneas, imagen de los cuadernos de Fermi con su trabajo sobre neutrones.



En la imagen de la derecha, Enrico Fermi durante la ceremonia de entrega del premio Nobel.

La ceremonia de entrega del Nobel era la ocasión perfecta para huir; desde Estocolmo, la familia Fermi embarcaría con destino a su nueva patria, Estados Unidos. Paradójicamente, Mussolini había echado de su país a una de las personas que, con su talento, contribuiría a la derrota del fascismo en la Segunda Guerra Mundial.

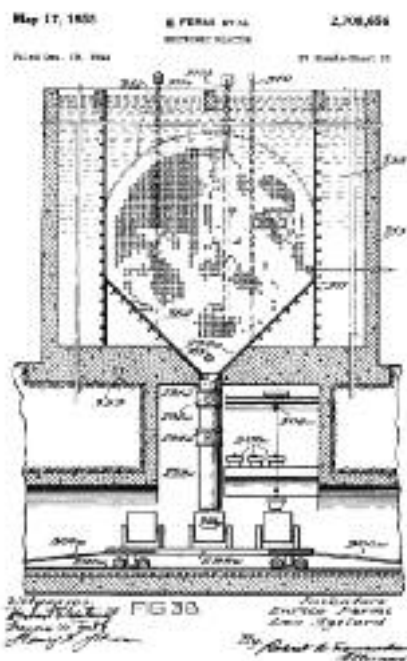
La primera reacción en cadena

En su país de destino, comenzó como profesor de física en la Universidad de Columbia, en Nueva York, donde apenas tardó unas semanas en participar en el primer experimento de fisión realizado en Estados Unidos. Su trabajo contó con el apoyo de los organismos gubernamen-

tales encargados de la energía atómica, conscientes de la importancia clave que iba a tener en la guerra inminente. Primero el Comité del Uranio, después el Comité para Investigación en Defensa Nacional, le proporcionaron medios y fondos. En 1942, se trasladó al Laboratorio Metalúrgico de la Universidad de Chicago para la construcción de lo que recibió el nombre técnico de CP-1 o Chicago Pile 1. La aséptica denominación escondía lo que en realidad era la primera pila atómica del mundo, del mismo modo que el laboratorio donde se alcanzaría uno de los mayores hitos científicos del siglo XX no era sino una pista de squash en desuso, situada bajo uno de los cam-

pos de atletismo de la universidad. La discreción en las apariencias fue la mejor manera de garantizar una operación de alto secreto, que el 2 de diciembre provocó la primera reacción en cadena controlada en la historia de la Humanidad.

Abundan los testimonios de lo que sucedió ese día; uno de ellos, el del físico y también premio Nobel Arthur Compton, recuerda que Fermi era el único de los presentes que parecía mantener el mismo control sobre sus emociones que sobre el fenómeno que buscaba provocar. Su rostro era “el de un competente hombre de acción comprometido con un trabajo de gran importancia”. En su ya clásico artículo sobre el experimento, Corbin Allar-



A la derecha, imagen de la patente del 'reactor de neutrones' de Fermi-Szilard. En el centro, una imagen de la primera pila atómica del mundo, durante el experimento de 1942. A la izquierda, Fermi (abajo, a la izquierda), Szilard (segundo a la derecha abajo) y el resto del equipo de la pila atómica.

dice y Edward L. Trapnell describen tanto la máquina como el proceso: “En el centro de una sala rectangular de 9x18 metros, había una pila de ladrillos y de listones de madera, tapada con una envoltura de tela de globo que no dejaba al descubierto más que uno de sus lados. La pila era de base cuadrada y estaba rematada por una especie de esfera achatada. De lados verticales hasta la mitad de su altura, su parte superior tenía la forma de una cúpula, como una colmena”. En su interior se encontraban las capas alternadas de grafito con uranio metálico y óxido de uranio, separadas por otras capas de grafito puro, el material que actuaría como moderador de la velocidad de los neutrones. Los participantes se citaron ese día a las ocho y media de la mañana, y poco después de las diez, Fermi ordenó que se retirase la última barra de control. Las horas siguientes fueron una exasperante medición de la liberación de neutrones y la actividad en el interior de la pila, a medida que Fermi iba indicando las pulgadas que había que ir retirando la barra de seguridad. Hubo un fallo inicial, que Fermi aprovechó para sugerir que

fueran a almorzar y relajar la tensión colectiva; la suya nunca pareció alterarse. Sólo a las 15.30 horas, cuando en la segunda prueba se obtuvo una curva auto-mantenida en el aumento de neutrones, que confirmaba la reacción en cadena, se permitió una amplia pero breve sonrisa. La reacción fue detenida 28 minutos después, y hubo un brindis en vasos de papel con una botella de Chianti que uno de los científicos había traído para la ocasión. Silenciosamente, habían pasado a la historia de la ciencia.

Fermi continuó desarrollando varios

En 1938 ganaría el premio Nobel por su trabajo con la radioactividad artificial producida por neutrones, y por las reacciones nucleares provocadas por los neutrones retardados

experimentos en su reactor, al tiempo que trabajaba con la empresa DuPont para producir plutonio a escala industrial. En 1944, adquirió un doble compromiso con su país de adopción: el 11 de julio, junto con su mujer, obtuvo la ciudadanía estadounidense, y en agosto se trasladó a Los Álamos, Nuevo México, reclutado por J. Robert Oppenheimer como director adjunto del laboratorio allí instalado y embarcándose en el *Proyecto Manhattan*.

La implicación de Fermi fue tan significativa como para destacar entre un trabajo conjunto, donde participaron algunas de las mentes más brillantes del mundo; no tardó en ganarse el apodo de ‘El Papa’. Participó en la puesta en marcha del reactor de Grafito X-10 y del reactor B; este último se apagó inesperadamente al ser puesto en marcha, y gracias a la sugerencia del físico John Wheeler, Fermi descubrió, junto con él, que la fisión había producido un elemento nuevo –el xenon-135– que había absorbido los neutrones necesarios para sostener la reacción en cadena. Por supuesto, su presencia no podía faltar en Alamogordo, cuando en 1945 se llevó a cabo la prueba

Trinity, la primera detonación de un arma nuclear. “Tuve la impresión de que de repente el paisaje se había vuelto más brillante que a plena luz del día”, recordaría después. En el mismo momento en que se producía la explosión, aprovechó para dejar caer al suelo unos trozos de papel. Tras medir mentalmente la distancia a que se habían desplazado, calculó que se había desplegado la potencia equivalente a 10.000 toneladas de TNT.

Nuevos descubrimientos

Fermi nunca lograría alejarse por completo de la radiactividad, y aunque sus líneas de investigación cambiaron después de la guerra, continuó trabajando con el Gobierno como miembro del Comité General de Asesoramiento para la Comisión de Energía Atómica. Pero, según recordó el premio Nobel de Física y alumno de Fermi, James W. Cronin, en esos años se centró en la ciencia básica y se alejó todo lo posible de las bombas. De hecho, se opuso frontalmente al desarrollo de la bomba de hidrógeno propuesta y emprendida por el gobierno de Harry S. Truman. Al mismo tiempo, en el Instituto de Estudios Nucleares de la Universidad de Chicago, trabajó sobre la física de altas energías y el origen de los rayos cósmicos; en 1947 se habían descubierto las tres partículas subatómicas conocidas con el nombre de pión, y Fermi se centró también en ellas y en su interacción con el electrón. Asistió igualmente en el desarrollo de un sincrociclotrón de 450 MeV de potencia, y fue nombrado presidente de la Sociedad Americana de Física a principios de los años cincuenta. Condecorado, reconocido y agradecido por su país de adopción, le correspondió con una actividad incesante, combinando todas estas labores con una profusión de discursos, artículos y cursos académicos. Habló de la difracción de los neutrones por los cristales, de la analogía entre las propiedades de los neutrones o las ondas

Las mujeres de Fermi

Las mujeres de Fermi no estuvieron detrás de él, como reza esa frase ya bastante apolillada: estuvieron a su lado, ofreciendo un firme apoyo y colaboración a lo largo de su vida académica y profesional. La primera fue, sin duda, su madre, Ida

de Gattis, hija de un oficial del ejército, cuya influencia en su hijo ha sido señalada por muchos biógrafos. La segunda, su esposa Laura -casualmente, o quizá no tanto,

también hija de un militar-, que permitió al mundo contemplar la cara más cotidiana del genio gracias a su libro *Átomos en mi familia* (*Mi vida con Enrico Fermi*), publicado en 1954, cuando su marido aún vivía. En él narra episodios inevitables en una obra de este tipo, como el momento en el que se conocieron, entre un grupo de amigos que iban a pasear por las afueras de Roma cuando él tenía 22 años y ella, 16. Rico en anécdotas, el espíritu competitivo de Fermi, su capacidad de liderazgo y su intelecto superior no tardan en aparecer en sus páginas, con alguna pulla conyugal incluida, a modo de leve reproche hacia un hombre a cuyo lado todos los demás debían estar forzosamente en un plano inferior. Aunque entre los demás se incluyera su esposa.

Al año siguiente de la muerte de Fermi, Laura fue invitada a asistir a la primera Conferencia Internacional para el Uso Pacífico de la Energía Atómica, celebrada en Ginebra. De las notas que tomó en su estancia salió el libro *Átomos para el Mundo*, publicado en 1957, al que siguió, en 1961, una biografía de Mussolini. Laura Fermi había demostrado, si no estar a la altura del genio de su marido, sí contar con la suficiente brillantez intelectual como para formarse una carrera propia. Su nieta Olivia ha continuado con la tradición, fundado la web fermieeffect.com, dedicada a la historia de su familia.



ópticas, del origen de los rayos cósmicos, de todos los temas que captaban un interés sin límites.

En 1954 se le diagnosticó un cáncer de estómago, que no dejó que le detuviera. Por un tiempo, viajó por Francia y Alemania y regresó a su Italia natal para dar conferencias y reunirse con colegas, amigos y familiares. Regresó a Chicago en septiem-

bre, y pasó sus dos últimos meses de vida en compañía de los amigos y la familia. Murió el 28 de noviembre de 1954, en su casa de Chicago, mientras dormía. Unos días antes de su fallecimiento, la Comisión de Energía Atómica en reconocimiento a sus servicios distinguidos a la nación, bautizó el elemento 100 de la Tabla Periódica como fermio, en su honor.

La participación de los grupos de interés es un reto importante para los organismos reguladores y los intercambios con ellas enriquece sus conocimientos

La importancia de los ‘stakeholders’ en el ámbito nuclear y radiológico

El concepto de ‘stakeholders’ (grupos de interés en castellano) ha ido cobrando más importancia con el paso de los años en el sector nuclear y radiológico. Accidentes como los de Chernóbil o Fukushima han sido el punto de inflexión para que todos los organismos reguladores del mundo de la seguridad nuclear y la protección radiológica del mundo hayan continuado estudiando la mejor manera de implicar a todos los actores, a todas las partes relacionadas o que de alguna manera se ven afectadas por los asuntos nucleares y radiológicos,

en el diálogo internacional y la toma de decisiones. Desde entonces se han organizado y promovido por las organizaciones internacionales más relevantes del sector varios *workshops* y conferencias sobre este tema, donde se han reunido profesionales de todo el mundo para unificar visiones y plasmarlas en varios documentos que sirvan de guía tanto a los organismos reguladores como a las partes implicadas.

■ Texto **Adriana Scialdone García** | Área de Comunicación (CSN) | ■

Existe mucha terminología económica que proviene de la lengua inglesa y que acabamos adaptando a otros sectores. En este caso, la palabra es ‘stakeholders’, un término que se lleva utilizando durante mucho tiempo en el mundo empresarial para referirse a “quienes son afectados o pueden ser afectados por las actividades de una empresa”, como lo define Edward Freeman en su obra *Strategic Management: A Stakeholder Approach*. Freeman, para ser más conciso, nos explicaba en su obra que “estos grupos son los públicos interesados o el entorno interesado, que deben ser considerados como un elemento esencial en la planificación estratégica de los negocios”. Finalmente, una definición que da en la diana es la de “persona o entidad que es afectada o concernida por las actividades o la marcha de una organización”.

Extrapolando esta definición al sector nuclear, hay que tener en cuenta que las cuestiones nucleares y radiológicas están arraigadas a cuestiones más am-

plias de la sociedad, como el medio ambiente, la gestión de riesgos, las políticas de energía y salud y la sostenibilidad. Como tal, los proyectos nucleares a menudo generan un considerable interés y preocupación por parte de los ‘stakeholders’ o partes interesadas. En este contexto, el término debe entenderse en su sentido más amplio y debe incluir al público interesado, las empresas, los agentes económicos, las ONG, las autoridades locales, regionales y nacionales, los reguladores nucleares, etc.

Estas partes interesadas buscan participar en el proceso de toma de decisiones e interactuar con otros ‘stakeholders’, pero ¿quiénes son los *stakeholders* dentro de este sector y cómo afecta su relación con los organismos reguladores?

Reguladores y partes interesadas

Hay que tener en cuenta que los organismos reguladores nucleares forman parte de un paisaje profesional, institucional y diversificado, que involucra a un gran número de interesados: autori-

dades públicas, funcionarios electos, comités locales de información de los pueblos cercanos a instalaciones nucleares, expertos, operadores y profesionales, organizaciones no gubernamentales (ONG), sindicatos y federaciones profesionales, casi todo el público o parte de él. La participación de las partes interesadas es un reto importante para los organismos reguladores, ya que tener intercambios con ellas no es solo un deber legal o una estrategia sino una apertura y discusión necesaria entre los reguladores y los ‘stakeholders’. La participación de las partes interesadas también presenta un doble interés, ya que a través de ellas, los organismos reguladores pueden enriquecer su conocimiento y tener en cuenta otras opiniones y difundir sus posiciones.

Los reguladores nucleares, los gobiernos, los operadores y otros participantes en el proceso de toma de decisión tienen la responsabilidad de garantizar un alto grado de transparencia y de tomar decisiones claras y bien



El director general de la Agencia de Energía Nuclear (NEA), William Magwood, durante una de las sesiones del 'workshop' celebrado recientemente, sobre la participación de las partes interesadas en la toma de decisiones nucleares, en el que participó una delegación del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) encabezada por su vicepresidenta, Rosario Velasco.

fundamentadas. A este respecto, existe una creciente demanda de participación de las partes interesadas. A través de los países miembros de la Agencia de Energía Nuclear (NEA, por sus siglas en inglés) de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) se adoptan muchos enfoques diferentes para la participación de los 'stakeholders' a medida que las decisiones se toman e implementan.

La misión de la Agencia de Energía Nuclear es asistir a sus miembros para el desarrollo, mediante la cooperación internacional, de las bases científicas, tecnológicas y legales necesarias para el uso seguro, respetuoso con el medio

ambiente y económico de la energía nuclear con fines pacíficos. Existe un Comité de Actividades Reguladoras Nucleares (CNRA, por sus siglas en inglés) donde está situado uno de los grupos de trabajo sobre comunicación (Grupo de Trabajo sobre Comunicación Pública, WGPC), que lleva dieciséis años trabajando en el intercambio de información, noticias, documentos, experiencias y prácticas entre los comunicadores de las organizaciones reguladoras nucleares.

