CSN

alfa

Revista de seguridad nuclear y protección radiológica
Consejo de Seguridad Nuclear
Número 24
II trimestre 2014

Emergencias bajo control

La supervisión de las fuentes radiactivas

Entrevista a Antoni Gurguí Ferrer, consejero del CSN

El eco del Big Bang

El CSN por dentro

Cómo es y quiénes forman la Dirección Técnica de Seguridad Nuclear

Toda la información sobre seguridad nuclear y protección radiológica, de la mano del organismo regulador

www.csn.es

CSN CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

Radiaciones bajo control

El empleo de fuentes radiactivas, tanto en instalaciones médicas como en industriales, requiere un control durante su transporte y uso que centra parte de los esfuerzos del Consejo de Seguridad Nuclear. En este nuevo número de *Alfa* explicamos cuál es la labor del organismo regulador en este campo así como los tipos y categorías de fuentes radiactivas que se emplean en España. Además, echamos un vistazo al uso de las pruebas de radiodiagnóstico. En todo el mundo se realizan cada año más de 3.600 millones de estudios radiológicos orientados al diagnóstico de enfermedades, lo que representa aproximadamente una media de una prueba por cada dos personas y año. El reto pasa por reducir las pruebas innecesarias y optimizar las dosis de radiación. Precisamente, un tipo de esos exámenes médicos ocupa la sección *Radiografía* en este número: la tomografía axial computarizada.

El consejero Antoni Gurguí toma la palabra en este número en las páginas correspondientes a la entrevista para hacer un repaso, entre otros asuntos, a la puesta en marcha de las mejoras post-Fukushima y recordar cómo fue el proceso de revisión de los planes de acción nacionales en los que se recogieron esas mejoras.

Concretamente, una de las novedades que se incluyeron en esos planes de mejora fue la incorporación de sistemas de venteo filtrado de la contención en las centrales nucleares. Sobre este tema y su importancia para reducir la emisión de radiactividad al exterior en el caso de un accidente se centra el artículo técnico de este trimestre. En la actualidad, los titulares de las centrales nucleares están analizando las alternativas tecnológicas existentes sobre los sistemas de venteo con el fin de presentar al Consejo de Seguridad Nuclear la solución que van a aplicar en sus instalaciones.

> *El reto pasa por reducir las pruebas innecesarias y optimizar las dosis de radiación*

La reciente sección *CSN por dentro* nos trae, en esta ocasión, una mirada al núcleo de la supervisión de las instalaciones. Conoceremos de cerca la Dirección Técnica de Seguridad Nuclear, dirigida por Antonio Munuera Bassols, su composición, funciones y retos.

Este año se celebra el 50 aniversario del descubrimiento de la radiación de fondo, un rescoldo de la gran explosión que, según establecen algunas teorías, dio origen al principio del Universo. Su hallazgo se produjo por parte de dos jóvenes físicos de Estados Unidos tras la limpieza de una antena de comunicaciones que habían encontrado abandonada. Retrocedemos también en el tiempo para averiguar qué escondía la necrópolis de Tebas, de la mano de un equipo de arqueólogos, geólogos y arquitectos españoles y su vinculación con el uso de un isótopo radiactivo bastante conocido: el carbono-14.

Incluimos también un reportaje sobre cómo se organiza y funciona la Sala de Emergencias del CSN. Compuesta por cuatro grupos y una sala de dirección, la Salem se encuentra activa durante las 24 horas de todos los días del año.

alfa

Revista de seguridad nuclear y protección radiológica
Editada por el CSN
Número 24 / II trimestre 2014

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

Comité de Redacción
Ángel Laso D'lom
Concepción Muro de Zaro
Natalia Muñoz Martínez
Antonio Gea Malpica
Manuel Aparicio Peña
Ignacio Fernández Bayo

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

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

Fotografías
CSN, Divulga, Javier Fernández, iStockphoto y Depositphotos

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

Fotografía de portada
CSN

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

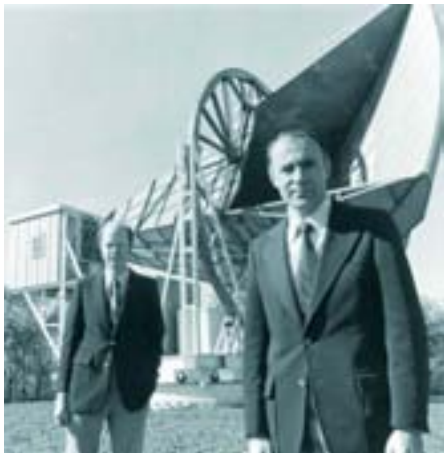
© Consejo de Seguridad Nuclear

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

REPORTAJES

4 Emergencias bajo control

La Sala de Emergencias del Consejo de Seguridad Nuclear se mantiene alerta y lista para actuar las 24 horas del día y los 365 días del año, para hacer frente a las situaciones de alerta ante un posible incidente ocurrido en alguna de las instalaciones nucleares o radiológicas españolas.



13 El eco del Big Bang

La radiación de fondo es el residuo de la gran explosión con la que, según las teorías vigentes, nació el Universo. En 2014 se cumple medio siglo de su descubrimiento y todavía sigue dando pistas de aquellos tiempos remotos: investigaciones por confirmar indican que su polarización lleva la marca de las ondas gravitacionales generadas durante el Big Bang.

20 El control de las fuentes radiactivas

Las fuentes radiactivas se emplean en muchos ámbitos, desde la medicina a la industria. En España las medidas de control existentes han permitido que su utilización se haya producido hasta la fecha sin incidentes de seguridad significativos.

44 SENER, la excelencia en el ADN

La empresa SENER, fundada en Bilbao hace casi 60 años, es una de las ingenierías más antiguas de España, que sigue en la vanguardia tecnológica. Su trabajo incluye el diseño de barcos, trenes de alta velocidad, motores de avión y hasta la navegación espacial, pero su principal campo de actuación es el mundo de la energía: centrales nucleares, termosolares, regasificadoras y ciclos combinados.

48 Viaje en el tiempo bajo la arena egipcia

En 1949 se realizó la primera datación basada en el carbono-14, con dos muestras de madera de un yacimiento del antiguo Egipto. El país del Nilo sigue siendo uno de los mayores tesoros de la arqueología mundial, y los españoles juegan un papel relevante en los nuevos descubrimientos, a pesar de las restricciones presupuestarias que sufre la ciencia en nuestro país y la frágil situación política y social de Egipto.

56 Radiografías, las justas

Cada año se realizan en España casi tantos exámenes radiológicos con fines diagnósticos como habitantes tiene el país y crece vertiginosamente el número de TAC, las que aportan más radiación ionizante al organismo. Aunque la prevención de los riesgos de estas pruebas está garantizada en toda Europa, podrían evitarse hasta el 30 % de los exámenes radiológicos.

El CSN POR DENTRO

10 Los protagonistas de la supervisión de las instalaciones nucleares

Esta sección, destinada a difundir el funcionamiento del Consejo de Seguridad Nuclear a través de su organigrama, se acerca en esta ocasión a la Dirección Técnica de Seguridad Nuclear.

38 RADIOGRAFÍA

Tomografía axial computarizada (TAC).

ENTREVISTA

32 Antoni Gurguí Ferrer, consejero del CSN

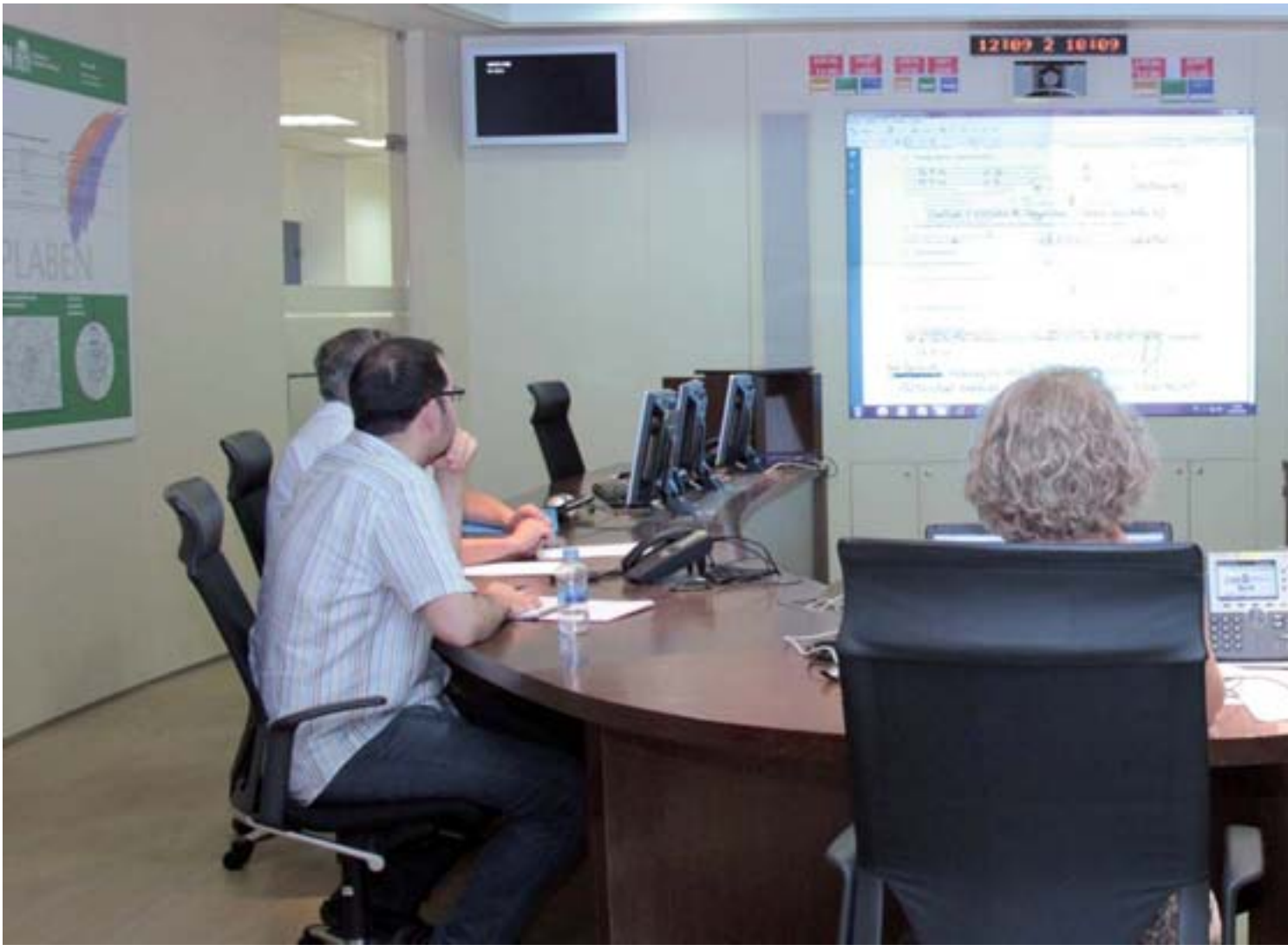
"La regulación es un trabajo del día a día, continuado, callado, y en el cual el éxito se mide precisamente por no ser noticia".

ARTÍCULO TÉCNICO

25 El venteo filtrado de la contención en accidente severo

Como resultado de las pruebas de resistencia post-Fukushima, las centrales nucleares españolas identificaron diversos aspectos de mejora, entre los que se encuentran los sistemas de venteo filtrado de la contención, por su importancia para salvaguardar la integridad de la contención y para reducir la emisión de dosis al exterior.

40 **Reacción en cadena**
61 **Panorama**
66 **Acuerdos del Pleno**
68 **El CSN informa**
71 **csn.es**
72 **Publicaciones**



Cómo actúa el Consejo de Seguridad Nuclear ante una alarma nuclear o radiológica

Emergencias bajo control

La Sala de Emergencias del Consejo de Seguridad Nuclear (Salem) es la responsable de hacer frente a las situaciones de alerta producidas por un accidente en alguna de las instalaciones nucleares o radiológicas de nuestro país. Para ello dispone de los sistemas más sofisticados de comunicación y cálculo, que permiten a sus técnicos conocer la evolución de las situaciones de emergencia y a sus responsables proponer las actuaciones que se deben realizar para solucionar el problema y evitar o atenuar sus consecuencias. Es también el escenario donde se llevan a cabo los simulacros que las principales instalaciones deben realizar periódicamente y permiten mantener a todos los especialistas entrenados. Gracias al equipo interdisciplinar de técnicos que está a su servicio, la Salem está activa y lista para actuar las 24 horas del día y los 365 días del año. ■ Texto: **Andrea Jiménez** | periodista científica de Divulga ■

Sala de Dirección de la Salem durante la realización de un simulacro.

Aquella mañana del 12 de marzo de 2011 fue la última vez que una situación real encendió la alarma de la Sala de Emergencias (Salem) del CSN. El día anterior, un terremoto de 8,9 grados en la escala de Richter, seguido de un tsunami, habían sacudido la central nuclear de Fukushima Dai-ichi, situada en la costa noreste de Japón, provocando tras su paso uno de los accidentes nucleares más graves de la historia tras el de la central ucraniana de Chernóbil.

A miles de kilómetros del archipiélago nipón, Juan Pedro García Cadierno, jefe del Área de Coordinación de Operaciones de Emergencia (COEM) del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) recibió la noticia del suceso esa misma noche. "Nos citaron a todo el equipo y a las nueve de la mañana del día siguiente estábamos todos en nuestro puesto en la Salem", recuerda.

Situada en la planta sótano del edificio que alberga la sede del organismo encargado de velar por la seguridad nuclear y la protección radiológica de los ciudadanos y el medio ambiente, la Salem es el centro de control desde el cual se coordinan las actuaciones de respuesta ante cualquier emergencia que entre dentro de las diversas competencias del CSN. Consta de una sala principal, donde se reúne el equipo que dirige la emergencia, y de otras cuatro salas que rodean la anterior y que se corresponden con sus cuatros grupos operativos: Coordinación (GCO), Análisis Operativo (GAO), Radiología (GRA) e Información y Comunicación (GIC).

El primero, tiene entre sus competencias más importantes la del mantenimiento y correcto funcionamiento de la Salem, cuya responsabilidad recae en el área de García Cadierno y es quien se mantiene en permanente alerta, listo para poner en marcha los protocolos de actuación en cuanto se recibe la notificación de una emergencia. La función de este grupo, además, es la de asegurar el flujo de información entre los órganos que componen la ORE (Organización de Respuesta ante Emergencias), así como la recepción y distribución de información sobre los incidentes, y la coordinación de los apoyos internos y externos.

Es el punto de arranque de la respuesta del CSN y, en consecuencia, "sus sistemas deben estar siempre en perfecto funcionamiento" explica su principal responsable. Para ello cuenta con un equipo híbrido de especialistas, entre los que se encuentran científicos e ingenieros y con un sistema de monitorización que permite ver en cualquier instante los sistemas y equipos necesarios para la gestión de la emergencia, así como la verificación del estado de los parques eléctricos nucleares del territorio español. Como parte de su estado de prealerta, recibe información constante de las redes de estaciones de vigilancia radiológica ambiental, "tanto de las automáticas, distribuidas por todo el territorio nacional, como de las de las instalaciones de materiales metálicos y aduanas".

El Grupo de Análisis Operativo (GAO) es el encargado de conocer lo que está ocurriendo en la instalación y de hacer el diagnóstico y pronóstico de la evolución del suceso. Para ello cuenta con un sistema de comunicación que le permite acceder directamente a los ordenadores de proceso de cada una de las

Sala del Grupo de Coordinación de la Salem.

centrales nucleares, lo que permite la recepción de sus principales parámetros de funcionamiento. "Para hacer un análisis de lo que está ocurriendo en una emergencia se reciben entre 200 y 300 parámetros cada 30 segundos", dice García Cadierno. Estas variables son la entrada para un sistema que permite predecir con antelación cuál será el estado de la planta en un instante posterior. "Primero, realizan un análisis de las posibles causas y, luego, llevan a cabo una predicción sobre su posible evolución, ante la cual proponen a la Dirección de la Emergencia las medidas que se deben tomar".

También maneja cuantiosa información el Grupo Radiológico (GRA), incluidos mapas y gráficos e información de la situación meteorológica. Este grupo es el encargado de examinar la situación generada por el accidente en el territorio que circunda la instalación y sugiere las medidas de protección adecuadas para paliar las consecuencias radiológicas en la población y el medio ambiente. "El equipo cuenta con una serie de herramientas como el IGPS y RASCAL, sistemas mediante los que es posible conocer los datos meteorológicos detallados del entorno de las instalaciones nucleares, y hacer una estimación de la dosis que recibiría la población en caso de emergencia nuclear".

No menos importante es la misión del grupo de Información y Comunicación (GIC), encargado de gestionar toda la información para notificarla a los diversos organismos e instituciones que forman parte de la respuesta a la emergencia. Gracias a los sistemas ECURIE / WebECURIE y EMERCON / USIE, emiten información directamente a la Unión Europea y al Organismo Internacional de Energía Atómica, respectivamente. Además, son los encargados de preparar la información que debe remitirse a la población y a los medios de comunicación. "Los comunicados se van elaborando a medida que se producen modificaciones importantes en la emergencia". Como norma general de actuación deben tener presente que sea puntual, precisa y significativa.

Cuando se produce una emergencia, los responsables de cada grupo se reúnen en la sala principal de la Salem para ir informando a la Dirección de la Emergencia. A partir de toda la información disponible, procedente de los cuatro grupos operativos, la Dirección, que se encuentra en permanente contacto audiovisual por teleconferencia a través de una pantalla gigante con las autoridades responsables de la emergencia, emite las recomendaciones pertinentes sobre las actuaciones concretas que, en opinión del CSN, deben realizarse.

Dotada de una red privada virtual que permite las comunicaciones de voz y de datos, la sala está directamente conectada con Red Eléctrica de España a través de un sistema que proporciona

Falsas alarmas

Un bombero con el brazo contaminado fue el protagonista del desenlace en el que derivó el incendio ocurrido el pasado abril en las instalaciones de El Cabril, el centro de almacenamiento de residuos de baja y media actividad situado en Córdoba. Tras la faena de extinguir un fuego que estaba abrasando un camión de residuos en uno de los edificios, el trabajador tuvo que ser trasladado a los servicios médicos para proceder a los lavados correspondientes y asegurar la descontaminación total del miembro y otras partes del cuerpo. Por suerte, el siniestro solo formaba parte de uno de los simulacros anuales que incorpora el Plan de Emergencia Interior que tiene asignado cada instalación nuclear en España. Una maniobra que el Consejo de Seguridad Nuclear siguió, como todas las que se realizan regularmente, de forma integral desde la Salem.

"Cada planta tiene una serie de documentos oficiales para su explotación y uno de ellos es el Plan de Emergencia Interior".

Todas las centrales nucleares españolas, incluso aquellas en situación desmantelamiento, como José Cabrera y Vandellós I , tienen un organigrama similar, cuyas diferencias en su plan de emergencia externo las determina su situación territorial.

Así lo evidencia el Plan de Emergencia Nuclear Exterior de la provincia de Tarragona (PENTA), que incorpora una participación de los cuerpos de seguridad de la comunidad, cosa que no sucede en otras plantas, como la de Almaraz, en Cáceres, donde no existe policía autónoma. Otra singularidad de esta provincia catalana es que tiene dos plantas con tres reactores (Vandellós II y Ascó I y II), lo que conlleva también diferencias específicas en su plan.

Este tipo de operaciones simuladas supone para la propia Organización de Respuesta a Emergencias del CSN una forma de mantenerse en forma, de aprender de la experiencia y de incorporar mejoras en los procedimientos. No solo con los simulacros realizados con instalaciones españolas sino también los que se realizan internacionalmente en coordinación con la Unión Europea y con otras instituciones, como el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).

Técnicos de la Unidad de Intervención analizando los niveles de radiación.

información sobre la conexión o desconexión a la red eléctrica de las centrales nucleares.

La Salem también dispone de sistemas audiovisuales en cada sala (uno por cada grupo más el de la Dirección) y sistemas de videoconferencia que permiten establecer la comunicación con los directores de los planes de emergencia nuclear así como con los demás organismos responsables de tomar parte en una emergencia, como Protección Civil, la Secretaría del Estado de Seguridad del Ministerio del Interior y las Fuerzas Armadas. Durante los últimos nueve años, los que han pasado desde que se remodeló la Salem, el desarrollo tecnológico le ha ido acompañando en su andadura, incorporando a sus sistemas los programas más punteros para mejorar su capacidad de respuesta.

Todo ello se puso a prueba con el accidente de la central japonesa de Fukushima. En el momento del accidente, la central japonesa disponía de seis reactores, de los cuales tres se encontraban operando y la mitad restante estaban

parados por una inspección periódica. El Organismo de Internacional de Energía Atómica clasificó el accidente en el nivel 7 de la escala INES, y toda la población tuvo que ser evacuada en un radio mínimo de 20 km. A pesar de la lejanía del suceso, el Consejo de Seguridad Nuclear también tuvo que ponerse en situación de alerta. "Como el accidente había sido muy lejos y las consecuencias radiológicas no iban a llegar hasta aquí, no se activó la ORE como tal, pero sí que se creó una célula de emergencia de crisis" explica García Cadierno.

El Gobierno de Japón había decidido no repartir pastillas de yoduro potásico, que sirven como bloqueantes de la incorporación del yodo radiactivo a la glándula tiroides. Mientras la población de Fukushima seguía las indicaciones del Gobierno, la Embajada Española en Japón enseguida se puso en contacto con el CSN para contrastar las directrices que había lanzado el país oriental a la ciudadanía. "Hubo que hacer una evaluación para ver si las recomendaciones del Gobierno japonés sobre la distribución o no de pastillas entre la población eran las acertadas, y concluimos lo mismo que ellos. Cuando se da un medicamento hay que tener en cuenta si los beneficios serán mayores que los perjuicios. Y en aquella situación no estaba justificado ofrecer estas pastillas, que podían provocar otras complicaciones médicas", dice García Cadierno. Si Japón había decidido que aquella medida no era necesaria, tras la valoración de la situación, España avaló la decisión.

El Gabinete de Prensa nunca recibió tantas llamadas como en los días posteriores al accidente. "El teléfono no paraba de sonar y sufrimos una avalancha de consultas de todo tipo en la página web". Aquello supuso una sobrecarga de trabajo y de tiempo, ya que en caso de emergencia se reorganizan las

Trabajadores del CSN durante un simulacro.

jornadas de trabajo. También se modifica el esquema jerárquico, ya que en una emergencia toda la responsabilidad de la toma de decisiones recae en una sola persona: el director de la emergencia, que suele ser el presidente del CSN. En situaciones normales, el peso de las decisiones queda repartido entre su voto y el de los cuatro consejeros que conforman el Pleno del Consejo. Pero en estas circunstancias especiales, el órgano colegiado asume un papel de comité asesor del presidente, pero la suya es la última palabra.

Tipos de emergencia

Teniendo en cuenta esta disposición, cuando se produce un incidente que activa la Salem, debe de ponerse en conocimiento de alguno de los dos directores técnicos. "Si el suceso ha tenido lugar en una central nuclear, durante el transporte o en la fábrica de combustible de uranio, se avisa al director de Seguridad Nuclear. Si por el contrario, ha sido en una instalación radiactiva, durante el ciclo de minas, o un accidente en una central nuclear extranjera, será competencia del director técnico de Protección Radiológica".

El número de personas que forman parte de cada grupo operativo presente en la Salem variará, por otro lado, en función del tipo de emergencia. "Dos para el modo 0 de emergencias, 11 para el modo 1, 40 para el modo 2, y todo el personal técnico del CSN está a disposición del director de Emergencia cuando la alarma llegue al modo 3, lo cual no significa que todo el cuerpo técnico del CSN esté en la Salem, ya que existen determinados trabajos o funciones que se pueden realizar desde los despachos".

El correspondiente director de Operaciones de Emergencia propone su recomendación al director de la Emergencia de la instalación, y este lo transmite al delegado de la comunidad autónoma o al subdelegado del Gobierno en la provincia donde se ubica la planta, y que

Sala de Control de una central nuclear.

están localizados en el Centro de Coordinación Operativa (CECOP). A él compete la Dirección de la Emergencia en el exterior de la instalación nuclear.

La dirección de la Emergencia también es la responsable de dar la voz de alarma a la ciudadanía cuando el asunto tiene suficiente importancia. Según García, "en todos los pueblos cercanos a una central nuclear existe un sistema de megafonía y el alcalde del pueblo correspondiente se encarga de hacer el comunicado. Además, están las emisoras de Radio Nacional de España, que también transmiten las instrucciones a la población". Unas instrucciones que deben ser directas y rotundas.

Así lo establece el plan de emergencia, que se organiza en dos niveles distintos y complementarios: el de respuesta interior, específico para cada central nuclear, y el de respuesta exterior, compuesto por la organización del plan de emergencia nuclear de nivel central de respuesta y apoyo, y toda la organización exterior a esta. Elaborado en 2003, este plan se ha ido revisando y modificando a partir de la experiencia acumulada.

Fukushima

Fukushima ha supuesto un punto de reflexión y adopción de nuevas medidas de seguridad en las centrales nucleares y también en los procedimientos de gestión de las emergencias.

En Fukushima el terremoto fue el primer responsable en dejar aislada, sin alimentación eléctrica exterior, a la central. Pero el gran destrozo lo cometió el gigantesco *tsunami* posterior, que inundó la planta baja donde se encontraban los generadores diesel de sustitución, provocando que dejaran de funcionar. "Se intentaron conectar otros de repuesto, pero no respondían porque todo estaba inundado. Y de esa forma la central se quedó sin energía, ni interna ni externa".

A raíz de la experiencia, se consideró que cada central nuclear debía de contar con un centro de almacenamiento de bombas de generadores diesel en un sitio lejano a las plantas para un caso de emergencia. Además, se incidió la revisión del plan básico de emergencia nuclear, ampliando el rango de las zonas de planificación.

"Por otro lado, cuando sucedió Fukushima, los japoneses tenían un centro alternativo de gestión de emergencias desde el cual se organizaban todas las intervenciones que eran necesarias." Esta medida, que España no incorporaba en sus planes de emergencia, es otra de las que el CSN pretende añadir al nuevo plan, que según García Cadierno, "está basado en la experiencia adquirida y acumulada desde que se hizo este primer documento".

Aunque la posibilidad de un accidente nuclear en nuestro país es remota, tranquiliza conocer el sistema de emergencias existente y saber que se encuentra en continua alerta, con una sala adecuada, en manos de personal técnicamente cualificado, y dotado de los mejores sistemas informáticos.

Equipo de la Dirección Técnica de Seguridad Nuclear.

Dirección Técnica de Seguridad Nuclear

Los protagonistas de la supervisión de las instalaciones nucleares

"Conseguir las condiciones de explotación adecuadas, prevenir accidentes y atenuar sus consecuencias, de manera que se proteja a los trabajadores y al público en general de los riesgos producidos por las radiaciones procedentes de instalaciones nucleares". Así define el Organismo Internacional de Energía Atómica la seguridad nuclear. ■ Texto: **Vanessa Lorenzo López |** Área de Comunicación del CSN ■

En nuestro número anterior inauguramos la sección "El CSN por dentro", un rincón dedicado a conocer a todas y cada una de las personas que componen el organismo regulador. El propio nombre de este ente público puede inducir a los profanos en la materia a pensar que se trata de una institución dedicada pura y exclusivamente a la seguridad nuclear.

Por ello decidimos estrenar el nuevo apartado presentándole al lector, en primer lugar, la cara quizás menos conocida del CSN, la de un equipo de profesionales que asume la gran responsabilidad de la protección radiológica de los trabajadores, la población y el medio ambiente.

Hoy le toca el turno a la faceta más conocida del organismo, su Dirección Técnica de Seguridad Nuclear. Tal y como el lector imagina, desde aquí se supervisan las centrales nucleares que conforman el parque nuclear español. Esta dirección vigila de cerca el funcionamiento de las instalaciones y, ante cualquier situación que afecte a la seguridad e implique un manifiesto e inminente peligro, puede suspender la actividad de la planta. Además, cuando las circunstancias suponen un riesgo para la seguridad tiene potestad para proponer la apertura de expedientes sancionadores.

Los trabajadores de esta dirección del CSN no solo evalúan e inspeccionan el funcionamiento de las centrales, también supervisan el transporte de materiales radiactivos y trabajan para conseguir que se lleve a cabo una buena gestión

del combustible gastado y de los residuos radiactivos de alta actividad.

Precisamente, respecto a este último aspecto, el organismo regulador decidió a principios de este año reforzar el número de efectivos dedicados a la materia, adelantándose a la gran carga de trabajo que suponen las solicitudes de autorización previa y de construcción de un almacén temporal centralizado (ATC) para el combustible gastado y los residuos de alta actividad. Dichas solicitudes fueron presentadas por la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, S.A. (Enresa) ante el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, y sobre ellas el Consejo de Seguridad Nuclear deberá emitir un informe preceptivo.

Un engranaje ajustado

Los más de 120 profesionales que componen esta dirección técnica trabajan en una estructura perfectamente orquestada en torno a tres subdirecciones dedicadas a instalaciones nucleares, ingeniería y tecnología nuclear. Al frente de ellas encontramos a técnicos de reconocido prestigio y dilatada trayectoria dentro del organismo: Manuel Rodríguez, José Ramón Alonso y Rafael Cid, respectivamente. Pero toda orquesta necesita un director y, en este caso, la responsabilidad recae sobre Antonio Munuera, el director técnico de Seguridad Nuclear que garantiza el perfecto engranaje de la dirección.

Licenciado en Ciencias Físicas por la Universidad Complutense de Madrid, Munuera inició su andadura profesional trabajando en la industria privada como instructor de operadores de centrales nucleares y, anteriormente, en la Junta de Energía Nuclear. Desde su ingreso en 1985 como funcionario de la Escala Superior del Cuerpo Técnico de Seguridad Nuclear y Protección Radiológica del CSN, ha desempeñado diferentes funciones. Trabajó como jefe de unidad, jefe de área y subdirector en la Subdirección

Entrevista a Antonio Munuera

"Cuento con un equipo con la más alta cualificación y experiencia"

PREGUNTA: ¿Cómo ha sido el primer año desde su nombramiento como director técnico de Seguridad Nuclear?

RESPUESTA: No puedo decir que haya sido un año tranquilo sino todo lo contrario. Ha sido un año en el que hemos tenido que afrontar muchas actividades simultáneamente. A algunas de ellas les hemos tenido que dedicar una atención especial y además en un breve espacio de tiempo. A veces decimos que tenemos muchos "frentes" abiertos.

Además, ha sido un año en el que hemos empezado a incorporar pequeños cambios con el objetivo de mejorar nuestras capacidades, han sido cambios organizativos y cambios en los métodos de trabajo, que se han realizado en colaboración con la Dirección Técnica de Protección Radiológica.

En definitiva, ha sido un año que se ha desarrollado con mucha ilusión y mucha dedicación, cumpliendo con nuestra misión para mejorar la seguridad nuclear de nuestras instalaciones nucleares.

P: ¿Cuáles son los retos a los que se enfrenta la Dirección Técnica?

R: La situación actual es, en general, cada vez más exigente en todos los ámbitos, y en el nuestro no podía ser diferente, se nos exige cada vez más e incluso con menos recursos. Pero nosotros no podemos olvidar que tenemos que cumplir con la parte de la misión del CSN que nos afecta: "… proteger a los trabajadores, la población y el medio ambiente de los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes, consiguiendo que las instalaciones nucleares y radiactivas sean operadas por los titulares de forma segura…"; por ello, seguiremos esforzándonos en cumplir con esta misión.

Nuestro objetivo es, y seguirá siendo, la supervisión de las instalaciones nucleares de nuestro país, tanto las actuales como *[continúa en página 12]*

[viene de página 11] las futuras. Entre estas últimas debemos destacar el almacén temporal centralizado y su licenciamiento. Hace años que el CSN no se enfrenta al licenciamiento de una nueva instalación nuclear y en este caso es la primera vez que la solicitud incluye tanto la autorización previa como la de construcción. Asociadas a esta solicitud también será necesario licenciar otras actividades relacionadas, como las del transporte de los residuos de alta actividad y del combustible gastado.

