



Protección Radiológica en medicina

Madrid, sede
de la Conferencia
Iberoamericana

Subdirección de Tecnología Nuclear



La más transversal del Consejo de Seguridad Nuclear

ITER, la energía del futuro
mediante la fusión
termonuclear

El papel de la ICRP
en la armonización de
Protección Radiológica

Teresa Rodrigo, física
y miembro del CERN,
"haría falta un cambio
de ciclo en la física"



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

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



www.csn.es

Centrados en la protección radiológica

Organizada en Madrid por el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) y el Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad, la Conferencia Iberoamericana de Protección Radiológica en Medicina (CIPRaM) ha sido un hito, al tratar un asunto de máxima actualidad, como es el fuerte incremento en las últimas décadas del uso médico de las radiaciones ionizantes. Actualmente el número de pruebas médicas que emplean este tipo de radiaciones ha aumentado de forma continua, de modo que más del 90 por ciento de las exposiciones a radiaciones de origen artificial provienen de usos médicos.

La radiografía de este número 32 de la revista corporativa del Consejo de Seguridad Nuclear trata sobre la regulación de los aparatos de radiodiagnóstico médico.

Y en este mismo sentido, abordamos en este número la armonización internacional de la protección radiológica y el papel de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), que desde su fundación ha tenido como objetivo principal proporcionar un sistema para la protección radiológica en todos los ámbitos en los que las radiaciones ionizantes están presentes. Para

ello, es básico el papel de la ICRP por la independencia, transparencia y rigor científico con los que ha ganado un elevado respeto internacional.

La sección “El CSN por dentro” cuenta el papel dentro del organismo regulador de la seguridad nuclear y de la protección radiológica en España de la Subdirección de Tecnología Nuclear,

El número de pruebas médicas que emplean radiaciones ionizantes ha aumentado de tal forma que, el 90% de las exposiciones a radiaciones de origen artificial, proviene de usos médicos

sin duda, la más transversal dentro del CSN debido a sus competencias, como son la evaluación de la capacidad de respuesta de una central nuclear ante posibles problemas de seguridad, impulsar medidas que minimicen los posibles errores humanos y hasta desarrollar nuevos métodos y herramientas de seguridad. Acompaña al artículo, como es

habitual una entrevista con Rafael Cid Campo, el subdirector de esta área y uno de los técnicos más veteranos del CSN.

Como entrevista contamos con Teresa Rodrigo, física experimental y miembro del Comité de Política Científica del CERN, que afirma que “tiene que haber una revolución del pensamiento y se tiene que abrir un nuevo ciclo en la física” además de otras muchas ideas y sugerencias interesantes.

Dentro de los reportajes de divulgación científica, destaca uno sobre el ITER, probablemente el mayor experimento científico mundial en la actualidad y otro sobre el Antropoceno, considerado como una nueva era geológica de la humanidad. Asimismo se abordan los cuatro nuevos elementos de la Tabla Periódica y un extenso reportaje llamado “Baterías para la eternidad”, que trata sobre las investigaciones de la Universidad de Bristol, que han usado residuos radiactivos para crear una corriente eléctrica de apenas dos vatios de potencia.

Finalmente, se analiza la figura del ingeniero e inventor español, Leonardo Torres Quevedo, cuyo ingenio más famoso, el transbordador de las cataratas del Niágara, acaba de cumplir los cien años en perfecto estado de revista.

ALFA

Revista de seguridad nuclear
y protección radiológica
Editada por el CSN
Número 31 / Año 2016

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

Comité de Redacción
Ángel Laso D'Lom
Natalia Muñoz Martínez

Manuel Aparicio Peña
Ana Gozalo Hernando
Felipe Teruel Moya

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

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

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

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

Fotografías de portada
Agencias

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

© Consejo de Seguridad Nuclear

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

REPORTAJES

06 ITER, el mayor experimento científico sobre la Tierra



El ITER es el mayor experimento científico sobre la Tierra. Su objetivo es probar que desarrollar la tecnología necesaria para construir un reactor de fusión nuclear comercial es posible. La tarea supone, nada menos, imitar lo que sucede en el interior de las estrellas, donde la unión de núcleos de hidrógeno produce una reacción en cadena que alimenta los soles durante miles de millones de años. Controlar ese proceso supondría contar con una fuente de energía abundante y fiable como la que produce la fisión nuclear.

20 Baterías para la eternidad

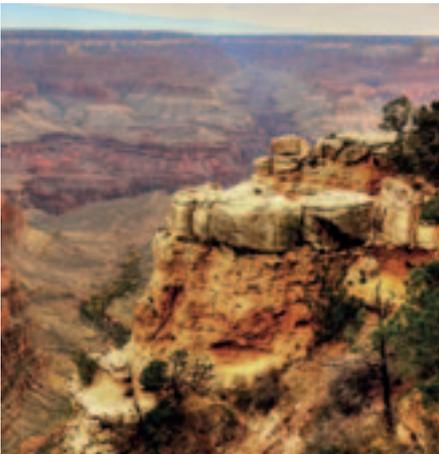
Un grupo de investigadores de la Universidad de Bristol, liderados por el geoquímico Tom Scott, han usado residuos radiactivos para crear una corriente eléctrica de apenas dos vatios de potencia, pero que ha llamado la atención por originarse con diamantes compuestos a partir de residuos radiactivos.



42 Antropoceno, camino a una nueva era geológica

Las primeras pruebas atómicas han sido señaladas como la fecha probable del comienzo de una nueva época geológica, el Antropoceno, donde por vez primera la acción humana sería la responsable de los cambios en la configuración del planeta. Mientras los científicos debaten sobre la veracidad de esta teoría, se hace incuestionable que la Humanidad ha dejado en las últimas décadas una huella mucho más profunda que en los milenios anteriores.

52 Leonardo Torres Quevedo: De Santander al Niágara



Un prodigio de la ingeniería y una mente que no cesó de discurrir creaciones que resonaron fuera de nuestras fronteras. En 2016, su invento más famoso, el transbordador de las cataratas del Niágara, cumplió cien años en perfecto estado de funcionamiento.

58 Los cuatro nuevos elementos de la Tabla Periódica

Los elementos 113, 115, 117 y 118 han sido oficialmente reconocidos por la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada, la autoridad mundial en esta materia con sede en los Estados Unidos. El anuncio de la organización significa que la séptima fila de la tabla periódica, finalmente, está completa. Pero cómo empezó y quién dio los primeros pasos en la organización de los elementos químicos.

50 RADIOGRAFÍA

Regulación de aparatos de radiodiagnóstico médico

EL CSN POR DENTRO

24 La subdirección más transversal del Consejo de Seguridad Nuclear

Evaluar la capacidad de respuesta de una central nuclear ante posibles problemas de seguridad, impulsar medidas que minimicen los errores humanos, vigilar el cumplimiento de los criterios de garantía de calidad, desarrollar nuevos métodos y herramientas de seguridad, así como coordinar actividades relacionadas con la gestión del combustible irradiado y los residuos de alta actividad. Éstas, y muchas otras, son las funciones de la Subdirección de Tecnología Nuclear.

ENTREVISTA

14 Teresa Rodrigo, física experimental y miembro del Comité de Política Científica del CERN

“Tiene que haber una revolución del pensamiento y se tiene que abrir un nuevo ciclo en la física”

ARTÍCULOS TÉCNICOS

27 Armonización internacional en Protección Radiológica. El papel de la ICRP

Desde su fundación, la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) ha tenido como objetivo principal proporcionar un sistema para la protección radiológica en todos los ámbitos en los que las radiaciones ionizantes están presentes. El Sistema de Protección Radiológica de la ICRP inspira las normas básicas internacionales y las legislaciones sobre protección y seguridad radiológicas de casi todos los países del mundo. Esto es posible gracias a la independencia, transparencia y rigor científico con que la ICRP se ha ganado el respeto internacional.

35 Celebración en Madrid de la Conferencia Iberoamericana de Protección Radiológica en Medicina (CIPRaM)

Según el Comité Científico de Naciones Unidas sobre los Efectos de la Radiación Atómica, la dosis debida a las exposiciones de los pacientes como grupo es 200 veces mayor que la de los trabajadores expuestos. Se ha producido un incremento en el uso médico de las radiaciones ionizantes. El número de pruebas médicas que emplean este tipo de radiaciones ha aumentado y más del 90% de las exposiciones a las radiaciones de origen artificial provienen de los usos médicos.



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



El objetivo es demostrar que en la fusión nuclear está la energía del futuro

ITER, el mayor experimento científico sobre la Tierra

El ITER es el mayor experimento científico sobre la Tierra. Su objetivo es probar que desarrollar la tecnología necesaria para construir un reactor de fusión nuclear comercial es posible. La tarea supone, nada menos, imitar lo que sucede en el interior de las estrellas. Allí, la unión de núcleos de hidrógeno pro-

duce una reacción en cadena que alimenta los soles durante miles de millones de años. Controlar ese proceso supondría contar con una fuente de energía abundante y fiable como la que produce la fisión nuclear, pero sin sus peligrosos y casi eternos residuos. ■ Texto **Daniel Mediavilla** | Periodista | ■

La principal instalación de prueba de esta fuente de energía se está poniendo en marcha en Cadarache, cerca de Marsella, en el sur de Francia. El alcance de esta gigantesca infraestructura, con un presupuesto que ronda los 18.000 millones de euros, solo se ve superado por la Estación Espacial Internacional. De tener éxito, se tratará, probablemente, de la inversión más rentable de la historia de la humanidad. Pero, como sucede con cualquier esfuerzo de investigación básica, la apuesta no es segura. De hecho, los primeros pasos de esta gran empresa estuvieron marcados por los retrasos, los desfases en el presupuesto y la dificultad de coordinar los intereses y las capacidades de los 35 países que colaboran en el proyecto.

Hace ya casi dos años, la organización decidió dar un giro a la colaboración y sustituyó a su director general. Salió el japonés Osamu Motojima y entró Bernard Bigot, un académico y alto funcionario francés al que se atribuye el carisma y la fortaleza para dirigir el ITER a buen puerto. Cuando en 2010, con Motojima al frente, se colocó la primera piedra de la infraestructura, se planteaba tener listo el reactor para los primeros experimentos en 2019. Seis

años después, en una reunión con periodistas, Bigot afirmaba querer cumplir ese objetivo para 2025. Parecía como si los últimos seis años no hubiesen servido para nada.

Sin embargo, según comenta Joaquín Sánchez, director del Laboratorio Nacional de Fusión y presidente del Consejo de Gobierno de la Empresa Común del ITER (*International Thermonuclear Experimental Reactor*, en español Reactor Termonuclear Experimental Internacional), pese a lo que pueda parecer, no todo el tiempo fue perdido. “Se trata de un proyecto que tiene unas dimensiones sin precedentes y es completamente nuevo. Es como si se estuviese intentando hacer un experimento como el LHC (Gran Colisionador de Hadro-

nes), pero sin contar con la experiencia previa para coordinar a grupos internacionales y construir los aceleradores que tienen en el CERN”, señala. Además, apunta a un problema cultural con el anterior director. En su opinión, es posible que Motojima se viese arrastrado por un sentido del deber a la japonesa que le impidió tener la flexibilidad necesaria para reconocer que las proyecciones iniciales no se podían cumplir. El intento de continuar según los planes previstos pudo empeorar la situación.

Armonizando colaboradores

En la nueva dirección del ITER no escatiman críticas para los anteriores responsables de gestión y prometen que a partir de ahora sí se cumplirán los plazos. Bigot ha planteado lo que, por primera vez, es una planificación realista para el experimento. El nuevo dirigente responde así, entre otras, a las dudas expresadas por el Parlamento Europeo, que en 2016 retrasó la aprobación de las cuentas del 2014 porque los diputados encontraron que la información presupuestaria o financiera era incoherente o incompleta.

Uno de los principales problemas del proyecto, como comentaba Sánchez,

En el Tokamak del ITER se llegarán a alcanzar 150 millones de grados, diez veces más que la temperatura del interior del Sol



¿QUÉ ES LA FUSIÓN NUCLEAR?

La fusión de dos átomos ligeros de hidrógeno (H-H) produce un elemento más pesado, el helio, y libera una cantidad enorme de energía. Este proceso ocurre cada segundo en las estrellas, el Sol incluido.

TEMPERATURA NECESARIA PARA QUE SE PRODUZCA LA FUSIÓN
150 millones de °C

FUENTE: ITER / FUSION FOR ENERGY

**REACTOR
TERMONUCLEAR
EXPERIMENTAL
INTERNACIONAL**

ITER

O CÓMO REPRODUCIR LA ENERGÍA DE LAS ESTRELLAS

LA ENERGÍA DE LAS ESTRELLAS

El Sol y otras estrellas generan grandes cantidades de energía al fusionar los núcleos atómicos ligeros para formar otros más pesados. Recrear el proceso en la Tierra supone calentar gases a temperaturas de 150 millones de grados; para producir la fusión, el plasma resultante se debe mantener confinado un tiempo.

El reactor ITER generará 500 megavatios (Mw) durante 10 minutos.



era la dificultad de gestionar una organización descentralizada, con todas las grandes potencias del mundo y un total de 35 países intentando impulsar sus prioridades. Bigot ha logrado el poder necesario para poder tomar decisiones técnicas sin las interminables decisiones que antes requería cada detalle. En una obra descomunal como la del reactor experimental, las indecisiones o

hasta el más mínimo cambio de rumbo pueden salir muy caros. Tener en marcha el proyecto cuesta todos los días un millón de euros.

La energía del Sol

Desde los años treinta, se sabe que la fusión nuclear, la que produce la energía solar y, al final, la que es el origen de toda la energía que consumimos los hu-

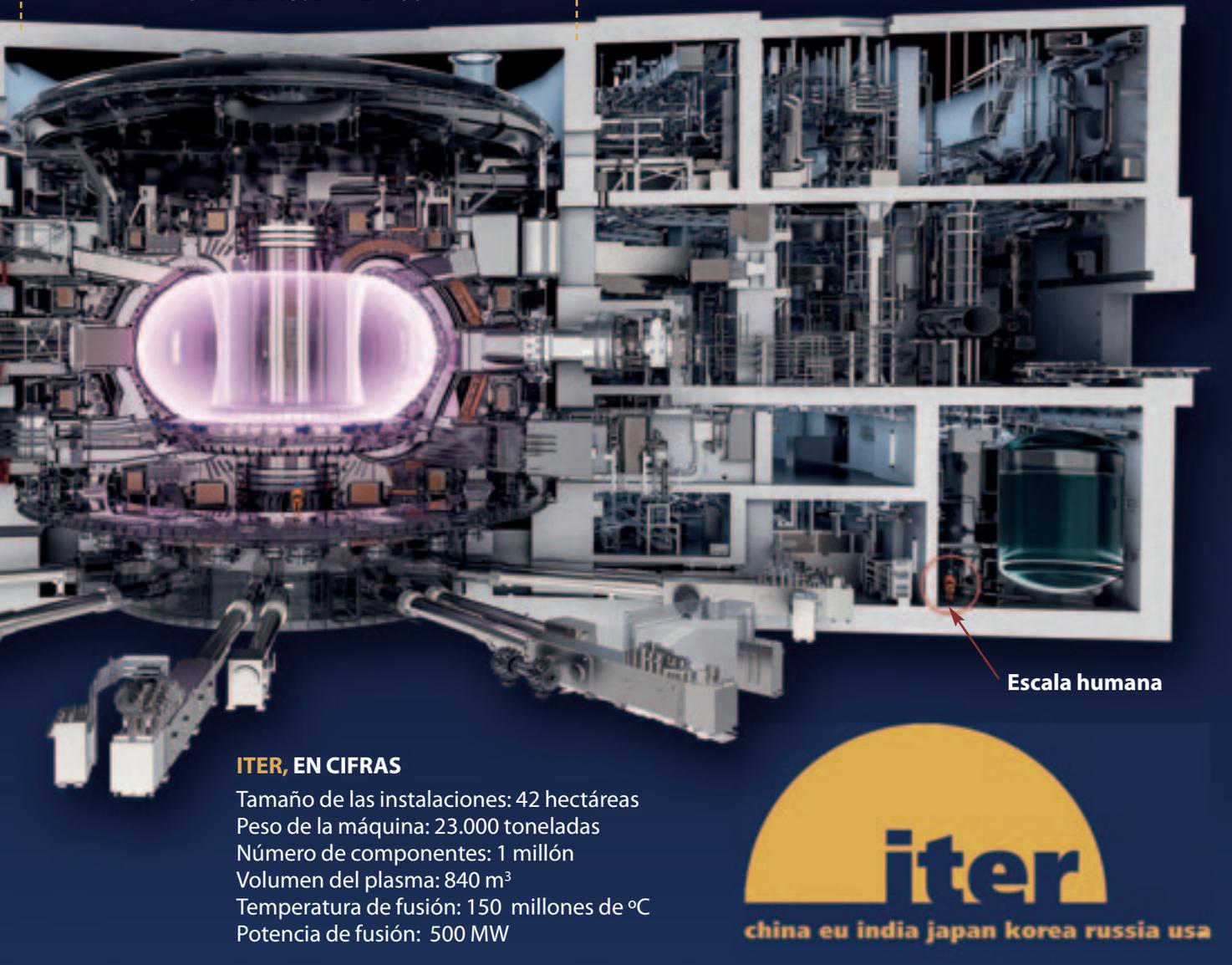
manos, era posible. Durante décadas se intentó producir de forma controlada, pero pronto se vio que las dificultades técnicas eran mucho mayores que las presentadas por la fisión nuclear. Ya en los años cuarenta, Enrico Fermi había construido un improvisado reactor de fisión empleando uranio debajo de las gradas de un estadio abandonado en la Universidad de Chicago. Obtener ener-

EL ITER

ALTURA: 30 METROS
ANCHURA: 30 METROS
DIÁMETRO: 24 METROS

¿QUÉ ES ITER?

ITER es la mayor asociación internacional en el campo de la energía y demostrará la viabilidad de la fusión. Se trata del mayor experimento realizado con la fusión y la primera vez que se generará la cantidad de energía de 500 MW.



ITER, EN CIFRAS

Tamaño de las instalaciones: 42 hectáreas
 Peso de la máquina: 23.000 toneladas
 Número de componentes: 1 millón
 Volumen del plasma: 840 m³
 Temperatura de fusión: 150 millones de °C
 Potencia de fusión: 500 MW

gía de la unión de átomos ligeros, sin embargo, era mucho más difícil que hacerlo partiendo átomos pesados.

Para lograr que unas partículas como los núcleos de hidrógeno, que sienten por sus iguales una repulsión casi insuperable, se uniesen, era necesario poner el combustible a una temperatura de decenas de millones de grados; demasiado para poder hacerlo en un contenedor só-

lido. La solución fue contener un plasma extremadamente caliente, en el que la temperatura arrebatara los electrones a los átomos de hidrógeno, mediante campos magnéticos. Estas máquinas deben superar además el reto de mantener esa materia a tan elevadas temperaturas sin que toque las paredes, que están rodeadas por imanes superconductores a más de 270 grados bajo cero.

Durante décadas, los científicos han tratado de mejorar los diseños de esos contenedores magnéticos para prolongar el tiempo en que se mantiene la reacción de fusión antes de que una inestabilidad rompa el equilibrio. El éxito no ha sido total y, conforme se incrementa el tamaño de los reactores, las dificultades se multiplican. Eso no ha impedido que, gracias al conocimiento acumulado en

pequeños reactores experimentales de todo el mundo, el ritmo de progreso sea, según expertos en el campo, comparable al crecimiento exponencial de la potencia de cálculo de los ordenadores.

El Tokamak

El diseño elegido para el ITER es el de un Tokamak, un tipo de contenedor con forma de rosquilla rodeada de bobinas magnéticas. Creado en los años cincuenta por los físicos soviéticos Ígor Tam y Andréi Sájarov, este sistema de bobinas circulares tenía un problema. En el interior, los imanes estaban más apretados y el campo magnético era más intenso. Eso hacía que las partículas se escapasen. Para mantenerlas en el redil, se introdujo una corriente eléctrica dentro del plasma que lo mantenía en equilibrio.

Para lograr generar energía a partir de la fusión de deuterio y tritio, las dos versiones pesadas del hidrógeno que se emplearán en el experimento definitivo del ITER, es necesario cumplir tres requisitos principales. Por un lado, una temperatura de más de 100 millones de

La idea de este gigantesco experimento internacional se propuso por primera vez en 1985, con la colaboración de la Unión Soviética, EE.UU., la Unión Europea y Japón

grados. En el caso concreto de este proyecto, se llegará a los 150, diez veces más que la temperatura en el interior del Sol. En segundo lugar, la densidad de las partículas en el plasma deberá ser de, al menos, 1.022 por metro cúbico, con el objetivo de incrementar las probabilidades de que choquen entre ellas y puedan fusionarse. Por último, un tiempo de confinación de la energía del orden de un segundo. Todo esto debería probarse en Cadarache.

La idea de este gigantesco experimento internacional se propuso por primera vez en 1985. Entonces, se plan-

teaba la colaboración de la Unión Soviética, EE.UU, la Unión Europea y Japón con el impulso de la Organismo Internacional para la Energía Atómica (OIEA). Todos se tomaron su tiempo y hasta 2001 no se firmó un diseño detallado para el proyecto, que se ratificó en la forma del acuerdo del ITER en 2007.

Después de todos los retrasos, con las obras a buen ritmo, hoy se avanza hacia el primer experimento con la vista puesta en 2025. El reactor en el que se realizarían entonces las pruebas podría tener 860 metros cúbicos, casi diez veces más que los que están hoy en funcionamiento. El combustible empleado en esa primera fase será hidrógeno o deuterio, dejando el tritio, que permite la fusión de los átomos a menor temperatura y haría la tecnología más viable, para los experimentos definitivos previstos para 2035. En medio se realizarán pruebas y mejoras progresivas para que los ingenieros puedan acumular información, con el objetivo final de construir una serie de proyectos de demostración. Esa fase llegaría ya hacia la segunda mitad de este siglo, se realizaría simultáneamente



En las imágenes superiores, construcción de los cimientos sobre los que se ubica el Tokamak, un reactor de 860 m³, casi diez veces más que los que están en funcionamiento en la actualidad.

REACTOR TOKAMAK

El reactor Tokamak

Para lograr la fusión, se debe confinar un plasma muy caliente durante un determinado periodo de tiempo. Es necesario calentar un gas mezcla de deuterio y tritio a temperaturas cercanas a los 150 millones de grados.

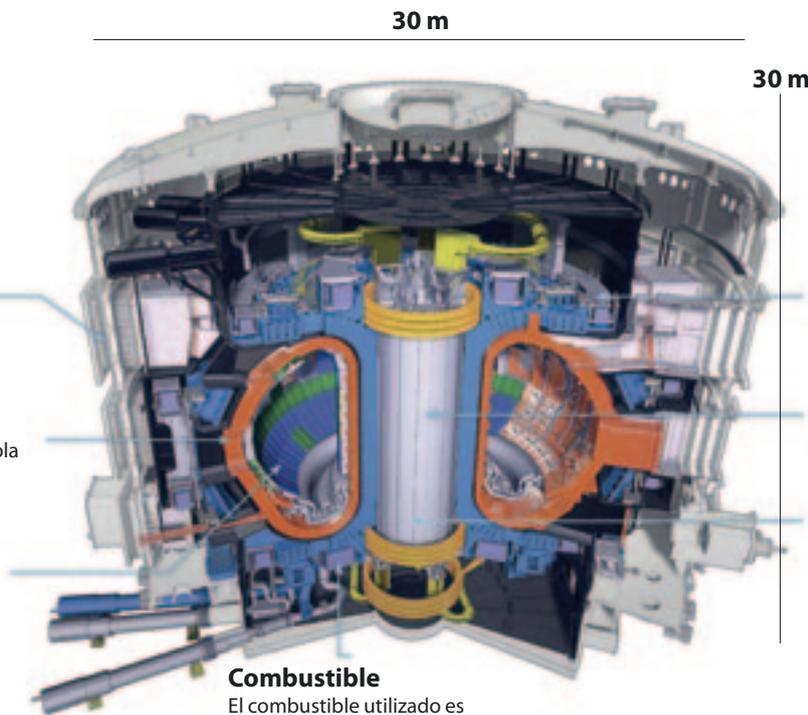
Para ello se ha diseñado un reactor tokamak que produce fuertes campos magnéticos producidos por enormes imanes superconductores que serán utilizados para confinar el plasma en una vasija del reactor que tiene forma de aro.

Cobertura

440 módulos de paneles recubrirán la superficie de la cámara de vacío protegiéndola de la alta energía producida por los neutrones durante la reacción.

Cámara de vacío

Donde se produce la fusión. Capacidad: 837 m³



Combustible

El combustible utilizado es una mezcla de deuterio y tritio, dos de los isótopos del hidrógeno (H).

Isótopos

Núcleos atómicos con igual número de protones pero distinto de neutrones

Tokamak

Siglas rusas que en castellano significan 'cámara toroidal y bobina magnética'.

Grandes bobinas

Crean fuertes campos magnéticos que confinan el plasma dentro de la vasija del reactor evitando que toque ninguna materia y se enfríe por contaminación con otros átomos.

Solenoide

Solenoide central acelerador de partículas. Induce la corriente eléctrica en el plasma.

El plasma

El plasma es calentado dentro de la cámara de vacío durante unos 400 segundos para producir 410 megavatios.

FUENTE: ITER

en varios de los países del consorcio del ITER y supondría una inversión de alrededor de 75.000 millones de euros.

Con esos objetivos en el horizonte, ingenieros y científicos de todo el mundo seguirán trabajando para resolver los problemas físicos del proyecto y continuarán desarrollando los materiales y la tecnología para hacerlo posible. Los retos de la fabricación de los componentes para un proyecto de la complejidad del ITER son inmensos. Muchos de esos elementos se construyen por contrato en los países que participan en el consorcio y después se trasladan hasta Francia para su ensamblaje. Una vez más, la dificultad de la coordinación para lograr que los estándares sean los

adecuados ha sido uno de los factores que han provocado retrasos en la construcción.

Un gran equipo

Desde la organización del proyecto, calculan que unas 2.300 personas trabajarán en la construcción de la instalación científica. Además, alrededor de 2.000 trabajadores colaborarán en el ensamblaje del más del millón de componentes construidos en las fábricas de los miembros de la colaboración por todo el mundo. Muchas de estas piezas son diseños específicos para el proyecto, una circunstancia que hace aún más compleja la labor.

La construcción del experimento también ha supuesto retos de producción in-

dustrial. Las diez toneladas de imanes que producirán el campo magnético para confinar el plasma en el que se producirá la fusión se han fabricado con dos tipos concretos de niobio que se producía en cantidades muy pequeñas. La producción mundial de estos cables de niobio, que se vuelven superconductores cuando se enfrían hasta los 4 grados Kelvin, muy cerca del cero absoluto, era de tan solo 15 toneladas anuales. A partir de los pedidos del ITER, la cantidad se ha multiplicado por diez.

Otra parte importante del camino hacia la construcción de un reactor nuclear de fusión es la producción de materiales capaces de resistir las condiciones extremas del contenedor de plasma. Uno de

La aportación española

España alberga la sede de la Agencia Doméstica europea para ITER Fusion for Energy, con sede en Barcelona, constituida para gestionar la aportación de Europa a ITER. En conjunto, cerca de 50 empresas españolas han conseguido más de 100 contratos por un valor superior a los 600 millones de euros. Es el tercer país europeo que más dinero en contratos ha conseguido para la construcción de la infraestructura, solo por detrás de Francia e Italia. Las empresas españolas serán responsables de muchos de los componentes claves del proyecto. Iberdrola es líder del consorcio hispanoitaliano que está fabricando en La Spezia (Italia) los grandes imanes superconductores con los que se confina el plasma para lograr las reacciones de fusión.

Ferrovial es la encargada de la infraestructura que abastecerá de electricidad a todo el proyecto. El reto es importante, porque con ella se logrará calentar el plasma del reactor hasta los 150 millones de grados. Esta compañía, en el que es el ma-

yor de sus contratos, también está construyendo el edificio en el que se colocará el reactor.

Destritización del agua

ENSA (Equipos Nucleares S.A.) será la empresa responsable del diseño y fabricación de seis depósitos que formarán parte del sistema del ciclo de combustible del reactor de fusión. Estos depósitos forman parte del sistema de detritización del agua del ITER. Cuando empiece a funcionar, la finalidad de estos depósitos será recoger el agua con tritio, una versión pesada del hidrógeno, para recuperar este elemento y utilizarlo posteriormente en las futuras reacciones de fusión.

Otro de los contratos relevantes es el firmado por la compañía Idom para la integración técnica de alrededor de 20 sistemas de diagnóstico de última generación. Para ello, colaborará con diseñadores de instrumentos de varios laboratorios públicos europeos de fusión y con expertos de Japón, India, China y EE.UU. ▶

un reactor de fusión nuclear que sigue un diseño diferente. El Wendelstein 7-X, un artefacto que ha costado alrededor de 1.000 millones de euros y que se conoce como 'estellerator'.

Otras alternativas

Este tipo de máquinas se enfrenta de una manera diferente al reto de mantener el plasma atrapado en sus campos magnéticos. En el caso de los tokamaks como el que se instalará en Francia, el desequilibrio que producía la colocación de los imanes se compensaba con una corriente eléctrica en el interior del plasma. Los 'estellerator' tratan de lograr el mismo objetivo sin esa corriente. Para eso, la forma del reactor tiene que ser mucho más intrincada, jugando con la forma y la colocación de los imanes con el fin de crear una trampa perfecta. Aparatos como Wendelstein 7-X, que es de la misma familia que el TJ-II, un 'estellerator' construido por el CIEMAT en Madrid, son mucho más difíciles de construir que los tokamak. Sin embargo, si se consiguiese un diseño funcional, gozaría de algunas ventajas. Por ejemplo, no tendría los problemas que a veces se tienen con la corriente eléctrica, que cuando falla detiene la reacción de fusión e incluso puede dañar las paredes del reactor.