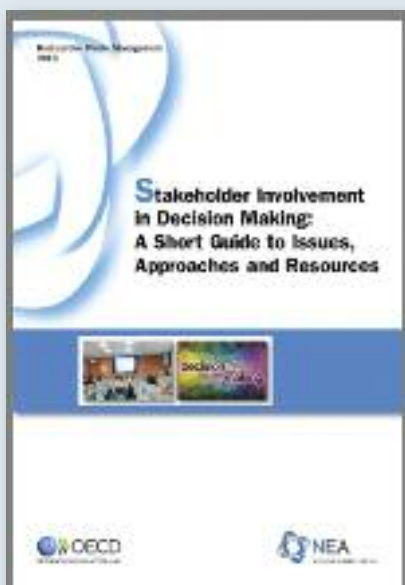
Este grupo de trabajo nació en el año 2000, cuando se celebraba en París un taller sobre la comunicación pública reguladora destacando la importancia de

la confianza del público en los reguladores nucleares. En reconocimiento de esto, el CNRA estableció en 2001 el grupo de trabajo sobre comunicación pública de las organizaciones reguladoras nucleares. El propósito de este grupo, además de facilitar el intercambio de información, es presentar distintos puntos de vista sobre las políticas de las organizaciones reguladoras nucleares en el área de comunicación pública e identificar formas de promover una colaboración eficiente.

Así fue como la comunidad internacional, a través del WGPC, empezó a ser consciente de la importancia de seguir involucrándose con las partes inte-

Guía sobre los ‘stakeholders’ y su implicación en el proceso de toma de decisiones

Junto con los documentos que se están realizando en la actualidad, también podemos encontrar referencias anteriores sobre los *stakeholders* en un informe que realizó el Foro de la Agencia de Energía Nuclear (NEA) sobre la confianza de las partes interesadas (FSC, por sus siglas en inglés)



Portada de la Guía publicada en 2015 por la Agencia de Energía Nuclear (NEA).

que se publicó en 2015 y es una actualización de un documento de 2004: *La participación de las partes interesadas en la toma de decisiones: Una breve guía de temas, enfoques y recursos*.

El Foro de la Agencia de Energía Nuclear (NEA) sobre Confianza de las Partes Interesadas (FSC), creado bajo el mandato del Comité de Gestión de Residuos Radiactivos (RWMC) de la NEA para facilitar el intercambio de

experiencias internacionales en la dimensión social de la gestión de residuos radiactivos, explora los medios de asegurar un diálogo efectivo entre todas las partes interesadas y considera las formas de fortalecer la confianza en la toma de decisiones.

Esta guía describe los pasos y asuntos asociados con la participación de las partes interesadas que ayudan a los profesionales y facilitan el acceso a distintos recursos como manuales, casos de estudio y otras herramientas. También proporciona a los que no son especialistas una idea de lo que se necesita para seleccionar un enfoque al involucrar a los ‘stakeholders’ en la toma de decisiones. Esta actualización de 2015 se enriquece considerablemente con experiencias y extensas referencias a otras publicaciones.

Según el contenido de este documento, la participación de los ‘stakeholders’ puede adoptar diferentes formas en diferentes fases y puede darse compartiendo información, a través de consultas, diálogos o deliberaciones sobre las decisiones con las partes interesadas pertinentes. Lo que ha quedado claro con esta guía es que la participación de los ‘stakeholders’ debe considerarse una parte significativa de la formulación y aplicación de las políticas públicas y que no hay un enfoque único para organizar el compromiso; las iniciativas deben responder a su contexto y las necesidades particulares de las partes interesadas.

resadas para entender sus preocupaciones y necesidades y también para atender sus peticiones sobre las prácticas de comunicación de los organismos reguladores nucleares.

‘Workshops’ internacionales

De esta manera, el WGPC decidió emprender un nuevo enfoque mediante la elaboración de tres *workshops* dedicados al intercambio con las partes interesadas de todo el mundo, para mostrar las diferencias culturales existentes. Así, se presentó en junio de 2013 una propuesta al Comité de Actividades Reguladoras Nucleares para realizar este tipo de talleres y se decidió llevarlos a cabo en Europa, América y Asia, con el objetivo de aprender lecciones sobre la situación en cada continente.

Los talleres han sido una oportunidad para reunir a expertos en comunicación de los distintos organismos reguladores nucleares y a representantes de las partes interesadas. Su principal objetivo es estimular la cooperación y mejorar la comunicación de los reguladores mediante una mejor comprensión de las percepciones, necesidades y expectativas de los ‘stakeholders’.

Todos los talleres se desarrollaron a lo largo de un día y se dividieron en dos sesiones de medio día. Las sesiones de la mañana fueron dedicadas a intercambios con periodistas y expertos en comunicación, mientras que las sesiones de la tarde fueron dedicadas a discusiones con diversos actores, incluyendo funcionarios gubernamentales, líderes de grupos de activistas y representantes de la industria. Para obtener una perspectiva regional de las partes interesadas participantes provenían de los diferentes países en los que se ha realizado este *workshop*.

El objetivo de estas sesiones fue dar a los ‘stakeholders’, principalmente a los periodistas, la oportunidad de indicar

qué tipo de información esperan de los reguladores, así como encontrar una forma de entenderse mutuamente, buscar una interacción entre ellos y, como resultado, manejar información veraz para que los ciudadanos estén debidamente informados.

A los asistentes se les presentaron preguntas de cuatro áreas temáticas relacionadas con este tema: expectativas y preocupaciones de los 'stakeholders', relaciones entre los reguladores y las partes interesadas, cómo comunicar situaciones de emergencia o riesgo y las redes sociales.

En su mayor parte, los miembros del grupo han encontrado muy útiles estos talleres, con algunas sugerencias concretas para confirmar que las políticas y prácticas actuales sean sólidas. Debido a que los participantes se centraron en sus países en cada taller, algunos de los debates han diferido de un continente a otro. El intercambio de información en sí, sin embargo, ha fortalecido las relaciones entre ambos y puede servir como una base para construir confianza para el futuro.

La conclusión general que se ha sacado de estos tres eventos es que cada país tiene sus propias prácticas y antecedentes culturales, y por lo tanto sus propios desafíos pero, apartando esas diferencias, se ha conseguido el objetivo de tener una visión mundial de cómo mejorar la comunicación de los organismos reguladores.

Actualmente, este grupo de comunicación trabaja en un documento que incluye todas las conclusiones sacadas de estos tres *workshops*.

'Stakeholders' y decisiones nucleares

A raíz del trabajo de este grupo de comunicación y dada la importancia de la interacción de las partes interesadas, la NEA decidió organizar este año un taller específico sobre la participación de las partes interesadas en la toma de decisiones nucleares. En este evento, más de 130

Los reguladores nucleares, los gobiernos, los operadores y otros participantes en el proceso de toma de decisión tienen la responsabilidad de garantizar un alto grado de transparencia y de tomar decisiones claras y bien fundamentadas

expertos de 26 países se reunieron para discutir las mejores prácticas internacionales, entre ellos una delegación del Consejo de Seguridad Nuclear encabezada por su vicepresidenta, Rosario Velasco.

Este *workshop* se basó en conocimientos y aplicaciones en múltiples ámbitos del trabajo de la NEA para compartir perspectivas y documentar las mejores prácticas y lecciones aprendidas de las actividades nucleares y no nucleares sobre cómo involucrar mejor a las partes interesadas en el proceso de toma de decisiones.

El secretario general de la OCDE, Ángel Gurría, el director general de la NEA, William Magwood y el presidente de la Comisión Reguladora Nuclear de los Estados Unidos, Stephen G. Burns,

La NEA ha organizado este año un taller específico sobre la participación de las partes interesadas en la toma de decisiones nucleares. En este evento han participado más de 130 expertos, procedentes de 26 países

hicieron las declaraciones de apertura. Otros ponentes destacados fueron Julien Aubert, miembro del Parlamento francés, y Julian Gadano, subsecretario de Energía Nuclear de Argentina. Otras 37 presentaciones fueron hechas por expertos en marcos legales, reglamentación nuclear, protección radiológica, gestión de desechos radiactivos, construcción de nuevas instalaciones nucleares, ampliación del funcionamiento de las instalaciones existentes, participación de los 'stakeholders' en la energía nuclear y otros sectores y dinámica de participación de las partes interesadas y los medios de comunicación.

Durante su discurso de apertura, Gurría destacó que "evitar el compromiso público es arriesgado ya que conlleva tomar decisiones que no resistirían la prueba del tiempo mientras las partes interesadas continúan cuestionando la decisión después de que ésta se haya tomado. Además daña la credibilidad de los que toman las decisiones en el proceso".

Magwood por su parte recordó que "como hemos aprendido a través de la experiencia en muchos países, los expertos no pueden actuar solos para resolver problemas difíciles. Para los mayores desafíos a los que se enfrenta la sociedad actual, deben, como un componente central de sus actividades, garantizar el apoyo a las partes interesadas logrando un consenso público duradero".

El formato del taller fue altamente interactivo, ya que se examinaron varios casos prácticos y se animó a los participantes a comprometerse durante tres días completos para interactuar entre ellos en diferentes áreas temáticas. Los asistentes se dividieron en grupos más pequeños y se asignó tiempo para diálogos transversales, de esta forma se pudieron captar diferentes perspectivas sobre la participación de las partes interesadas.

Además de compartir experiencias y mejores prácticas, durante el taller los

Los 'stakeholders' y su relación con el CSN

El Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) mantiene relaciones con las distintas partes interesadas a través de distintos órganos que le permiten reunirse con los 'stakeholders' y tener en cuenta sus preocupaciones y así darles la oportunidad de formar parte en el proceso de toma de decisiones. Uno de estos órganos es el Comité Asesor para la información y participación pública. Este comité se reúne dos veces al año y está compuesto por el presidente y el secretario general del CSN así como representantes de Ministerios directamente relacionados con las funciones del CSN, las comunidades autónomas que tengan instalaciones nucleares en su territorio o que hayan establecido un acuerdo de encomienda de funciones con el CSN, la Federación Española de Municipios y Provincias y de la Asociación de Municipios en Áreas de

Centrales nucleares (AMAC), representantes de la industria nuclear, las principales organizaciones no gubernamentales, las organizaciones sindicales, y cinco expertos del sector. Las principales funciones del Comité Asesor son emitir recomendaciones al organismo regulador para garantizar y mejorar la transparencia y proponer al CSN las medidas que incentiven el acceso a la información y la participación ciudadana en las materias de la competencia del regulador aunque no tendrán carácter vinculante para el CSN.

Asimismo, el CSN, en el ámbito de colaboración con las instituciones del Estado, mantiene una relación periódica y constante con los ayuntamientos de las zonas de influencia de las centrales nucleares, tanto con su participación en los Comités de Información, de conformidad con la normativa sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas, como a través de su relación con la Asociación de Municipios en Áreas con Centrales Nucleares (AMAC).

Estos Comités de Información Local se celebran con periodicidad anual y su objetivo es facilitar información a los representantes de los grupos de interés y del público en ge-



El CSN mantiene relaciones con diferentes grupos de interés a través de distintos órganos, entre ellos el Comité Asesor para la información y la participación pública.

neral sobre el desarrollo de las actividades reguladas en cada una de las centrales nucleares, además de tratar conjuntamente aquellas otras cuestiones que resulten de interés.

Los Comités de Información están presididos por el Ministerio de Energía y cuentan con representantes del titular de la central, del CSN, de la Dirección General de Protección Civil y Emergencias y de las Delegaciones del Gobierno de las comunidades autónomas en cuyo territorio esté ubicada la instalación, así como de los municipios incluidos en la Zona 1, definida en los correspondientes planes de emergencia exteriores a las centrales nucleares.

El organismo regulador también presta especial atención a las consultas de la sociedad civil y de las asociaciones interesadas en materia de seguridad nuclear y protección radiológica del público y del medio ambiente a través del buzón de Comunicaciones. Además, el Consejo también cuenta con un área de Prensa donde se atienden las solicitudes de los medios de comunicación y las áreas de Prensa de las ONG de ámbito medioambiental, a las que informa puntualmente sobre aquellos temas que solicitan.

participantes debatieron preguntas tales como quién entre los miembros del público y otras partes interesadas debe ser informado y qué papeles deben tener las redes sociales al involucrarse

con los 'stakeholders'. Finalmente, los asistentes al encuentro concluyeron que el apoyo y la participación de las partes interesadas son esenciales para lograr decisiones aceptables y sosteni-

bles para casi todos los aspectos de la energía nuclear. Próximamente, los resultados se recopilarán y se compartirá con todos los países miembros de la NEA.

Proyectos OECD-BSAF: Colaboración internacional frente a los retos planteados por el accidente de Fukushima

El 11 de marzo de 2011 se produjo el accidente de la central japonesa de Fukushima Daiichi. Durante el accidente se perdió la capacidad de refrigerar los reactores de las unidades 1, 2 y 3 durante largos períodos de tiempo y, como consecuencia, se produjo la fusión de sus núcleos y la liberación de productos radiactivos al medio ambiente. Tras el accidente, la comunidad internacional inició esfuerzos para arrojar luz sobre sus elementos clave; uno de los esfuerzos más importantes hasta la fecha es el proyecto BSAF (*Benchmark Study of the Accident at the Fukushima Daiichi NPP*), de la Agencia de la Energía Nuclear (NEA, por sus siglas

en inglés) de la OCDE. Dicho proyecto, cuya segunda fase finalizará en 2018, inició su andadura en 2012 con el doble objetivo de avanzar en el conocimiento de la progresión del accidente y de contribuir a la mejora de los métodos y modelos de los códigos de accidentes severos. En este ambicioso proyecto participa un selecto grupo de países que cuentan con organizaciones de elevada capacidad de cálculo de accidentes severos. La participación española es fruto de la colaboración entre el CSN y el Ciemat.

■ Texto **Luis E. Herranz** | Ciemat | **Claudia López** | Ciemat | **Santiago Aleza** | CSN | ■

El accidente ocurrido el día 11 de marzo de 2011 en la central japonesa de Fukushima Daiichi subraya una verdad irrefutable: los sucesos de muy baja probabilidad son posibles. El tsunami resultante del terremoto de Tohoku supuso la pérdida del suministro eléctrico en el emplazamiento y fue el verdadero desencadenante de los accidentes severos que sufrieron las unidades en operación en aquel instante (unidades 1-3). La naturaleza infringió una agresión a la tecnología sin precedentes en la historia de la producción comercial de energía nuclear.

Desde entonces, han sido muchas las lecciones que se han derivado del accidente en ámbitos diversos (OCDE-NEA, 2013; OCDE-NEA, 2016), desde la investigación a la regulación. Entre ellas, merecen destacarse dos: la singularidad de cada uno de los tres accidentes ocurridos en Japón y la necesidad de introducir nuevos sistemas para la mitigación de fenómenos determinantes de sus conse-

cuencias. En Fukushima, a pesar de compartir el suceso iniciador, el tipo de tecnología (reactores de agua en ebullición) e, incluso, de tener sistemas prácticamente idénticos de seguridad (unidades 2 y 3), cada uno de los escenarios que finalmente se desarrolló fue bien distinto al resto. Tal diversidad da idea de la complejidad de su investigación.

Más allá de las consecuencias conocidas, Fukushima representa una oportunidad para conocer mejor la evolución de estos eventos, clasificados en la escala internacional de sucesos nucleares (INES) como accidentes graves. El elevado nivel de seguridad de las centrales nucleares ha resultado, afortunadamente, en una exigua base de datos reales que, más allá de Fukushima, sólo cuenta con los obtenidos del accidente ocurrido en la unidad 2 de la central de Three Mile Island (TMI-2), en 1979 (Rogovin et Frampton, 1979). A este hecho se añade la tremenda dificultad técnica y económica de experimentar a escala en condiciones físicas y

químicas representativas. Baste mencionar que el proyecto PHEBUS-FP (Clément et Zeyen, 2013), cuya duración se extendió más de 25 años, realizó sólo 5 experimentos de alcance parcial (respecto al escenario global de un accidente severo). Por tanto, los datos registrados durante el accidente, así como los que presumiblemente se aportarán durante la fase de desmantelamiento, supondrán una contribución de singular valor en el actual estado del arte de los accidentes severos.