El cumplimiento del Plan de Acción Nacional derivado del accidente de la central de Fukushima, comprometido con la Unión Europea, y la supervisión del cumplimiento por parte de los titulares de los requisitos emitidos por el CSN en su momento, está suponiendo un reto y lo seguirá siendo hasta la finalización de este Plan de Acción.

Gestionamos el conocimiento para realizar una renovación generacional

La armonización de la normativa a escala europea, la incorporación de estos cambios en la reglamentación española y la transposición de la nueva revisión de la Directiva de Seguridad Nuclear, cuya aprobación está prevista en el segundo semestre de este año, van a suponer un esfuerzo notable por parte de todos.

El CSN se creó a principios de los ochenta, y muchos de nosotros, que nos incorporamos al CSN en esa época, estaremos dentro de poco con una edad próxima a la de jubilación. Por ello es importante que el conocimiento existente en la organización no se pierda. Estamos llevando a cabo los primeros pasos en un proceso que nos permita gestionar mejor este conocimiento y así prepararnos para realizar una renovación generacional.

P: ¿Cuál es el principal objetivo en las relaciones internacionales?

R: Suena un poco a tópico, pero cada vez es mayor la participación internacional, y, en concreto, en actividades de comparación entre distintos expertos. Esto va a suponer tener que incrementar nuestra presencia en distintos foros internacionales, sobre todo de ámbito europeo. Un ejemplo de esto está presente en la propuesta de revisión de la Directiva de Seguridad Nuclear, en la que además de las revisiones de comparación internacional cada diez años se prevé una revisión cada seis años de algunos temas seleccionados. Esta demanda, previsiblemente, será cada vez mayor en los próximos años, lo que nos va a obligar a organizarnos mejor, para conseguir compaginar nuestra presencia en los foros internacionales sin olvidarnos de la supervisión de nuestras instalaciones.

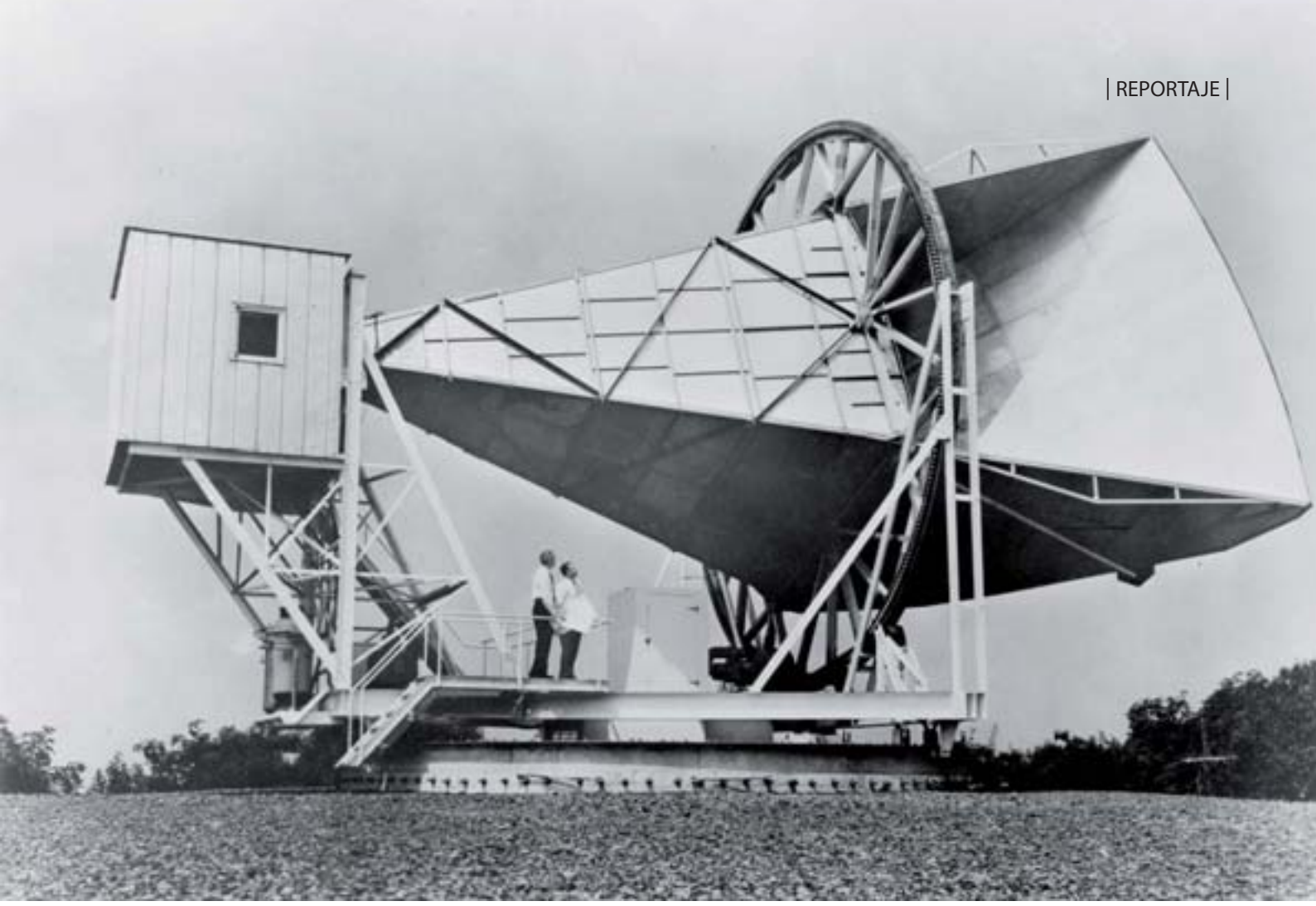
P: ¿Qué opinión le merece su equipo?

R: Las personas que integran el CSN son el mayor activo de este organismo, yo tengo la suerte de contar con un equipo cuya implicación, experiencia, profesionalidad, disponibilidad y dedicación son más que sobresalientes, sin olvidar su flexibilidad para adaptarse a situaciones imprevistas. Las personas que forman parte de la Dirección Técnica de Seguridad Nuclear son profesionales que disponen de la más alta cualificación y experiencia. Nuestro equipo contribuye, como una pieza más del CSN, a cumplir las funciones que este organismo tiene asignadas en su Ley de Creación.

de Ingeniería. Destaca también su trabajo en el ámbito internacional, en 1991 estuvo destacado durante un año en la Comisión Reguladora Nuclear estadounidense (NRC) como representante español del CSN. También durante casi un año formó parte del grupo de expertos hispano-británico que supervisó, entre 2000 y 2001, las actividades de reparación del submarino nuclear británico *HMS Tireless*. Actualmente, Munuera preside el grupo de trabajo sobre seguridad nuclear del Grupo Europeo de Reguladores de Seguridad Nuclear (ENSREG), que asesora a la Unión Europea.

Otro de los hitos históricos que este director vivió de cerca fue el accidente nuclear ocurrido en la central de Fukushima (Japón) en 2011. Su trayectoria profesional incluye su participación activa en la revisión de la seguridad de las instalaciones nucleares españolas y europeas llevadas a cabo a raíz del accidente. También formó parte del comité de expertos internacionales que realizó la revisión interpares de las pruebas acometidas en las centrales nucleares europeas, y ha llegado a ser el *team leader* de las misiones de Eslovenia, Bélgica y Francia.

Tras esta singladura profesional, Munuera asumió el cargo de director técnico hace más de un año y hoy sigue cumpliendo con el compromiso adquirido en abril de 2013: trabajar con especial dedicación, esfuerzo y rigor.



Se cumplen 50 años del descubrimiento de la radiación de fondo, que confirmó la teoría que explica el origen del Universo

El eco del Big Bang

Hace 13.800 millones de años el Universo era un infierno dominado por una radiación muy energética, de rayos gamma y, sobre todo, rayos X. Después, al expandirse, el Universo se fue enfriando y esa radiación fue perdiendo energía y recorriendo el espectro electromagnético hasta quedar en radiación de microondas. La llamada radiación de fondo es el residuo de la gran explosión con la que, según las teorías vigentes, nació el Universo, y es fácilmente detectable en cualquier dirección en la que miremos al cosmos. En 2014 se cumple medio siglo de su descubrimiento y todavía siguen dando pistas de cómo fue el espacio en sus orígenes. Recientes investigaciones sugieren que su polarización lleva la marca de las ondas gravitacionales generadas durante el Big Bang.

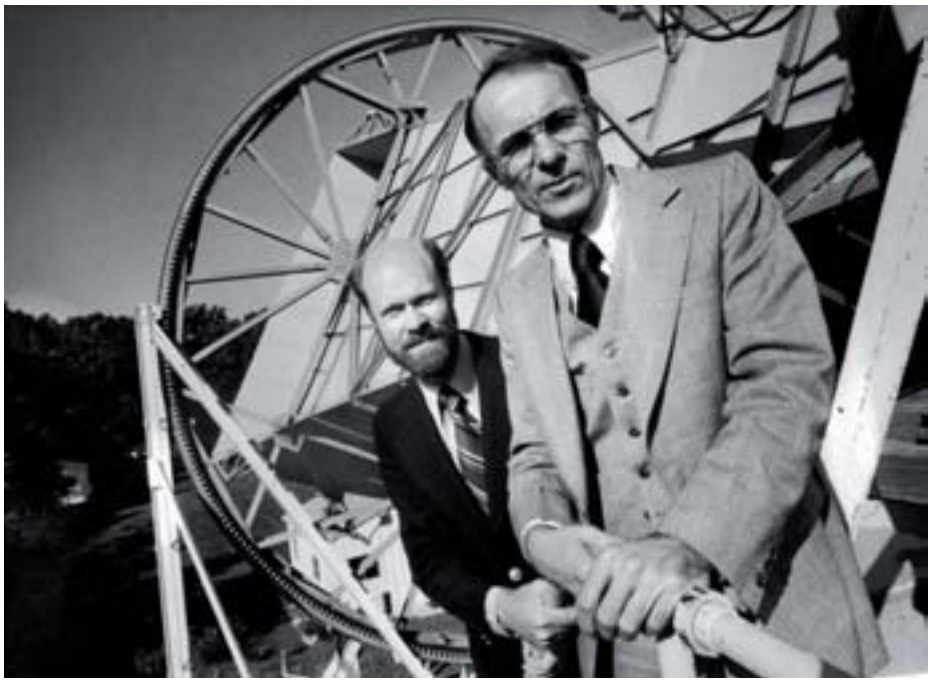
■ Texto: **Elvira del Pozo** | periodista científica ■

Cuando a principios de los años 60, dos jóvenes físicos intentaban arreglar las interferencias de una antena de comunicaciones perdida en la campiña estadounidense, nada hacía sospechar que estaban a punto de cambiar la historia. Arno Penzias y Robert Wilson probaron y repararon su receptor, lo limpiaron concienzudamente, pero seguía captando un desagradable ruido de origen desconocido independientemente de hacia dónde apuntaran. Lo que no podían sospechar es que aquella impertinente molestia pondría en sus manos el Premio Nobel de Física. Como ha ocurrido con tantos descubrimientos científicos —como el de los rayos X y el de la penicilina— fue una "combinación de investigación y suerte", como reconocía el propio Penzias en una entrevista, lo que les llevó a concluir,

en 1964, que ese ruido era el eco del Big Bang: la gran explosión que dio origen al Universo.

Hasta entonces, había dos teorías enfrentadas para explicar el cosmos: la del estado estacionario, que mantenía que el espacio siempre había sido y será como se ve ahora, y la de la gran explosión, que sostenía que el Universo nació de un punto muy denso y caliente, que fue expandiéndose y evolucionando hasta formar las galaxias actuales. Como no se disponía de datos observacionales a favor de una o de otra, estaban en empate técnico.

El descubrimiento de Penzias y Wilson era el remanente de ese pasado tan energético, conocido como radiación de fondo de microondas. Su detección, por primera vez en la historia, "supuso el respaldo a la teoría de la explosión inicial que explica que el Universo está en expansión y que cada vez es más frío", cuenta el investigador principal de la Universidad de Harvard y fundador del Centro de Astrobiología (Madrid), Juan Pérez Mercader. Hoy, cualquiera puede observarla en directo. Basta con encender un televisor en una banda sin emisión: buena parte de los chispeantes puntos que aparecen en la pantalla proceden de esa radiación de fondo de microondas.



Arno Penzias y Robert Wilson ante el telescopio con el que descubrieron la radiación de fondo.

Un artículo alfabético

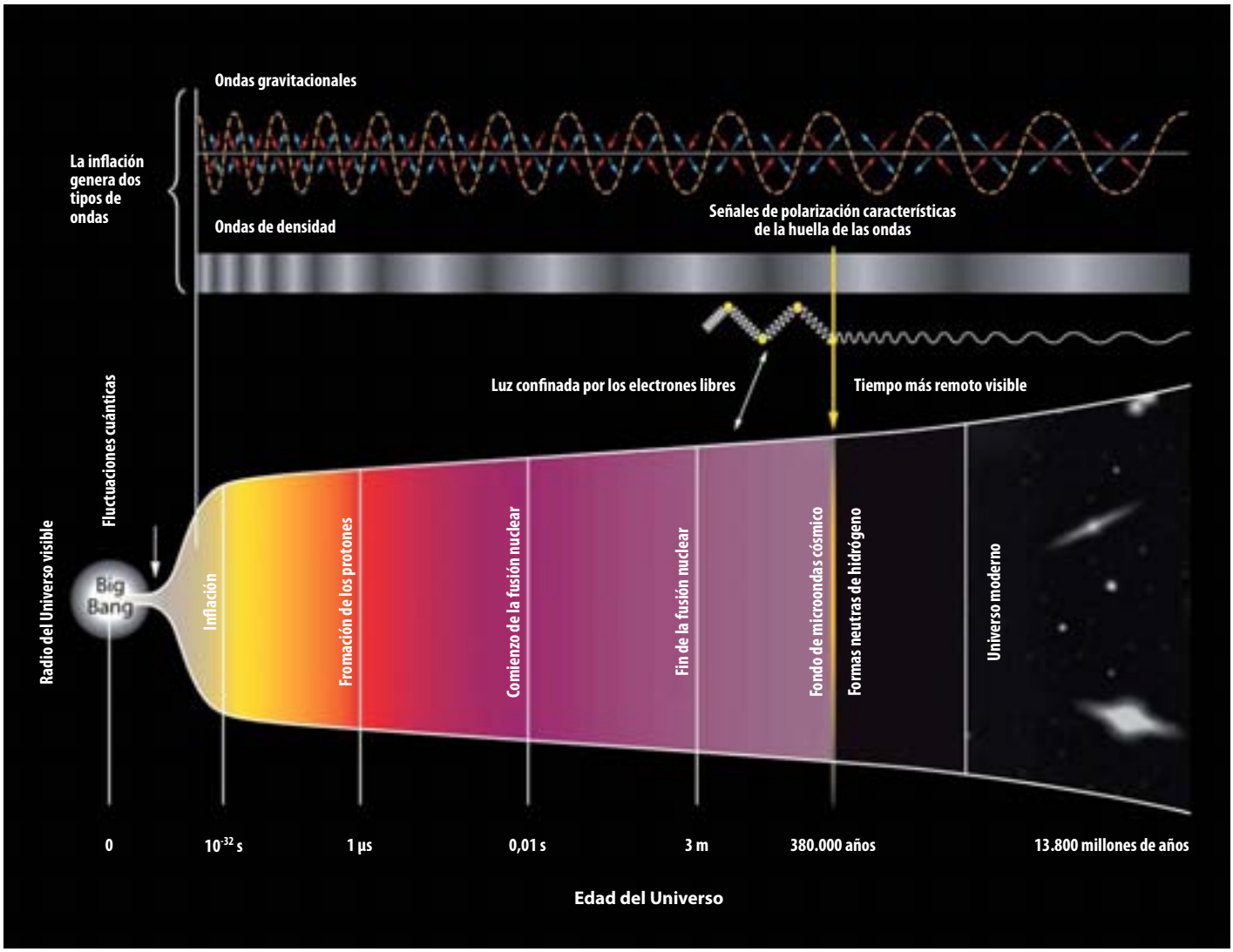
Años antes, en la década de 1920, se inició la carrera cosmológica cuando el astrónomo estadounidense, Edwin Hubble, comprobó a través de su telescopio la existencia de las galaxias —denominadas por entonces universos-isla— y también que todas ellas parecían estar alejándose de nosotros a velocidades más altas cuanto más lejanas. El descubrimiento parecía indicar que el Universo se estaba dilatando constantemente. Una posible explicación llegaría en 1948, de la mano de George Gamow y Ralph Alpher. Estos dos físicos, de origen ucraniano y ruso, respectivamente, creían que se debía a que el cosmos se había originado a partir de una gran explosión, como exponían en un artículo en el que incluyeron a otro físico, Hans Bethe, que ni siquiera había participado en el trabajo. "Gamow, aparte de ser un visionario extraordinario, tenía un gran sentido del humor, e incluyó a su colega para poder hacer un juego de palabras de los tres apellidos (Alpher-Bethe-Gamov) en alusión a las primeras letras del alfabeto griego (alfa, beta, gamma)", dice Pérez Mercader.

WWW.TICYSOSTENIBILIDAD.ORG

Juan Pérez Mercader.

Gamow y Alpher se basaron en el hecho de que los elementos más básicos de la tabla periódica —helio, litio, berilio…— no se pudieron haber formado, como el resto de los componentes, en los núcleos de las estrellas. Estos requieren condiciones más energéticas que las que hubiera habido en un cosmos mucho más concentrado y caliente que el actual. "En ese contexto sí se podrían haber originado reacciones termonucleares de fusión que habrían dado lugar a esos compuestos a partir de unos primigenios, como el hidrógeno", explica Pérez Mercader. Por eso, predijeron que la composición del Universo debería ser predominantemente de hidrógeno, en un 75 %, y de helio, en un 24 %.

También predijeron que para haberse dado esas condiciones, habría sido necesaria una explosión inicial de la que "debería quedar algún remanente, en forma de energía, que se ex-



Esquema de la evolución del Universo.

pandió conforme lo hacía el Universo", comenta Pérez Mercader. Esa radiación tenía que ocupar todo el espacio y estar a la misma temperatura que este, es decir, a unos 3 °K según las mediciones de la época, lo que le infería unas propiedades de microondas. Así surgió la idea de la radiación de fondo de microondas.

Durante la siguiente década, el físico de la Universidad de Princeton (EEUU), Robert Dicke, diseñó una tecnología que podría ser capaz de encontrar y medir esa radiación cósmica. La misma técnica fue utilizada en 1960 para construir la antena en la que Penzias y Wilson se desesperaban con las interferencias. Su objetivo, sin embargo, era bien distinto: seguir a los dos primeros satélites de telecomunicaciones de la historia, el Echo 1 y el Echo 2. "Estos eran unos enormes globos de 50 metros de diámetro, cubiertos interiormente con una especie de purpurina metálica, que utilizaban radiación microondas para establecer conexiones", explica Pérez Mercader.

Dicke y su equipo, centrados en la construcción de la antena que les llevaría sin querer a demostrar la teoría del Big Bang, no supieron de las penurias de los dos técnicos hasta que estos las expusieron en los cafés que organizaba asiduamente la Universidad de Princeton. Entonces, Dicke tuvo la certeza de que lo que Penzias y Wilson habían encontrado por casualidad era la radiación de fondo y exclamó "¡Chicos, nos han robado!", cuenta Pérez Mercader. Y no le faltaba razón porque en 1975 los dos jóvenes físicos, y no Dicke, recibieron el Nobel de Física por este descubrimiento. "En opinión de algunos, también se lo deberían de haber dado a Dicke", indica Pérez Mercader.

Granito a granito

En 1989, la NASA puso en órbita a COBE, el primer satélite construido para estudiar con precisión la radiación de fondo. En declaraciones a *Alfa,* uno de sus in-

vestigadores, John C. Mather, cuenta cómo él y George Smooth demostraron que la luz cósmica era la típica que emite un cuerpo negro. "Si el cosmos primitivo era tan caliente y concentrado tenía que haber absorbido toda la energía que había en él, lo que se conoce como cuerpo negro". Como esto es lo que predecía el modelo del Big Bang, supuso su espaldarazo definitivo, indica.

Además, el COBE tomó medidas de la radiación cósmica en todas las direcciones y elaboró un mapa en el que quedó probado, por primera vez, otro aspecto sobre el que se teorizaba: que no toda tiene exactamente la misma temperatura, sino que se detectaban ligeras variaciones o anisotropías. La explicación es que "el plasma primigenio debió de tener pequeñas diferencias de masa, que marcaron a los fotones atrapados en él", explica Mather. Más tarde, cuando quedaron libres, la luz se propagó llevando la marca de ese pasado en su temperatura.

Según la célebre ecuación de Einstein, $e=mc^2$, donde hay más energía hay más masa; y esta crea un campo gravitatorio más fuerte. Así que esos "puntos fríos y calientes en la radiación representan las semillas a partir de las que se fueron formando las estrellas y los planetas actuales y que evolucionaron hasta lo que son ahora por la acción de la gravedad", explica Mather. En definitiva, "algunas partículas dejaron de expandirse porque fueron atraídas por zonas que eran un poco más densas". La importancia de ambos descubrimientos les valió a Mather y Smooth el Premio Nobel de Física en 2006.

John C. Mather.

Años más tardes, en 2001, la NASA lanzó otro satélite, la Sonda de Anisotropía de Microondas Wilkinson (WMAP, en sus siglas en ingles), en honor de David Wilkinson, uno de sus artífices. Este telescopio realizó un mapa mucho más preciso de las anisotropías o diferencias de temperatura de la radiación de fondo, mejorando la resolución y analizando con mayor detalle otras de sus características. La tercera gran incursión espacial para estudiar, entre otras cosas, la radiación de fondo es la misión europea Planck. Como cuenta el responsable de uno de sus grupos de investigación y cosmólogo del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Enrique Martínez, este era un telescopio que puso en órbita la Agen-

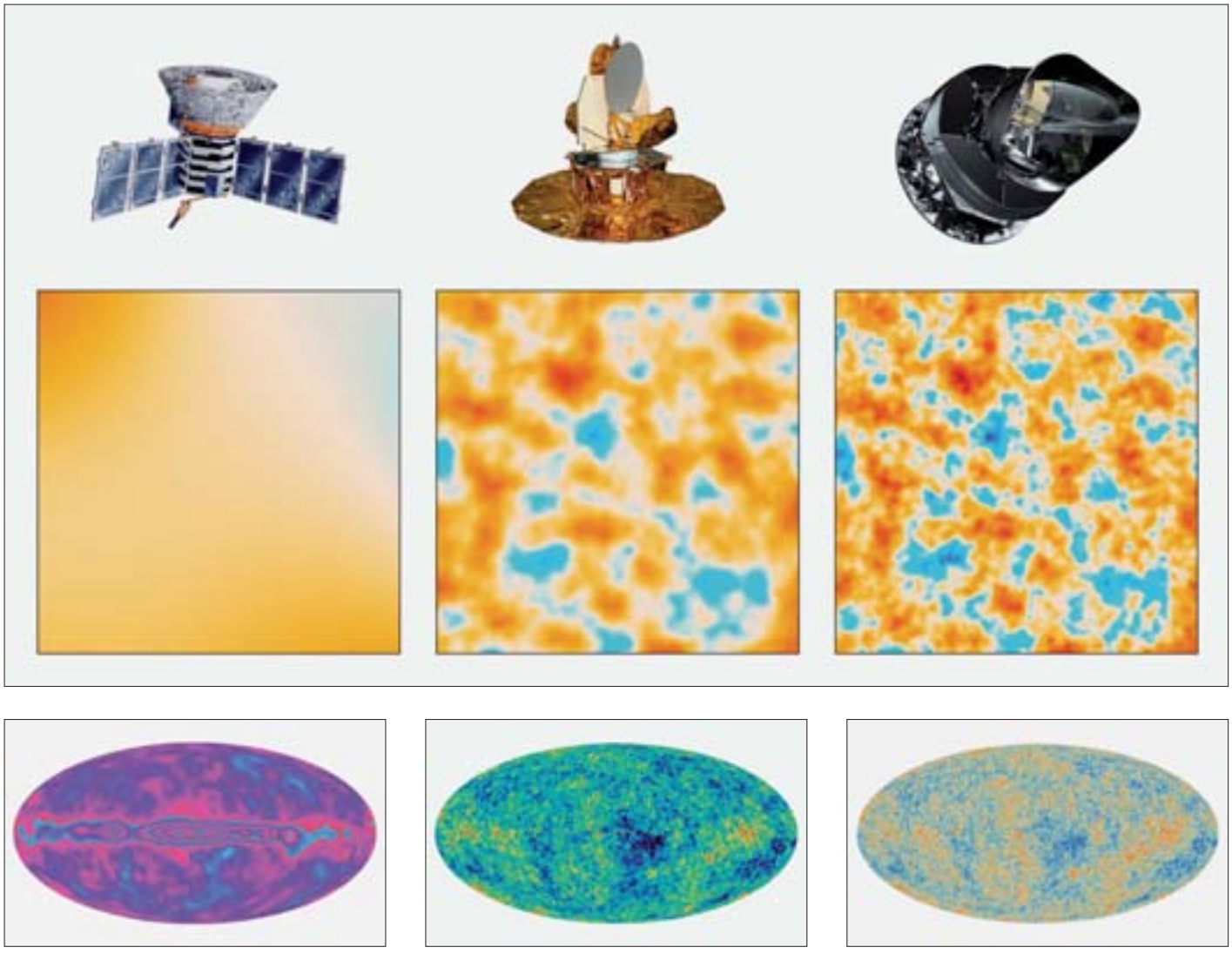
El futuro tiene nombre de mujer

La Agencia Espacial Europea (ESA, en sus siglas en inglés) quiere lanzar una misión espacial en 2034 con el objetivo de detectar ondas gravitacionales. Su nombre es LISA. Su hermana menor, LISA Pathfinder, se encargará de allanar el camino, desarrollando y probando la tecnología para que esté preparada para la puesta de largo dentro de dos décadas. Según el investigador Carlos F. Sopuerta, las ondas gravitacionales son un gran misterio: "Si como mantiene Einstein, todo gran movimiento de masa las produce, debería estar todo el Universo lleno de ellas y, sin embargo, no se han medido nunca. Estas ondulaciones del espacio harían que toda la materia que contiene oscilara como un corcho flotando en el mar, incluidos nosotros —una parte del cuerpo fluctuaría hacia un lado y otra hacia el otro—".

"Y esto es así, pero de una manera tan débil que resulta imperceptible", indica. Las variaciones son tan pequeñas que no se han podido observar hasta ahora. El BICEP2 previsiblemente ha podido detectar indirectamente el efecto de las grandes ondas que debió de producir un acontecimiento tan violento como la inflación tras el Big Bang. Pero "¿cómo medir las resultantes de fenómenos menos fuertes como el choque de dos agujeros negros o la implosión de una estrella?", se pregunta Sopuerta.

Desde luego, estas ondas gravitacionales son aún más pequeñas, por lo que para detectarlas se necesitaría lanzar varios satélites en formación alejados entre sí miles de kilómetros, explica el investigador. Mediante un láser se mediría la distancia entre ellos para detectar si se producen variaciones relativas. De esta manera, si pasase una onda gravitatoria podría determinar cómo sus posiciones oscilan unas con respecto a otras: "mientras un satélite se mueve hacia arriba, el otro todavía está quieto o se está desplazando para abajo", comenta.

Y aunque este es el planteamiento que se tiene para LISA, Sopuerta reconoce que habrá que esperar a ver cuánto de él se materializará. "Estas misiones son caras y la ESA, aunque tiene la intención, todavía no la ha aprobado", se lamenta.



De izquierda a derecha, resolución de los telescopios Cobe, WMAP y Planck.

cia Espacial Europea (ESA, en sus siglas en inglés) en 2009 y que estaba a una distancia de 1,5 millones de kilómetros de la Tierra, desde donde escaneó el cielo a lo largo de cuatro años.

El Universo transparente

El resultado fue el mapa más preciso que se conoce sobre la radiación cósmica, en el que quedan patentes las diferencias de temperatura que delatan las diferencias de masa en el espacio original. Además, publicó datos que confirmaron, una vez más, la expansión acelerada del Universo, proporcionó información más precisa sobre cuánta materia y energía hay en el espacio e hizo un plano de la situación de otras galaxias más allá de la Vía Láctea.

Enrique Martínez.

La única limitación de la radiación de fondo cósmica es que no informa de los primeros instantes del Universo, que por entonces era "como una sopa espesa, en la que la luz estaba constantemente chocando y dispersándose", explica Martínez. Había mucha energía, pero estaba atrapada en la materia: "como cuando hay niebla y se alumbra con el coche, pero no se ve nada", indica. Esta energía no se convirtió en radiación —fotones en movimiento— hasta 380.000 años después del Big Bang, cuando el Universo se enfrió y dilató lo bastante y la energía pudo propagarse por todo el cosmos en forma de onda. Para en-

Lo que el polvo cósmico esconde

El Universo es plano, homogéneo e isótropo. Tres cualidades fundamentales del cosmos que solo han podido explicarse con una teoría: la de la inflación. Ante la ausencia de otra alternativa, y pese a que "es difícil de creer lo que plantea —que el espacio aumentó 70 veces su tamaño en el instante inmediato al Big Bang—, nadie duda de su veracidad", explica el investigador del Instituto del Ciencias del Espacio, Carlos Sopuerta. "Aunque, si se confirmara la existencia de ondas gravitacionales de esa brusca expansión, se corroboraría definitivamente esta hipótesis", cuenta el experto.

"Ahí radica la importancia de validar los resultados que anunció el telescopio BICEP2, el pasado marzo", indica Sopuerta. Ya en mayo de este año, surgieron las primeras dos voces discordantes desde las tribunas de las revistas *Science* y *Nature*. Ambos análisis independientes plantearon que el efecto atribuido a las ondas gravitacionales podría no deberse tanto a ellas, sino a las interferencias del polvo cósmico que hay entre el telescopio y la radiación medida.

BICEP2 midió la polarización de la radiación de fondo de microondas y descontó todas las posibles causas que podrían tener efectos sobre ella. El resto que quedó sin explicar se supuso que era la consecuencia de las ondas primigenias. En ese proceso también descartaron las interferencias que podrían causar las partículas de menos de 100 micras (0,01 milímetros) que flotan como si fuera niebla en todo el Universo. Al menos, suprimieron una estimación de sus efectos, porque aunque se cree que hay poca contaminación cósmica en esas latitudes —por eso se estableció allí el observatorio—, "no existen medidas exactas de cuánto polvo hay en esa zona y cómo influye en la polarización de la radiación de fondo", comenta Sopuerta. Este es el talón de Aquiles que ha señalado el coautor de uno de esos estudios, el astrofísico de

tonces, la temperatura era de unos 3.000 ºC, los núcleos atómicos capturaron electrones para formar átomos neutros y los haces de luz, que ya no eran tan energéticos, quedaron libres para moverse por el espacio. "Se dice que, en ese momento, el Universo se hizo transparente a la radiación", dice Martínez. Despejada la niebla, podemos ver lo rayos del sol.

Desde entonces, el espacio, así como todo lo que le conforma, ha seguido agrandándose y templándose hasta alcanzar en la actualidad los 2,7 °K (unos -270° C). Por ello, la radiación fósil, mientras estuvo encerrada en el plasma, tuvo el aspecto de rayos X; luego, de ultravioleta; después pasó por el rango visible al ojo humano "y menos mal que todavía no existíamos, porque nos hubiera cegado", bromea Martínez. Poco a poco fue volviéndose una luz cada vez más roja cuando ya era libre y acabó por hacerse invisible de nuevo en forma de infrarrojos. "Hoy por hoy, mayoritariamente la radiación es microonda, de ahí su nombre, y en el futuro, seguirá evolucionando hasta convertirse en ondas de radio", explica el investigador.