El desarrollo de este tipo de reactores, que aún se encuentra en una fase menos desarrollada que los tokamak, ofrecería algunas ventajas si se superan los problemas del diseño. Aunque son más difíciles de construir, una vez en marcha, sería más fácil mantener las reacciones de fusión. Eso facilitaría la introducción comercial de este tipo de energía. Los plazos para comprobar si esto será posible son, como en todo lo que tiene que ver con la fusión, muy amplios. Mientras se ve si el 'estellerator' tiene alguna posibilidad frente al tokamak, Wendelstein 7-X, que es un experimento de física fundamental y no

los proyectos paralelos al ITER que tendrá como objetivo realizar esa tarea es la Instalación Internacional de Materiales de Fusión (IFMIF). Como parte de esa instalación, se ha proyectado un acelerador de partículas, denominado IFMIF-Dones. El año pasado, el Gobierno español presentó la candidatura de Granada para albergar esta instalación. Con un coste de 360 millones de euros, se estima que tendría una vida útil de 10 años. Croacia y Polonia son los principales rivales de España para lograr el proyecto.

Incluso entre los optimistas, se asume que la llegada de electricidad producida por fusión a los hogares del futuro aún tardará más de medio siglo. El control de esta fuente de energía tiene tal capacidad transformadora que incluso con plazos tan largos el esfuerzo puede ser rentable. Por eso, pese a que la gran apuesta mundial sea el modelo del ITER, sigue habiendo experimentos que prueban otras alternativas. A finales del año pasado, se puso en marcha en el Instituto Max Planck para Física del Plasma en Greifswald (Alemania),



A día de hoy, 650 hombres y mujeres de diversas nacionalidades son las que componen el equipo de ITER, de las que al menos 550 aparecen en la imagen superior. Desde la organización del proyecto, calculan que unas 2.300 personas trabajarán en la construcción de la instalación científica.

un ensayo con una central energética, ayudará a mejorar los diseños de otros reactores de fusión.

En una búsqueda como la que quiere hacer realidad la fusión nuclear, además de los factores puramente científicos, o quizá por encima de ellos, tendrán peso los políticos y económicos. Mark Henderson, uno de los científicos que trabajan en el ITER, recordaba recientemente cómo el compromiso de los principales países del mundo para impulsar la fusión ha variado en función de estas circunstancias. Durante los años setenta, los conflictos en Oriente Medio hicieron crecer el precio del petróleo y sembraron dudas entre los gobiernos de occidente sobre la fiabilidad de una fuente de energía que se acumula de forma desproporcionada en una región especialmente inestable. En esa época creció la inversión y el interés por

energías alternativas como la fusión, y eso se reflejó en un progreso más rápido. Cuando las cosas volvieron a su cauce, el apoyo a este tipo de proyectos también decreció. Ahora, además de la situación política de los países donde se entierra la energía que mueve el mundo, existe una mayor conciencia sobre

el problema que supone seguir lanzando gases de efecto invernadero a la atmósfera. Una energía nuclear limpia, con unos residuos de actividad media, que vuelven a ser inocuos en menos de medio siglo, puede significar la diferencia entre un escenario climático catastrófico y otro controlable.

Tras muchos años de contratiempos, los adalides de la fusión nuclear creen que ahora se encuentran en el buen camino. El pasado diciembre, un modelo reducido del ITER, el reactor termonuclear francés West, produjo su primer plasma, un paso en el camino para el éxito de su hermano mayor. Este será uno de los modelos que sirvan para finalizar los últimos detalles del diseño del ITER. El camino hacia el objetivo final sigue siendo largo. En los próximos años se podrá comprobar si, finalmente, se ha echado a andar a buen ritmo y en la dirección adecuada. ©

Desde la organización del proyecto, calculan que unas 2.300 personas trabajarán en la construcción de la instalación científica de Cadarache



El Laboratorio Europeo de Física de Partículas (CERN), ubicado cerca de Ginebra (Suiza), concentra a miles de científicos e ingenieros de todo el mundo en torno a su gran acelerador LHC. Su objetivo, responder a preguntas fundamentales como de qué está hecho todo lo que existe y qué fuerzas lo rigen. En julio de 2012, el CERN asombró a millones de personas con el anuncio de un

descubrimiento que los físicos perseguían hacía décadas: la detección de una nueva y singular partícula elemental, denominada bosón de Higgs, cuya existencia ayuda a explicar el origen de la masa. La científica española Teresa Rodrigo, en la alta dirección de CMS (Compact Muon Solenoid), uno de los dos equipos experimentales protagonistas del hallazgo, lo vivió en directo.

Entrevista con Teresa Rodrigo, física experimental y miembro del Comité de Política Científica del CERN

“Tiene que haber una revolución del pensamiento y se tiene que abrir un nuevo ciclo en la física”

■ Alicia Rivera / Periodista Miguel G. Rodríguez / Fotografía ■

Desde que acabó la carrera y se doctoró en Físicas en la Universidad Autónoma de Madrid, Teresa Rodrigo ha dedicado su actividad científica a la Física de Partículas. La suya es una trayectoria de éxitos, prestigio internacional, publicaciones científicas y libros; responsabilidades de altura en la dirección de experimentos... como muchos otros científicos. Pero no tantos pueden apuntarse, como Rodrigo (Lérida, 1956), el orgullo y la emoción de haber participado directamente, en primera línea, en los dos últimos grandes descubrimientos que se han realizado en Física de Partículas, ya que, antes del bosón de Higgs, formó parte del equipo que detectó (en 1995, en EE.UU) el sexto y último quark del denominado Modelo Estándar. Ella dice que lo suyo es “suerte”, pero sabe que no es verdad, porque hay que tener un olfato científico muy fino y un alto nivel para formar parte de los grupos de investigación de élite.

Rodrigo, física experimental especia-

lista en colisiones de hadrones, trabaja en el CMS (por sus siglas en inglés de Compact Muon Solenoid, Solenoide Compacto de Muones) y es miembro del Comité de Política Científica del CERN, pero también dirige el muy activo Instituto de Física de Cantabria (IFCA).

PREGUNTA. ¿Qué están haciendo los científicos del CERN desde que, hace casi cinco años, descubrieron el bosón de Higgs?

RESPUESTA. Desde entonces, hemos acumulado muchos más datos de esa partícula a diferentes energías para estudiar sus características, pero también para ver si surge alguna otra cosa nueva.

P. ¿Ha dado alguna sorpresa el Higgs?

R. No, por ahora no, se comporta como estaba previsto... Yo no descarto que no sea tan estándar como parece, pero hace falta alcanzar mucha más precisión en los experimentos y en el LHC (por sus siglas en inglés de Large Hadron Collider, Gran Colisionador de Hadrones) todavía no te-

nemos la suficiente estadística para investigarlo a fondo.

P. Además, en estos cuatro años y medio se ha aumentado la potencia del acelerador.

R. Sí, desde el descubrimiento del Higgs se ha multiplicado por dos y ahora el LHC ya funciona casi a su energía nominal, los 7 Giga-electronvoltios por haz planeados.

P. Usted vivió el descubrimiento del Higgs en primera persona... ¿Cómo fue?

R. Recuerdo muy bien aquellos días... Había mucha emoción. Teníamos señales por todos los sitios, pero eran cosas que no entendíamos y, poco a poco, parecía que emergía una señal más clara. Entonces hicimos muchos análisis sin centrarnos en la región de datos del experimento que parecía más interesante, porque así, estudiando con nuestros algoritmos de búsqueda las regiones donde no esperas encontrar la señal, te aseguras de que entiendes muy bien el fondo de datos y que no estás sesgando el análisis ni creando señales ficticias. Así que nos pasamos mu-

chos meses sin saber qué había en la región más favorable donde podría estar el descubrimiento. Finalmente, a finales de junio de 2012, abrimos al análisis esa región, ¡y ahí estaba la señal del Higgs!

P. ¿Fue a la vez que el otro equipo experimental, el del detector Atlas?

R. Sí, a la vez. Y ellos también tenían la señal. Los dos equipos dimos el visto bueno a lo respectivos resultados, informamos a la dirección del CERN y se convocó el seminario (el 4 de julio de 2012) en el que los presentamos.

P. ¿Por qué es tan importante el Higgs?

R. Es un bosón muy especial. Resulta que es la manifestación de un campo cuántico que permea el espacio; así, las partículas, al rozar con él adquieren masa. Ese *rozamiento* es como una nueva interacción muy particular entre partículas de materia y el campo de Higgs. No es de la misma naturaleza de las otras interacciones que conocemos (electromagnética, débil y fuerte). Y es tan importante porque, además de ser la responsable de que exista la masa y, por tanto, el universo tal y como lo conocemos, da consistencia a todas las observaciones experimentales de cómo la materia se comporta en el universo: sin el bosón de Higgs toda la construcción de la teoría que describe la materia visible en el universo se vendría abajo. Además, es la primera partícula que se observa con unas propiedades cuánticas muy singulares, que puede ayudar a comprender otros fenómenos, como la inflación cósmica, por ejemplo.

P. ¿Se atreve a anticipar otro descubrimiento?

R. Si hay un nuevo gran descubrimiento [en el LHC] será una sorpresa para todos. Hay cuestiones que siguen siendo candentes, como las supersimetrías, o la materia oscura... Y en los equipos experimentales hay grupos de trabajo dedicados a ellas, pero, por ahora, no vemos nada que apunte a un gran descubrimiento. El LHC tiene un gran trabajo por delante

que va a ser muy relevante en las medidas de precisión del Higgs, y eso puede dar sus sorpresas, porque el Higgs es un *bicho* muy singular.

P. ¿Y en física de partículas en general?

R. La ilusión sería descubrir más pronto que tarde algo relacionado con la naturaleza de la materia oscura. Eso sería un gran triunfo, pero lo veo muy difícil. Tengo muchas dudas, porque no tenemos ni idea de dónde ni cómo mirar. Estamos utilizando aproximaciones muy ingenuas, porque no sabemos cómo se relaciona con la materia ordinaria, visible.

P. ¿Qué es la materia oscura?

R. No lo sé. De hecho, no lo sabe nadie. Resulta que del movimiento de las galaxias, de grupos de galaxias, etcétera, se de-

*“Sin el bosón de Higgs,
toda la construcción
de la teoría que describe
la materia visible en el
universo se vendría abajo”*

duce que la fuerza gravitatoria es más fuerte de lo que uno calcularía a partir de la materia visible. Déjame recordarte que la fuerza gravitatoria esta muy bien conocida y es proporcional a la masa de los objetos. Para explicar estas desviaciones [en el movimiento de las galaxias] se postuló que debería existir más material, más masa, pero esa masa no parece que se comporte como la que forma los planetas, las estrellas y los demás objetos visibles del universo. Ese exceso de masa se llama materia oscura. El reto actual es entender su naturaleza y así poder responder a su pregunta.

P. Con todo lo que se ha avanzado en el conocimiento de lo más básico, ¿qué perspectiva tienen los físicos de partículas?

R. El ambiente que hay es que tiene que

haber una revolución del pensamiento, que se tiene que abrir un nuevo ciclo que no necesariamente mimetice lo que sabemos ahora. Somos muy conscientes de ello gracias a la experiencia previa de los científicos a finales del siglo XIX (en vísperas de Einstein y de la Mecánica Cuántica), que creían haber entendido todo y resulta que había toda una revolución a la vuelta de la esquina. Por decirlo de una manera cuantitativa: hoy, el 95 por ciento del universo no sabemos explicarlo...

P. Y mientras tanto, ¿el nivel de conocimiento adquirido por los físicos es tan profundo que los no especialistas se quedan atrás?

R. Eso pasa en muchos aspectos de la vida, porque el grado de especialización es tal que es muy difícil ser un humanista y entender todo en profundidad. El avance en inmunología o en computación es tal, que los profanos tenemos un conocimiento superficial de ellos. Lo mismo pasa en física de partículas. Pero una idea sí que podemos tener. Además, la terminología de física de partículas es hoy casi cotidiana y se habla del Higgs como del café con leche, o del Big Bang, o de los agujeros negros. Todo esto forma ya parte del vocabulario normal de la gente y eso, poco a poco, ayuda también a entender los conceptos que hay detrás.

P. En EE.UU. se logró el anterior gran descubrimiento en su campo, el quark Top detectado en Fermilab (Chicago), en 1995, y usted estaba en el equipo que lo logró, el experimento CDF del Tevatrón. Siempre está en el sitio adecuado, en el momento adecuado...

R. Soy una suertuda.

P. ¿Son descubrimientos comparables, el Top y el Higgs?

R. No. El Higgs es la primera partícula escalar; es otro mundo. El Top era muy importante, pero había muchos datos que indicaban que estaba ahí, mientras que el Higgs abre todo un paradigma diferente. Aunque el Top es curiosísimo: en cuanto a

sus propiedades cuánticas parece normalito, como los otros cinco quarks, pero su masa es tan grande que le proporciona unas características muy diferentes a todos los otros. Además, es el último de su especie, es decir, es el sexto y último constituyente fundamental, por lo que sabemos ahora. Al ser tan masivo, se pensó que nos revelaría algún misterio imprevisto, pero hemos estado muchos años estudiándolo y, por el momento, no encontramos ninguna desviación significativa.

P. ¿Cómo llegó usted a Fermilab, a participar en el experimento que era el detector CDF?

R. Me fui por mi cara bonita. Al acabar la carrera, en Zaragoza, me marché a Madrid a hacer la tesis doctoral, en lo que ahora es el Ciemat, y presente la tesis en la Universidad Autónoma. Luego me fui al CERN, como postdoctorado, al experimento UA-1 y, cuando éste ya se iba a cerrar, tenía que elegir entre quedarme en Europa o irme a Fermilab a buscar el quark Top. Estuve cuatro años de postdoctorado en el CDF.

P. Desde entonces ha cambiado el epicentro de la física de partículas, que ahora, con el LHC, está claramente en Europa.

R. Sí. Igual que antes nosotros nos íbamos a Estados Unidos, ahora los americanos trabajan en el CERN.

No veo que sea un problema, aunque lo ideal es que hubiera una física de partículas también puntera ahora en Estado Unidos. Lo que se está haciendo es una especie de geopolítica científica distribuyendo áreas de trabajo y Europa esta apoyando la investigación en neutrinos, que se desarrollará, fundamentalmente, en Estados Unidos y en Japón, mientras que ellos colaboran en el CERN.



Al acabar la carrera, la física Teresa Rodrigo se marchó a Madrid para hacer su tesis doctoral en lo que actualmente es el CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas).

P. ¿Cómo se hace la física experimental en partículas? Desde luego, no en un laboratorio con un puñado de ayudantes...

R. En CMS somos más de 4.000 científicos e ingenieros. Y con respecto a cómo trabajamos, pues, primero tienes que definir qué tipo de medidas quieres hacer, en qué condiciones... En CMS queríamos detectar y medir el Higgs. Entonces se di-

seña el experimento, el detector que se necesita, y entre todos los científicos que se han puesto de acuerdo y los diferentes institutos que participan, se reparten la fabricación de los componentes del detector teniendo en cuenta los expertos que hay en cada sitio y las capacidades de cada instituto. Luego todo se traslada al CERN y se monta el gran detector.

El mayor acelerador de partículas del mundo

■ Texto A. Rivera | Periodista ■

El LHC (Gran Colisionador de Hadrones), el acelerador de partículas más grande y más potente del mundo, es solo una parte del gigantesco entramado científico puesto en marcha en el Laboratorio Europeo de Física de Partículas (CERN), ubicado en la frontera franco-suiza, cerca de Ginebra. De nada servirían los 600 millones de colisiones de partículas (aceleradas casi hasta la velocidad de la luz) que se producen cada segundo en el acelerador sin los gigantes detectores que registran lo que pasa cuando chocan esos protones. Los sistemas de computación avanzada son igualmente imprescindibles. Y, por supuesto, lo esencial: los miles de ingenieros y científicos que mantienen a punto los equipos y que logran obtener la valiosa información de los experimentos para explorar el universo subatómico.

Teresa Rodrigo ha dedicado más de dos décadas de su vida científica a uno de esos enormes detectores, el CMS (Solenoides Compactos de Muones), a cuyo equipo se incorporó en los años noventa, cuando regresó a Europa desde Estados Unidos. Más de 4.000 personas de 199 institutos de 46 países trabajan en el experimento (otras tantas se ocupan del detector competidor, Atlas, ubicado en otro tramo del LHC), y organizar el trabajo con eficacia es todo un reto.

Rodrigo, desde su participación como científica del Instituto de Física de Cantabria, ha desarrollado diferentes cometidos y responsabilidades y, en 2010, fue elegida presidenta del Consejo de Colaboración Internacional de CMS, que coordina la participación de esos 46 países. Ocupaba este alto cargo en el experimento cuando, en julio de 2012, los científicos de CMS y de Atlas, conjuntamente, presentaron al mundo el descolante descubrimiento del bosón de Higgs. Desde ese mismo año, Rodrigo es miembro del Comité de Política Científica del CERN.

El superacelerador, en el que el CERN invirtió unos 6.000 millones de francos suizos incluidos los sistemas de computación y su contribución a los detectores, está formado por más de 9.000 imanes que operan a una temperatura próxima al cero absoluto dado que son superconductores. Esta instalado en un túnel circular subterráneo de 27 kilómetros y por dos tubos de vacío, en sentidos opuestos, circulan haces de protones en paquetes a casi la velocidad de la luz. El LHC empezó funcionando con colisiones de una energía de 3 GeV y ya ha alcanzado los 7 GeV.

CMS está instalado en una gran caverna que ensancha el túnel del acelerador. Con sus 21 metros de largo, 15 de an-

P. En un equipo de más de cuatro mil personas, ¿se enteran todos realmente del conjunto del trabajo?

R. En los detalles también hay especialización: unos grupos saben de calibración del detector, otros del *traking*, hay expertos en diferentes análisis de los datos... Así, se van formando expertos en las diferentes áreas de cara al futuro. Pero, de los resultados más relevantes, todos quieren saber cómo se han logrado y todos opinan.

P. En esos grandes equipos, a lo mejor un físico de partículas experimental no monta jamás una pieza del experimento...

R. Yo, sí. He puesto muchos tornillos en el CMS, aunque el experimental no tiene necesariamente que hacerlo, ya que hay muchos tipos de trabajo distintos: *hardware*, *software*... Con mi grupo del Institu-

to de Física, en Santander, desarrollamos un sistema de láser para monitorear la posición de los diferentes detectores que integran CMS. Es necesario, porque CMS tiene un campo magnético muy fuerte (cuatro tesla) y, cuando el imán se pone en funcionamiento, se distorsionan mucho las estructuras mecánicas que soportan

“Por decirlo de una manera cuantitativa, hoy, el 95 por ciento del universo no sabemos explicarlo...”

los detectores. Nuestro sistema láser, muy sutil y muy preciso, hace un monitoreo instantáneo de las posiciones de todos los detectores; lo diseñamos y fabricamos en Santander.

P. En física de partículas ha habido tradicionalmente pocas mujeres. ¿Sigue siendo una disciplina muy masculina?

R. El porcentaje de mujeres, en torno al 20% o 30%, es el mismo que en otras ciencias, exceptuando las de la salud. Aunque es un área predominantemente machista, como todo en la vida. Yo estuve trabajando sola bastante tiempo con ingenieros (todos varones) en CMS y la verdad es que estuve bien. Como te gusta lo que estas haciendo, no te das cuenta de las jugadas que hacen. Pero, si analizas la situación, claro que estamos discriminadas,

cho, otros tantos de alto y un peso de 12.000 toneladas, este detector está hecho como una cebolla cilíndrica colocada alrededor de uno de los puntos de colisión de los haces del LHC. Las distintas capas de esa 'cebolla' miden diferentes partículas generadas en los choques de protones y sus propiedades. Atlas, el otro gran detector del LHC no se queda atrás ni en número de científicos e ingenieros, ni en dimensiones. Es un cilindro de 46 metros de largo y 25 de diámetro, pesa 7.000 toneladas y está también instalado en una caverna subterránea a 100 metros de la superficie. Atlas y CMS funcionan de manera diferente, aunque con los mismos principios y los científicos de uno y otro equipo se reconocen sanos competidores en la búsqueda de los secretos del universo, pero complementarios: en ciencia un resultado no se sostiene si no se verifica, al menos, en dos sistemas experimentales diferentes.

Si Teresa Rodrigo ha llegado a la dirección de CMS en un



El Gran Colisionador de Hadrones del CERN, el acelerador de partículas más grande del mundo.

entorno científico en el que las mujeres sólo en los últimos años empiezan a ser abundantes, Atlas también tiene algo que aportar en esto. La portavoz del experimento cuando se descubrió el bosón de Higgs y, por tanto, la que lo anunció al mundo en nombre de Atlas (a la vez que el estadounidense Joe Incandela lo hacía en nombre de CMS), fue la italiana Gianotti, quien es ahora es la directora del CERN. ▸

estadísticamente está claro que lo estamos; otra cosa es cómo una lo siente.

P. En física de partículas parece que lo que dominan son las grandes instituciones, los equipos numerosos de investigadores... Usted dirige un instituto comparativamente pequeño, pero que cosecha un éxito notable en el ámbito internacional.

R. El IFCA se dedica a física de partículas, astrofísica y hay dos pequeños grupos más: uno de física estadística y otro de meteorología. Además, hay un potente grupo de computación avanzada. Somos unas 90 personas en total y bajando, porque estamos perdiendo mucha gente por falta de financiación. Hemos llegado a ser 120. En cuanto al éxito, es un instituto joven, con gente con mucho empu-

je, que participa en experimentos muy relevantes.

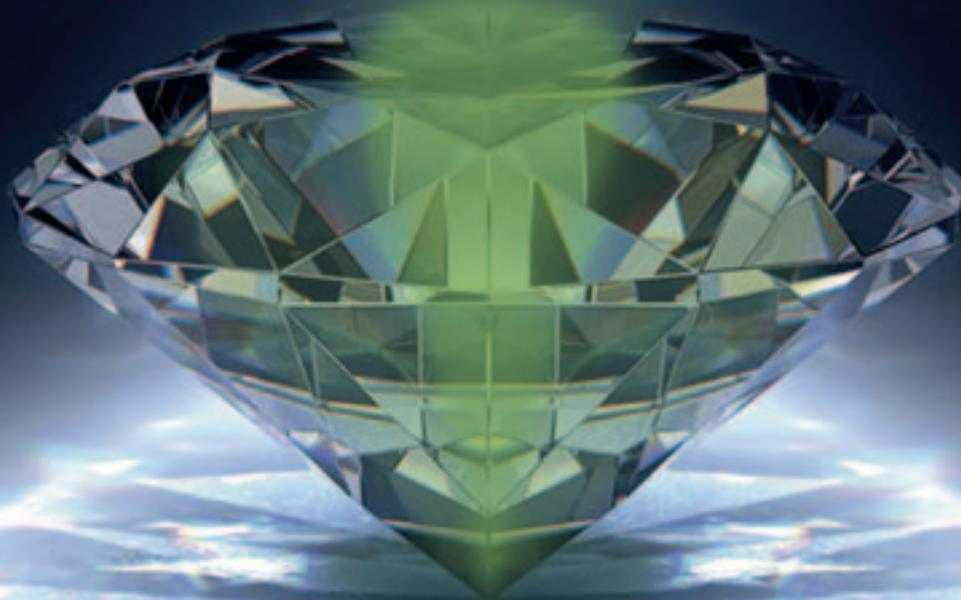
P. La crisis que sufre el sistema científico español, ¿se nota en su campo?

R. ¡Por supuesto que se nota! Hay una falta total de recursos; no puedes contratar a un postdoctorado, no puedes financiar la participación en proyectos importantes. No puedes tener iniciativas, porque te las cortan todas. Por ejemplo, según nos recomiendan, prácticamente solo podemos dedicarnos al LHC, porque es en lo que España ha invertido, pero nada más. Al cortar los recursos, se pierde gente que sabemos que no vamos a recuperar. Estoy preocupada y no se ven alternativas, no se ve la salida. Se va a perder mucho, porque se habían creado equipos de investigación potentes, sólidos, con una trayectoria. Se

puede dismantelar el sistema de ciencia español. Incluso el IFCA, si seguimos cinco años así, tendremos casi que cerrar.

P. Mientras tanto otros siguen avanzando. ¿Hacia dónde se encamina el CERN?

R. A corto plazo, está claro que a seguir explotando el LHC, que está previsto que alcance sus prestaciones máximas en 2035. Para después, hay proyectos como un supercolisionador de cien kilómetros de circunferencia, o alternativas de aceleradores lineales. Creo que es interesante avanzar en las nuevas técnicas de aceleración para no tener que construir aceleradores supergigantes. Además, la nueva directora del CERN, Fabiola Gianotti, está diversificando la física que se hace en el laboratorio para no centrarse exclusivamente en el LHC. ©



Un equipo de físicos de la Universidad de Bristol ha encontrado la manera revolucionaria de convertir los desechos radiactivos en baterías limpias, que además duran miles de años, separando el Carbono-14 de las barras de grafito y usándolo para fabricar un diamante radiactivo.

A partir de residuos nucleares, se investigan los diamantes radiactivos para generar energía limpia

Baterías para la eternidad

Un grupo de investigadores de la Universidad de Bristol, liderados por el geoquímico Tom Scott, han usado residuos radiactivos para crear corriente eléctrica. Estamos hablando de una minúscula corriente

de apenas dos vatios de potencia, pero que ha llamado la atención por originarse con diamantes compuestos a partir de residuos radiactivos.

■ Texto **Roger Corcho** | Divulgador científico | ■

Los diamantes manufacturados por el ser humano manifiestan una extraña propiedad, según la cual pueden generar corriente eléctrica cuando se sitúan en un campo radiactivo”, explicaron los miembros del equipo de investigadores de Bristol (Reino Unido) que lideran este proyecto en su presentación pública a finales del año pasado en el congreso de ‘Ideas para salvar el mundo’, celebrado en Inglaterra. “Nuestros diamantes, sin embargo, están compuestos

de carbón radiactivo, y son capaces, por tanto, de proveer su propio campo para generar una pequeña corriente eléctrica. Lo que se obtiene es una batería de diamante con poder nuclear”, aseguran estos investigadores.

Uno de los aspectos que destacaron fueron las ventajas que tienen unas baterías compuestas por este material. Tom Scott, profesor de Materiales de la Universidad de Bristol, por ejemplo, aseguró que “no hay involucradas partes móviles”

Al no estar compuesta por bobinas ni alambres –son baterías hechas exclusivamente de diamante–, no hay ningún componente que se pueda romper. Y, por consiguiente, nadie necesitará repararlas por “no requerir mantenimiento”. En segundo lugar, la electricidad se crea sin contrapartidas y de forma limpia, “sin generar ninguna emisión”, a diferencia de lo que ocurre con la generación de electricidad convencional, que deja tras de sí un rastro de emisiones o precisa que se pro-

duzcan reacciones químicas. En el caso de los diamantes solo se constata “generación directa de energía”

El detalle más sorprendente seguramente está relacionado con la vida media de los materiales radiactivos empleados. Aunque el prototipo que presentaron los investigadores británicos era una batería a partir de níquel-63, su interés está centrado en crear diamantes compuestos por átomos de carbono-14. Este material es conocido ampliamente por usarse desde hace décadas como reloj para datar fósiles u otros objetos de la antigüedad milenaria. Como su vida media, es decir, el tiempo que tardan en desintegrarse la mitad de átomos radiactivos de la muestra, es de más de 5.730 años, este es el tiempo en el que la batería podría abastecer un mecanismo de flujo eléctrico sin que se viera reducida su capacidad. Se trata, por tanto, de unas baterías irrompibles cuya duración hay que medirla en milenios: una vez comiencen a alimentar de energía a un dispositivo, ya nunca más habrá que preocuparse por reemplazarlas.

Aunque las ventajas sean numerosas, también tiene limitaciones. La más importante reside en su capacidad. Por cada gramo de material radiactivo se calcula que se podrían obtener 15 julios de energía, mientras que por comparación, una pila convencional del tipo AA proporciona 700 julios por gramo. Sin embargo, la vida útil de estas pilas no suele superar las 24 horas, mientras que el equipo de Bristol ha calculado que un gramo de diamante podría llegar a aportar 2,7 terajulios de energía sumando el tiempo total de vida útil.

Para incrementar la potencia de estos dispositivos, se podrían hacer diamantes de mayor tamaño, pero es una opción inviable, porque el tamaño máximo de diamante sintético manufacturado usando la deposición de vapor químico es limitado. Se trata, por tanto, de una limitación técnicamente insuperable por el momen-

to. Los diamantes con los que se está trabajando tienen un volumen de 10 milímetros de largo, 10 de ancho, y 0,5 milímetros de profundidad.

Completamente inofensivo

Al igual que los diamantes usados en joyería, los diamantes manufacturados se componen de átomos de carbono. Pero se diferencian de ellos en que sus átomos se disponen en capas. Como explica el equipo de Bristol, los átomos de carbono-14 usados para confeccionar los diamantes que se quieren emplear en estas baterías forman un ‘sandwich’ compuesto de granos policristalinos. Estos átomos radiac-

Las baterías de diamante medirían su duración en milenios y una vez comenzaran a alimentar un dispositivo nunca más tendrían que reemplazarse

tivos proceden de residuos radiactivos de centrales nucleares.

El diamante de carbono-14 es radiactivo, de modo que su manipulación es sumamente peligrosa; sostenerlo con las manos, por ejemplo, como haríamos con una pila convencional, dañaría los tejidos de nuestro cuerpo. Para evitar que ningún usuario llegue a contaminarse, el diamante a su vez se encapsula en el interior de otro diamante que esta vez no es radiactivo, sino neutro. De esta manera, la radiación no tiene ocasión de salir al exterior al quedar aprisionada dentro de ese duro caparazón. “El diamante es la sustancia más dura conocida por el ser humano, no hay literalmente nada que se pueda usar que pueda ofrecer mayor protección”, aseguró el profesor de la Escuela

de Química de la Universidad de Bristol, Neil Fox. “Al encontrarse dentro del diamante, ninguna radiación de corto alcance puede escapar”, añadió Fox. El carbono-14 se ha escogido precisamente por emitir este tipo de radiación beta de corto alcance, que permite que “sea absorbido rápidamente por cuerpos sólidos”. Ninguna de las emisiones radiactivas que emite el carbono-14 es capaz de traspasar esa barrera diamantina, con lo que la piedra resultante es completamente inofensiva, “no entraña ningún peligro para la salud”.