El otro aspecto citado anteriormente son las importantes modificaciones de diseño realizadas en un buen número de centrales nucleares en el mundo. Su proposición, implementación y evaluación exigen conocer las condiciones esperadas durante su funcionamiento (i.e., el accidente severo) y la físico-química de aquellos fenómenos que tratan de paliar. Entre ellos, son ejemplos emblemáticos: las deflagraciones y detonaciones de hidrógeno, que han derivado en la instalación de

recombinadores autocatalíticos pasivos (PAR); o la sobre-presurización de la contención, cuya atenuación ha planteado la conveniencia de instalar sistemas para ventear la contención a través de etapas de filtración que garanticen el mínimo impacto radiológico al exterior si fuera necesaria su operación (SVFC). Una buena parte de estas actualizaciones de diseño, así como de la revisión de los Niveles de Referencia establecidos por WENRA (Asociación de Reguladores Nucleares de Europa Occidental), tuvo su origen en las denominadas Pruebas de Resistencia.

A pesar del valor de los datos procedentes de Fukushima, su asimilación requiere, inexorablemente, su comprensión con la mayor certidumbre posible. Ésta ha sido la motivación última de los proyectos internacionales que en el marco de la Agencia de Energía Nuclear (NEA) de la OCDE se están realizando bajo la denominación genérica de BSAF (Benchmark Study of the accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station). En ellos (BSAF-I y BSAF-II), se están llevando a cabo ‘reconstrucciones’ de los escenarios más probables (i.e., ‘análisis forenses’) mediante el uso de las herramientas predictivas más avanzadas disponibles.

La colaboración entre CSN y Ciemat en investigación sobre accidentes severos, reforzada desde el accidente, está propiciando la participación española en estas iniciativas internacionales. Ambas instituciones reconocen en BSAF una vía excepcional para progresar en el conocimiento sobre los accidentes severos y para afianzar la experiencia del Consejo de Seguridad Nuclear en este ámbito. El presente artículo describe sucintamente algunos de los avances más significativos logrados en estos proyectos internacionales, con particular mención de las aportaciones realizadas por el equipo español.

Proyecto OECD-BSAF – Primera Fase

1. Marco y objetivos

El acuerdo OCDE-BSAF fue firmado por ocho países, a comienzos de 2013, bajo la coordinación de la Agencia de la Energía Nuclear de la OCDE. Entre los países y organizaciones participantes estuvieron, por orden alfabético: Alemania (GRS), Corea del Sur (KAERI), España (CSN y Ciemat), EEUU (NRC, DOE y EPRI), Francia (IRSN y CEA), Japón (JAEA, JNES y CRIEPI), Rusia (IBRAE) y Suiza (PSI). El Instituto de Energía Aplicada japonés (IAE) actuó como coordinador técnico del proyecto, en estrecha colaboración con TEPCO, TOSHIBA y HITACHI/GE.

El proyecto BSAF tuvo como objetivos:

- Contribuir a la comprensión de la evolución de los accidentes mediante la realización de análisis forenses basados en el uso de técnicas predictivas y la comparación de sus estimaciones con los datos registrados durante los accidentes.
- Identificar los fenómenos determinantes en la evolución de los accidentes, con especial énfasis en la distribución del corio (i.e., materiales resultantes de la fusión total o parcial del núcleo del reactor) en cada una de las unidades.
- Estimular la mejora de los modelos incluidos en los actuales códigos de cálculo de accidente severo, reduciendo las incer-

tidumbres asociadas a sus predicciones.

Su alcance estuvo limitado a los aspectos termo-hidráulicos y de degradación de núcleo (i.e., no hubo consideración alguna de Término Fuente), la evolución de la vasija del reactor y de la contención (i.e., exclusión del edificio del reactor) y, temporalmente, el período de simulación se restringió a los 6 primeros días desde el comienzo del accidente.

Las actividades se articularon a través de un ejercicio comparativo de cálculo en el que intervinieron 13 organizaciones con un total de 7 códigos diferentes. El equipo Ciemat-CSN participó en el análisis del accidente de las tres unidades con MELCOR 2.1 (SNL, 2011).

2. Principales resultados

La comparación entre códigos y datos para cada unidad permitió identificar acuerdos y discrepancias en cuanto al estado de las unidades. Posiblemente, el más importante entre los primeros fue la consistente predicción de una fusión masiva del núcleo de la unidad 1 y la transferencia de una gran fracción del mismo a la cavidad del reactor. Entre las segundas, los cálculos realizados indicaron la importante incertidumbre que existía respecto a la extensión del daño al núcleo y el fallo o no de la vasija del reactor, en las unidades 2 y 3. Las figu-

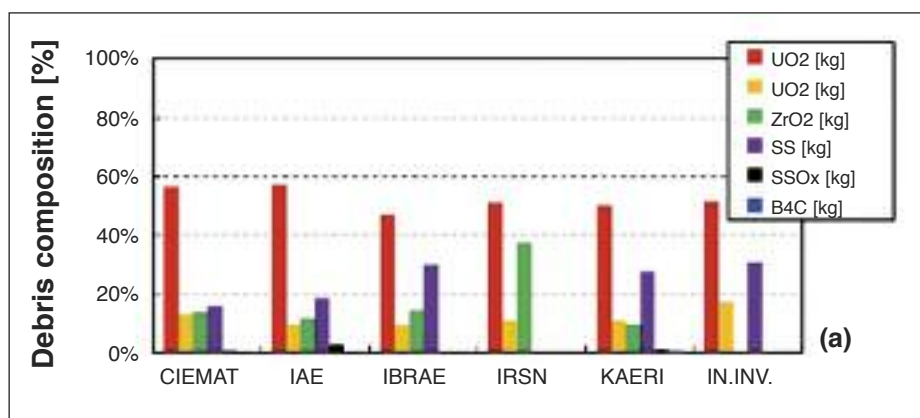


Figura 1. Composición del corio en la cavidad del reactor de la unidad 1.

ras 1-3, tomadas de Pellegrini et al. (2016), ilustran estos resultados. Puede advertirse que, mientras en la unidad 1 todas las organizaciones predijeron la presencia de corio en la cavidad, en las 2 y 3 los cálculos estaban divididos a partes iguales entre aquellos cuya simulación finalizaba sin fallo de la vasija (a) y los que obtuvieron fallo en vasija y, por ende, material fundido en la cavidad del reactor (b).

En las figuras, el último grupo de columnas corresponde al inventario inicial (In. Inv.) en reactor.

En cuanto a la actuación de los distintos códigos, se comprobó que todos manifestaban evoluciones similares y consistentes hasta el instante en que el combustible pierde su geometría y comienza su relocalización (siempre que éstos asuman idénticas condiciones de contorno). Las mayores incertidumbres están asociadas a los criterios de relocalización, las interacciones con materiales y estructuras, el área superficial expuesta, etc.

Como resultado, la generación de hidrógeno durante la degradación, el tiempo de fallo de la vasija e incluso la composición de los materiales fundidos, entre otras variables, se ven sustancialmente afectadas. La figura 4 ilustra, a modo de ejemplo, las discrepancias halladas en la generación de Hidrógeno en la unidad 1, donde puede apreciarse un factor superior a 3 entre los valores máximo y mínimo.

Tales discrepancias tienen su origen en las existentes en la evolución del nú-

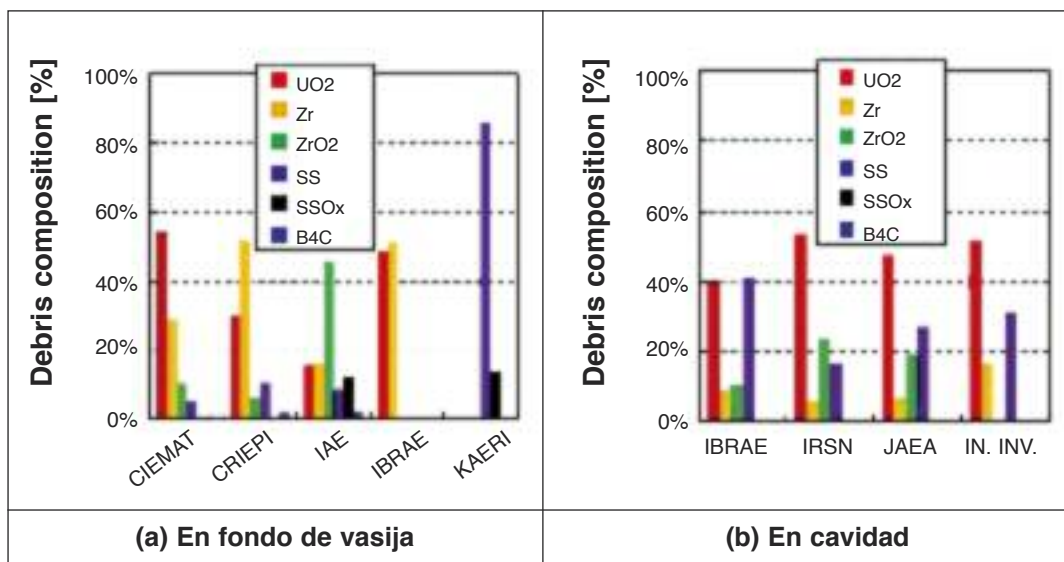


Figura 2. Localización y composición del corio en la Unidad 2.

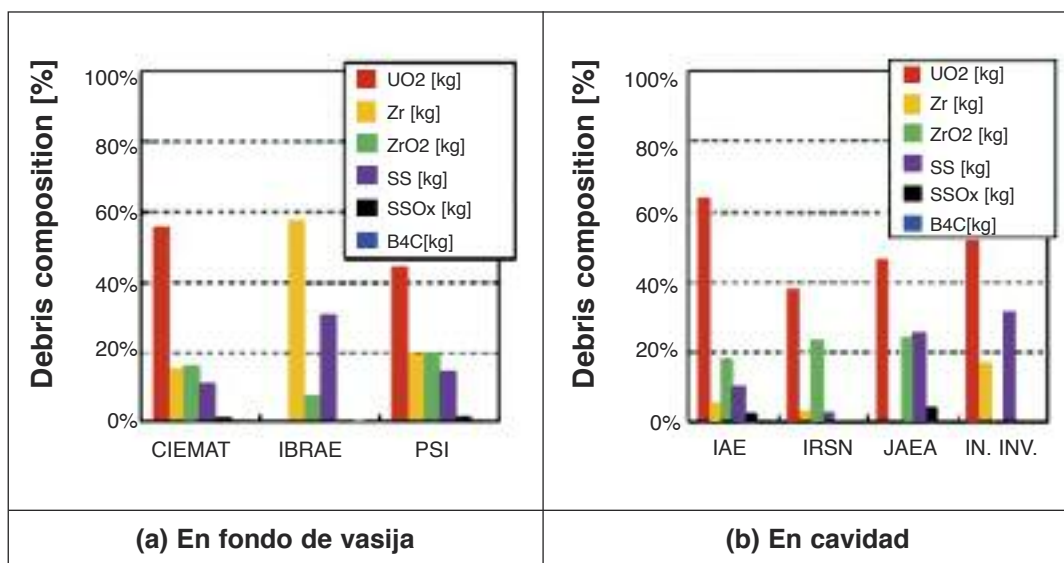


Figura 3. Localización y composición del corio en Unidad 3.

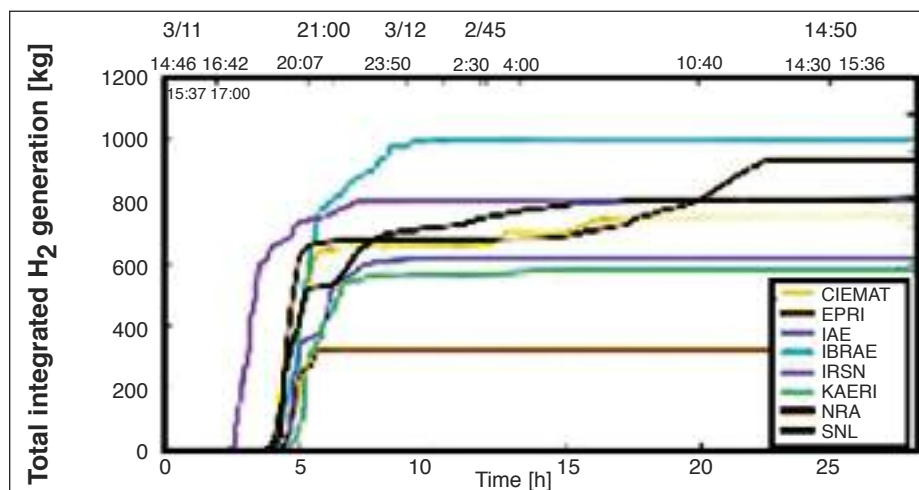


Figura 4. Generación de H₂ en la Unidad 1.

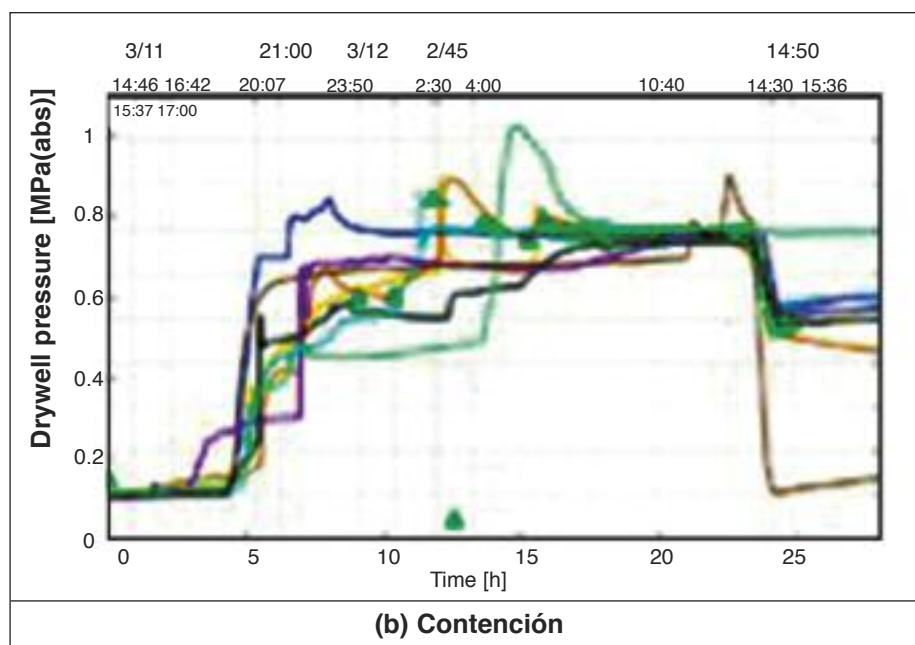
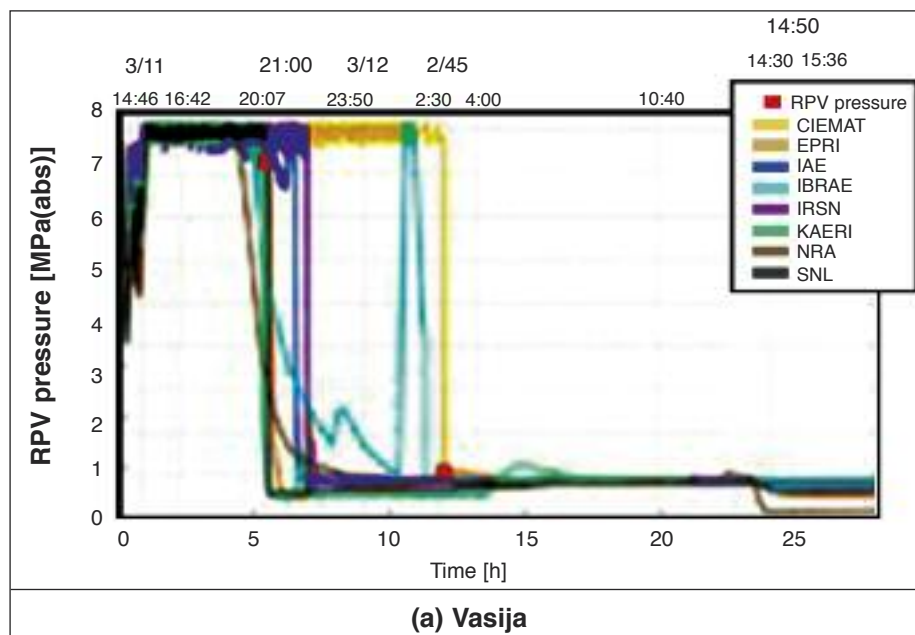


Figura 5. Evolución de la presión en la unidad 1.