Pero, aunque la radiación de fondo solo nos informa de lo ocurrido a partir del año 380.000 del Universo, también

Carlos F. Sopuerta.

está contribuyendo a estudiar sus antecedentes. "¿Qué ocurrió en los momentos inmediatos al Big Bang?", se pregunta Carlos F. Sopuerta, investigador especializado en ondas gravitacionales del Instituto del Ciencias del Espacio. Y explica que "unos 10^{-34} segundos después de la Gran Explosión sucedió algo que hizo que el espacio multiplicara su tamaño por 70 en un tiempo cortísimo". De esta etapa, llamada "inflacionaria", no había ninguna evidencia hasta la publicación, en marzo de este año, de los resultados de un telescopio, situado en la Antártida, llamado BICEP2. Sus investigadores sostienen que la radiación de fondo está polarizada. Y lo está de una manera tan particular que, lo más probable, es que se deba a que esa luz primigenia fue barrida por una gran onda expansiva, la que originó el propio Big Bang.

La marca de la inflación

Según Einstein, estas deformaciones del espacio, llamadas ondas gravitacionales, se producen en todos los sucesos energéticos y violentos del Universo. Al menos en la teoría, porque nadie, había conseguido detectarlas hasta ahora debido a que son muy débiles. "Por primera vez se han podido observar de manera indirecta este tipo de ondas que, además, son las más viejas del Universo. Si estos datos fueran ciertos, quedarían demostradas la teoría de la inflación y la de la relatividad de Einstein", explica Sopuerta.

la Universidad de California, Uroš Seljak. En declaraciones a *Nature,* explica que "basándonos en lo que sabemos en este momento, no tenemos ninguna evidencia a favor o en contra de las ondas gravitacionales". En definitiva, toda la polarización atribuida a las ondas, podría ser fruto de la contaminación del polvo.

Para saber si la polarización que ha medido el telescopio polar se debe a las ondas gravitacionales o al polvo galáctico, hacen falta medidas de la polarización de la radiación cósmica a otras frecuencias, cuenta el cosmólogo del CSIC y responsable de uno de los grupos de investigación de la misión Plank, Enrique Martínez. "Lo que diferencia la señal de polarización debida a las ondas gravitacionales de la causada por el polvo galáctico es cómo varía su intensidad con la frecuencia: la primera responde a un cuerpo negro y la segunda no", explica.

Tan solo hay un problema, el BICEP2 solo ha medido una frecuencia —la microondas—, así que no hay manera de distinguir entre las dos posibles causas con la información que se conoce hasta ahora. Habrá que esperar a finales de año, cuando se den a conocer el análisis de los datos de la misión Planck, que sí tiene medidas multifrecuenciales que, previsiblemente, podrán distinguir entre ambas señales.

STEFFEN RICHTER, UNIVERSIDAD DE HARVARD (EEUU).

El BICEP2 (a la izquierda del conjunto de esta instalación), situado a un kilómetro del Polo Sur.

Dada la relevancia, tendrán especial interés los resultados provenientes de la ya finalizada misión Plank que confirmarán, "o no", las observaciones del BICEP2. Los datos se esperan para finales de este año, anuncia Martínez.

"La radiación de fondo se ha convertido en el gran relator de cuál fue la historia muy primitiva del Universo", cuenta Pérez Mercader. En su opinión, el futuro del estudio de la radiación de fondo de microondas irá encaminado a estudiarla más en detalle y, al menos en un primer momento, a seguir profundizando en su polarización. También considera que pese a que "esta radiación es una de las mayores fuentes de información observacional para conocer nuestra historia muy primitiva", finalmente es probable que pase el testigo de interés a las ondas gravitacionales.

Por su parte, Martínez cree que es difícil conocer mucho más acerca de las diferencias de temperatura de la radiación cósmica. "El tema de interés ahora es la polarización. Lo siguiente en lo que se trabajará es en la elaboración de un mapa de la radiación cósmica del Universo en el que se detecten esas diferencias en su polarización. Esto aportará información, entre otras cosas, sobre los procesos que dominaron en un momento del cosmos próximo al tiempo cero", indica.

Para ello "los datos de BICEP2 y de Planck resultan insuficientes", según Martínez. Así que "hay una carrera entre las agencias estatales —principalmente la ESA y la NASA— por ver quién es la primera en lanzar una nueva misión espacial que recabe conocimiento más preciso sobre cómo es esa polarización", explica. El primero que apruebe una y se vea en condiciones de lanzarla, "se llevará el gato al agua". En su opinión, ambas saben que "el mayor empuje que se le puede dar al desarrollo tecnológico es invertir en investigación básica y en desarrollos instrumentales para realizarla", por eso, pese al elevado coste, quieren ser las primeras.

"No se dejará de lado la radiación fósil hasta que se esté seguro de que se haya obtenido toda la información posible", vaticina el Nobel de Física. "Y a la vista de la cantidad de información que hay todavía por interpretar, parece que tendremos luz cósmica para rato. Habrá que aprovechar ahora que son todavía perceptibles, antes de que sean tan débiles que no se pueden estudiar", bromea.

En España no se han producido incidentes significativos en su gestión

El control de las fuentes radiactivas

Las fuentes radiactivas se emplean en muchos ámbitos, desde la medicina a la industria. Aunque dejen de utilizarse, sigue existiendo un riesgo y deben llevarse al almacén adecuado y en unas condiciones de seguridad óptimas. En España las medidas de control aplicadas en su transporte han permitido que su utilización se haya producido hasta la fecha sin incidentes de seguridad significativos. El Consejo de Seguridad Nuclear centra sus esfuerzos en facilitar a usuarios, como hospitales, empresas y centros de investigación, el uso, control y transporte seguro de estas herramientas de mejora para anticiparse ante posibles robos y usos malintencionados de estas fuentes.

■ Texto: **Daniel Mediavilla |** periodista científico, redactor de *Materia* ■

ST. MARYS OF MICHIGAN

Aparato de bisturí gamma, que utiliza una fuente de cobalto.

Las fuentes radiactivas han proporcionado grandes beneficios a la humanidad, desde sus aplicaciones industriales a las médicas. Un caso paradigmático son las fuentes de rayos gamma. Estos bisturís de radiación son capaces de destruir los tumores de enfermos de cáncer minimizando el daño de las células sanas, multiplicando así sus posibilidades de supervivencia. El logro se produce gracias a la descomposición del cobalto 60, una variante radiactiva de ese elemento que proyecta los rayos gamma a medida que va desintegrándose lentamente.

Ese proceso hace que al cabo de un cierto tiempo, que oscila entre 5 y 10 años, la emisión de la fuente pierda la intensidad necesaria para cumplir su labor. Aunque el material radiactivo no sea ya útil para su aplicación médica, sigue existiendo un riesgo y, por eso, es necesario trasladar esa fuente hasta un almacén de residuos radiactivos donde guardarla con seguridad. En algunos casos, el traslado incluye viajes en tren o barco hasta países, que cuentan con espacios especiales para el reciclaje de estos materiales.

Aunque la preocupación viene de lejos, desde los atentados del 11 de septiembre de 2001 en EEUU se ha extendido el temor a que algún grupo terrorista se haga con material radiactivo que, adherido a un explosivo convencional, pueda ser empleado para dispersar material radiactivo mediante lo que se conoce como una bomba sucia. La realidad es que, salvo en dos ocasiones, en 1995 y 1998, en las que un grupo separatista checheno colocó dos artefactos de este tipo en Moscú y Grozni (Rusia) sin llegar a detonarlos, nunca se han empleado dispositivos de estas características en ataques terroristas. En los dos casos, se empleó cesio, un elemento que al aparecer en forma de sal se dispersa con más facilidad que otros como el cobalto y se convierte en una materia prima ideal para este tipo de artefactos.

Diferentes ejemplos de uso de fuentes radiactivas en actividades industriales y laboratorios de investigación.

Para evitar cualquier riesgo de que esto suceda, es fundamental el trabajo de organismos como el Consejo de Seguridad Nuclear en la vigilancia y supervisión en el transporte de fuentes, para que en ningún momento puedan quedar fuera de control y caigan en las manos equivocadas. "Esencialmente, para regular el control de estas fuentes se aprobó el Real Decreto 1308/2011, de 26 de septiembre, sobre protección física de las instalaciones y los materiales nucleares, y de las fuentes radiactivas", explica Pedro Lardíez, jefe del Área de Seguridad Física del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN). En este documento, se hace una clasificación de las fuentes radiactivas en cinco categorías y se establecen objetivos de protección de las fuentes contra actos malintencionados, como serían los llevados a cabo por grupos terroristas.

En esta clasificación se distinguen 5 categorías, según el riesgo que supongan. Las categorías 1, 2 y 3 se refieren a aquellas fuentes que podrían causar un mayor daño en caso de sabotaje o robo como, por ejemplo, el de una fuente de cobalto. En el primer caso, el riesgo mayor sería para las personas en las inmediaciones del lugar en el que se produjera el sabotaje. En caso de robo, si la intención fuese fabricar una bomba sucia, el número de personas potencialmente afectadas podría ser mayor. En el caso de las fuentes de categoría 4 y 5, como la intensidad de su radiación es mucho menor y el daño potencial para la salud muy limitado, salvo que se prolongase durante meses o años, no hay objetivos específicos de protección más allá de los protocolos básicos que aseguren que no se pierda el control de la fuente.

Respecto a los tipos de fuente que se incluyen en cada categoría, Lardíez ofrece varios ejemplos: "Categoría 1 son fuentes radiactivas de alta intensidad como las que se emplean en radioterapia o las que se utilizan para esterilizar, mediante irradiación, material quirúrgico o alimentos. Categoría 2 serían las fuentes que se emplean para realizar radiografías de las soldaduras, por ejemplo, en gaseoductos. En la categoría 3 se incluyen calibradores industriales, como medidores de nivel, y sistemas transportadores, entre otros. Categoría 4 serían equipos como los empleados para medidas de humedad en suelo cuando se construyen carreteras. Categoría 5 pueden ser fuentes de control industrial de procesos, para determinar, por ejemplo, si un bote de refresco está lleno o no".

Lógicamente, el punto más vulnerable para que una fuente caiga en las manos equivocadas es el momento del trasporte, cuando no se cuenta con la seguridad de una instalación donde hay unas medidas de control implantadas. Cuando se sabe que es necesario realizar un traslado, de un hospital o una planta industrial hasta el almacén de residuos correspondiente, el titular de la fuente tiene que notificar que se va a realizar el transporte tanto al CSN como al Ministerio de Interior.

"Unos días antes del transporte se tiene que notificar lo que se va a transportar, de dónde a dónde, fechas de salida y

llegada, y, además, se diseña un itinerario alternativo por si sucede algo imprevisto o en función de las amenazas existentes", explica. Toda esta información está protegida. Después, dependiendo de las necesidades, la Policía, la Guardia Civil o empresas de seguridad privada se encargan de realizar la vigilancia que, según cuenta Lardíez, "unas veces es visible y otras no". Además, se realizan chequeos de control en caso de que una fuente no llegue a su destino a la hora prevista y la comunicación es constante entre el transportista y el titular de la fuente, que es el responsable de hacerla llegar al almacén de residuos correspondiente cuando se agota.

Fernando Zamora y Pedro Lardíez.

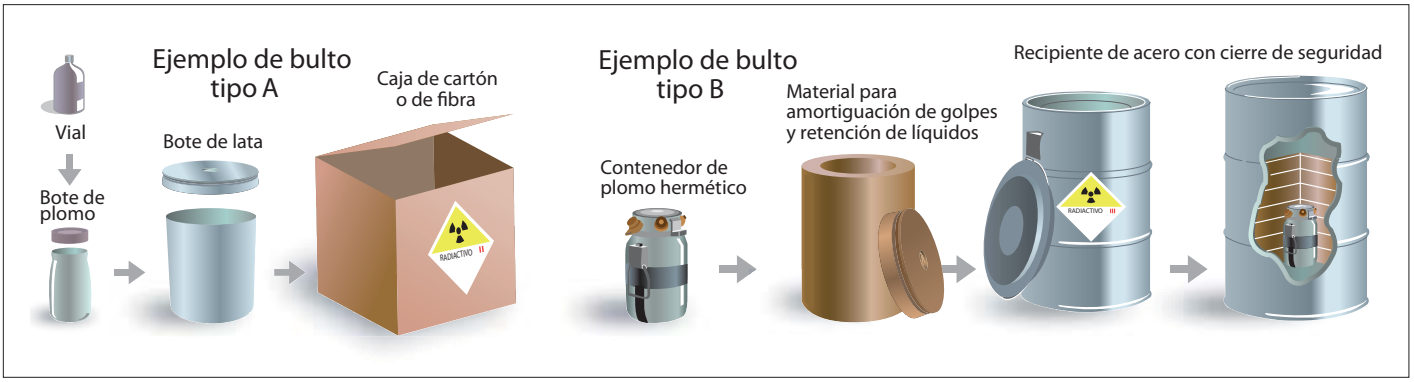
Un aspecto crítico en la seguridad del transporte es el tipo de embalaje que se emplea con cada fuente, dependiendo de su peligrosidad y del medio empleado. Como en el caso de la peligrosidad de la fuente, también aquí hay una clasificación que incluye los embalajes: "exceptuados, industriales, de tipo A, de tipo B y de tipo C", aclara Fernando Zamora, jefe del Área de Transportes y Fabricación de combustible Nuclear del CSN. Los de tipo C se emplean para los materiales que se van a transportar por el aire y que tendrían como característica fundamental que sean capaces de resistir a un accidente aéreo.

El 90 % de los materiales que se transportan se encuentran entre los que tienen un riesgo menor, y pueden ir en un embalaje exceptuado o de tipo A, que puede soportar las vicisitudes normales de un viaje, como baches o sacudidas, pero no está preparado para aguantar un accidente grave. No obstante, la experiencia ha mostrado que en muchas ocasiones han resistido muy por encima de sus características de diseño.

Para fuentes con mayor peligrosidad, como las empleadas en radioterapia, se emplean embalajes de tipo B, que sí pueden soportar accidentes de mayor importancia. Fundamentalmente, los embalajes tienen cuatro objetivos: contener los materiales radiactivos, controlar la radiación hacia el exterior de los bultos, evitar una reacción nuclear en caso de materiales fisionables y evitar los daños debidos al calor que emiten algunos bultos.

"El problema añadido que existe con las fuentes en desuso es que al llevar mucho tiempo en la instalación no se dispone del embalaje original", explica Zamora. "Cuando una fuente va del suministrador al usuario, no hay problema porque todo está preparado conforme a los requisitos de seguridad. Después, hay fuentes que se desintegran muy rápidamente, como las que se utilizan en aparatos de gammagrafía industrial, que hay que cambiarlas cada dos o tres meses", añade. "En estos casos, no hay problemas, pero cuando el decaimiento se produce a lo largo de muchos años, como pasa con el cobalto o el cesio, es posible que ya no se tenga el embalaje original o que el suministrador que expidió la fuente ya no exista y no pueda proporcionar otro", indica.

Los expertos del CSN cuentan que en los últimos años no se han introducido grandes innovaciones en lo que



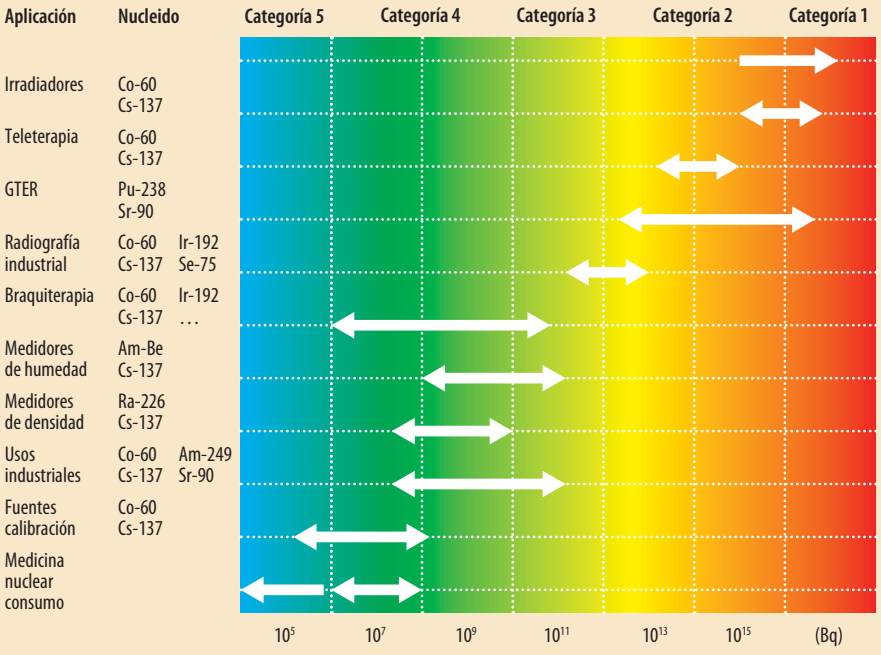
Características de los diferentes tipos de embalaje para la gestión de las fuentes radiactivas.

Definición de las categorías de fuentes

Categoría 1 (extremadamente peligrosas). Si no se gestionan en condiciones de seguridad tecnológica o no se protegen debidamente, es probable que estas fuentes provoquen lesiones permanentes a cualquier persona que haya estado en contacto con ellas durante más que unos pocos minutos. Las exposiciones más prolongadas resultarían probablemente mortales. A esta categoría pertenecen normalmente los generadores termoeléctricos de radioisótopos, los irradiadores industriales y las fuentes de teleterapia.

Categoría 2 (muy peligrosas). Si no se gestionan en condiciones de seguridad tecnológica o no se protegen debidamente, es probable que estas fuentes provoquen lesiones permanentes a cualquier persona que haya estado en contacto con ellas durante un período breve (minutos a horas). Las exposiciones durante más de unas pocas horas podrían resultar mortales. A esta categoría de fuentes pertenecen, por ejemplo, las que se utilizan en radiografía industrial y en braquiterapia de tasa de dosis alta/media.

Categoría 3 (peligrosas). Si no se gestionan en condiciones de seguridad tecnológica o no se protegen debidamente, es probable que estas fuentes provoquen lesiones permanentes a cualquier persona que haya estado en contacto con ellas durante varias horas. Las exposiciones durante varios días o semanas podrían resultar fatales, aun cuando es poco probable que esto suceda. A esta categoría pertenecen las fuentes que se utilizan en calibradores industriales fijos, tales como los medidores de nivel, los instalados en dragas y sistemas transportadores, los calibradores giratorios de tuberías y los que se utilizan en radiodiagrafía de sondeos.



Categoría 4 (poco probable que sean peligrosas). Es muy poco probable que la exposición a estas fuentes provoque lesiones permanentes1. No obstante, si no se gestiona en condiciones de seguridad o no se protege debidamente, esta cantidad de material radiactivo sin blindaje podría —aun cuando es poco probable que esto suceda— provocar lesiones temporales en las personas que estén en contacto con ella durante muchas horas o permanezcan en su cercanía durante muchas semanas.

Categoría 5 (muy poco probable que sean peligrosas). Ninguna persona podría sufrir lesiones permanentes causadas por estas fuentes

concierne a la seguridad del transporte de fuentes radiactivas, precisamente por la falta de incidentes. "El registro de incidencias es muy positivo y la industria de seguridad reacciona ante ellas, por eso no ha habido grandes cambios", asevera Zamora.

En este sentido, Lardíez coincide en que en España, que cuenta con una legislación y unos protocolos de seguridad similares a los del resto de los países europeos, nunca se ha dado un caso de pérdidas de fuentes peligrosas. "Ha habido algunos casos de fuentes de categoría 4 o 5, de baja peligrosidad, que fueron robadas sin intención", comenta, pero "el ladrón las roba creyendo que tienen algún valor, porque van en unos contenedores de transporte muy vistosos, pero cuando se dan cuenta de lo que han robado, lo entregan", afirma.

ENRESA

ENRESA

Arriba, descarga y estibado de materiales radiactivos que van a ser transportados. Abajo, señalización de un vehículo autorizado para el transporte de materiales radiactivos.

En otros países, los sustos han sido mayores. En diciembre del año pasado, el robo de un camión que transportaba una fuente radiactiva en México desató las especulaciones sobre la posibilidad de que algún grupo criminal la hubiese sustraído con el propósito de utilizarla con intenciones terroristas. Poco después se descubrió que el móvil del robo era el vehículo y que los ladrones, que acabaron en el hospital por contaminación radiactiva, simplemente habían tenido mala suerte.

La fuente robada en México

En estas ocasiones, incluso en el caso de que los ladrones hubiesen realizado el robo a conciencia y lo hubiesen querido introducir en España, en nuestro país existen medidas de seguridad para evitarlo, como sistemas de control en las fronteras y pórticos en las aduanas capaces de detectar una actividad radiológica muy reducida. En estos sistemas se han detectado materiales metálicos contaminados con cobalto (no fuentes radiactivas como la de México), pero con actividades minúsculas.

Dado que el sistema ha funcionado hasta ahora de una forma muy satisfactoria en el control de las mayores amenazas, los reguladores han centrado sus esfuerzos innovadores en aspectos menos críticos, pero también importantes. Uno de ellos es el hecho de que los responsables de poner a buen recaudo las fuentes cuando están gastadas son los propios hospitales o las industrias que las han empleado. Aunque las empresas o las instituciones pueden contar con responsables de transportes, la complejidad de una mercancía radiactiva supera con frecuencia sus conocimientos.

"Uno de nuestros principales retos es la reglamentación del transporte, que es muy compleja", explica Zamora. "Los que la conocemos en detalle somos los reguladores y algunos operadores, como los transportistas o los expedidores, que están muy metidos en el día a día, pero a la mayoría les resulta muy compleja, porque está integrada en un reglamento general de transporte de mercancías peligrosas, muy voluminoso, que se aplica también a muchos otros productos, como gasolinas, corrosivos, ácidos...", afirma Zamora. "El reto que tenemos, y en el que llevamos años trabajando, es tratar de facilitar a los usuarios el manejo de la reglamentación y de los requisitos", añade. "Desde el CSN hemos desarrollado guías, tratando de ser muy divulgativos y realizando un esfuerzo de comunicación muy importante hacia los operadores", concluye.

Lardíez por su parte menciona que el punto en el que se está concentrando el trabajo para mejorar la seguridad es la protección física de las fuentes contra ataques malintencionados. "Trabajamos en la elaboración de una instrucción de seguridad de obligado cumplimiento para los titulares de fuentes, en la que se establecerán unos requisitos técnicos para describir cómo se alcanzan los objetivos de protección fijados en el Real Decreto de 2011", explica. "Son requisitos técnicos, tanto de responsabilidades como de protocolos de actuación, barreras físicas o vigilancia permanente para proteger las fuentes, tanto en las ubicaciones físicas donde se emplean como en sus traslados", añade.

Todas estas medidas, sumadas a los protocolos, que reciben el mejor marchamo de eficacia por la ausencia de incidentes de una cierta gravedad, tratarán de que el uso de fuentes radiactivas siga proporcionando solo beneficios.

Tras el accidente ocurrido el 11 de marzo de 2011 en la central nuclear de Fukushima Dai-ichi (Japón), los países de la Unión Europea sometieron a sus centrales a un conjunto de pruebas de resistencia para comprobar su capacidad para afrontar situaciones semejantes a las ocurridas en Japón. Como resultado de dichas pruebas, las centrales nucleares españolas identificaron diversos aspectos de mejora, entre los que cabe destacar la consideración de los sistemas de venteo filtrado de la contención (SVFC) por su importancia para salvaguardar la integridad de la contención y para reducir la emisión de dosis al exterior. Actualmente, las centrales están analizando las alternativas tecnológicas existentes con el fin del presentar al Consejo de Seguridad Nuclear la solución finalmente adoptada. ■ Texto: **Sara González Veci** | Técnica del Área de Ingeniería de Sistemas de la Subdirección de Ingeniería del CSN ■

El venteo filtrado de la contención en accidente severo

Las centrales nucleares se diseñan siguiendo el principio de defensa en profundidad, que se traduce en la protección de la seguridad de la central a diferentes niveles para impedir la escalada de los sucesos operativos previstos y los accidentes, y para mantener la eficacia de las barreras físicas que cumplen funciones de seguridad, situadas entre una fuente de radiación o los materiales radiactivos y los trabajadores, miembros del público y el medio ambiente.

En este ámbito, en caso de producirse un accidente más allá de las bases de diseño con daño al núcleo, las centrales cuentan con estrategias de operación específicas incluidas en las guías de gestión de accidentes severos (GGAS), que ayudan a identificar, en función de los equipos disponibles y de la situación de la planta, las diferentes acciones que pueden ser ejecutadas para detener la progresión del daño al núcleo, mantener la integridad de la contención y minimizar la liberación de productos de fisión al exterior.

Vista aérea de la central nuclear japonesa de Fukushima.

Las centrales nucleares están provistas de diversos sistemas para reducir la presión de la contención en caso de accidente (por ejemplo, rociado de la contención y unidades de refrigeración). En caso de accidente severo, las GGAS dan prioridad al uso de estos sistemas si se encuentran disponibles; sin embargo, si no funcionan correctamente, como en el caso de pérdida completa del suministro de energía eléctrica, uno de los medios para reducir la presión y evitar su fallo es ventear la contención a la atmósfera. Para que la gestión de la emergencia sea óptima (evacuación de trabajadores y/o público, medidas de profilaxis, etc.), el venteo de la contención debe realizarse de manera controlada y sus emisiones ser evacuadas a través de la chimenea.

En este tipo de situaciones la acumulación de productos de fisión en la contención es muy elevada, de manera que su venteo puede conllevar una liberación significativa de radiactividad al medio ambiente. La instalación de filtros en las líneas de descarga a la atmósfera supone una reducción considerable de la actividad al exterior.

El accidente ocurrido en la central nuclear de Fukushima Dai-ichi puso de manifiesto la importancia de contar con un sistema de venteo de la contención capaz de soportar las presiones generadas durante un accidente severo y que, además, sea filtrado para reducir las liberaciones de material radiactivo al exterior.

Otra de las lecciones aprendidas derivadas de este accidente es la importancia de que el sistema cuente con un diseño lo suficientemente fuerte para que permita su apertura y cierre en condiciones de alta radiación y pérdida completa del suministro eléctrico.

Pruebas de resistencia, desarrollo a escala europea y nacional

Tras el accidente ocurrido en Fukushima, la Unión Europea inició un plan conjunto con el fin de analizar la capacidad de las centrales nucleares de los países miembros para abordar una situación similar a la ocurrida en Japón. Este plan se denominó *pruebas de resistencia* y su objetivo era valorar la capacidad de las centrales nucleares europeas en operación para soportar situaciones más allá de sus bases de diseño, identificando si fuera el caso los márgenes existentes, y proponer posibles medidas que permitieran mejorar la forma de afrontar las situaciones postuladas.

La Asociación de Reguladores de Europa Occidental (WENRA) elaboró una propuesta de pruebas de resistencia que fue aprobada por el Grupo de Reguladores Europeos de la Seguridad Nuclear (ENSREG) y distribuida a los países miembros para su aplicación. Los requisitos del documento de ENSREG se transmitieron a las centrales nucleares españolas a través de instrucciones técnicas complementarias (ITC) del Consejo de Seguridad Nuclear.

Tras la evaluación de los informes de las pruebas de resistencia de las centrales españolas para verificar el cumplimiento de las ITC, el CSN emitió el *Informe Final de las pruebas de resistencia realizadas a las centrales nucleares españolas* el 31 de diciembre de 2011.

Central nuclear de Trillo.

Tras las pruebas de resistencia, en los próximos años las centrales nucleares españolas van a implantar sistemas de venteo filtrado de la contención (SVFC) para la situación de accidente severo.

En el resto del mundo, hay países que ya antes del accidente de Fukushima contaban con SVFC. La tabla 1 resume la situación en la que se encuentran algunos países de la OCDE en la actualidad.

Sistemas de venteo filtrado de la contención

La instalación de los SVFC tiene un doble objetivo: 1) reducir la presión en la contención para permitir la inyección de agua y para mantener la integridad de la contención reduciendo la sobrepresión mediante la evacuación de su atmósfera directamente al medio ambiente, y 2) reducir la actividad de esta emisión al exterior por debajo de un determinado nivel para limitar la contaminación, tanto en el emplazamiento de la central nuclear como en el exterior, así como reducir la dosis al público.

Los filtros son capaces de retener tanto partículas de aerosoles como sustancias radiactivas gaseosas, en concreto yodo orgánico e inorgánico.

Los SVFC que se comercializan en la actualidad emplean diferentes técnicas de filtración y suelen incluir más de un medio filtrante. En función del medio que utilicen como principal mecanismo filtrante pueden clasificarse en sistemas de venteo filtrado húmedos y sistemas de venteo filtrado secos.

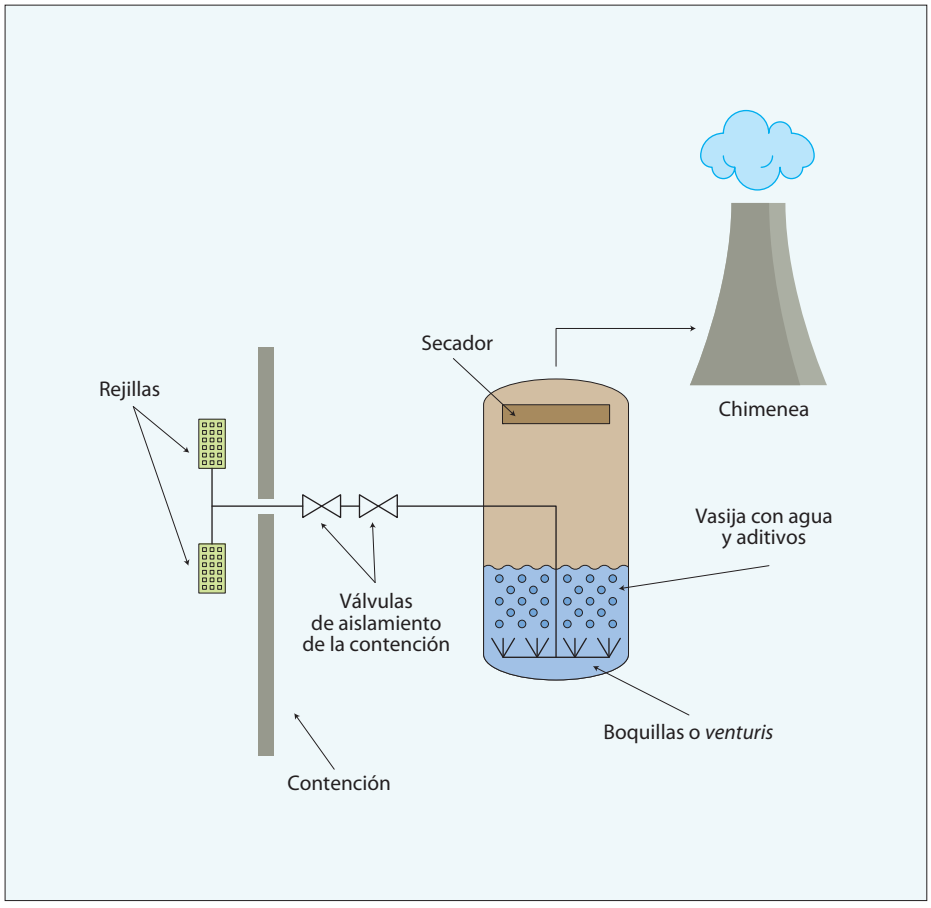


Figura 1. Sistema de venteo filtrado de la contención húmedo.