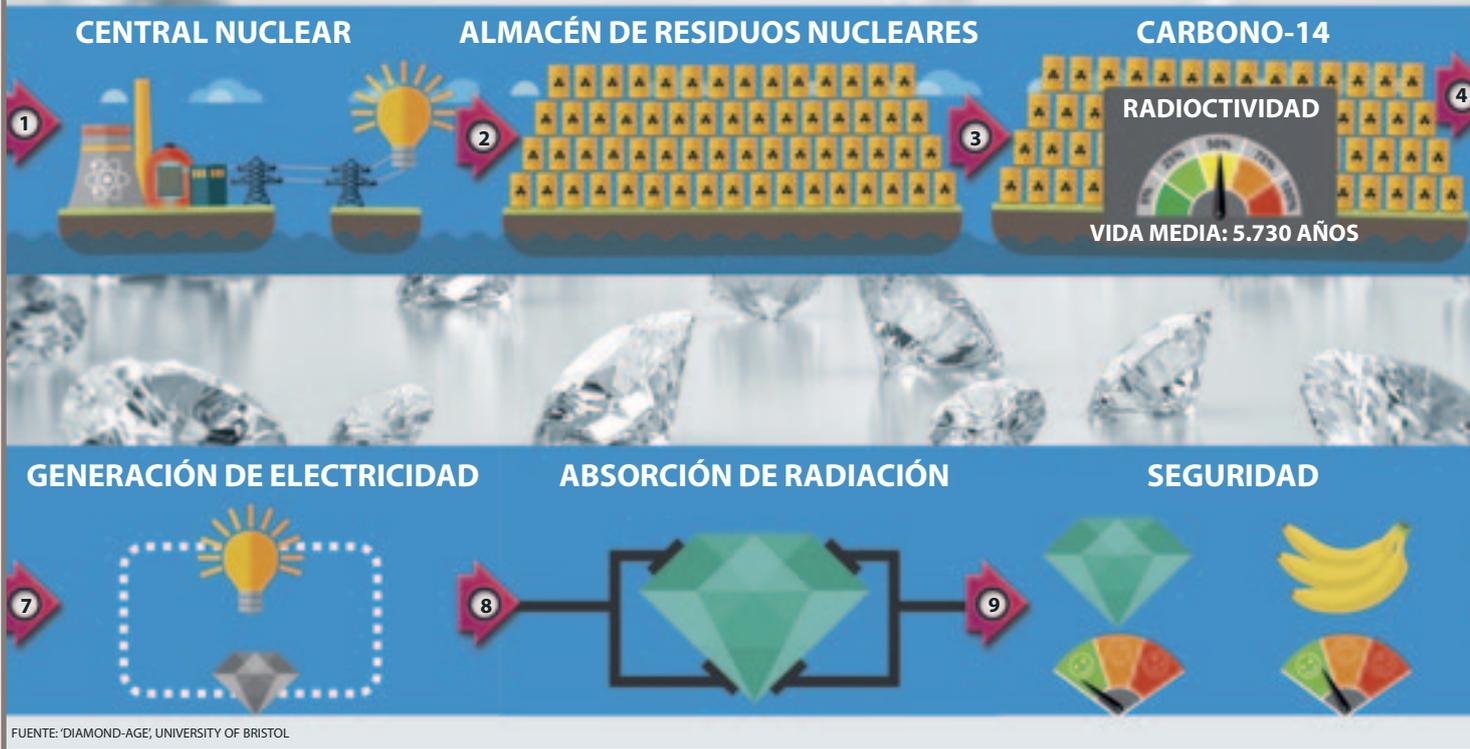
Radiación beta

La corriente eléctrica es el resultado del proceso de desintegración radiactiva que tiene lugar en el corazón del diamante. La radiación beta se produce cuando los neutrones del núcleo radiactivo se desintegran y, en su lugar, aparece un protón –que permanece en el núcleo– junto a un electrón. Por un lado, con un nuevo protón en su núcleo, el átomo de carbono se transforma en un átomo de nitrógeno y el núcleo pasa de seis a tener siete protones. El interior del diamante, por tanto, se irá transformando en nitrógeno. Por otro lado, el electrón que se ha formado en el núcleo sale disparado hacia el exterior, impulsado por intensas fuerzas electromagnéticas y portando una cantidad de energía muy elevada. Estos electrones que emergen por desintegración de un neutrón en el interior del núcleo atómico es lo que se conoce como radiación beta.

A pesar de que existen numerosas fuentes de radiación, la ventaja de usar carbono-14 es que este isótopo emite exclusivamente radiación beta. En otros isótopos radiactivos se pueden generar distintos tipos de radiaciones, como las peligrosas gamma, fotones que transportan una enorme cantidad de energía y que pueden dañar seriamente los tejidos vivos. Las capas de diamante son inservibles a la hora de retener estos otros tipos de radia-

TRANSFORMACIÓN DE LOS RESIDUOS NUCLEARES EN FUENTE DE ENERGÍA

¿Qué hacer con un material de desecho que, además, emite radiación peligrosa? El equipo de físicos de la Universidad de Bristol propone reciclar el grafito para mantener bajo control la fisión nuclear (1). El proceso convierte el material en un isótopo radiactivo, el carbono-14 (2 y 3). Los investigadores han separado el carbono-14 de las barras de grafito y lo han usado para fabricar un diamante radiactivo (4).



Para un marcapasos o una estación espacial

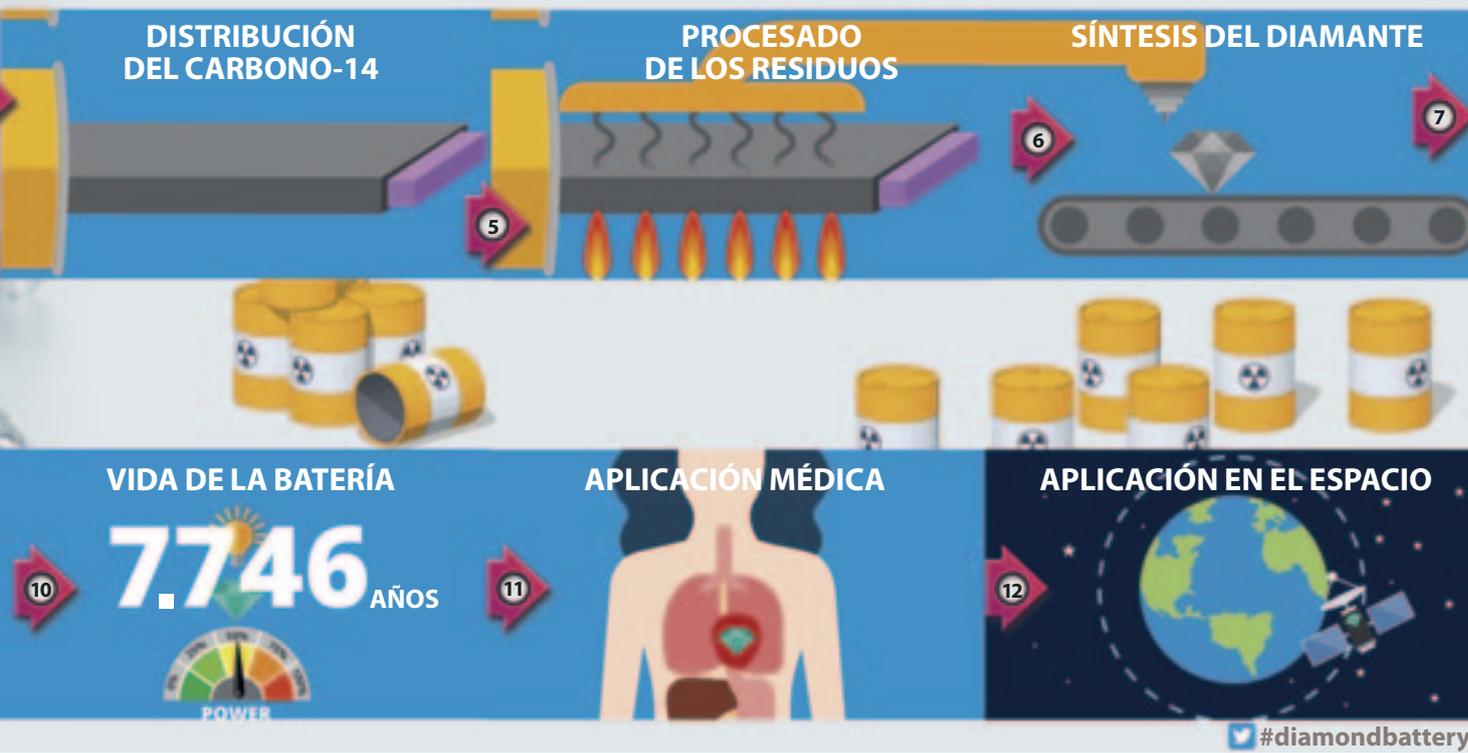
"Pensamos que estas baterías podrían usarse en situaciones en las que no es factible cargar o reemplazar baterías convencionales", asegura Tom Scott. Es decir, que no existe en ningún caso la pretensión de sustituir las baterías de uso común. Se trata de buscar casos en los que precisamente dichas baterías no resulten útiles, ya sea porque se agotan con demasiada rapidez y el aparato necesitaría disponer de una fuente mucho más duradera; o bien cuando recambiar la batería resulte extremadamente difícil o muy costoso. "Aplicaciones obvias serían dispositivos en los que se requiera una fuente de energía de larga duración, como marcapasos, satélites, drones a elevada altitud o en naves espaciales", añade Scott.

Las posibilidades parecen inagotables. Con el fin de que no se pase por alto ninguna posible opción, se ha recurrido a Twitter para promover una lluvia de ideas global de la que puedan extraerse posibles funciones que de otra manera no se le habría ocurrido a nadie. Con el

hashtag #diamondbattery, los promotores de la iniciativa invitan a cualquiera a compartir sus ideas y ocurrencias de posibles usos que se le podrían dar a estas baterías. Por el momento, junto al *hashtag* se pueden leer propuestas como por ejemplo que se empleen para la investigación de los océanos o que se usen en hospitales situados en zonas críticas.

Las mejores propuestas son seleccionadas y publicadas en un *blog* (cabot-institute-blogspot.com.es). Las variantes y opciones parecen infinitas, y entre las más sorprendentes y curiosas se encuentran aquellas que apuntan a las que podrían proporcionar la energía que necesitarían los nanorrobot para patrullar por nuestra corriente sanguínea e informar sobre diferentes aspectos de nuestra salud. O incluso las que servirían para monitorizar signos vitales en individuos que desempeñen trabajos de alto riesgo, como mineros, militares o exploradores

Al chocar contra la red cristalina de moléculas que forman el diamante, las partículas beta del Carbono 14 generan electrones (5 y 6). Para aislar la radiactividad, el diamante radiactivo (7) se ha recubierto de una segunda capa de diamante normal (8) que aísla perfectamente la radiación (9) y que encima genera más electricidad (10). El resultado es una piedra que emite electricidad sin partes móviles y que no contamina. Este prototipo podría revolucionar sectores con necesidades de voltaje pequeñas y en los que no se puede o es complicado cambiar las baterías como los dispositivos médicos (marcapasos) (11) o las sondas espaciales (12).



ción emitida en la desintegración radiactiva. Al escapar al exterior, convertirían el diamante en un peligroso artefacto.

Los electrones que componen la radiación beta impactan en las diferentes láminas de diamante que conforman la estructura. Como si se tratara de una bola de petanca lanzada a gran velocidad, choca inelásticamente con otros electrones de modo que se acaba frenando. “La partícula beta que aparece por cada desintegración de carbono-14 se dirige hacia el entorno de la estructura de diamante creando sucesivos pares de agujeros de electrones”, explica el equipo de investigadores, “lo que genera una cascada de electrones de baja energía que finalmente se recoge en un contacto metálico”. La corriente que se genera principalmente en los enlaces de las capas de diamante alcanza el electrodo, con lo que ya puede aprovecharse en un circuito eléctrico. Como la carga generada

es ligera –lo que se conoce como “por goteo”–, lo usual es que se tenga que añadir un condensador eléctrico al circuito para que cualquier dispositivo pueda aprovecharse de esta energía.

En el interior del diamante, los átomos de carbono se irán transformando paulatinamente en nitrógeno, pero en una cantidad que solo será significativa tras varios centenares de años. Aún así, los investigadores han concluido que su presencia tampoco interferirá en las prestaciones del dispositivo, debido a que la corriente se crea principalmente en las capas más exteriores del diamante. Aunque se trata de una propuesta audaz, al unir el problema de los residuos con la generación de electricidad, aun es pronto para saber si se acabará introduciendo en máquinas y dispositivos. Hay algunos signos que indican que se trata de un proyecto que sigue estando lejos de verse

materializado. Para empezar, el equipo de Bristol no ha publicado sus descubrimientos en ninguna revista especializada para compartir su información con la comunidad científica, tal y como es habitual. “Por el momento estamos en una etapa preliminar y aún no se han publicado *papers* de este proyecto en concreto”, admiten. Antes de dar este paso, prefieren ocuparse de las patentes involucradas en el proceso y luego seguir avanzando.

Y otro problema es el de la financiación. Su objetivo es desarrollar prototipos cada vez más complejos y eficientes, pero para ello necesitan disponer, por ejemplo, de mayores cantidades de gas para los trabajos de investigación, lo que requiere de un mayor apoyo económico del que han tenido hasta ahora. Siguen siendo compuestos difíciles de manipular y gestionar, y su manejo requiere de grandes sumas de dinero.

La subdirección más transversal del Consejo de Seguridad Nuclear

Evaluar la capacidad de respuesta de una central nuclear ante posibles problemas que pongan en riesgo su seguridad, impulsar medidas que minimicen los errores humanos en su interacción con “*la máquina*”, vigilar el cumplimiento de los criterios de garantía de calidad exigibles a las instalaciones, desarrollar nuevos métodos y herramientas de evaluación de la seguridad,

así como coordinar actividades relacionadas con la gestión del combustible irradiado y los residuos de alta actividad. Éstas, y muchas otras, forman parte de las funciones que desempeña una de las nueve subdirecciones técnicas sobre las que se erige el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN). Bienvenidos a la Subdirección de Tecnología Nuclear.

■ Texto **Vanessa Lorenzo** | Área de Comunicación (CSN) | ■

La Subdirección de Tecnología Nuclear (STN) quizás sea el área más transversal dentro del organismo regulador. Resulta complicado dibujar con tan solo unas líneas el trabajo de las 31 personas que dan vida a una sección tan vital a la hora de garantizar los mejores estándares de seguridad nuclear.

Cuando uno pregunta por una definición que refleje el trabajo del equipo que lidera Rafael Cid, la respuesta es clara: “No hay una definición muy concreta, abarcamos temas muy diversos

dentro de las funciones de regulación, evaluación e inspección propias del CSN, en relación con las instalaciones nucleares”.

Y es que la STN abarca aspectos tan dispares y complejos como son el desarrollo de códigos de simulación de centrales nucleares, la colaboración con proyectos de I+D internacionales y de universidades españolas, la supervisión de la seguridad de los factores humanos y organizativos, la formación, los análisis de riesgos, los sistemas de gestión de cali-

dad de las instalaciones nucleares y la gestión de los residuos de alta actividad y combustible gastado.

Igual de dispar resulta el perfil de los profesionales que conforman esta subdirección. Estamos ante una familia bien avenida formada por 6 administrativos y 27 técnicos, entre los cuales encontramos ingenieros, físicos, psicólogos y químicos. Todos ellos queda orquestados bajo la directriz de uno de los técnicos con mayor trayectoria profesional dentro del Consejo de Seguri-



La Subdirección de Tecnología Nuclear (STN) abarca desde el desarrollo de códigos de simulación de centrales nucleares o los sistemas de gestión de calidad de las instalaciones nucleares, a la gestión de los residuos de alta actividad y combustible gastado.

dad Nuclear, Rafael Cid. Podríamos asegurar, sin miedo a equivocarnos, que este extremeño se mueve como pez en el agua a la hora de evaluar e inspeccionar las instalaciones nucleares, máxime si hablamos de temas de Ingeniería Eléctrica y de Instrumentación y control, puesto que fue jefe de este área durante más de 20 años. Desde 2008 Rafael Cid lidera la STN.

Este heterogéneo equipo de trabajo se estructura en base a cinco áreas: Modelización y Simulación, Gestión de Calidad, Análisis Probabilístico de Seguridad, Residuos de Alta Actividad y Organización, Factores humanos y Formación. Independientemente de los temas específicos de la Subdirección, tal y como asegura Cid, “aquí se tratan en mayor medida los temas que denomi-

namos transversales, donde la interacción persona-máquina y los aspectos de la organización son también muy relevantes para la seguridad de las instalaciones”.

A los actuales esfuerzos que desde esta subdirección se están realizando para adecuar el parque nuclear español a los requisitos de protección contra incendios, establecidos por el mismo orga-

Entrevista a Rafael Cid Campo

“La interacción persona-máquina y los aspectos organizativos son muy relevantes para la seguridad”

Licenciado en Ciencias Físicas y diplomado en Energía Nuclear por la ya extinta Junta de Energía Nuclear (JEN), Rafael Cid inició su singladura profesional en su departamento de Seguridad Nuclear. Fue en 1983 cuando la primera oposición a la Escala Superior del Cuerpo Técnico de Seguridad Nuclear y Protección Radiológica del CSN le abrió las puertas para incorporarse a un organismo que conoce como la palma de su mano.

Rafael fue uno de aquellos que pusieron la primera piedra del CSN, charlar con él y escucharlo relatar su vida en el Consejo no es ni más ni menos que la vida del parque nuclear español. Estuvo presente en el licenciamiento de las centrales, en su puesta en marcha y en la supervisión durante la operación de las plantas.

PREGUNTA. Con una trayectoria de más de 36 años en este organismo, ¿qué hitos han marcado su paso por el Consejo?

RESPUESTA. Los hitos son muy paralelos a los propios del CSN en relación con las instalaciones nucleares en sus distintas etapas. A principios y mediados de los años 80, la prioridad era el licenciamiento (autorización de explotación) de las centrales de segunda generación (Almaraz, Ascó y Cofrentes). Éramos muy pocos pero con gran ilusión; los temas de trabajo eran realmente relevantes pues se trataba de revisar importantes sistemas de seguridad y estábamos en contacto directo con las plantas, asistiendo a las pruebas preoperacionales. A es-



Desde 2008, Rafael Cid Campo es subdirector de Tecnología Nuclear y está al frente de un equipo multidisciplinar y altamente competente.

to se unían importantes mejoras en el diseño de las centrales de la primera generación (José Cabrera y Garoña).

Un hito importante fue el accidente de Vandellos I en 1989. Formé parte del equipo de inspección que se trasladó al día siguiente a la planta, cuando la situación no estaba totalmente controlada. Ver en directo la situación de la central y la actuación de las personas en situación de emergencia fue una experiencia que sin duda ha marcado mi labor posterior en el CSN.

P. La subdirección que ahora lidera juega un papel muy importante en la seguridad nuclear de las instalaciones nucleares. ¿Cuáles son los principales retos a los que se enfrentan?

R. Actualmente tenemos dos retos muy relevantes en proceso, uno es de licenciamiento, que consiste en la adecuación de las centrales nucleares a los requisitos de

(Sigue en la página 26)

(Viene de la página 25)

protección contra incendios establecidos en la Instrucción del Consejo IS-30. Esta regulación se basa en la equivalente para las centrales en EE.UU. La industria nuclear y el propio regulador americano han identificado ciertas vulnerabilidades en la protección contra incendios que han hecho necesario un reanálisis de los estudios de seguridad precedentes, fundamentalmente debido a la identificación y separación de circuitos eléctricos que podrían cuestionar la parada segura en caso de incendio.

Una de las alternativas que se establece en esta Regulación es lo que se ha denominado “informada por el riesgo”, en donde ciertos requisitos prescriptivos pueden ser ponderados por su importancia para la seguridad, al objeto de optimizar las mejoras a realizar en la instalación. Es una metodología compleja, que ha llevado mucho tiempo y recursos para su aplicación en EE.UU. En nuestro país dos centrales se han acogido a esta alternativa y su aplicación con las debidas garantías está suponiendo un importante reto tanto a los titulares como al CSN.

Otro de los retos actuales es la consolidación de la metodología de supervisión de los “componentes transversales” en el Sistema Integrado de Supervisión de Centrales (SISC). Se denominan así a un conjunto de aspectos en relación con los comportamientos humanos y organizativos que influyen en la seguridad de la instalación. Esta metodología se basa en la profundización en la causa raíz de los hallazgos en todas las inspecciones del CSN, de cualquier disciplina. Los inspectores pueden encontrar evidencias de la existencia de debilidades en algún componente transversal.

Mi subdirección ha contribuido sustancialmente al

desarrollo de esta metodología y a la formación de los inspectores del CSN en la materia. Tras una fase piloto de funcionamiento de un año y medio, desde abril de 2016 está totalmente operativa. Es un gran reto para esta subdirección su aplicación de una manera coherente, que redunde en la concienciación de los titulares en la importancia de estos temas y en una mejora de la seguridad de las instalaciones.

P. Esta subdirección cuenta con ingenieros, físicos, psicólogos y químicos. ¿Cómo puede lograr ese engranaje perfecto, con perfiles profesionales tan diferentes?

R. En realidad, la mayoría somos gente de ciencias, con esa fama de “gente cuadrículada”, que no es así. Llevamos temas muy tecnológicos, por lo que estas titulaciones son las más apropiadas. No obstante, tenemos personas con otras titulaciones, como psicología, que enriquecen con su formación y puntos de vista nuestra labor, especialmente en el área de Factores Humanos y de Formación.

Lo que es claramente observable es que el personal que trabaja en esta subdirección lo hace con gran entusiasmo, les gusta su trabajo y están siempre interesados en mantenerse al día y mejorar. Las labores de evaluación e inspección de instalaciones nucleares son la base de nuestro trabajo; nos llevan del orden del 70% del esfuerzo disponible. Adicionalmente, esta Subdirección tiene una gran vocación y tradición en participar en los distintos foros internacionales, prácticamente todo el personal técnico está involucrado, tanto en grupos de trabajo como en proyectos de I+D, donde son muy reconocidos. 

nismo, y los trabajos para consolidar los “componentes transversales” como un nuevo elemento en el Sistema Integrado de Supervisión de las Centrales (SISC), se une un nuevo reto, el desarrollo de los propios modelos de Análisis Probabilísticos de Seguridad (APS) del CSN.

APS propios, un reto a medio plazo

Estos análisis consisten en una modelización de las centrales, que incorpora todos los aspectos que pueden influir en la aparición y desarrollo de un acciden-

te con consecuencias graves. Los APS proporcionan unos resultados cuantitativos de la probabilidad de sucesos no deseados y su contribución al riesgo global de la instalación.

En la actualidad, el CSN trabaja con los Análisis Probabilísticos de Seguridad desarrollados por las propias centrales nucleares. Contemplados como un reto a medio plazo, el organismo regulador tiene en marcha un proyecto, en colaboración con la Universidad Politécnica de Madrid, para desarrollar sus propios modelos de APS. Este proyecto se pre-

senta como “altamente deseable, aunque no sea estrictamente necesario”, según palabras de Rafael Cid. No obstante para el subdirector sería un esfuerzo útil sacarlos adelante, puesto que implicarían un conocimiento más profundo de Análisis Probabilísticos de Seguridad por parte de las distintas disciplinas del CSN.

Y es que sus ventajas parecen claras, “mayor independencia técnica, homogeneización del tratamiento de las distintas instalaciones y una mayor confianza en sus resultados y utilización”. 

Armonización internacional en Protección Radiológica. El papel de la ICRP

Desde su fundación, en 1928, la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) ha tenido como objetivo principal proporcionar a todo el mundo un sistema en el que basar la protección radiológica en todos los ámbitos en los que las radiaciones ionizantes están presentes. El Sistema de Protección Radiológica de la ICRP se desarrolla a partir de los conocimientos científicos sobre los efectos biológicos, sanitarios y medioambientales de las radiaciones ionizantes, teniendo en consideración valores éticos y sociales y la experiencia práctica en su uso. Este sistema inspira las normas básicas internacionales y las legislaciones sobre protección y seguridad radiológicas de casi todos los países del mundo. Esta armonización excepcional es posible gracias a la independencia, transparencia y rigor científico con que la ICRP se ha ganado el respeto internacional. Su labor continúa en la actualidad gracias a la dedicación desinteresada de casi dos centenares de expertos de más de treinta países que

componen la Comisión Principal, los cinco Comités y los numerosos grupos de trabajo.

En este artículo se describe la estructura de la ICRP y el trabajo actual de los Comités sobre Protección en Medicina, aplicación de las Recomendaciones y Protección Radiológica del Medioambiente, en los que los autores tienen una presencia destacada.

- Texto **Eliseo Vañó Caruana** | Facultad de Medicina y Hospital Clínico San Carlos, Universidad Complutense de Madrid. Presidente del Comité 3 (Protección en Medicina) y miembro de la Comisión Principal de la ICRP |
- Almudena Real Gallego** | Departamento de Medio Ambiente. CIEMAT. Vicepresidenta del Comité 5 (Protección Radiológica del Medioambiente) de la ICRP |
- Eduardo Gallego Díaz** | Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid. Miembro del Comité 4 (Aplicación de las Recomendaciones) de la ICRP | ■

La Comisión Internacional de Protección Radiológica (conocida por sus siglas en inglés, ICRP) desarrolla el Sistema de Protección Radiológica a partir de los conocimientos científicos sobre los efectos biológicos, sanitarios y medioambientales de las radiaciones ionizantes, teniendo en consideración valores éticos y la experiencia práctica (**Figura 1**). El Sistema se emplea en todo el mundo como referencia para el desarrollo de normas, legislación, guías, programas y prácticas. Su objetivo es contribuir a mantener un nivel de protección apropiado para las personas y el medioambiente frente a



los efectos nocivos de este tipo de radiaciones, tratando de no limitar indebidamente los beneficios que, para el individuo o la sociedad, reportan las actividades que implican el uso de radiaciones.

La Comisión tiene sus orígenes en el Segundo Congreso Internacional de

Radiología de 1928, cuando fue establecida como *International X-ray and Radium Protection Committee*, siendo presidida por el Dr. Rolf Sievert [2]. Sus primeros 22 años estuvieron centrados en la protección del público y los trabajadores en el ámbito del empleo de radiaciones en medicina.

A partir de 1950, su nombre evolucionó al actual y el desarrollo de los reactores nucleares, los aceleradores de partículas, la producción de radioisótopos y las múltiples aplicaciones pacíficas de las radiaciones ionizantes fueron haciendo necesario ampliar el rango de sus Recomendaciones.

Actualmente, la ICRP es una organización internacional sin ánimo de lucro registrada en el Reino Unido, con miembros de más de 30 países, que se unen por periodos cuatrienales como expertos voluntarios independientes, procedentes de todas las disciplinas relevantes para la protección radiológica.

Recomendaciones de la ICRP

Desde su fundación, el objetivo principal de la ICRP ha sido proporcionar a todo el mundo un sistema en el que basar la protección radiológica en todos los ámbitos

donde las radiaciones ionizantes están presentes. La ICRP se compromete a desarrollar sus Recomendaciones con arreglo a un código de ética [3] alineado con la búsqueda del beneficio público, la independencia de gobiernos y organizaciones, incluyendo la industria y los

usuarios de las radiaciones, la imparcialidad en el desarrollo de las recomendaciones, la transparencia de sus acciones y juicios y la responsabilidad como organización sin ánimo de lucro.

Es debido a estos principios que la ICRP mantiene el respeto internacional



(Figura 1). El Sistema de Protección Radiológica de la ICRP se basa en la evidencia científica más reciente, valores éticos y sociales, así como en más de un siglo de experiencia [1].

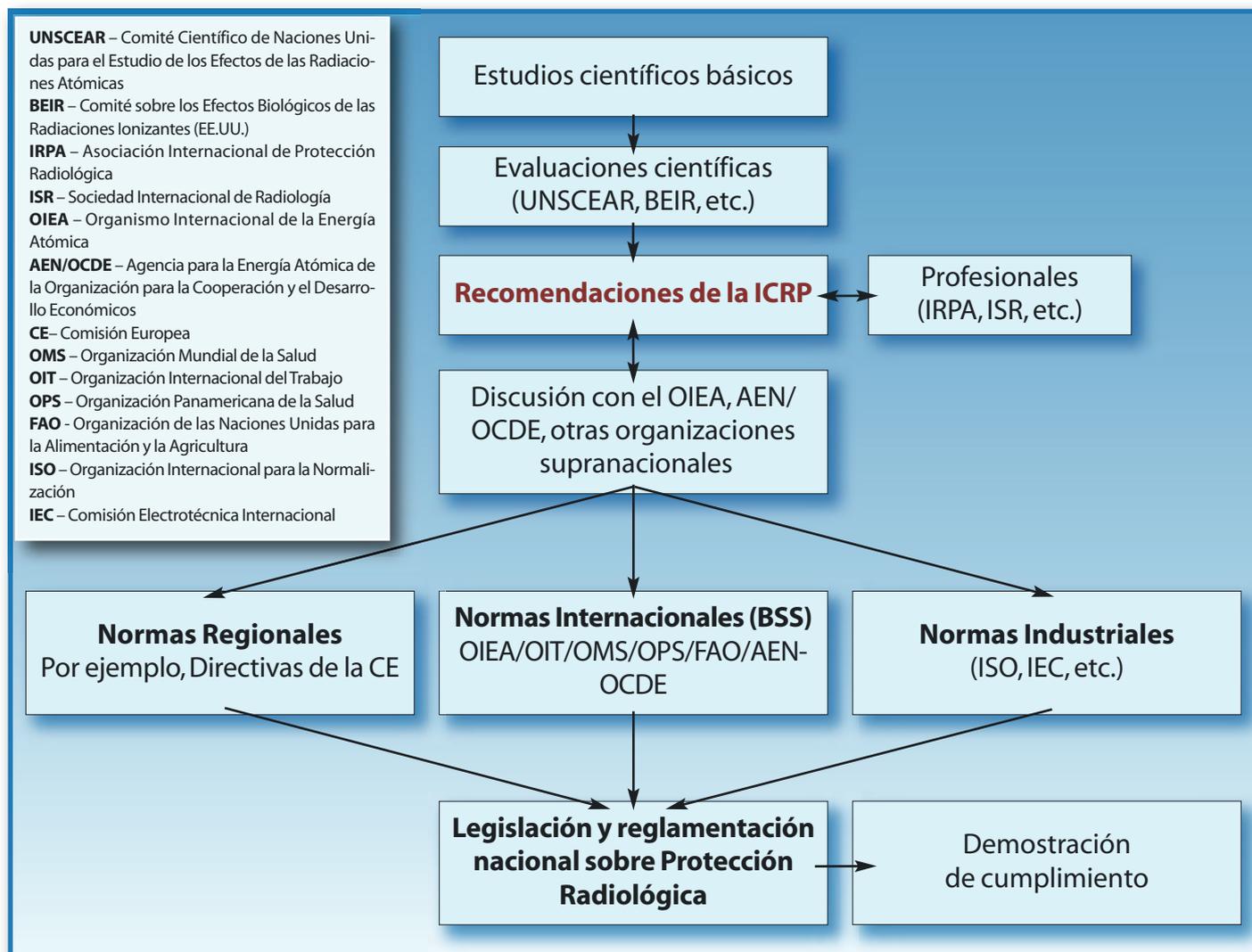


Figura 2. El proceso desde el conocimiento científico hasta la legislación sobre protección radiológica (adaptado de [2]).