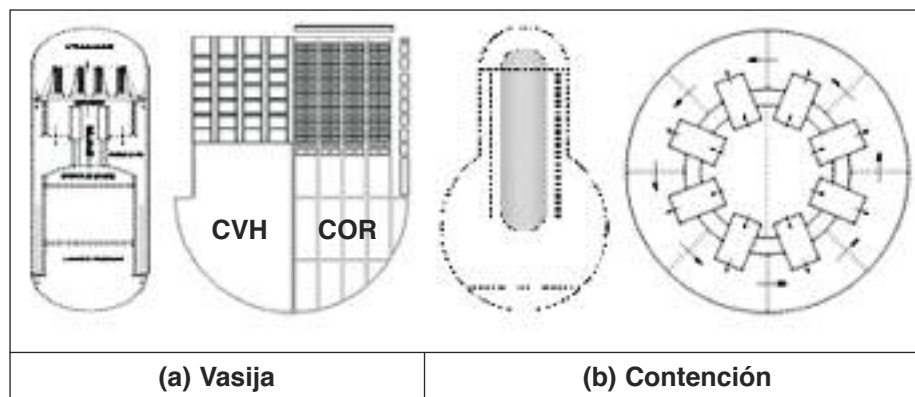


Figura 6. Modelo MELCOR 2.1 para las unidades 1-3 de Fukushima.

cleo y se trasladan, como era de esperar, hasta la contención. La figura 5 muestra la presión en vasija y en contención a lo largo del accidente en la unidad 1.

Las diferencias halladas entre las estimaciones de códigos ha propiciado el estudio de su origen. Para ello se están comparando uno a uno algunos de los códigos utilizados con el código MELCOR 2.1, adoptado como referencia. Algunas de dichas comparaciones se encuentran en fase de desarrollo, pero otras han concluido ya una primera fase y han permitido explicar algunas de las observaciones realizadas en BSAF (Luxat et al., 2016). Ejemplo es la disparidad entre la cantidad de H₂ producido por MELCOR y MAAP; el motivo de ella reside en la naturaleza porosa (MELCOR) o no (MAAP) supuesta al tratar el corio en el seno del reactor.

3. Contribución Ciemat-CSN

Ciemat desarrolló tres modelos similares de planta en MELCOR 2.1. La vasija del reactor y la contención se representaron, respectivamente, mediante 38 volúmenes y 17 volúmenes. Particular atención se prestó a la posible saturación de las piscinas de supresión debido a su estratificación, para lo cual se contemplaron 8 sectores circunferenciales en el modelo del pozo húmedo de los tres reactores (Herranz et al., 2015a). Más detalles del modelo de planta han sido recogidos por Herranz et al. (2015b); cabe destacar que en la definición de aproximaciones del modelo de planta se han seguido las directrices de SOARCA (USNRC, 2012). La figura 6 muestra un esquema del modelo de planta utilizado.

En cuanto al escenario, la falta de información de la instrumentación in-situ obligó a realizar hipótesis y/o aproximaciones en muchas de las variables importantes que fueron condiciones de contorno durante los accidentes. Entre ellas, las fugas desde vasija y desde contención, el

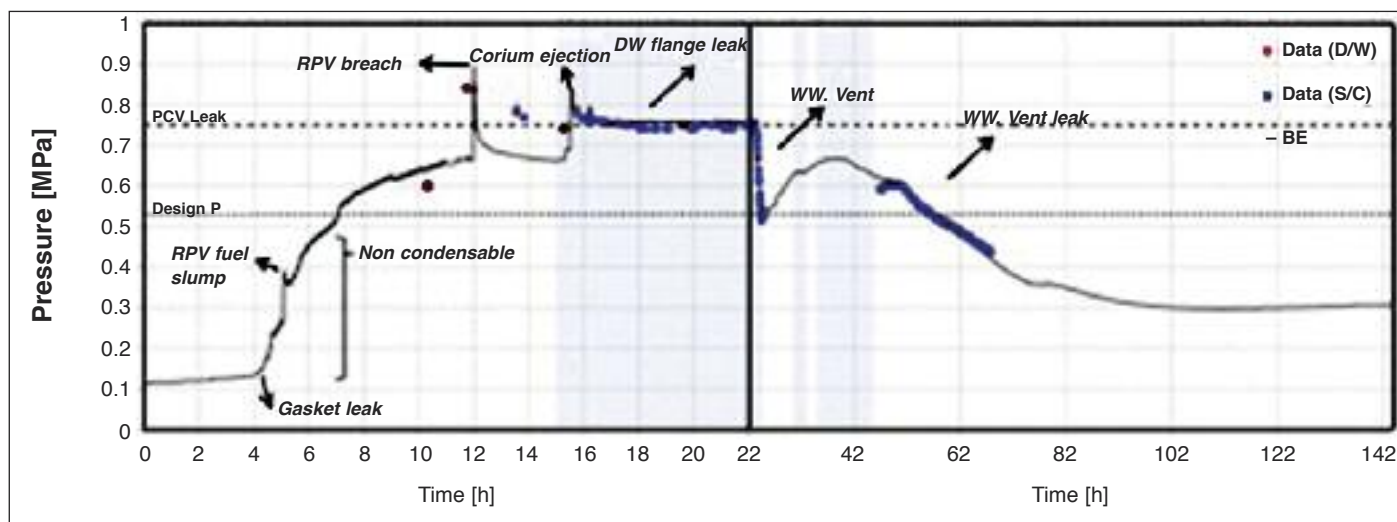


Figura 7. Evolución de la presión en la contención de la unidad 1.

caudal de agua externo o la actuación de los rociadores de la contención. La exploración realizada permitió proponer escenarios plausibles para las tres unidades; no obstante, todos ellos albergan notables incertidumbres. Las figuras 7 y 8 permiten notar que en algunas unidades la consistencia con los datos medidos fue notable, mientras que otras manifestaron desviaciones significativas. Estudios adicionales (Herranz et al., 2015c) sobre la actuación de los distintos sistemas de las unidades y sobre algunas condiciones de contorno, indicaron la sensibilidad de los resultados hallados a las hipótesis y aproximaciones adoptadas.

Los cálculos realizados señalaron que la producción de gases combustibles (H_2 y CO) fue sustancial en todas las unidades, desde unos 600 kg de Hidrógeno en la unidad 2 hasta más de 2000 kg en la unidad 1 (que fue la única con fase accidental en contención). El otro resultado de especial relevancia en el proyecto era la distribución del corio. La Figura 9 ofrece una visualización de las estimaciones; en el caso de las unidades 2 y 3, la inexistencia de corio fuera de vasija era muy cuestionable, dado que ligeras variaciones de las condiciones de contorno, conducían a la liberación del material fundido a la cavidad del reactor.

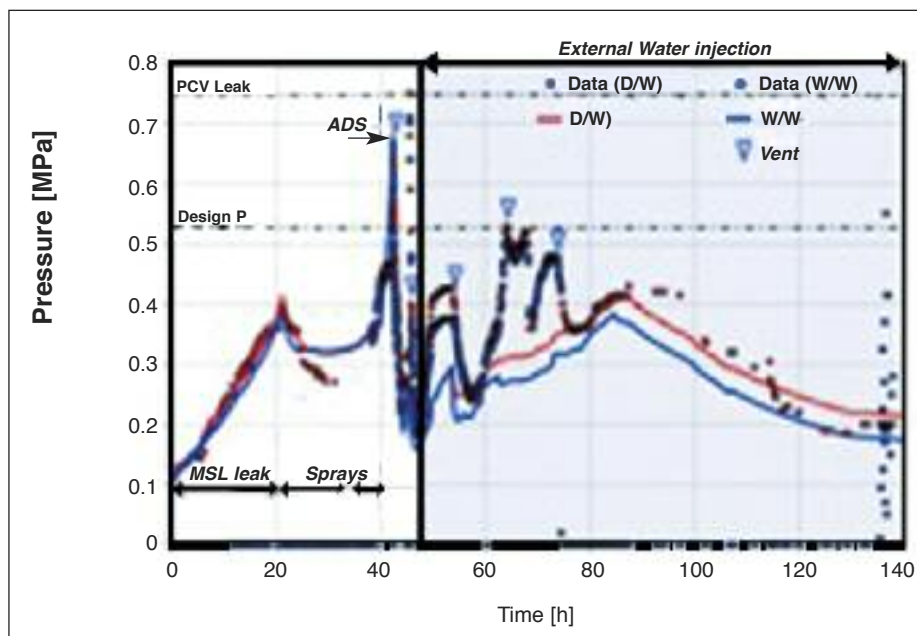


Figura 8. Evolución de la presión en la contención de la unidad 3.

Proyecto OECD-BSAF – Segunda Fase 1. Marco y objetivos

La denominada Fase 2 del proyecto BSAF se inició en abril de 2015 con la adición de 3 países más a los ya firmantes de la primera fase: Canadá, China y Finlandia. Su fecha prevista de finalización será marzo de 2018. El coordinador de esta segunda fase continúa siendo IAE (Japón). No obstante, tres organizaciones han sido elegidas para apoyarlo en el análisis individual de los resultados. Ciemat, cuyo trabajo se ha

limitado en esta segunda fase al reactor 1, es la responsable de dicha labor en el caso de la unidad 1.

Técnicamente, esta fase supone la extensión del alcance de los estudios realizados en la primera fase en tres vertientes: la inclusión de la liberación, transporte y deposición de productos de fisión, la ampliación del modelo de planta al edificio del reactor y el aumento del período de simulación a 3 semanas desde el inicio del accidente. Cabe subrayar el desafío que semejante dura-

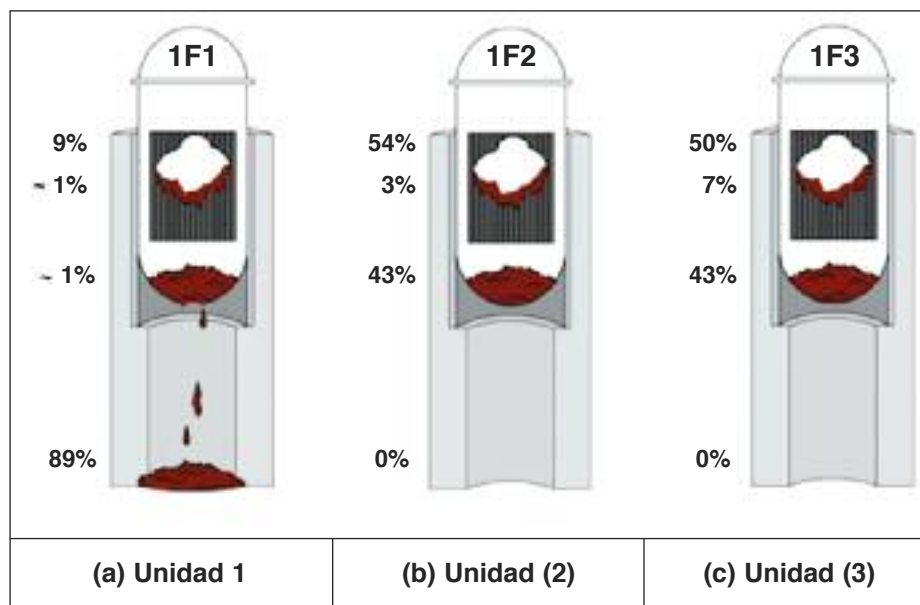


Figura 9. Localización del corio en las unidades según los cálculos de MELCOR 2.1.

ción supone para los códigos de cálculo de accidente severo, cuyo tiempo característico de aplicación suele ser de días. Además, se contempla la realización de dos nuevos tipos de actividades: la celebración de seminarios técnicos especializados y la realización de cálculos de impacto medio-ambiental del Término Fuente. Hasta ahora se han celebrado dos seminarios: el primero, centrado en el comportamiento físico-químico de productos de fisión y el segundo en la interacción entre el corio y el hormigón. En cuanto a las simulaciones de transporte radiactivo fuera de central, algunos de los participantes están llevando a cabo tanto cálculos directos como inversos (i.e., Alemania, EE.UU. y Japón).

2. Estado actual

Tras dos años de proyecto, los resultados hasta ahora alcanzados por todos los participantes en el ejercicio de comparación son estrictamente preliminares. Conviene destacar, sin embargo, que las tres extensiones de alcance propuestas inicialmente en esta segunda fase han sido ya logradas en el mayor número de casos. Asimismo, es reseñable que durante esta segunda fase, y sin de-

trimento de las citadas ampliaciones de alcance, se ha continuado haciendo un esfuerzo muy significativo en la mejor comprensión de la evolución del accidente en cada unidad. A pesar de ello, existen cuestiones aún sin resolver:

- Unidad 1. Dos son las grandes incógnitas. Por un lado, la evolución de la presión en contención durante las primeras 12 horas (existen hasta tres escenarios distintos propuestos). Por otro, la inyección tardía a la vasija de agua externa, parece tener un soporte firme en los indicios de campo pero contradice los escenarios postulados por los analistas.
- Unidad 2. La explicación de la inestabilidad de la presión en vasija entre 78 y 83 horas y la consistencia con lo observado en contención podría ser crucial para dilucidar la progresión del corio en las últimas etapas del accidente. Asimismo, la inyección de agua marina (tiempo y caudal) continua siendo un aspecto controvertido.
- Unidad 3. La vía de despresurización de la vasija del reactor (fallo de la línea de vapor principal o actuación del sistema de despresurización automático) es aún incierta. Además, la descarga del

corio sobre el fondo de la vasija del reactor y el instante de fallo del mismo, continúan en discusión. A pesar de ello, la presencia de una fracción sustancial de corio en contención no está acreditada. Por último, la inyección externa de agua debe analizarse en mayor detalle.

Si bien la mayor parte de equipos han logrado ya predecir el comportamiento de los productos de fisión durante el accidente, no existe aún comparación con los datos disponibles. Estos son esencialmente las tasas de dosis medidas en determinadas localizaciones del edificio del reactor. De modo complementario, los cálculos inversos de impacto de Término Fuente aportarán valores del Término Fuente basados en las mediciones realizadas fuera del emplazamiento.