Tabla 1. Sistemas de venteo filtrado de contención en diversos países de la OCDE

País	Instalación de SVFC
Bélgica	No (Está prevista su instalación)
Bulgaria	Sí
Canadá	Sí en una de sus centrales, en el resto está prevista su instalación
República Checa	No
Finlandia	Sí en dos centrales tipo BWR. No en dos centrales tipo VVER 440.
Francia	Sí
Alemania	Sí
Japón	No (Está prevista su instalación)
México	No (Se están instalando venteos duros en contenciones tipo Mark II)
Holanda	Sí
Rumanía	No (Está prevista su instalación)
Eslovaquia	No
Eslovenia	Sí
Corea del sur	Sí en una de sus centrales, en el resto está prevista su instalación
España	No (Está prevista su instalación)
Suecia	Sí
Suiza	Sí
Estados Unidos	No (En estudio. Se están redactando guías para el venteo duro de contenciones tipo Mark I y II)

Los SVFC que se comercializan en la actualidad combinan los siguientes medios filtrantes:

—Filtros húmedos (vasijas llenas de agua) como primer medio filtrante combinado con otras etapas para la eliminación de las gotas y para filtrar los aerosoles con tamaños de partícula pequeños que no hayan podido filtrarse en la etapa principal.

—Filtros de fibra metálica como primer medio filtrante (principalmente filtran los aerosoles), seguido de un tamiz molecular basado en estructuras zeolíticas para la retención de yodo elemental y orgánico.

—Filtros de lecho de arena en combinación con un prefiltro de fibra metálica, éste último ubicado en el interior de la contención.

Sistemas de venteo filtrado húmedos

Los sistemas de venteo filtrado húmedos consisten básicamente en una vasija a la que normalmente se le añaden aditivos y a través de la cual se burbujean los aerosoles y productos de fisión gaseosos que se puedan generar durante un accidente severo. Estos filtros además de filtrar los gases resultantes del venteo de la contención también actúan como sumidero de calor.

En la figura 1 se muestra un esquema básico de los sistemas de venteo filtrado húmedos.

Normalmente se colocan unas rejillas en las tuberías de entrada al sistema de venteo de la contención para impedir el paso de partículas sólidas de gran tamaño que podrían obstruirlo.

Los sistemas de venteo filtrado húmedos cuentan con las líneas necesarias para llevar los gases de venteo hasta la vasija que contiene el medio filtrante. En estas líneas están ubicadas las válvulas de aislamiento de la contención, que pueden tener distintas configuraciones.

En el caso de los filtros húmedos, los gases venteados pasan por la parte inferior de la vasija y son distribuidos a través del líquido para que los aerosoles y otros productos de fisión (yodo orgánico e inorgánico principalmente) puedan ser retenidos en él.

Este tipo de filtros generalmente cuentan con unos secadores/separadores de la humedad en su parte superior. Estos son los encargados de devolver al fondo de la vasija los restos de humedad arrastrados por el gas venteado y tienen una doble finalidad: evitar ventear gotas con carga contaminante y mantener el inventario de líquido en la vasija.

Algunos diseños instalan un filtro seco adicional tras los secadores/separadores de humedad con el fin de retener las partículas de tamaño más pequeño que no se hayan retenido en las fases anteriores.

Por último, los gases resultantes se llevan a la chimenea de la instalación para su evacuación.

La eficacia en la eliminación de aerosoles y especies gaseosas depende de diferentes factores como, por ejemplo, del tipo de dispositivo utilizado para realizar el burbujeo. Normalmente se utilizan boquillas y *venturis* para generar una dispersión fina del gas en el líquido, de manera que se incremente al máximo la superficie de contacto entre las fases gaseosa y líquida. El tipo de dispositivo utilizado también tiene influencia sobre los tiempos de residencia de las burbujas en el seno del medio filtrante.

Como ya se ha indicado, los filtros húmedos también actúan como sumidero de calor. Su capacidad para eliminar la carga térmica dependerá de la cantidad inicial de agua disponible y de su temperatura.

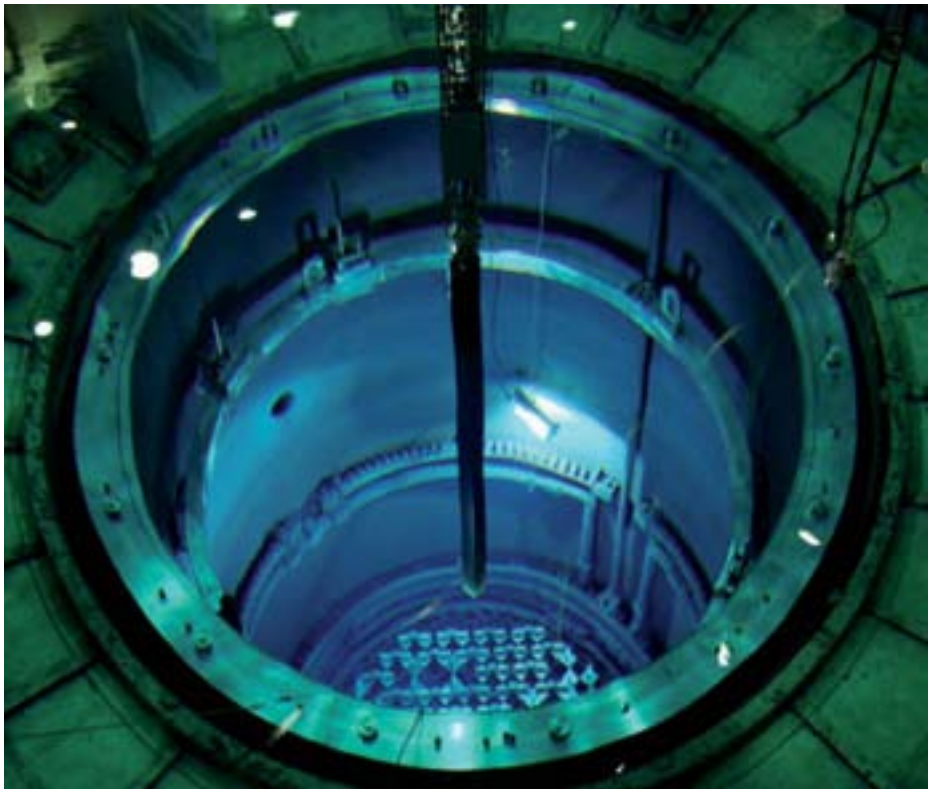
Los gases venteados desde la contención contienen vapor de agua que, a su paso por la vasija, se condensa provocando un incremento en el nivel de agua. El motivo es que al inicio del venteo el líquido está frío. Más adelante, al aumentar la temperatura, se empieza a perder masa de agua por evaporación.

Si el agua desciende por debajo de un determinado nivel, la eficacia del filtro disminuye y es necesario reponer inventario. El tiempo estimado hasta alcanzar este momento debe ser tal que se cumplan los requisitos de operación pasiva y sin vigilancia del venteo.

Por este motivo el principal aspecto para definir el tamaño de la vasija es la cantidad de agua inicial requerida. No obstante existen otros condicionantes que pueden afectar al diseño de las dimensiones de la vasija como, por ejemplo, el incremento en el volumen de agua producido, bien como consecuencia de la condensación inicial, bien como consecuencia del burbujeo de los gases; la necesidad de altura adicional para facilitar la condensación de gotas y el espacio adicional necesario para ubicar los secadores/separadores de la humedad en la parte superior.

Se suelen añadir aditivos, generalmente tiosulfato de sodio e hidróxido sódico, al agua de los filtros húmedos. El tiosulfato de sodio reacciona con el yodo elemental (y en menor medida con el yodo orgánico) dando lugar a sales de yodo que son solubles en agua. El hidróxido sódico se utiliza para ajustar el pH a valores elevados (generalmente en torno a 13) con el fin de compensar la disminución del pH de la disolución provocada por el paso de compuestos ácidos a través del agua contenida en la vasija. El objetivo es mantener la disolución a pH neutro para evitar la revolatilización del yodo disuelto.

La eficacia del filtrado del yodo orgánico con los aditivos anteriores no es muy elevada. Se ha intentado mejorar su retención incorporando filtros de zeolitas impregnadas en plata a los filtros húmedos o añadiendo nuevos aditivos. Se trata en ambos casos de nuevas técnicas que todavía presentan efectos adversos como, por ejemplo, la



Vista del interior del reactor de una central nuclear.

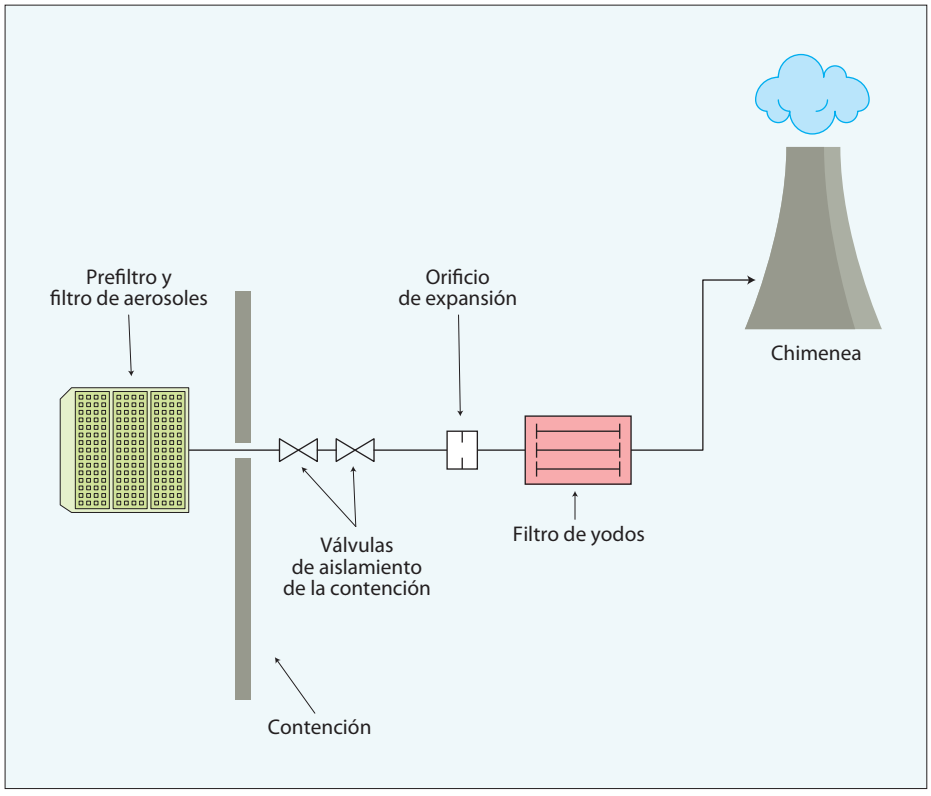


Figura 2. Sistema de venteo filtrado de la contención seco de fibras metálicas.

formación de espumas en el caso de los aditivos.

Sistemas de venteo filtrado secos

Este tipo de sistemas consiste en hacer pasar los gases a través de un sólido filtrante capaz de retener, con una determinada eficacia, los aerosoles y los yodos generados durante el accidente severo. Existen dos tipos de filtros secos: los filtros de fibra metálica y los filtros de arena.

Filtros de fibra metálica

Este tipo de filtros, cuya misión principal es la retención de aerosoles, se compone de varias etapas de fibras metálicas cuyo diámetro se va reduciendo conforme se avanza a lo largo del filtro. Esta disposición permite retener en las primeras etapas las partículas más grandes y en las últimas las más pequeñas.

El filtro cuenta con un separador de gotas para evitar que, antes de que el flujo gaseoso (que puede contener agua tanto en forma de vapor como de gotas) pase por las etapas del filtro, aquellas entren en contacto con las fibras metálicas y disuelvan los aerosoles solubles que hayan quedado retenidos en las fibras.

Para llevar a cabo la filtración del yodo elemental y orgánico, los sistemas basados en filtros de fibra metálica que se comercializan en la actualidad disponen de un filtro adicional llamado tamiz molecular (o filtro de yodos), que está formado por un material de estructura zeolítica (material cerámico de alta porosidad) impregnado en plata.

El gas se expande, antes de llegar a la última etapa de filtración, por medio de un orificio de expansión, de manera que se eliminan los restos de humedad. Bajo las nuevas condiciones de presión la distancia al punto de rocío del flujo gaseoso será mayor, dando lugar a vapor sobrecalentado.

El diseño de este sistema es modular, de manera que son posibles diversas configuraciones. Las dos configuraciones más habituales son: 1) la instalación de ambos filtros en un edificio en el exterior de la contención y, 2) la instalación del filtro de aerosoles en el interior de la contención y el filtro de yodos en el exterior.

En la figura 2 se muestra, de manera esquemática, la disposición de este tipo de filtros.

Al tratarse de filtros puramente mecánicos, a medida que vayan reteniendo partículas irá disminuyendo la eficacia de filtración al ir taponándose las fibras metálicas. Para su diseño se tiene en cuenta la carga total estimada de aerosoles a la velocidad nominal del gas. Estos filtros no deberán colmatarse durante el tiempo en el que sea necesario su funcionamiento.

Estos sistemas, cuyo medio de filtración consiste en unas pocas fibras de metal con un diámetro de micras, tienen mucha porosidad y muy poca masa para realizar transferencias de calor, de manera que su capacidad para absorber el calor es muy baja.

Una vez terminado el venteo, en el filtro habrá una elevada cantidad de productos activos de fisión con un calor residual que puede llegar a ser lo suficientemente elevado como para que los productos de fisión volátiles se vuelvan a vaporizar o incluso se fundan. Si en esta situación el SVFC se volviera a poner en funcionamiento, podría producirse el vertido de gases radiactivos al exterior. Para evitar estas condiciones críticas de elevada temperatura se incrementa la superficie de contacto de los filtros y la transferencia de calor de estos mediante la incorporación de distintos elementos como, por ejemplo, tubos de refrigeración integrados en los filtros de aerosoles.

La eficiencia en la retención de yodos orgánicos en los tamices moleculares depende fundamentalmente del tiempo de residencia y de las condiciones de sobrecalentamiento que se den. Si bien

los dos aspectos anteriores todavía necesitan ser resueltos técnicamente, cabe destacar que, como consecuencia de la elevada eficacia de las etapas anteriores a este tipo de filtros, la masa de aerosoles y el calor residual asociado a ellos se ven reducidos significativamente antes de llegar al filtro de zeolitas, siempre y cuando no se produzcan revolatilizaciones de los materiales filtrados.

Filtros de lechos de arena

Este tipo de filtros consiste fundamentalmente en una vasija rellena de arena con un determinado diámetro de partícula, a través de la cual se hace pasar el gas que se va a filtrar. En la figura 3 se muestra un esquema de este tipo de sistemas.

Análogamente a lo que ocurre en los filtros de fibra, la retención de los aerosoles se produce en la superficie de las partículas de relleno. En este tipo de filtros es importante el control de las condiciones de operación en seco para evitar que el material retenido se vuelva a disolver como consecuencia de la presencia de humedad o incluso de gotas. Para evitar que se produzcan estos efectos se pueden incluir medios adicionales para precalentar el filtro.

Se puede ubicar un prefiltro metálico en el interior de la contención, aguas arriba del filtro de arena, con el fin de incrementar el factor de descontaminación de los aerosoles. Los prefiltros metálicos de este diseño tienen tendencia a taponarse, de manera que se suministran con unas líneas que lo evitan en caso de que la presión a través del filtro disminuya.

Aspectos adicionales sobre operación y diseño de los SVFC

En reactores de agua a presión y de agua en ebullición (PWR y BWR, respectivamente), el uso de los SVFC está previsto para su aplicación como parte de las estrategias incluidas en las GGAS para prevenir el fallo por sobrepresión de la contención, manteniéndola en niveles aceptables.

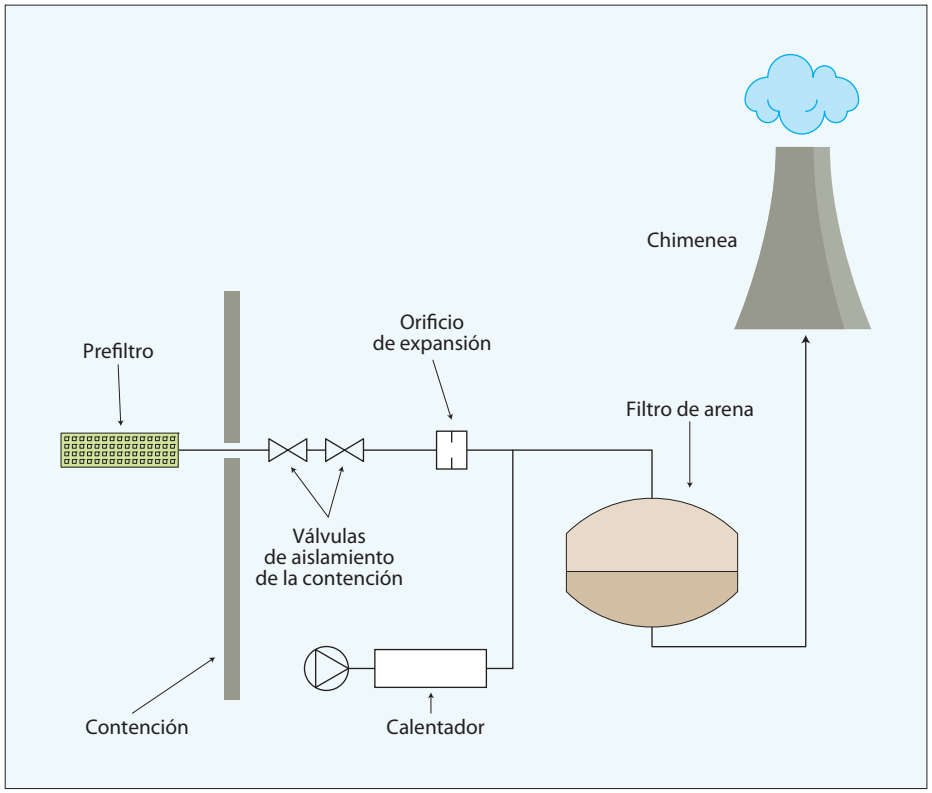


Figura 3. Sistema de venteo filtrado de la contención seco de lecho de arena.

Los filtros de los SVFC son capaces de reducir significativamente las liberaciones de radiactividad al exterior, sin embargo, no eliminan completamente todas las emisiones radiactivas, dado que, por ejemplo, los gases nobles no se pueden retener con ninguno de estos sistemas, de manera que es necesario que su operación cuente con instrucciones claras sobre cuándo iniciar y detener el venteo. Para tomar esta decisión es necesario considerar tanto aquellos factores que requieran su apertura como los que requieran su retraso.

Entre otros, los aspectos por los que se puede requerir el venteo de la contención son: la velocidad en la progresión del accidente, la previsión de que se vayan a producir incrementos repentinos de la presión (como por ejemplo ante la posibilidad del fallo de la vasija del reactor) o la proximidad a la presión de diseño o a la de fallo de la contención.

Por otra parte, deberán considerarse aquellos aspectos que puedan requerir el retraso de dicho venteo, como puede ser la coordinación con las unidades de gestión de la emergencia fuera de la planta, la necesidad de esperar a unas condiciones atmosféricas más favorables o preservar la seguridad del personal de la planta.

Esta decisión debería tomarse de forma coordinada entre las centrales nucleares, las autoridades nacionales y las unidades de emergencia exterior, de manera que pudieran ser considerados todos los factores posibles.

Existen otros aspectos importantes que deberán tenerse en cuenta en el diseño del SVFC, como son la capacidad de extracción de calor residual generado por los productos radiactivos atrapados en el filtro, los riesgos asociados a la acumulación de hidrógeno en los componentes del sistema, la minimización del riesgo de apertura indeseada del venteo o que este falle al cierre, la capacidad de

actuación del sistema, que debe ser flexible y segura para los operadores, y la instrumentación necesaria para la operación y monitorización del sistema.

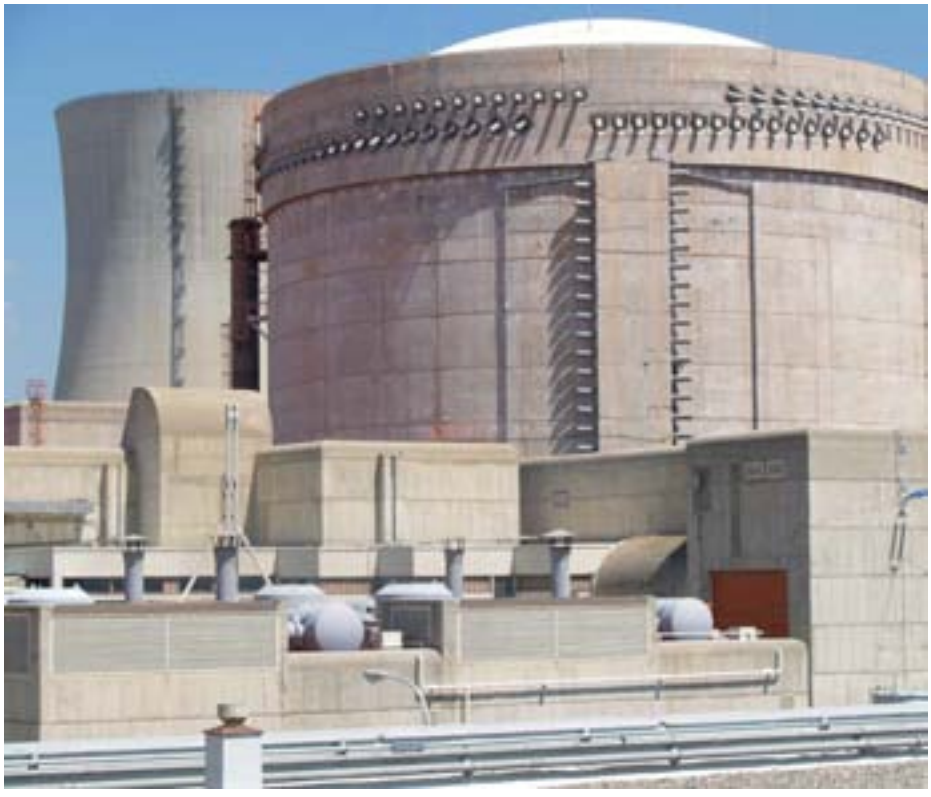
Impacto de los SVFC en las consecuencias radiológicas de un accidente severo

La emisión de material radiactivo al exterior, en caso de venteo de la contención a través un SVFC, depende del diseño del sistema y de sus capacidades de retención. Para estimar la retención del material radiactivo en los filtros se define el factor de descontaminación, que resulta de dividir la concentración de la sustancia que se va a filtrar, antes de pasar por el filtro, entre la concentración de dicha sustancia tras haber pasado por el filtro.

La mayor parte de los SVFC obtienen unos factores de descontaminación del orden de 1.000 para los aerosoles. Para el yodo molecular se consiguen valores de entre 10 y 100, y para los yodos orgánicos de entre 2,5 y 10.

Para estimar los beneficios de la instalación de SVFC, en varios países se han llevado a cabo evaluaciones del impacto de estos sistemas sobre las consecuencias radiológicas en el exterior en caso de accidente severo. Estos análisis se han realizado para cada reactor teniendo en cuenta diferentes escenarios accidentales y diferentes tiempos de venteo. A pesar de la gran variabilidad de los escenarios analizados, los resultados obtenidos han mostrado reducciones significativas de las consecuencias radiológicas, tanto a corto como a largo plazo, al utilizar venteos filtrados.

Aunque los SVFC que se comercializan en la actualidad son capaces de reducir significativamente las consecuencias radiológicas derivadas del venteo de la contención en caso de accidente severo, existen programas activos de investigación (por ejemplo, el proyecto PASSAM, que está principalmente financiado por la Unión Europea y que tiene como finalidad la investigación de las posibles mejoras en las tecnologías existentes de filtrado de las emisiones radiactivas) tanto para mejorar los factores de descontaminación de las sustancias que es posible retener con la tecnología actual como para ampliar el espectro a otro tipo de sustancias que no se retienen en los filtros actuales y que han demostrado contribuir significativamente en las consecuencias radiológicas, (como por ejemplo, los óxidos de yodo resultantes de procesos de radiólisis y el tetróxido de rutenio gaseoso).



Central nuclear Ascó I.

Estado y previsiones de futuro de los sistemas de venteo filtrado de la contención internacional

Tras el accidente de Chernóbil, países como Francia, Alemania, Suiza o Suecia instalaron SVFC en sus centrales nucleares, incluyendo diseños tanto húmedos como secos. La elección del tipo de filtro que se va a instalar depende de numerosos factores, de manera que su diversidad es elevada. A modo de ejemplo cabe destacar Francia que dispone de 58 reactores de tipo PWR: todos con SFVC secos de filtro de arena instalados en sus centrales. En el resto de los países que cuentan con SVFC ya instalados, los predominantes son de tipo húmedo.

Cabe destacar que la mayor parte de los países que prevén implantar SVFC en sus centrales no han decidido aún el tipo de filtro más conveniente, aunque no se observa que prevalezca claramente la elección de un tipo de filtro frente a otro. Entre estos países se encuentra España.

Las fechas previstas para la implantación de los nuevos filtros no se han concretado todavía en la mayor parte de los países. En lo que respecta a las centrales nucleares españolas, todas ellas tienen prevista la implantación de SVFC antes de finales de 2016, excepto una que lo implantará durante su recarga de 2017.

Antoni Gurguí Ferrer (Barcelona, 1953) es doctor ingeniero industrial, especialidad en Técnicas Energéticas, por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Barcelona; Master of Science in Engineering por la Universidad Ann Arbor de Michigan, becado Fullbright y analista de aplicaciones y técnico de sistemas. También es posgraduado en Hidrología Subterránea (CIHS-UPC) y Gestión Pública (ESADE). Desarrolló su carrera profesional en la industria, la universidad y la Generalitat de Catalunya, en la que fue director general de Industria entre 2000 y 2003. Ha presidido o formado parte de diferentes consejos de administración y entidades profesionales y científicas, nacionales e internacionales; es autor de libros y publicaciones sobre fusión termonuclear, energía, transportes y ordenación territorial, industria, hidrología subterránea y políticas de competitividad, entre otras materias. Fue nombrado consejero del Consejo de Seguridad Nuclear en marzo de 2009.

Entrevista a Antoni Gurguí Ferrer, consejero del CSN

"La regulación es un trabajo del día a día, continuado, callado, y en el cual el éxito se mide precisamente por no ser noticia"

■ **Ignacio Fernández Bayo,** periodista científico, director de Divulga ■

Antoni Gurguí es actualmente el más veterano de los miembros del Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear, donde ha compartido debates y consensos con casi una docena de colegas. De su lustro de trabajo en la institución dice que ha sido "una experiencia muy interesante, diversa y muy satisfactoria", que le ha permitido regresar a sus orígenes como ingeniero y profesor especializado en energía nuclear, tras varios años de "incursión en otros mundos, como el de la política industrial". Y aunque se le ve satisfecho, dice bromeando que, en lo personal, su estancia en el CSN es "una ruina, porque tener un piso en Madrid y otro en Barcelona no sale muy a cuenta".

PREGUNTA: *Usted fue director general de Industria en la Generalitat de Catalunya, que de alguna manera es como estar al otro lado del mismo campo. ¿Cambia la perspectiva?*

RESPUESTA: Cambia absolutamente y creo que desde el otro mundo somos poco conscientes de la importancia de la regulación. Esto se ha visto, por ejemplo, en el tema financiero. No hay duda de que muchos de los problemas que estamos viviendo se deben a fallos en la regulación. Por tanto, yo me tomo muy en serio como miembro del Consejo el que nuestro trabajo es fundamental y me gustaría pensar que al menos en el tema de la seguridad nuclear no va a pasar lo que ha sucedido en otros campos. Indudablemente es un elemento fundamental en el funcionamiento de la sociedad en general. Es como el lubricante de un coche: nadie piensa en él pero si falla el motor se gripa.

P: *¿Y se podría hacer algo para mejorar el conocimiento de la importancia de la regulación?*

R: Es un poco complicado y seguramente una guerra perdida, porque la regulación es un trabajo del día a día, continuado, callado, y en el cual el éxito se mide precisamente por no ser noticia.

Desde este punto de vista sería erróneo pretender hacer un excesivo *marketing* para una labor que no es lucida; es importante, pero no lucida. Otra cosa es que en ningún caso intentamos escondernos. Hay que ser muy prácticos, muy abiertos, porque la transparencia es la mejor garantía de que nuestro trabajo es bien percibido por la calle. Nosotros trabajamos sobre seguridad, que tiene dos vertientes fundamentales, una es la seguridad intrínseca, si una instalación es segura o no; pero la segunda, que es tanto o más importante, es la seguridad percibida. La tranquilidad es un componente fundamental de la calidad de vida y en nuestro ámbito es fundamental que las instalaciones sean seguras, pero también que nuestros ciudadanos vivan tranquilos sabiendo que desde aquí velamos por esa seguridad y, por tanto, por su calidad de vida.

P: *Que confíen en el Consejo*

R: Exactamente. Es fundamental, para que puedan estar seguros. Y además, pueden estarlo. Sería absurdo que no tuvieran tranquilidad por un problema de que su percepción no se ajustara a la realidad.

P: *Desde su experiencia, ¿cuáles considera las fortalezas del CSN?*

R: La fortaleza principal del Consejo yo creo que es la experiencia y la solidez del conocimiento científico y técnico que tenemos. Gran parte de los técnicos y profesionales que trabajan con nosotros son gente con un larguísimo currículum que, además, vivieron el tema nuclear y sus aplicaciones prácticamente desde su origen; casi son padres de la criatura. Y esto les ha aportado un bagaje que permite que nuestro trabajo sea riguroso y fiable. Esta es la gran fortaleza.

P: *Y ese conocimiento ¿no corre riesgo de perderse, de que no pase a la siguiente generación?*

R: Este es uno de los puntos críticos de la situación del Consejo en el momento presente. Esta fortaleza se traduce en debilidad por un simple problema cronológico, porque las personas tenemos la duración que tenemos y, evidentemente, se presenta un reto fundamental para el Consejo, que es la sustitución de este cuerpo técnico a medida que se van produciendo las jubilaciones naturales. Este es un gran desafío porque, obviamente, la gente que se dedica a temas de seguridad necesita haber estado preparándose durante mucho tiempo. Este problema se agrava porque ha coincidido con la crisis económica, que ha llevado, de forma comprensible, pero creo que equivocada, a imponer unas restricciones de personal en el conjunto de la Función Pública que en el caso del Consejo de Seguridad Nuclear no deberían haberse aplicado. Afortunadamente esto está en vías de solución y creo que los responsables gubernamentales han entendido el problema y, por tanto, confío en que en el futuro este tema pueda ser resuelto con buenos resultados.

> *"El Consejo tiene un gran prestigio internacional y eso debe ser motivo de orgullo"*

P: *Ya está aprobado que haya renovación de personal ¿no?*

R: Lo que hay es una puerta abierta o, mejor dicho, entreabierta. Se ha abierto esa posibilidad, pero eso no quiere decir que se haya resuelto la situación completamente. Confío en que quien es responsable de gestionar estos temas fuera de la institución entenderá la importancia del tema y proveerá las soluciones para que se resuelva satisfactoriamente.

P: *Usted tuvo un papel relevante en el proceso de las* peer review *de los planes de*

"Hay que encontrar el equilibrio entre la dedicación internacional y la supervisión de nuestras instalaciones"

PREGUNTA: *Otro de sus cometidos es la asistencia a las reuniones de WENRA, donde además ha sido elegido vicepresidente. ¿Cómo valora esta organización y los beneficios que supone para el Consejo?*

RESPUESTA: WENRA es una organización muy interesante por su carácter informal, en comparación con ENSREG y otras. Decimos muchas veces que WENRA es un club, en el que además se está de manera prácticamente voluntaria, y esto permite un altísimo nivel de franqueza en los debates y planteamientos, que ha permitido que sea actualmente uno de los grupos más activos a la hora de armonizar la normativa a escala europea, y con repercusión en el ámbito internacional. Por tanto, valoro la participación del Consejo en WENRA como una actividad fundamental. Además, participan muchos técnicos en los grupos de trabajo y eso enfatiza la enorme importancia que tienen las relaciones internacionales en la labor del Consejo.