En la imagen superior, los miembros de la ICRP. En primera fila, la Comisión Principal.

por lo que los organismos supranacionales como el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización Internacional del Trabajo (OIT) o la Comisión Europea (CE), entre otros, elaboran sus normas básicas de protección radiológica inspirándose en las recomendaciones de la ICRP [4], y a partir de ellas los distintos países las adoptan en su legislación específica. La **Figura 2** ilustra cómo se desarrolla el proceso, desde el conocimiento científico hasta la regulación y normativa, indicando los organismos principales implicados; las recomendaciones de la ICRP constituyen el núcleo central de dicho proceso.

Proyectos y plan estratégico

La ICRP está finalizando un periodo de consolidación y a punto de iniciar una renovación de parte de sus miembros, para los próximos años 2017-2021. Este periodo ha tenido la triste noticia del reciente fallecimiento del presidente del Comité 1 (Efectos de las Radiaciones), Bill Morgan. El informe anual de la ICRP del año 2015 [1] es un documento clave

para seguir la labor realizada durante ese año. Se destaca la importancia de la independencia de la ICRP en sus recomendaciones, pero sin que ello implique un aislamiento. Se han ampliado y mejorado las relaciones con otras organizaciones que también trabajan en el área de la Protección Radiológica. En la Memoria se cita también a aquellos organismos que contribuyen en todo el mundo a la financiación de la ICRP, con mención expresa al Consejo de Seguridad Nuclear de España.

Desde 2011, la ICRP celebra simposios internacionales cada dos años, que permiten un amplio intercambio de opiniones con otras organizaciones y con expertos individuales. Hasta ahora, dichos simposios se han celebrado en Bethesda (2011) [5], Abu Dhabi (2013) [6] y Seúl (2015) [7], y está previsto que el siguiente sea en París (2017).

El informe anual [1] contiene un detalle del trabajo de los cinco Comités (C1 Efectos de las radiaciones, C2 Dosis de la exposición a la radiación, C3 Protección en Medicina, C4 Aplicación de las Recomendaciones de la Comisión, C5 Protección del Medio Ambiente) y

de los Grupos de Trabajo activos. Su estructura se presenta en la **Figura 3**.

Otro documento de especial relevancia, recientemente aprobado por la Comisión Principal de ICRP, es el nuevo Plan Estratégico para los años 2016-2020 [8]. En él, se plantean tres prioridades estratégicas: a) Mantener y mejorar el Sistema de Protección Radiológica; b) Promover la concienciación en los temas de protección radiológica y facilitar el acceso a las Recomendaciones de la ICRP y c) Aumentar el compromiso con los profesionales, los legisladores y el público.

La ICRP ha adoptado un sistema de calidad para sus publicaciones que permite corregir posibles errores y tener en cuenta los comentarios de las organizaciones internacionales, nacionales y de los expertos que a nivel individual quieren colaborar en el trabajo de la Comisión. El procedimiento que se sigue incluye: a) La selección de los temas que conviene desarrollar o actualizar, cuyas sugerencias pueden llegar al Comité correspondiente desde organizaciones externas a la ICRP; b) Elaboración de los “términos de referencia” que incluyen los

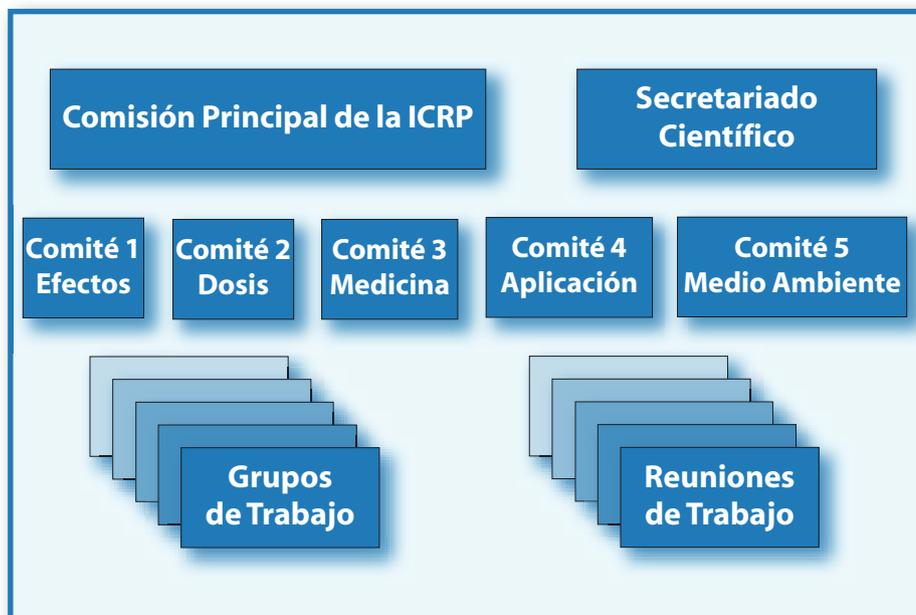


Figura 3. Estructura de Comités y Grupos de Trabajo de la ICRP

membros del grupo de trabajo que preparará el documento y que deben ser aceptados por el Comité correspondiente y aprobados posteriormente por la Comisión Principal de la ICRP; c) La preparación del borrador del documento, que normalmente supone 2-3 años hasta su finalización y aprobación por el grupo de trabajo; d) El documento es analizado con detalle por dos revisores críticos miembros del Comité, que proponen mejoras o aclaraciones; e) Una vez introducidas las correcciones, la versión final debe ser formalmente aprobada tanto por el grupo de trabajo como por el Comité; f) El documento se somete a la consideración de la Comisión Principal de ICRP que también nombra dos revisores y proponen posibles mejoras; g) Una vez aprobado el documento, se publica el borrador en la *web* de ICRP para comentarios públicos durante un periodo de 2-3 meses y se consideran esos comentarios para mejorar la versión final; h) La versión final se aprueba de nuevo por la Comisión Principal de ICRP antes de su publicación.

La presencia de españoles en la ICRP en los últimos años es mayor que en ningún periodo pasado, destacando su

papel en los Comités 3, 4 y 5, por lo que a continuación se presenta un breve resumen de su actividad reciente.

Protección en Medicina

El Comité 3 desarrolla recomendaciones para la protección de los pacientes, los trabajadores y los miembros del público con relación al uso médico de las radiaciones ionizantes. En la actualidad, está formado por 16 miembros de 12 países diferentes, especialistas en Física Médica, Radiodiagnóstico, Medicina Nuclear y Oncología Radioterápica. Durante los últimos años, el Comité 3 prepara la mayor parte de sus documentos focalizados en aplicaciones específicas e integrando recomendaciones para la protección de los pacientes y de los trabajadores [9]. Las publicaciones más recientes (en los tres últimos años) han sido las referentes a:

- Protección Radiológica en Cardiología (Publicación 120 [10]).
- Protección Radiológica en Radiodiagnóstico y en Radiología Intervencionista en Pediatría (Publicación 121 [11]).
- Protección Radiológica en Radiote-

rapia con Iones Pesados (Publicación 127 [12]).

- Dosis de Radiación a los Pacientes derivadas de la administración de Radiofármacos (Publicación 128 [13]). Realizada conjuntamente con el Comité 2.

- Protección Radiológica en Tomografía Computarizada de Haz Cónico (Publicación 129 [14]).

De entre todas las organizaciones internacionales con las que la ICRP mantiene acuerdos específicos, hay dos de ellas que colaboran estrechamente con el Comité 3: la Organización Mundial de la Salud y el Organismo Internacional para la Energía Atómica. Ambas organizaciones tienen un representante que asiste regularmente a las reuniones del Comité y participan activamente en la preparación de los documentos.

El actual programa de trabajo del Comité 3 [9] incluye los siguientes temas: 1) Niveles de Referencia para Diagnóstico (DRL) en Imagen Médica (liderado por E. Vañó, versión ya sometida a consulta pública y en revisión final); 2) Protección Radiológica del Paciente (documento educativo en versión final, liderado por S. Demeter); 3) Protección Radiológica Ocupacional en intervenciones guiadas por imagen (liderado por P. Ortiz, borrador final ya finalizado); 4) Protección Ocupacional en Braquiterapia (liderado por L. Dauer); 5) Actualización para nuevos radiofármacos de las estimaciones de dosis a los pacientes (liderado por D. Nosske y S. Mattsson); 6) Justificación en Medicina (liderado por K. Åhlström-Riklund); 7) Protección Radiológica en Medicina en relación con la respuesta individual a las radiaciones ionizantes (liderado por M. Bourguignon, en colaboración con el Comité 1).

En resumen, el Comité 3 está tratando de tener en cuenta las implicaciones que suponen en la Protección Radiológica

gica, la introducción de las nuevas tecnologías en diagnóstico y terapia, preparando recomendaciones para su uso seguro en Medicina. Trata también de colaborar con todas las organizaciones médicas en la introducción de la cultura de la seguridad radiológica en el ámbito sanitario.

Aplicación de las recomendaciones

El Comité 4 de la ICRP está formado por 17 miembros de 14 países, con un amplio perfil de investigación, académico, industrial, y regulador, además de invitar a sus reuniones a observadores de la IRPA, el OIEA y la AEN-OCDE. El Comité trabaja de forma muy cercana con el resto de comités y con la Comisión Principal para desarrollar principios y recomendaciones sobre la protección radiológica de las personas en todas las situaciones de exposición, que permitan una eficaz aplica-

ción práctica de las recomendaciones de la ICRP.

Su actual programa de trabajo abarca varias áreas, tratando de profundizar en las bases del Sistema de Protección Radiológica y, en particular, en sus fundamentos éticos, habiendo producido recientemente un borrador sobre esa cuestión que próximamente se abrirá a comentarios públicos, tras una serie de talleres organizados conjuntamente con la IRPA, en el que se discuten los valores éticos: beneficencia/no maleficencia, prudencia, justicia y dignidad, así como las herramientas y procedimientos que ayudan a su aplicación en la práctica.

Hay dos grupos de trabajo dedicados a situaciones de exposición existente, centrados respectivamente en la protección en procesos industriales que utilicen materiales radiactivos de origen natural (NORM) y en las exposiciones resultan-

tes de los sitios contaminados, como resultado de actividades del pasado, en el campo militar, industrial o nuclear, buscando la coherencia entre la protección de los trabajadores, el público y el medioambiente.

El Comité también lidera los esfuerzos para actualizar las recomendaciones con respecto a la protección de la población en situaciones de exposición en emergencias nucleares, objeto de la Publicación 109 [15], así como en las situaciones de exposición existentes post-accidentales, tratadas en la Publicación 111 [16], a la luz de la experiencia tras el accidente de la central nuclear de Fukushima-Daiichi.

Hay también un grupo de trabajo sobre protección radiológica en el almacenamiento de residuos radiactivos en superficie o cerca de la superficie y un grupo de discusión sobre la tolerabili-



En la imagen superior, los miembros del Comité 3.



En la imagen superior, los miembros del Comité 4, junto con representantes del OIEA, IRPA, AEN-OCDE y el Secretariado de la ICRP.

dad del riesgo. El Comité ha completado recientemente publicaciones sobre la protección radiológica en el almacenamiento geológico profundo de residuos radiactivos sólidos de vida larga [17], el uso de radiaciones en los chequeos de seguridad física [18], la exposición al radón [19] y a la radiación cósmica en la aviación [20].

De cara al futuro se plantea la creación de nuevos grupos de trabajo sobre cuestiones como los accidentes radiológicos, las fuentes móviles de alta actividad, razonabilidad y tolerabilidad, conceptos ligados a la optimización, ética en las aplicaciones médicas y protección radiológica en las aplicaciones veterinarias (estas últimas, conjuntamente con el Comité 3). También se quiere trabajar en mejorar la comunicación con el público, elaborando documentos en lenguaje sencillo sobre las recomendaciones de la Publicación 103 [4], las categorías de exposición o la protección en la exposición al radón, entre otras.

P.R. del Medioambiente

En 2005 se crea el Comité 5, con la misión de desarrollar una aproximación para la protección radiológica del medioambiente, que estuviera armonizada con el sistema para la protección radiológica de las

personas y que fuera compatible con las aproximaciones utilizadas para la protección del medioambiente frente a contaminantes no radiactivos, principalmente productos químicos. La aproximación recomendada por la ICRP no tiene la intención de establecer normas reguladoras; más bien consiste en una aproximación práctica para ayudar a los reguladores y operadores a demostrar la protección del medioambiente frente a las radiaciones. Se proporciona una base para que, si fuera necesario, se puedan desarrollar a nivel nacional enfoques específicos para la evaluación y gestión de riesgos para el medioambiente.

Las bases sobre las que comenzó a trabajar el Comité 5 se establecieron en la Publicación 91 [21], que concluía que el objeto de la protección debía ser el componente biótico del medioambiente, que la protección de la biota debía basarse en el conocimiento de los efectos biológicos producidos por la radiación, y que la aproximación debía centrarse en bases de datos para flora y fauna de referencia, de forma análoga al uso del concepto de personas de referencia en la protección radiológica de humanos.

Las recomendaciones de 2007 incorporan por primera vez la protección

del medioambiente como uno de los elementos que integran el sistema de protección radiológica de la ICRP [4]. La aproximación frente a la protección radiológica del medioambiente se describe en la Publicación 108 [3], la cual introduce el concepto de animales y plantas de referencia (RAPs, *Reference Animals and Plants*) y describe el grupo de 12 RAPs seleccionados, un número que es lo suficientemente pequeño como para desarrollar bases de datos para cada uno de ellos, pero de un alcance suficiente como para estimar el impacto que podría tener la radiación, y la protección necesaria frente a dicho impacto, en ecosistemas terrestres, de agua dulce y marinos. La Publicación 108 también describe las características biológicas de los RAPs, proporcionando información sobre dosimetría y efectos biológicos. En base a la información disponible sobre los efectos de la radiación en los RAPs (u organismos similares) y su correlación con la dosis, se establecen unos niveles de consideración de referencia derivados (DCRLs, *Derived Consideration Reference Levels*) para cada RAP, que representan bandas de tasas de dosis ambiental, en las que pueden producirse efectos biológicos perjudiciales en el

RAP correspondiente. Los DCRLs ayudan a optimizar el nivel de esfuerzo que hay que invertir en la protección de la biota y sirven como puntos de referencia en las evaluaciones de impacto radiológico ambiental.

La Publicación 114 [23] describe, para los 12 RAPs, los factores de transferencia utilizados para estimar las concentraciones internas de radionúclidos de importancia ambiental, en diferentes situaciones. La Publicación 124 [24] proporciona recomendaciones sobre cómo aplicar los DCRLs en situaciones de exposición planificada, existente y de emergencia.

El Comité 5 sigue trabajando para consolidar la aproximación desarrollada para la protección radiológica del medioambiente. Así, en la actualidad, está desarrollando métodos de dosimetría más realista para animales y plantas

y está trabajando en una publicación sobre factores de ponderación de la radiación aplicables a los RAPs.

Recientemente se ha creado un nuevo grupo de trabajo, cuyo objetivo es recopilar y actualizar los datos básicos de los RAPs (biología/ecología; factores de transferencia; dosimetría y efectos biológicos), con objeto de consolidar los DCRLs definidos en la Publicación 108, ya que si bien la confianza en los DCRLs es generalmente alta, es necesario tener en cuenta nuevos datos y reevaluarlos. También está prevista la creación de otro grupo de trabajo, en colaboración con el Comité 4, que proporcionará recomendaciones adicionales a las dadas en la publicación 124, sobre la aplicación de la aproximación para la protección radiológica del medioambiente, con especial atención a las

situaciones de exposición existentes y de emergencia.

En la actualidad, el Comité 5 está constituido por nueve miembros de nueve países.

Conclusión final

Desde hace 88 años, a partir del conocimiento científico, los valores éticos y sociales y la experiencia práctica en el uso de las radiaciones ionizantes, la ICRP desarrolla y consolida el Sistema de Protección Radiológica. Su objetivo es contribuir a mantener un nivel de protección apropiado para las personas y el medioambiente frente a los efectos nocivos de este tipo de radiaciones, tratando de no limitar indebidamente los beneficios que, para el individuo o la sociedad, reportan las actividades que implican su utilización.



En la imagen superior, los miembros del Comité 5.

Su trabajo es el fruto de la dedicación desinteresada de los casi dos centenares de expertos de más de treinta países que componen la Comisión Principal, los cinco Comités y los numerosos grupos de trabajo. Su independencia, transparencia y rigor científico hacen que la ICRP sea una organización ampliamente respetada y por ello sus recomendaciones sirven de base para el desarrollo de las normas internacionales en las que se basan las legislaciones de todo el mundo.

En particular, en el campo de las aplicaciones médicas, se abordan cuestiones científicas de base, a la par que otras de índole práctico de cara al manejo seguro de las tecnologías más avanzadas para el diagnóstico o la terapia con radiaciones ionizantes. En las aplicaciones, se están revisando las recomendaciones para emergencias y situaciones post-accidentales, a partir de la experiencia tras el accidente de Fukushima-Daiichi y se desarrollan recomendaciones sobre la protección radiológica en el

almacenamiento de los residuos radiactivos o en las situaciones de exposición existente (radón, radiación cósmica en aviación, lugares contaminados en el pasado). Para la protección del medioambiente se ha desarrollado un sistema coherente, que actualmente se está consolidando.

La ICRP sigue evolucionando al ritmo que requieren los tiempos y aspira a cumplir su centenario como organización moderna al servicio de la sociedad del siglo XXI. 

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ICRP, 2016. ICRP 2015 Annual Report. [Disponible en <http://www.icrp.org/docs/ICRP%20Annual%20Report%202015.pdf>].
- [2] Clarke, R.H. y Valentin, J., 2009. The History of ICRP and the Evolution of its Policies. Ann. ICRP 39(1). [Disponible en <http://www.icrp.org/docs/The%20History%20of%20ICRP%20and%20the%20Evolution%20of%20its%20Policies.pdf>].
- [3] ICRP, 2014. ICRP Code of Ethics. [Disponible en <http://www.icrp.org/docs/ICRPCode%20of%20Ethics.pdf>].
- [4] ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4). [Disponible en español: http://www.icrp.org/docs/P103_Spanish.pdf].
- [5] ICRP, 2012. Proceedings of the First ICRP Symposium on the International System of Radiological Protection. Ann. ICRP 41(3-4).
- [6] ICRP, 2015. Proceedings of the Second International Symposium on the System of Radiological Protection. Ann. ICRP 44(1S). [Disponible en http://ani.sagepub.com/content/44/1_suppl.toc].
- [7] ICRP, 2016. Proceedings of the Third International Symposium on the System of Radiological Protection. Ann. ICRP 45(1S). [Disponible en http://ani.sagepub.com/content/suppl/2016/05/11/45.1_suppl.DC1/ANI_45_1S_cover_to_cover.pdf].
- [8] ICRP, 2016. Strategic Plan 2016-2020. [Disponible en <http://www.icrp.org/docs/ICRP%20Strategic%20Plan%202016-2020.pdf>].
- [9] Overview of ICRP Committee 3: protection in medicine. Vano E, Miller DL, Rehani MM. Ann ICRP. 2016 Jun;45(1 Suppl):25-33.
- [10] ICRP, 2013. Radiological protection in cardiology. ICRP Publication 120. Ann. ICRP 42(1).
- [11] ICRP, 2013. Radiological protection in paediatric diagnostic and interventional radiology. ICRP Publication 121. Ann. ICRP 42(2).
- [12] ICRP, 2014. Radiological Protection in Ion Beam Radiotherapy. ICRP Publication 127. Ann. ICRP 43(4).
- [13] ICRP, 2015. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals: A Compendium of Current Information Related to Frequently Used Substances. ICRP Publication 128. Ann. ICRP 44(2S).
- [14] ICRP, 2015. Radiological Protection in Cone Beam Computed Tomography (CBCT). ICRP Publication 129. Ann. ICRP 44(1).
- [15] ICRP, 2009a. Application of the Commission's recommendations for the protection of people in emergency exposure situations. ICRP Publication 109. Ann. ICRP 39(1).
- [16] ICRP, 2009b. Application of the Commission's recommendations to the protection of people living in long-term contaminated areas after a nuclear accident or a radiation emergency. ICRP Publication 111. Ann. ICRP 39(3).
- [17] ICRP, 2013. Radiological protection in geological disposal of long-lived solid radioactive waste. ICRP Publication 122. Ann. ICRP 42(3).
- [18] ICRP, 2014. Radiological Protection in Security Screening. ICRP Publication 125. Ann. ICRP 43(2).
- [19] ICRP, 2014. Radiological Protection against Radon Exposure. ICRP Publication 126. Ann. ICRP 43(3).
- [20] ICRP, 2016. Radiological Protection from Cosmic Radiation in Aviation. ICRP Publication 132. Ann. ICRP 45(1), 1-48.
- [21] ICRP, 2003. A Framework for Assessing the Impact of Ionising Radiation on Non-human Species. ICRP Publication 91. Ann. ICRP 33 (3).
- [22] ICRP. 2008. Environmental Protection - the Concept and Use of Reference Animals and Plants. ICRP Publication 108. Ann. ICRP 38 (4-6).
- [23] ICRP, 2009. Environmental Protection: Transfer Parameters for Reference Animals and Plants. ICRP Publication 114, Ann. ICRP 39(6).
- [24] ICRP. 2014. Protection of the Environment under Different Exposure Situations. ICRP Publication 124. Ann. ICRP 43(1).

Celebración en Madrid de la Conferencia Iberoamericana de Protección Radiológica en Medicina (CIPRaM)

Según el Comité Científico de Naciones Unidas sobre los Efectos de la Radiación Atómica (UNSCEAR, por sus siglas en inglés) la dosis debida a las exposiciones de los pacientes como grupo es 200 veces mayor que la de los trabajadores expuestos. En las últimas décadas se ha producido un incremento considerable en el uso médico de las radiaciones ionizantes. En la actualidad, el número de pruebas médicas que emplean este tipo de radiaciones ha

aumentado de forma continua de tal modo que más del 90% de las exposiciones a las radiaciones de origen artificial provienen de los usos médicos.

■ Texto **Asunción Díez** | Área de Instalaciones Radiactivas y Exposiciones Médicas | **Carmen Álvarez** | Jefa del Área de Instalaciones Radiactivas y Exposiciones Médicas | **Javier Zarzuela** | Subdirector de Protección Radiológica Operacional | ■

El desarrollo tecnológico ha permitido la apertura de nuevas perspectivas para el uso de las radiaciones en medicina, y aunque ha mejorado la seguridad y eficacia de los procedimientos, el manejo incorrecto o inadecuado de estas tecnologías puede generar riesgos para la salud. El control de estos riesgos debe brindar un adecuado nivel de protección para los pacientes y trabajadores sanitarios sin limitar los beneficios.

En los últimos años se ha incrementado el uso de estas radiaciones tanto en la aplicación de tratamientos de radioterapia y medicina nuclear, como en el de pruebas diagnósticas con radiaciones: Tomografía Computarizada (TC), su fusión con otras técnicas como las Angio-TC, desarrollo de la digitalización de imágenes radiológicas y nuevas técnicas de radiología intervencionista. Todo ello contribuye al aumento de las dosis recibidas por los pacientes, incluidos los pacientes pediátricos que son especialmente sensibles a los efectos de las radiaciones ionizantes.

Los límites de dosis de radiación que aparecen en la legislación no se aplican

a los pacientes expuestos a las radiaciones, ya que estos obtienen un beneficio de las pruebas médicas. No obstante, la decisión debe estar justificada. Una vez decidido el examen o tratamiento médico, éste debe ser optimizado, lo que significa que es preciso lograr el objetivo clínico con la dosis apropiada, siempre la menor posible. Por tanto, para el personal sanitario se establecen límites

de dosis seguros, pero para los pacientes, no.

En la protección de los pacientes se aplica otro concepto, son los llamados Niveles de Referencia de Dosis (NRD), que no son límites propiamente dichos, son recomendaciones, y no deberían sobrepasarse de forma sistemática.

Esta preocupación por la protección de los pacientes ha sido objeto de análisis

Uso de radiaciones ionizantes en medicina

Radiología	Convencional
	Digital
	TAC
	Intervencionista
Radioterapia	Cobaltoterapia (en desuso en España)
	Aceleradores lineales
	Braquiterapia
Medicina nuclear	Convencional (principalmente Tecnecio-99m)
	PET/TAC (Flúor-18)
	Tratamientos con isótopos radiactivos (Iodo-131 y otros)

sis y estudio en varios foros. De esta forma, en diciembre de 2012 tuvo lugar en Bonn (Alemania) una conferencia internacional sobre protección radiológica en medicina organizada por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y copatrocinada por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Esta conferencia culminó con un decálogo de 10 acciones prioritarias para mejorar la Protección Radiológica en Medicina, que se denominó *Llamada de Bonn para la acción*.

Anteriormente, en 2001 se celebró en Málaga, organizada también por el OIEA, la primera Conferencia Internacional de Protección Radiológica del Paciente, la siguiente edición tendrá lugar en Viena en diciembre de este año.

Un nuevo encuentro en el que se abordó la evolución de los acuerdos establecidos en Bonn fue el desarrollado en Madrid durante los días 18, 19 y 20 de octubre del pasado año. La Conferencia Iberoamericana sobre Protección Radiológica en Medicina (CIPRaM) fue organizada por el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), el Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad (MSSSI), el Organismo Internacional de la Energía Atómica y la Organización Mundial de la Salud, así como la Organización Panamericana de la Salud (OPS), el Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores Radiológicos y Nucleares (FORO), la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) y la Asociación Internacional de Radioprotección (IRPA).



Folleto publicado por el CSN y el Ministerio de Sanidad destinado a los médicos pediatras para el empleo de pruebas diagnósticas de pacientes.

El presidente del CSN, Fernando Marti Scharfhausen y la ministra de Sanidad Servicios Sociales e Igualdad, Fátima Báñez, fueron los encargados de inaugurar un encuentro que reunió a más de 250 expertos procedentes de 20 países. Durante los tres días de trabajo, tomaron la palabra 99 oradores. Entre los ponentes invitados se incluyeron personal de servicios de salud, repre-

sentantes de pacientes, reguladores de salud y protección radiológica, así como expertos procedentes de universidades, investigadores y representantes de 22 entidades nacionales e internacionales

El objetivo principal de la Conferencia fue verificar el avance en la aplicación de las acciones propuestas en *Llamada de Bonn para la acción*. Para ello se identificaron los problemas existentes en la protección radiológica en medicina, sus posibles soluciones y se definieron los indicadores de progreso en dichas acciones. Otro de los objetivos fue favorecer el intercambio de información y experiencia adquirida en la materia y fortalecer la cooperación entre los países de Iberoamérica en este campo.

Este encuentro internacional se compuso de ocho sesiones, diseñadas para identificar en cada una de ellas cinco problemas, proponer soluciones y definir indicadores (numéricos) de progreso de dichos problemas.

Radiodiagnóstico médico

En esta sesión se debatió, entre otros temas, sobre la insuficiente justificación de los estudios radiológicos, y sobre la necesidad de mejorar la optimización en los procedimientos radiológicos.

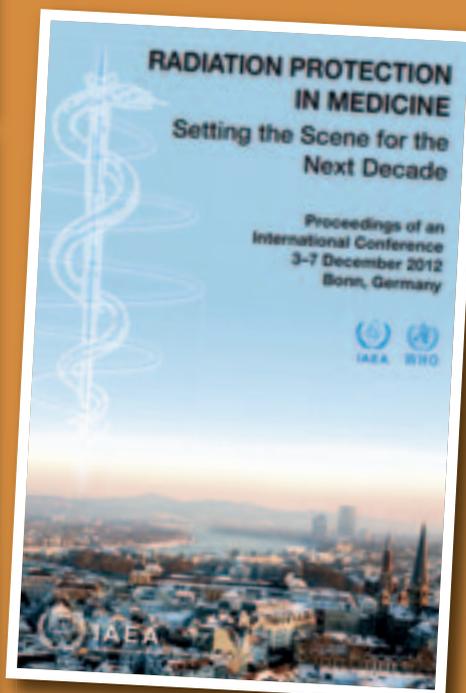
Los expertos identificaron que es necesario que en algunos países se refuerce el uso de los Niveles de Referencia Diagnósticos y regular de forma efectiva el radiodiagnóstico médico y dental.

Asimismo, se puso de manifiesto la insuficiente formación en protección radiológica, la necesidad de reforzar la

LLAMADA DE BONN PARA LA ACCIÓN

10 acciones para mejorar la protección radiológica en medicina (2012-2022)

1. Mejorar la implementación del principio de justificación.
2. Mejorar la implementación del principio de optimización de protección y seguridad.
3. Fortalecer el papel de los fabricantes en contribuir al régimen global de seguridad.
4. Fortalecer la formación y capacitación de los profesionales de la salud en materia de protección radiológica.
5. Determinar y promover una agenda de investigación estratégica para protección radiológica en medicina.
6. Aumentar la disponibilidad de información mundial mejorada sobre exposiciones médicas y exposición ocupacional en medicina.
7. Mejorar la prevención de los incidentes y accidentes en los usos médicos de la radiación.
8. Fortalecer la cultura de seguridad radiológica en la asistencia sanitaria.
9. Propiciar un mejor diálogo sobre el riesgo-beneficio de la radiación.
10. Fortalecer la implementación de requisitos de seguridad a nivel mundial.



cultura de radioprotección y de mejorar el diálogo riesgo/beneficio con los pacientes, y la sociedad en general.