3. Contribución Ciemat-CSN

Al igual que los del resto de las organizaciones, los resultados obtenidos por Ciemat-CSN son aún preliminares. No obstante, parecen aportar algunas ideas interesantes del accidente en la unidad 1:

- El núcleo del reactor sufrió una degradación masiva, con más del 90% de los materiales fundidos y relocalizados en el pedestal de la unidad. No se descarta que parte de ellos salieran del pedestal a la zona anular del pozo seco.
- El fallo de los sellos de las válvulas de alivio y seguridad al llegar a 723 K es un modo de fallo probable, que condujo a una presurización acelerada de la contención, consistente con las observaciones en planta a las 10 y a las 12 horas.
- El fallo de la vasija a alta presión a las 12 horas desde el inicio es congruente con el pico observado en la presión de la contención. Sin embargo, la consistencia entre las presiones de vasija y contención requiere definir una pequeña fuga líquida en el fondo de la vasija.
- La cantidad total de gases combustibles es superior a 2.000 kg, la mayor par-

te de ellos procedentes de las interacciones del corio con el hormigón y poco más de 600 kg de la fase de oxidación del combustible en la vasija del reactor. Este resultado pone el acento en la importancia de una adecuada simulación del comportamiento en contención.

- La eficiencia filtrante de la piscina de supresión podría haber sido sólo moderada. El motivo serían las fugas directas entre vasija y pozo seco, y las altas temperaturas alcanzadas en la piscina en el punto de inyección de vapor procedente de las válvulas de alivio y seguridad. Recientemente, Herranz y López (2016) han publicado una discusión monográfica del papel de la piscina de supresión en caso de accidente severo, donde se recogen algunos argumentos clave para la correcta comprensión de la actuación de este sistema.

- La inyección externa de agua en la vasija no es una condición necesaria para seguir las tendencias observadas en los datos medidos. Este hecho se halla pendiente de confirmación.

La importancia del proyecto OECD-BSAF es incuestionable. A través de él, se está asimilando la información procedente del accidente de Fukushima en un marco de excepcional competencia técnica.

Comentarios Finales

Como resultado de las discusiones mantenidas en su seno, se están conociendo detalles de la evolución del accidente, del funcionamiento de algunos sistemas en condiciones no nominales y del éxito y consecuencias de algunas de las medidas de gestión adoptadas en el momento. No menos importante, los análisis en curso aportan información valiosa para el desmantelamiento de las unidades, como la ubicación más probable del corio o las áreas donde es esperable elevadas dosis de radiación debido a la alta retención de productos de fisión.

Las estimaciones que se están realizando y su comparación con los datos disponibles permiten una percepción realista de las capacidades predictivas y la identificación de áreas cruciales para la

reducción de sus incertidumbres. Tal es el caso de fenómenos como la relocalización del material fundido hasta el fondo de la vasija, la permeabilidad gaseosa de las acumulaciones magmáticas en el seno del reactor o de la capacidad filtrante de productos de fisión de las piscinas de supresión en cualquier circunstancia. No obstante, Fukushima no es la clave para la resolución de todas las cuestiones remanentes en simulación de accidentes severos; se trata de tres accidentes muy específicos que han dado lugar a una base de datos tan importante como incompleta.

Más allá del acceso a información clasificada, la participación en los proyectos BSAF está suponiendo para el equipo CSN-Ciemat una extraordinaria experiencia por lo que supone colaborar con laboratorios de prestigio en la realización de análisis reales de planta. No menos importante, la presencia en BSAF ha dado visibilidad al equipo español, a través de su reconocida aportación técnica y activa involucración en las discusiones técnicas mantenidas en reuniones y seminarios. 

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CLÉMENT B., ZEYEN R., 2013. The objectives of the Phébus FP experimental programme and main findings. *Annals of Nuclear Energy* 61, 4-10.
- [2] HERRANZ L.E., FONTANET J., FERNÁNDEZ E., LÓPEZ C., 2015a. Influence of the wet-well nodalization of a BWR3 Mark I on the containment thermal-hydraulic response during an SBO accident. *Nuclear Engineering and Design* 295, 138-147.
- [3] HERRANZ L.E., LÓPEZ C., FONTANET J., FERNÁNDEZ E., 2015b. Major insights into the Fukushima severe accidents: CIEMAT's contribution to the OECD-BSAF project. DFN/SN-01/OP-15.
- [4] HERRANZ L.E., LÓPEZ C., FONTANET J., FERNÁNDEZ E., 2015c. Lessons learned from the Fukushima analysis: the modeling of severe accidents in nuclear power plants. *Proceedings of the Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal-Hydraulics (NURETH-2015)*, Chicago (USA), August 2015.
- [5] HERRANZ L.E., LÓPEZ C., 2016. Piscinas de supresión: Párrafo del efecto de la termohidráulica durante accidentes severos. *Nuclear España*, Mayo 2016, 48-54. IAEA, 2008. INES The International Nuclear and Radiological Event Scale: User's Manual.
- [6] LUXAT D.A., KALANICH D.A., HANOPHY J.T., GAUNTT R.O., WACHOWIAK R.M., 2016. MAAP-MELCOR Crosswalk Phase 1 Study. *Nuclear Technology* 196, 684-697.
- [7] OECD/NEA, 2013. The Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident OECD/NEA Nuclear Safety Response and Lessons Learnt.
- [8] OECD/NEA, 2016. Five Years after the Fukushima Daiichi Accident: Nuclear Safety Improvements and Lessons Learnt.
- [9] PELLEGRINI M., DOLGANOV K., HERRANZ L.E., BONNEVILLE H., LUXAT D., SONNENKALB M., ISHIKAWA J., SONG J.H., GAUNTT R.O., FERNANDEZ MOGUEL L., PAYOT F., NISHI Y., 2015. Benchmark Study of the Accident at the Fukushima Daiichi NPS: Best-Estimate Case Comparison. *Nuclear Technology* 196, 2, 198-210.
- [10] ROGOVIN M., FRAMPTON G.T., 1979. Three Mile Island: A Report to Commissioners and to the Public.
- [11] SNL, 2011. MELCOR Computer Code Manual. NUREG/CR-6119, Vol. 1 rev. 3179.
- [12] U.S.NRC, 2012. State of the Art Reactor Consequence Analyses Report. NUREG-1935.

Protección contra ataques cibernéticos en las instalaciones nucleares españolas

■ Texto **Antonio Pérez Báez** | Técnico del Área de Seguridad Física | **Pedro Lardiez Holgado** | Jefe Área de Seguridad Física | **Miguel Calvin Cuartero** | Subdirector de Emergencias y Protección Física. Consejo de Seguridad Nuclear | ■

La seguridad física de los materiales y las instalaciones nucleares es una de las materias en la que el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) realiza su actividad reguladora con los siguientes objetivos:

- Proteger el material nuclear contra el robo o la retirada no autorizada
- Recuperar el control regulador sobre el material nuclear perdido o robado
- Proteger el material y las instalaciones nucleares contra actos de sabotaje que puedan causar consecuencias radiológica inaceptables.
- Mitigar y minimizar las consecuencias radiológicas de actos de sabotaje

La seguridad informática de las instalaciones y materiales nucleares forma parte de la seguridad física, ya que los actos malintencionados contra estas instalaciones y materiales podrían ser iniciados o involucrar ataques informáticos entre las acciones del adversario.

Durante los últimos años, han tenido lugar una multitud de ataques informáticos en sectores industriales y empresariales muy diferentes, con consecuencias variables, casi siempre relacionadas con pérdidas económicas o revelación de información, aunque en ningún caso ha habido que lamentar consecuencias trágicas.

En el mundo nuclear, hasta ahora, la incidencia ha sido menor, pero no ha quedado exento de esta amenaza. Algu-

nas fuentes¹ informan de la ocurrencia de más de una decena de ataques informáticos durante los últimos 25 años. Todos sin impacto radiológico para la población, siendo STUXNET quizás el ejemplo más significativo.

La acción reguladora del CSN en este campo se centra en la prevención, detección y respuesta a amenazas informáticas contra estas instalaciones y materiales con el objeto de proteger a la población de consecuencias radiológicas inaceptables, más que como garantía de producción o de continuidad del servicio, siendo esto último objeto de otras autoridades competentes en estas materia.

La estimación del riesgo asociado a estas amenazas informáticas para centrales nucleares españolas indica que su vulnerabilidad es media o baja, si se tiene en cuenta la época de construcción y el predominio de sistemas analógicos utilizados su operación. No obstante, dicho riesgo puede incrementarse si se consideran otros sistemas, como los de seguridad física, los de respuesta a emergencias, la cadena de suministro, la sustitución de componentes analógicos obsoletos por componentes digitales, el empleo de controladores lógicos programables (PLCs) o SCADAS, etc.

Concretamente, el CSN, en 2012, utilizando técnicas de protección de *air gap*, condicionó las autorizaciones de protección física de las instalaciones nucleares

al aislamiento físico y lógico de los sistemas relacionados con la seguridad nuclear, la seguridad física o con la preparación y respuesta a emergencias de estas instalaciones.

Bien es cierto que la técnica de *air gap* puede verse superada por una amenaza informática en constante evolución. Además, por sí sola no es efectiva contra vectores de ataque más utilizados, como los dispositivos portátiles, CD, DVD, y USB. Por ello, las mismas autorizaciones quedan también condicionadas a la implantación de controles de acceso físico fehacientes a todos los componentes de las redes que soportan dichos sistemas.

Las centrales nucleares españolas por iniciativa propia² han implantado medidas adicionales de protección informática, como la creación de un equipo multidisciplinar de ciberseguridad, la clasificación de los sistemas, la identificación de activos críticos digitales, el uso de una instalación de chequeo de dispositivos portátiles y la implantación de controles administrativos, operacionales y técnicos, etc.

Sin embargo, es claro que la evolución de esta amenaza no puede ser afrontada, en una actitud complaciente y conservadora, con la simple implantación y mantenimiento de técnicas de aislamiento de redes y control de dispositivos. Por ello, el CSN está involucrado en el desarrollo otras actividades, entre ellas:

• Cualificación, entrenamiento y concienciación del personal de todas las autoridades e instituciones involucradas en seguridad informática. Así, el CSN organizó, con la colaboración del OIEA, el curso nacional *Evaluación de Seguridad Cibernética de Instalaciones Nucleares* el pasado mes de febrero, con la asistencia de más de 30 participantes.

• Trabajos necesarios para el análisis y la elaboración de una *Instrucción del Consejo de Seguridad Nuclear sobre seguridad informática de instalaciones nucleares*, considerando el contexto de las instalaciones nucleares españolas, la regulación existente en otros países de nuestro entorno y las mejores prácticas internacionalmente adoptadas a este respecto.

No cabe duda que el trabajo llevado a cabo por los reguladores y por los operadores nucleares en esta última década ha elevado considerablemente la efectividad de las medidas de seguridad física e informática de las instalaciones nucleares, aunque este trabajo debe continuar ante la naturaleza evolutiva rápida y constante de este tipo de amenazas. 

¹ <http://www.nti.org/about/projects/addressing-cyber-nuclear-security-threats/>

² Las centrales nucleares españolas han implantado dichas medidas teniendo como referencia las publicaciones y guías desarrolladas por el Nuclear Energy Institute de los EEUU.





El metal más ligero y de mayor poder calorífico del planeta es imprescindible en las baterías de los terminales móviles y de los coches eléctricos

Fiebre del litio

Utilizado para usos industriales y como tratamiento de psicopatologías desde hace medio siglo, el litio ha saltado a la palestra como posible alternativa energética al petróleo. Su concentración en los salares de Chile, Bolivia y Argentina ha renombrado a la zona como el ‘triángulo del litio’, y se habla de un cambio

geopolítico de poder desde Oriente Medio a esa región, con la sustitución de los coches eléctricos por los de combustible derivado del petróleo. Goldman Sachs lo denomina la ‘nueva gasolina’.

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

A sus 200 años, el litio se ha convertido en el material para combatir el cambio climático. Es el componente imprescindible de las baterías utilizadas en los coches eléctricos que se cargan cuando son enchufados a la red, los únicos con cero emisiones. El litio también está en las nuevas baterías que acumulan la energía solar o eólica, de fácil instalación en el hogar.

Y es que la Unión Europea acusa a la industria, el transporte, la producción de energía y la agricultura de ser los principales generadores de emisiones contaminantes, y ha fijado el año 2020 como meta para cambiar esta situación. En ese año, el aire deberá tener niveles contaminantes “que no resulten perjudiciales, de forma significativa, para la salud”. La última cumbre de Naciones Unidas sobre cambio climático (París, 2015) apuntaba en igual dirección, un objetivo imposible de

conseguir sin aumentar el parque mundial de vehículos eléctricos.

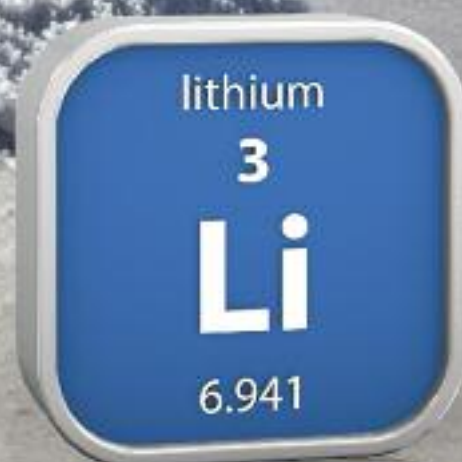
El escenario ha provocado una carrera por dominar y explotar los yacimientos de litio donde las empresas estadounidenses y chinas llevan la delantera. La pugna no es baladí. La pila de ion-litio para un coche enchufable medio necesita el litio de las baterías de 5.000 móviles. Los precios del litio están subiendo y las empresas ligadas al nuevo negocio se revalorizan. Tesla Motors, firma creada hace 14 años en Silicon Valley para promover el uso de los coches movidos por energía eléctrica, cotiza en el Nasdaq (el índice tecnológico neoyorquino), y ha multiplicado su valor bursátil por siete en los últimos tres años.

Así, Tesla se ha convertido en el gran impulsor del coche eléctrico enchufable, los únicos que fabrica. Tiene tiendas y



centros de servicios en 26 países, y ha construido la planta Gigafactory en Nevada (USA) para producir las baterías de ion-litio de sus automóviles. En ella fabrica las baterías del Model S y del Model X y hará las del Model 3, que saldrá al mercado en 2018, sumando medio millón de baterías.

Carecer de una red mundial de recarga es la razón principal para el freno del nuevo vehículo. Tesla ha iniciado una desenfrenada carrera por hacer puntos de recarga públicos en 34 países, en España tiene 97 puntos, algunos están en El Corte Inglés. Volkswagen, BMW, Daimler y Ford planean instalar estaciones



de carga rápida para enchufar coches, con miles de puntos para el repostaje.

Pero, ¿habrá litio suficiente para cambiar el parque mundial de coches de combustible por eléctricos? Pocos creen que se llegará a tal situación. No todas las marcas tienen modelos enchufables. El gigante japonés Toyota, el mayor inversor en I+D del mundo del motor (según

los años), apuesta por los vehículos híbridos para bajar emisiones. “Investigamos para hacer el coche híbrido cero emisiones, en vez de apostar por el eléctrico puro por la escasez de puntos de recarga. Nuestros híbridos tienen un motor alimentado por hidrocarburos, y una batería eléctrica que se carga cuando el coche funciona con el motor de combus-

ción”, explica Enrique Centeno, director de Comunicación y Relaciones Públicas de Toyota España. Toyota utiliza las baterías de ion-litio en algunos de sus modelos y las de níquel-metal hidruro en otros. “La gran ventaja de las baterías de litio es su ligereza, pero son de un 20 a un 30% más caras que las de níquel-metal hidruro, y nosotros queremos poner el

Una historia bicentenaria

El nombre litio procede de la palabra griega *lithos*, que significa piedra, por indicar su procedencia de un mineral. Johan Arfvedson descubrió el litio, en 1817, en los minerales espodumena y lepidolita de una mina de petalita, en la isla de Utö (Suecia). Los procesos de laboratorio realizados durante 1818 con el hallazgo permitieron comprobar el extraordinario poder calorífico de este mineral, pero fue la medicina la que detectó las primeras aplicaciones del litio.