P: *Además de WENRA, España tiene una participación muy amplia en el tejido internacional de la regulación, INRA, ENSREG, Foro Iberoamericano, HERCA...*

R: Nuestra participación en organismos internacionales es bastante equilibrada. Pero me gustaría decir algo sobre el tema de las revisiones por pares, en las cuales todos vemos lo que hacen los demás. Es conceptualmente muy interesante, pero no debería hacernos perder el norte en el sentido de que esta revisión entre pares la hace, como su nombre indica, gente del mismo nivel que los revisados. Es decir, son nuestros mejores técnicos quienes participan en esas tareas, pero no olvidemos que estas mismas personas son las que tienen que velar por la seguridad de nuestras instalaciones. Desde este punto de vista hay que encontrar el equilibrio en esa dedicación internacional para que no comprometa la tarea de supervisión de nuestras instalaciones, que es nuestra razón de ser.

acción puestos en marcha en Europa a raíz del accidente de Fukushima. ¿Cómo fue esa experiencia?

R: Efectivamente, el Consejo estuvo enormemente implicado en las *peer review*, no solo yo como vicepresidente del *board* que supervisó el proceso, sino también con muchos de nuestros técnicos, que participaron en los diferentes grupos de trabajo. En particular me gustaría destacar el caso de Antonio Munuera, que fue *team leader* de uno de los grupos que evaluó prácticamente un tercio de las centrales nucleares de Europa. Esto pone de relieve —puedo decirlo porque no es ningún mérito mío, que estoy aquí de paso— el prestigio que tiene el Consejo internacionalmente. Creo que deber ser un motivo de orgullo. Tenemos que trabajar para incrementarlo, si es posible.

P: *¿Cómo ve el papel de España en ese proceso, como evaluador y como evaluado?*

R: Como examinados hay que decir que sacamos buena nota. Indudablemente nuestros resultados se comparan con los mejores a nivel europeo y en ningún caso se identificó ninguna debilidad en los planteamientos que se hicieron. En general, el conjunto de medidas que se contemplan en el Plan de Acción español es riguroso. Como examinadores, fue un ejercicio de aprendizaje también importante para nosotros. En estas revisiones se contrasta que lo que hacemos se homologa con los demás.

P: *¿Hasta qué punto es suficiente el alcance de los planes de acción para garantizar la seguridad de las centrales ante sucesos improbables, pero posibles?*

R: El problema es que estamos hablando siempre de sucesos extremadamente improbables. Es decir, todo lo que estamos haciendo como medidas derivadas de Fukushima casi se podría afirmar que va a ser inútil, en el sentido de que jamás será de aplicación. No obstante, incluso con esto, es evidente que Fukushima demuestra que pueden suceder. Era necesario tomar medidas que asegurasen que incluso frente a esta situación no se repetiría un impacto exterior tan importante como el de ese accidente. Yo creo que la lección más importante de las aprendidas con Fukushima ha sido un cambio de óptica de la seguridad nuclear. Hasta entonces, la seguridad nuclear se planteaba fundamentalmente como que la instalación era de riesgo y, por lo tanto, había que proteger el exterior del interior del reactor. El el accidente de Fukushima puso de relieve que esto no siempre es así y que podía haber riesgos que obligasen a tomar medidas no para proteger al exterior del interior, sino a la inversa. Fukushima muestra que nuestra querida madre naturaleza, que tendemos a asociar con todo lo bueno, puede tener episodios extraordinariamente violentos, que comprometan la seguridad de una instalación nuclear, y debemos estar mejor preparados frente a estos peligros, reforzando la seguridad de las instalaciones frente a esos fenómenos exteriores, muy improbables pero reales. Creo que las medidas que se han tomado son lo suficientemente ex-

haustivas como para que podamos estar más tranquilos.

P: *Si nunca se van a tener que aplicar, ¿no se exige un exceso de inversión a las empresas?*

R: Alguien podría opinar que sí, pero determinar si en el mundo de la seguridad nuclear se puede aplicar o no el análisis de coste-beneficio tradicional es un debate complejo. Yo tengo muy claro que no lo es en algunas cuestiones. La determinación del coste de una salvaguardia es sencilla, pero en el valor del daño evitado aparecen dos factores: uno, el coste que tendría un accidente y, dos, la probabilidad de que ocurra. ¿Qué cuesta Fukushima? ¿Cuál es el valor del sufrimiento de las personas afectadas, si es que se puede medir? Hay valoraciones tan distintas que varían en órdenes de magnitud. Y todas pueden tener razón. También hay una gran ambigüedad en la probabilidad, ya que es muy difícil asignar un valor a sucesos de muy baja probabilidad. Lo único que se puede plantear es si es aceptable o no. Y en el caso de Fukushima entendemos que no es aceptable y entonces las medidas tienen que ser aplicadas independientemente de las inversiones que puedan requerir. Y esta es la posición que hemos adoptado en España y en el conjunto de Europa.

P: *Además hay un beneficio intangible que es la tranquilidad de la población.*

R: Indudablemente. Espero que desde este punto de vista hayamos sido capaces de transmitir que todo este proceso de los *estrés test* garantiza de una forma suficiente la tranquilidad de nuestros ciudadanos en relación a las instalaciones que están funcionando.

P: *¿Cómo va el proceso de implantación de estos planes?*

R: Progresa satisfactoriamente, de acuerdo con los ritmos establecidos y no preveo que haya retrasos importantes, pero sí podría haber alguna cuestión puntual, porque la industria nuclear ha perdido gran parte de su tejido industrial de soporte. El hecho de que durante muchos años en Europa, incluso en la mayor parte del mundo, no haya habido nuevas centrales nucleares hace que el número de suministradores de equipos nucleares con las cualificaciones exigidas se haya reducido. El hecho de que todas las centrales del mundo estén adoptando unas medidas que implican unos picos de demanda de algunos equipos podría introducir algún retraso en el calendario, pero en principio, globalmente, la respuesta es que progresa adecuadamente.

P: *Usted se encarga de la coordinación de emergencias. ¿Está bien definida o necesita algunos cambios?*

R: La organización de respuesta ante emergencias es una cuestión muy compleja. Yo creo que siempre es susceptible de mejoras y estamos trabajando intensamente en ello. No querría entrar más en esta cuestión, porque en la respuesta a emergencias nuestra función es limitada y concreta y adquiere una enorme importancia la intervención de otros agentes.

> *"¿Puede la gente de la calle estar tranquila? Sí. ¿Puede el Consejo y su personal estar tranquilo? No"*

P: *La labor del Consejo es de asesoramiento. ¿Está técnicamente preparado para atender esa demanda?*

R: En una emergencia siempre se demuestra que hay cosas que se habrían podido hacer mejor. Una de nuestras máximas en este ámbito es: ¿Puede la gente de la calle estar tranquila? Sí. ¿Pueden el Consejo y su personal estar tranquilos? No. Es decir, nuestro mayor enemigo en la seguridad es la autocomplacencia. Tenemos que trabajar más y aspirar a más.

P: *¿Los simulacros generan cambios en los procedimientos de respuesta?*

R: Sin duda. Cada simulacro se analiza y a posteriori se sacan lecciones para corregir los fallos detectados. Por definición, una emergencia es siempre un imprevisto y quien piense que puede estar todo perfectamente previsto y planificado, no sabe de qué está hablando. Tenemos que tener la suficiente humildad, y a la vez ambición, para saber hacer frente a imprevistos, sabiendo que habrá imprevistos.

P: *El Consejo tiene actualmente dos retos importantes: el ATC y Santa María de Garoña. ¿Cómo se están afrontando?*

R: Efectivamente, el Consejo tiene dos temas muy vistosos, uno es el ATC y el otro es Garoña. Pero Garoña no es tan particular desde el punto de vista del Consejo, aunque ya sé que tiene connotaciones mediáticas de muchos tipos. En estos momentos estamos trabajando en la renovación de licencia de Trillo, que es un proceso análogo a Garoña, pero nadie cita Trillo. Garoña tiene unas connotaciones que a nosotros no deberían alterarnos. Para nosotros es una renovación de licencia de central nuclear como la que ya tratamos en su momento en el 2009, con criterios de extensión de vida más allá de los 40 años. Lo que cambia, aunque en el caso de Trillo también se ha hecho, es que sería la primera renovación en la que se integra plenamente todo el tema de Fukushima y luego cuestiones adicionales como el problema que ha habido con las vasijas de unas centrales belgas que son semejantes a la de Garoña, el periodo de inactividad, etc.

P: *Pero una licencia por 17 años, ¿no obliga a hacer un análisis de seguridad más profundo?*

R: Para nosotros el control de la seguridad siempre se hace sobre la opera-

ción del día a día. Nosotros vamos a hacer unos análisis y a decir qué hitos tendrá que cumplir a lo largo del tiempo. Es decir, nuestro trabajo es técnico y, en su caso, fijaría qué hitos temporales debería superar la instalación. Tenemos dos inspectores residentes en cada central que cada día se reunen y controlan e incluso con el permiso de 10 años habitual, cada día hacemos un examen de cómo están funcionando. Puede sorprender mediáticamente, pero desde mi punto de vista este no es un tema singular. Será tratado con criterios de seguridad y estableciendo los requisitos que serían necesarios para garantizar que, fuesen 17, 10 o 6 años, la seguridad se garantizase en todo momento.

P: *¿Y en el caso del ATC?*

R: El ATC sí que es una cuestión singular porque responde a una instalación distinta a las que hemos manejando hasta ahora. Es una instalación que ha estado rodeada de mucha controversia. Desde el punto de vista técnico, es una instalación pasiva, por lo cual los requisitos de seguridad que impone son distintos en general y pueden ser solucionados de una forma más sencilla. Tiene además una característica importante: es que va a tener una gran visibilidad internacional. Pienso que España hizo una buena elección es su momento, descartando una decisión definitiva sobre el almacenamiento geológico profundo y entendiendo que los grandes avances de las tecnologías sobre caracterización de formaciones geológicas aconsejaban una solución temporal —aunque de largo plazo—, antes de decidir sobre el uso y destino final del combustible nuclear gastado. Va a ser una instalación muy visitada por otros países que van a intentar juzgar en base a la experiencia española la solución que ellos adoptan. Por lo tanto me gustaría pensar que el ATC va a ser una instalación de demostración de la competencia tecnológica del país y hay que tener especial cuidado en que se haga muy, muy bien.

P: *Aparte de los retos inmediatos, ¿qué otros más estratégicos debe ir afrontando el Consejo a medio y largo plazo?*

R: Uno ya lo hemos hablado, que es el relevo generacional. Y hay otro que no es específico del Consejo sino genérico, que sucede en todas las organizaciones administrativas relativamente grandes y de muy alto nivel de cualificación de sus profesionales. Sucede hasta en las mejores familias, pasó por ejemplo en IBM: es una mezcla de mirarse el ombligo, anquilosamiento y una cierta fosilización que puede comprometer la eficacia y utilidad de la organización. Es necesario que nuestras exigencias, que son crecientes en el tiempo, supongan siempre un aumento del valor real de la seguridad. Esta labor corresponde al Pleno y esta es la razón por la cual el legislador tuvo la inteligencia y previsión de plantear un órgano colegiado, con diferentes puntos de vista y mandatos limitados. Creo que una de las labores ingratas del Pleno es esta supervisión y presión constante sobre la estructura de la "casa" para garantizar que sistemáticamente se mantenga la tensión y no se caiga en la autocomplacencia, que se renueve el personal, se hagan cambios organizativos, se abran las ventanas... Es una labor ingrata porque todas las organizaciones grandes tienden a resistirse al cambio. Y la seguridad es una cuestión dinámica, porque el mundo es dinámico. Estos serían los dos grandes retos: el relevo generacional y mantener al Consejo como una organización joven, dinámica, permanentemente insatisfecha y que siempre aspire a más.

P: *Parte de este inmovilismo puede ser debido a la burocratización. ¿Hay un nivel excesivo de burocracia?*

R: Tenemos un nivel alto de burocratización, esto es innegable. Lo que hay que hacer es controlar periódicamente que esta burocracia —consustancial a cualquier regulador competente— sea revisada manteniendo únicamente aquella que genera un valor tangible en términos de seguridad, y eliminando aquella obsoleta o que no aporta mejoras en lo que es la misión y razón de ser del CSN, que es la seguridad nuclear y la protección radiológica.

Radiografía

Tomografía Axial Computarizada (TAC)

■ Texto: **Juan Manuel Gil Gahete** | Área de Instalaciones Radiactivas y Exposiciones Médicas del CSN | **Carmen Álvarez García** | jefa del Área de Instalaciones Radiactivas y Exposiciones Médicas del CSN ■

Desde que empezaron a usarse estos equipos, hace ya 40 años, la imagen tridimensional del cuerpo que obtienen se ha hecho imprescindible en la mayoría de decisiones médicas, tanto para el diagnóstico de multitud de patologías como en los tratamientos, especialmente en oncología.

En esencia, este instrumento médico consiste en un tubo de rayos X que emite un fino haz de radiación mientras gira alrededor del eje longitudinal del paciente (de ahí lo de Axial), de forma que los rayos atraviesan un "corte" del cuerpo (de ahí lo de Tomografía, del griego *tomos*, corte), para ser captados por un detector que gira al mismo tiempo, en el lado contrario al tubo. Los datos captados por el detector son procesados por un ordenador (de ahí lo de Computarizada) para poder ofrecer finalmente al médico imágenes de esos cortes o rodajas que se han hecho al paciente.

La palabra escáner, que también se utiliza para designar este tipo de exploraciones y equipos, se refiere al rastreo o barrido del cuerpo que hace el haz de rayos X a lo largo del eje del cuerpo.

La imagen obtenida finalmente puede considerarse tridimensional, ya que no solo ofrece la imagen plana de cada corte, sino que nos muestra los distintos cortes realizados de la zona explorada a lo largo del eje longitudinal del cuerpo, pudiéndose así apreciar los órganos y estructuras en volumen.

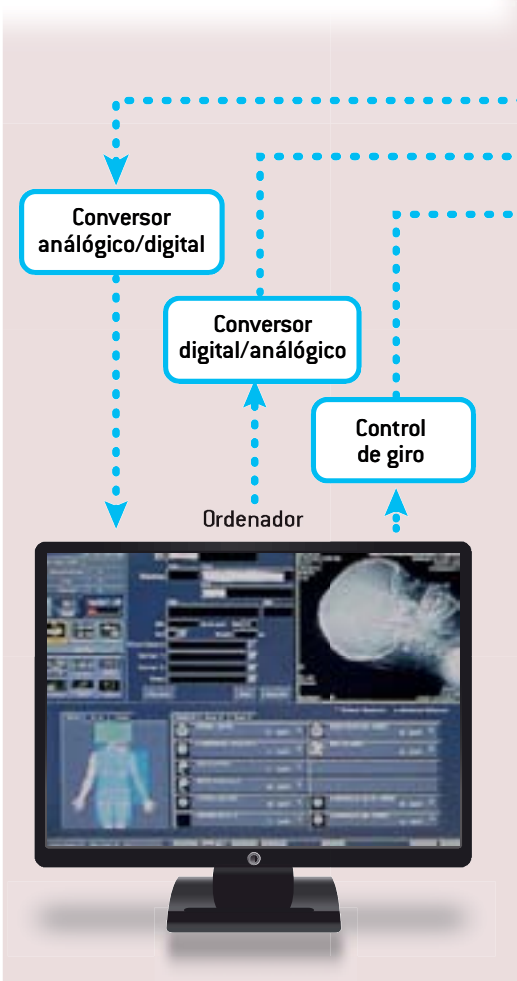
Para realizar la exploración, la camilla se desplaza longitudinalmente en el centro del *gantry*, una carcasa con forma de donuts gigante dentro de la cual van instalados el tubo de rayos X y los detectores, que giran solidaria y rápidamente. El desplazamiento de la camilla puede ser discreto, avanzando un paso con cada giro del conjunto tubo-detector, en los TAC axiales o tradicionales; o bien continuo, en los TAC con desplazamiento helicoidal.

Con la evolución tecnológica se ha pasado a utilizar equipos con más de un tubo emisor de rayos X, o con más de un punto focal, con varios elementos detectores (2, 4, 16, 64 …, hasta cientos de ellos) en el lado opuesto al tubo, con desplazamientos helicoidales continuos a lo largo del eje del paciente, con velocidades de giro mucho mayores y, sobre todo, con tratamientos informáticos de los datos que permiten obtener imágenes mucho más detalladas, con reconstrucción volumétrica, incluso en color.

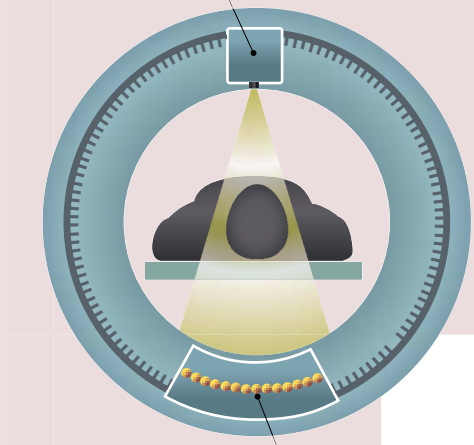
La incorporación de técnicas de contraste y de obtención de imágenes en fracción de segundos permiten también la utilización de estos equipos para ejecutar procedimientos intervencionistas, como si se tratara de un equipo de fluoroscopia con imágenes en tiempo real, para realizar colonoscopias virtuales o para abordar estudios funcionales cardiacos.

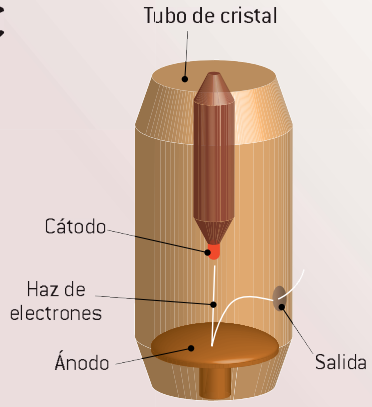
La asociación del TAC con otros equipos como el PET, formando equipos híbridos, permite obtener imágenes anatómico-funcionales que incrementan de forma notable sus posibilidades de uso.

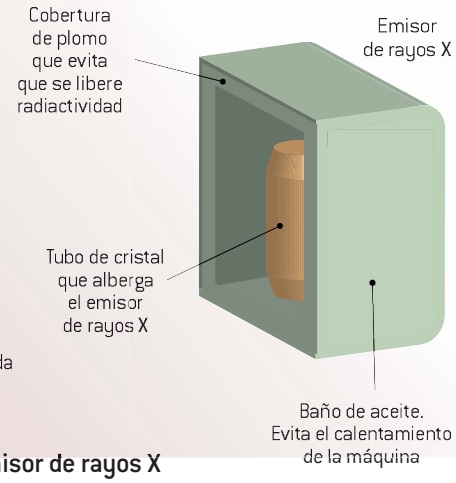
Todo este mundo de posibilidades puede hacer olvidar que se trata de rayos X y, por tanto, se imparten dosis a los pacientes. Dosis que no son despreciables. Así, mientras en una radiografía simple de tórax las dosis efectivas son menores de 0,1 miliSievert, en un TAC de tórax esta dosis efectiva no suele sobrepasar los 8 miliSievert. Ello significa que el principio de justificación (de aplicación de este tipo de prueba) ha de ser puesto en valor periódicamente para evitar ese olvido a la hora de prescribir una exploración con TAC.



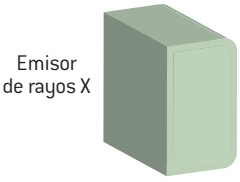
Así funciona un TAC



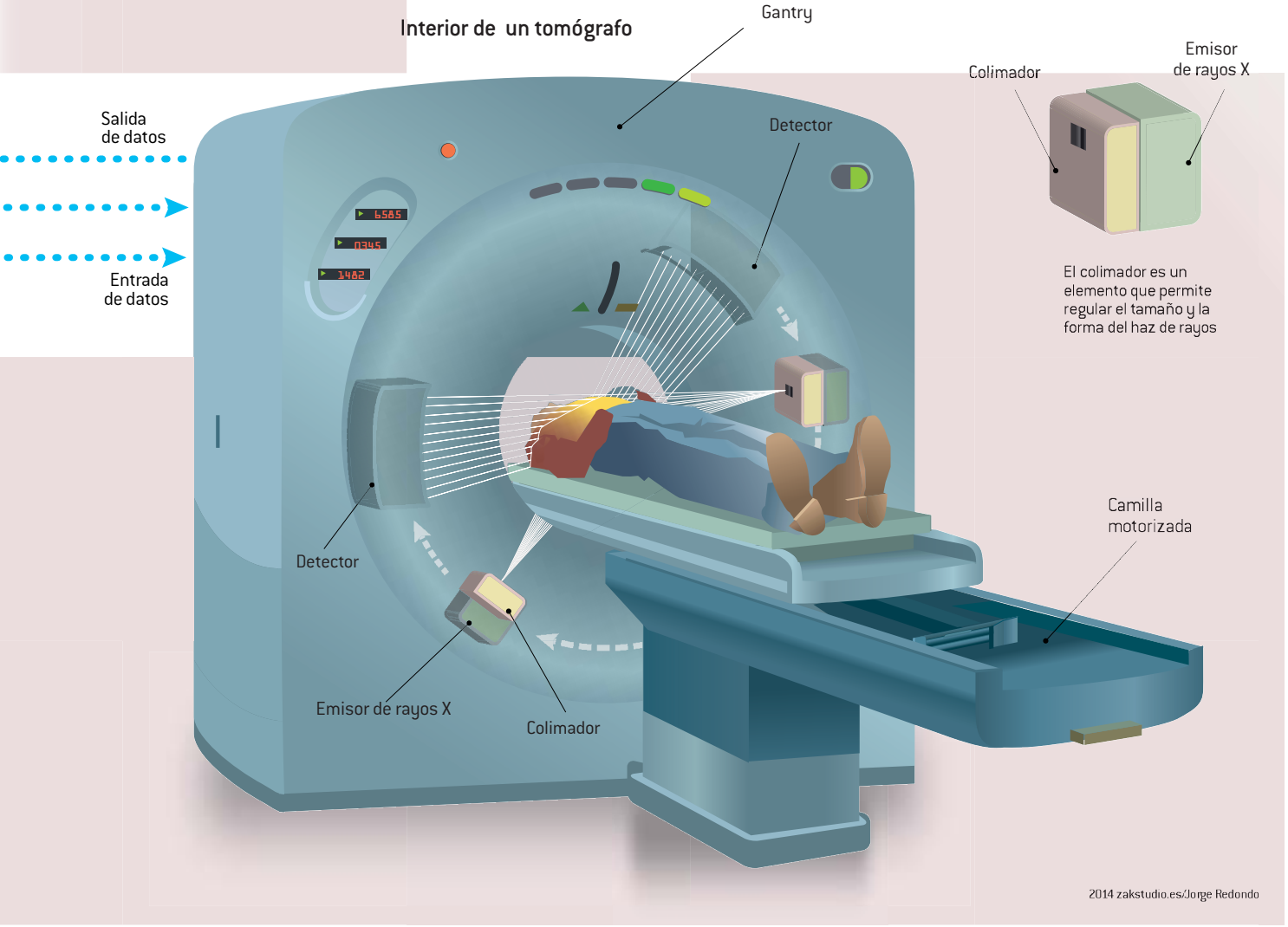




Partes de un emisor de rayos X



Interior de un tomógrafo



El colimador es un elemento que permite regular el tamaño y la forma del haz de rayos

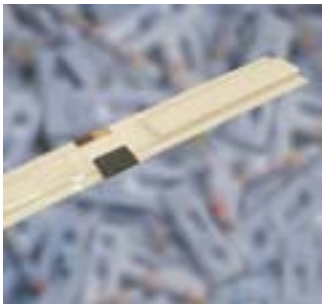
2014 zakstudio.es/Jorge Redondo

Reacción en cadena

NOTICIAS

Baterías de papel

Cuando Isaac Asimov vaticinó, en 1964, que las baterías funcionarían en 2014 con radioisótopos, no le echó ni de lejos tanta imaginación como la que le han echado los investigadores del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) para el desarrollo de nuevas baterías. Y aunque parece ciencia ficción, han conseguido sacar adelante unas pilas, hechas de papel, que tienen la capacidad de activarse con algo tan natural como el agua.



Este proyecto, en el que han trabajado conjuntamente el Instituto de Microelectrónica de Barcelona y el Instituto de Catálisis y Petroleoquímica, —ambos del CSIC—, augura un avance en la utilización de las tiras de ensayo, que sirven para realizar pruebas de uso médico, como las de glucosa y las de embarazo, entre otros. Si bien es cierto que el papel no genera una gran potencia ni la duración de estas baterías es muy prolongada, el coste de fabricación es ínfimo ya que las baterías de papel son sencillas, ligeras y degradables. Gracias a esto, se pueden alimentar los sensores ópticos o electroquímicos de un ensayo y mostrar los resultados sin fuentes de energía externas.

La clave del funcionamiento de estas peculiares pilas se encuentra en la propia naturaleza del papel. Se trata de un papel al que se han incorporado ciertos elementos químicos, que al entrar en contacto con un líquido, esencialmente agua, se produce una reacción que es la que genera la electricidad. Para perfeccionar la técnica y mejorar las prestaciones, los investigadores aplicarán ahora la llamada tecnología *roll-to-roll*, un proceso de impresión en el que se depositan capas de materiales aislantes y conductores en sustratos flexibles que pasan de un rollo a otro. En este proceso se incluirían ya todos los componentes necesarios, como los sensores, la fuente de energía y la pantalla.

La apicultura restaura el equilibrio natural en las montañas

Las abejas representan una de las especies más valiosas del planeta. A lo largo de muchos años, estos insectos y muchas plantas han coevolucionado para beneficiarse mutuamente en su desarrollo, convirtiéndose en un factor clave para la alimentación de aves y mamíferos, incluido el ser humano. Sin embargo, desde hace dos décadas las poblaciones de estas polinizadoras en estado silvestre han comenzado a disminuir de forma drástica hasta casi llegar a extinguirse en extensas áreas de Europa.

En la cordillera Cantábrica, este fenómeno ha pasado prácticamente desapercibido hasta que los campos de trabajo mostraron el gran desequilibrio que se estaba produciendo en los ecosistemas, principalmente en los de montaña, donde determinadas especies, como el urogallo y el oso pardo, se están viendo afectadas por la desaparición de las abejas.

Con el objetivo de aumentar la productividad de los ecosistemas de montaña, en la comarca cántabra de Liébana se implantó en 2013 el Proyecto REMA (Restauranción de Ecosistemas de Montaña mediante la Apicultura) de la Fundación Banco Santander, que ha permitido demostrar que, ante la ausencia de las abejas en estado silvestre, aquellas criadas por el ser humano pueden ayudar a recuperar el equilibrio ecológico

Durante dos años, se han instalado diez remolques (apimóviles), diseñados especialmente para el transporte de colmenas a zonas de montaña. Esta trashumancia de las colmenas ha permitido aumentar la producción de miel, así como la de los frutos que sirven de alimentación para el oso y el urogallo, transformando la apicultura en un aliado imprescindible para mantener el equilibrio natural de los ecosistemas de montaña, ayudando al mismo tiempo a recuperar estos maravillosos e imprescindibles insectos.

La zona de Stonehenge lleva 10.800 años habitada

Stonehenge, el misterioso monumento megalítico inglés, tiene 40 siglos de antigüedad y fue erigido por los habitantes neolíticos establecidos en torno a la localidad de Amesbury, según una investigación de la Universidad de Buckingham, liderada por el arqueólogo David Jacques. Las dataciones realizadas mediante la técnica de radiocarbono, en un yacimiento situado a una milla de Stonehenge, muestran que la zona ha estado habitada ininterrumpidamente desde hace 10.800 años. Esto implica, además, que se trata del asentamiento humano permanente más antiguo del Reino Unido.

Paralelamente a la investigación, han ido surgiendo otro tipo de hallazgos que ponen en cuestión las ideas prevalentes sobre las características de las culturas mesolítica y neolítica en las islas británicas. La actividad de despejar la tierra para cultivarla, que siempre ha estado asociada a la influencia de los inmigrantes neolíticos en el territorio continental de Europa, parece que ya se practicaba entre el 7.500 y el 4.600 a.C., una época durante la cual la cultura mesolítica prevalecía y se supone que era predominantemente nómada. Otra creencia desmentida es la que afirma que no hubo ningún poblador propiamente dicho hasta el Neolítico: la presencia humana en el lugar durante casi 3.000 años y que muchas de las herramientas encontradas tuvieran un propósito doméstico desmiente esta afirmación.

EFEMÉRIDES ▶ HACE 100 AÑOS...

Se calcula la longitud de onda de los rayos X

Los invisibles rayos X tienen el poder de atravesar cuerpos opacos e imprimir películas fotográficas o ser captados por sensores electrónicos, por lo que siguen siendo el fundamento de la mayor parte de las tecnologías de imagen diagnóstica médica. Descubiertos a finales del siglo XIX, la naturaleza de los rayos X fue un misterio (y de ahí su nombre) hasta 1912, en que Theodor Felix von Laue demostró que se trataba de una radiación electromagnética. Dos años después, William Henry Bragg y su hijo William Lawrence Bragg consiguieron medir su longitud de onda, que está entre 10 y 0,01 nanómetros, correspondiendo a frecuencias en el rango de 30 a 30.000 PHz (de 50 a 5.000 veces la frecuencia de la luz visible). Por ello recibieron el Premio Nobel de Física en 1915.

REVISTAS

Ballena Blanca. Revista de medio ambiente y economía
Número 1. Abril, 2014
Editorial Ballena Blanca

Ahora que la crisis de los medios impresos es patente, emprender la aventura de editar una nueva revista en papel parece arriesgado. Con este panorama nace *Ballena Blanca,* una revista de medio ambiente y economía que busca, según sus fundadores, los periodistas Alex Fernández Muerza, Clemente Álvarez y Sara Acosta, "hacer un periodismo de calidad y honesto". La fórmula es bien conocida, aunque muchas veces olvidada: "tener profesionales que se dediquen simplemente a informar, sobre todo si se trata de cuestiones complejas o incómodas", y hacerlo mediante el periodismo de datos, aunque, eso sí, presentados de forma amena y comprensible para el lector medio.

Ballena Blanca empieza fuerte. Su primer número está dedicado a explicar el complejo mundo de la electricidad en España. Para ello, hace un breve repaso de quién mueve los hilos en el sector, presenta unas infografías con las cuentas de las grandes empresas eléctricas e incluso se pregunta qué pasaría si los ciudadanos ahorraran de forma drástica en consumo energético. Además, ofrece otros muchos temas con enfoques originales, como señalar a los futbolistas más contaminantes (en función del automóvil que utilizan) o explicar lo que cuesta conseguir una jarra de agua en un restaurante en Madrid. *Ballena Blanca* ya está disponible en librerías especializadas y a través de su página web: http://ballenablanca.es/.

LIBROS

Rompiendo códigos. Vida y legado de Turing
Manuel de León y Ágata Timón
Colección "¿Qué sabemos de?"
Editorial CSIC y Los Libros de la Catarata
Madrid, 2014

"Sólo podemos ver poco del futuro, pero lo suficiente para darnos cuenta de que hay mucho que hacer" dijo Alan Turing, uno de los padres de la computación, cuyas ideas siguen estando vigentes pasados 70 años desde su muerte. Su trabajo tuvo una gran repercusión, sobre todo en el campo de la informática, la lógica y la filosofía, y, además, tuvo una participación esencial en la creación de nuevas ramas de conocimiento, como la inteligencia artificial y la biología matemática. En esta biografía de 94 páginas, Manuel de León, director del Instituto de Ciencias Matemáticas (ICMAT), y Ágata Timón, miembro del centro, repasan todas las etapas por las que pasó este genio matemático,

considerado uno de los más brillantes del siglo pasado. Como destaca el libro, su principal contribución, que determinó el desarrollo de la sociedad de la información y el conocimiento, fue la creación de la máquina de Turing. Esta construcción teórica resolvió negativamente una pregunta clave sobre los fundamentos de la matemática: ¿puede ser resuelto cualquier problema matemático? El principal interés que despierta esta biografía reside, pues, en desentrañar cada una de las vivencias que llevaron a Turing a esas conclusiones, teniendo en cuenta el contexto histórico y científico.