Se propuso una mejora de la formación en protección radiológica del personal sanitario que trabaja en radiodiagnóstico y radiología dental y desarrollar guías y herramientas, actualizadas.

Intervencionismo por imágenes

Entre los temas que se debatieron en esta sesión está la falta de cultura de protección radiológica en la radiología intervencionista, lo cual se traduce en la falta de percepción del riesgo durante este tipo de procedimientos, tanto para el paciente como para el propio personal sanitario.

Por otra parte, se puso de manifiesto la ausencia o mal uso de los elementos de protección radiológica (mamparas plo-

madas, gafas, delantales, etc.) y la importancia de usar de una manera adecuada la dosimetría personal.

También se recalcó que en ocasiones no se dispone de una dosimetría perso-

nal fiable. Se sugirió la conveniencia del uso de dosímetros electrónicos como herramienta de sensibilización de los profesionales en el campo del intervencionismo.

Se debatió sobre la escasez de físicos médicos con formación adecuada en intervencionismo y la escasa formación en protección radiológica de los profesionales sanitarios involucrados en este campo.

Además, se evidenció la falta de guías específicas para los procedimientos intervencionistas, basadas en las recomendaciones internacionales y se puso de manifiesto que en muchos países existe una escasa producción científica en el área de la protección radiológica en intervencionismo.

La solución de estos problemas debería empezar por mejorar la formación en

El objetivo principal de la Conferencia fue verificar el avance en la aplicación de las acciones propuestas en la Llamada de Bonn para la acción. Participaron 250 expertos, de 20 países

Sesiones de la Conferencia

✓ Radiodiagnóstico médico y radiología dental

✓ Intervencionismo guiado por imágenes

✓ Universidades e investigación

✓ Radioterapia

✓ Personal técnico y de enfermería

✓ Especialistas en física médica y en protección radiológica

✓ Autoridades sanitarias y de protección radiológica

✓ Medicina nuclear

En el cuadro, las ocho sesiones que compusieron la Conferencia Iberoamericana sobre Protección Radiológica en Medicina (CIPRAM) que se celebró en Madrid el pasado mes de octubre.

protección radiológica de los profesionales de la salud; hacer un seguimiento del porcentaje de universidades que disponen de cursos y número de profesionales de intervencionismo que disponen de certificación en protección radiológica.

Universidades e Investigación

El primer tema que se discutió en esta sesión fue la falta de formación en protección radiológica durante la formación de Ciencias de la Salud. Se puso de manifiesto que los estudiantes tienen mallas curriculares muy amplias y apenas tiempo para cubrir temas de protección radiológica en sanidad.

Los expertos identificaron la necesidad de promover la inclusión en los temarios de formación en protección radiológica y física de las radiaciones ionizantes, todo ello con metodologías docentes atractivas. Asimismo propusieron la necesidad de coordinación entre las universidades de la región latinoamericana, de cara a facilitar el reconocimiento mutuo de los profesionales entre los distintos países. También se debatió sobre la falta de formación

continuada de los profesionales sanitarios y la adquisición de conocimientos en nuevas tecnologías, temas en el que las universidades pueden aportar mucho.

Otro problema que se identificó fue la escasez de físicos médicos formados y dedicados al radiodiagnóstico y la derivada dificultad para llevar a cabo unos adecuados controles de calidad.

Se identificaron los impedimentos para acceder a servicios de metrología y laboratorios de calibración así como la

Entre las actuaciones necesarias detectadas por los especialistas del Congreso figura una mejora de la formación en protección radiológica por parte de los profesionales de la salud

falta de coordinación entre estos. Los expertos de esta sesión manifestaron que las universidades y centros de investigación, pueden ser un actor muy apropiado para reforzar la red iberoamericana de laboratorios y así mejorar el acceso para los profesionales de la región.

Entre los temas discutidos figuró el relativo a la escasez de estudios de investigación coordinados entre universidades y centros hospitalarios en el campo de la protección radiológica en medicina, incluyendo estudios epidemiológicos y de seguimiento de pacientes tratados con radiaciones ionizantes. Los expertos manifestaron que las universidades pueden liderar estudios y aportar sus capacidades multidisciplinares, frente a la saturación y falta de medios para realizar investigación que sufre el físico médico en el entorno hospitalario.

Radioterapia

En este marco se puso de manifiesto la necesidad de seguir reforzando el uso seguro de la radioterapia (algo de especial relevancia en el caso de niños y adolescentes). Para ello, los expertos propusieron el uso y desarrollo de herramientas y actividades de formación en gestión de riesgos en radioterapia. También propusieron el fomento de las auditorías externas de calidad y de procedimientos para la evaluación de riesgos, así como fomentar la intercomparación entre centros. Los expertos identificaron la necesidad de fomentar el aprendizaje de los especialistas a partir de los sucesos ocurridos para, de esta manera, implantar medidas que impidan que los mismos errores se repitan.

Además se hizo hincapié en que, en muchos casos, sería necesario reforzar el control de calidad en radioterapia, especialmente en el caso de las nuevas tecnologías. De la misma manera, se debería

mejorar el seguimiento de los pacientes tratados en radioterapia para evaluar los resultados y efectos asociados al uso de radiaciones en radioterapia.

En la sesión también se puso de manifiesto que en algunos países hay escasez de especialistas de radioterapia.

Finalmente se propuso una mejora de la formación en protección radiológica del personal sanitario que trabaja en radioterapia y el fomento del desarrollo de guías y programas informáticos actualizados de análisis de riesgos en radioterapia.

Personal técnico y de Enfermería

Durante esta parte de la conferencia se trató la escasez en la formación obligatoria y continuada de este personal en los temas de protección radiológica. También se recalcó que existe un desconocimiento y falta de utilización de los medios de Protección Radiológica personal. Por ello, los expertos concluyeron que se debería asegurar, en los lugares de trabajo, la existencia de material de protección radiológica adecuado y en número suficiente. Además, se debería asegurar la realización de controles de calidad periódicos, concienciar al personal técnico y de enfermería de la importancia de la utilización de material protector y asesorarles tanto en su uso como en los conceptos de la protección radiológica.

Se puso de manifiesto que en muchas ocasiones no disponen en su trabajo diario de niveles de referencia diagnósticos, lo cual hace que no se puedan analizar adecuadamente y por lo tanto mejorar, las prácticas en radiología. Los expertos propusieron identificar los procedi-

mientos más frecuentes, definir los protocolos de rutina más utilizados para éstos y establecer niveles de referencia diagnósticos.

También se señaló que, en ocasiones, se detectan deficiencias en los controles de calidad de los equipos dificultando de esta manera que se realice adecuadamente el trabajo.

Para mejorar de los aspectos citados en la sesión, se propuso: reforzar la formación en protección radiológica de este grupo de profesionales utilizando el análisis de las prácticas y los valores de las lecturas dosimétricas de los técnicos, enfermeros y pacientes, todo ello dentro del equipo del servicio hospitalario en el que trabajan. Así mismo, se considera de gran importancia realizar

controles de calidad periódicos adecuados e implantar el uso de NRD.

Física Médica y Protección Radiológica

Durante esta parte de la conferencia se remarcó la existencia de un gran desconocimiento de las funciones del Físico Médico (FM) y del especialista o Experto en Radioprotección (ERP), especialmente en radiología, intervencionismo y medicina nuclear.

Los expertos expusieron que el perfil del FM aparece por primera vez en las normas básicas de seguridad (BSS, por sus siglas en inglés) de 2014, donde se exige que el FM realice o supervise los requerimientos de calibración, y garantía de calidad en radioterapia. Además, en las BSS se propone que los procedi-



En la Conferencia participaron 250 especialistas, procedentes de más de 20 países.



Muchas de las cuestiones debatidas coinciden con las acciones propuestas en la 'Llamada de Bonn para la acción' y se tendrán en cuenta para la próxima Conferencia del OIEA sobre PR en medicina.

mientos de radiología diagnóstica e intervencionista se realicen bajo “la supervisión, o con el asesoramiento por escrito de un FM, cuyo grado de participación esté determinado por la complejidad de los procedimientos radiológicos y los riesgos radiológicos conexos”. Sin embargo, existe un desconocimiento general del valor añadido del FM en la calidad de la atención sanitaria, y una falta de reconocimiento en muchos países de América Latina.

Esta situación requiere, según los expertos, la difusión de estos documentos, especialmente las BSS, y el trabajo conjunto con las sociedades científicas y profesionales.

Igualmente, de nuevo se citó el número insuficiente de FM, EPR y técnicos con conocimientos en protección

radiológica, especialmente en el área del radiodiagnóstico, intervencionismo y medicina nuclear. También se discutió sobre el tema de la falta de reconocimiento del FM como profesional de la salud en muchos países.

Se puso también de manifiesto que hay una escasez de programas de gestión de calidad relacionados con las exposiciones médicas (especificaciones de equipos, pruebas de aceptación, garantía de calidad y entrenamiento). Por ello, se deberían incluir aspectos de gestión de calidad en las normativas de protección radiológica y concienciar a los gerentes hospitalarios de la necesidad de los programas de gestión de calidad en las exposiciones médicas.

Por otro lado, se señaló la importancia de actualizar periódicamente la for-

mación del personal de los organismos reguladores encargados del licenciamiento y control de las exposiciones médicas, todo ello para adaptarse a los cambios en las recomendaciones y los constantes avances en el equipamiento.

Se discutió también la conveniencia de la creación y autorización de servicios de protección radiológica independientes, para complementar las actividades regulatorias. Los denominados Servicios de Protección Radiológica están implantados en España desde hace años y ha quedado demostrada su utilidad.

Autoridades reguladoras

En esta sesión se dio especial importancia a la falta en muchos países de coordinación efectiva entre autoridades reguladoras (autoridades sanitarias, autoridades en protección radiológica y otras).

Los expertos citaron una serie de problemas variados que se han detectado en la normativa. Entre ellos destacan la falta de consistencia entre regulaciones (la regulación sanitaria y la de protección radiológica) y el rápido desarrollo de las tecnologías, lo que supone un reto dada la falta de actualización en la regulación. Además, la falta de guías para llevar a la práctica lo regulado, y el papel coercitivo de los reguladores, que, en muchos casos, es muy limitado. Los desajustes en la normativa suponen por lo general cargas excesivas para los usuarios. La falta de regulación y control efectivo sobre la compra-venta, control de calidad y mantenimiento del equipamiento fue otro de los temas que se trataron.

También se remarcaron las carencias en la formación de los profesionales, en el tema de las nuevas tecnologías y su protección radiológica asociada. Esto se puede dar tanto a nivel de personal sanitario como del personal de los organismos reguladores.

Se debatió que en muchos casos, existe poca información para la toma de decisiones y priorización de acciones por parte de los órganos reguladores.

Entre las soluciones propuestas por los expertos de la sesión, se destacó la necesidad de mejorar la comunicación entre los reguladores mediante la participación de las sociedades profesionales y otras partes interesadas (asociaciones de pacientes, foros de Protección Radiológica etc.).

Por otra parte, se propuso delimitar en la legislación el alcance de las competencias de cada organismo regulador en materia de protección radiológica en medicina. Actualizar la normativa conforme a normas y guías internacionales. Crear marcos normativos dinámicos, que permitan ajustes ante la aparición de nuevas tecnologías. Publicar guías para implementación de normas. Dotar mediante la legislación adecuada de autoridad coercitiva a los organismos reguladores. Así como, legislar la independencia y fomentar la transparencia de los organismos reguladores.

Además, se destacó la importancia de incrementar la colaboración internacional (Organismos Internacionales, Foros de Reguladores etc.) en las dos direcciones, es decir, fomentando también el retorno de las experiencias de grupos de trabajo regionales hacia los organismos internacionales. Se debería fomentar y utilizar la investigación en temas de protección radiológica en medicina. Sería de gran ayuda crear y fomentar cuerpos colegiados para revisar las tecnologías médicas que se van a adquirir o regular.

Medicina Nuclear

En los temas relativos a la Medicina Nuclear se destacó la importancia de que en dichas pruebas, se asegure que la dosis administrada al paciente sea la correcta, tanto en pruebas para diag-

nóstico como en terapia. Para que la dosis sea la adecuada se debe administrar el radiofármaco correcto, al paciente correcto y la actividad debe estar correctamente indicada, justificada, planificada, optimizada y ejecutada. Para garantizar esto se deberían llevar a cabo controles de calidad y protocolos adecuados.

Se puso de manifiesto la existencia con relativa frecuencia de contaminación e irradiación de las extremidades superiores en los trabajadores expuestos, ya que en medicina nuclear se trabaja con fuentes no encapsuladas. Así mismo existe la probabilidad de llegar a

Muchas de las cuestiones debatidas durante este Congreso se tendrán en cuenta para la próxima Conferencia del OIEA sobre protección radiológica en medicina, que tendrá lugar en Viena en diciembre de este año

superar el límite de dosis en piel, con un amplio abanico de riesgos debido al uso extendido en la actualidad de emisores beta, alfa y de positrones de mayor energía, además de los clásicos isótopos emisores de radiación gamma.

Según los expertos se debería poner mucho empeño en asegurar la optimización de dosis al paciente tanto en las pruebas de diagnóstico como en los tratamientos. La actividad administrada no siempre está adaptada a la nueva tecnología. Una de las soluciones propuestas fue la utilización de dosis estandarizadas en diagnóstico (según peso, patología etc.), como las propuestas por las sociedades de medicina nuclear co-

mo son la EANM o la *European Association of Nuclear Medicine*.

Por otra parte, los expertos concluyeron que se debería mejorar la justificación de los exámenes en medicina nuclear, desarrollando y revisando guías para la solicitud de las pruebas.

El último punto tratado durante esta parte fue la prevención de incidentes y accidentes, los expertos propusieron implementar y familiarizar a los especialistas con sistemas de notificación de incidentes para su posterior análisis y aprendizaje.

Potenciar la formación

Finalmente resaltar que, además de los problemas y soluciones específicas para cada una de las sesiones, se identificaron una serie de temas transversales como son: la necesidad de potenciar las actividades de formación y capacitación en protección radiológica, la conveniencia de fomentar el uso de la cultura de la seguridad radiológica, la necesidad de actualización de la regulación de protección radiológica en el ámbito médico, la importancia de incrementar en número y el reconocimiento de los físicos médicos y técnicos implicados en las actividades relacionadas con el uso de las radiaciones ionizantes en medicina, la necesidad de potenciar las actividades de investigación en este campo y el uso seguro de las nuevas tecnologías en diagnóstico y terapia.

Muchas de las cuestiones debatidas en las diferentes sesiones coinciden con las acciones propuestas en la *Llamada de Bonn para la acción* y se tendrán en cuenta para la próxima Conferencia del OIEA sobre PR en medicina, que tendrá lugar en Viena durante el mes diciembre de 2017.

Estas reuniones constituyen un excelente punto de encuentro para intercambiar información, experiencia y fortalecer los lazos de cooperación entre los diferentes países.



Dentro de millones de años los registros fósiles recogerán las huellas de la actividad humana, que ha colonizado casi todos los rincones del planeta.

Cómo la especie humana influye en la propia evolución de la Tierra

Antropoceno, camino a una nueva era geológica

Las primeras pruebas atómicas han sido señaladas como la fecha más probable del comienzo de una nueva época geológica, el Antropoceno, donde por vez primera la acción humana sería la responsable de los cambios en la configuración del planeta. Mientras los científicos debaten sobre la veracidad

de esta teoría, se hace incuestionable que la Humanidad ha dejado en las últimas décadas una huella mucho más profunda que en los milenios anteriores. ¿Qué dirán de nosotros los fósiles que se encuentren dentro de diez mil años?

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



Si la presencia del ser humano en el planeta ha influido en la calidad del aire que respira, en la pureza del agua que bebe, en el tipo de alimentos que consume, en la supervivencia de su fauna y su flora, e incluso en su temperatura media, ¿podría ser que influyera incluso en la propia evolución de la Tierra? ¿Y podría el descubrimiento de la energía atómica y las pruebas con armas nucleares haber jugado un papel básico en esta influencia, dando lugar nada menos que al paso de una nueva época geológica?

Un número creciente de voces sostiene que sí, e incluso ha dado nombre a

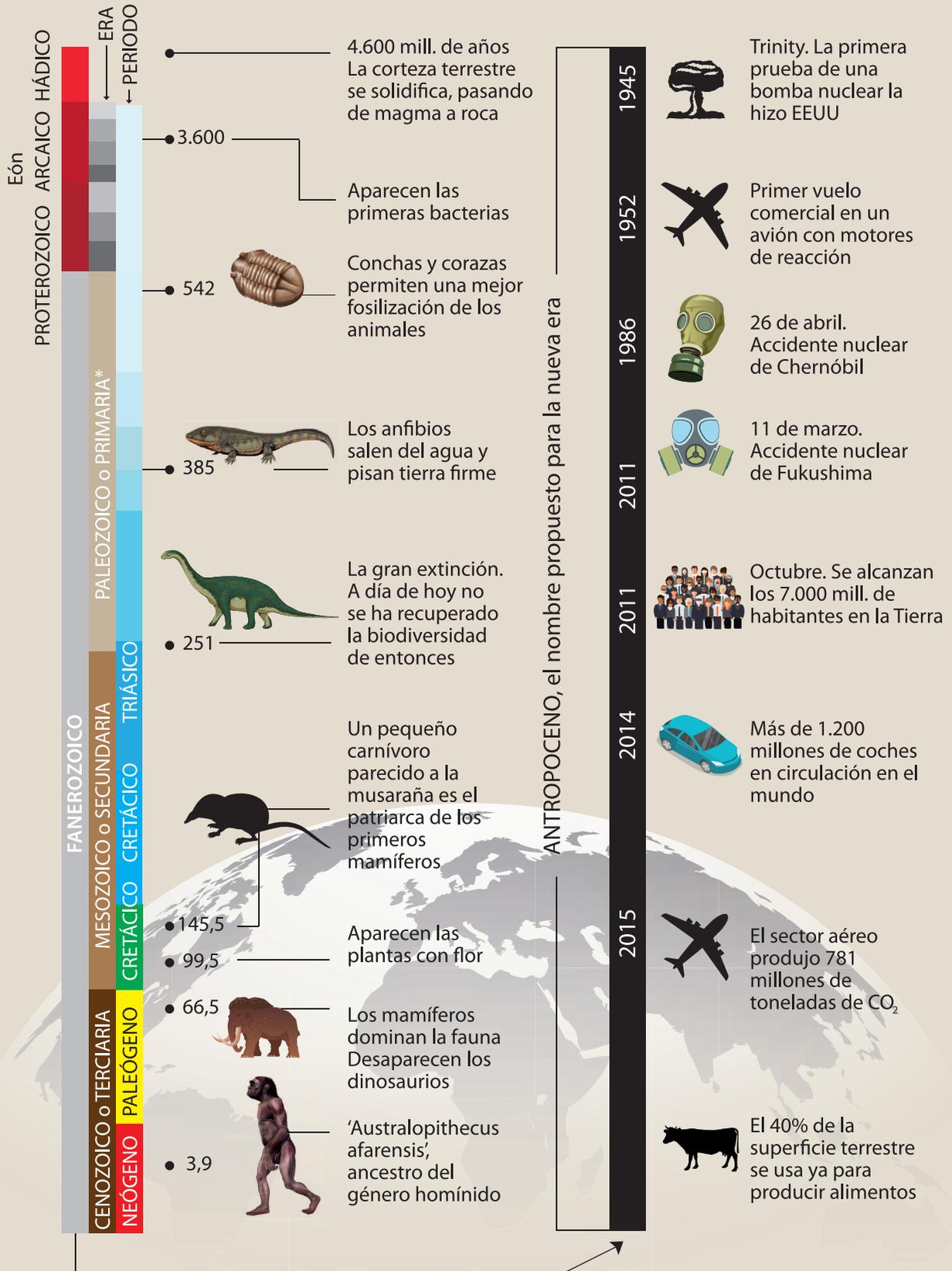
esa nueva época en la que nos habríamos visto no inmersos, sino casi precipitados sin apenas darnos cuenta: Antropoceno, diferenciada de todas las que la antecedieron por ser la primera que ha surgido como consecuencia directa de la acción humana.

El término Antropoceno fue empleado por vez primera en el año 2000 por el químico y premio Nobel holandés Paul Crutzen y por el biólogo norteamericano Eugene Stoermer en la *Newsletter* del *International Geosphere-Biosphere Programme* (IGBP), a cuya junta directiva pertenecían ambos por entonces. Pero fue dos años después cuando Crutzen

lo utilizó en su artículo *La geología de la Humanidad*, publicado en la revista *Nature*, cuando verdaderamente cogió fuerza. Desde entonces, han abundado los debates y tomas de postura por parte de especialistas de diversos campos para determinar si el término debía, en efecto, ser considerado como una nueva época geológica y, de ser así, en qué momento comenzó.

En principio, podría considerarse que hay una notable abundancia de pruebas de que el planeta en el que vivimos ahora ya no se parece demasiado al que nos vio nacer como especie, y es en buena parte gracias a nosotros: ha aumentado su

La edad de la Tierra



Las eras del Proterozoico: PALEO, MESO y NEO y sus periodos: SIDÉRICO y TÓNICO. Y los periodos del Paleozoico o Primaria: CÁMBRICO, ORDOVÍCICO, SILÚRICO, DEVÓNICO, CARBONÍFERO, PÉRMICO



La era nuclear, tanto en sus usos pacíficos como bélicos, no sería el único agente responsable de la llegada del Antropoceno.

temperatura media, han subido los niveles del mar, se han acidificado los océanos hasta provocar cambios en su fauna y flora, la corteza terrestre ha cambiado de forma irreversible por la minería intensa y la extracción de combustibles fósiles, y unas pocas especies animales y vegetales se han extendido hasta colonizar casi todos los rincones del planeta: por supuesto el ser humano, pero también las vacas y las ovejas, el trigo y el arroz... Todos estos cambios, que quedarán recogidos en los registros fósiles dentro de millones de años –de la misma manera en que los sedimentos del periodo Cretácico muestran lo que se conoce como “clavo dorado”, procedente del iridio que desprendió el meteorito que provocó la extinción de los dinosaurios hace 66 millones de años– parecen erigirse como la incuestionable huella dactilar del Antropoceno.

De hecho, el término volvió a cobrar actualidad el pasado mes de septiembre, cuando un grupo formado por 35 científicos de todo el planeta –entre los

que se cuenta el español Alejandro Cearreta, de la Universidad del País Vasco– entregó sus conclusiones, después de siete años de trabajo, a la Comisión Internacional de Estratigrafía. Y estas conclusiones eran determinantes: el Antropoceno es una realidad, y merece la misma consideración jerárquica que el Pleistoceno –que comenzó hace unos dos millones y medio de años y duró hasta hace 11.700 años– y el Holoceno –desde hace 11.700 años, hasta hoy–, las dos épocas anteriores situadas dentro del periodo Cuaternario. Por lo

Después de siete años de trabajo, un grupo de 35 científicos de todo el mundo sostiene que el Antropoceno es ya una realidad

tanto, los habitantes vivos del planeta que hayan nacido antes de 2000 tienen el raro privilegio de haber desarrollado su vida no solo a lo largo de dos siglos y dos milenios, sino también de dos épocas geológicas.

Punto de partida

Por supuesto, estas conclusiones –incluso respaldadas por un grupo de científicos de renombre–, no han atajado la polémica, que continúa centrada en dos puntos clave: si en efecto el concepto de Antropoceno tiene alguna base y, de ser así, cuál sería la fecha exacta en que comenzó. Sobre este último punto, la *web* informativa Anthropocene, creada por la Organización de Investigación Científica e Industrial de la Commonwealth (CSIRO, por sus siglas en inglés) propone varios hitos históricos como punto de partida, y uno de ellos es el comienzo de la era nuclear, que sitúan en el 16 de julio de 1945, cuando los científicos norteamericanos hicieron estallar la primera bomba atómica en el desierto de Alamogordo, en Nuevo México: “el ma-

terial radiactivo procedente de esta detonación, y de otras posteriores, ha dejado una huella inequívoca en las rocas de todo el mundo”.

En un artículo colectivo publicado por el grupo de trabajo sobre el Antropoceno y dirigido por el geólogo inglés Jan Zalasiewicz, se especifica que después de esa primera explosión “se detonaron más bombas al ritmo medio de una cada 9,6 días hasta 1988, con la subsecuente lluvia radiactiva en todo el mundo, fácilmente identificable en los registros quimioestratigráficos. Por lo tanto, los depósitos antropocénicos serían aquellos que pudieran incluir esta señal primaria, distribuida a nivel global, de radionucleidos artificiales, y que también podrían ser identificados utilizando una amplia gama de otros criterios estratigráficos”.

De todos modos, Zalasiewicz añade que esta fecha podría acabar siendo desbancada por posteriores investigaciones, ya que los trabajos sobre el Antropoceno son aún muy recientes. Tan recientes como el Antropoceno mismo, al que el origen nuclear le atribuye 60

La datación y clasificación del pasado terrestre ha dado lugar a polémicas más encendidas que la del Antropoceno

años de existencia; poca cosa al lado de los casi 12.000 y de los 2,5 millones de años de sus predecesores.

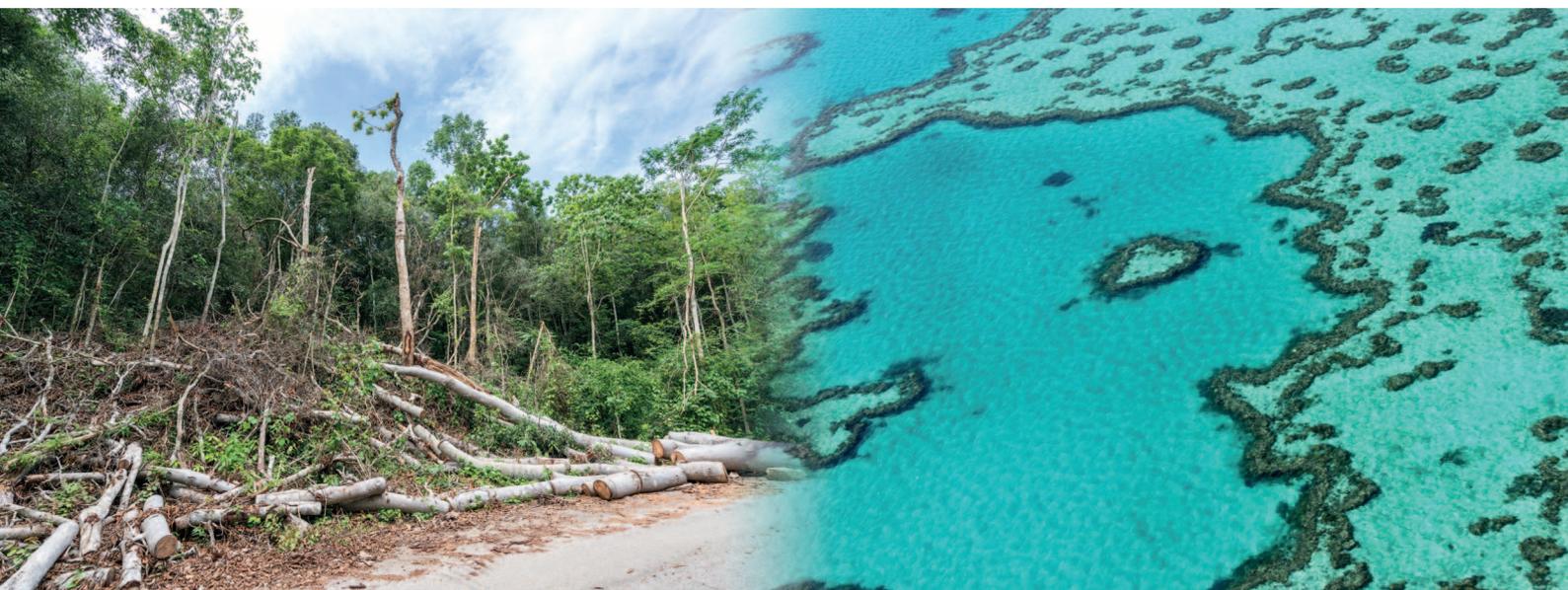
Responsable del Antropoceno

La era nuclear, tanto en sus usos pacíficos como bélicos, no sería el único agente responsable de la llegada del Antropoceno; sus defensores también consideran como hechos clave el comienzo de la agricultura, hace 11.000 años, con su consiguiente impacto en los ecosistemas, la biodiversidad y los ciclos de la naturaleza; sólo 3.000 años después ya era una práctica intensiva en Europa y Asia, dando así comienzo a los procesos de deforestación, sustituyendo bosques por zonas de cultivo, e incluso al efecto invernadero por las emisiones de

metano derivadas de los grandes cultivos de arroz.

El descubrimiento y colonización de América, que extendió por todo el globo nuevas especies animales y vegetales, además de nuevas enfermedades, sería otro hito clave, de igual manera que la Revolución Industrial, que dio comienzo al uso masivo de combustibles fósiles. Como ha indicado Margarita Caballero Miranda, del Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), “cada quien toma un indicador diferente de cuándo empieza el Antropoceno”, y señala otra opción nada despreciable: el Holoceno y el Antropoceno serían la misma cosa, ya que si lo que provoca el cambio de época es la influencia del ser humano en el planeta, lo lógico sería considerar que comenzó cuando aparecieron los primeros homínidos.

Por su parte, los defensores del origen nuclear señalan que una de sus razones para elegirlo es que coincide en el tiempo con lo que se denomina la ‘Gran Aceleración’, que habría comenzado a partir de los años cincuenta del pasado



El comienzo de la agricultura y la explotación de los bosques, con su consiguiente impacto en los ecosistemas, la biodiversidad y los ciclos de la naturaleza, han sido una práctica intensiva en Europa y Asia.



Cosas de la edad

Hurgar en las teorías establecidas de la evolución planetaria ha tenido, en más de una ocasión, consecuencias desagradables para el investigador, si bien es innegable que, con el paso del tiempo, la verdad basada en las pruebas siempre se ha acabado imponiendo. Uno de los científicos pioneros en el estudio de la edad de la Tierra, **George Louis-Leclerc**, conde de Buffon, se enfrentó a finales del siglo XVIII a una amenaza de excomunión cuando calculó que el planeta tenía entre 75.000 y 168.000 años de edad. Hasta entonces, la idea oficial era que no pasaba de 6.000, según los cálculos realizados por el arzobispo inglés James Ussher, basándose en la suma de los periodos vividos por los descendientes de Adán. Ambos, claro, estaban equivocados, pero eso era lo de menos: la Facultad de Teología de la Sorbona acusó a sus ideas de ser “reprehensibles y contrarias al credo de la Iglesia”, lo que obligó a Leclerc a retractarse inmediatamente.

A finales del siglo XVIII, el alemán **Abraham Werner** creó el primer esquema donde mostraba que la formación de los minerales existentes bajo la superficie de la Tierra seguía un orden determinado, con cuatro categorías siempre en la misma sucesión: las más antiguas, y por tanto las situadas a mayor profundidad, eran rocas cristalinas, como el granito, correspondientes a lo que se llamó el periodo Primario; sobre ellas estaban las areniscas y pizarras, que se clasificaron dentro del periodo llamado de Transición; seguían las del periodo Secundario, también areniscas, calizas y yeso pero con una gran can-

tividad de fósiles, y por fin las más recientes, correspondientes al Terciario y consistentes en depósitos no consolidados de grava, arena y lodo.

En 1828, el escocés **Charles Lyell** comenzaba las investigaciones que le llevarían a ser considerado por muchos el padre de la estratificación. Por aquella época, los teóricos de la cronología terrestre se dividían en catastrofistas y uniformistas. Los primeros creían en que la evolución venía marcada por importantes y sucesivas catástrofes y cataclismos, que hacían tabla rasa de todo lo existente y, por así decirlo, reiniciaban la historia, mientras que los segundos apostaban por unos cambios lentos y graduales.

La primera corriente era especialmente grata a la Iglesia, ya que encajaba como un guante en la historia del diluvio universal, y contaba con defensores tan notables como el doctor y sacerdote anglicano William Buckland, quien sostenía que todos los valles del planeta habían sido creados por un único y gran cataclismo. Lyell era un firme defensor de la segunda, y la acabó demostrando gracias a un intenso trabajo de campo, donde el examen de valles y lechos fluviales evidenció la presencia de distintas capas de estratos correspondientes a diferentes épocas. Era imposible que un único Diluvio hubiera dispuesto los estratos en un orden tan impecable. El resultado de sus años de investigación fue la publicación de su obra magna, *Principios de Geología*. La denominación de las eras que abarcan los últimos 65 millones de años –Pleistoceno, Mioceno– las debemos a su trabajo. ▢

siglo: en las décadas que han transcurrido desde entonces, todos los fenómenos que han contribuido a alterar el planeta se habrían disparado, creando “la transformación más profunda de la relación del ser humano con el mundo natural”, según Zalasiewicz.

El término fue acuñado en 2005 durante una conferencia celebrada en la ciudad alemana de Dahlem sobre la relación entre el ser humano y el medio ambiente, y en los años posteriores se desarrolló una serie de patrones que mostraban su evolución en aspectos socioeconómicos y medioambientales; los primeros recogen aspectos como el aumento de la población mundial, su concentración en áreas urbanas, el uso de energías primarias, el consumo de fertilizantes o la construcción de presas; los segundos se centran en las emisiones de contaminantes, la temperatura de la Tierra, la acidificación de los océanos y la deforestación tropical, entre otros.

Estos patrones, cuya recopilación ha estado dirigida por el químico norteamericano e investigador del clima Will Steffen, muestran índices espectaculares de crecimiento en las décadas más recientes y, como el propio Steffen ha explicado en *The Anthropocene Review*, incluyen alguna cifra histórica: por ejemplo, en 2008, por primera vez, más de la mitad de la población global vivía en ciudades, y se calcula que “se construirán más áreas urbanas durante las primeras tres décadas del siglo XXI que en toda la historia anterior de la Humanidad”. Además, estos índices influyen unos en otros: al tiempo que la concentración de dióxido de carbono –y de los demás gases responsables del efecto invernadero– no deja de aumentar, los océanos absorben una cuarta parte de este CO₂, lo que reduce su impacto en la atmósfera, pero lo incrementa en el entorno marino, con un aumento de la acidificación de las aguas. A todo ello

hay que unir la ingente producción de nuevos materiales como los plásticos, el cemento o el aluminio, y su contribución a la contaminación mundial.

‘Antropoescépticos’

Pero, si bien es una idea universalmente aceptada que el impacto de la actividad humana en el planeta es profundo y probablemente irreversible, no lo es tanto que ello signifique un cambio repentino de época. Los titubeos a la hora de establecer una fecha oficial para su comienzo han sido uno de los principales argumentos de los ‘antropoescépticos’, y el propio nombre es otro: por ejemplo Kieran Suckling, fundador y director de la organización sin ánimo



Es cierto que el impacto de la actividad humana es profundo, pero no lo es tanto que ello signifique un cambio repentino de época geológica

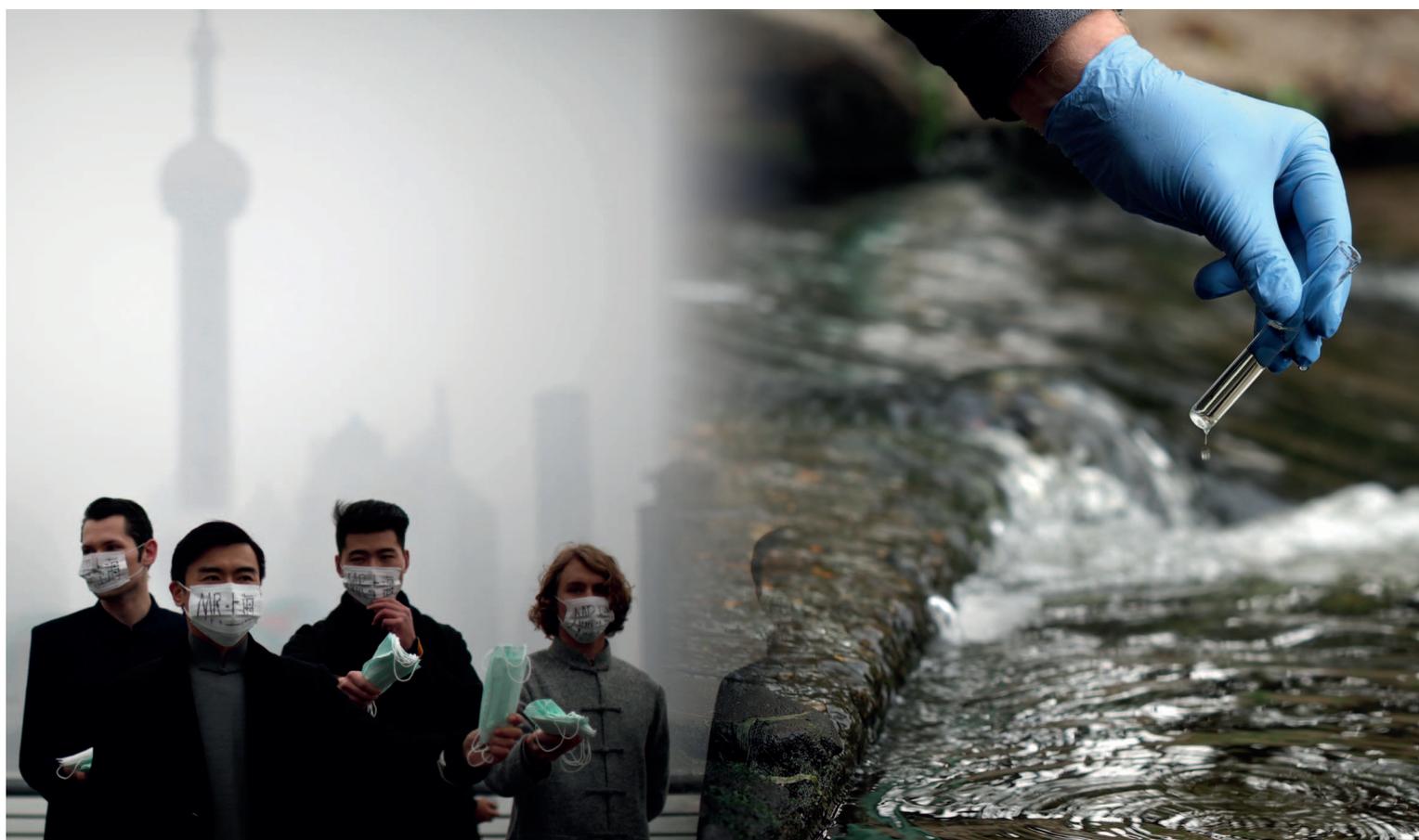
de lucro Centro para la Diversidad Biológica, puso el dedo en la llaga en su artículo titulado *Contra el Antropoceno*, donde recordaba que “de las diez épocas que cubren los últimos 145 millones de años, ninguna ha recibido su nombre debido a los cambios en el planeta; más bien, todos esos nombres se refieren a los cambios en la composición de especies presentes en cada época”, y apuntaba que las épocas que llegaron como consecuencia del meteorito que provocó la extinción de los dinosaurios y de muchas otras especies animales, o de la última gran glaciación, no fueron bautizadas como “Meteoroceno” ni como

“Glaceoceno”, sino como Paleoceno y Holoceno: la primera puede traducirse como “viejo nuevo” y la segunda como “todo nuevo”.

Ninguna de estas discusiones es exclusiva de nuestros tiempos; de hecho, un vistazo a la historia de la geología muestra que no hay nada nuevo bajo el Sol (en más de un sentido) y que la datación y clasificación del pasado terrestre ha dado lugar a polémicas incluso más encendidas que la del Antropoceno: pero sí es cierto que el bautizo de épocas y periodos se ha regido por unos principios diferentes a los de, por ejemplo, los hallazgos de especies animales o vegetales, donde es normal incluir el nombre del descubridor. Por ejemplo, el periodo Jurásico fue nombrado así por el francés Alexandre Brogniart, químico, zoólogo, mineralista y un importante investigador en el campo de la estratigrafía, por las abundantes extensiones calizas que descubrió en las montañas del Jura, en Suiza, y el Cretácico por el geólogo belga Jean Baptiste Julien d’Omalius, por los grandes lechos de carbonato de calcio (tiza) que se encontraron en la cuenca de París, usando la palabra latina “creta”, que significa “tiza”. De hecho, Los minerales encontrados en diferentes estratos fueron el origen del nombre de casi todos los periodos geológicos.

Pero aquí no importa tanto el nombre como la propia disciplina. En 2012, en un artículo publicado en la revista de la Sociedad Geológica de América, Whitney J. Autin, del Departamento de Ciencias de la Tierra del *SUNY College* y John M. Holbrook, de la Escuela de Geología, Energía y Medio Ambiente de la *Texas Christian University*, argumentaban que la propuesta de que el Antropoceno pudiera ser aceptado como un nuevo marcador estratigráfico era, como mínimo, “un poco prematura”.

“Como estratígrafos en ejercicio, estamos muy sorprendidos por el anuncio



A partir de los años cincuenta del pasado siglo, todos los fenómenos que han contribuido a alterar la vida en el planeta se habrían disparado creando la transformación más profunda de la relación del ser humano con el mundo natural.

de que los científicos tienen evidencias suficientes como para definir una huella distintiva y perdurable dentro del registro geológico”, escribían, señalando que las unidades estratigráficas de tiempo se establecen por capas de roca que contienen señales litológicas, fósiles, minerales, químicas y geofísicas que permiten su identificación, y que los estratos anticipados por el Antropoceno aún no se habían desarrollado plenamente; por lo tanto, no era definitivo que fuera a establecerse una frontera basal reconocible que lo separe del Holoceno, motivo por el cual “es difícil utilizar este concepto en la práctica de la estratigrafía”.

Tampoco estaría claro, por el momento, si el Antropoceno sería una época o una subépoca del Holoceno. “De cualquier manera, aún debe identificarse y correlacionarse en la cronología global

estratigráfica un registro de sedimentación continuo, preferentemente marino, que separe el Antropoceno de las demás unidades”. El Antropoceno, determinaba, es “jerga atractiva, pero la terminología sólo no basta para crear un concepto estratigráfico útil”, y atribuía el uso creciente del término a su popularidad entre científicos... de disciplinas ajenas a la estratigrafía.

Debate de largo recorrido

En su respuesta al artículo, el grupo de trabajo liderado por Zalasiewicz defendió su postura de que el Antropoceno fuera reconocido oficialmente como una nueva época geológica, y señaló que la cuestión era “si el registro estratigráfico de la Tierra, y los procesos que lo forman, han cambiado lo suficiente como para hacer justificable y útil la

aparición de una nueva unidad”. Considerando que los cambios en el canon geológico pueden ser casi tan lentos y pacientes como los cambios en la propia configuración de la Tierra, parece que este debate continuará durante mucho tiempo. Mientras, como mínimo, está sirviendo como una útil llamada de atención para considerar si, del mismo modo en que hemos afectado al desarrollo del planeta para mal, podemos revertir hasta cierto punto esta tendencia y comenzar a alterarlo en nuestro beneficio. El escocés Charles Lyell ya dijo en el siglo XIX que las especies solo podían sobrevivir si las condiciones ambientales favorables a su existencia permanecían inalterables. Puede que esta máxima sea, después de todo, la gran enseñanza del surgimiento del Antropoceno. ©

Regulación de aparatos de radiodiagnóstico médico

■ Texto **Carmen Álvarez García** | Jefa de Área de Instalaciones Radiactivas y Exposiciones Médicas | **Juan Manuel Gil Gahete** | Área de Inspección de Instalaciones Radiactivas | ■

Todas las instalaciones radiactivas están obligadas a cumplir una serie de requisitos legales y técnicos que garanticen su seguridad, tanto en la construcción como en la operación. En España, respecto a las instalaciones de radiodiagnóstico, por sus especiales características, se decidió diferenciar su control y regulación de los del resto de las instalaciones radiactivas. Así, se publicó el Real Decreto 1891/1991, que fue posteriormente sustituido por el vigente Real Decreto 1085/2009, denominado “Reglamento sobre instalación y utilización de aparatos de rayos X con fines de diagnóstico médico”.

Este Decreto establece para estas instalaciones un régimen de Declaración y Registro. Ahora bien, esta declaración, que debe realizar el titular de la instalación antes de su funcionamiento, ha de ir avalada por dos entidades externas: la empresa de venta y asistencia que suministra los equipos de rayos X (EVAT) y la entidad de protección radiológica (SPR o UTPR) que supervisa el proyecto en su conjunto. Por medio de esta declaración, la instalación se inscribe en un Registro de la Comunidad Autónoma dónde se halle ubicada y, además, en un registro central del Ministerio de Energía Turismo y Agenda Digital.

El hecho de estar inscrita en el registro oficial no significa que el funcionamiento de la instalación quede ya sin control posterior. Por el contrario, este

control sigue existiendo bajo dos formas: por un lado, el titular ha de contar con la asistencia y asesoramiento de un SPR o una UTPR, para que realice al menos una visita anual con el fin de comprobar la conformidad respecto a los requisitos reglamentarios; y, por otro, el CSN puede en cualquier momento realizar una inspección de la instalación o un control de la documentación generada por ella.

El citado Real Decreto no regula solamente lo relativo a las instalaciones de radiodiagnóstico, sino que también quedan en él reguladas las EVAT, los SPR/UTPR y las acreditaciones del personal que trabaja en las instalaciones. Además, el alcance del Real Decreto se extiende también a las instalaciones de rayos X de uso médico-legal y de uso veterinario.

Una vez inscrita en el registro oficial, si la instalación sufre modificaciones sustanciales, éstas han de ser declaradas ante la Administración, que modificará los datos registrales. Igualmente hay que declarar la baja de la instalación cuando ésta se produce, acreditando el destino de los equipos de los que se disponía.

Reglamento de protección

Aunque el proceso de regulación de estas instalaciones siga un camino específico y distinto al del resto de instalaciones radiactivas, su funcionamiento y sus trabajadores, los cuales están clasifica-

dos como expuestos a radiaciones ionizantes, están sometidos a los requerimientos que se estipulan en el Reglamento de protección sanitaria contra radiaciones ionizantes. Además, el funcionamiento de una instalación de rayos X de diagnóstico médico ha de ser dirigido por médicos, odontólogos, veterinarios, podólogos o titulados a los que se refiere la reglamentación, y tanto el personal que dirige la instalación como el que opere los equipos existentes en ella, han de estar capacitados al efecto, por lo que estarán en posesión de una acreditación en Protección radiológica concedida por el CSN, que tras examinar la documentación aportada por el candidato, extiende la correspondiente acreditación en el caso de que esté demostrada la capacidad del interesado. También quedan acreditados aquellos que hayan superado los cursos establecidos a tal fin por el CSN.

Las acreditaciones concedidas por el CSN, lo serán a los únicos efectos de reconocer la formación en Protección Radiológica, sin perjuicios de las titulaciones y requisitos que sean exigibles en cada caso, en el orden profesional y por razón de las técnicas aplicadas

Para concretar los requisitos de los trabajadores, así como los operacionales y administrativos, se obliga al titular a disponer e implantar en la instalación un Programa de Protección Radiológica, que contendrá, entre otras:

–Medidas de prevención, tales como evaluación de las condiciones de trabajo, clasificación de zonas y trabajadores, establecimiento de normas de trabajo y formación de los trabajadores.

–Medidas de control, tales como el control de calidad de los equipos conforme al Real Decreto 1976/1999 sobre Criterios de Calidad en Radiodiagnóstico, inmovilización del paciente, utilización de prendas de protección, blindajes

móviles, y otras condiciones de las exposiciones.

–Medidas de vigilancia, tales como vigilancia radiológica de las zonas de trabajo, vigilancia dosimétrica de los trabajadores, dosimetría de área y vigilancia médica.

–Medidas administrativas, esencialmente los requisitos de registro documental y archivo y, en su caso, envío de informes al CSN.

Los SPR y UTPR han de verificar

anualmente que ese programa está implantado y, además, que no se ha producido ningún cambio respecto a los datos que se declararon en su día para realizar la inscripción registral.

De la mayoría de estos requisitos existen formatos y modelos, que el CSN ha incluido en su página *web* con el fin de facilitar su cumplimentación tanto a titulares como a las empresas que dan servicio a las instalaciones.

RECOMENDACIONES PARA LA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

Medidas de prevención

Medidas de control de equipos

Medidas de vigilancia

Mampara móvil de blindaje

Control de calidad en TAC

Dosímetro personal

Delantal plomado y protector tiroideo

Multímetro y sonda

Se recomienda el uso de los principios: tiempo—distancia—blindaje
Minimice el tiempo, maximice la distancia y use el blindaje



Leonardo Torres Quevedo: De Santander al Niágara

Un prodigio de la ingeniería y una mente que no cesó de discurrir creaciones que resonaron por su importancia fuera de nuestras fronteras. En agosto de 2016, su invento más famoso, el transbordador de las cataratas del Niágara, cumplió cien años en perfecto estado de funcionamiento. Pero en

España la figura de Leonardo Torres Quevedo sigue rehuyendo el reconocimiento popular, al igual que en vida rehuyó los canales oficiales de investigación a la hora de crear sus prodigios.

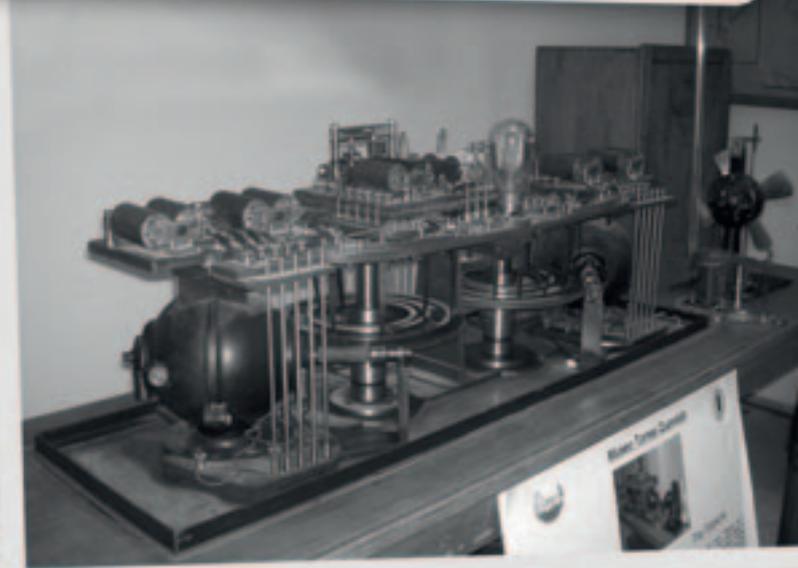
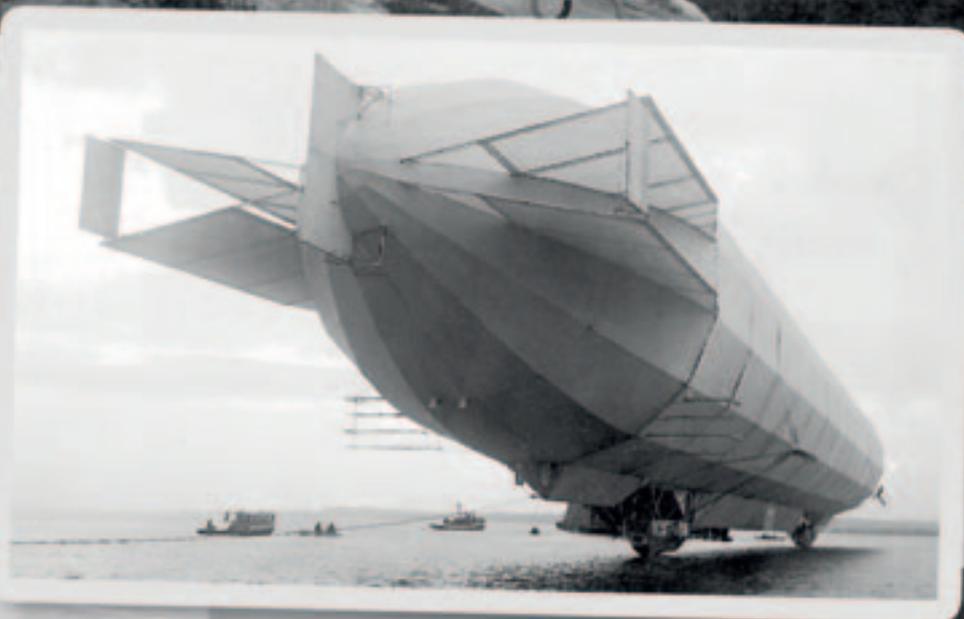
■ Texto Vicente Fernández de Bobadilla | Periodista ■

Los transbordadores, dirigibles y automatismos, como el Telekino, de Torres Quevedo sorprendieron a la ciencia de comienzos del siglo XX.

Cuando se repasa la biografía de Leonardo Torres Quevedo no tardan en surgir algunas contradicciones relacionadas con su figura, la menor de las cuales no es que uno de los más grandes científicos de la historia de España continúe siendo un desconocido para la mayoría de sus habitantes. Porque llama la atención su condición de ‘extraño’ –lo que en inglés se denominaría *outsider*– en la misma comunidad científica que lo encumbró. Él mismo lo señalaba en su discurso de ingreso en la Real Academia de la Lengua, en 1920: “Os habéis equivocado al elegirme; no poseo aquel mínimo de cultura accesible a un académico. Yo seré siempre un extraño en nuestra sociedad sabia y erudita. Llego de tierras muy remotas: no he cultivado la Literatura, ni el Arte, ni la Filosofía, ni aún la Ciencia, por lo menos en sus regiones más elevadas (...) Mi laboratorio es un taller de cerrajería, más complejo, mejor montado que los conocidos habitualmente con ese nombre, pero destinado, como todos, a proyectar y construir mecanismos”.

Sorprende tanta modestia, cuando se considera que de ese “taller de cerrajería” surgieron complejas máquinas de calcular –antecedentes de los mandos a distancia que hoy pueblan nuestros hogares–, precursores de los ordenadores y los robots, dirigibles que lucharon en la Primera Guerra Mundial y obras de ingeniería mundialmente famosas, como el funicular de la zona canadiense de las cataratas del Niágara, que celebró sus primeros cien años en 2016.

Torres Quevedo siempre mantuvo –conscientemente o no– un pie fuera de las escuelas y corrientes de investigación oficiales. En su libro *Cinzel, Martillo y Piedra. Historia de la ciencia en España (siglos XIX y XX)*, José Manuel Sánchez Ron lo califica como un hombre que “en España lo fue casi todo: académico de Ciencias, director de los laboratorios de Mecánica Aplicada y del





En las imágenes superiores, Lepoldo Torres Quevedo, con ocho años. Su casa natal, en Santa Cruz de Iguña (Cantabria). El científico, en la presentación de su Telekino, con la presencia de Alfonso XIII. Y los reyes de España, don Juan Carlos y doña Sofía, jugando con el Ajedrecista.

de Automática, medalla Echegaray de la Academia de Ciencias (1916) académico de la Real Academia Española (1920), presidente de la Sociedad Española de Física y Química (1920) y de la Real Academia de Ciencias (1928).

En el extranjero, entre otros honores, fue miembro del Comité Internacional de Pesas y Medidas de París (1921) y uno de los doce miembros elegidos por el Consejo de la Sociedad de Naciones de la denominada ‘Comisión nacional de cooperación intelectual’, junto a personalidades como Marie Curie, Henri Bergson, Albert Einstein, Gilbert A. Murray y George E. Halle (1922); doctor *honoris causa* por la Sorbona y uno de los doce académicos asociados de la Academie de Sciences de París (1927).

Uno de sus principales biógrafos, Francisco González de Posada, reconoce el carácter inclasificable del inventor: “En España va por libre, no tiene competencia, no es científico al uso de su época. En algunos temas –transbordador, máquinas analógicas, automática– va muy por delante de su tiempo; en otros –dirigible, telekino–, es el primero o está entre los primeros”. Sin embargo, sus críticos señalan su incapacidad de transmitir o de “afectar de forma realmente permanente la incidencia de la tecnología en la vida y la cultura científica española” y en su falta de discípulos. “Dispone de su laboratorio, pero no es un maestro rodeado de discipu-

los, no crea escuela. Su laboratorio desapareció con él, casi biológicamente; no se quiebra brutalmente por la guerra, no se transmuta o continúa después de ella”.

Inquieto aprendiz

Torres Quevedo apareció en la ciencia española casi de sopetón, en plena madurez. Nació el 28 de diciembre de 1852, en la casa familiar del pueblo santanderino de Santa Cruz de Iguña. Hijo de una familia acomodada –su padre, Luis Torres Vildó-

Apareció en la ciencia española casi de sopetón, en plena madurez y como un eremita que se instrúa por su cuenta

solo, era ingeniero de caminos y técnico ferroviario–, alcanzó la independencia económica gracias a la herencia que recibió de unas parientes sin hijos, lo que le permitió formarse y trabajar sin la preocupación cotidiana de ganarse la vida.

Trasladado su padre a Bilbao, estudio allí el bachillerato y posteriormente amplió estudios en París, empapándose del idioma y la cultura francesa e iniciando una red de contactos que se mostraría enormemente útil en las décadas siguien-

tes. En 1870 se instaló en Madrid con sus padres, y al año siguiente comenzó la carrera de ingeniero de Caminos, que concluyó en 1876. Su puesto en la promoción –el cuarto de un total de siete licenciados– le hace merecedor de ingresar en ese club no oficial donde se agrupan los genios de la ciencia que no destacaron en sus años académicos. Su carrera profesional tampoco fue brillante, ni prolongada: apenas unos meses trabajando en el campo del ferrocarril, antes de tomar la decisión de abandonar el escalafón para dedicarse, como él mismo dijo, “a sus cosas”. De vuelta a Cantabria, se casa en 1885 con Luz Polanco y Navarro, y no es hasta 1889 cuando, tras la muerte a los dos años de edad de Leonardo, el primero de los ocho hijos que llegaría a tener, regresa a Madrid definitivamente.

Durante todos estos años, en un plazo que su biógrafo García Santesmases estima en casi una década y que González de Posada amplía a casi dos, Torres Quevedo no parece dedicarse a nada en concreto; viaja a Italia, a Suiza y a Francia, donde visita instituciones científicas y amplía conocimientos. En Madrid mantiene una vida social activa, aunque con un punto de reserva; frecuenta el Ateneo, pero no suele participar en las tertulias políticas y literarias, prefiriendo la quietud de la biblioteca, donde acude a leer revistas extranjeras. También se deja caer por la tertulia literaria del Café Suizo; de hecho, si la ciencia es

su vocación, la literatura es uno de sus principales pasatiempos, y cuando su contribución a ajustar definiciones y términos científicos le llevó a la RAE, fue para ocupar el sillón vacante tras la muerte de Pérez Galdós, uno de sus autores preferidos.

Pero esta existencia contemplativa escondía una actividad intensa. Antes de recibir la fama internacional, el aguijón de la creatividad le había picado con fuerza en uno de los campos que llevaría su nombre por todo el mundo. Y eso que, a primera vista, los componentes y el escenario de su primer transbordador son tan domésticos que parecen poco más que el pasatiempo de un excéntrico: un campo de su propiedad en Cantabria, una silla para transportar a un solo pasajero, y un par de vacas que proveían la tracción. Sin embargo, ese proyecto privado salvaba un desnivel de cuarenta metros, con un recorrido de unos doscientos metros, y sustituía los tradicionales anclajes de un extremo por contrapesos, manteniendo así constante la tensión en los cables-soporte, incluso ante la eventualidad de que alguno se rompiera, lo que suponía una enorme mejora en el campo de la seguridad, un punto clave, porque se concibió para ser usado por personas, no sólo, como era habitual, para trasladar bultos y materiales.

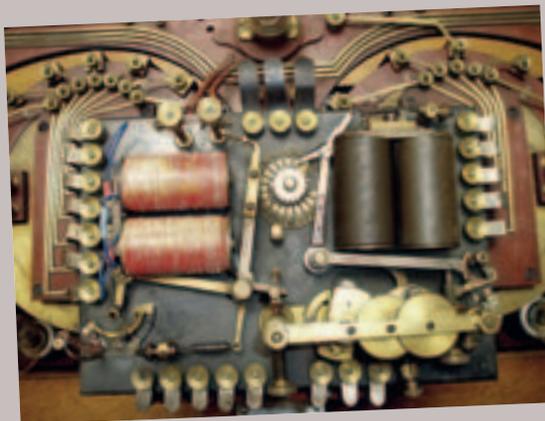
Poco tiempo después llegó otro transbordador, también en el valle de Iguña, que se utilizó para el transporte de objetos. Estimulado por el buen funcionamiento de sus modelos, Torres Quevedo viajó a Suiza, en 1890, para presentar sus diseños a la comunidad científica e industrial del país que más utilizaba este medio de transporte. Si esperaba encontrar aprobación y apoyo económico, se dio de bruces con todo lo contrario; un rechazo total y comentarios despectivos, que le impulsaron a concentrarse en otra línea de trabajo. Los transbordadores no quedaron olvidados por ello, solo aparcados hasta que llegaran tiempos mejores.

En 1893 presentó a la Dirección Gene-

Máquinas algébricas y el primer ordenador

Patentes sobre máquinas de escribir, un puntero proyectable para ayudar a los profesores en sus explicaciones, la llamada binave –el primer bimarán de casco metálico de la historia, cuyo uso no se haría común hasta finales del siglo XX– o las denominadas máquinas algébricas, artefactos de cálculo analógico en los que una determinada ecuación algébrica se resolvía mediante un modelo físico. Más tarde presentaría su concepción teórica de nuevas máquinas de calcular digitales de tecnología electromecánica, adelantándose nuevamente a su época.

Con todo, el año verdaderamente crucial para la figura de Torres Quevedo fue 1920, cuando presentó en París su aritmómetro electromecánico, materialización de las ideas teóricas sobre las máquinas analíticas avanzadas ya años antes. Esta nueva creación contenía las diferentes unidades que consti-



tuyen hoy un ordenador (unidad aritmética, unidad de control, pequeña memoria y una máquina de escribir como órgano de salida y para imprimir el resultado final).

En torno a su figura, que despertó admiración a uno y otro lado del Atlántico, se sitúa asimismo un hecho tan desta-

cado como los orígenes de la I+D+i. En

1906, un grupo de empresarios vascos creó la Sociedad de Estudios y Obras de Ingeniería, cuyo objeto, fijado en su primera base, era esclarecedor: “Estudiar experimentalmente los proyectos o inventos que le sean presentados por don Leonardo Torres Quevedo y llevarlos a la práctica”.

Leopoldo Torres Quevedo murió en Madrid, en 1936, habiendo dedicado los últimos años de su vida a recoger por todo el mundo reconocimientos a su creatividad, labor investigadora e ingenio.

ral de Obras Publicas su primera memoria científica “sobre una máquina para resolver ecuaciones”, solicitando ayuda económica para el proyecto. El organismo envió la documentación a la Real Academia de Ciencias de Madrid, donde fue examinada por Eduardo Saavedra. Su recomendación fue entusiasta y supuso el punto de partida de la consagración del inventor. Se le con-

cede la ayuda solicitada para ampliar conocimientos y viaja al extranjero para publicar la memoria.

En 1895 presenta la memoria *Sur les machines algébriques* en un congreso en Burdeos (Francia). El éxito es todavía mayor. A sus más de cuarenta años, Torres Quevedo protagoniza una revolución a ambos lados de los Pirineos. Su máquina

algébrica, como él mismo la llama, vaticina la llegada de las calculadoras modernas y es todo un adelanto frente a los modelos creados por Pascal y Babbage, ya que es capaz de resolver ecuaciones numéricas de todos los grados. Como principal novedad, presentaba el husillo sin fin, diseñado para hallar el logaritmo de una suma. Cinco años después presentará un modelo más avanzado, que calculará las raíces reales de las ecuaciones trinomias.

Su construcción se iniciará en 1910 y no terminará hasta 1920. Pero, más importante aún que el desarrollo del modelo en sí, es la percepción de su creador de que los procedimientos mecánicos que se habían empleado en las máquinas de calcular eran insuficientes, y que su futuro

por un código, se actuaba en un circuito determinado y el aparato realizaba la maniobra correspondiente. Estos aparatos fueron un triciclo en su primera prueba, celebrada en el madrileño frontón Beti-Jai, en 1904, y pasaron a ser botes en las posteriores demostraciones: en la ría del Nervión, en el lago de la Casa de Campo y, finalmente, en Bilbao, ante una gran multitud y la presencia de Alfonso XIII.

Sin embargo, el éxito de estas demostraciones no fue bastante para que se le permitiera llevar sus pruebas a la dirección de torpedos o de dirigibles no tripulados. No sería la primera vez que la figura pública del inventor se enfrentaba a divergencias similares: por un lado, el gobierno aprobaba en 1901 la creación del Labora-

copia que de él realizó el francés Devaux, que Torres Quevedo no tardó en denunciar, en vano. Y años después, los titubeos a la hora de apoyar el proyecto de un dirigible que realizara viajes intercontinentales permitieron ganar la batalla al modelo inventado por la Royal Navy.

El 'Spanish Aero Car'

En 1907 volvió a los transbordadores, diseñando el que recorría la ladera del monte Uliá de San Sebastián, salvando 20 metros de desnivel en tres minutos y medio, con capacidad para 18 pasajeros. Este modelo fue el primer paso para desarrollar comercialmente otros por todo el mundo, para lo que se creó la Sociedad de Estudios y Obras de Ingeniería.



En 1907, los transbordadores, como el del monte Uliá en San Sebastián, volvieron a ser su objetivo. En las imágenes, las primeras pruebas con pasajeros.

está en los sistemas electromagnéticos, la tecnología más avanzada que se conocía.

En los años siguientes, Torres Quevedo se convierte en uno de los nombres punteros en una ciencia española siempre necesitada de figuras referentes. Lo que Ramón y Cajal es en la medicina, él lo es en el campo de la ingeniería, y remacha su fama con las espectaculares pruebas que celebra con sus creaciones. Es el caso del telekino, el primer aparato de radiodirección creado en todo el mundo, que patenta en 1903 y que consiste en un sistema para dirigir vehículos a distancia mediante ondas hertzianas. Cada señal emitida hacía avanzar un paso a una rueda; según el número de señales recibidas, establecidas

torio de Mecánica Aplicada con la idea de que fuera dirigido específicamente por él; por otro, los retrasos y trabas de la Administración obstaculizaban la comercialización o aplicación práctica de sus invenciones. En el caso del telekino, se añadió la

Su contribución a ajustar términos científicos le llevó a la RAE para ocupar el sillón vacante que había dejado Pérez Galdós

En 1911 comenzaron las conversaciones con el gobierno canadiense para la construcción de un transbordador que sirviera de atracción turística en su lado de las cataratas del Niágara, a través de la sociedad Niagara Spanish Aero Car Co. Torres Quevedo viajó a las cataratas del Niágara para decidir el emplazamiento más conveniente; frente a la idea inicial de situarlo en las propias cataratas, se escogió un codo del río situado cuatro kilómetros más arriba porque ofrecía varias ventajas: los dos extremos de la línea del transbordador estaban en territorio canadiense y el trayecto pasaba sobre la rugiente y espectacular zona del río conocida como El Remolino.

Inaugurado en 1916, con un coste de 500.000 pesetas de la época, el Spanish Aero Car ha pasado por las inevitables modernizaciones y actualizaciones –en 1961, 1967 y 1984–, pero el diseño de la barquilla, con capacidad para 35 personas, no ha perdido su aire tradicional, que retrotrae a los tiempos en los que fue construido.

En 1902, Torres Quevedo había empezado también a investigar en el campo de los dirigibles, creando un modelo semirígido que llegó a probarse, con éxito, en el parque de Aeroestación de Guadalajara, en 1908. De nuevo se le prohibió continuar con las pruebas, lo que le impulsó a llevar sus demostraciones a París, en 1911. Allí entró en contacto con la empresa fran-

pedida de la mecánica aplicada a soluciones prácticas de ingeniería, ya que sus logros posteriores tuvieron como principal escenario el prodigio científico, crear por el placer de crear. Y aún así, sus mecanismos de los últimos años constituyeron también un anuncio de los nuevos caminos por donde discurriría el futuro de la tecnología. Fue la era de los ajedrecistas y las máquinas de calcular, y de lo que es casi unánimemente considerado su obra cumbre: *Ensayos sobre automática*, publicado en 1914, mientras el transbordador sobre el Niágara estaba en construcción. También durante la consecución de ese proyecto tuvo tiempo de diseñar y construir, en 1912, el primero de sus dos autómatas ajedrecistas, programados para ga-

sibles a las circunstancias externas), poseerán miembros (aparatos capaces de ejecutar operaciones), dispondrán de energía necesaria y además, sobre todo, tendrán capacidad de discernimiento, de elección entre diferentes opciones”. No es de extrañar que su hijo Gonzalo, que se encargó de la construcción del segundo ajedrecista, lo definiera como “el primer robot construido en el mundo, cuando aún no se había inventado esa palabra”.

Aún tuvo tiempo, en 1920, de presentar un nuevo prodigio en este campo: su Aritmómetro Electromecánico, nuevo predecesor de las calculadoras, cuyos mecanismos automáticos le permitían comparar y decidir sus operaciones, sin necesidad de control humano. García Santesmases no duda en hacer una asombrosa comparación: “Tenía las diferentes unidades que constituyen un ordenador actual: unidad aritmética, unidad de control, pequeña memoria y una máquina de escribir como órgano de salida”.

Sus últimos años estuvieron ocupados en la tranquila rutina de pasear cada día desde su domicilio hasta su Laboratorio de Automática. En esos años desarrolló una labor menos espectacular, aunque no menos útil, como fue la construcción de aparatos específicos para los laboratorios de científicos como Blas Cabrera, Ramón y Cajal o Esteban Terradas.

Su figura, poco a poco, se diluía como la del representante de un tiempo pasado, a medida que la ilusión de una verdadera etapa de interés por la ciencia en España desaparecía devorada por un presente cada vez más convulso. Su muerte, en diciembre de 1936, a los 84 años, pasó prácticamente desapercibida en el tumulto de la Guerra Civil y, tras ella, su figura tardaría años en ser recuperada. Es cierto que entonces hubo quien no dudó en calificarlo como “el más prodigioso inventor de nuestro tiempo”. Pero no fue ningún compatriota, la frase pertenece a su amigo el ingeniero francés Maurice d’Ocagne. 



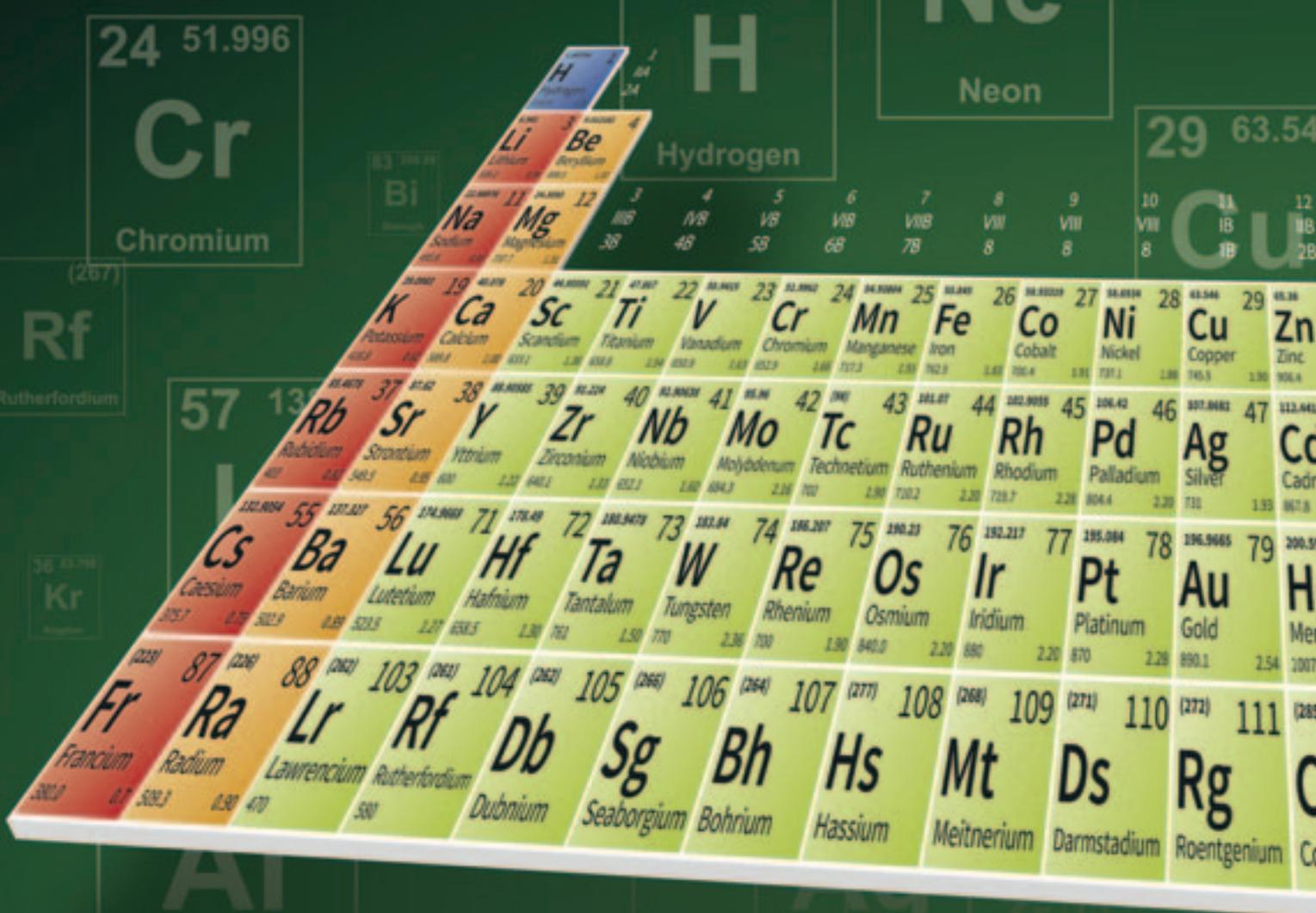
El Aero Car de las cataratas del Niágara, que sigue en funcionamiento desde su inauguración en 1916.

cesa Astra, que solicitó la explotación en exclusiva de su invento en todo el mundo salvo en España. El gobierno español autorizó el convenio y en 1911 se construyó el primer dirigible Astra-Torres; un modelo posterior, el Astra XIV, fue adquirido en 1912 por el Almirantazgo inglés. Dos años después, los gobiernos francés y británico lo utilizaban para transporte y labores de vigilancia. A diferencia de los zeppelines alemanes, los Astra-Torres no dependían del buen tiempo para despegar y aterrizar.

Se ha dicho que los dirigibles fueron el único de los inventos con el que Torres Quevedo consiguió, aparte de reconocimiento profesional, beneficio económico. De ser cierto, constituyó también su des-

nar siempre en una determinada jugada. El segundo, mucho más avanzado, llegaría en 1920, y aún hoy, contemplar los planos de esta máquina aturde por su extrema complicación, pero también por la belleza que transmite su laberinto de ejes, tambores, lanzaderas y electroimanes y por la minuciosa disposición de piezas y mecanismos.

En ambos casos, el ajedrez era solo un pretexto para alcanzar un objetivo mucho más ambicioso: la creación de autómatas como un paso adelante frente a su objetivo de años atrás de crear máquinas inteligentes. González de Posada recuerda que en sus *Ensayos sobre Automática* determinó que éstos “tendrán sentidos (aparatos sen-



Historia y claves en la organización

Los cuatro nuevos elementos de la Tabla Periódica

Los elementos 113, 115, 117 y 118 han sido oficialmente reconocidos por la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC, por sus siglas en inglés), la autoridad mundial en esta materia con sede en los Estados Unidos. El anuncio de la

organización significa que la séptima fila de la tabla periódica, finalmente, está completa. Pero, ¿cómo empezó y quién dio los primeros pasos en la organización de los elementos químicos?

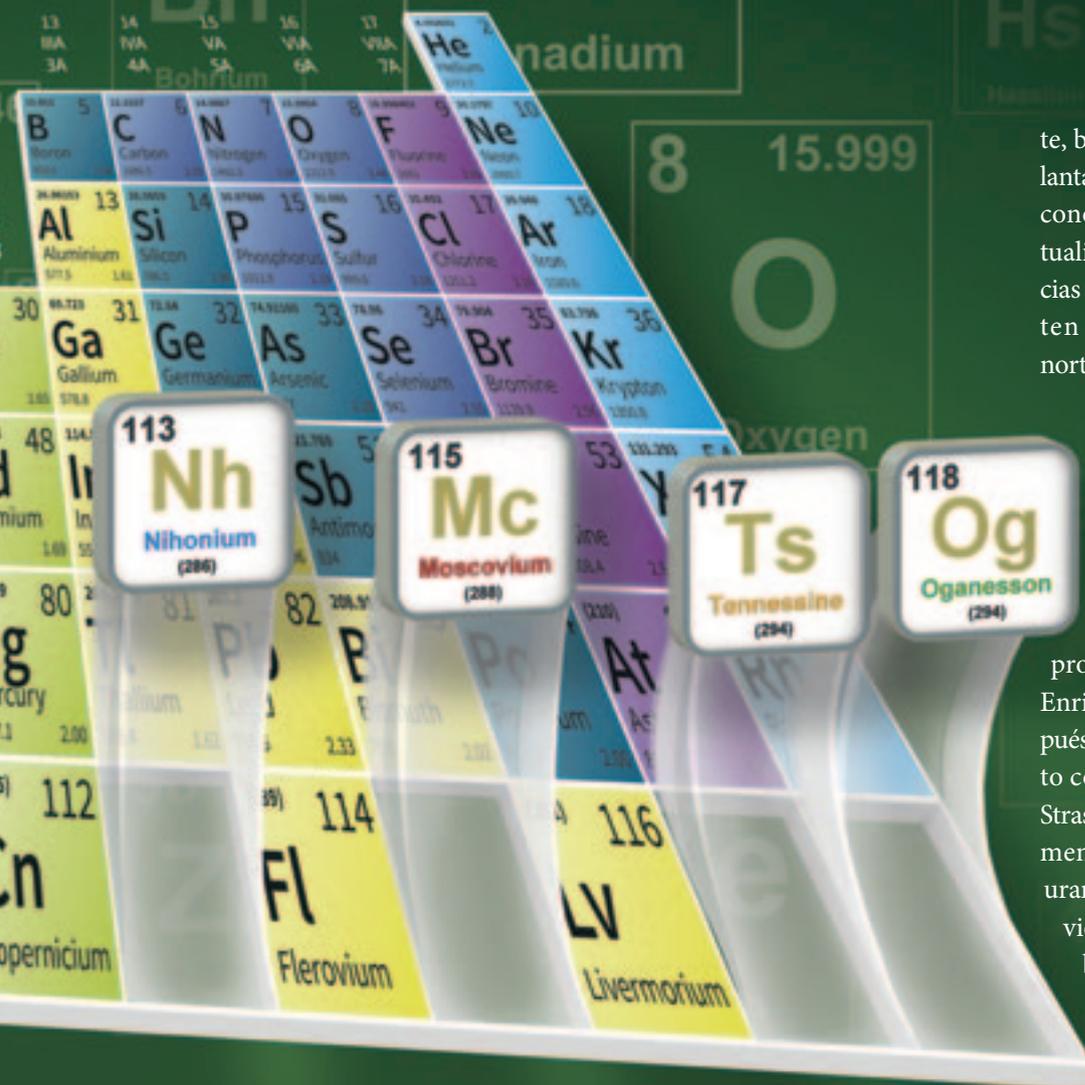
■ Texto Miguel Ángel Sabadell | Periodista científico | ■

El pasado 30 diciembre de 2016, la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC, por sus siglas en inglés), la autoridad internacionalmente reconocida para la denominación de compuestos químicos, mediante su Comité Interdivisional de Nomenclatura y Símbolos (*Interdivisional Committee on Nomenclature and Symbols*), reconocía a

los equipos descubridores los últimos elementos sintetizados en el laboratorio con números atómicos 113 (Instituto Riken de Japón) 115, 117 y 118 (los tres de un equipo conjunto de los laboratorios *Joint Institute for Nuclear Research* (Rusia), y del *Lawrence Livermore National Laboratory* (EE.UU.).

La IUPAC se toma su tiempo para deci-

dir quién es el descubridor, en función de las pruebas aportadas, y, así, dar preferencia al nombre dado por el que será reconocido en el futuro. Así, el 113 (nihonio) se sintetizó en 2004, el 118 (oganesón) en 2006 y los dos últimos 'creados' lo fueron en 2010: moscovio (115) y téneso (117). De este modo la famosa Tabla Periódica de los elementos químicos se ha visto au-



mentada en cuatro compañeros más.

Pero la historia de la ‘tabla’ más famosa comenzó en 1869, cuando un profesor de química del Instituto Tecnológico de San Petersburgo y experto en capilaridad de líquidos y espectroscopía, presentaba ante la Sociedad Química Rusa un trabajo que iba a convertirse en el avance conceptual más importante de la historia de la química. Con el título *La dependencia entre las propiedades de los pesos atómicos de los elementos*, su autor, Dmitri Mendeléiev establecía, entre otras cosas, que si se organizaban los elementos en función de su masa atómica aparecía una periodicidad en sus propiedades. Este trabajo fundamental quedó reflejado en los dos volúmenes de Osovy Khimi, *Principios de Química*, que comenzó como un libro de texto para sus alumnos y terminó convirtiéndose en la manera más exacta po-

sible de determinar los pesos de los elementos químicos conocidos. Así nació la Tabla Periódica de los elementos químicos, una de las ideas más extraordinarias de la ciencia moderna. En esta primera tabla clasificó los 60 elementos conocidos hasta entonces, predijo la existencia de otros 10, aún desconocidos, y llegó a pronosticar algunas características de los elementos aún pendientes de descubrir. Pero nadie le prestó especial atención hasta que empezaron a descubrirse elementos predichos.

Poco a poco, la tabla se fue completando con el descubrimiento de una columna entera de elementos nuevos –los llamados gases nobles– y con la aparición de un grupo de elementos muy semejantes entre sí por sus características químicas, llamados en principio ‘tierras raras’ y que acabaron integrando un grupo apar-

te, bautizado con el sibilino nombre de lantánidos, y más tarde de otro semejante conocido como los actínidos. En la actualidad, se conocen 118 elementos gracias a una carrera de fondo donde compiten rusos, alemanes, japoneses y norteamericanos.

Carrera de nuevos elementos

Esta maratón comenzó con el descubrimiento del neutrón, en 1932. Gracias a su ausencia de carga eléctrica, los neutrones pueden entrar libremente en los núcleos atómicos y provocarles cambios, como descubrió Enrico Fermi en 1934. Poco tiempo después, en Berlín, la física Lise Meitner, junto con los químicos Otto Hahn y Fritz Strassmann, iniciaron la búsqueda de elementos transuránidos, bombardeando uranio con neutrones. Pero lo que obtuvieron fue algo que acabaría por cambiar radicalmente el mundo en los años subsiguientes: la fisión nuclear.

El primer elemento artificial, el tecnecio, fue obtenido en 1937 gracias a una máquina diseñada para acelerar partículas, el ciclotrón. Y en 1940, científicos de la Universidad de Berkeley (California, EE. UU.) sintetizaron el neptunio. Ese mismo año, Glenn Seaborg, también en Berkeley, bombardeó uranio con núcleos de deuterio y produjo el elemento 94, el plutonio.

Pese a la búsqueda sistemática de nuevos elementos que se estaba llevando a cabo, los dos siguientes, el einstenio y el fermio, se descubrieron de manera inesperada: en las muestras de polvo recogidas en los filtros de aire de los aviones que sobrevolaron la zona del Pacífico donde Estados Unidos detonó la primera bomba de hidrógeno. Fue Ivy Mike, el 1 de noviembre de 1952.

Para seguir obteniendo átomos había que diseñar nuevas máquinas: los aceleradores lineales. En particular, dos laboratorios dedicaron sus esfuerzos en con-

seguir esta meta: el de la Universidad de California en Berkeley (que sería relevado años después por el Laboratorio Nacional *Lawrence Livermore*) y el Instituto Central de Investigación Nuclear de Dubna (Rusia). En diciembre de 1969, un tercer participante entró en escena: el Instituto de Investigación en Iones Pesados (GSI) en Darmstadt (Alemania), que en 1975 puso en marcha su acelerador de iones superpesados, UNILAC (Acelerador Universal Lineal). Fue el primer aparato de esta clase donde se podía acelerar todo tipo de iones, incluidos los de uranio. La técnica era y es, en apariencia, simple: fusionar dos núcleos para originar uno nuevo, cuya carga eléctrica sea la suma de ambos. Así se obtuvo en Berkeley el elemento 101, el mendelevio.

Mas, lo que parecía simple, se complicó. Pasar del elemento 101 al 102 costó once años. Las dificultades técnicas eran enormes, con el añadido de que por cada mil millones de núcleos formados sólo sobrevive uno. Y, por supuesto, había que probar que lo obtenido era nuevo.

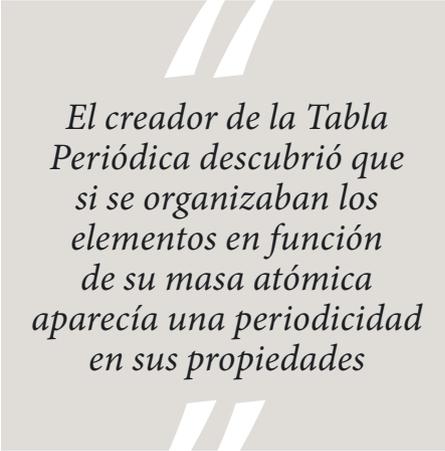
De este modo, llegamos al día de hoy, el elemento 118 oganesón (descubierto en 2006), el último más pesado, por ahora, de esta saga atómica. Se consiguió después de cuatro meses de trabajo acelerando un haz de iones de calcio contra un blanco de californio. En este experimento sólo se pudieron identificar tres núcleos de oganesón, que en menos de un milisegundo se desintegraron en el 116, livermorio.

El peso de los elementos

Pero esto es ahora, en el siglo XXI. La historia de la Tabla Periódica viene de lejos. Comenzó en el siglo XIX cuando los químicos peleaban por resolver los dos grandes interrogantes de la época: determinar cuántos elementos químicos había y cuál era su peso. Quien se dedicó con más ahínco a este cometido fue Jöns Jakob Berzelius, que además de gran *gourmet*,

sibarita y vividor, se dedicó a analizar la composición de las colecciones de minerales de amigos y conocidos a cambio de comida y hospedaje. De este modo obtuvo los pesos de 45 de los 48 elementos conocidos.

Al medir los pesos de los diferentes elementos, los químicos se fueron dando cuenta de que algo había detrás de aquel maremágnum. En 1817, el alemán Johann Döbereiner descubrió que el peso de los metales alcalinotérreos formaban una serie: el peso del estroncio quedaba a medio camino entre el calcio y el bario. Después encontró más de estas triadas, al igual que otras en los que elementos de propiedades similares tenían pesos simi-



El creador de la Tabla Periódica descubrió que si se organizaban los elementos en función de su masa atómica aparecía una periodicidad en sus propiedades

lares. Pero la química de principios del XIX se enfrentaba a un serio hándicap: la hipótesis atómica de Dalton se había formulado hacía poco y todavía no estaba muy clara la diferencia entre átomos y moléculas.

En 1860, durante el famoso congreso de Karlsruhe (Alemania) que reunió por vez primera a todos los químicos del mundo, el italiano Stanislao Cannizzaro propuso un método válido para medir pesos atómicos. No todos estuvieron de acuerdo, pero gracias a él los químicos ya tenían el armamento necesario para lanzarse a la búsqueda de esa regularidad que se intuía en trabajos anteriores. Con todo, la situación no era muy halagüeña,

pues, era difícil entender que el poco más de medio centenar de elementos entonces conocidos fueran la composición última de la materia.

Entre quienes intentaron ordenar el revoltijo estaba el mineralogista francés Alexandre de Charcourtois. En 1862, dispuso los elementos según el orden creciente de sus pesos atómicos sobre una curva helicoidal en el espacio, de manera que los puntos que se correspondían sobre las sucesivas vueltas de la hélice diferían en 16 unidades de peso atómico. Dos años más tarde, John Newlands, un refinador de azúcar londinense, proponía su Ley de Octavas, en una clara alusión musical, pues al ordenarlos de acuerdo a sus pesos atómicos observó que el octavo elemento se parecía al primero, el noveno al segundo... Pero nadie comprendió su esquema.

Mientras todo esto sucedía, en 1861 el ruso Mendeléiev dedicaba siete meses frenéticos a terminar de escribir un manual de química orgánica. Mientras lo redactaba, le impresionó la relación entre las propiedades de los elementos de una determinada serie y sus pesos moleculares, lo mismo que a Newlands. ¿Existiría esa relación o era sólo una mera coincidencia?

En 1867, Mendeléiev empezó a escribir su gran obra, *Principios de Química*, pensada para sus alumnos de la universidad. ¿En qué orden presentaría los elementos químicos y sus propiedades? Valiéndose de fichas donde anotaba los nombres y las propiedades de los elementos y jugando a una especie de solitario químico durante los largos viajes en tren, fue completando lo que llamó su “sistema natural de los elementos”. El 17 de febrero de 1869, ya pudo establecer su ley: “los elementos dispuestos de acuerdo con el valor e sus pesos atómicos presentan una clara periodicidad en sus propiedades”. El ruso insistió, además, en los pesos posteriores a Karlsruhe, donde el italiano Can-

nizaro le había convencido. Un mes más tarde presentaba su descubrimiento en la Sociedad Química Rusa, que había ayudado a fundar en San Petersburgo un año atrás, y la Tabla Periódica aparecía como tal en su segundo volumen de los Principios, en 1871.

Pero no sería el único en descubrirlo: poco tiempo después, el alemán Lothar Meyer publicaba independientemente otra prácticamente idéntica. Su camino fue el mismo que el del ruso: todo comenzó cuando vio la necesidad de escribir un manual de química para los estudiantes alemanes, acudió a Karlsruhe y le convencieron los argumentos de Cannizaro. Por desgracia, la publicación completa de su hallazgo se retrasó por motivos laborales hasta 1872, cuando el principio de Mendeléiev ya era de dominio público.

Sin embargo, lo que verdaderamente conmocionó al mundo no fue la formulación de ese principio, sino sus predicciones, asombrosamente precisas, de las propiedades de lo que llamó ekaluminio (galio), ekaboro (escandio) y ekasilicio (germanio), a lo que habría que añadir pronósticos para otros 7 elementos nuevos (los prefijos eka, dvi y tri, usados por Mendeléiev para los elementos predichos, vienen del sánscrito y significan uno, dos, tres).

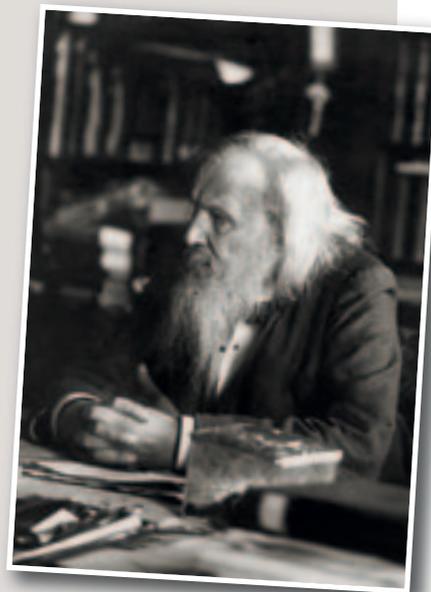
La ola de nacionalismo europeo que recorrió la década de 1880 llevó a situaciones peculiares. El francés Paul Emile Lecoq identificó en su laboratorio el galio. Cuando Mendeléiev señaló que se trataba de su ekaluminio, Lecoq creyó que el objetivo era deshonorar a Francia atribuyéndose el descubrimiento y dijo que su elemento era muy diferente al predicho por Mendeléiev. Cuando después nuevas medidas confirmaron que el ruso solo se había equivocado en un mísero uno por ciento, alguien comentó: “Mendeléiev, el teórico, vio las propiedades de un nuevo elemento con mayor claridad

Así se organiza la tabla

Dmitri Mendeléiev enfocó la Tabla Periódica desde el punto de vista de las valencias de los elementos y en orden creciente a sus pesos atómicos (en la actualidad masas atómicas). La valencia es un término que fue introducido por el químico inglés Edward Frankland, en 1852, y que reconoce ese “poder de combinación” de cada elemento, de modo que todos tienen asignada una o más valencias según su comportamiento en el tubo de ensayo.

Organizándolo de este modo, en las columnas verticales aparecen familias o grupos de elementos hermanados por sus propiedades análogas, por ejemplo, los elementos alcalinos: litio, sodio, potasio, etcétera, que pertenecen al grupo IA.

Por otro lado, las líneas horizontales que aparecen en el sistema periódico poseen un número distinto de elementos. De los 7 periodos reconocidos, el primero posee 2; el segundo y tercero 8; el cuarto y quinto, 18; el sexto, 32, y el séptimo, 29.



Dimitri Mendeléiev, creador de la Tabla Periódica de los Elementos.

que el químico que lo descubrió”. De este modo Mendeléiev entró a formar parte del Olimpo científico.

El vodka perfecto

Su vida privada también conoció emociones. Se casó en 1862 con Feozva Nikitichna Leshcheva en un matrimonio de conveniencia, pero su obsesión hacia Anna Ivanovna Popova –a quien aún casado, le propuso en matrimonio–, su divorcio, en 1882, fue considerado un turbio asunto, que influyó en su fallido intento por ingresar en la Academia de Ciencias Rusa, a pesar de la fama internacional que había alcanzado. El Zar salió en su defensa: “Mendeléiev tiene dos mujeres, sí; pero yo sólo tengo un Mendeléiev”.

En 1893 fue nombrado director de la Oficina de Pesos y Medidas, desde la que

introdujo el sistema métrico decimal y, aún más importante, definió los nuevos estándares para la producción de vodka. Fascinado por los pesos moleculares, concluyó que un balance perfecto era aquel en el que la relación entre el alcohol etílico y el agua debía ser de una molécula a dos, dando una disolución en volumen del 38% de alcohol y 62% de agua. Y así se ha mantenido desde entonces.

Aunque superó distintos brotes de tuberculosis a lo largo de su vida, este hombre, que solo se cortaba el pelo y se arreglaba la barba una vez al año, murió el 2 de febrero de 1907 por culpa de una gripe. Durante su entierro, mientras el féretro avanzaba hacia el cementerio de Volkovo, encabezaba la procesión la Tabla Periódica de los Elementos, uno de los desarrollos conceptuales más importantes de la historia de la ciencia. ©

Reacción en cadena

NOTICIAS

Un guante inteligente, que multiplica la fuerza de agarre

La agencia espacial norteamericana NASA y General Motors han creado un guante robótico que multiplica la fuerza de agarre y reduce la fatiga de los músculos de la mano. El *RoboGlove* utiliza sensores de última generación, actuadores y tendones, que son comparables a los nervios, músculos y tendones de la mano humana. La tecnología del guante robótico,

desarrollada para su uso en la Estación Espacial Internacional, será utilizada en el cuidado de la salud y la industria aeronáutica y automovilística. Uno de los requisitos para su desarrollo fue que el guante tuviera la capacidad de utilizar herramientas creadas para los humanos y sus inventores han logrado una destreza sin precedentes en robótica.



AUTOMOCIÓN

Cargar un coche eléctrico será tan rápido como llenar el depósito

Los grandes fabricantes de coches apuestan decididamente por el coche eléctrico. Los responsables de los grupos BMW, Daimler AG (Mercedes-Benz, Smart), Ford y Volkswagen (con Audi, Porsche, SEAT, Skoda) se han compro-

metido a crear la red de carga eléctrica más potente y rápida de Europa para favorecer el uso de los coches enchufables en carretera. La consecuencia directa de este acuerdo será el despliegue de una notable cantidad de puntos de recarga

específicos en autovías y autopistas, paso imprescindible para facilitar la implantación masiva de los modelos eléctricos.

La red ofrecerá niveles de potencia de hasta 350 kW y será significativamente más rápida que la mayoría de sistemas de carga disponibles en la actualidad. El despliegue comenzará este año, con la instalación de 400 puestos de carga en Europa. La red estará basada en la tecnología estándar de Sistema de Carga Combinada (CCS), gracias a la cual se espera que la experiencia de carga evolucione hasta ser tan práctica como el repostaje en estaciones de servicio convencionales. Los vehículos eléctricos de batería preparados para aceptar toda la potencia de las nuevas pueden recargarse, sin importar de qué marca sean, en unos minutos.



INVESTIGACIÓN

Científicos del CSIC, a la caza de meteoritos

Un equipo de científicos europeos, liderado por investigadores españoles del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), ha sido el primero en analizar las propiedades mecánicas de uno de los miles de fragmentos del meteorito de 20 metros que, el 14 de febrero de 2013, impactó contra las llanuras heladas de Chelyabinsk, en los Urales rusos. Los investigadores han realizado punciones milimétricas en el mineral para determinar su dureza, elasticidad y resistencia a la fractura. Los resultados, publicados en el *Astrophysical Journal*, pueden ser determinantes para diseñar una futura misión espacial que desvíe un meteorito más peligroso y evite su choque con la Tierra, según ha explicado Josep Maria Trigo, investigador del Instituto de Ciencias del Espacio (IEEE-CSIC) y coautor del estudio.

El investigador ha reconocido que si el asteroide llega desapercibido, como en el caso de Rusia, o se conoce solo unas horas o días antes, “los humanos podemos hacer poco más que mirar”. Pero si el cuerpo se detecta con un margen de meses o años, sí podría desviarse lanzando contra él una sonda. Para que el tiro sea certero, es necesario conocer lo mejor posible la composición del cuerpo. Los meteoritos como el de Chelyabinsk se originan de asteroides que llevan mucho tiempo viajando por el Sistema Solar y han sufrido un número de colisiones que han transformado su consistencia y composición. Estudios como el realizado por los investigadores españoles podrían servir “para identificar cuáles son las zonas menos impactadas y conseguir que, tras el impacto, el meteorito salga despedido en la dirección contraria”, ha señalado Trigo.



Imagen de la zona de impacto del meteorito, en Chelyabinsk, en los Urales.

LIBROS

El libro de la madera Una vida en los bosques

Lars Mytting

Alfaguara. 192 páginas

Traducido a más de 16 idiomas, *El libro de la madera. Una vida en los bosques* (Alfaguara), del escritor y periodista noruego Lars Mytting, ostenta ya el título de mejor libro de no ficción de 2016 que concede anualmente el British Book Industry Award y, en Noruega, se ha adaptado a una serie de televisión de gran audiencia. Cortar y apilar leña es un pasatiempo a través del cual el mundo parece cobrar de nuevo sentido. La relación del ser humano con el fuego es tan antigua y universal que se diría que al aprender sobre la madera se conoce la vida con más profundidad.



Mytting plantea una reflexión sobre el ritmo frenético de la vida, la naturaleza humana, el capitalismo moderno y la ecología. Y convierte *El libro de la madera* en una guía sobre las mejores prácticas para el uso de una fuente de energía que se renueva, una prueba de meditación sobre el instinto humano de supervivencia y, sobre todo, un manual de instrucciones que incluye sabios consejos de expertos y aficionados, divertidas anécdotas y emocionantes historias de la vida. Porque en esa búsqueda de recopilación de leña para alimentar las 200 páginas de la obra, recorrió en su Volvo 240 numerosos bosques de su país y se detuvo en los cruces de caminos en busca del rugido de la motosierra, de leñadores y devotos de las estufas.

A lo largo de sus páginas, el lector puede extraer todo tipo de lecciones de la madera o el fuego, que se pueden aplicar a cualquier disciplina o actividad cotidiana. Es también un ejercicio de meditación sobre el instinto humano de supervivencia, que nos recuerda que siempre habrá un nuevo invierno.

La obra hace referencia al ensayo *Walden*, de Henry David Thoreau, que en 1845 se fue a vivir a un bosque, cuando la sociedad estadounidense se le hizo demasiado frenética, quien aseguraba que “a pesar de todos nuestros descubrimientos e invenciones, nadie pasa por alto una pila de leña”.

IN MEMORIAM

El Consejo de Seguridad Nuclear lamenta los fallecimientos de Francisco Pascual y Luis Gámir

El presidente del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), Fernando Martí Scharfhausen; la vicepresidente, Rosario Velasco, y los consejeros Fernando Castelló, Cristina Narbona y Javier Dies lamentan los fallecimientos de Francisco Pascual y Luis Gámir, primer presidente y vicepresidente, respectivamente del organismo regulador.

Francisco Pascual Martínez, que falleció el pasado 28 de noviembre de 2016, dirigió el organismo regulador entre los años 1981 y 1987.

Oficial de la Armada Española, ingeniero de Armas Navales y licenciado en Ciencias Químicas por la Universidad Complutense de Madrid, Martínez desem-



Francisco Pascual Martínez, presidente del CSN entre 1981-1987.



Luis Gámir, vicepresidente del CSN entre 2006-2012.

peñó el cargo de secretario general técnico de la antigua Junta de Energía Nuclear (JEN) durante dos décadas.

Luis Gámir Casares falleció el pasado 15 de enero. Fue primero consejero y después vicepresidente del Consejo de Seguridad Nuclear entre los años 2006 y 2012.

Exministro de Comercio y Turismo con Adolfo Suárez y de Transporte, Turismo y Comunicaciones con Leopoldo Calvo Sotelo, Gámir nació en Madrid en 1942, era licenciado en Derecho y doctor en Ciencias Económicas por la Universidad Complutense madrileña y doctor Honoris Causa por la Universidad Miguel Hernández de Elche (Alicante). ▸

El CSN establece las condiciones a la renovación de CN Santa María de Garoña

El Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) acordó, por cuatro votos a favor y uno en contra, fijar los límites y condiciones relativas a la solicitud de renovación de autorización de explotación de la central nuclear Santa María de Garoña (Burgos). Para ello, se analizaron los informes correspondientes a la Revisión Periódica de Seguridad (RPS), las respuestas enviadas por el titular, Nuclenor, al cumplimiento de la Normativa de Aplicación Condicionada (NAC), el estado de cumplimiento de las condiciones sobre seguridad nuclear y protección radiológica de las Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC) y de las Instrucciones Técnicas aplicables y el informe presentado por Nuclenor sobre los Documentos Oficiales de Explotación.

Las evaluaciones concluyeron que las propuestas son aceptables desde el punto de vista de la seguridad y la protección radiológica, si bien se estima necesario que el titular lleve a cabo acciones adicionales, que se identifican en unos límites y condiciones sobre seguridad nuclear y protección radiológica y que se recogen en la propuesta que el consejo regulador remitirá al Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital (Minetad). Las ocho primeras condiciones, de un total de 10, se refieren a requisitos genéricos incluidos en las autorizaciones de explotación de todas las centrales nucleares.

Las dos condiciones restantes se han fijado en torno a dos momentos concretos de la instalación. La condición novena establece que, antes de la primera carga de combustible nuclear en el reactor, el titular deberá completar las actuaciones necesarias para alcanzar el nivel de seguridad nuclear y protección



Los miembros del Pleno durante la rueda de prensa convocada para explicar los límites y condiciones referentes a la renovación de Garoña.

radiológica previsto para dicha situación operativa, de acuerdo con las Instrucciones Técnicas Complementarias emitidas. Además, el inicio de las operaciones de la primera carga de combustible requerirá la apreciación favorable del Consejo de Seguridad Nuclear. Y la décima condición dictamina que, con anterioridad a que en el reactor se produzca una reacción nuclear en cadena automantenida, el titular deberá completar las actuaciones necesarias para garantizar la explotación segura de la central, de acuerdo con las Instrucciones Técnicas Complementarias emitidas.

Instrucciones y modificaciones

Los 10 límites y condiciones se complementan con quince Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC), en las que se requiere al titular la realización de otra serie de actuaciones de vigilancia, mejora o modificaciones de diseño identificadas en el transcurso de la evaluación del

CSN. Las 13 primeras están asociadas a aspectos genéricos de la autorización de explotación. Por su parte, la ITC 14 está relacionada con la condición 9, mientras que la ITC número 15 se vincula a la condición 10.

De igual forma, los miembros del Pleno han informado favorablemente las evaluaciones realizadas sobre modificaciones de diseño de la central para las que se ha establecido un proceso de licencia específico, tal como la puesta en servicio de un nuevo Sistema de Tratamiento de Gases de Reserva (SBGTS), que fue requerida como una condición derivada del proceso de la revisión de la normativa de aplicación condicionada (NAC) en el informe que emitió el CSN en 2009 y que figura en el punto 20 de la ITC/14.01. En este expediente, el CSN ha evaluado las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento Mejoradas (ETFM) y del Estudio de Seguridad (ES) asociadas a esta modificación de diseño. ▶

El CSN asiste a la 60ª reunión del Comité de Seguridad de las Instalaciones Nucleares de la Agencia de Energía Nuclear

El Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) participó en París en la 60ª reunión del Comité sobre la Seguridad de las Instalaciones Nucleares (CSNI), celebrada en la sede de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) los días 7 y 8 de diciembre pasados. La delegación del CSN estuvo encabezada por la vicepresidenta del organismo regulador español, Rosario Velasco.

En sus palabras de bienvenida al inicio de la reunión, el director general de la NEA, William Magwood, agradeció a España la acogida que recibió en su visita del pasado mes de noviembre, organizada por la plataforma tecnológica CEIDEN, en la que tuvo la oportunidad de reunirse con el presidente del CSN y otros miembros del Pleno.

En este encuentro se revisó el estado de avance y la planificación de las



En la imagen, Rosario Velasco, vicepresidenta del Consejo de Seguridad Nuclear, durante la reunión.

actividades dependientes del comité y se han aprobado otras nuevas, en base a las propuestas de los grupos de trabajo, según la dinámica habitual. Entre estas actividades, cabe destacar la presentación del Plan Estratégico 2017-2021 del CSNI, que deberá desarrollarse a lo largo del primer se-

mestre de 2017. Esta tarea será realizada por el Grupo de Revisión del Programa del CSNI, elemento clave en el funcionamiento del comité. En la reunión se anunció la incorporación a este grupo de José Ramón Alonso, subdirector de Ingeniería del CSN.

Visita a las instalaciones radiactivas del Hospital de La Fe

El consejero del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) Fernando Castelló efectuó una visita de carácter técnico a las instalaciones de protección radiológica del hospital Universitario y Policlínico de La Fe, en Valencia. Previamente, Castelló mantuvo la primera reunión como presidente de la Plataforma Nacional de I+D en Protección Radiológica (PEPRI) con la secretaria de esta plataforma, Alegría Montoro.

La reunión tuvo por objetivo la puesta al día del consejero en los temas acordados en la Asamblea de la PEPRI de noviembre, en el CSN. En la visita fue recibido y



El consejero Fernando Castelló visitó las instalaciones radiactivas del Hospital Universitario y Policlínico de La Fe.

acompañado por el jefe de Servicio de Protección Radiológica, así como por representantes de los diferentes departamentos del hospital, quienes ofrecieron

una visión de las instalaciones de radiodiagnóstico, radioterapia, medicina nuclear y del centro de irradiados y contaminados.

El CSN controla las instalaciones radiactivas y las dosis de radiación recibidas por las personas expuestas a radiaciones ionizantes. La Plataforma PEPRI es una asociación científico-técnica nacional, impulsada por la Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR), que tiene como objetivo promover las actividades de I+D+i orientadas a la protección contra las radiaciones ionizantes así como el conocimiento y minimización de sus efectos.



36ª reunión del Comité de Actividades Regulatoras Nucleares

La consejera Cristina Narbona y el director técnico de Seguridad Nuclear, Antonio Munuera, asistieron en representación del Consejo de Seguridad Nuclear a la 36ª reunión del Comité de Actividades Regulatoras Nucleares (CNRA) de la Agencia de Energía Nuclear (NEA), perteneciente a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), celebrada en París el pasado mes de diciembre.

Durante esta reunión, la consejera Narbona planteó la posibilidad de establecer un punto de coordinación y cooperación entre el grupo de trabajo del CNRA y del OIEA en materia de cultura de seguridad, propuesta que fue aceptada por la presidencia del CNRA.

Por su parte, Julio Crespo (CSN), como presidente del grupo sobre prácticas de inspección, expuso los resultados de la inspección realizada a la central nuclear mexicana de Laguna Verde, así como una aproximación a la inspección del *hardware* y del *software* de control y la instrumentación digital.

Encuentro entre CSN y ENEN para garantizar los niveles de seguridad nuclear en Europa

El consejero del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), Javier Dies, y el profesor Cizelj León, presidente del European Nuclear Education Network (ENEN, por sus siglas en inglés) mantuvieron una reunión en la sede del organismo regulador en Madrid, a finales de enero, con el objetivo de trazar las líneas maestras que garanticen la calidad y los niveles necesarios de la mano de obra nuclear en Europa.

Además, el consejero Dies –que en su etapa profesional previa ocupó la Cátedra de Ingeniería Nuclear en la Universidad Politécnica de Cataluña– impartió una conferencia sobre seguridad nuclear en el Col·legi d'Enginyers Industrials de Catalunya, en Lleida. Los puntos centrales de la conferencia se ocuparon de la misión, funciones, y actividades reguladoras del Consejo de Seguridad Nuclear.



Dies y León, durante el encuentro del pasado mes de enero.

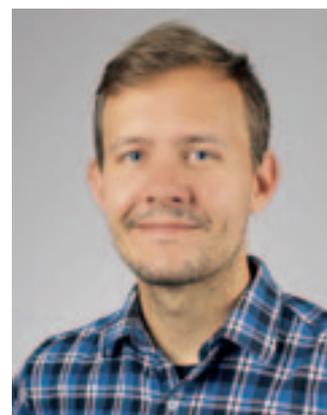
Premio de la Cátedra Argos al mejor Expediente del Máster en Ingeniería Nuclear 2016

Durante el acto de inauguración del curso académico 2016-2017 de la Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona (ETSEIB), se entregó el Premio al mejor Expediente académico en el Master de Ingeniería Nuclear de la ETSEIB-UPC al estudiante noruego Eirik Eide

Pettersen, cuya nota media de los 60 ECTS de cursos ordinarios realizados en Barcelona fue de 9,3 sobre una valoración máxima de 10.

Este premio se concedió dentro de la Cátedra Argos, convenio que el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) tiene firmado con la Universidad

Politécnica de Cataluña, con el objetivo de promover la formación de profesionales altamente cualificados en seguridad nuclear y protección radiológica, así como el de desarrollar algunas actividades de I+D en el campo de la seguridad nuclear y protección radiológica.



Eirik Eide Pettersen, ganador del premio de Cátedra Argos 2016.

Principales acuerdos del Pleno

Informe favorable a la solicitud de autorización la modificación de diseño del ATI de Almaraz

El Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), en su reunión del 8 de septiembre de 2016, ha informado favorablemente la solicitud de autorización de ejecución y montaje de la modificación de diseño del Almacén Temporal Individualizado (ATI) de las unidades I y II de la CN de Almaraz (Cáceres), presentada por Centrales Nucleares de Almaraz-Trillo, con el objeto de resolver las necesidades de almacenamiento del combustible gastado hasta que sea posible su traslado al Almacén Temporal Centralizado (ATC).

Respuesta del Pleno a la carta de ASTECSN remitida al Congreso de los Diputados

En el Pleno del 10 de octubre de 2016, los consejeros debatieron la carta remitida por la Asociación de Técnicos de Seguridad Nuclear y Protección Radiológica (ASTECSN) al presidente de la Comisión de Industria, Energía y Turismo del Congreso de los Diputados el 1 de octubre de 2016 y acordaron unánimemente informar a dicha comisión parlamentaria.

El Pleno manifestó la necesidad de responder ante la misma comisión del Congreso a las inexactitudes de la carta, que redundan negativamente en la reputación del CSN y que tratan de provocar una injustificada falta de confianza ciudadana en la seguridad nuclear y la protección radiológica.

De esta manera, se acordó por unanimidad un texto de comunicación que fue dirigido al presidente de la Comisión de Energía, Industria y Turismo del Congreso de los Diputados.

Recombinadores pasivos autocatalíticos

En el Pleno del 16 de noviembre de 2016, el Consejo ha estudiado la solicitud de apreciación favorable de la modificación de diseño relativa a la instalación de los Recombinadores Pasivos Autocatalíticos (PAR) de hidrógeno en la contención de la central de Almaraz II. Tras la lectura del informe de evaluación, el Pleno ha acordado apreciarla favorablemente.

El mismo Pleno se mostró favorable a la solicitud sobre la modificación de diseño de los PAR de hidrógeno de la central de Vandellós II, durante la parada de recarga 21, que se inició el 29 de octubre de 2016.

Centro Alternativo para la Gestión de Emergencias

En Pleno del 16 de noviembre de 2016, el Consejo ha estudiado las solicitudes de la puesta en servicio de los Centros Alternativos de Gestión de Emergencias (CAGE) de las centrales de Almaraz, Trillo y Cofrentes, así como el informe que ha efectuado la Dirección Técnica de Seguridad Nuclear y ha acordado apreciarlas favorablemente. Cada seis años, el titular deberá llevar a cabo una prueba de infiltraciones del CAGE, tanto en modo de recirculación (modo aislamiento) como en modo de sobrepresión.

Por su parte, en Pleno del 23 de noviembre de 2016, el Consejo ha estudiado las solicitudes de puesta en marcha de los Centros Alternativos de Gestión de Emergencias. Después del estudio de las evaluaciones realizadas, el Pleno informa favorablemente ambas solicitudes, con las condiciones que se incluyen en el Anexo del informe, que incluye

que el titular de las instalaciones verifique, en el plazo de tres meses, la posición del nivel del agua subterránea en el emplazamiento del CAGE y el análisis de la relación de los riesgos geológicos potenciales de colapso que identifica el titular con la presencia de aguas superficiales o subterráneas.

Ventoe filtrado de contención

El Pleno del Consejo, en su reunión del pasado 16 de noviembre de 2016, ha informado favorablemente sobre la solicitud de autorización de la modificación de diseño correspondiente al Sistema de Ventoe Filtrado de Contención (SVFC) de la central nuclear de Almaraz.

En su reunión del pasado 23 de noviembre, el Pleno del Consejo ha estudiado la solicitud de autorización relativa a la modificación de diseño para la puesta en marcha del sistema de ventoe filtrado de la contención y el informe de aprobación de las propuestas de cambio del estudio de seguridad asociadas a la CN de Vandellós II.

Además, el Pleno celebrado el 14 de diciembre de 2016 ha analizado la solicitud de autorización de puesta en marcha del sistema de ventoe filtrado de la contención y de la propuesta de cambio al estudio de seguridad de Ascó I. El Pleno ha acordado un informe favorable a la solicitud y a la propuesta de cambio del Estudio de Seguridad asociada.

Con la implantación de esta modificación de diseño, el titular da cumplimiento al apartado 2.5.c de la ITC post Fukushima adaptada, que requiere la implantación de un sistema de ventoe filtrado de contención antes del 31 de diciembre de 2016.

www.csn.es

Nueva aplicación web del CSN para el acceso público a la Base de Datos de Vigilancia Radiológica Ambiental

El Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), en cumplimiento con las funciones encomendadas a este organismo en materia de información pública y respecto a lo establecido en la Ley 27/2006 por la que se regulan los derechos de acceso a la información en materia de medio ambiente, ha desarrollado una aplicación informática para dar un acceso público más detallado a los datos de vigilancia radiológica ambiental en España, a la que se accede a través de la página web del CSN.

Además del informe que anualmente presenta el organismo regulador al Congreso de los Diputados y al Senado, está también a disposición del público un resumen de los datos obtenidos a través del informe técnico anual que publica el CSN en su web. Parte de esta información se remite asimismo a la Comisión Europea en cumplimiento del Tratado de Euratom y está incorporado en la base de datos de la Comisión "REM data base".

En la nueva aplicación se visualizan sobre un mapa las estaciones de muestreo que forman parte de la vigilancia nacional, desarrollada por el CSN, y de la vigilancia asociada a instalaciones, cuyos responsables son los titulares de las mismas. En estos programas se recogen muestras ambientales en campo, que son remitidas a laboratorios de universidades u otros organismos públicos o privados, especializados en medidas ambientales de baja actividad radiológica, donde se lleva a cabo su preparación y medida, obteniéndose después los resultados de su actividad radiológica.



La nueva aplicación se encuentra accesible a través de la página web del CSN (www.csn.es) en el apartado de 'Protección radiológica del público y del medio ambiente' y dentro de este en 'Vigilancia radiológica ambiental en España', pinchando en el mapa de valores radiológicos Ambientales PVRA REM.

De cada una de las estaciones se puede consultar los valores de radiactividad disponibles desde el año 2006 al año 2015, pudiendo acotar de acuerdo a criterios de selección previamente definidos en relación al intervalo temporal, tipo y zona de vigilancia, tipo de muestra o determinación analítica. Los resultados de la consulta se presentan en forma gráfica y de tabla, que se pueden imprimir o exportar para su utilización o tratamiento posterior citando como fuente al CSN.

Se completa así la información proporcionada hasta ahora correspondiente a los Valores ambientales de la Red de Estaciones Automáticas (REA), de medida en tiempo real. 

Abstracts

REPORTS

6 ITER, the largest scientific experiment on Earth

ITER is the largest scientific experiment on Earth. Its aim is to prove that developing the technology necessary to build a commercial nuclear fusion reactor is possible. The challenge is tantamount to imitating what happens inside the stars, where the bonding of hydrogen nuclei produces a chain reaction that feeds stars for billions of years. Controlling that process would mean having an abundant and reliable source of energy similar to that produced by nuclear fission, but without the hazards and waste.

20 Never-ending batteries

A group of researchers at the University of Bristol, led by geo-chemist Tom Scott, have used radioactive waste to create an electrical current of just two watts, but which has drawn world attention given that the source are diamonds made from radioactive waste.

42 Anthropocene, on the way to a new geological age

The earliest atomic tests have been designated as the probable date on which a new geological age, the Anthropocene, began, in which, for the first time, human action would be responsible for changes in the planet's configuration. While scientists debate the truth of this theory, it becomes unquestionable that Man has left a much more profound mark on our world in recent decades than in all the previous millennia.

52 Leonardo Torres Quevedo: From Santander to Niagara

A prodigy of engineering with a mind that never stopped conjuring up creations that made an impact well beyond our borders. In 2016, his most famous invention, the Niagara Falls ferry, reached its 100th anniversary in perfect working order.

58 Four new elements on the Periodic Table

Elements 113, 115, 117 and 118 have been officially recognised by the International Union of Pure and Applied Chemistry, the world authority in this field, based in the United States. The organisation's announcement means that the seventh row of the Periodic Table is finally complete. But how did it start and who took the first steps to organise the chemical elements?

INTERVIEW

14 Teresa Rodrigo, experimental physicist and member of the CERN's Scientific Policy Committee

"There has to be a revolution of thought and a new cycle of physics has to be initiated"

INSIDE THE CSN

24 The Nuclear Safety Council's most transversal Section

Assessing a nuclear power plant's response capabilities to possible safety problems, fostering measures to minimise human error, monitoring compliance with quality assurance criteria, developing new methods and safety tools, and co-ordinating activities relating to spent radioactive fuel and high-level waste management - these, and many others, are the duties of the Nuclear Technology Division.

TECHNICAL ARTICLES

27 International harmonisation in Radiological Protection. The role of the ICRP

Since its inception, the main objective of the International Commission on Radiological Protection (ICRP) has been to provide a system for radiological protection everywhere that ionizing radiation is present. The ICRP Radiological Protection System inspires international basic standards and the legislation on radiological protection and safety of almost all the countries in the world. This is possible thanks to the independence, transparency and scientific rigour with which the ICRP has gained international respect.

35 Ibero-American Conference on Radiological Protection in Medicine (CIPRaM) held in Madrid

According to the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, the amount of exposure for patients as a group is 200 times greater than for exposed workers. The medical use of ionizing radiation has increased with the growing number of medical tests that use this type of radiation, such that medical practice now accounts for over 90% of professionally exposure workers to artificial radiation.

RADIOGRAPHY

50 Regulation of medical radio-diagnostic apparatus

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



Súmate a los 110.000

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

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