El urato de litio se usaba para el padecimiento de la gota en 1840, el psiquiatra australiano Jhon F. Cade descubrió el efecto de las sales de litio en casos de depresiones bipolares después, y M. Schou determinó las dosis correctas para aplicar las sales de litio en 1965. Hoy, el litio se utiliza como remedio principal del trastorno bipolar, conocido como psicosis maniaco-depresiva, en el que los enfermos alternan estados eufóricos con estados depresivos.

Además de los usos médicos, la investigación del mineral más ligero (su densidad es la mitad del agua) y calorífico conocido ha servido para un ingente abanico de usos industriales. El litio ha sido estratégico en la industria de defensa, hasta ser imprescindible en las baterías recargables.

Proceso de extracción

El prolífico litio lo es también en yacimientos: está muy distribuido en minerales, en salmueras y en el agua del mar. El abanico se reduce al hablar de concentraciones de litio de una cierta importancia: unos 145 minerales y las salmueras. Las fuentes explotables del mineral se reducen a las pegmatitas (rocas ígneas del tamaño de un grano), el mineral de arcilla hectorita y las salmueras continentales, geotérmicas y de campos petroleros.

El litio de los yacimientos minerales se extrae con la tradicional técnica de la minería. “La mitad del litio utilizado en el mundo procede de esta minería convencional con litio

en estado sólido, que explotan las multinacionales mineras en Australia y en Canadá, fundamentalmente. La petalita, la espodumena, la lepidolita y la ambiglonita son los minerales más extraídos”, cuenta José Antonio Espí, catedrático de Yacimientos Minerales de la Escuela de Minas de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM).

En los salares, el litio está disuelto en las salmueras (lagunas existentes a cierta profundidad) y es más barato de obtener. Las salmueras del Salar de Atacama (Chile), por ejemplo, están a 30 metros bajo la superficie salina, aunque otras veces están a menos profundidad. Las salmueras se explotan para obtener litio, potasio y boro, pero no todos los salares tienen salmueras con un contenido de litio suficiente como para extraerlo. “Las grandes salmueras de litio de alta concentración están en Chile, Argentina y Bolivia, en alturas superiores a 4.000 metros. Los salares de Uyuni (Bolivia) son los que tiene el mayor volumen de litio y son gigantescos. Los salares más explotados están en Chile y Argentina”, puntualiza Espí.

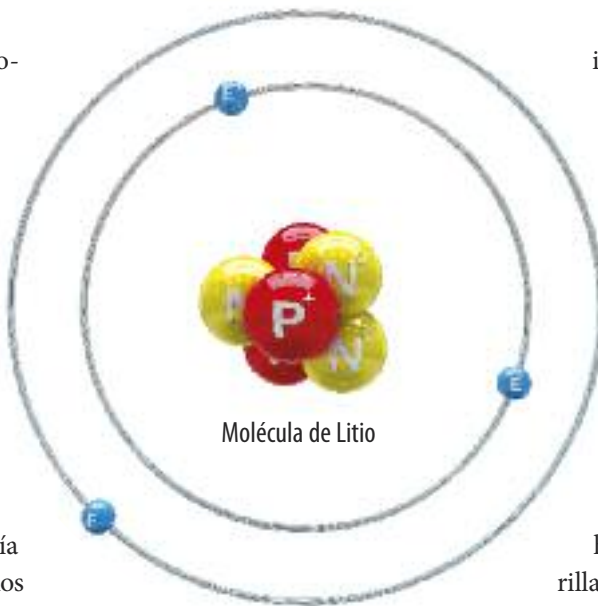
Europa no tiene recursos de litio importantes. “El precio marca la viabilidad económica de una explotación. Si subiera el precio del litio, España y Portugal son los países con mayores yacimientos”, añade este especialista. De momento, “España tiene un yacimiento de mineral sólido de litio en Salamanca. Produce lepidolita (un 1% de litio), que se vende sin tratar a la industria cerámica valenciana. En Almería hay aguas termales a 40 grados con litio diluido, pero no se explotará hasta que se encuentre el origen del litio, que está a muchos metros de profundidad. En Nevada (USA) se está explotando una fuente similar”, añade Espí.

Los productos obtenidos de las minas y de las salmueras se convierten en carbonato de litio y en hidróxido de litio, que son los materiales finales comercializados para todo tipo de usos.

coche ‘cero emisiones’ al alcance de todos. Convivirán varias tecnologías, en la carrera por lanzar vehículos menos contaminantes”, añade el portavoz de Toyota España.

Batería recargable

La incógnita sobre la batería recargable del futuro está sin resolver. “En los laboratorios se investiga sobre las pilas de combustible de hidrógeno, una posible alternativa. El litio es el metal más ligero y con mayor capacidad electroquímica. La tecnología de ion-litio no tiene rival comercial. Varios laboratorios europeos investigamos en baterías de ion-sodio, más baratas porque el sodio está en el agua del mar. El poder energético del ion-sodio es comparable al del ion-litio”, asegura María Rosa Palacín, vicedirectora del Instituto de Ciencias de Materiales de Barcelona del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). “La compañía británica Faradion prueba bicicletas eléctricas dotadas de baterías de ion-sodio, todas las posibilidades están abiertas”, explica Palacín. Mientras se deshoja la margarita del coche del futuro, el vehículo enchufable ha empujado el mercado de las baterías de ion-litio en los últimos años, hasta representar un 30% del mismo en 2015.



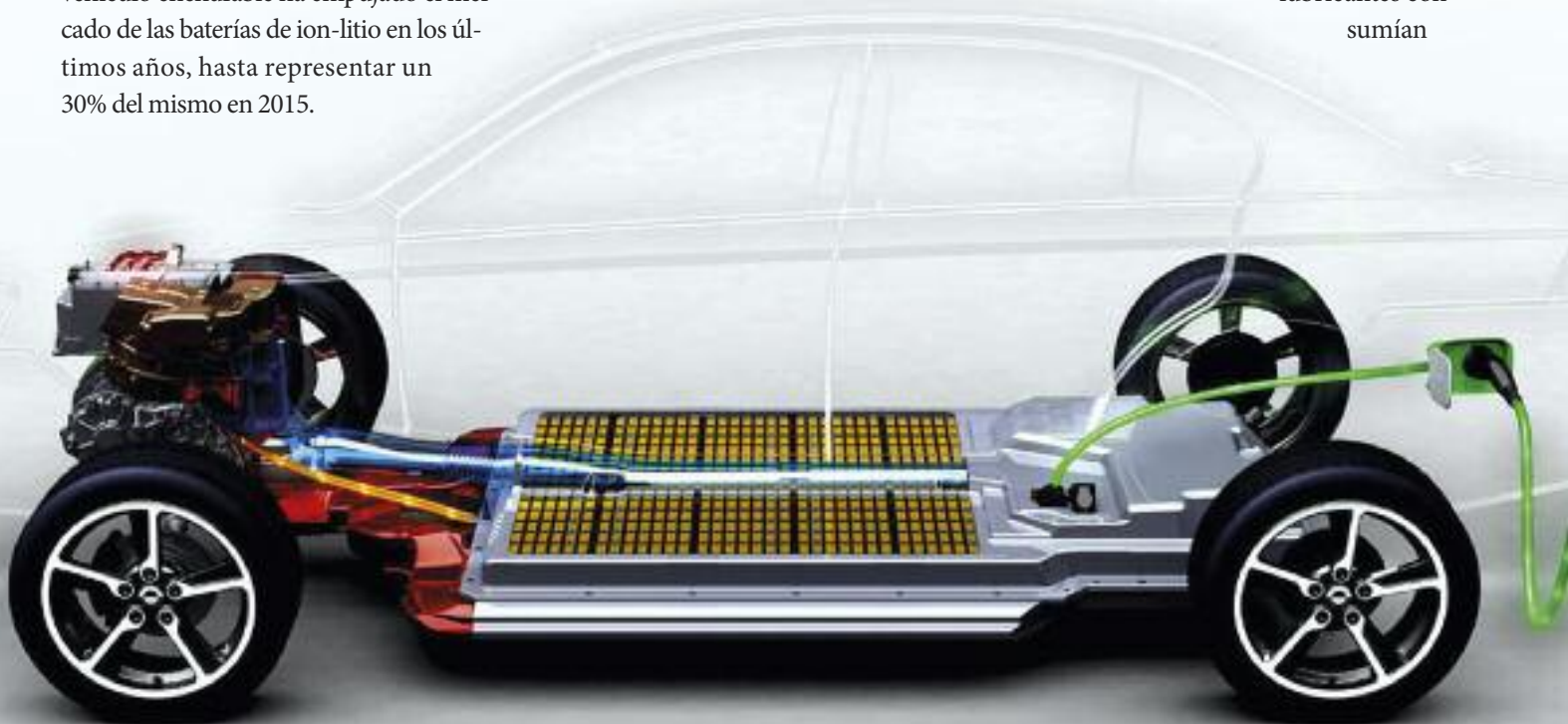
El consultor de metales Roskill prevé la multiplicación por tres de las baterías de coches enchufables hasta 2025, y el mayor impulso vendrá de China, Japón y Corea, que en ese año supondrán el 70% del consumo mundial. Las motos eléctricas enchufables ya se multiplican por las carreteras y las calles del gigante amarillo.

Hoy, los teléfonos inteligentes y las tabletas son los grandes consumidores de baterías de

ion-litio. “El litio es un metal imprescindible en las baterías recargables de los terminales móviles, no existe una alternativa comercial. Las baterías de ion-litio duran de tres a cinco veces más que las antiguas de níquel-cadmio y de níquel-metal hidruro. Si volviéramos a las antiguas baterías, los móviles apenas durarían cuatro horas encendidos, dado el consumo de aplicaciones que ahora hacemos”, explica José Manuel Amarilla, investigador del Instituto de Ciencias de Materiales del CSIC.

Pero, el consumo del litio no queda en las baterías. El metal forma parte de las aleaciones conductoras de calor, está en la fabricación de acero, en las aleaciones con aluminio, en los esmaltes, en los plásticos, en los lubricantes y las grasas, en el vidrio, en el aire acondicionado, en la cerámica y en las baterías eléctricas, entre otros productos. Sin hablar de la medicina.

Las baterías eléctricas recargables absorbían el 19% del mercado mundial del litio hasta 2010, las grasas y lubricantes consumían



otro 16% del mercado, la cerámica un 12%, las demás industrias bajaban del 10%, y la medicina era un 4%. El reparto cambió porque “las ventas de teléfonos inteligentes y tabletas, junto con un mayor impulso en la producción de vehículos eléctricos, han aumentado la demanda un 18% desde 2010. Las baterías son hoy el 37% del mercado mundial del litio”, explica el último informe *Lithium: Global Industry, Markets & Outlook*, de Roskill.

Una carrera imparables

La carrera del litio es imparables. Los avances tecnológicos de las baterías de ion-litio, el abaratamiento de los vehículos que las incluyen, las políticas fiscales para promover estos coches, los incentivos por reducir las emisiones de CO₂, y los lanzamientos de los modelos enchufables en 2016 y 2017 han marcado el punto de inflexión para hacer el mercado real de los coches eléctricos, destaca el informe mencionado.

Las baterías para almacenar la energía producida por las fuentes renovables provocarán otra demanda del mineral, predice Roskill. Tesla, por ejemplo, ha desarrollado una batería de ion-litio (del tamaño de un libro) para almacenar la energía producida por los paneles solares del tejado, capaz de alimentar una casa con dos dormitorios durante un día. “El impacto en la demanda de litio de estos nuevos mercados podría ser significativo y ha reavivado el interés en el desarrollo de fuentes de suministro adicionales”, se asegura en el estudio de Roskill. Los grandes monopolios eléctricos, y la política energética de los gobiernos dibujarán este mercado.

Metal explosivo

El litio es un metal blanco plateado, blando y muy ligero, que está presente en 20 partes por millón (ppm) en la corteza superior de la tierra. Las rocas ígneas contienen 6 ppm y las rocas sedimentarias de 11,5 ppm a 60 ppm. Encontrar el metal litio puro en la naturaleza es imposible. Es un metal alcalino y, como tal, es buen conductor de calor y de electricidad, pero reacciona de inmediato al entrar en contacto con el agua, el oxígeno y otras sustancias químicas, provocando una especie de incendio o de explosión que lo mezcla con otros materiales y lo oxida al contacto con el aire.

Debido a su alta reactividad, los investigadores lo tratan con precaución extrema en los laboratorios. Aunque el litio no está puro en las baterías de ion-litio y los fabricantes han diseñado una forma segura de contenerlo, su alta reactividad viene a la cabeza de los investigadores en los accidentes con este tipo de pilas. La explosión e incendio de las baterías de ion-litio de ordenadores portátiles Sony VAIO fue la excusa de quienes desaconsejaban aumentar el uso de este tipo de baterías en el Boeing 787, a principios de 2013, y los incidentes con dos de ellas obligó a dejar en tierra a dos aviones. Toshiba tuvo problemas con las baterías proporcionadas por Sony y la explosión de las contenidas en el Galaxy Note 7 de Samsung ha vuelto a dar protagonismo al problema. El buque insignia del fabricante coreano explotaba o se incendiaba al ser desconectados del cargador, y el hecho llegó a suceder de forma fortuita durante el reposo del terminal. La explosión de uno de estos modelos obligó a desalojar un avión en Estados Unidos y varias aerolíneas recomendaron no utilizar ni cargar este terminal durante sus trayectos.



La consultora Freedonia predice un crecimiento del 8,8% anual del mercado mundial del litio, hasta llegar a 50.500 toneladas métricas en 2019. Las empresas ligadas a su explotación y producción realizan fuertes inversiones para responder un mercado que ya supera los 2.000 millones de dólares. Albemarle, SQM, Tianqi Ganfeng y FMC mandan en el sector, con el control de dos tercios del volumen de su producción refinada, y de más del 80% de su valor. “Los grandes productores aumentan su poder con la consolidación de las empresas, y gracias a un creciente desequilibrio entre la oferta y la demanda (crece más la demanda que la oferta), lo que provoca subidas de precios por encima del 30% desde 2010”, indica Roskill.

La firma estadounidense Albemarle es un gigante químico de casi 2.678 millones de dólares en ventas en 2016, y 968 de ellos procedieron del litio, situándole a la cabeza de este mercado. Para llegar a tal posición, Albemarle compró Rockwood Corporation en enero de 2015, cuya filial Rockwood Lithium es pionera en el desarrollo de la industria del litio en Chile desde 1980 y tiene presencia mundial.

Albemarle tiene una gran chequera para crecer, ronda el 40% del mercado mundial de litio. El pasado mes de octubre, el gobierno chileno autorizó a Rockwood Lithium aumentar la extracción de litio en Atacama (Chile), lo que conlleva una inversión de unos 500 millones de dólares en cuatro años. En este año ha realizado la *joint-venture* Talison con el gigante chino Tianqi Lithium Corporation, para explotar la mayor mina de litio

activa del mundo (Greenbushes), que está en Australia.