AGENDA

Exposición
"Contaminación Lumínica, el lado oscuro de la luz"
Hasta el 28 de septiembre de 2014
Museo de la Ciencia y el Agua
Plaza de la Ciencia, 1. Murcia

Mientras una parte del mundo avanza en el conocimiento de los astros, media humanidad se pierde todas las noches el espectáculo de luces que brinda el cielo. El alumbrado urbano, cuya utilidad es obvia, también tiene su *lado oscuro*: nos estamos perdiendo la noche. La contaminación lumínica, las causas físicas que la provocan y el impacto que puede tener en la biodiversidad, el consumo energético y la salud humana son algunas de las cuestiones que aborda "Contaminación Lumínica, el lado oscuro de la luz", una exposición interactiva que puede visitarse en el Museo de la Ciencia y el Agua de Murcia. En su producción han colaborado, además, la Asociación Contra la Contaminación Lumínica Cel Fosc, el Museo Nacional de Ciencia y Tecnología, la

Universidad de Murcia y la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología, y sus creadores se proponen generar una "conciencia lumínica" en el visitante, para que conozca el problema y reflexione sobre el impacto que este tipo de contaminación tiene en la vida cotidiana. Además, pretende aportar soluciones a dichos problemas a través de la participación ciudadana. Más información, en: http://www.cienciayagua.org/exposiciones/index.php?id=445

Exposición
"La cuna de la humanidad"
De febrero a julio de 2014
Museo Arqueológico Regional de la Comunidad de Madrid
Plaza de las Bernardas s/n. Alcalá de Henares (Madrid)

La garganta de Olduvai, en Tanzania, es el más rico afloramiento de restos de homínidos de las etapas más importantes de la historia de la evolución humana desde hace dos millones de años. Por eso es conocida como la "cuna de la humanidad". Más de 200 piezas, escogidas entre los numerosos restos que se han extraído de allí y que forman el monumental tesoro paleoantropológico que alberga el Museo Nacional de Tanzania, forman parte de la exposición que ahora puede contemplarse en Alcalá de Henares. El objetivo es difundir el conocimiento actual sobre la aparición y evolución del género Homo a lo largo de cuatro millones de años y los resultados de las excavaciones que allí realizan investigadores españoles desde el año 2006. Entre los objetos que se muestran hay útiles de piedra, cráneos y restos óseos, réplicas directas de algunas piezas, escáneres en 3D, reconstrucciones del hábitat y un vídeo de Javier Trueba sobre los trabajos que allí se realizan. La joya de la exposición son los restos originales de OH80, un homínido de 1,34 millones de años de antigüedad, descubiertos en 2010.

EN RED

Los microorganismos nos hablan

El mundo microbiano abarca desde temas tan variados como las bacterias que respiramos en las grandes ciudades, pandemias que han azotado a la población a lo largo de la historia, vacunas que salvan vidas, levaduras que sirven para producir cerveza y queso y también para luchar contra la malaria, hongos que viven en nuestra piel y las más recientes aplicaciones en biotecnología. Un audioblog, El *podcast* del microbio, nos desvela de manera amena y entretenida todos los secretos de los organismos microscópicos, en forma de *podcast* que acercan al oyente a ese extenso universo que queda invisible a los ojos humanos, pero que ocupa todos los espacios y está presente en cada momento de nuestra vida.

http://podcastmicrobio.blogspot.com.es/search?updated-max=2013-10-25T09:56:00%2B02:00&max-results=25

Paleourbana

Sin poder apreciarlo, día a día pasamos al lado de infinidad de fósiles que se encuentran en el pavimento del metro o en las paredes de edificios. Paleourbana es un proyecto que nace para descubrir y difundir esa presencia de los llamados fósiles urbanos, tal y como los define su creador, Rubén Santos Alonso. Este geólogo ha encontrado en su *hobby*, que es coleccionar fósiles, la posibilidad de llevar a cabo un proyecto cultural de envergadura, que trata de ubicar en un mapa colaborativo los vestigios de fósiles que se van encontrando en todas las ciudades del mundo.

En su página web www.paleourbana.com muestra todo lo que se necesita saber para convertirse en el mejor buscador de reliquias de la ciudad. Ofrece algunos consejos sobre dónde buscar los fósiles, cómo es el tipo de baldosa donde existe una mayor probabilidad de encontrar un ejemplar o de qué manera se aprecian mejor. El proyecto cuenta ya con unas 120 imágenes de todo el mundo, repartidas en cinco países, aparte de España, aunque espera ir creciendo con la participación de la gente y crear una comunidad de aficionados por ciudades de todo el mundo, que alimenten la base de datos de la web con sus aportaciones.

REDES

Museos científicos coruñeses (=mc^2)

La Casa de las Ciencias, Domus y el Aquarium Finisterrae se juntan en esta página para publicar información actualizada de todo lo que ocurre en los museos científicos de A Coruña.

@Lucy_MEH

Esta *Australophitecus afarensis* de 3,2 millones de años tuitea recuerdos de su forma de vida comparada con la actual, desde el Museo de la Evolución Humana de Burgos.

@amnh

Para visitar las piezas que forman las colecciones del American Museum of Natural History de Nueva York sin moverse del sofá.

@marscuriosity

Además de suelo rojizo y algún que otro *selfie*, este Instagram publica fantásticas imágenes tomadas por el Curiosity, el astromóvil de exploración en Marte de la NASA.

"Raras pero no invisibles"

Este documental nace del deseo de manifestar la labor investigadora que se realiza en nuestro país sobre enfermedades raras.

Central Gemasolar, de Torresol Energy, una muestra de la ingeniería de SENER.

TECNOLOGÍA NUCLEAR ESPAÑOLA 7

SENER, ingeniería española en la vanguardia mundial

La excelencia en el ADN

A punto de cumplir 60 años, SENER, una de las ingenierías más antiguas de España, sigue a la cabeza en tecnología. Nacida en Bilbao, comenzó haciendo ingeniería para el diseño de barcos, siguió navegando por el espacio y ahora una buena parte de su negocio está en el campo de la energía. Hacen motores de aviones con Rolls Royce, paneles solares para satélites, centrales nucleares y termosolares, plantas de gas –desde regasificadoras hasta ciclos combinados– y de tratamiento de purines, instalan trenes de alta velocidad y líneas de metro en todo el mundo y acaban de abrir su división en la India, con oficinas en Nueva Delhi, Bangalore y Chennai, la última, por el momento, de sus exitosas aventuras en el exterior.

Texto: **Antonio Calvo Roy** | periodista científico

"Sí, empezamos con la ingeniería naval, pero ese campo no ocupa ahora más que una pequeña parte de nuestra actividad", dice Borja Zárraga, director general de la División de Energía y Procesos de SENER. Y es que esos casi 60 años de historia han dado mucho de sí y, sobre todo, reflejan bien el cambio industrial que se ha producido en el mundo y del cual las ingenierías son un reflejo. Cuando se creó SENER, en 1956, quedaba un año para que se lanzara el primer ingenio espacial, el Sputnik I soviético; sin embargo, la empresa ha participado en la fabricación o el diseño de decenas de artefactos que están navegando hoy por el espacio, y su dedicación a los cielos, es decir, a lo que por allí navega, es mucho más importante para la empresa que la ingeniería dedicada al diseño de barcos.

"Mantenemos presencia en el sector naval, dice Zárraga, porque somos los

propietarios de un programa para la preparación y el diseño de construcción de todo tipo de buques que se usa en unos 150 astilleros de todo el mundo." Es un sistema, llamado Foran, *formas analíticas*, basado en un *software* CAD/CAM, "uno de los dos que hay así en el mundo", que permite ver el barco en tres dimensiones, lo que hace posible construirlos diseñando mejor no solo el prototipo, sino todos los procesos aparejados a la propia construcción. Sin embargo, la ingería naval ocupa solo un 3 % de la actividad de SENER, en buena medida porque en 1966 entraron en la carrera espacial gracias a ganar el concurso internacional para diseñar y construir una torre de lanzamiento de cohetes en Kiruna, al norte de Suecia, para el embrión de lo que años después se convertiría en la ESA, la Agencia Europea del Espacio.

Desde entonces, y teniendo en cuenta que al espacio se llega desde la tierra, es decir, "después de haber demostrado solvencia en la construcción de instalaciones en tierra", dice Zárraga, SENER entró con fuerza en este mundo, en su parte de aviación, tanto civil como militar, y en la directamente espacial, diseñando y construyendo piezas y estructuras de satélites. Por ejemplo, el satélite Gaia, lanzado por la ESA en diciembre del 2013, destinado a catalogar unos 1.000 millones de estrellas desde una distancia de un millón y medio de kilómetros de la Tierra, lleva varios componentes de SENER, de vuelo, de electrónica y estructurales, entre ellos un parasol de 11 metros de diámetro destinado a conservar la baja temperatura de los instrumentos y a asegurar su estabilidad térmica.

En la actualidad entre 130 y 140 artefactos que vuelan a diversas distancias de la Tierra tienen algún componente diseñado o fabricado por esta ingeniería. "En el mundo espacial y aeronáutico, dice Borja Zárraga, hacemos casi de todo: óptica, comunicaciones, mecanismos de control, fluidodinámica, materiales… Tenemos gente muy cualificada que forma un gran equipo de excelencia técnica que nos permite competir muy bien en el exigente mercado internacional. Para eso, a mi juicio, necesitas creerte de verdad esto de la excelencia, que no sea solo una palabra sino mucho más."

Con respecto al tercero de los grandes grupos de actividades, las infraestructuras, la obra civil, SENER está presente prácticamente en todas las áreas, pero en los últimos años ha adquirido

El proyecto Fuskite

Desde 2011 SENER, en este mismo campo de la I+D+i, está llevando a cabo un proyecto que cuenta con una subvención del CDTI y con la participación del Ciemat. Se trata del proyecto Fuskite, un demostrador tecnológico de base teórica para demostrar la permeación contra vacío. El punto de partida del proyecto ha sido un diseño preconceptual llevado a cabo por el Ciemat. SENER es responsable del proyecto llave en mano del demostrador completo, es decir, se ocupa del diseño conceptual y detallado, incluyendo procesos, estructuras, mecánica, instrumentación y control y electricidad, así como de la fabricación, montaje y puesta en marcha del demostrador.

SENER lleva a cabo esta investigación en el campo de la fusión nuclear como alternativa al diseño de base de ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor, en español Reactor Termonuclear Experimental Internacional), un proyecto de gran complejidad, ideado originariamente en 1986, para demostrar la factibilidad científica y tecnológica de la fusión nuclear para producir electricidad. Un proyecto, por cierto, que para algunos, no sin ironía, se ha convertido en una nueva constante de la física, puesto que siempre está a 25 años de su puesta en explotación. Sin embargo, la realidad es que, pese a su gran complejidad, se va avanzando y el proyecto Fuskite es un buen ejemplo de ello. Sus resultados también serán de aplicación para otros futuros reactores de fusión, como el DEMO (DEMOnstration Power Plant).

En este nuevo desarrollo, SENER colabora, además de con el Ciemat, con la Universidad Politécnica de Cataluña, el Instituto Químico de Sarriá y la Universidad del País Vasco. "Se trata, dice Borja Zárraga, de un demostrador tecnológico para la extracción de tritio, un material imprescindible en la fusión nuclear y, sin embargo, escaso y caro de obtener." Por eso, este nuevo desarrollo busca recuperar el tritio generado en los lazos de metal líquido de los reactores de fusión, maximizando la eficiencia de recuperación de la molécula del hidrógeno. Pero, sin duda, el aspecto más innovador de este proyecto radica en su permeador, un componente encargado de la recuperación del hidrógeno que, debido a su forma característica y a sus propiedades, se convierte en el elemento clave para alcanzar resultados satisfactorios. El permeador es uno de los retos tecnológicos del proyecto en cuanto a su diseño y fabricación. En la actualidad, Fuskite se encuentra en la fase de puesta en marcha, tras haber sido montado en las instalaciones de SENER en Cerdanyola del Vallès (Barcelona) y a la espera de empezar la etapa final de experimentación, que se estima finalizará durante 2014.

SENER nuclear

En la década de 1970, la empresa trabajó en diversos aspectos de ingeniería en las plantas nucleares que entonces se estaban construyendo en España, especialmente en Almaraz, Cofrentes, Lemóniz y Garoña. Y participó en la última gran operación de ingeniería relacionada con las nucleares españolas, la sustitución de los generadores de vapor de Almaraz, en 1996. Pero en la actualidad los proyectos nucleares son solo una pequeña parte del gran campo de la energía, aunque no han abandonado completamente el sector. Trabajaron, y aún están presentes, en la planta de Atucha II, en Argentina, inaugurada en 2011, donde se ocuparon, entre otros trabajos, de la ingeniería de detalle de los sistemas de corrientes débiles y de las instalaciones de iluminación y tomacorrientes en los edificios operativos de la central.

Mirando al futuro, SENER está presente en el proyecto del reactor nuclear Carem, de 25 MW, donde llevan a cabo el desarrollo de la ingeniería conceptual y la evaluación de alternativas para los sistemas de refrigeración del reactor nuclear, incluido el estudio hidrotérmico de las descargas de las aguas de enfriamiento.

Además, en el laboratorio de transmutación, llevan a cabo el estudio de viabilidad técnica y económica. Eso supone

Borja Zárraga, director general de la División de Energía y Procesos de SENER.

una cierta especialización en la construcción y el diseño de metros y trenes de alta velocidad. Por ejemplo, dice Zárraga, "estamos presentes en cerca del 80 % de las grandes infraestructuras que se están diseñando en México, y tenemos una fuerte presencia también en Catar, Colombia y muchos otros países. Nos anticipamos y, ya desde antes de la crisis, una parte muy relevante del nuestro negocio, cerca del 65 %, viene de fuera de España."

Entre los campos en los que trabaja la compañía, además de la alta velocidad, ferroviaria y los ferrocarriles convencionales, metros (en Bogotá, Hanói, Ciudad de Panamá y Sao Paulo, entre otras) y tranvías, tienen proyectos en curso en diversos países del mundo de arquitectura y urbanismo —remodelación del Hospital General de México DF—, de planificación del transporte tanto de carreteras como de autopistas —la Transmontana, en Portugal—, puertos y obras marítimas, aeropuertos —Colombia—, y también infraestructuras hidráulicas, por citar solo algunos ejemplos, a los que hay que añadir varias obras en estadios en Brasil para el Mundial de fútbol de 2014.

Pese a todo, la cuarta pata de la actividad de esta ingeniería, el sector energético, es, sin duda, la más relevante desde el punto de vista de la ocupación y de la facturación. En este sector se dedican a la construcción de centrales de gas para producir electricidad, tanto ciclos combinados como plantas convencionales y centrales nucleares, además de las de cogeneración. En el campo de las energías renovables, al que la empresa se ha dedicado con fuerza en los últimos años, participan de distinta manera en el diseño y construcción de plantas termosolares, de biomasa, de valorización de basura, bio-fuels, e hidroeléctricas. Por último, en el mundo de la energía están

Planta de regasificación Gate Terminal, en Róterdam (Holanda).

la ingeniería básica de la instalación, el diseño conceptual de la vasija y partes internas del reactor, disposición de los edificios, estimación de costes de inversión y de operación, criterios para el emplazamiento y alternativas de licenciamiento, entre otras cosas. Este trabajo es el resultado de una estrecha colaboración con el Ciemat, que desarrolló el concepto del reactor subcrítico, las principales características del ciclotrón y los requisitos globales de este laboratorio.

En campos próximos han trabajado en la fuente de espalación de neutrones de Bilbao, un proyecto que recientemente se ha reactivado. De hecho y gracias a este proyecto, España ha sido el primer país socio de la Fuente Europea de Neutrones por Espalación (ESS) que ha firmado con Suecia la carta de intenciones, en la que asume un compromiso del 5 % para la futura construcción de esta instalación científica en la localidad sueca de Lund. Una parte importante de la colaboración se centra en el desarrollo de la instalación de Bilbao, que pertenece al 50 % al Gobierno del País Vasco y al Gobierno Español.

ITER es otro de los proyectos internacionales relacionados con el mundo nuclear en el que SENER también está presente con otros proyectos. Y, si la opción española de Vandellós hubiera ganado a Cadarache para albergar este reactor de fusión, su participación, y la de toda la industria y la ingeniería nacional habrían sido mucho mayores. Para el proyecto ITER trabajan, además de en el proyecto Fuskite, en robótica, ingeniería eléctrica, diseño de equipos para el equipamiento mecánico y estudios diversos.

también presentes en el área del refino, la química, la petroquímica y los plásticos, además de las plantas de tratamiento de gas en cualquiera de sus variantes, incluida la construcción de regasificadoras, de almacenamientos subterráneos de gas y plantas de licuefacción.

De hecho, "el campo de la energía supone el 80 % de la facturación de la compañía", dice Zárraga. Muchos de los proyectos incluyen la entrega llave en mano al cliente, no solo la ingeniería, es decir, además del diseño se ocupan de dirigir la obra y la puesta en marcha, así como, en algunos casos, su operación y mantenimiento. Y en una buena parte los proyectos de ingeniería son para plantas propias, gracias en buena medida a la solidez financiera y a su capacidad para aportar a otros socios su experiencia en ingeniería.

En todo caso, su participación en proyectos internacionales de primera línea, tanto en el campo de la energía como en otros, se cimenta en su apuesta constante por la I+D+i, actividad a la que dedican en torno al 6,5 % de los ingresos del grupo. De hecho, entre sus socios tecnológicos se encuentran el centro asociado a la Escuela de Ingenieros Industriales de San Sebastián, con el que trabajan en un simulador de realidad virtual para operaciones de montaje y desmontaje de piezas de motores de aviación. También colaboran con el Ciemat, llevando a cabo la investigación y prueba de varios sistemas de generación eléctrica termosolar; con el INTA (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial), en el desarrollo óptico de la cámara principal del futuro satélite español de observación de la Tierra; y, por último, con el Centro Tecnológico Aeronáutico del País Vasco, con el que se desarrollan programas de investigación y ensayos relacionados con la propulsión aeronáutica.

Planta de cogeneración de Cydsa en Veracruz (México)

PROYECTO DJEHUTY

Los éxitos de la arqueología española a pesar de las dificultades que afronta

Viaje en el tiempo bajo la arena egipcia

Cada año durante los meses de invierno, un pequeño grupo de apasionados e incansables egiptólogos españoles pone rumbo a Egipto. Durante dos o tres meses excavarán, fotografiarán, documentarán y restaurarán vestigios de ese mundo misterioso que ha inspirado novelas, películas y vocaciones. Un trabajo duro por la frágil situación política y social que ahora se vive en Egipto y por la escasez de ayudas económicas, que les hace dedicar buena parte de su tiempo a la búsqueda de financiación, bien entre las migajas de las ayudas públicas o ante la puerta de la dura negociación de la empresa privada. Algunos dicen que la arqueología española atraviesa su mejor momento, otros que sigue muy lejos de la primera división mundial, pero cada invierno, la migración arqueológica vuelve a hacer las maletas. Este es parte de su viaje. ■ Texto: **Eugenia Angulo** | periodista científica ■

Ataúd *rishi* del año 1600 a. C. descubierto en la campaña de 2014.

PROYECTO DJEHUTY

El Proyecto Djehuty lleva ya doce años de excavaciones exitosas.

Necrópolis de Dra Abu el Naga, Tebas, actual Luxor. Alrededor del año 1470 a.C., siete pendientes de oro ruedan desde el fondo de una cámara funeraria excavada en las entrañas de una colina en la orilla occidental del Nilo, cerca del Valle de los Reyes. Los saqueadores de tumbas, a lo mejor por la prisas, a lo mejor porque no pueden cargar con más, se dejan olvidados los sietes pendientes que se cuelan por una abertura y caen por un túnel hasta toparse con la entrada de otra cámara que ha pasado desapercibida a los ladrones. Una historia al más puro estilo del Antiguo Egipto.

Proyecto Djehuty

Unos 3.500 años después, la luz vuelve a iluminar el oro de los siete pendientes y también la maravilla que escondía esta cámara sepulcral pintada completamente con escrituras y dibujos del *Libro de los muertos*, una auténtica Capilla Sixtina a orillas del Nilo. O "un sueño", en palabras de su descubridor, José Manuel Galán, investigador del Instituto de Lenguas y Culturas del Mediterráneo y Oriente Próximo del Centro Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). "Curiosamente, interesándome las letras he ido a parar a la tumba del escriba".

El escriba y dueño de la tumba era un hombre llamado Djehuty, supervisor del Tesoro y alto dignatario de la corte de la poderosa Hatshepsut, una de las pocas mujeres que reina como faraón en el antiguo Egipto, entre los años 1500 y 1450 a.C. Y José Manuel Galán, uno de los egiptólogos españoles más exitosos y director desde el año 2002 del Proyecto Djehuty, que hace pocos meses concluyó su XIII campaña de excavaciones. Trece años excavando gracias al patrocinio privado, en los últimos tres, de Unión Fenosa Gas.

"A comienzos de la dinastía XVIII no se decoraban las cámaras sepulcrales, Djehuty fue uno de los primeros intelectuales en hacerlo, lo que le coloca entre los personajes más importantes del momento y uno de los escribas más creativos al servicio de la reina Hatshepsut", explica Galán. Djehuty mandó pintar a Nut, la diosa del cielo, en el centro del techo de su tumba y a su alrededor, dibujos y jeroglíficos del *Libro de los muertos*, un texto que pretende ayudar al difunto en su camino al más allá.

"Las inscripciones son como un papiro pintado en la pared. Tenemos uno de los ejemplares más antiguos y más largos, de ahí su importancia. Si me hubieran dicho que me encuentro con esto me muero de risa, supera con creces el sueño de un egiptólogo, sobre todo si te interesan las letras. Por este descubrimiento, el equipo de Galán —que como curiosidad excava al lado de la casa que Howard Carter utilizaba cuando descubrió la tumba de Tutankamon— consi-

guió ser portada de la prestigiosa revista *Egyptian Archaeology,* que ahora cuelga de las paredes de su despacho.

El equipo está formado por casi una veintena de investigadores españoles entre arqueólogos, arquitectos, restauradores y geólogos, además de unos 110 trabajadores egipcios que contratan en Luxor y varios especialistas extranjeros. Este año les han visitado expertos del Museo Smithsonian y el director de documentales Javier Trueba. Durante las seis semanas de campaña trabajan seis días a la semana, descansan sólo los viernes, y a las 7 de la mañana ya están en el yacimiento.

Aparte de la cámara pintada, los españoles han descubierto tres ataúdes de épocas distintas que estaban enterrados bajo un falso suelo en el patio que daba entrada a la tumba de Djehuty: la Dama Blanca, un ataúd de una mujer desconocida completamente pintado de blanco y datado en el año 1000 a. C., que se expone actualmente en el Museo del Cairo; Iquer el arquero, de tez oscura y rasgos negroides, un guerrero probablemente nubio que fue enterrado hace 4.000 años con sus arcos y flechas que aún conservan las plumas y que puede verse en el Museo de Luxor. Y del 1600 a. C. y hallado hace apenas unos meses, Neb, oculto en un ataúd *rishi* pintado con vivos colores y con decoración en forma de plumas. También han encontrado cientos de momias de ibis y halcones depositados en el siglo II a. C. en una galería subterránea cercana a la tumba de Hery, otro funcionario real que vivió unos 50 años antes que Djehuty y al que también investigan.

De lo que no hay rastro es de ninguna de las dos momias, ni Djehuty ni Hery, aunque para Galán, que ha encontrado ya muchas momias en su vida, es algo secundario. "Lo bonito es que ahora estamos viendo la relación que existe entre unas tumbas y otras, el urbanismo, digamos, de la necrópolis, que es una ciudad; la ciudad de los muertos, como dice su nombre". El hallazgo de Neb ha confirmado que la colina de Dra Abu el-Naga fue el cementerio de la familia real de la dinastía anterior, la XVII, uno de los periodos más desconocidos de la historia de Egipto, lo que podría explicar por qué Djehuty decide construir allí su tumba, lejos del resto de sus colegas.

PROYECTO DJEHUTY

PROYECTO DJEHUTY

Ataúd de madera con la momia de un personaje llamado Neb, de la dinastía XVII, hallado durante la última campaña del Proyecto Djehuty por el equipo de José Manuel Galán. A la izquierda, la Dama Blanca, datada en el año 1000 a. C., uno de los ataúdes descubiertos por Galán y actualmente expuesta en el Museo Egipcio de El Cairo.

Salvando dificultades

"Con estos éxitos de la egiptología española la gente tiene la idea de que estamos fenomenal. Pues no. Estamos a años luz de Francia, Alemania, Inglaterra... Y no solo porque ellos tengan tradición y nosotros no sino porque ellos invierten mucho más en general en ciencia, y en particular en la ciencia egiptológica. A nuesttro lado excavan los belgas con dinero de la Universidad de Bruselas, por lo que no tienen que perder tanto tiempo como pierdo yo buscando patrocinio privado. Y al lado del belga está el australiano, y el italiano… que cuando les cuento los triple saltos mortales que tengo que hacer para reunir el dinero me miran con una cara...", dice Galán con gesto de cansancio. Aún así, por la creciente importancia del proyecto, el todopoderoso Servicio de Antigüedades Egipcio derribó las casas de un poblado para que pudieran excavar la zona y ahora están a la espera de que les concedan una nueva ampliación de la concesión.

Pero al margen de los objetos, lo que más fascina a este egiptólogo amante de

Relojes del pasado: la técnica del radiocarbono

Hasta mediados del siglo XX, los arqueólogos dependían casi exclusivamente de la historia como método para datar la antigüedad de los materiales que encontraban, tarea fundamental en arqueología. En 1940, Willard Libby, profesor de química en la Universidad de Chicago, propuso utilizar medidas de la proporción de carbono-14 en muestras biológicas para conocer su edad.

Este isótopo radiactivo se genera en la atmósfera por el impacto de los rayos cósmicos y es absorbido por las plantas, en forma de dióxido de carbono, a través de las que pasa a toda la cadena trófica. Su presencia en el ambiente es más o menos constante, ya que se produce a un ritmo que compensa su desaparición por desintegración radiactiva. Libby se dio cuenta de que los organismos vivos también mantienen una cantidad constante de carbono 14 hasta que mueren, momento en el que dejan de absorberlo y sus restos lo van perdiendo por desintegración por lo que midiendo esta cantidad residual podría calcularse la edad. En 1949, publicó un artículo en la revista *Science* con las medidas que había obtenido datando dos muestras de madera tomadas de las tumbas de los reyes egipcios Zoser y Snefru.

Este descubrimiento puso en marcha toda una revolución en arqueología, cambiando importantes datos cronológicos académicos, y en 1960 Libby recibió el Premio Nobel de Química. Sin embargo, el investigador dio por sentado que la concentración de carbono 14 en la atmósfera había permanecido igual a lo largo de los años. En la actualidad se sabe que esta ha variado con el tiempo, debido en gran parte a los cambios en el campo magnético de la Tierra, y se aplican una serie de cálculos de calibración de las fechas radiocarbónicas. Desde entonces también se han desarrollado otros procedimientos que se utilizan en arqueología para medir el paso del tiempo: espectrometría de masas con aceleradores de partículas (AMS), datación de resonancia electrónica de espin (RES), termoluminiscencia, aplicación de radiación sincrotrón, método de OCR (Oxidizable Carbon Ratio), método de tasa de cationes o datación potasio-argón. Estas técnicas se aplican en condiciones concretas dependiendo de la necesidad y precisión en la datación que necesiten los arqueólogos.

las letras son los textos, como no podía ser de otra manera: "Lees la historia de Sinué y no puedes creerte que haya sido escrito en el año 2000 a. C. ¡es actual! Y lo mismo con *La historia del príncipe predestinado, El viaje de Unamón*... Ha cambiado la tecnología, la ropa, la moda, pero la esencia del ser humano permanece. Y es más fácil acercarte a la mente que acercarte a los hechos. Lees a Ramses II y ni siquiera puedes afirmar que hubo una batalla de Qadesh. Pero luego Ramses II vuelve a Egipto y monta unos paneles propagandísticos presentándose a sí mismo como ganador. Lo mismo ocurre con Djehuty. Yo no sé cómo era pero sí sé cómo quería que le vieran los demás, y a través de lo que escribe puedo acceder a su mente. No sé si era una mala persona, probablemente para llegar a ser supervisor del Tesoro debía de ser obviamente ambicioso, probablemente algo corrupto y algo ladrón, pero a la vez

PROYECTO DJEHUTY

El Libro de los muertos escrito en el techo y en las paredes de la tumba de Djehuty.

era un intelectual preocupado por las letras, por el conocimiento del pasado. Eso es lo que me gusta de Djehuty".

El legado de Tutmosis III

Templo de Millones de Años de Tutmosis III, en el margen occidental del Nilo, Tebas, actual Luxor. Prosigue el viaje. Tutmosis III, sobrino e hijastro de la poderosa reina Hatshepsut, por fin ocupa el trono y hace erigir un templo para su mayor gloria. Unos 3.000 años después, la arqueóloga española Myriam Seco dirige el proyecto que, desde 2008, trata de rescatar de las arenas del desierto y del olvido este templo que comenzó a construirse en los primeros años de reinado del faraón.

La mastodóntica labor es uno de los buques estrella de la arqueología española: excavar, restaurar y poner en valor el templo funerario de uno de los más grandes faraones de la historia egipcia, el hombre que llevó a su máximo esplendor el imperio tras la muerte de Hatshepsut —con la que las malas lenguas de la arqueología dicen que tenía una relación turbulenta—, el conocido como el Napoleón egipcio, que ganó todas sus campañas militares y además era tatarabuelo de Tutankamón. Nada menos que el Templo de Millones de Años de Tutmosis III, como se denominaban los templos funerarios del Imperio Nuevo.

Pero cuando llegó la arqueóloga, lo primero que vio fue una vasta extensión de ruinas tapadas por la arena, que además estaba atravesada por la carretera que lleva a la zona turística del Valle de los Reyes. Seis años después, el yermo descampado se está convirtiendo en un monumento importante que esperan sea visitable en el futuro.

"Cuando comenzamos sabíamos que estábamos ante un yacimiento que había sufrido bastantes pérdidas y estaba en muy mal estado, pero nos pusimos a trabajar y empezaron a salir sorpresas", cuenta Seco durante una de sus cortas visitas a España. De momento han sacado a la luz los pilonos de entrada al templo que estaba completamente amurallado e incluía diferentes patios. Miles de fragmentos como bloques de adobe, inscripciones, cerámicas... Y un golpe de suerte. En la primera campaña se toparon con el viejo almacén empleado por los arqueólogos Weigall y Ricke que excavaron allí en la primera mitad del siglo XX. "Weigall construyó un almacén para depositar las piezas que encontraba y que posteriormente también utilizó Ricke, mientras realizaba sus estudios arquitectónicos. Curiosamente, se olvida su existencia y se va cubriendo de arena hasta que llegamos nosotros. De repente en la primera semana tenemos más de 2.000 fragmentos de las paredes del templo sin publicar. Fue un subidón", recuerda.

THUTMOSIS III TEMPEL PROJECT

La arqueóloga Myriam Seco excavando en el interior de una tumba de las encontradas en la necrópolis bajo el Templo de Tutmosis III que restaura desde hace años.

Y como casi siempre cuando te pones a excavar bajo las arenas egipcias, el equipo ha descubierto restos de construcciones anteriores sobre las que se construyó el templo. "Al principio estábamos muy concentrados en el trabajo en el templo, pero en 2010 empezamos a ver que el yacimiento estaba sobre una auténtica necrópolis del Imperio Medio/Segundo Periodo Intermedio, que es una época muy interesante, de la que hay poca información". Ya van por la tumba número 12, la mayoría saqueadas, aunque han encontrado restos de ajuares, una colección de cuchillos mágicos, huesos humanos, fragmentos de ataúdes, estelas funerarias...

El proyecto es fruto de la cooperación entre el Servicio de Antigüedades Egipcias y la Academia de Bellas Artes de Sevilla y está codirigido por el egiptólogo Nur Abd el Gafar Mohamed. Seco, al igual que Galán, buscó el apoyo y la financiación de mecenas privados, y lo encontró en la Fundación Botín, Santander Universidades y Cemex, además de contar con el apoyo de la embajada española en Egipto. Y también, al igual que Galán, Seco consiguió la concesión para excavar en esta necrópolis de Tebas que en la actualidad es la zona de moda en el universo de la arqueología, lo que sitúa a ambos investigadores en la *créme* de la *créme* de esta disciplina famosa por la rivalidad. "La egiptología española ha mejorado muchísimo, desde el año 2000 ha habido un *boom,* hay cada vez más misiones, gente que se va al extranjero a estudiar, más te-

THUTMOSIS III TEMPEL PROJECT

Fotografía aérea de la excavación arqueológica del Templo de Tutmosis III que queda atravesada por una carretera.

sis doctorales... Se nota muchísimo más la presencia española", opina.

Seco es una verdadera apasionada de Egipto y desde 1998 vive gran parte del tiempo en El Cairo. La pasada campaña estuvo al mando de un equipo científico de unos 30 miembros y alrededor de 130 obreros egipcios contratados. Ha buceado entre los restos del viejo faro de Alejandría, trabajado en el proyecto de restauración de los Colosos de Memnon con un equipo alemán —se formó en la Universidad de Tübingen— y tocado muchas puertas desde que aterrizó completamente sola en Egipto. "Todo eso me ha dado una experiencia, me ha permitido que me conozcan en Egipto, lo que me ha ayudado mucho para poder montar mi propio proyecto", explica.

Cuenta que la vida allí es ahora un poco triste, un país arruinado en el que prácticamente ha desaparecido el turismo desde que comenzó la primavera árabe. "En tres meses hemos visto a lo mejor 10 autocares con turistas en Luxor y el primer día de contratación se me juntaron cerca de 500 personas en la carretera. Pero también se respira una esperanza en que el país se estabilice por fin y el turismo vuelva". Sobre su futuro añade sonriente: "Sigue sin llegar mi gran momento egiptológico. Yo espero en cada campaña el gran descubrimiento. Para mí sería muy importante hacer visitable el templo, es un proyecto de vida y poder concluirlo, un privilegio".

Una necrópolis en Asuán

El viaje finaliza 1.000 kilómetros al sur de El Cairo, sobre la cima de la colina más alta de la región de Asuán, en la orilla del Nilo. Allí se encuentra la necrópolis de Qubbet el Hawa, donde los gobernadores de la ciudad de Elefantina se hicieron enterrar hace 4.000 años, en su paso previo a la eternidad. Es la última ciudad de Egipto, la frontera con la vecina Nubia y de allí con todo el África negra, y un lugar clave desde el punto de vista comercial y de las relaciones con otras culturas.

"Por Elefantina entraba incienso, mirra, oro, marfil, maderas nobles como la caoba, plumas de avestruz, pieles de leopardo, aceites, perfumes... Y también personas", relata Alejandro Jiménez, investigador de la Universidad de Jaén y director de la misión española que desde 2008 trabaja en Qubbet el Hawa, con el apoyo del Consejo Supremo de Antigüedades Egipcio.

Y es precisamente la entrada de personas una de las claves del yacimiento. El

equipo trabaja con el antropólogo forense Miguel Botella, de la Universidad de Granada, para analizar los restos de estas familias de antiguos gobernantes de Asuán y están sacando a luz la complejidad étnica de una provincia de frontera como era Elefantina. "No podemos pensar que todos en la familia del gobernador eran de tipo mediterráneo, sino que también tenían aportes de etnias que vivían en la misma zona, es decir, no había una singularidad étnica relacionada con el gobierno sino que probablemente tenían una mente mucho más abierta de lo que la sociedad occidental la tiene ahora", explica Jiménez. Y esto supone una completa novedad en egiptología, que siempre ha considerado que los gobernantes egipcios eran miembros exclusivamente de la etnia egipcia.

© PROYECTO HERACLEOPOLIS MAGNA

Templo de Herysehf o de Heracles, como le llamaban los griegos, dios local de Heracleópolis Magna.

Así que sin albergar reyes —la obsesión de los que estudian la historia de Egipto— el yacimiento se está convirtiendo por derecho propio en uno de los más importantes de todo Egipto. Alberga casi un centenar de tumbas talladas en la roca de la colina, que mide unos 130 metros de altura —se han excavado solo 70— la mayoría pertenecientes a nobles del Reino Antiguo y el Reino Medio (2600-1750 a. C.) aunque también las hay posteriores. En total fue utilizada durante un abanico de tiempo que abarca casi 1.400 años.

La *pièce de résistance* es la tumba número 33. Los arqueólogos pensaban que iba a ser de tamaño mediano pero ha resultado ser el mayor complejo funerario de toda la necrópolis: "Como no había decoración ni relieves nadie había querido excavarla, la verdad es que es un

Bodas de plata con Herishef

El sueño de Carmen Pérez Die, conservadora jefa del Departamento de Antigüedades Egipcias y del Próximo Oriente del Museo Arqueológico Nacional, es encontrar la tumba de alguno de los reyes heracleopolitanos. "Pero no sé si se van a dejar". Pérez Die es la decana de la arqueología española, con más de 30 años excavando en el yacimiento de Ehnasya el Medina, la Heracleópolis Magna de los griegos, donde se adoró al dios Herishef, Heracles, después. Y a pesar de que ha aplicado todo tipo de tecnologías, desde prospecciones geomagnéticas a estudios por fotografía aérea, aún no han conseguido dar con sus tumbas. Esquivos reyes heracleopolitanos.

Esta ciudad fue la capital de Egipto durante las dinastías IX y X y, desde 1966, la primera concesión arqueológica española obtenida tras la campaña de Nubia por la construcción de la presa de Asuán —y por la que también España recibió el Templo de Debod—. Pérez Die llegó por primera vez como estudiante después de que su mentor Martín Almagro Basch, entonces director del Museo Arqueológico Nacional, le dijera que para ser egiptóloga tenía que marcharse a estudiar fuera de España. Pasó dos años en París aprendiendo la lengua y después en el Museo Egipcio de El Cairo, la que llama su segunda casa. En 1984 pasó a dirigir las excavaciones en Heracleópolis con el objetivo de estudiar la historia y el desarrollo de esta ciudad a partir de los restos que han ido excavando, dos necrópolis pertenecientes al Primer y Tercer Periodo Intermedio, respectivamente, dos momentos de florecimiento de la ciudad.

"La cultura egipcia tiene sus propias características muy personales. Tienes que entrar en ellos para entenderlos, te cuentan a través de las representaciones iconográficas, a través de los textos, de las excavaciones... Yo ya les conozco y puedo establecer un diálogo con ellos", explica. En estos 30 años, la egiptóloga ha realizado estudios de arqueología del paisaje, de arqueoastronomía para estudiar la orientación de

© PROYECTO HERACLEOPOLIS MAGNA

Carmen Pérez Die excavando en el yacimiento de Heracleópolis Magna.

poco desagradable excavar entre cenizas, polvo, guano de murciélago... Pero gracias a eso hemos podido recuperar enterramientos intactos que desde hace unos 100 años no se veían en Egipto", detalla Jiménez. El equipo técnico lo forman una veintena de científicos y unos ocho obreros egipcios, aunque dados los buenos resultados esperan poder contratar el año que viene al menos el triple. En la última campaña su presupuesto rondaba los 30.000 euros que adelantó la Universidad de Jaén porque el Gobierno español aún no había sacado las convocatorias de proyectos de investigación. Aunque algunos años han tenido que utilizar dinero de su propio bolsillo para acabar las campañas...

Existen otros equipos españoles que trabajan en Egipto, el más importante de ellos es el que desde 1984 dirige Carmen Pérez Die en Heracleópolis Magna, la primera concesión arqueológica española en el país. También otro veterano, el egiptólogo Josep Padró, dirige las excavaciones de Oxirrinco; y en la necrópolis tebana, una misión canaria-toscana, dirigida por la egiptóloga Mila Álvarez Sosa, estudia dos importantes tumbas dentro del Proyecto Min. Pero en total no llegan a la decena de excavaciones, comparadas con las más de 50 que pueden tener anualmente países como Francia, Alemania o Inglaterra, que además cuentan con sus propios institutos arqueológicos en tierras egipcias. Se calcula que apenas ha salido a la luz entre el 20 y el 30 % de los restos del Antiguo Egipto. De cómo se trate a la arqueología española en el futuro dependerá el resto del viaje.

los templos, ha encontrado más de 1.200 individuos enterrados, cantidad de piezas de distinto valor y hasta ha organizado una expedición con un grupo de bomberos del Ayuntamiento de Madrid para que estudiaran los restos de un incendio que habían detectado en una zona de la necrópolis. "Estaban fascinados, decían: `Un incendio de hace 4.000 años no lo hemos visto nunca", recuerda. En esta última campaña han comenzado la restauración del Templo de Herishef, el dios local, y están pendientes de publicar los resultados de la excavación de la necrópolis del Primer Periodo Intermedio.

En 2009, Pérez Die comisionó la exposición "120 años de misiones españolas en la tierra de los faraones" en la prestigiosa sala 44 del Museo Egipto y ese mismo año recibió el título de Comendadora de Número de la Orden de Isabel la Católica por el Ministerio de Asuntos Exteriores. "Pero cuando me voy de Egipto estoy deseando volver. Lo echo de menos, es mi segunda casa. Aunque ahora estoy preocupada por su situación, tienen muchos problemas internos, están muy polarizados. Lo único que podemos hacer es estar con ellos. Un amigo de allí dice que me vaya de ¡alcaldesa!", comenta antes de agradecer a la embajada española en Egipto la colaboración y el trato que da a los arqueólogos. Este año precisamente les visitó el embajador. "Reconozco que me emocioné cuando nos dijo que, en estos momentos difíciles en que los turistas han dejado de venir, algunas empresas están dudosas, los únicos que no habían fallado éramos nosotros, los arqueólogos. Todos los equipos, independientemente de la zona, habíamos vuelto", recuerda.

¿Y los reyes heracleopolitanos? Pues poco se sabe, no está claro ni cuántos eran, ni si están enterrados en Heracleópolis, en Shakara o como descendientes legítimos de los faraones del Reino Antiguo, en Giza. "El periodo heracleopolitano acabó en una guerra entre Tebas y Heracleópolis. Y ganó Tebas, que es cuando se convierte en capital con el Reino Medio. Si hubiera ganado Heracleópolis igual la historia hubiera sido distinta".

La protección en radiología diagnóstica está garantizada en España: el reto está en evitar pruebas innecesarias

Radiografías, las justas

En España se realizan cada año casi tantos exámenes radiológicos con fines diagnósticos como habitantes tiene el país. La mayoría son radiografías simples, como la típica placa de tórax, pero en los últimos años ha crecido vertiginosamente el número de TAC o escáneres, que son los que aportan más radiación ionizante al organismo. Aunque la prevención de los riesgos de estas pruebas está garantizada en toda Europa, podría evitarse hasta el 30 % de los exámenes radiológicos. El reto está en reducir estas pruebas innecesarias y optimizar las dosis de radiación, y todo ello pasa por potenciar la cultura de la radioprotección del personal médico, técnico, y de la ciudadanía. ■ Texto: **Gonzalo Casino** | periodista especializado en salud y ciencia ■

Desde que se descubrieron hace un siglo las enormes posibilidades de la radiación ionizante en el diagnóstico médico, las técnicas radiológicas han evolucionado a partir de las rudimentarias y peligrosas prácticas originales hasta los sofisticados y controlados procedimientos actuales. El radiodiagnóstico no solo ha mejorado la calidad de las imágenes, sino que también ha reducido las dosis de radiación, consiguiendo de este modo incrementar su eficacia y reducir sus efectos indeseados. El balance de riesgos-beneficios de estas técnicas es altamente positivo en general, sobre todo en España y en el conjunto de la Unión Europea, donde los protocolos de seguridad y protección radiológica son más estrictos. Pero todavía hay un amplio margen de mejora en cuanto al conocimiento de las dosis de radiación aplicadas, la optimización de los exámenes radiológicos y la reducción de pruebas innecesarias.

En todo el mundo se realizan cada año más de 3.600 millones de estudios radiológicos orientados al diagnóstico de enfermedades, lo que representa aproximadamente una media de una prueba por cada dos personas y año. En España, se realiza ya casi una prueba por habitante, y esta media se supera en las zonas y países más desarrollados. La introducción de las nuevas tecnologías ha permitido realizar diagnósticos más precisos y rápidos, y esto ha favorecido el aumento sostenido de exámenes radiológicos, sobre todo a expensas de la tomografía axial computarizada (TAC o escáner).

Este éxito del radiodiagnóstico ha aumentado de forma significativa la dosis de radiación ionizante que recibe la población. Aunque el 80 % de esta radiación proviene de fuentes naturales (radioisótopos que se encuentran en las rocas terrestres, en el aire y el agua, o que provienen del espacio exterior), la originada por las aplicaciones médicas representa ya el 20 % restante, y sigue creciendo. Tanto es así que uno de los principales problemas planteados es la sobreutilización de las técnicas radiológicas de diagnóstico por imagen y, más específicamente, su uso sin una indicación médica clara.

María Neira.

"Existen datos que sugieren que aproximadamente un tercio de los procedimientos de radiodiagnóstico no estaría clínicamente justificado, en particular en los países industrializados", apunta María Neira, directora del Departamento de Salud Pública, Determinantes Sociales y Ambientales de la Salud de la Organización Mundial de la Salud (OMS) en Ginebra. En contraste, recuerda Neira, en muchos otros países del mundo hay una clara falta de acceso a los exámenes radiológicos para el diagnóstico de enfermedades, incluso a las pruebas más sencillas.

La placa de tórax sigue siendo la exploración radiológica más habitual de todas. En España, la radiología convencional representa las dos terceras partes de las pruebas diagnósticas que se realizan en los servicios de radiología, mientras que el TAC representa apenas el 10 % (el resto de exploraciones se reparten entre resonancias magnéticas y ecografías, que no comportan radiación ionizante). Sin embargo, la mayoría de la dosis de radiación ionizante de origen médico proviene de los estudios de TAC y no de la radiografía convencional.

La radiografía digital ya ha sustituido por completo a la tradicional placa fotográfica.

Tabla 1. Dosis efectivas en radiodiagnóstico

Procedimiento diagnóstico	Dosis efectiva (mSv)	Nº equivalente de radiografías (RX) de tórax	Periodo equivalente de radiación natural
RX de extremidades	< 0,01	< 0,5	< 1,5 días
RX de tórax	0,02	1	3 días
RX de cráneo	0,07	3,5	11 días
RX de columna dorsal	0,7	35	4 meses
RX de columna lumbar	1,3	65	7 meses
RX de cadera	0,3	15	7 semanas
RX de pelvis	0,7	35	4 meses
RX de abdomen	1	50	6 meses
Tránsito intestinal	3	150	16 meses
Enema opaco	7	350	3,2 años
TAC cabeza	2,3	115	1 año
TAC tórax	8	400	3,6 años
TAC abdomen	10	500	4,5 años

Fuente: "Guía de indicaciones para la correcta solicitud de pruebas de diagnóstico por imagen". *Protección Radiológica,* n.º 118. Comisión Europea.

La tomografía axial computarizada es la prueba diagnóstica que más radiación genera.

La dosis efectiva de radiación que recibe el organismo humano en una exploración radiológica depende de la técnica empleada y de la zona irradiada (véase la tabla 1). Las radiografías convencionales de las articulaciones y las extremidades son las que implican una menor dosis efectiva, seguidas de la radiografía simple anteroposterior de tórax. La dosis de radiación suministrada en una típica placa de tórax con los equipos actuales es insignificante (equivale aproximadamente a la que recibimos por la radiación natural durante tres días), pero la que aportan otras pruebas más complejas es muy superior: la de una radiografía de abdomen es 50 veces mayor, la de un examen radiológico del tránsito intestinal es 150 veces mayor y la de un enema opaco, 350 veces mayor.

Diferentes dosis

Con todo, la dosis de algunos escáneres es todavía más importante: un TAC de tórax equivale a 400 placas de tórax y un TAC abdominal a 500, lo que se corresponde con la radiación natural recibida en 3,6 y 4,5 años, respectivamente. A pesar de la creciente popularidad de los escáneres, algunos estudios ponen de relieve que "hasta el 30 % de los TAC no aportan información diagnóstica relevante", según Eduardo Fraile, director técnico de la Unidad Central de Radiodiagnóstico de la Comunidad de Madrid y presidente saliente de la Sociedad Española de Radiología.

Un TAC de cabeza aporta la dosis efectiva de 2,3 mSv (miliSieverts), que es aproximadamente la dosis de la radiación natural recibida durante todo un año (en España varía entre 1 y 4 mSv, según las zonas). El sievert es la unidad de radiación absorbida por la materia viva, y su valor numérico ofrece una estimación del riesgo para la salud de las radiaciones ionizantes. En general, este riesgo está relacionado con la dosis: a mayor

Por una mayor cultura de la radioprotección

La justificación clínica de todos los exámenes radiológicos, tal y como exige la ley, es una de las principales medidas de protección radiológica, aunque dista mucho de ser cumplida. Hay otras muchas medidas que deben considerarse y hacen falta más esfuerzos para instalar la cultura de la radioprotección en la práctica médica, como subraya María Neira. A finales de 2012 se celebró en Bonn (Alemania) la Conferencia Internacional sobre Protección Radiológica en Medicina, organizada por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) en colaboración con la OMS, que convocó a más de 500 participantes (de 77 países y 16 organizaciones internacionales) y culminó con un llamamiento a la acción, conocido hoy como la *Convocatoria de Bonn*, en el que se detalla la siguiente decena de acciones prioritarias para mejorar la radioprotección en medicina en la próxima década:

1. Mejorar la justificación de los procedimientos radiológicos.
2. Mejorar la optimización de la protección.
3. Reforzar la contribución de los fabricantes a la seguridad radiológica.
4. Reforzar la educación y entrenamiento de los profesionales de la salud.
5. Promover una agenda estratégica de investigación en radioprotección en medicina.
6. Mejorar la recolección de datos sobre exposiciones a radiación de pacientes y trabajadores de la salud.
7. Mejorar la prevención primaria de incidentes y eventos adversos.
8. Reforzar la cultura de la radioprotección en el sector salud.
9. Fomentar el diálogo riesgo-beneficio.
10. Reforzar la implantación de los requerimientos de seguridad (las nuevas normas básicas internacionales de seguridad radiológica o BSS) a escala mundial.

cantidad de radiación, el riesgo para la salud es mayor. Pero con los equipos actuales de radiodiagnóstico "tenemos un margen de seguridad muy amplio" antes de que la radiación tenga consecuencias para la salud, recuerda Eduardo Fraile.

En el rango de dosis bajas de radiación, que son las utilizadas en los exámenes radiológicos habituales para el diagnóstico de enfermedades, las consecuencias para la salud se relacionan particularmente con la inducción de mutaciones genéticas y el consiguiente aumento del riesgo de padecer un cáncer a largo plazo, es decir, varios años después de la exposición. Además, los efectos de las radiaciones ionizantes sobre el organismo humano son estocásticos o probabilísticos, y la probabilidad de que ocurran es proporcional a la dosis de radiación recibida.

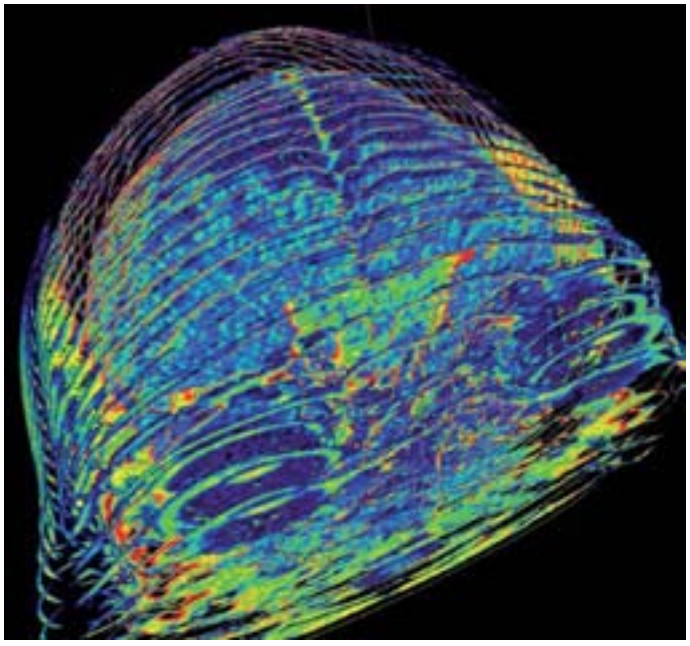
La exposición a radiaciones ionizantes durante la vida prenatal o la infancia (en todo el mundo se realizan más de 350 millones de pruebas radiológicas en niños) requiere una consideración especial, como recuerda María Neira, pues los niños son particularmente sensibles a los efectos de la radiación y tienen mucho más tiempo para expresar posibles efectos a largo plazo, como es la inducción de un cáncer. "La realización injustificada de estudios que impliquen exposición a la radiación aumenta innecesariamente el riesgo de cáncer en la población expuesta", subraya María Neira. Y añade: "El objetivo es mantener todos los beneficios diagnósticos y disminuir los

Eduardo Fraile.

riesgos innecesarios, en especial en el caso de los niños".

Normativa internacional

En España, y en general en toda la Unión Europea, la radioprotección está respaldada por la ley. La normativa europea ha hecho suyas las principales recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP, en sus siglas en inglés), el principal organismo internacional independiente en esta materia. "En Europa y en España tenemos una normativa de protección radiológica muy estricta y guías de buena práctica de gran calidad", asegura Eliseo Vañó, jefe del Servicio de Física Médica en el Hospital Universitario de San Carlos de Madrid y presidente del Comité 3 de la ICRP. Por eso, recalca este experto, los ciudadanos deben tener confianza en el sistema y saber que, aunque las radiaciones ionizantes tienen sus riesgos, la radiofobia no está justificada en nuestro país.



Composición tridimensional de un cerebro a partir de las imágenes de un TAC.

La legislación española –y en general la europea– contempla de forma detallada tanto los estándares sobre las dosis de radiación por cada exploración como el establecimiento de programas de protección radiológica relacionados con la prevención, el control, la vigilancia y las medidas administrativas. El Real Decreto 815/2001, de 13 de julio, sobre justificación del uso de las radiaciones ionizantes para la protección radiológica de las personas con ocasión de exposiciones médicas, y el Real Decreto 1085/2009, de 3 de julio, por el que se aprueba el *Reglamento sobre instalación y utilización de aparatos de rayos X con fines de diagnóstico,* son dos buenas herramientas de radioprotección, a juicio de los especialistas.

Sin embargo, como resume Eduardo Fraile, el problema es que lo legislado no acaba de cumplirse como debiera en las actuaciones cotidianas en los servicios de radiología. La legislación dice expresamente que todas las pruebas radiológicas deben estar justificadas clínicamente, pero desafortunadamente esto no siempre es así. "El principal reto planteado en materia de protección radiológica no es otro que cumplir la normativa", según Eliseo Vañó. Y para ello, señala, "hay que hacer un esfuerzo de formación no solo con los radiólogos, sino también con los principales prescriptores, que son los médicos de familia, y también con la ciudadanía", para que no presione para solicitar pruebas radiológicas no justificadas.

Una de las principales causas de la utilización innecesaria de la radiología es la repetición de pruebas que ya se han realizado. No es infrecuente que a un paciente se le realicen exámenes radiológicos que ya se le han hecho previamente en otro hospital, en una consulta médica externa o en urgencias. Para reducir este riesgo, el paciente debería preocuparse de aportar las radiografías existentes, aunque esto a menudo no es posible, o al menos indicar que ya le han realizado esa prueba. La radiología digital, que permite la transmisión electrónica de pruebas, y la implantación de las historias clínicas digitales podrían ayudar a reducir este problema.

Otra de las razones del exceso de exámenes injustificados es la petición de pruebas complementarias que seguramente no alterarán la atención del paciente, bien porque los hallazgos que se espera obtener suelen ser irrelevantes, bien por el carácter altamente improbable de un resultado positivo. Pero hay más causas atribuibles a los médicos prescriptores, como pedir pruebas con demasiada frecuencia, un exceso de exámenes complementarios, prescribir pruebas inadecuadas y no facilitar al radiólogo la información clínica necesaria o las cuestiones que las pruebas de diagnóstico por imagen deben resolver. Como resume Eduardo Fraile, "hay que mejorar mucho la relación entre los servicios de radioprotección y los departamentos de radiología".

La optimización de la dosis es otro de los caballos de batalla de los servicios radiológicos. Una vez que el procedimiento está justificado, debe llevarse a cabo de la forma más adecuada (optimización); es decir, usando la menor dosis posible de radiación sin que esto afecte al cumplimiento del propósito médico. "Justificación y optimización son los dos pilares de la radioprotección en el ámbito de la salud", subraya María Neira. Y concluye: "Cuando los procedimientos están indicados y se llevan a cabo de manera adecuada, los beneficios compensan los riesgos asociados".

Panorama

IFB

En su *Informe Anual* al Parlamento, el CSN recoge el correcto comportamiento de las instalaciones en 2013

El 29 de junio, el Consejo de Seguridad Nuclear entregó al Congreso de los Diputados y al Senado el *Informe Anual* de 2013, en el que se refleja el correcto comportamiento de las instalaciones reguladas por el CSN, sin que se produjera ninguna situación de riesgo ni para las personas ni para el medio ambiente.

El organismo regulador certifica que la calidad radiológica del medio ambiente en 2013 se mantuvo dentro de la normalidad, tanto en el entorno de las instalaciones nucleares como en el territorio nacional.

El informe contiene novedades respecto a los ejercicios anteriores, entre las que destaca la nueva estructura de índice y del contenido, que consta de dos capítulos. Esta modificación ya había sido dada a conocer en una carta que el presidente del CSN remitió el 3 de febrero al presidente de la Comisión de Industria, Energía y Turismo del Congreso de los Diputados.

El primer capítulo está dedicado a la información del propio organismo regulador, su composición y funcionamiento, sus relaciones internacionales e institucionales y las actividades de comunicación e información pública. En este ámbito el informe destaca los nombramientos de María Luisa Rodríguez López, como secretaria general, Antonio Munuera Bassols, como director técnico de Seguridad Nuclear, y María Fernanda Sánchez Ojanguren, como directora técnica de Protección Radiológica.

El segundo capítulo se centra en las actividades de carácter técnico, con un primer apartado de nueva redacción correspondiente a la "Visión global de la seguridad nuclear y la protección radiológica, 2013", que busca ser una instantánea de la situación de las instalaciones nucleares y radiológicas en España, de las condiciones radiológicas del territorio y sus programas de vigilancia radiológica ambiental, con referencias al Sistema Integrado de Supervisión de las Centrales Nucleares (SISC), a datos dosimétricos y al control de vertidos.

El envío del *Informe Anual* del CSN al Congreso de los Diputados y al Senado es una de las obligaciones derivadas de la Ley 15/1980, de 22 de abril, de Creación del CSN, en su artículo 11.

El informe completo está disponible en la página web del organismo regulador: www.csn.es

Reunión del Foro Iberoamericano

Una delegación del Consejo de Seguridad Nuclear encabezada por su presidente, Fernando Marti Scharfhausen, y el consejero Fernando Castelló, asistió a la reunión plenaria del Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores Radiológicos y Nucleares, celebrada en junio en México. El encuentro contó con la presencia de Denis Flory, director general adjunto de Seguridad Nuclear del OIEA.

Durante la reunión, inaugurada por Juan Eibenschutz, presidente del Foro, se analizaron las actividades más importantes del último año, como la armonización de prácticas de emergencias y el licenciamiento de instalaciones con ciclotrones. También se trataron los proyectos que están en marcha, como la capacitación de personal regulador y el desarrollo de la cultura de la seguridad.

En los aspectos organizativos, los países miembros (Argentina, Brasil, Chile, Cuba, España, México, Perú y Uruguay) aprobaron la incorporación de Colombia a la asociación y la modificación de los estatutos. Se debatió también sobre diferentes estrategias para reforzar la relación del Foro con otros organismos.

Fernando Castelló, que coordina las relaciones con el Foro, presentó el informe español, refiriéndose a la situación del ATC, la central Santa María de Garoña, la Convención sobre Seguridad Nuclear, las nuevas directivas europeas de Seguridad Nuclear y de Protección Radiológica (BSS) y al control de las fuentes.

Encuentro de los reguladores de países con tecnología KWU en el CSN

El Consejo de Seguridad Nuclear acogió el pasado 12 de junio la segunda reunión de los reguladores de los países con reactores de agua a presión de la tecnología alemana KWU, que son Alemania, Brasil, España, Holanda y Suiza. Nuestro país preside actualmente este grupo, bajo la dirección del consejero Antoni Gurguí, que ejerció de anfitrión.

El objetivo del grupo responde a la preocupación por la desaparición de buena parte de los suministradores originales de elementos de esta tecnología, tras la decisión del Gobierno alemán de abandonar y cerrar paulatinamente sus centrales nucleares, lo que ha obligado a los titulares y reguladores a buscar soluciones para carencias que antes se resolvían rápidamente con el proveedor original. En su intervención, Gurguí subrayó que "no se trata de un tema de interés únicamente en relación a reactores de tecnología alemana, sino para todos los países con centrales nucleares en operación", ya que el problema puede producirse también con otras tecnologías. Durante la reunión, se realizó una revisión del funcionamiento de este tipo de centrales durante el año 2013 y se revisaron las mejoras realizadas en dichas plantas tras las pruebas de resistencia realizadas tras el accidente de Fukushima. Posteriormente, cada país realizó una presentación individual de la situación de sus instalaciones, destacando la revisión periódica de la seguridad de la central suiza de Gösgen, la normativa aprobada recientemente en Alemania y la próxima renovación de la autorización de explotación de la central nuclear de Trillo en España.

XXVII reunión de ENSREG

Una delegación del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), encabezada por su presidente, Fernando Marti Scharfhaussen, acompañado por el director técnico de Seguridad Nuclear, Antonio Munuera, participó el pasado 27 mayo, en Bruselas, en la XXVII reunión del Grupo Europeo de Reguladores de Seguridad Nuclear (ENSREG), organismo al que pertenecen los 28 Estados miembros de la UE más la Comisión y que tiene como principal objetivo alcanzar un alto nivel de seguridad nuclear en Europa.

Durante el encuentro, se revisó la Directiva 2009/71/Euratom, que establece un marco comunitario para la seguridad de las instalaciones nucleares, se revisó el programa de trabajo 2014-2016 y se intercambió información sobre los avances alcanzados por los grupos de trabajo en los ámbitos de la seguridad nuclear, la gestión de residuos y la transparencia, así como el desarrollo del nuevo grupo sobre cooperación internacional. Asimismo, se discutieron las diversas posturas de los miembros respecto a la reciente solicitud de Turquía para participar como observador en ENSREG, y se eligió a Andy Hall, responsable del regulador nuclear británico, como presidente del grupo. También se acordó celebrar la próxima Conferencia Europea de Seguridad Nuclear en junio o julio de 2015.

El organismo regulador croata visita el CSN

El Consejo de Seguridad Nuclear recibió el pasado abril a una delegación de la autoridad reguladora croata en materia de protección radiológica y seguridad nuclear, con el fin de compartir experiencias entre ambas instituciones y debatir sobre los aspectos técnicos en las áreas del desmantelamiento y de la gestión de residuos radiactivos para compartir, mejorar y armoni-

El CSN participa en la jornada "La protección radiológica en 2013"

La Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR) organizó el pasado 24 de abril la jornada "La protección radiológica en 2013" en cuya apertura participó la directora técnica de Protección Radiológica del Consejo de Seguridad Nuclear, Mª Fernanda Sánchez, junto con el director general del Ciemat, Cayetano López, y el presidente de la SEPR, Eduardo Gallego.

La directora técnica del CSN presentó los resultados de los programas reguladores en Protección Radiológica de 2013, centrados en la vigilancia radiológica operacional y ambiental, así como los criterios aplicables a situaciones de emergencia y seguridad física. Como conclusión, enumeró los principales proyectos establecidos para el año en curso, entre los que se encuentra como tarea primordial el incremento de la protección radiológica en la sociedad.