Tianqi es el gigante chino del preciado mineral, cotiza en la bolsa de Shenzhen, cubre el ciclo completo del producto y presume de tener 65 patentes y haber desarrollado tres nuevos productos con litio que son esenciales para la industria estratégica china. Tianqi aumenta su capacidad industrial y el pasado mes de septiembre anunció la construcción de la mayor planta mundial de hidróxido de litio (usado para depurar el aire de submarinos y naves espaciales). Tianqi quiere compensar la escalada de sus competidores estadounidenses. Así, FMC trabaja para aumentar su capacidad de producción de hidróxido de litio en China (en 2016 produjo 18.000 toneladas de este material), mientras Albemarle aborda la compra de plantas chinas de hidróxido de litio a Jiangli.

FMC Corporation es un gigante químico estadounidense mayor que Albemarle,



Las baterías de ion-litio se encuentran presentes en la actualidad en la placa base de todos los ordenadores.

aunque con menores ingresos en litio. Aun así, en 2015 ingresó 238 millones de dólares por la explotación y la producción de los compuestos de este mineral. SQM (Sociedad Química y Minera de Chile) es el gigante sudamericano, superó los 2.000 millones de dólares de ingresos en 2015, y 223 procedieron del litio y sus derivados, un 8% más que en el año anterior. Trabaja en el salar de Atacama.



Las baterías de litio han permitido el desarrollo de las funcionalidades de la telefonía móvil.

Ganfeng Litio es el segundo gigante chino (cotiza en Shenzhen), y crece de forma acelerada en los últimos años. Ganfeng exporta 20 productos de litio a todo el mundo, y tiene una participación del 17,5% en International Lithium Corporation (minera canadiense) para explotar este mineral en Irlanda y Argentina.

No hay un mercado organizado que marque el valor del codiciado mineral y su valor está marcado en las transacciones particulares. “Hay muy pocos productores y marcan los precios en función de la demanda. El consumo de litio de la fábrica de baterías de

Tesla, por ejemplo, provocará el aumento del precio del mineral”, predice Gonzalo Escribano, director del programa de Energía del Real Instituto Elcano. Sin embargo, el encarecimiento del litio no frenará la expansión del coche enchufable, dada la escasa incidencia del coste del

mineral en el precio final del coche, en opinión de Gonzalo Escribano.

La fiebre por el mercado del litio tampoco perjudicará a Europa. “Es verdad que de los 33 metales utilizados habitualmente por la industria de la UE, el litio es uno de los 14 necesarios en alta tecnología y medio ambiente”, dice el profesor José Antonio Espí. Sin embargo, un mineral metálico posee riesgo de abastecimiento cuando más del 70% de la producción mundial se encuentra en un solo país, “y no es el caso del litio, repartido por todo el mundo, y con yacimientos principales en Canadá, Australia, Chile, Argentina y Bolivia”.

Todas las incógnitas están abiertas. “El litio no provocará problemas geopolíticos, hay muchas reservas, y se podrá reciclar de las baterías de los coches enchufables. Las baterías serán el petróleo del siglo XXI, pero el ion-litio podría ser sustituido por otros componentes de propiedades similares, o marchar junto a ellos”, predice Gonzalo Escribano, contra las previsiones alarmistas sobre una futura escasez del blanco metal. 



Reacción en cadena

INVESTIGACIÓN

Cómo llegar a la estratosfera en un planeador

Con la excepción del desaparecido Concorde, la inmensa mayoría de los aviones están diseñados para volar a una altitud máxima de 12 o 13 kilómetros. Sin embargo, dos equipos de investigadores trabajan en Estados Unidos en otros tantos aviones que tienen como objetivo llegar más arriba: hasta 30.000 metros de altitud y con cero emisiones.

El que está más avanzado es el Proyecto Perlan 2, que pretende alcanzar esa altura con un planeador que es una evolución del Perlan que en agosto de 2006 superó los 15.000 metros de altitud sobre Argentina. Se trata de un avión presu-

rizado –sus dos ocupantes pueden volar en él sin necesidad de trajes especiales– de casi 30 metros de envergadura y unos 600 kg. de peso en vacío.

El otro equipo es el que trabaja sobre el SolarStratos, un planeador con motor, o motor-velero, impulsado por dos motores eléctricos que suman una potencia de 50 CV y que funcionan gracias a los 22 m² de paneles solares que cubren el avión, de ahí lo de volar sin emisiones. En este caso, la envergadura es de 25 metros y el peso en vacío de 450 kg. No es presurizado y sus ocupantes tienen que llevar trajes similares a los de los astronautas.



El Perlan 2 ya está haciendo sus primeros vuelos de prueba en Argentina y podría intentar volar a la estratosfera este año, mientras que el SolarStratos tiene programado su primer vuelo para 2018.

Los dos aviones tienen como objetivos principales servir como plataforma para estudiar la atmósfera y llevar instrumentos científicos a la estratosfera. A la altitud que van a

volar estarán por encima de la mayor parte de la humedad que contiene la atmósfera, lo que permite hacer ciertas observaciones que desde más abajo son imposibles. También servirán como plataforma para avanzar la tecnología aeronáutica, llevándola a sus límites, especialmente en el caso del Perlan 2, que quiere demostrar las posibilidades de las energías renovables.

Un 'pendrive' de 2.000 GB bate el récord del mundo de almacenamiento

La compañía estadounidense Kingston Digital, fabricante de productos de memoria para ordenadores, ha anunciado el lanzamiento inminente del *pendrive* DataTraveler Ultimate Generation Terabyte (GT), capaz de almacenar dos terabytes (2.000 GB) de datos, convirtiéndose en el USB de memoria *flash* con más capacidad del mundo.

Con el nuevo *pendrive*, que ya está a la venta desde marzo, se pueden almacenar 70 horas de vídeo 4K en una

sola unidad, 1.600 películas en calidad 720p HD o 500 en calidad 1080 HD. Además, el fabricante ha dotado al dispositivo de una cubierta de metal de aleación de zinc para hacerlo más resistente a los golpes.

Su tamaño compacto proporciona al usuario profesional una solución portátil de alta capacidad para almacenar y transferir archivos, equivalente al rendimiento de un USB 3.1 Gen 1, un estándar que per-

mite velocidades de transferencia de hasta 5 Gbps.



EXPOSICIONES

La mayor muestra de medusas de Europa, en el Oceanogràfic de Valencia

El Oceanogràfic de Valencia se ha propuesto acercarnos estos pequeños animales marinos que contribuyen a mejorar la calidad de las aguas en las que habitan. Para ello, durante 2017 se podrá visitar una exposición completa sobre medusas, que incluirá, además de especies provenientes de todo el mundo, un viaje visual y pedagógico por la evolución de estos celentéreos de agua salada. La exposición, la mayor de medusas en Europa, que dirige el zoólogo gallego Xoa Domínguez, cuenta con 16 tanques instalados en el Oceanogràfic. Además de los tanques destinados a la exhibición, la muestra cuenta con 45 depósitos de agua para el cultivo, reproducción y engorde de las distintas especies.

Una de las medusas más curiosas que se puede ver es la llamada medusa inmortal (*turritopsis nutricula*), originaria del mar Caribe. Tiene un diámetro de entre 4 y 5 centímetros y una característica exclusiva: nunca muere. Esto se debe a la habilidad que ha desarrollado de volver a un estado de pólipo frente a un estrés del medio, consiguiendo volver a estados iniciales de vida, en los que se reproduce. Esto sería equivalente a que un humano volviera de nuevo a ser bebé y empezara la vida desde el año cero. Además, también se incluye en la exposición una serie de medusas caníbales, llamadas comúnmente *ortigas*, que se alimentan de otras medusas, lo cual ha llevado al Oceanogràfic a tener un cultivo de ellas para alimentar a estas especies.

L'Oceanogràfic

Lugar: Ciutat de les Arts i de les Ciències, 46013 Valencia

Más información: www.oceanograficvalencia.com



La impresionante exhibición de medusas de L'Oceanogràfic se puede visitar durante todo 2017.

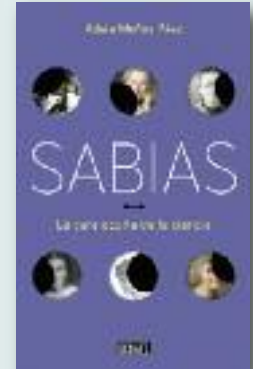
LIBROS

Sabias: La otra cara de la ciencia

Adela Muñoz Páez

Debate. Madrid, 2017. 368 páginas

Un fascinante recorrido por la historia de las mujeres de la ciencia. ¿Quién fue Enheduanna? ¿Y Émilie de Châtelet? ¿Por qué los maestros cerveceros consideran su mentora a Hildegarda de Bingen, una monja del siglo XI? ¿Fue Marie Curie merecedora de los dos premios Nobel de ciencias que recibió? ¿Habría sido posible descifrar la estructura del ADN sin el trabajo de Rosalind Franklin? ¿Por qué es tan desconocida la mujer que desentrañó la estructura de la penicilina? ¿Qué papel tuvieron las mujeres durante la Edad de Plata que la ciencia vivió en la Segunda República española? Este libro rescata la historia de algunas de las mujeres que han hecho contribuciones relevantes en la ciencia y, paralelamente, sirve para entender por qué fueron tan escasas y hoy son tan desconocidas.



GEOLOGÍA

El agua más antigua tiene 2.000 millones de años

Un equipo de científicos ha descubierto el que puede ser el manantial de agua más antiguo conocido: una pequeña fuente escondida bajo tierra en Ontario (Canadá), oculta al menos durante 2.000 millones de años y que supera en 500 millones a otro yacimiento canadiense, descubierto en 2013. La fuente fue encontrada en una vieja mina abandonada, considerada como el complejo de extracción de metal más profundo del mundo, donde los geólogos han podido perforar túneles en busca de acuíferos antiguos. Los geólogos responsables del hallazgo, que mana agua a razón de dos litros por minuto, han analizado los componentes gaseosos de argón, helio, neón y xenón para poder datar el origen del líquido en cerca de 2.000 millones de años. Estudiar sus propiedades es remontarse a los orígenes de los primeros organismos vivos en la Tierra y llegar a conocer cuál era el medioambiente en el que vivieron los antecedentes microscópicos de todos los animales actuales.

Panorama

El Consejo de Seguridad Nuclear, en la 19ª reunión del comité de dirección de HERCA

La vicepresidenta del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), Rosario Velasco, y el subdirector de Protección Radiológica Operacional, Javier Zarzuela, asistieron a la 19ª reunión del comité de dirección de la Asociación Europea de Autoridades Competentes en Protección Radiológica (HERCA), que tuvo lugar en Varsovia (Polonia) los días 11 y 12 de mayo pasados.

La reunión se dividió en cuatro sesiones y destaca la aprobación por el comité de dirección de HERCA de la designación de Karla Petrova, del organismo



regulador checo, como nueva presidenta de esta asociación. En la parte técnica destacó la reactivación de un grupo de tra-

bajo para el seguimiento del proceso de implementación de la Directiva Euratom de normas básicas en protección radiológica y la publicación en página web de HERCA de las *country fact sheets* de los países miembros, con información sobre las capacidades de los diferentes países ante emergencias. Se aprobó también el nombramiento de Alfredo Mozas, coordinador técnico de la subdirección de Emergencias y Protección Física del CSN, como vicepresidente del grupo de trabajo de emergencias de HERCA.

El consejero Javier Dies participa en el plenario de WENRA

El consejero del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) Javier Dies

asistió en Berna (Suiza) a la reunión anual del plenario de la Asociación de Reguladores de Seguridad Nuclear de Europa Occidental (WENRA por sus siglas en inglés), donde se revisó el grado de aplicación de los niveles de referencia en los países miembros. Los niveles de referencia se aplican tanto a reactores en operación, como a la gestión de los residuos radiactivos y otras actividades de la última parte del ciclo del combustible. WENRA ha desarrollado un cuerpo de niveles de referencia y

objetivos de seguridad, como soporte en el objetivo de contribuir a la

mejora continua y a la armonización de la regulación y las prácticas relativas a la seguridad nuclear en la región europea.

Dentro de los temas abordados, la asociación concluyó la preparación de la primera revisión temática de seguridad en base al desarrollo de las especificaciones técnicas para el proceso de revisión. La Directiva de Seguridad Nuclear exige a los Estados miembros someterse a revisiones temáticas de seguridad *inter-pares* (*topical peer reviews*) con una periodicidad de seis años y cuya primera edición, que se dedicará a la gestión del envejecimiento en los reactores nucleares, comenzará en 2017.

WENRA se creó en 1999 con el objetivo de impulsar la armonización del marco normativo en materia de seguridad nuclear, y está formada por las autoridades reguladoras de los países de la Unión Europea con centrales nucleares además de Suiza, así como de otros países, principalmente europeos, que forman parte de la asociación en calidad de observadores.



El presidente del CSN informa a la Comisión de Energía del Congreso sobre el presupuesto 2017

El presidente del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), Fernando Marti Scharfhausen, compareció el pasado 24 de abril ante la Comisión de Energía, Turismo y Agenda Digital del Congreso de los Diputados para informar sobre el presupuesto del CSN dentro del Proyecto de Ley de Presupuestos Generales del Estado para el año 2017. En su intervención, comunicó que el proyecto de presupuesto de 2017 y sus criterios de elaboración fueron examinados por el Pleno en primera instancia en su sesión del 8 de marzo y aprobados por la unanimidad posteriormente, tal como consta el acta de la sesión del 22 de marzo de 2017. Este presupuesto es igual al del año anterior y asciende a 46.507.130 €. El Consejo de Seguridad Nuclear se financia fundamentalmente en base a las tasas y precios públicos, que

suponen el 97% de los ingresos.

En el presupuesto de gastos, destacó la partida del capítulo I de personal, que es la que contribuye al cumplimiento de la misión del organismo, y a este respecto, Marti Scharfhausen recordó y agradeció “el apoyo durante la tramitación y aprobación de los Presupuestos Generales del Estado entre 2014 y 2016, donde se incluyó al Cuerpo de funcionarios de Seguridad Nuclear y Protección Radiológica entre los denominados sectores excluidos de la tasa de reposición cero”, que permitió incrementar la Oferta de Empleo Público y con ello la incorporación de nuevos técnicos al CSN, para paliar las bajas por jubilación.



Respecto a los gastos, el presidente del organismo regulador incidió en las partidas destinadas a los acuerdos de colaboración con las comunidades autónomas, los acuerdos técnicos de apoyo a las actividades del CSN, las cátedras universitarias y las iniciativas de I+D+i o los gastos destinados a personal, entre los que subrayó las actividades de formación interna.

Simulacro de emergencia en la central nuclear Vandellòs II

La central nuclear Vandellòs II (Tarragona) realizó el pasado 20 de abril su simulacro anual, conforme a los requerimientos establecidos en su Plan de Emergencia Interior (PEI), con la participación de la Organización de Respuesta ante Emergencias del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN). La actuación del CSN se desarrolló, simultáneamente, desde la Sala de Emergencias de respaldo (SALEM 2), situada en el cuartel general de la Unidad Militar de Emergencias (UME) en Torrejón de Ardoz (Madrid), y desde el Centro de Coordinación Operativa (CECOP) de Tarragona.

El ejercicio se inició con la simulación de una ‘Alerta de Emergencia’, debido a la declaración de un incendio en un recinto de seguridad en el que se aloja una bomba de refrigeración de la piscina de combustible. El incendio fue sofocado con la ayuda de brigadas de incendios externas. A este hecho se ha sumado la pérdida de las fuentes de energía eléctrica exterior, que provocó la parada automática del reactor y el arranque de los generadores diesel de emergencia.

Durante el simulacro, en el que la consejera del CSN Cristina Narbona actuó como directora de la emergencia, el titular declaró la Categoría 3, ‘Emergencia en el Emplazamiento’, del Plan de Emergencia Interior, y el CSN mantuvo activos a todos los grupos operativos, como requiere el ‘Modo 2’ de su Organización de Respuesta ante Emergencias (ORE).



Comisiones Mixtas de Seguimiento

El Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) acogió, entre el 7 de febrero y el 9 de mayo, las reuniones anuales de la Comisión Mixta de Seguimiento del Acuerdo de Encomienda firmado con varias comunidades autónomas.

Navarra. Se abordó lo relativo a las funciones de inspección y control de instalaciones radiactivas de segunda y tercera categoría, en los ámbitos de la investigación, diagnóstico y tratamientos médicos, y los usos industriales de fuentes y equipos radiactivos, así como en las instalaciones que utilizan aparatos de rayos X, junto con la inspección de transportes de material radiactivo. Los representantes de la Comunidad Foral fueron recibidos por el subdirector de Protección Radiológica Operacional del CSN, Javier Zarzuela, entre otros.

Murcia. La reunión estuvo encabezada por la directora técnica de Protección Radiológica del CSN, M^a Fernanda Sánchez Ojanguren y el subdirector de Protección Radiológica Operacional del regulador, Javier Zarzuela, y por parte de la Comunidad de Murcia por el subdirector general de Industria, Energía y Minas, Francisco González Cubero y el inspector acreditado, Emilio López. Se revisaron las actuaciones del pasado ejercicio y se analizaron las programadas para el presente sobre instalaciones radiactivas y transportes, en base a los criterios establecidos por el CSN.

País Vasco. Se analizaron las funciones de inspección y control de instalaciones radiactivas en los ámbitos de la investigación, el diagnóstico y/o los tratamientos médicos y los usos industriales de fuentes y equipos radiactivos, así como en las instalaciones que utilizan aparatos de rayos X, junto con la inspección de transportes de material radiactivo.

Asturias. La directora general de Industria y Telecomunicaciones, Sandra Velarde, fue recibida por el secretario general del CSN, Manuel Rodríguez, y la directora técnica de Protección Radiológica, M^a Fernanda Sánchez. Se analizaron las actividades de 2016 –inspecciones de instalaciones y transporte de materiales radiactivos– y se planificaron las actuaciones para 2017.

Valencia. Se repasó la programación de 2017 y se valoró la de 2016 en materia de inspección de instalaciones y transportes de material radiactivo, así como el cumplimiento del Programa de Vigilancia Radiológica Ambiental Independiente (PVRAIN) en la central nuclear de Cofrentes. Por parte del CNS, asistieron el secretario general, Manuel Rodríguez, y la directora técnica de Protección Radiológica, M^a Fernanda Sánchez. ▀



El CSN participa en la jornada 'La Protección Radiológica en 2016'

Una delegación del CSN, encabezada por su directora técnica de Protección Radiológica, M^a Fernanda Sánchez Ojanguren, participó en la jornada de la Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR), en la que también intervinieron el nuevo director general del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (Ciemat), Ramón

Gavella, y la presidenta de la SEPR, Mercè Ginjaume.

La directora técnica del CSN presentó a los asistentes los principales resultados de los programas reguladores en materia de protección radiológica llevados a cabo en 2016, y remarcó la importancia de continuar trabajando en la protección radiológica de la sociedad y el medio ambiente. ▀

Visita del Consejo de Transparencia y Buen Gobierno

El CSN recibió el pasado febrero a una delegación del Consejo de Transparencia y Buen Gobierno (CTBG) encabezada por su presidenta, Esther Arizmendi, que estuvo acompañada por la directora de gabinete, Petra Fernández, y el subdirector adjunto de Transparencia, Gonzalo Gómez. Se trataron temas como el análisis, desde el punto de vista de la trans-

parencia y publicidad activa, de la página web del CSN. Tanto el CSN como el Consejo de Transparencia seguirán colaborando y trabajando juntos para la mejora de la transparencia. ▀



7ª reunión de revisión de la Convención de Seguridad Nuclear

La 7ª reunión de revisión de la Convención sobre Seguridad Nuclear, celebrada en la sede vienesa del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) entre los pasados 24 de marzo y 7 de abril, centró sus debates en las misiones inter pares internacionales, la cultura de seguridad, las infraestructuras reguladoras y la independencia de los organismos reguladores, las limitaciones de recursos financieros y humanos, la gestión del envejecimiento y la extensión de vida útil de las instalaciones nucleares, la necesidad de enfoques armonizados en la planificación y las respuestas en caso de emergencia.

Cada tres años, las Partes Contratantes de la Convención sobre Seguridad Nuclear deben llevar a cabo una reunión de revisión. Previamente, deben elaborar un informe sobre las medidas adoptadas para dar cumplimiento de las obligaciones que emanan de la Convención sobre Seguridad Nuclear.

La delegación española presentó el informe nacional elaborado para esta reunión en el que se actualizó la información relativa a las medidas de seguridad aplicadas, espe-



cialmente a aquellas que se han llevado a cabo para mejorar la seguridad de las centrales nucleares españolas tras el accidente de Fukushima y la implementación por parte de España de los principios incluidos en la Declaración de Viena resultante de la Conferencia Diplomática celebrada en 2015.

El consejero Fernando Castelló se reúne con la Agencia Nacional de Seguridad Nuclear de China

El consejero Fernando Castelló Boronat mantuvo en China un encuentro con representantes de la Agencia Nacional de Seguridad de ese país (NNSA, por sus siglas en inglés). En dicho encuentro fue recibido por el director general del organismo regulador chino, Tang Bo, con el que compartió información de interés común y posibles áreas de colaboración bilateral. Al finalizar el encuentro se puso de manifiesto el interés por ambas partes de intercambiar información en las áreas de gestión de vida de las centrales nucleares y sobre el control regulador en la gestión del combustible gastado.

Aprovechando su visita a China, el consejero Castelló mantuvo también una reunión con el director general del Centro de Seguridad Nuclear y Radio-



lógica de este país, Zhang Zhigang, visitando la sala de emergencias de esta institución. Como último acto, el consejero Castelló visitó la central nuclear

de Haiyan, cuyo primer reactor de tecnología Westinghouse del tipo AP1000 entrará en funcionamiento antes de finalizar 2017.

Principales acuerdos del Pleno

Renovación de la central nuclear de Garoña

El Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear, en su reunión de 8 de febrero, acordó informar favorablemente la renovación de autorización de explotación, siempre que se ajuste a los límites y condiciones sobre seguridad nuclear y protección radiológica exigidos.

El Pleno también informó favorablemente la solicitud de renovación de la prórroga de la autorización de protección física y de aprobación de la propuesta de revisión 7B del Plan de Protección Física en Santa María de Garoña. El objeto de la propuesta de revisión es su adaptación a la Guía de Seguridad 8.2 del CSN y la incorporación del Almacén Temporal Individualizado (ATI). En la misma reunión se informó a favor de la solicitud de autorización de la modificación del diseño correspondiente al Sistema de Reserva de Tratamiento de Gases y el Pleno aprobó igualmente las propuestas de revisión del Estudio de Seguridad y de las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento Mejoradas, afectadas en esta central, y acordó informar a favor de la solicitud efectuada. Paralelamente, el Pleno aprobó la modificación de diseño sobre la independencia de los sistemas eléctricos de esta misma central.

Finalmente, el Pleno se mostró favorable a la implantación de los requisitos de la Instrucción Técnica Complementaria (ITC) postFukushima, no incluidos en la ITC de adaptación a la situación de cese en Santa María de Garoña.

Apertura de expediente sancionador a Vandellós II

En la reunión de Pleno del 8 de marzo,

la Secretaría General presentó a consideración la apertura de expediente sancionador al titular de la central nuclear Vandellós II por incumplimiento de la instrucción del Consejo IS-30 sobre requisitos del programa de protección contra incendios en centrales nucleares, de las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento y del Manual de Requisitos de Operación. El Pleno estudió los incumplimientos mencionados y la propuesta de apertura de expediente de la Dirección Técnica de Seguridad Nuclear y acordó, por cuatro votos a favor y el voto en contra de la consejera Cristina Narbona, su aprobación en los términos propuestos.

En esta misma reunión, el Pleno informó favorablemente la propuesta de revisión del Plan de Protección Física de Garoña así como el informe que, como consecuencia de la evaluación realizada, efectuó la Dirección Técnica de Seguridad Nuclear.

Plan de Comunicación del CSN

En su reunión de 5 de abril, la Secretaría General presentó a la consideración del Pleno la propuesta del Gabinete Técnico de la Presidencia relativa a la aprobación del Plan de Comunicación del Consejo de Seguridad Nuclear.

El objetivo del Plan es guiar la comunicación del CSN para mejorar la gestión de información y comunicación del organismo hacia las instituciones públicas, la sociedad y los grupos de interés, con el fin de incrementar y reforzar la credibilidad y la confianza en las actuaciones del Consejo. Después de estudiar la propuesta, el Pleno acordó por unanimidad su aprobación con las mo-

dificaciones de redacción introducidas en el transcurso de la reunión, así como la creación de un grupo de trabajo coordinado por el secretario general, para llevar a cabo el desarrollo de la comunicación interna.

Central nuclear de Trillo: solicitud de implantación del sistema de venteo filtrado de contención

El Pleno de 26 de abril informó a favor de la solicitud de autorización de la modificación diseño correspondiente al Sistema de Venteo Filtrado de Contención y aprobó las propuestas de cambio a las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento y al estudio de seguridad afectados por la modificación de la central nuclear de Trillo (Guadalajara), ambas afectadas a la implantación del nuevo sistema de venteo filtrado de contención presentada por el titular de la central nuclear.

Por otra parte, la Secretaría General presentó a la consideración del Consejo la propuesta de informe conjunto de la Dirección Técnica de Seguridad Nuclear y de la Dirección Técnica de Protección Radiológica de valoración de las conclusiones y recomendaciones recogidas en el informe del grupo de trabajo establecido por las autoridades de Portugal y solicitado por el Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital en relación con el Almacén Temporal Individualizado (ATI) de la central nuclear de Almaraz (Cáceres).

El Pleno estudió la propuesta conjunta de las Direcciones Técnicas de Seguridad Nuclear y Protección Radiológica y acordó por unanimidad aprobarla con las modificaciones introducidas en el transcurso de la reunión.

www.csn.es

Nueva ventana de la web del CSN, para cumplir con la Ley de Transparencia

El Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), cumpliendo con la Ley 19/2013, de 9 de diciembre, de transparencia, acceso a la información pública y buen gobierno, contiene la información incluida en el apartado de publicidad activa, que comprende información institucional y organizativa, de normativa y económica.

Tal y como se establece en el preámbulo de la mencionada Ley, la transparencia, el acceso a la información pública y las normas de buen gobierno deben ser los ejes fundamentales de toda acción política. Además, esta Ley tiene un triple alcance: incrementa y refuerza la transparencia en la actividad pública, reconoce y garantiza el acceso a la información y establece las obligaciones de buen gobierno que deben cumplir los responsables públicos así como las consecuencias jurídicas derivadas de su incumplimiento.

En el marco de la evaluación de su cumplimiento, el pasado mes de febrero el Consejo de Seguridad Nuclear recibió en su sede al Consejo de Transparencia y Buen Gobierno para el análisis, desde el punto de vista de la transparencia y publicidad activa, de la página web del CSN que ocupa esta página. Ambas instituciones colaborarán de forma activa en el cumplimiento de la normativa y la mejora de la transparencia. 



Publicaciones



The Problem of Safety Margin Assessment within the Risk-Informed Regulation

Colección Otros Documentos 41.2017



IX Jornadas sobre calidad en el control de la radiactividad ambiental

Sitges, 15-17 de junio de 2016



Instrucción IS-30, revisión 2, sobre requisitos del programa de protección contra incendios en centrales nucleares



The Importance of Accident Time Evolution in Regulatory Safety Assessment. Independent, Quantitative Tools and Methods at CSN to Ensure Adequate PSA/DSA Applications

Colección Otros Documentos 42.2017



Cartografía del potencial de Radón de España



El uso de radiaciones en medicina / CSN



Guía de Seguridad 1.15 (Rev. 1) Actualización y mantenimiento de los Análisis Probabilistas de Seguridad

Colección Guías de Seguridad del CSN

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 Seven new planets unleash speculation regarding extra-terrestrial life

An international team of astronomers has discovered a planetary system that has unleashed speculation regarding the possibility of extra-terrestrial life. The observations performed using telescopes located on Earth and in space indicate that there are at least seven planets, some thought to be similar to our own, in orbit around the star Trappist-1.

23 This is how soils containing radioactive waste are cleaned at the José Cabrera nuclear power plant

With progress now standing at around 80%, the dismantling work being carried out by Enresa at the José Cabrera nuclear power plant has reached a unique and specific stage within the overall project: the management of concrete and soils. The technique to be used to treat radiologically contaminated soils is new in the sector but widely used in other areas of decontamination: a soil washing plant.

36 Enrico Fermi: the brain that does not rest

At the University of Chicago, students, teachers and tourists mill around a sculpture with three thick and intertwined pillars apparently supporting a semi-circular cloud. The artist is Henry Moore and the source of his inspiration is explained in one of the plaques at the base: "On December 2nd 1942, on this very spot, Mankind achieved a self-sustaining nuclear chain reaction for the first time, thereby initiating the controlled release of nuclear energy". The sculpture is entitled 'Nuclear Energy' and was erected in 1967 to commemorate the twenty-fifth anniversary of the first controlled generation of this type of energy in an experiment by Enrico Fermi".

56 Lithium fever

Used for industrial applications and as a treatment for psychiatric pathologies for half a century, lithium has now emerged as a possible alternative to oil. The concentrations of this element in saltpans in Chile, Bolivia and Argentina have led to the area being christened the 'lithium triangle', and there is talk of a shift in geopolitical power to the region from the Middle East as electrical cars replace those using petrol as fuel. Goldman Sachs calls it the 'new gasoline'.

RADIOGRAPHY

54 Protection against cyber attacks at Spanish nuclear facilities

INSIDE THE CSN

20 The SAJ, 'legal engineering' at the service of nuclear safety and radiological protection

Legal support is indispensable to provide a legal basis for the Nuclear Safety Council (CSN) and its entire workforce. The Legal Advisory Services sub-directorate (SAJ) is in charge of this work and fulfils the, at times invisible, function of promptly detecting whatever problems might arise in this area and of channelling, transforming and facilitating projects from the very beginning.

INTERVIEW

14 Interview with Manuel Rodríguez Martí, secretary general of the Nuclear Safety Council

"The strength of the CSN lies in the qualification and experience of its personnel"

TECHNICAL ARTICLES

28 Application of the FDS code to the simulation of fires at nuclear power plants

The Spanish regulatory framework requires the licensees of nuclear power plants to have in place a programme for protection against fires in accordance with CSN Instruction IS-30.

42 The importance of stakeholders in the nuclear and radiological sphere

Over the years the concept of stakeholders has become increasingly important in the nuclear and radiological sector.

47 OECD-BSAF projects: International collaboration to respond to the challenges posed by the Fukushima accident

In the wake of the Fukushima accident the international community initiated efforts to shed some light on its key elements. One of the most important performed to date is the OECD Nuclear Energy Agency's BSAF (Benchmark Study of the Accident at the Fukushima Daiichi NPP).

- 62 Chain Reaction
- 64 Panorama
- 68 Plenary Agreements
- 69 csn.es
- 70 Publications



Súmate a los 110.000

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

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