Por su parte, el jefe de área de los Servicios de Protección Radiológica del CSN, Ignacio Amor, expuso a los asistentes los aspectos más destacados de la nueva directiva Euratom, mediante la cual se establecen las normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados la exposición a radiaciones ionizantes. Entre los temas tratados destacaron los avances en radioecología, una ciencia multidisciplinar que estudia el transporte medioambiental, el destino final y los efectos de los contaminantes radiactivos; las iniciativas para crear un nuevo grupo de trabajo dentro de la SEPR, para mejorar la visibilidad de las actividades de I+D en España, así como el plan de actividades de la Sociedad para este año.

La vicepresidenta del CSN inauguró las jornadas Safety Granada 2014

Rosario Velasco García, vicepresidenta del Consejo de Seguridad Nuclear, inauguró el 20 mayo las jornadas Safety Granada 2014: la función de las normas y procedimientos en la seguridad de los sistemas con altas exigencias de seguridad. Estas conferencias, que llevan celebrándose anualmente desde 2012, promueven las mejores iniciativas científico-técnicas para optimizar la calidad de la práctica profesional en factores humanos y organizativos de la seguridad. El tema central de esta edición fue la relación entre los procedimientos y la seguridad.

En su intervención, Rosario Velasco destacó la importancia de los aspectos asociados a los factores humanos y organizacionales en todas las actividades que implican una gran especialización, y en concreto, en aquellas donde existen riesgos apreciables, que es donde hay que garantizar siempre un nivel máximo de seguridad. Según Velasco, se han establecido nuevos paradigmas en seguridad como resultado de los análisis de las causas, desarrollo y consecuencias de los accidentes y de la aplicación de las enseñanzas obtenidas. Por eso, destacó la importancia de los accidentes en el terreno nuclear y los calificó de "grandes oportunidades" de investigación y mejora.

zar las prácticas de regulación de la supervisión en materia nuclear y radiológica en ambos países. La delegación visitante estaba encabezada por el director general, Sasa Medakovic, y el director de Seguridad Nuclear, Boris Ilijas. Les recibió el presidente del CSN, Fernando Martí Scharfhausen, y la directora de Protección Radiológica, María Fernanda Sánchez Ojanguren. La delegación también visitó, con representantes de la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (Enresa), las instalaciones de El Cabril, el almacén de residuos de media y baja actividad situado en Córdoba, así como la central nuclear José Cabrera en Guadalajara, que se encuentra en fase de desmantelamiento por parte de Enresa.

La autoridad reguladora croata se encarga de la supervisión de la seguridad de la central nuclear de Krško, que es la única situada en Eslovenia y gestionada por dos compañías, una eslovena y otra croata. La planta proporciona más de una cuarta parte de la energía eléctrica de Eslovenia, y alrededor de una quinta parte de la de Croacia.

Cristina Narbona participa en la inauguración de las VIII Jornadas sobre Calidad en el Control de la Radiactividad Ambiental

La consejera del CSN Cristina Narbona participó en la inauguración, el 11 de junio, de las VIII Jornadas sobre Calidad en el Control de la Radiactividad Ambiental, organizadas por el Grupo de Física de las Radiaciones y Medio Ambiente de la Universidad de Huelva. Presidió la inauguración el rector de dicha Universidad, Francisco Ruiz, y también participaron el presidente del Comité Organizador, Juan Pedro Bolívar; el alcalde de Huelva, Pedro Rodríguez y el vicepresidente de la Sociedad Nuclear Española, José Ramón Torralbo.

En su intervención, Narbona destacó la importancia del intercambio de información entre profesionales de las disciplinas asociadas con la vigilancia y el control de la radiactividad ambiental, y la necesidad de implicar a los jóvenes investigadores y profesionales del sector. También se refirió a la nueva Directiva Europea de Protección Radiológica que, a su juicio, traerá notables mejoras en este ámbito. Respecto al organismo regulador explicó la apuesta por impulsar la vigilancia radiológica, a través de importantes estudios y proyectos de investigación, algunos de los cuales detalló.

El CSN se reune con la Organización Mundial de la Salud

La vicepresidenta del Consejo de Seguridad Nuclear, Rosario Velasco, acompañada de la directora técnica de Protección Radiológica, María Fernanda Sánchez, mantuvieron el pasado 21 de marzo una reunión con representantes de la Organización Mundial de la Salud (OMS), en la sede de este organismo, en Ginebra (Suiza).

Con el objetivo de intercambiar información en el marco de sus competencias, en este primer encuentro se abordaron temas de interés común desde el punto de vista de la protección radiológica y de la salud de las personas, al amparo de la publicación de los nuevos Estándares Básicos de Seguridad Radiológica (BSS). También se revisaron aquellas áreas técnicas de interés en las que el CSN participa a través de diversas asociaciones y grupos de trabajo en el contexto internacional.

Por parte de la OMS, la reunión estuvo encabezada por María Neira, directora del Departamento de Salud Pública y Determinantes Ambientales y Sociales para la Salud, a quien acompañaron diversos científicos pertenecientes a dicho departamento. También asistió a la reunión un representante de la Misión Permanente de España ante los Organismos de Naciones Unidas en Ginebra.

Jornada anual de I+D en Seguridad Nuclear y Protección Radiológica

El Consejo de Seguridad Nuclear celebró el pasado 10 de abril, en su sede, la Jornada Anual de I+D en Seguridad Nuclear y Protección Radiológica, que fue inaugurada por el presidente del organismo regulador, Fernando Marti Scharfhausen, y cuyo objetivo es fomentar el debate y la divulgación de los proyectos puestos en marcha.

En su intervención, subrayó la importancia que tiene para el Consejo estar siempre informado de los últimos avances que se produzcan en los campos de la seguridad nuclear y la protección radiológica, y la necesidad de priorizar la inversión en proyectos de I+D que sean posteriormente beneficiosos en campos en los que el organismo desarrolle su actividad reguladora.

El jefe de la Unidad de Investigación y Gestión del Conocimiento del CSN, Ramón de la Vega, repasó las actividades de I+D llevadas a cabo por el organismo regulador en 2013, como la iniciativa española para el mantenimiento, aplicación y mejora de los códigos de simulación termohidráulica, los planes de trabajo de la plataforma CEIDEN en I+D+i relacionados con energía de fisión, y la actualización de técnicas de biodosimetría para uso en emergencias radiológicas.

Clausuró la jornada la vicepresidenta del CSN, Rosario Velasco, que reiteró el compromiso del Consejo respecto de la I+D en seguridad nuclear y radiológica, y explicó que el organismo está revisando la gestión de los proyectos para conseguir una mayor eficiencia en el retorno de las inversiones realizadas.

España presenta el informe de revisión de la Convención sobre Seguridad Nuclear

Entre el 24 de marzo y el 4 de abril se celebró en la sede del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), en Viena, la VI reunión de revisión de la Convención sobre Seguridad Nuclear, en la que los 76 miembros que la componen se reunieron, como se viene haciendo cada tres años, con el fin de revisar y avanzar en las medidas y requerimientos de seguridad nuclear establecidas para las centrales. La delegación española estaba integrada por la vicepresidenta del Consejo de Seguridad Nuclear, Rosario Velasco, el consejero Antoni Gurguí, la directora técnica de Protección Radiológica, Mª Fernanda Sánchez, el director técnico de Seguridad Nuclear, Antonio Munuera, y representantes del Ministerio de Industria, Energía y Turismo y de la Asociación Española de la Industria Eléctrica (Unesa).

Durante la reunión, la delegación presentó el informe nacional preceptivo, en el que se incluían las medidas y acciones para mejorar la seguridad de las centrales nucleares españolas tras el accidente de Fukushima y las revisiones periódicas de seguridad de las centrales. A modo de reflexión, se identificaron como buenas prácticas nacionales la implementación de un programa integrado de apoyo a la gestión de emergencias, que incluye un centro de apoyo (CAE), y otros alternativos de gestión de emergencias dentro de cada emplazamiento (CAGE), así como la existencia en el CSN del Comité Asesor para la Información y Participación Pública para asesorar al organismo regulador en materia de transparencia.

Comité de Enlace del CSN con Enresa

El consejero Fernando Castelló coordinó el 20 de marzo una reunión, en la sede del CSN, del Comité de Enlace CSN-Enresa, la empresa encargada de la gestión de los residuos radiactivos en España, en la que se intercambió información sobre el desarrollo del proyecto de construcción del almacén temporal centralizado (ATC) y de los almacenes temporales individuales (ATI). Se trata de la primera reunión tras la decisión del Pleno del CSN de encargar la coordinación del mismo al consejero Castelló.

Por parte del CSN participaron, además, los consejeros Antoni Gurguí y Cristina Narbona, el director técnico de Seguridad Nuclear, Antonio Munuera, y la directora técnica de Protección Radiológica, María Fernanda Sánchez, entre otros cargos del organismo regulador.

Ambas partes abordaron otros asuntos de interés común, como el proceso de desmantelamiento de la central nuclear José Cabrera y la situación de El Cabril, y acordaron crear nuevos grupos de trabajo.

El presidente del CSN participa en la reunión de INRA

Fernando Marti Scharfhausen, presidente del Consejo de Seguridad Nuclear, asistió el 30 de abril a la trigésimo cuarta reunión de la Asociación Internacional de Reguladores Nucleares (INRA), celebrada en Berlín (Alemania). El encuentro, de dos días de duración, permitió a los representantes de los organismos reguladores de los nueve países miembros intercambiar información sobre los avances que se han realizado en el sector nuclear.

Durante la ronda de informes nacionales, que actualiza la información de cada país desde la última reunión, el presidente del organismo regulador español compartió con sus homólogos los principales trabajos del CSN, exponiendo la situación actual de las centrales nucleares españolas así como el modelo de gestión del combustible gastado en España. También concretó algunos detalles sobre el proyecto del futuro almacén temporal centralizado (ATC) de Villar de Cañas (Cuenca), y señaló las actividades que se llevaron a cabo en las plantas nucleares españolas tras los defectos encontrados en las vasijas de los reactores belgas de Döel y Tihange y las medidas que se han tomado a raíz de este hecho.

Acuerdos del Pleno

Celda 30 de El Cabril, para residuos de muy baja actividad

El Pleno del CSN aprobó por unanimidad, en su reunión del 22 de enero, apreciar favorablemente la solicitud de autorización de construcción de la celda 30 de almacenamiento de residuos de muy baja actividad, dentro de las instalaciones de El Cabril, en Sierra Albarrana (Córdoba), de la empresa que gestiona los residuos radiactivos, Enresa.

Informe sobre el Plan Especial de Emergencia ante el Riesgo Radiológico en la Comunidad Valenciana

La Directriz Básica de Planificación de Protección Civil, en el apartado 2 del título IV, establece que los planes autonómicos frente a emergencias radiológicas serán aprobados por el órgano competente de la comunidad autónoma y serán homologados por la Comisión Nacional de Protección Civil, previo informe del Consejo de Seguridad Nuclear. El informe correspondiente al Plan Especial de Emergencia ante el Riesgo Radiológico en la Comunidad Valenciana, remitido por el Secretario General de la Comisión Nacional de Protección Civil, fue aprobado por unanimidad durante el Pleno del CSN celebrado el 26 de febrero, tras la evaluación realizada por la Dirección Técnica de Protección Radiológica, observando la Guía Técnica del CSN para el desarrollo y la implantación de los criterios radiológicos de la citada directriz.

Propuesta de modificación del RINR

En su reunión del 26 de marzo, el Pleno del CSN aprobó por unanimidad informar favorablemente sobre la modificación del Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas (RINR), según el texto de la segunda propuesta realizada por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo (Minetur). La modificación afecta al apartado 3 del artículo 2 de dicho Reglamento, y es consecuencia de la Ley 20/2013, de 9 de diciembre, de garantía de la unidad de mercado. El Minetur habría propuesto dos posibles alternativas al texto vigente. La segunda opción es la aprobada por el CSN, con la siguiente redacción: "Segunda: 3. Las autorizaciones de funcionamiento referidas a instalaciones radiactivas de segunda y tercera categoría tendrán validez para todo el territorio español. Sin perjuicio de lo anterior, el titular que vaya a realizar cualquiera de las actividades para las que dispone de autorización, en una parte concreta del territorio, deberá notificarlo fehacientemente a la administración territorial competente, pudiendo iniciar su actividad a partir de la notificación". Se suprime el resto del artículo en vigor.

Informe sobre el Plan Especial de Emergencia ante el Riesgo Radiológico en el País Vasco

La Directriz Básica de Planificación de Protección Civil, en el apartado 2 del título IV, establece que los planes autonómicos frente a emergencias radiológicas serán aprobados por el órgano competente de la comunidad autónoma y serán homologados por la Comisión Nacional de Protección Civil, previo informe del Consejo de Seguridad Nuclear. En su reunión de 2 de abril, el Pleno del CSN aprobó por unanimidad el informe correspondiente al Plan Especial de Emergencia ante el Riesgo Radiológico en la Comunidad Autónoma del País Vasco, remitido por el secretario general de la Comisión Nacional de Protección Civil, tras la evaluación realizada por la Dirección Técnica de Protección Radiológica, que concluye que dicho plan especial se adecúa a los criterios radiológicos establecidos.

Propuesta de contratación de servicios para la revisión de seguridad del emplazamiento del ATC

En su reunión del 2 de abril, el Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear aprobó por unanimidad convocar un concurso de licitación para la contratación de servicios para la revisión de seguridad de los estudios de caracterización del emplazamiento del almacén temporal centralizado (ATC). Debido a las características de este proyecto, al volumen significativo de información que se debe analizar y a la necesidad de evacuar el informe preceptivo, se ha decidido la contratación de los servicios para el análisis y evaluación de los estudios de caracterización del emplazamiento del ATC, con una duración de un año a partir del 1 de julio de 2014. El CSN debe emitir el informe preceptivo sobre la solicitud de autorización previa y sobre la construcción del ATC y, de acuerdo con la planificación elaborada para su licenciamiento, se prevé la conclusión de las evaluaciones asociadas a dicha autorización en marzo del año 2015.

Instrucciones Técnicas Complementarias sobre la adaptación de la ITC Post-Fukushima en las centrales nucleares españolas

El Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear, en su reunión del 9 de abril, aprobó por unanimidad la emisión de nuevas Instrucciones Técnicas Complementarias para las centrales nucleares de

Ascó, Vandellós II, Almaraz, Cofrentes y Trillo, para compilar, actualizar y estructurar de modo homogéneo los requisitos incluidos en las ITC 1 y 3, relacionadas con las pruebas de resistencia, y en las ITC 2 y 4, relacionadas con las pérdidas de grandes áreas, que el CSN envió a los titulares de dichas instalaciones como consecuencia del accidente de Fukushima. Asimismo, el Pleno, tras analizar el grado de cumplimiento por parte de las centrales nucleares en operación de las ITC emitidas por el CSN tras el accidente de Fukushima, aprobó realizar una petición de información adicional a los titulares de dichas instalaciones, relativa al cumplimiento de dichas ITC.

Estudio de Impacto Ambiental del proyecto de ATI de Santa María de Garoña

El Pleno del Consejo aprobó por unanimidad, en su reunión del 7 de mayo, la solicitud de la Dependencia de Industria y Energía de la Subdelegación del Gobierno en Burgos sobre el Estudio de Impacto Ambiental del proyecto de almacén temporal individualizado (ATI) de la central nuclear de Santa María de Garoña. Las evaluaciones realizadas por la Dirección Ténica de Seguridad Nuclear del CSN, desde el punto de vista del impacto radiológico, concluyen que la información incluida en el Estudio de Impacto Ambiental en relación con el impacto radiológico del ATI es suficiente.

Servicios mínimos ante la convocatoria de huelga en ANAV

Ante la convocatoria de huelga en los centros de trabajo de la Asociación Nuclear Ascó Vandellós (ANAV), titular de las centrales nucleares Ascó I y II, y Vandellós II, para los periodos comprendidos entre el 16 de mayo y el 16 de junio, y entre el 7 de noviembre y el 8 de diciembre de 2014, el Ministerio de Industria, Energía y Turismo (Minetur) solicitó un informe del Consejo de Seguridad Nuclear en relación con los servicios mínimos requeridos durante la citada huelga.

En su reunión del 12 de mayo, el Pleno del CSN aprobó por unanimidad dicho informe, basado en los documentos oficiales de explotación, que, en lo referente a la seguridad nuclear y la protección radiológica, fijan los requisitos mínimos de personal para el funcionamiento de las instalaciones en condiciones de seguridad, tanto en operación normal como para iniciar la respuesta a una posible emergencia. Los documentos oficiales de explotación en los que se fijan estos requisitos son los siguientes:

—Especificaciones Técnicas de Funcionamiento (ETF).
—Plan de Emergencia Interior (PEI).
—Plan de Protección Física (PPF).

Consejo de Seguridad Nuclear
Servicio de Publicaciones
Pedro Justo Dorado Dellmans, 11
28040 Madrid. España

www.csn.es
peticiones@csn.es

El CSN informa

Información relativa al primer trimestre de 2014

Centrales nucleares

Almaraz I y II

Nº de sucesos (nivel INES)	2 en unidad I (INES 0) y 3 en unidad II (INES 0)
Paradas no programadas	1 (unidad II)
Nº inspecciones del CSN	10
Actividades	

La unidad I permaneció todo el periodo operando a plena potencia sin incidentes.

La unidad II inició el año en situación de parada por la 21ª recarga de combustible, durante la cual se instaló un nuevo panel de parada alternativa para mejorar la seguridad contra incendios de la central y se realizaron otras modificaciones de mejora derivadas del accidente de Fukushima. Se conectó de nuevo a la red el 25 de enero. El 29 de enero se inició una parada no programada para la sustitución de la excitatriz, que se prolongó hasta el 2 de febrero. La central operó a plena potencia hasta el final del periodo.

Ascó I y Ascó II

Nº de sucesos (nivel INES)	1 en ambas unidades (INES 0)
Paradas no programadas	0
Nº inspecciones del CSN	5
Actividades	

La unidad I se mantuvo todo el periodo operando al 100 % de potencia nuclear.

La unidad II se mantuvo operando al 100 % de potencia nuclear, excepto el día 28 de febrero, en que se bajó al 98,4 % para realizar el PV-97 (operabilidad de válvulas de turbina), recuperando el 100 % ese mismo día.

El CSN informó favorablemente las propuestas de cambio PC-10, PC-12 y PC-13 del Plan de Emergencia Interior de la central.

Cofrentes

Nº de sucesos (nivel INES)	0
Paradas no programadas	0
Nº inspecciones del CSN	7
Actividades	

Durante el primer trimestre de 2014, la central se ha mantenido funcionando de manera estable en operación a potencia, excepto el 19 de enero que se bajó al 53 % para realizar un cambio de secuencia de barras de control. Se recuperó el 100 % de potencia al día siguiente.

En este periodo el CSN ha informado favorablemente la propuesta PC-01-13 de Revisión 0 del Plan de Emergencia Interior y del Reglamento de Funcionamiento de la instalación.

Santa María de Garoña

Nº de sucesos (nivel INES)	1 (INES 0)
Paradas no programadas	0
Nº inspecciones del CSN	8
Actividades	

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

La hipotética solicitud de una nueva autorización de explotación deberá presentarse antes del 6 de julio de 2014.

Trillo

Nº de sucesos (nivel INES)	0
Paradas no programadas	0
Nº inspecciones del CSN	6
Actividades	

En este trimestre la central ha operado a plena potencia sin incendias relevantes.

Vandellós II

Nº de sucesos (nivel INES)	2 (INES 0)
Paradas no programadas	1
Nº inspecciones del CSN	4
Actividades	

Durante este período la central ha funcionado de forma estable al 100 % de potencia, con la interrupción de una parada no programada el 5 de enero por fallo en los interruptores de la línea de suministro eléctrico exterior de 400 kV.

Instalaciones del ciclo y en desmantelamiento

Ciemat

PIMIC-Rehabilitación

Durante este periodo se ha trabajado en la preparación de la documentación del Plan de Control de Materiales Desclasificables, así como en la documentación para la clausura de la IN-04 Laboratorio de Celdas Calientes Metalúrgicas.

PIMIC-Desmantelamiento

Durante este trimestre se ha apreciado favorablemente la propuesta de modificación de diseño de la carpa de la Lenteja para su uso como depósito temporal de residuos radiactivos de baja y muy baja actividad.

Se han finalizado las tareas de descontaminación en profundidad de las zonas circundantes a la zona de La Lenteja.

Nº inspecciones del CSN	**2**

Centro de Saelices el Chico

Planta Quercus

En el mes de febrero se devolvió a Enusa la documentación presentada para el desmantelamiento de la planta Quercus, para que actualice e incorpore los nuevos requisitos exigidos tras la publicación del Real Decreto 102/2014, de 21 de febrero, para la gestión responsable y segura del combustible nuclear gastado y los residuos radiactivos.

En el trimestre se han evaluado las propuestas de revisión de los documentos de explotación de la planta y se ha solicitado información adicional sobre el programa de protección contra incendios.

Nº inspecciones del CSN	**1**

Minas de Saelices

En el mes de marzo, el CSN apreció favorablemente la propuesta de Programa de Vigilancia y Control de las Aguas Subterráneas y de la Estabilidad de Estructuras para iniciar la fase de vigilancia posterior a la restauración minera en Saelices el Chico (Salamanca).

Otras instalaciones mineras

Durante este trimestre se han prorrogado los permisos de investigación minera de la empresa Berkeley Minera España S.A. en cuatro nuevas fracciones mineras incluidas en el perímetro del permiso de investigación de Pedreras (Salamanca).

Nº inspecciones del CSN	**0**

Fábrica de uranio de Andújar

Actividades

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

Nº inspecciones del CSN	**0**

El Cabril

Actividades

La instalación sigue bajo control, sin incidencias significativas. Se han realizado las operaciones habituales para la gestión definitiva de residuos radiactivos de baja y media actividad, y de muy baja actividad. Se ha apreciado favorablemente la construcción de la Celda 30 para almacenar residuos de muy baja actividad.

Nº de sucesos (nivel INES)	**0**
Nº inspecciones del CSN	**3**

Vandellós I

Actividades

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

Nº de inspecciones del CSN	**0**

José Cabrera

Actividades

Durante el periodo prosiguieron las actividades de segmentación de la cabeza de la vasija del reactor y se iniciaron las actuaciones previas a la segmentación de dicha vasija. Asimismo, prosiguieron las actividades de desmontaje de otros componentes del circuito primario, como las de segmentación del generador de vapor.

En enero concluyó el proceso de puesta a punto de la metodología de desclasificación de superficies y grandes piezas.

Nº de inspecciones del CSN	**2**

Juzbado

Nº sucesos	**0**

Actividades

La fábrica permaneció en modo de operación por parada vacacional hasta el 6 de enero. Durante el periodo no se produjeron incidencias significativas.

El CSN informó favorablemente sobre las siguiente solicitudes:

—Modificación de diseño por la instalación de un banco de resistencias para la realización de pruebas de los grupos electrógenos y modificación de las ETF y del estudio de seguridad correspondientes.

—Revisión 22 del Reglamento de Funcionamiento de la fábrica.

—Modificación de diseño por la puesta en marcha del nuevo subsistema de gases inflamables del sistema de protección contra incendios y las modificación de las ETF y del estudio de seguridad correspondientes.

—Revisión 37 de las Especificaciones de Funcionamiento de la fábrica.

Nº de inspecciones del CSN	2

Instalaciones radiactivas

Resoluciones adoptadas sobre instalaciones radiactivas (científicas, médicas, agrícolas, comerciales e industriales) del 1 de enero al 31 de marzo de 2014:

Informes para autorización de nuevas instalaciones	6
Informes para autorización de modificación de instalaciones	59
Informes para declaración de clausura	13
Informes para autorización de servicios de protección radiológica	0
Informes para autorización de unidades técnicas de protección radiológica	4
Informes para autorización de servicios de dosimetría personal	0
Informes para autorización de retirada de material radiactivo no autorizado	8
Informes para autorizaciones de empresas de venta y asistencia técnica de equipos de rayos X para radiodiagnóstico médico	6
Informes para autorización de otras actividades reguladas	4
Informes relativos a la aprobación de tipo de aparatos radiactivos	9
Informes relativos a homologación de cursos para la obtención de licencias o acreditaciones	16

Acciones coercitivas adoptadas sobre instalaciones radiactivas (científicas, médicas, agrícolas, comerciales e industriales) del 1 de enero al 31 de marzo de 2014:

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

Seguridad física

Actividades más relevantes

Colaboración con el Centro Nacional de Protección de Infraestructuras Críticas en la elaboración del Plan Estratégico Sectorial correspondiente al Sector Nuclear.

Participación y colaboración con la Guardia Civil en la realización del último ejercicio de entrenamiento de los servicios de seguridad de las centrales nucleares.

Cursos

Participación en las II Jornadas de Protección de Sistemas de Control en Infraestructuras Críticas.

Participación en el Seminario sobre Seguridad en el Entorno Rural, celebrado en Burgos, con la ponencia: "Coordinación de medidas de seguridad en centrales nucleares".

Impartición de la asignatura de Protección Física Nuclear en el Master de Ingeniería Nuclear y Aplicaciones en el Ciemat.

Colaboración con la AEAT en la formación de actuantes de primera línea en el sistema de control radiológico de fronteras.

Participación en una mesa redonda, celebrada en SICUR 2014, sobre Planes Estratégicos Sectoriales en el sistema nacional de protección de infraestructuras críticas.

Simulacros	0
Nº de Inspecciones (Ascó, Cofrentes y Trillo)	3

Actividades internacionales

Ninguna actividad relevante.

Notificación de sucesos

Nº incidentes en instalaciones nucleares notificables en 1 hora	2
Nº incidentes en instalaciones nucleares notificables en 24 horas	12
Nº incidentes radiológicos	3
Hechos relevantes	Ninguno reseñable

Emergencias

Activación de la ORE

Durante este periodo no se ha activado la Organización de Respuesta ante Emergencias del CSN.

Otras actividades relevantes

En este periodo se han impartido dos jornadas formativas para actuantes del Grupo de Seguridad Ciudadana y Orden Público del Penta.

Se ha realizado un ejercicio de activación de controles de acceso del Penca y un ejercicio de activación de la ECD de Plasencia, también del Penca.

El CSN ha informado favorablemente los planes especiales de emergencia radiológica de las comunidades autónomas de Valencia y el País Vasco.

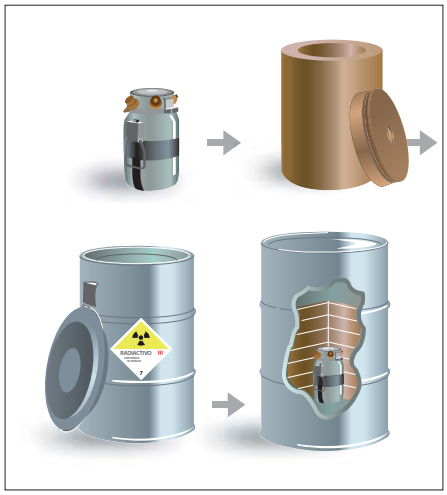
Eventos internacionales

El CSN participó en las dos primeras reuniones del grupo AtHLET de HERCA y WENRA.

www.csn.es

El licenciamiento del ATC

El Almacén Temporal Centralizado (ATC) estará ubicado en Villar de Cañas (Cuenca) y deberá albergar los residuos de alta actividad y largo periodo de semidesintegración (como el combustible quemado en todos los reactores nucleares españoles) que se generen en nuestro país. Para conocer el desarrollo del proyecto y el proceso de licenciamiento que está realizando el CSN puede visitarse la página http://www.csn.es/index.php/es/especiales/almacen-temporal-centralizado



Canal Saber: residuos radiactivos

Dentro de la información de carácter divulgativo que ofrece la sección Canal Saber de la web del Consejo se encuentra una amplia descripción de los residuos radiactivos: qué son, cómo y dónde se generan, cómo se gestionan y qué papel cumple el CSN en todo el proceso.
http://www.csn.es/index.php/es/temas/residuos-radiactivos

SISC

Los resultados más recientes del Sistema Integrado de Supervisión de Centrales (SISC) se pueden encontrar en: http://www.csn.es/sisc/index.do

Actas del Pleno del CSN

Para consultar las actas del Pleno del CSN, visite: http://www.csn.es/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=49&Itemid=74&lang=es

Alfa

Puede acceder a los anteriores números de *Alfa, revista de seguridad nuclear y protección radiológica* en: http://www.csn.es/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id= 72&Itemid=157&lang=es

Publicaciones

Informe del Consejo de Seguridad Nuclear al Congreso de los Diputados y al Senado
Año 2013

Informe del Consejo de Seguridad Nuclear al Congreso de los Diputados y al Senado
Resumen del año 2013

Evolución de las dosis ocupacionales en las centrales nucleares españolas y su comparación en el contexto internacional de los países del ISOE
Informe INTERDÓS
2000-2010

Instrucción IS-35, sobre el tratamiento de las modificaciones de diseño de bultos de transporte de material radiactivo

Guía de Seguridad 4.3
Metodología de comprobación del estado radiológico de un emplazamiento previa a su liberación. Niveles genéricos de liberación

aLFa Revista de seguridad nuclear y protección radiológica

Boletín de suscripción

Institución/Empresa

Nombre

Dirección

CP Localidad Provincia

Tel. Fax Correo electrónico

Fecha Firma

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

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

Abstracts

REPORTS

4 Emergencies under control

The Nuclear Safety Council Emergencies Room remains alert and ready to respond 24 hours a day, 365 days a year, in order to address any situation that might arise as a result of an incident at any of Spain's nuclear or radiological facilities.

13 The echo of the Big Bang

Background radiation is what remains of the great explosion that, according to current theories, gave birth to the universe. In 2014 we commemorate half a century since its discovery and still today it continues to provide us with insights into those remote times: as yet unconfirmed research suggests that its polarisation bears the mark of the gravitational waves that were generated during the Big-Bang.

20 The control of radioactive sources

Radioactive sources are used in a wide range of areas, from medicine to industry. The control measures in place in Spain have allowed them to be used to date without significant safety-related incidents.

44 SENER, excellence in one's DNA

The company SENER, founded in Bilbao almost 60 years ago, is one of Spain's oldest engineering firms that are still at the technological forefront. The company's work includes the design of ships, high speed trains, aircraft engines and even space navigation systems, but its main area of activity is the world of energy: nuclear, thermal-solar, regasification and combined cycle power plants.

48 Travel in time beneath the sands of Egypt

The first dating based on carbon-14 was performed in 1949, on two samples of wood from an ancient Egyptian site. The country of the Nile continues to be one of the world's greatest archaeological treasures, and Spaniards are playing an important role in new discoveries, despite the budget restrictions affecting science in our country and the fragile political and social situation in Egypt.

56 Radiographies, the fewer the better

Every year the number of radiological examinations performed in Spain for diagnostic purposes is almost as high as the number of the country's inhabitants, and the number of CATs, the technique that implies the highest dose of ionising radiation for the organism, is growing at a dizzying rate. Although the prevention of the risks of these tests is guaranteed throughout Europe, up to 30% of radiological examinations could be avoided.

INSIDE THE CSN

10 The protagonists of the supervision of nuclear facilities

This section, which aims to spread understanding of the operation of the Nuclear Safety Council through the people in its organisation, takes a closer look on this occasion at the Nuclear Safety Technical Division.

38 RADIOGRAPHY

Computerised Axial Tomography (CAT).

INTERVIEW

32 Antoni Gurguí Ferrer, CSN commissioner

"Regulation is a day-to-day work, continuous, discreet, and which succeed can be measured precisely for not being on the news".

TECHNICAL ARTICLE

25 Filtered venting of containment during severe accidents

As a result of the post-Fukushima stress tests, the Spanish nuclear power plants identified a series of improvement aspects, among which are Filtered Containment Venting Systems, due to their importance in safeguarding containment integrity and reducing off-site dose emissions.

Súmate a los 100.000

Desde su inauguración en 1998, los 100.000 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 100.000.

CSN CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR