

Un paso crítico para la fusión inercial



Homenaje a los empleados del CSN que en 2015 cumplieron 25 años al servicio de las Administraciones Públicas

Fernando Castelló, consejero del CSN: "En el proceso de licenciamiento del ATC debe primar el rigor sobre los plazos"

El CSN por dentro
Secretaría General: la puesta a punto del Consejo



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



www.csn.es

Cooperación internacional

En 1959, a través una directiva derivada del artículo 30 del Tratado Euratom, se establecieron las normas de seguridad básicas para la protección contra los riesgos derivados de la exposición a radiaciones ionizantes. Estas normas fueron modificadas en diversas ocasiones para incorporar el progreso de los conocimientos científicos en materia de protección radiológica, siendo, en 1996, la última vez que se introdujeron cambios en la directiva. Por ello, un grupo de expertos nombrado por el Comité Científico y Técnico de Euratom propuso una nueva revisión.

Para la elaboración de la nueva directiva se han tenido en cuenta las recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), y esta nueva norma cubre todas las categorías de exposición, desde la exposición ocupacional, a la población y médica, y diferenciando entre las situaciones de exposiciones existentes, planificadas y de emergencia. A partir de ahora y hasta 2018, cada país firmante de Euratom deberá adaptar su legislación al contenido de esta nueva directiva.

Además, en este nuevo número de *Alfa* repasamos las convenciones internacionales: acuerdos a través de los cuales los países se comprometen voluntariamente a adoptar, en el ámbito de su

legislación nacional, medidas legislativas, reglamentarias y administrativas en campos concretos en materia nuclear.

Otra forma de cooperación internacional es el apoyo que se puede ofrecer o recibir en una situación de emergencia radiológica. Dedicamos un reportaje al Centro Hispano-Luso de Redes Automáticas

*La nueva directiva
de protección
radiológica cubre todas
las categorías
de exposición:
ocupacional, de la
población y médica*

de Alerta Temprana y Vigilancia Radiológica Ambiental de Cáceres tras su inauguración para conocer cuál es su objetivo.

En la sección “El CSN por dentro”, conoceremos cuáles son las competencias y actividades de la Secretaría General, un órgano directivo que es primordial para el buen funcionamiento del Consejo. Coordina las actividades del Pleno bajo la tutela del presidente y de todos los servicios

del CSN, incluidas las dos direcciones técnicas, y actúa como secretaria del órgano colegiado y del Comité Asesor para la Información y Participación Pública.

Las páginas de la entrevista las ocupa el consejero Fernando Castelló, que centra sus respuestas en el proyecto del Almacén Temporal Centralizado de residuos radiactivos además de destacar la labor de colaboración regional entre organismos reguladores que lleva a cabo el Foro Iberoamericano.

El director del Instituto de Fusión Nuclear de la Universidad Politécnica de Madrid, José Manuel Perlado, nos acerca en su artículo a los trabajos que se están realizando para alcanzar las nuevas fuentes de energía como la fusión nuclear mediante confinamiento inercial desde instalaciones situadas en Estados Unidos y Francia.

También se analizan los esfuerzos que se están llevando a cabo para mejorar el equipamiento tecnológico que permita disponer de nuevos aceleradores de partículas que sustituyan, en un plazo razonable de tiempo, al ya archiconocido Gran Colisionador de Hadrones (LHC) del CERN. Sin abandonar ideas de futuro, en *Alfa* descubrimos de qué forma va a cambiar el grafeno la manera de entender la electrónica, la construcción, la energía y la salud en nuestras vidas.



ALFA

Revista de seguridad nuclear
y protección radiológica
Editada por el CSN
Número 26 / IV trimestre 2014

Comité Editorial

Fernando Martí Scharfhausen
Antonio Munuera Bassols
Fernanda Sánchez Ojanguren
Enrique García Fresneda
Ángel Laso D'Iom
Manuel Toharia Cortés
Ignacio Fernández Bayo

Comité de Redacción

Ángel Laso D'Iom
Concepción Muro de Zaro

Natalia Muñoz Martínez

Antonio Gea Malpica
Manuel Aparicio Peña
Ignacio Fernández Bayo

Edición y distribución

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

Coordinación editorial

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

Fotografías

CSN, Divulga, Javier Fernández,
iStockphoto y Depositphotos

Impresión

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

Fotografías de portada

Philip Saltonstall / JFReportajes
CSN

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

© Consejo de Seguridad Nuclear

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

REPORTAJES



4 La carestía del tecnecio compromete el diagnóstico médico

El tecnecio-99m es el isótopo más utilizado en medicina nuclear porque es idóneo para explorar órganos como el corazón, el cerebro y el hígado y detectar tumores esquivos a otras técnicas. Pero su disponibilidad está amenazada por su escasez y el envejecimiento de los reactores nucleares donde se produce.

15 Un acelerador de partículas de 100 kilómetros

El Gran Colisionador de Hadrones (LHC) consiguió su principal objetivo, descubrir la partícula de Higgs, y se propone ahora realizar muchos más descubrimientos hasta que termine su vida útil, hacia 2030. Pero los físicos de altas energías imaginan ya cómo será su sucesor, que podría multiplicar por cuatro el tamaño del LHC.

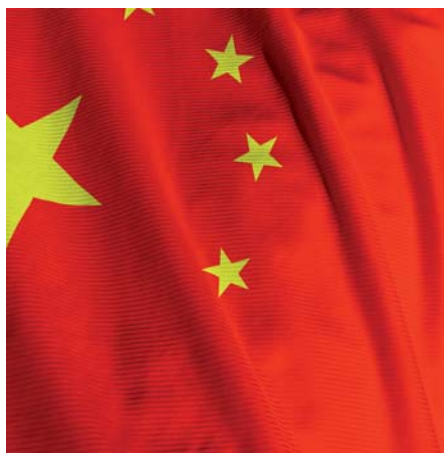


20 Las convenciones internacionales

Los problemas de seguridad nuclear y protección radiológica no conocen fronteras. Por ello, el Organismo Internacional de Energía Atómica promueve la creación de diferentes convenciones internacionales para impulsar la cooperación y mejorar las medidas de vigilancia y la seguridad de las instalaciones.

49 El Centro Hispano-Luso de Alerta Temprana y Vigilancia Radiológica Ambiental

En 2014 se ha inaugurado Alerta2, el nuevo Centro Hispano-Luso de Redes Automáticas de Alerta Temprana y Vigilancia Radiológica Ambiental, situado en el campus de la Universidad de Extremadura de Cáceres. Ha sido financiada por el Programa Europeo de Cooperación Transfronteriza España-Portugal.



54 Trabajo de chinos

La creciente demanda de tecnología nuclear por parte de países asiáticos, sobre todo China e India, ha cambiado el panorama del sector. Cuatro empresas españolas han formado el Spanish Nuclear Group for Cooperation (SNGC), para aprovechar sinergias entre sus productos y servicios y mejorar sus opciones de penetración en la zona.

58 La fiebre del grafeno

Los nuevos nanomateriales basados en moléculas de carbono aparecidos en los últimos treinta años, como los fullerenos, los nanotubos de carbono y el grafeno, han recibido varios premios Nobel y están revolucionando numerosos sectores, como la electrónica, la construcción, la energía y la salud. Pero aún son más las promesas que las realidades.

EL CSN POR DENTRO

42 **Secretaría General, la puesta a punto del CSN**

La Secretaría General del Consejo de Seguridad Nuclear es la responsable de asistir a los miembros del Pleno en su toma de decisiones, participando en sus reuniones con voz pero sin voto. Entre otras muchas funciones, también ejerce como la secretaria del Comité Asesor para la Información y Participación Pública del CSN.

40 **RADIOGRAFÍA**

El radón (^{222}Rn).

ENTREVISTA

34 **Fernando Castelló, consejero del CSN**

“En el proceso de licenciamiento del ATC debe primar el rigor sobre los plazos”.

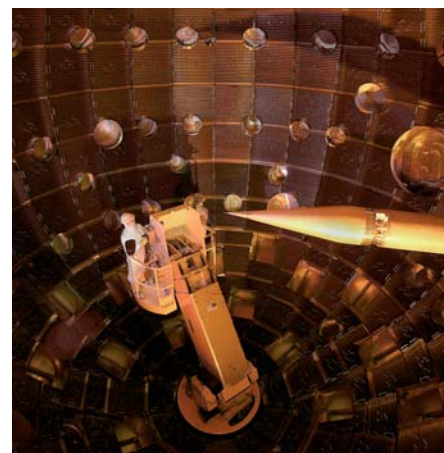
ARTÍCULOS TÉCNICOS

8 **La nueva directiva europea de protección radiológica**

En diciembre de 2013, la Unión Europea aprobó una nueva directiva que establece las normas básicas de protección contra los peligros de las radiaciones ionizantes. La nueva normativa, que deberá estar traspuesta a la legislación nacional antes de 2018, unifica y deroga varias directivas anteriores.

24 **Un paso crítico para la energía por fusión inercial y otros caminos hacia la ignición**

Durante los últimos meses de 2013 y los primeros de 2014, la estadounidense National Ignition Facility obtuvo resultados prometedores de ganancia energética en reacciones de fusión por confinamiento inercial por láser. Se presenta aquí un análisis de dichos resultados para valorar su auténtico alcance y las nuevas instalaciones destinadas a investigar en esta línea, como el Laser MegaJoule, en Francia.



45	Reacción en cadena
63	Panorama
67	Acuerdos del Pleno
68	El CSN informa
71	csn.es
72	Publicaciones

Las pruebas hospitalarias realizadas con gammacámaras dependen de un suministro que no está garantizado en los próximos años

La carestía del tecnecio compromete el diagnóstico médico

El tecnecio-99m es, con diferencia, el isótopo radiactivo más utilizado en todos los servicios de medicina nuclear. Por sus singulares características, este radioisótopo es idóneo para realizar exploraciones médicas del corazón, el cerebro, la glándula tiroides, el hígado y otros muchos órganos y para visualizar tumores difíciles de detectar por otros procedimientos. Pero la disponibilidad de este isótopo está amenazada por la escasez y el envejecimiento de los reactores nucleares donde actualmente se produce y por la falta de alternativas a corto plazo. Aunque en los hospitales españoles todavía no ha habido mayores problemas de abastecimiento, las alarmas han empezado a sonar. ■ Texto:

Gonzalo Casino | periodista científico ■

Cada día se realizan en los hospitales y centros médicos de todo el mundo unas 70.000 pruebas diagnósticas con tecnecio-99 metaestable (^{99m}Tc). Este isótopo radiactivo se inyecta unido a alguna molécula transportadora específica del órgano que se quiere explorar, de modo que la radiactividad detectada en la gammacámara ofrece información funcional de dicho órgano. Las exploraciones con radiofármacos basados en ^{99m}Tc (el isótopo unido a la molécula transportadora) se hacen de forma rutinaria desde hace décadas y representan el 80 % de todas las exploraciones con marcadores radiactivos que se realizan en los servicios de medicina nuclear. El diagnóstico de millones de pacientes depende de la disponibilidad de este isótopo, cuyo suministro se mantiene en un frágil equilibrio global que de vez en cuando se rompe y obliga, en alguna parte del mundo, a reducir o retrasar las exploraciones.

El ^{99m}Tc es desde hace décadas el radioisótopo de referencia en la medicina nuclear por sus especiales características, que lo hacen idóneo para el diagnóstico. Aitor Zubiarain, responsable de operaciones de IBA-Molypharma, una de las empresas que lo suministran en España, destaca tres de sus virtudes. La primera es el tipo de radiación que emite este isótopo (rayos gamma), cuya energía (140 keV) se considera idónea para la obtención de imágenes; la segunda es que la dosis necesaria para las exploraciones no es muy alta y su rápida desintegración implica una exposición radiactiva limitada, y la tercera, la capacidad que tiene de enlazarse a muchos fármacos transportadores específicos de diferentes órganos, lo que permite una gran variedad de estudios.

El periodo de semidesintegración del ^{99m}Tc , es de 6,02 horas. Este periodo (mal llamado, a veces, vida media) es el tiempo transcurrido desde que se produce el



Reactor de Chalk River (Canadá).

radioisótopo hasta que se desintegran la mitad de los átomos, y define el margen temporal en el que debe realizarse la exploración diagnóstica. En el caso de este isótopo “es muy bueno, porque no es ni muy largo ni muy corto, lo que evita irradiar mucho al paciente y permite no ir con demasiadas prisas”, destaca José Luis Carreras, jefe del Servicio de Medicina Nuclear del Hospital Universitario Clínico San Carlos de Madrid. Esta ventana temporal de seis horas es un factor limitante en el sistema de producción y distribución de este isótopo, aunque no el único y ni siquiera el más decisivo.

La cadena de producción, fabricación y distribución del ^{99m}Tc , que empieza en los reactores nucleares y acababa en los servicios de medicina nuclear, es sofisticada en su conjunto y especialmente delicada en varios puntos. De entrada, este isótopo se produce mayormente en solo cinco reactores nucleares, localizados en Canadá, Holanda, Bélgica, Francia y Sudáfrica, y responsables, respectivamente, del 40, 30, 10, 10 y 10 % de la producción mundial. Estos equipamientos, de titularidad pública, son reactores de investigación que ya tienen en torno al medio siglo de vida y se ven obligados a frecuentes paradas y revisiones que obligan a reducir la producción.

Reactores parados

Los problemas que experimentan estos reactores son cada vez más habituales y su duración cada vez mayor. Algunos de estos incidentes han representado auténticas crisis de suministro, como la parada inesperada que sufrió en agosto de 2008 el reactor HFR, en Petten (Holanda), que lo mantuvo sin funcionar hasta septiembre de 2010, o las sucesivas paradas que ha sufrido en los últimos años el



José Luis Carreras.



Primer generador de tecnecio-99m, de 1958.

reactor de Chalk River, en Canadá. “La situación ha llegado a ser crítica con consecuencias para muchos pacientes, ya que ha supuesto, en función del momento y el lugar, la cancelación o el retraso de entre el 20 % y el 70 % de los procedimientos diagnósticos previstos”, afirma Aitor Zubizarraín.

En España, de todas formas, las consecuencias no han sido graves. “Hasta la fecha no hemos tenido que dejar de hacer ninguna exploración por falta de tecnecio”, subraya José Luis Carreras, que supone que esta situación es similar en todos los hospitales españoles, al menos en los públicos. “No hemos tenido ningún problema”, corrobora Lluís Donoso, director del Centro de Diagnóstico por la Imagen del Hospital Clínic de Barcelona. “Hace unos cuatro años hubo alguna complicación con el suministro por el parón de un reactor y recibimos incluso

Alternativas y soluciones

En Europa, los procedimientos de medicina nuclear son la segunda técnica de diagnóstico por imagen más habitual, solo por detrás de la tomografía axial computarizada o TAC, y por delante de la resonancia magnética. Las exploraciones con ^{99m}Tc parecen, hoy por hoy, insustituibles a corto plazo. Por ello, como destaca Aitor Zubiarrain, responsable de operaciones de IBI-Molypharma, resulta necesario coordinar la producción de los reactores nucleares actuales, para que no se solapen en sus paradas de mantenimiento, así como mejorar la logística para reducir el tiempo entre que se irradian los blancos de uranio hasta que se inyectan los radiofármacos en los pacientes.

La demanda europea de ^{99m}Tc está actualmente estancada y podría incluso descender en los próximos años, según Zubiarrain, pero por el contrario podría aumentar en los países en desarrollo. A medio plazo, sin embargo, subraya que es necesario construir nuevos reactores que aumenten la capacidad de producción y sustituyan a los que vayan cerrando. Asimismo, recalca que hay que seguir investigando en la búsqueda de métodos alternativos para producir ^{99}Mo o la producción directa de ^{99m}Tc en ciclotrones.

“El problema más grave es que en los próximos años, hasta 2020, hay un riesgo serio de que algunos de los reactores actuales dejen de funcionar”, dice Zubiarrain. “Para abordar este problema hay esfuerzos en marcha, principalmente por parte de la OCDE y de la Unión Europea. Pero si no somos capaces de garantizar la producción de este isótopo radiactivo con nuevos reactores o por medios alternativos, estaríamos asistiendo al final ^{99m}Tc para la medicina nuclear”.

Mientras tanto, entre las posibilidades reales para hacer frente a la carestía de este isótopo están, según José Luis Carreras, la reducción de la dosis utilizada en las exploraciones y la realización, cuando sea posible, de la exploración diagnóstica mediante la tomografía por emisión de positrones o PET. “Si el tecnecio se convierte en un isótopo escaso y caro, habrá que ir sustituyendo las exploraciones con PET”, confirma Lluís Donoso, “aunque hoy por hoy estos equipamientos son mucho más caros y su implantación mucho menor”.



Aitor Zubiarrain.

^{235}U , e incluso no todos los países que quieran pueden hacerlo”, explica Zubiarrain. Los reactores nucleares que existen en España, por ejemplo, no son adecuados para producir ^{99}Mo .

La producción de este isótopo de molibdeno se ha venido haciendo en reactores de investigación públicos, como una actividad residual, pues su prioridad ha sido siempre la investigación nuclear, ya sea civil o militar. Esta actividad residual se ha convertido, sin embargo, en una línea de producción indispensable

para garantizar el suministro de tecnecio a los hospitales. A pesar de que el mercado de los radiofármacos con ^{99m}Tc supera los 1.000 millones de euros anuales, “el precio no cubre los costes de producción”, afirma Zubiarrain. Como la producción de ^{99}Mo es una actividad deficitaria, los países que mantienen los reactores consideran que están en

cierto modo sufragando la medicina nuclear del resto del mundo, según explica este experto, y están ejerciendo presiones para que la situación cambie.

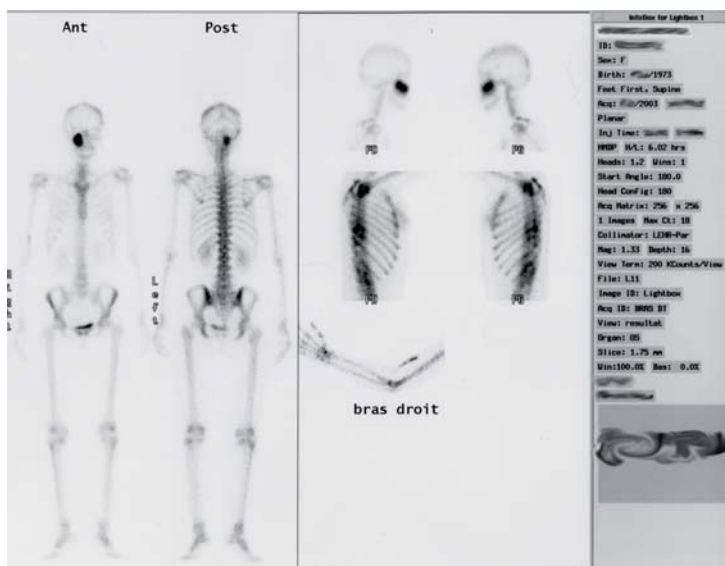
Hasta ahora los proyectos emprendidos por algún país para construir un nuevo reactor rentable comercialmente no han fructificado, según Zubiarrain. “La solución”, como advierte, “no puede venir de un solo país, debe ser conjunta”. Aparte de este problema fundamental, el procesamiento del ^{235}U una vez irradiado para extraer de él ^{99}Mo es un cuello de botella notable, pues solo hay tres centros de procesado en todo el mundo, tanto públicos como privados.

El amplio uso de ^{99m}Tc en la medicina nuclear no hubiera sido posible sin el desarrollo, en 1958, del llamado generador de $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$, un dispositivo que contiene el isótopo padre (^{99}Mo), que va decayendo continuamente en ^{99m}Tc a un ritmo marcado por su periodo de semi-

una circular de la Administración y de las compañías suministradoras avisándonos, pero desde entonces no ha vuelto a ocurrir nada parecido”.

Para ser precisos, la crisis del tecnecio es en realidad una carestía de molibdeno. En los reactores nucleares no se produce ^{99m}Tc , sino su isótopo padre, el molibdeno-99 (^{99}Mo), que se obtiene a

partir de uranio-235 (^{235}U) enriquecido. Esta materia prima representa un primer escollo en todo el proceso, pues el ^{235}U se utiliza también para la fabricación de armamento nuclear y está sometido a las restricciones impuestas por el Tratado de No Proliferación Nuclear. “No todos los países pueden producir ^{99}Mo , dado que no todos disponen de



Izquierda, equipo de tomografía computarizada por emisión de fotón único (SPECT) de rayos gamma. Derecha, gammagrafía ósea.

desintegración, que es de 66 horas (en este tiempo la mitad de ^{99}Mo se convierte en $^{99\text{m}}\text{Tc}$). En todo el mundo hay cinco fabricantes principales de estos generadores, que son los suministradores de los centros médicos.

El proceso de generación

La obtención de $^{99\text{m}}\text{Tc}$ del generador se realiza mediante un procedimiento de elución con suero salino. El ^{99}Mo permanece pegado a las paredes de alúmina contenida dentro de una columna de vidrio, mientras que el $^{99\text{m}}\text{Tc}$ que se va produciendo continuamente puede ser arrastrado y recuperado con el suero salino. Un generador dura aproximadamente una semana, explica Carreras, y cada día se pueden realizar una o dos eluciones de tecnecio.

El $^{99\text{m}}\text{Tc}$ se une entonces a un fármaco transportador específico del órgano que se quiere explorar, para constituir el radiofármaco que se inyecta al paciente. La manipulación de los generadores se puede hacer en una radiofarmacia hospitalaria o bien en una radiofarmacia centralizada, gestionada por una compa-

ñía farmacéutica, que ofrece ya las monodosis individualizadas para cada paciente. Este último es el modelo del Hospital Clínico de Madrid y de otros muchos hospitales. El modelo alternativo es el del Clínic de Barcelona, que gestiona su propia radiofarmacia, en la que se realizan las eluciones de $^{99\text{m}}\text{Tc}$ y se elaboran los radiofármacos. En España, el 60 % de las monodosis se preparan en radiofarmacias gestionadas, ya sean centra-



Lluís Donoso.

lizadas o intrahospitalarias. De cada generador se puede obtener un centenar de dosis, y el precio de cada una puede oscilar entre los 10 y los 200 euros, dependiendo de la molécula transportadora.

“La mayoría de los hospitales de Madrid compramos los productos marcados a una radiofarmacia centralizada. Aunque se pierde un poco de agilidad en el manejo, de este modo se consigue aprovechar mejor el molibdeno”, explica Carreras. Los servicios de medicina nuclear suelen hacer los pedidos de radioisóto-

pos la víspera de las exploraciones programadas, y los reciben a primera hora de la mañana ya en jeringuillas, listos para ser inyectados en los pacientes y realizar las pruebas. En un hospital de primer nivel, como puede ser el Hospital Clínico de Madrid, se realizan unos 40 estudios diagnósticos diarios con $^{99\text{m}}\text{Tc}$, según el jefe del Servicio de Medicina Nuclear de dicho centro, José Luis Carreras. En el Clínic de Barcelona se realizan unas 10.000 exploraciones anuales con $^{99\text{m}}\text{Tc}$, según Lluís Donoso.

“Ha habido temporadas en las que los suministradores nos han pedido trabajar con dosis más bajas, para ahorrar tecnecio”, reconoce Carreras. La disminución de las dosis de radiofármacos no implica una reducción de la calidad de la exploración, subraya este especialista, sino simplemente una mayor duración de la prueba. Algunas exploraciones, como una gammagrafía tiroidea, duran muy poco, apenas cinco minutos, mientras que otras pueden durar casi una hora, como una gammagrafía suprarrenal. En cualquier caso, la radiactividad que recibe el paciente es mínima y no depende de la duración de la prueba, sino de la cantidad de radioisótopo inyectada.



Deberá estar traspuesta a la legislación española antes de 2018

La nueva directiva europea de protección radiológica

El 5 de diciembre de 2013 la Unión Europea aprobó la Directiva 2013/59/Euratom, que establece las normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes, y en cuya elaboración se han tenido en cuenta las nuevas recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP). Su aprobación ha supuesto la derogación de varias directivas europeas anteriores. Los países miembros deberán adaptar su legislación a la nueva directiva antes del año 2018.

Para ello, en España se ha creado un grupo de trabajo en el que participan los ministerios de Industria, Sanidad, Empleo, Fomento e Interior y el Consejo de Seguridad Nuclear. En este artículo se analizan las principales características de la nueva directiva y los cambios que introduce respecto de la situación anterior.

■ Texto: **M^a Fernanda Sánchez, Lucila M^a Ramos, Javier Zarzuela, Miguel Calvín, Maite Sanz, Alfredo Mozas, M^a Jesús Muñoz y Ana Hernández** | Comité de Gestión de la Dirección Técnica de Protección Radiológica del CSN ■

El artículo 30 del Tratado Euratom prevé el establecimiento en la Comunidad Europea, actualmente Unión Europea, de normas básicas uniformes dirigidas a la protección radiológica de la población y de los trabajadores frente a los peligros que resulten de las radiaciones ionizantes.

Dichas normas básicas se establecieron por primera vez en 1959, mediante una directiva del Consejo, y han sido modificadas en repetidas ocasiones para tener en cuenta el progreso de los conocimientos científicos en materia de protección radiológica. La última traspuesta a la legislación de los países miembros es la Directiva 96/29/Euratom.

Los avances y nuevos conocimientos científicos, así como una mayor experiencia práctica en temas de protección radiológica, llevaron al grupo de expertos designado por el Comité Científico y Técnico de Euratom a proponer la revisión de la mencionada directiva.

Por otra parte, se consideró necesario incluir en una única directiva todos los temas relacionados con la protección contra los riesgos de exposición a las radiaciones ionizantes.

Una vez finalizado el proceso de revisión, se ha aprobado, con fecha de 5 de diciembre de 2013, la nueva Directiva 2013/59/Euratom, por la que se establecen normas de seguridad básicas para la protección contra los riesgos derivados de la exposición a radiaciones ionizantes.

En su elaboración se han tenido en cuenta las nuevas recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), en particular las de su Publicación 103, y se diferencia entre las situaciones de exposiciones existentes, planificadas y de emergencia. Igualmente, la nueva directiva cubre todas las categorías de exposición: ocupacional, de la población y médica.

Tabla 1. Límites de dosis

	Directiva 96/29	Directiva 2013/59
Límite de la dosis efectiva en la exposición ocupacional	100 mSv/ 5 años, con ningún año por encima de 50 mSv	20 mSv/ año. En circunstancias especiales, hasta 50 mSv/año bajo autorización
Límite de la dosis equivalente para el cristalino	150 mSv/año	20 mSv/año o 100 mSv/5 años, con ningún año por encima de 50 mSv

Con esta aprobación quedan derogadas no solo la Directiva 96/29/Euratom, sino también las que a continuación se relacionan, ya que su ámbito de aplicación se ha incluido dentro de la actual: Directiva 89/618/Euratom, relativa a la información de la población sobre las medidas de protección sanitaria aplicables y sobre el comportamiento a seguir en caso de emergencia radiológica; Directiva 90/641/Euratom, relativa a la protección operacional de los trabajadores exteriores con riesgo de exposición a radiaciones ionizantes por intervención en zona controlada; Directiva 97/43/Euratom, relativa a la protección de la salud frente a los riesgos derivados de las radiaciones ionizantes en exposiciones médicas; y Directiva 2003/122/Euratom, sobre el control de las fuentes radiactivas selladas de actividad elevada y de las fuentes huérfanas.

Tras la aprobación de la Directiva 2013/59/Euratom, los países miembros deberán adaptar su legislación al contenido de esta antes del año 2018. En el caso de España, se ha creado para ello un grupo de trabajo con los siguientes participantes: Ministerio de Industria, Energía y Turismo, Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad, Ministerio de Empleo y Seguridad Social, Ministerio de Fomento, Ministerio del Interior y Consejo de Seguridad Nuclear.

A lo largo de este artículo se analizarán algunos temas destacables de la

nueva directiva con respecto a la anterior: límites de dosis, exposiciones derivadas de prácticas legales, exposiciones médicas, protección del público y el medio ambiente y emergencias.

Límites de dosis

El artículo 9, “Límites de dosis para exposición ocupacional”, modifica los límites respecto a los vigentes. Los principales cambios aparecen en la tabla 1.

La superación de la dosis de 20 milisievert (mSv) en un año, con un máximo de 50 mSv, pasa a requerir la autorización expresa de la autoridad reguladora, que en España sería el CSN. Tiene por objeto garantizar que los trabajadores no sobrepasen los 20 mSv/año y que si lo hacen, en circunstancias especiales, el trabajador tenga la garantía de que esas circunstancias han sido adecuadamente analizadas, justificadas y aprobadas por el regulador, lo cual aporta mayores garantías que en la reglamentación vigente. No obstante, la experiencia en nuestro país indica que el límite de 20 mSv/año solo se ha sobrepasado en caso de accidente en la industria de gammagrafía, con una tasa de ocurrencia que ha bajado acusadamente en los últimos años.

La disminución de límite más importante y que tendrá mayor impacto práctico será la de la dosis equivalente para el cristalino, que pasa de 150 a 20 mSv/año, aunque permite la flexibilidad de que sean 100 mSv en cinco años, siempre que ningún año supere los 50 mSv. El cambio tiene su base en las últi-

mas evidencias científicas recopiladas y analizadas por la ICRP, que recogió la recomendación de establecer este nuevo límite en el *Statement on Tissue Reactions* de abril de 2011.

La implantación y verificación de cumplimiento de este nuevo límite, que afecta particularmente al campo de la radiología intervencionista, requerirá desarrollos de nuevas metodologías de medida de dosis equivalente al cristalino, para lo que se necesitará la participación de instituciones científicas y profesionales.

Prácticas legales

Otra novedad de la directiva es el artículo 22, que introduce el requisito de que se identifiquen y regulen las prácticas que conlleven exposiciones para la obtención de imágenes no médicas, por prácticas legales.

Los Estados miembros garantizarán que se identifiquen todos los tipos de prácticas que caen dentro de este epígrafe. Sin que la lista sea excluyente, se citan una serie de usos de radiación ionizante de este tipo, tales como: 1) evaluación radiológica de la salud con fines de contratación, 2) de inmigración, 3) del desarrollo físico de niños y adolescentes en relación con una carrera en el deporte, 4) evaluación radiológica de la edad, 5) identificación de objetos ocultos dentro del cuerpo humano o adheridos a él, 6) detección de personas ocultas como parte del examen de un cargamento.

Los Estados miembros garantizarán que están justificados todos estos tipos de prácticas antes de su aceptación general, así como los procedimientos concretos de aplicación, los cuales tendrán en cuenta los objetivos específicos del procedimiento y las características de cada persona afectada.

En casos debidamente justificados, se permite a los Estados miembros excep-

tuar algunos de los requisitos de restricción de dosis ocupacionales y al público.

Para las prácticas así justificadas, se deberán establecer los siguientes requisitos:

a) La práctica estará sujeta a autorización.

b) Los criterios para su aplicación individual se habrán establecido en cooperación con otros organismos y sociedades médico-científicas, cuando proceda.

c) Si se utilizan equipos médico-radiológicos se aplicarán los requisitos aplicables, tales como la participación de expertos en física médica y el establecimiento de niveles de referencia específicos para diagnóstico.

Si se utilizan otro tipo de equipos, las restricciones de dosis se situarán significativamente por debajo del límite de dosis para miembros del público.

d) Se proporcionará información y se pedirá consentimiento a las per-

sonas afectadas. En determinados casos, las autoridades podrán actuar sin dicho consentimiento de acuerdo con la legislación nacional.

La aplicación de este artículo va a conllevar, aparte del correspondiente desarrollo reglamentario, la necesidad de emitir una serie de normas de menor rango que establezcan los requisitos de aplicación de cada práctica por la autoridad correspondiente, así como una tarea importante de desarrollo de procedimientos y formación de los funcionarios y entidades encargados de aplicarlas.

Dentro del capítulo VII, sobre usos médicos, se incluyen nuevas definiciones y se refuerzan los principios de justificación y optimización. Respecto al primero (artículo 55), se regula la aplicación de procedimientos radiológicos en individuos asintomáticos, y respecto al segundo (artículo 56), se requiere el establecimiento, uso y revisión periódica de niveles de referencia en diagnóstico



La nueva directiva afecta a todas las categorías de exposición: ocupacional, de la población y médica.



Se busca la protección radiológica tanto de los pacientes como de los profesionales de la medicina.

(incluyendo intervencionismo), que habrán de basarse en niveles de referencia europeos.

Ambos requisitos necesitarán el correspondiente desarrollo reglamentario. En cuanto al segundo, además, requerirá la participación de España en el establecimiento de los niveles de referencia europeos, para lo cual se deberán de hacer y/o actualizar las correspondientes prospecciones en nuestro país.

Exposiciones médicas

El artículo 63, “Exposiciones accidentales y no intencionadas”, de este capítulo VII requiere a los Estados miembros ga-

rantizar que se adopten todas las medidas razonables para reducir al máximo la probabilidad y magnitud de exposiciones accidentales o no intencionadas de personas sometidas a una exposición médica.

En particular, el apartado b), de nuevo cuño, requiere asegurar que “para las prácticas radioterapéuticas, el programa de garantía de calidad incluya un estudio del riesgo de exposiciones accidentales o no intencionadas”. De este modo, se reconoce que la radioterapia es la práctica que conlleva mayor riesgo para los pacientes y establece un requisito en consecuencia.

A este respecto, merece destacarse el esfuerzo que están haciendo tanto el CSN como una serie de profesionales y centros sanitarios de nuestro país desde hace años para desarrollar una metodología de análisis de riesgos en radioterapia. En efecto, el Proyecto MARR (MATrices de Riesgos en Radioterapia) ya ha desarrollado una metodología, cuya aplicación permite a los servicios de radioterapia cumplir perfectamente este requisito.

Adicionalmente, el apartado f) del artículo 63 requiere que “existan mecanismos para difundir puntualmente la información relevante para la protección radiológica en exposiciones médicas, en relación con las lecciones aprendidas de sucesos significativos”. Esta es una responsabilidad que atañe principalmente a las autoridades sanitarias, a las que el CSN brindará sus conocimientos y experiencia de análisis y difusión de experiencia operativa de sucesos, tanto en el ámbito español como internacional.

Público y medio ambiente

Las principales novedades de la nueva directiva de normas básicas en relación con la protección del público y el medio ambiente tienen que ver con el tratamiento dado a las fuentes naturales de radiación, con las situaciones de exposición existente y con la protección a largo plazo de la salud de la población frente a la exposición debida a la realización normal de las prácticas, ligando esta protección a la del medio ambiente.

Los cambios más relevantes se refieren a las situaciones de exposición existente. Se incluyen modificaciones en el control de la exposición en áreas contaminadas y la exposición debida al radón en lugares de trabajo, se introduce por primera vez la exposición debida a materiales de construcción y al radón en viviendas y se requiere el desarrollo de un plan de acción nacional frente al radón.

Exposición debida a fuentes naturales de radiación

La Directiva 96/29/Euratom establecía, en su ámbito de aplicación, que de conformidad con el título VII, se aplicaría a toda actividad laboral con fuentes naturales de radiación que diera lugar a un aumento significativo de la exposición de los trabajadores o de miembros del público que no pudiese considerarse despreciable desde el punto de vista de la protección radiológica. En el título VII regulaba el incremento significativo de la exposición debida a fuentes naturales de radiación.

La Directiva 2013/59/Euratom establece que la protección contra las fuentes de radiación naturales, en lugar de tratarse separadamente en un título específico, debe integrarse totalmente en los requisitos globales. En particular, las industrias que procesan materiales que contienen radionucleidos naturales deben gestionarse dentro del mismo marco reglamentario que otras prácticas.

Protección del público y el medio ambiente en condiciones normales

La sección 1 del capítulo VIII, “Exposiciones poblacionales”, contiene las normas de protección para la población, incluyendo la protección a largo plazo, en condiciones normales de operación.

En este ámbito distingue entre las prácticas que requieren un proceso de licenciamiento y las prácticas sujetas a registro. Para las prácticas sujetas a licenciamiento requiere el establecimiento de límites de vertido y condiciones para la descarga de efluentes. En las condiciones de descarga se deberá considerar la protección a largo plazo de la salud de la población, cuando así lo haya establecido el Estado miembro. En las prácticas sujetas a registro no se requieren autorizaciones de vertido específicas, garantizándose la protección del público me-

dante la publicación de recomendaciones y regulación apropiadas.

Se deben identificar las prácticas en las que es necesario realizar estimaciones de dosis al público, especificando en las que se requiere una estimación realista y aquellas en las que es suficiente una estimación conservadora o de cribado.

La autoridad competente debe requerir a los titulares de las prácticas que realicen la vigilancia de las descargas, mediante medidas o estimaciones, según se considere adecuado, y remitan los resultados a dicha autoridad.

Para las centrales nucleares o plantas de reprocesado esta información debe estar estandarizada. En este aspecto, en el preámbulo de la directiva se hace referencia a las recomendaciones de 2004 de la Comisión (EC Recommendations 2004/2/Euratom).

La directiva considera la protección del medio ambiente ligada a la protección a largo plazo de la salud de la población.

Inicialmente se pretendió introducir la protección del medio ambiente *per se*, siguiendo las recomendaciones de la ICRP, que se recogen en un capítulo específico (antiguo capítulo IX). Sin embargo, este tuvo que ser eliminado ya

que, de acuerdo con los servicios jurídicos de la Comisión, no existe en la legislación comunitaria base legal para requerir esta protección.

La conexión entre la protección de la salud a largo plazo de la población y la protección del medio ambiente se introduce en el propio alcance de la directiva. Además, en uno de los considerando del preámbulo, se indica que la legislación comunitaria considera la contaminación del medio ambiente exclusivamente como una vía de exposición de los miembros del público a los vertidos radiactivos. Sin embargo, como la situación del medio ambiente puede afectar a la salud de la población a largo plazo, se considera necesario implantar una política para su protección, teniendo en cuenta criterios ambientales basados en datos científicos reconocidos internacionalmente (ICRP, OIEA, UNSCEAR...).

Por último, como se ha comentado anteriormente, en el capítulo VIII se requiere que en las autorizaciones de vertido de efluentes se tengan en cuenta, cuando proceda, los resultados de una estimación genérica de dosis, con carácter de cribado, para demostrar que se cumplen los criterios ambientales para la



Algunas industrias, como la de la cerámica, se ven afectadas por la nueva normativa.



Apilamiento de fosfoyesos ligeramente radiactivos en las marismas del río Tinto.

protección de la salud de la población a largo plazo.

Esta situación resulta confusa, ya que no se explica claramente cuál es la conexión entre estos criterios ambientales y la protección radiológica a largo plazo. Por ello, serán necesarias directrices y orientaciones por parte de la Comisión.

Situaciones de exposición existentes

El título IX de la derogada Directiva 96/29 Euratom regulaba las intervenciones en caso de exposición perdurable. En la nueva directiva se denominan, de acuerdo con la ICRP, situaciones de exposición existentes, y se introducen modificaciones importantes.

La sección 3 del capítulo VIII considera, entre las situaciones de exposición existentes, las áreas contaminadas. En estas áreas se requiere la implantación de estrategias de protección optimizadas y se definen los aspectos que deben considerar estas estrategias.

En áreas con una contaminación residual duradera en las que se ha permitido la residencia de la población, se requiere que los Estados miembros garanticen que se han establecido medidas para el control de la exposición, consultando con los grupos de interés, a fin de alcanzar condiciones de vida consideradas normales. Estas medidas de control deberán incluir la definición de niveles de referencia, medidas de autoprotección de la población o acciones de remedio si procede.

Las responsabilidades de los Estados miembros y de las autoridades competentes en esta materia se recogen en el capítulo IX. Estas responsabilidades incluyen identificar y evaluar las situaciones de exposición existentes, determinar la exposición del público y de los trabajadores y definir e implantar las estrategias para la gestión de situaciones de exposición existente, que se recogen en el anexo XVa.

La exposición en el interior de los edificios a la radiación gamma procedente de los materiales de construcción

es una situación de exposición existente que se considera por primera vez.

Para estas situaciones se establece un nivel de referencia de 1 mSv/año, que aplica a materiales de construcción previamente identificados como relevantes bajo el punto de vista de la protección radiológica. El anexo XI de la directiva recoge una lista indicativa de estos materiales. También aplicaría a los materiales recogidos en el plan de acción nacional del radón, que se describirá a continuación.

Si se supera el nivel de referencia, la autoridad competente decidirá las medidas o restricciones necesarias, que pueden recogerse en el Código Técnico de Edificación con carácter general.

Para su implantación, este aspecto de la directiva se complementa con el Reglamento 305/2011 de productos de construcción, puesto que la información relativa a la radiación gamma emitida deberá incluirse en el marcado CE que se coloca sobre la etiqueta del producto.

La exposición al radón en viviendas es otra de las situaciones de exposición existentes introducidas por primera vez en una directiva de normas básicas.

Se establece un nivel de referencia de 300 Bq/m³ y no se distingue entre edificios nuevos y antiguos, o edificios con acceso público. Se requiere la identificación de las viviendas con concentraciones de radón superiores a los niveles de referencia, dentro de un plan de acción nacional para la gestión del riesgo de exposición al radón a largo plazo, y fomentar la aplicación de medidas para reducir las concentraciones de radón.

Los Estados miembros deben garantizar la divulgación de la información sobre las concentraciones de radón y sus riesgos, sobre la importancia de realizar medidas y sobre los medios técnicos para reducir las concentraciones.

Los Estados miembros deben desarrollar, según el capítulo IX, ese plan

Tabla 2. Niveles de referencia de las exposiciones en emergencias

Exposiciones ocupacionales	Exposiciones público
■ < 50 mSv de dosis efectiva (E), siempre que sea posible. Si no fuera factible por la situación de la emergencia: ■ < 100 mSv de dosis efectiva ■ Entre 100 mSv y 500 mSv de dosis efectiva en casos excepcionales (personal voluntario e informado)	■ Entre 20 mSv y 100 mSv de dosis efectiva (aguda o anual) ■ < 20 mSv de dosis efectiva cuando puedan proporcionarse medidas de protección adecuadas que no sean desproporcionadas o de coste excesivo

de acción nacional cuyos aspectos básicos se definen en el anexo XVI de la directiva.

También la exposición al radón en lugares de trabajo se considera una situación de exposición existente, aunque se incluye en el capítulo VI, relativo a protección ocupacional.

Se establece un nivel de referencia de 300 Bq/m³, salvo que se justifique otro valor por las circunstancias nacionales del país. Se deben realizar medidas de acuerdo con las áreas identificadas en el plan nacional. Si las concentraciones medias de radón superan el nivel de referencia, se deberán adoptar medidas de remedio. Si, tras implantar estas, se siguen superando los niveles de referencia, se requiere la notificación conforme a lo establecido en los artículos 25 y 33.

Es necesario realizar una reevaluación periódica. Solo si las dosis superan 6 mSv/a, se tratará como exposición ocupacional.

La Instrucción del Consejo IS-33, sobre criterios radiológicos para la protección frente a la exposición a la radiación natural, incluye la protección frente al radón, y establece un nivel de referencia de 600 Bq/m³, por lo que será necesario realizar un análisis detallado para determinar si es posible implantar los 300 Bq/m³ o justificar un valor más elevado, como prevé la directiva.

Emergencias

Con respecto a la gestión de situaciones de emergencia, la directiva contempla una serie de aspectos novedosos que con-

trastan con el enfoque actual y que cabe destacar a continuación.

Los actuales conceptos de niveles de dosis para las exposiciones ocupacionales y niveles de intervención para la exposición al público, ambos referidos a situaciones de emergencia, se sustituyen por el establecimiento de niveles de referencia (véase la tabla 2) definidos en términos de dosis efectiva (no límites de dosis); se aplican estrategias de optimización de la protección que permiten proteger a las personas y, en el caso de la población, se tienen también en consideración criterios sociales. En este último sentido, se potencia la participación de los grupos de interés en el proceso de toma de decisiones.

Asimismo, compatibiliza el establecimiento de los citados niveles de referencia con una posible adopción de medidas de protección a la población de forma automática y preventiva, basándose en las condiciones de los escenarios accidentales que se presenten, es decir, en función de la degradación de la seguridad de las instalaciones.

La directiva otorga un mayor énfasis al periodo de transición desde la fase de emergencia a la de recuperación (evolución desde la situación de exposición en emergencia a la de exposición existente), e incide también en la necesidad de establecer asimismo niveles de referencia apropiados para la citada fase de transición.

Por último, en relación con la cooperación internacional en situaciones de emergencia con potenciales consecuen-

cias radiológicas transfronterizas, la directiva va más allá de lo establecido en la Decisión 87/600/Euratom del Consejo, al impulsar no solo el intercambio de información entre los Estados miembros y la Comisión, sino también entre los Estados miembros entre sí, y fomenta la firma de acuerdos bilaterales entre países a fin de compartir la evaluación de la situaciones de exposición en emergencias y de coordinar las medidas de protección e información a la población. Este impulso de la cooperación internacional es coherente con el enfoque que están desarrollando actualmente HERCA-WENRA (asociaciones de reguladores europeos) y el OIEA en materia de coordinación internacional de la gestión de las emergencias nucleares, en cuyos grupos de trabajo está participando de manera destacada el CSN.

De cara a la transposición de la directiva específicamente en esta materia, la normativa que se está analizando con profundidad para proceder a su modificación en la parte que corresponda incluye el Plan Básico de Emergencia Nuclear (Plaben) junto con la directriz que desarrolla los criterios sobre información previa a la población, la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo Radiológico (DBRR) junto con la Guía Técnica del CSN que desarrolla sus criterios radiológicos para su implantación, y la resolución del Acuerdo del Consejo de Ministros sobre el comportamiento que ha de seguir la población en caso de emergencias radiológicas. ©

Los físicos de altas energías imaginan ya el acelerador que sustituirá al LHC dentro de 30 años

Un acelerador de partículas de 100 kilómetros

El Gran Colisionador de Hadrones logró su primer gran objetivo al observar el Higgs, pero ese era solamente el primero de sus objetivos. La física no deja de buscar formas de mejorar el equipamiento tecnológico, y muchos ya vislumbran el siguiente gran complejo para acelerar partículas. Los recursos parecen debatirse ahora entre una actualiza-

ción del LHC o apostar por el International Linear Collider que podría ubicarse en Japón. Pero, más allá de las próximas dos décadas, los antaño fantásticos proyectos para construir aceleradores de partículas que puedan superar los 100 TeV están comenzando a tomar forma.

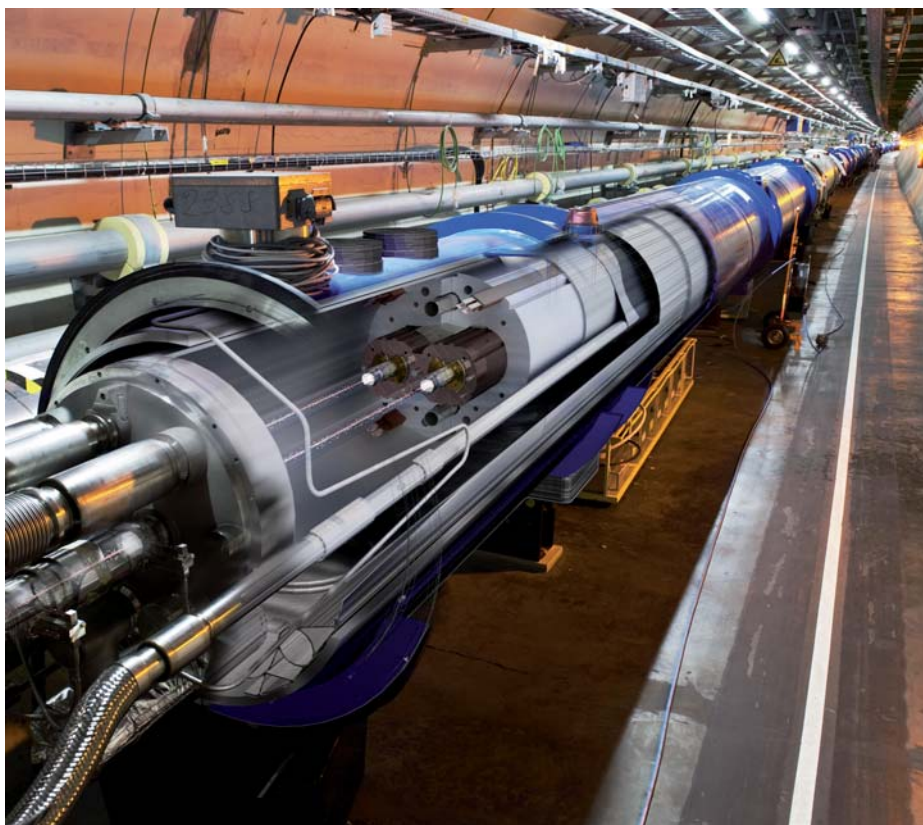
■ Texto: **Antonio Villarreal** | periodista científico ■

A principios de 2015, el Gran Colisionador de Hadrones (LHC) del CERN se pondrá de nuevo en marcha tras 20 meses de parada técnica, que se han dedicado a mejorar la calibración de los instrumentos y a preparar los sistemas de este acelerador de partículas, el mayor del mundo, para soportar una energía que casi doblará la anterior, pasando desde los 7 hasta los 13 TeV (teraelectronvoltios)*. Tras la exitosa campaña científica que, en julio de 2012, llevó a los responsables de los experimentos ATLAS y CMS a observar por primera vez una nueva partícula compatible con el bosón de Higgs, hay muchas esperanzas puestas en que el LHC siga revelando la existencia de partículas y fenómenos fundamentales que hasta ahora solo se han predicho teóricamente, como los miniagujeros negros o las partículas supersimétricas.

Muchos opinan que el sofisticado mecanismo del CERN no ha hecho sino dar sus primeras respuestas y que aún hay mucho margen de mejora. Pero dentro de la física de partículas también hay

quienes piensan que hay que empezar ya a definir el próximo gran colisionador, aduciendo que, en un par de décadas, la energía máxima del LHC (14 TeV) será insuficiente para afrontar los próximos retos de la disciplina.

A este respecto, David Charlton, portavoz del experimento ATLAS, se sitúa en el primer grupo. “Apenas hemos empezado el programa del LHC y hemos estado funcionando a la mitad de su energía nominal, así que solo hemos recogido



Vista del interior del LHC, el mayor acelerador del mundo en la actualidad.

* El electronvoltio es una medida de energía muy utilizada en física de partículas que equivale a $1,602176462 \times 10^{-19}$ julios.

algo así como el 1 % de los datos que esperamos conseguir”, dice este físico británico, “todavía hay cien veces más de datos por llegar. Hay mucha física por delante y un importante potencial para nuevos descubrimientos. El LHC tiene un programa muy sólido y fascinante para los próximos 20 años”.

El LHC 3.0

A finales de octubre, se celebró en la localidad francesa de Aix Les Bains —a unos 75 kilómetros de la sede del CERN— la segunda edición de los encuentros de trabajo del EFCA, siglas en inglés del Comité Europeo para los Aceleradores del Futuro, una división formada por físicos de los países miembros participantes en el CERN encargada básicamente de discutir la planificación a largo plazo. Pese a que existen actualmente sobre la mesa media docena de propuestas internacionales encaminadas al diseño de colisionadores de hadrones más poderosos o colisionadores electrón-positrón más precisos, a día de hoy, los esfuerzos del EFCA están principalmente dirigidos a actualizar el LHC, mediante el proyecto conocido como High Luminosity.

Tommaso Dorigo, un físico experimental que participa en el experimento CMS, justificaba recientemente en su blog esta forma de razonar: “Aquellos que reclaman el diseño y construcción de nuevas máquinas argumentan que si no empezamos ahora no tendremos nada en las manos para jugar dentro de 15-20 años. Comprendo el razonamiento, pero creo que los últimos 40 años de continuas confirmaciones de las predicciones del modelo estándar nos obligan a detenernos y pensar antes de seguir corriendo hacia delante sin un objetivo claro”. Esta actitud, cree Dorigo, es dolorosa si uno tiene en cuenta a todos los investigadores y desarrolladores de tecnología, su experiencia y pericia, que habrá



Posición del futuro acelerador de 100 km cerca de Ginebra y comparación de su tamaño con el actual LHC.

que descartar durante las próximas dos generaciones, “pero no veo suficiente motivación como para decidir invertir en una máquina electrón-positrón de 500 GeV (gigaelectronvoltios) o en un colisionador protón-protón de 40 TeV”.

Así, todo parece indicar que el primer heredero de este LHC 2.0 será un LHC 3.0 cuya luminosidad sea diez veces superior a la actual para 2025, según el presupuesto aprobado recientemente por el Consejo del CERN. Esta luminosidad es definida como “el número de partículas en el acelerador por unidad de área por tiempo”. Básicamente, permitirá insuflar un mayor número de

partículas y aumentar el nivel de sensibilidad de los detectores del LHC, para así hallar nuevas partículas y procesos subatómicos que ahora mismo resultan ilocalizables y conseguir una mejor resolución.

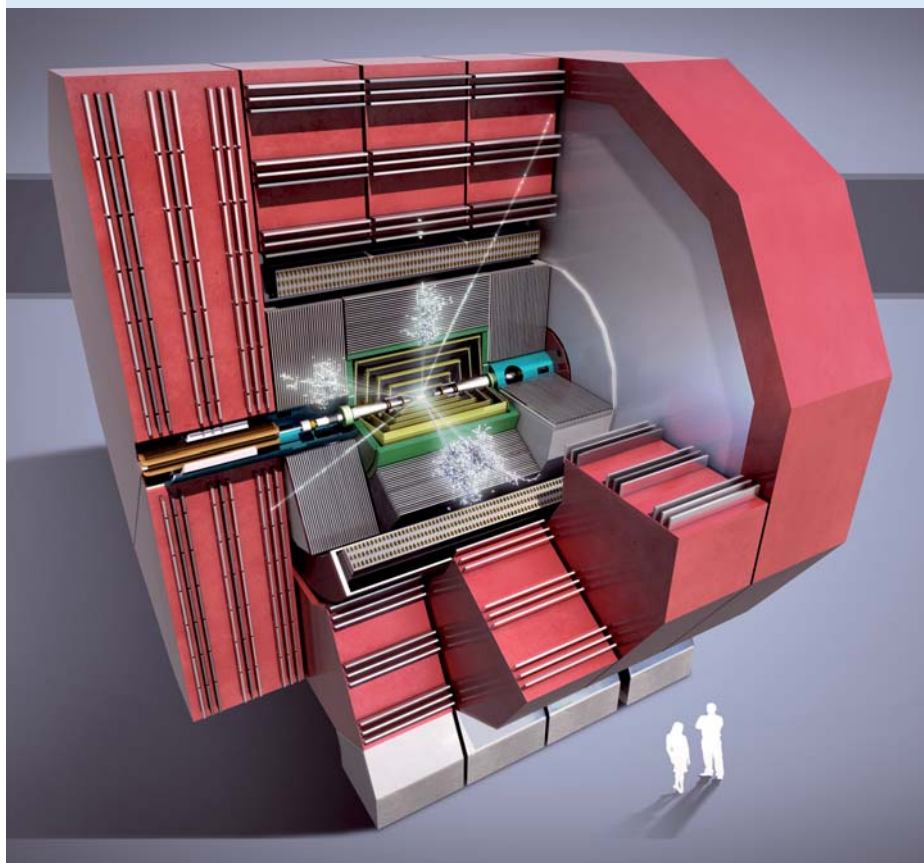
El grupo de trabajo del CERN que desarrolla el proyecto High Luminosity tiene previsto entregar su informe final a mediados de 2015, pero ya se conocen algunos detalles de él, como el primer objetivo: reducir el tamaño del haz de protones en el punto de colisión, para lo cual hará falta desarrollar nuevos imanes superconductores o cavidades más compactas.

Aplicaciones del acelerador lineal

La que previsiblemente será la próxima gran máquina de la física teórica, el International Linear Collider, no es, en realidad, un invento novedoso. El primer acelerador lineal de electrones se instaló en Stanford, California, en 1947, poco después del fin de la Segunda Guerra Mundial. En un principio estos aceleradores no empleaban imanes superconductores, sino que aprovechaban las cavidades del interior del tubo y una onda de radiofrecuencia que transmitía energía al haz de electrones.

El desarrollo de estas máquinas no solo posibilitó una mejor comprensión del mundo para los físicos. Los aparatos de rayos X empleados en medicina o, por ejemplo, en radioterapia contra el cáncer se benefician de los mismos mecanismos de los aceleradores lineales para producir sus rayos eficientemente. De hecho, actualmente existen miles de pequeños aceleradores lineales en hospitales de todo el mundo.

Más tarde, el desarrollo en la superconductividad por radiofrecuencia permitió desarrollar un nuevo tipo de aceleradores lineales, el primero de los cuales vio la luz en 1977, también en Stanford. Al otro lado del océano, el CERN sustituía en 1978 su primer acelerador lineal, llamado simplemente Linac 1 y que databa de 1959, por el Linac 2, que a su vez estuvo en servicio hasta 1992 y aún hoy se emplea eventualmente para suministrar protones a otros experimentos.



Simulación de una colisión de partículas en el futuro acelerador lineal CLIC.

Paralelamente a esta actualización del colisionador de Suiza trascurren otros proyectos internacionales, de los cuales el más sólido es el del International Linear Collider (ILC) que previsiblemente se ubicará en Japón. ¿Cuándo? Los más optimistas, es decir, los que confían en que se construirá, hablan de 2028.

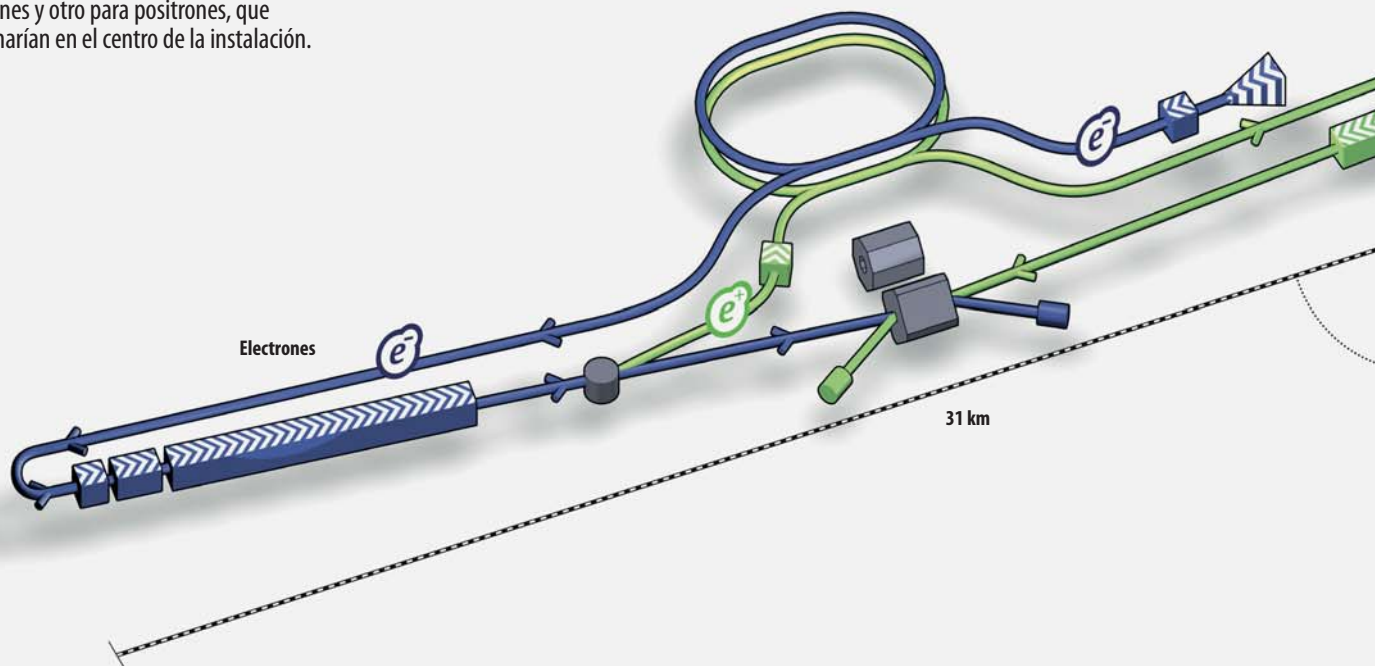
Aceleradores lineales

A diferencia del LHC o el Tevatrón, acelerador de partículas del FermiLab norteamericano, que son circulares, el ILC consistiría en dos túneles rectos de 11 kilómetros. La idea es tener un colisionador ideal para experimentar no solamente con protones, como el LHC, sino también con electrones. La diferencia radica en que los protones, mucho más pesados (1.800 veces), son ideales para girar alrededor de un círculo, ya que les permite revolucionarse y alcanzar las condiciones ideales para su estudio, aunque la precisión se resienta. Los experimentos de colisión de electrones y positrones del ILC serían fundamentalmente de precisión y además requerirían mucha menos energía, aproximadamente 0,5 TeV.

El tipo de datos que esperan extraerse tanto del futuro LHC como del ILC resolverían muchas dudas que planean sobre el bosón de Higgs; por ejemplo, si además de existir se comporta como el modelo estándar predice que se comportará. ¿Depende la masa de una partícula de la fortaleza de su interacción con el Higgs? ¿Existen desviaciones de la norma que puedan sugerir la existencia de nuevas partículas aún no detectadas?

También Europa tiene entre manos un proyecto de acelerador lineal, el Compact Linear Collider o CLIC. El proyecto está diseñado para colisionar electrones y positrones a una energía de entorno a 3 TeV, alcanzando una región energética que es inasequible para el LHC. Sin embargo, el hecho de que el ILC

Gráfico esquemático del acelerador lineal internacional ILC, con dos conductos, uno para electrones y otro para positrones, que colisionarían en el centro de la instalación.



japonés requiera menos energía que el CLIC también lo convierte en un candidato tecnológicamente más factible.

En febrero de 2013, los responsables de ambos proyectos anunciaron una colaboración. “Los dos proyectos, ILC y CLIC, tienen objetivos similares, pero emplean tecnologías muy diferentes y están en distintos estados de madurez. Espero ver progresos en ambos proyectos”, dijo entonces Sachio Komamiya, director de la recién formada Linear Collider Board.

Más allá de 2030

Ahora mismo, pocos se atreven a aventurarse en un escenario pos-LHC, al menos desde el punto de vista de la logística.

Hablamos de un colisionador de hadrones capaz de manejar energías cercanas a los 100 TeV, para lo cual requeriría un anillo de entre 50 y 100 kilómetros —el actual anillo del LHC tiene 27 kilómetros—.

Por el momento, los dos principales —y casi que únicos— candidatos a acoger

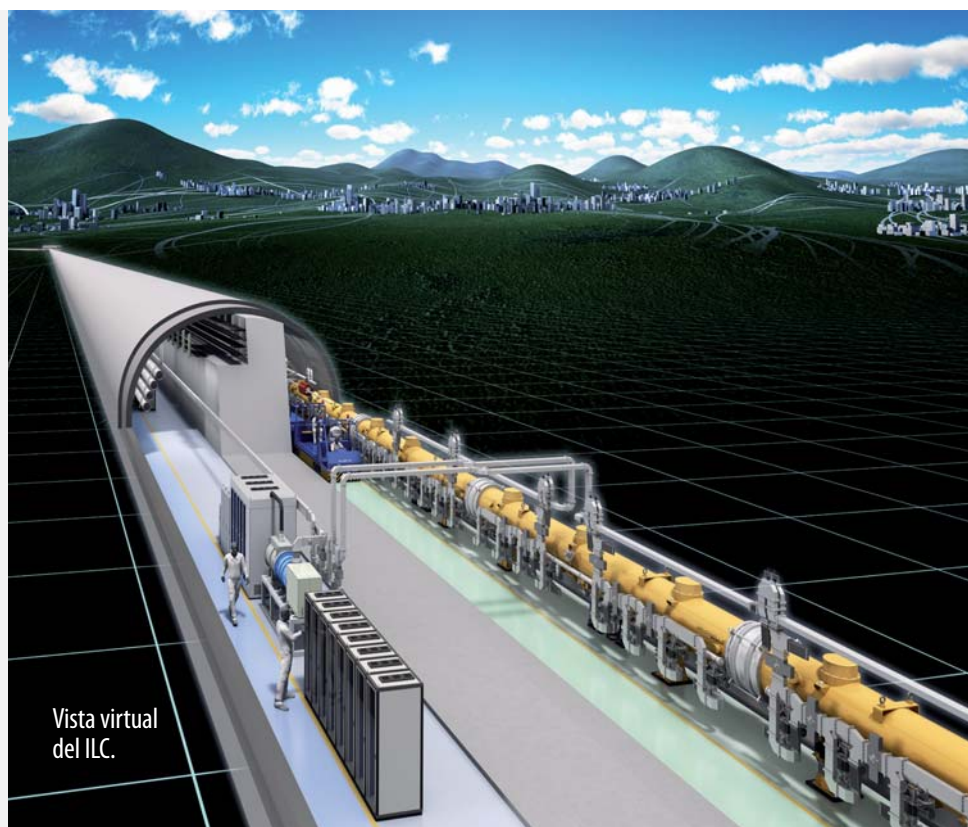
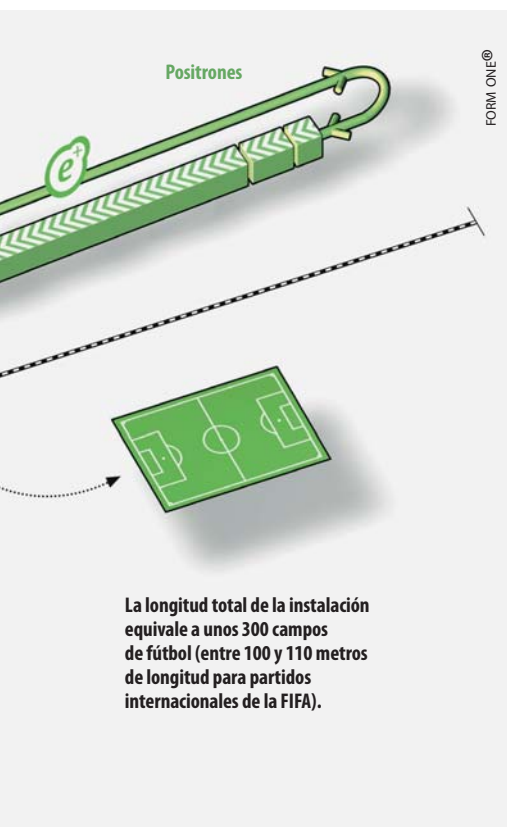
un proyecto de tal envergadura son Europa y Asia. Un grupo de trabajo del CERN evaluó el año pasado la posibilidad de instalar en Suiza el denominado Colisionador Circular Futuro (FCC por sus siglas en inglés), señalando que “Europa necesita estar en una posición desde la que proponer un proyecto ambicioso de acelerador pos-LHC en el CERN, coincidiendo con la próxima actualización de la Estrategia, cuando los resultados físicos de un LHC funcionando a 14 TeV estén disponibles”. La ‘Estrategia’ se refiere a la Estrategia Europea para la Física de Partículas, una decisión que debería tomarse en torno a 2018.

Tatsuya Nakada, miembro del Consejo del CERN y antiguo director del EFCA, pasó este verano por el Congreso Internacional de Física de Altas Energías (ICHEP) que tuvo lugar en Valencia. Su estimación de lo que costaría el gran acelerador del futuro era, de al menos, “8.000 millones de euros, sumándole los costes de excavar un túnel de varias docenas de kilómetros”, que, “si se hiciera en Suiza, tendría cierta-

mente que pasar por Francia”, dijo Nakada. A eso habría que sumar el desarrollo de nuevos detectores, algo que, según calcula, podría sumar otros 1.000 millones de euros a la cuenta.

Desde hace siete años, coincidiendo con el crecimiento del país asiático, la propuesta china, un colisionador positrón-electrón de 50 kilómetros de diámetro, se ha venido escuchando en estos foros. Un país de sus características, según Nakada, tendría más fácil encontrar el terreno adecuado para una instalación así, pero, debido a los altos costes, tampoco pueden hacerlo si no es con una amplia colaboración internacional. El director adjunto del Instituto Chino de Física de Altas Energías, Wang Yifang, reconocía, también en Valencia, que “nuestro objetivo es quizá demasiado ambicioso para nuestras capacidades actuales”.

En el terreno teórico parece claro, como apunta Dorigo, y parece haber consenso entre la comunidad de físicos: en algún momento necesitarán una máquina



más poderosa. El físico americano-canadiense Nima Arkani-Hamed, durante años en Harvard y ahora en el Institute For Advanced Studies de Princeton, cree que “es el futuro obvio. Las grandes ideas físicas, las grandes ambiciones y las grandes máquinas son la savia de nuestra disciplina. Es como hemos atraído a las mejores mentes del planeta a trabajar en los problemas más difíciles, fundamentales y a largo plazo de la ciencia. Obviamente, cómo proceder dependerá de los primeros resultados del LHCb (un nuevo detector actualmente en construcción en el CERN), pero en cada escenario que puedo imaginar, necesitaremos un colisionador protón-protón de 100 TeV”.

Hacia un nuevo gran modelo

En su paso por España este pasado verano, Rolf-Dieter Heuer, director general del CERN, reflexionaba sobre esta necesidad de los físicos de ir siempre un paso por delante. “Necesitamos trabajar así”, dice Heuer, “porque nuestros proyectos

son a largo plazo. Basta con mirar atrás para entenderlo. ¿Cuándo fue la primera discusión sobre el LHC? En 1984, hace 30 años. Así que tenemos que empezar ahora, porque el trabajo durará al menos 30 años. Si no empezásemos ahora, estaríamos equivocándonos”, dice.

También vislumbraba un futuro para el LHC: servir de apoyo a un acelerador mayor. Que es, por otro lado, lo habitual en el CERN. “Mire, casi todos los que construimos siguen en uso”, recuerda Heuer, “el Proton Synchrotron tiene ahora 54 años. Lo usábamos para experimentos de objetivo fijo, pero todavía le estamos dando utilidad en otros proyectos. Así que podría mencionar que hay proyectos interesantes para los que podríamos emplear el LHC en el futuro, quizá como inyector para la próxima máquina, construyendo una encima de la otra. Esa es, en principio, la forma más eficiente de emplear los recursos”.

Sin embargo, la gran pregunta, aquella que se formulaba Tomasso Dorigo al

principio de este artículo, sigue en el aire: ¿qué se quiere encontrar con el nuevo colisionador? El LHC, como el Tevatrón, nacieron con el objetivo de identificar el Higgs y, de paso, resolver otros aspectos que ayudaran a apuntalar el modelo estándar de la física. Ahora que conocemos la existencia del bosón de Higgs y cada vez más sobre sus propiedades, a la teoría imperante ya apenas le quedan cabos sueltos. Incluso enigmas como la esquivada ‘supersimetría’, la teoría de cuerdas o el origen de la materia oscura quizás podrían ser explicados dentro del modelo estándar. Por tanto, a la próxima máquina más compleja jamás construida por el ser humano no le correspondería medir, comprobar o rellenar huecos de una predicción teórica. Quizá le corresponda una tarea mucho más compleja: no solo describir hasta lo infinitesimal la materia que forma el Universo, sino además comprender esos procesos. O quizá, quién sabe, apuntalar las bases de la próxima gran teoría. ©



Sede del Organismo Internacional de Energía Atómica en Viena.

Las convenciones internacionales

El accidente de la central nuclear de Chernóbil, en 1986, puso de manifiesto que los problemas de seguridad nuclear, y también los de protección radiológica, no conocen fronteras y exceden el ámbito nacional. Por ello deben ser objeto de acuerdos internacionales para conseguir la mayor eficacia en el control de la seguridad de las instalaciones. Para lograr este objetivo, el Organismo Internacional de Energía Atómica promovió la creación de diferentes convenciones, la primera de las cuales, la Convención sobre Seguridad Nuclear, se aprobó en Viena en 1994. El OIEA actúa como secretariado de dichos instrumentos y acoge en su sede las reuniones periódicas de revisión de las Partes contratantes, cuyo número sigue incrementándose anualmente.

■ Texto: **Andrea Jiménez** | periodista científica ■

El 8 de diciembre de 1953, ante la Asamblea General de las Naciones Unidas en Nueva York, el entonces presidente de Estados Unidos, Dwight D. Eisenhower, pronunciaba una histórica alocución bajo la mirada expectante del mundo entero. Bajo el brillante título de “Átomos para la paz”, su discurso proponía el desarrollo de la energía

atómica para usos pacíficos, esencialmente la generación de energía eléctrica, y el establecimiento de un organismo internacional para cooperar en estos objetivos. Cuatro años después se fundaba el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) como una organización autónoma de las Naciones Unidas, cuya sede fue establecida en Viena.

Actualmente, esta institución sigue siendo el principal foro intergubernamental para la cooperación técnica en la esfera nuclear. Además de ejercer de coordinadora en la formulación de normas de seguridad nuclear, es el punto de encuentro para el intercambio de información en materia de energía nuclear que brindan los tratados entre países.

“Las Convenciones Internacionales en el marco del OIEA son instrumentos fundamentales de regulación a nivel global del Derecho nuclear a través de los cuales los Estados se comprometen internacionalmente. Entre sus obligaciones figura el establecimiento de un marco legislativo que de cumplimiento a las obligaciones dimanantes de las mismas”, explica David García López, asesor técnico-jurídico del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN). Una vez que un Estado manifiesta su consentimiento en obligarse por una Convención, a través de alguno de los mecanismos previstos en Derecho Internacional, y tras su entrada en vigor, pasa a ser Parte Contratante de pleno derecho y debe cumplir por lo tanto con las exigencias de su articulado.

“El procedimiento, desde que un Estado expresa la intención de adherirse al acuerdo hasta que pasa a ser contratante, supone una serie de trámites administrativos y legislativos que llevan su tiempo”, advierte Alfonso de las Casas, consejero de Industria y Energía de la Representación Permanente de España ante los Organismos Internacionales ubicados en Viena. Entre esos trámites, en el caso de España, se encuentra la aprobación por las Cortes Generales para su promulgación por el Rey.

Convención de Seguridad Nuclear

Hasta la fecha, España ha ratificado todos los tratados referentes al ámbito de la seguridad nuclear y protección física, así como aquellos ligados a la protección radiológica.

El primero de ellos fue la Convención sobre Seguridad Nuclear, que se aprobó en Viena el 20 de septiembre de 1994 y que nació como consecuencia de uno de los mayores desastres medioambientales de la historia, el accidente de Chernóbil.

“Tras producirse este accidente, se consideró necesario tener algún tipo de foro internacional donde se pudiera discutir abiertamente para mejorar la seguridad nuclear a escala mundial”, explica Isabel Villanueva, técnica del CSN y punto de contacto nacional de la Convención sobre Seguridad Nuclear y que participa en la coordinación de la elaboración de los informes nacionales que España, como el resto de las Partes contratantes, debe presentar en cada reunión de revisión periódica de esta convención.

Las reuniones de revisión periódicas se celebran cada tres años en la sede del OIEA en Viena, donde la organización ejerce funciones de secretaría y depositaria de la convención, poniendo al servicio de las Partes contratantes del acuerdo todo el material relacionado con los aspectos logísticos: la disposición de las salas, el depósito de la documentación, así como los servicios legales para asesoramiento en la interpretación del articulado de la convención. “La última reunión de esta convención que se celebró, la sexta, fue el pasado abril, y dado que estas

reuniones de revisión se celebran cada tres años, la próxima se llevará a efecto en 2017”, señala Villanueva.

En el curso de estas reuniones de revisión, las Partes contratantes se reúnen durante dos semanas para tratar las medidas que las centrales nucleares y los organismos reguladores de cada país han adoptado en sus planes de seguridad nuclear y protección radiológica, y definir e identificar criterios de seguridad que conduzcan a una mejora en los niveles de seguridad internacionalmente; un año antes de cada reunión de revisión, tiene lugar la reunión de organización donde se elige al presidente y a los vicepresidentes de la siguiente reunión de revisión. “Además, se pueden celebrar reuniones de revisión extraordinarias si se dan circunstancias que requieran una evaluación entre países y una revisión de las actuaciones que se están llevando a cabo a escala internacional, como sucedió tras el accidente de Fukushima”, aclara Villanueva.

El informe nacional que se presenta en las reuniones de revisión, en cuya redacción participa el CSN junto con el Ministerio de Industria, Energía y Turismo y la Asociación Española de la Industria Eléctrica (Unesa), incluye en su contenido información en línea con el articulado de la convención.

Una vez elaborado dicho informe nacional, se remite a la Secretaría del OIEA en Viena para ser distribuido entre las demás Partes contratantes. A partir del análisis de cada informe nacional, las Partes contratantes pueden formular preguntas que serán respondidas por las Partes contratantes correspondientes antes de la siguiente reunión de revisión. Posteriormente, durante la reunión de revisión, cada Parte contratante realiza una presentación de su informe nacional. Se trata de fomentar un diálogo efectivo y el intercambio de información abierta entre todas las Partes para conocer qué están haciendo los demás y para mejorar los estándares y criterios de seguridad que, en palabras de la técnica del CSN, “es el espíritu de las convenciones”.

En la actualidad son 77 las Partes Contratantes de la Convención sobre Seguridad Nuclear, entre ellos todos los que poseen centrales nucleares. España fue uno de los primeros países en firmarla, en 1995, y cuatro años después se adhirió la Comisión Europea en representación de Euratom, el organismo público europeo encargado de coordinar los programas de investigación de la energía nuclear y que garantiza la seguridad del abastecimiento de energía atómica mediante un control centralizado.

En su informe, Euratom resume lo que se ha realizado en el marco comunitario Europeo de manera conjunta, recogiendo, entre otras cosas, los instrumentos jurídicos que se han discutido y finalmente adoptado en el marco comunitario.

Otra de las convenciones a la que también se encuentra adherido este organismo europeo es la Convención Conjunta sobre Seguridad en la Gestión del Combustible Gastado y sobre Seguridad en la Gestión de Residuos Radiactivos, aprobada el 5 de septiembre de 1997, y que entró en vigor de forma general en 2001, el mismo año que España la ratificó.



La central nuclear de Chernóbil en la actualidad.

Su fórmula es muy parecida a la de la Convención sobre Seguridad, y las Partes contratantes son prácticamente las mismas, aunque al ser un par de años más joven cuenta con algunos Estados menos. “Lo primero que considera un país que tiene un programa nuclear es ratificar la Convención sobre Seguridad Nuclear y la Convención Conjunta”, apunta Villanueva.

Aunque los países con plantas nucleares suelen ser los primeros en adherirse a estas convenciones, muchos que no cuentan con instalaciones de este tipo también están dentro. Así, aunque solo 14 Estados de la Unión Europea son nucleares, el resto también ha firmado los acuerdos. Además, como añade De las Casas, “que no sean países nucleares no significa que estén eximidos de su compromiso ante la gestión de la protección radiológica y de los residuos radiactivos o emergencias”.

No todas las convenciones están sujetas a la misma fórmula; de hecho, cada una destaca por su carácter particular. “El informe nacional que se debe presentar cada tres años, por ejemplo, es solo requisito de las dos convenciones anteriores, tal como lo son también las reuniones de revisión periódicas”, detalla Villanueva.

Cooperación en emergencias

Aparte de las ya citadas, existen dos convenciones que crean el marco jurídico para la cooperación y coordinación en caso de emergencia nuclear o radiológica: la Convención sobre Asistencia en Caso de Accidente Nuclear o Emergencia Radiológica y la Convención sobre la Pronta Notificación de Accidentes Nucleares.

La primera, es la que permite que en caso de que ocurra un accidente nuclear, como el de Fukushima, sea posible extender una malla auxiliar a escala internacional en función de los recursos y equipos particulares de cada país. “Si hay personas irradiadas, por ejemplo, nosotros no podríamos prestar ayuda en asistencia médica, porque en España no hay

Equilibrio entre países

Cada tres años los Estados se dan cita en la sede del OIEA en Viena, donde tienen lugar las reuniones de revisión de la Convención sobre Seguridad Nuclear. Las delegaciones de cada país están constituidas por una parte política o institucional con representación en las embajadas y por una parte técnica en la que intervienen los organismos reguladores. “Durante las sesiones del plenario, la discusión siempre se establece entre homólogos, de igual a igual. El OIEA puede estar presente, pero con carácter de observador, sin llegar a intervenir. Sus funciones son actuar como secretaria y depositaria”, explica Isabel Villanueva.

Los Estados se organizan en grupos para hacer más efectivas las sesiones, siempre buscando una ecuanimidad respecto a la presencia entre países nucleares y no nucleares. “A la hora de elegir a los presidentes y vicepresidentes, en las votaciones que tienen lugar un año antes en las reuniones de organización, se tiene en cuenta el equilibrio entre las Partes, de manera que si el presidente es europeo, los vicepresidentes no lo son, o si en la última reunión el presidente pertenecía a un país con instalaciones nucleares, el que coordine la próxima reunión será de un Estado no nuclear”. Es la forma establecida para que todas las Partes del acuerdo estén representadas.

Al término de las reuniones se elabora un informe resumen con las conclusiones a las que se ha llegado, se establecen los retos futuros, se destacan las buenas prácticas y se identifican aspectos en los que es necesario aumentar o fortalecer los criterios de seguridad. “Es muy enriquecedor ver qué se está haciendo a escala internacional, compararse con otros países y saber en qué puntos debemos mejorar. En España estamos al mismo nivel que los países nucleares maduros y avanzados”.

un hospital de los denominados de nivel 1. Francia, sin embargo, está comprometida a ofrecer su ayuda en ese sentido, ya que cuenta con un centro de estas características, el Marie Curie”.

Por otro lado, la Convención sobre la Pronta Notificación asegura que la comunicación entre las Partes contratantes y el OIEA sea lo más efectiva posible en virtud de una red colaborativa de notificación en caso de emergencia. “Gracias a esta asistencia de respuesta, que debe realizarse de acuerdo con unos formatos establecidos por la propia convención, se pudo informar de forma rápida a los ciudadanos de todo el mundo sobre el accidente en la central nuclear de Fukushima a medida que se comunicaba más información”, según Villanueva.

Otros acuerdos deben navegar por aguas más bravas a la hora de llegar a buen puerto, como la Convención sobre Protección Física de los Materiales Nucleares, que España firmó en 1986 y ratificó cinco años más tarde, pero ya como Estado miembro de Euratom, y es uno de los más conflictivos. En virtud de esta Convención, los Estados contratantes se comprometen a garantizar durante el transporte nuclear internacional la protección de los materiales nucleares dentro de su territorio o a bordo de sus buques o aeronaves.

En julio de 2005 se aprobó una enmienda con el fin de ampliar su ámbito de aplicación, aunque no ha entrado en vigor todavía porque se requiere la ratificación de dos tercios de las Partes contratantes y, según David García, “a fecha





Una reunión de las Partes contratantes de la Convención sobre Seguridad Nuclear.

de hoy solo lo han hecho 81 de los 151 Estados parte de la Convención”.

El problema es la información tan sensible que gira en torno a esta convención y que limita la capacidad de intercambio entre las Partes, al contrario que las demás convenciones. “Todos los países tienen clasificada como restringida y/o confidencial toda la información vinculada a los aspectos de seguridad física de las instalaciones nucleares y material radiactivo”, explica Villanueva.

Debido a que las medidas preventivas de seguridad no pueden excluir el riesgo de posibles accidentes y del uso no pacífico de la tecnología nuclear, se han firmado otros compromisos en materia de responsabilidad civil nuclear. Tienen el objetivo de prever compensaciones por los daños causados por un accidente nuclear, y en la actualidad se constituyen en dos sistemas vigentes.

Por un lado, está el Convenio de Viena, firmado en 1963 por los países de Europa del Este y de Iberoamérica bajo el auspicio del OIEA y que pasó a modificarse en 1997; y por otro, el Convenio de París de 1960, en el que se basa y que complementa el Convenio de Bruselas, firmado en 1963 bajo el paraguas de la Agencia para la Energía Nuclear (NEA en sus siglas en inglés), impulsada por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), cuyo propósito fundamental es proveer de fondos públicos

si las cantidades suministradas por los operadores resultan insuficientes.

Como explica el asesor jurídico del CSN, “además, existen instrumentos *punto* o de vínculo entre ambos sistemas para asegurar que se aplique uno u otro en los casos en que los dos países afectados por un daño de origen nuclear pertenezcan a distintos regímenes y puedan ser de aplicación, como la Convención sobre Indemnización Suplementaria de 1997 y el Protocolo conjunto relativo a la aplicación del Convenio de Viena y el Convenio de París, de septiembre de 1988.

De todos estos acuerdos, España no ha ratificado más que los de París y Bruselas, ya que, según el consejero de Industria y Energía, “se ha considerado que estos dos compromisos, junto con los protocolos de revisión que han sufrido, proporcionan la misma cobertura que suministra el conjunto de todos los demás”.

La última modificación de estas convenciones se firmó en 2004 y su entrada en vigor no será posible hasta que los Estados de la Unión Europea que forman parte del convenio depositen conjuntamente el instrumento de ratificación. Y según García “hay un acuerdo para ir todos de la mano. Sin embargo, estas reformas no han entrado aún en vigor, porque no todos los países están preparados para llevarlas a cabo”.

En este sentido, España lleva la delantera a sus compatriotas europeos, ya que

en 2011 decidió modificar su ley sobre responsabilidad civil por daños nucleares o producidos por materiales radiactivos, a través de una nueva ley que hasta día de hoy encuentra supeditada su vigencia a la entrada en vigor de los protocolos de las convenciones de París y de Bruselas.

Que una cuartilla de la legislación española espere en un cajón hasta que el resto de los países ratifiquen estos protocolos de 2004, es un caso extraordinario, ya que a juicio de García “no es una técnica habitual supeditar la entrada en vigor de una ley a la entrada en vigor de un tratado internacional”. El abogado recuerda que “el ordenamiento jurídico internacional goza de supremacía sobre el ordenamiento interno, con lo que desde el momento en el que un Estado manifiesta su consentimiento en obligarse por un tratado está obligado a adoptar las disposiciones necesarias en el orden interno para poder aplicarlo”.

Sin régimen sancionador

A pesar de los compromisos adquiridos por los países firmantes de las convenciones, Villanueva resalta que “los tratados no prevén un régimen sancionador en caso de incumplimiento. Tienen carácter incentivo: lo que persiguen es el franco y abierto intercambio de información, no llevar a cabo un proceso sancionador”.

Por tanto, el matiz más importante de las convenciones es que se sustentan sobre un régimen de incentivo para motivar que los países se sumen por voluntad propia. “Al final, estos compromisos persiguen que los Estados, tanto aquellos con programas nucleares como los que solo tienen instalaciones con uso de material radiactivo, intercambien información y fomenten sus relaciones, permitiendo mantener un diálogo abierto, transparente y honesto; de forma que los criterios de seguridad y protección más altos posible en torno a la energía nuclear sean acogidos y utilizados a escala mundial”, concluye. ©

Un paso crítico para la energía por fusión inercial y otros caminos hacia la ignición

El primer logro que la fusión por confinamiento inercial debe realizar para seguir dando pasos que la sitúen en la línea de salida de las nuevas fuentes de energía es conseguir lo que se conoce como ignición. Instalaciones como la National Ignition Facility (NIF) en EE UU, que opera ya desde hace unos años, y el Laser MegaJoule (LMJ) en Francia buscan, entre otros objetivos, esa meta. Los recientes resultados alcanzados por el NIF son muy importantes y satisfactorios, pero no suponen todavía lo deseado, aunque indican una línea para progresar. En este artículo se presenta un análisis, usando los datos

publicados, de dichos resultados para explicar su verdadero alcance, dada la importancia que debe dárseles. El arranque del LMJ merece un apartado especial, considerando la magnitud de esa instalación y su potencial repercusión en las investigaciones sobre energía por fusión nuclear inercial. Otras instalaciones (Orion, Petal, Firex-I) y opciones para conseguir energía de la ignición por choque o ignición rápida se presentan como ejemplo de la vitalidad de esta línea de investigación. ■ Texto: **José Manuel Perlado** | director del Instituto de Fusión Nuclear, Universidad Politécnica de Madrid ■

La National Ignition Facility (NIF) es una instalación del Departamento de Energía (DOE) y de la Administración de Seguridad Nuclear Nacional (National Nuclear Security Administration, NNSA) de EE UU, que está ubicada en el Laboratorio Nacional de Lawrence Livermore (Lawrence Livermore National Laboratory, LLNL). Pensada para estudiar la fusión nuclear por confinamiento inercial (ICF) y la ciencia asociada a procesos de alta densidad de energía (*High Energy Density, HED*), NIF es un elemento fundamental en el programa de la NNSA, *Stockpile Stewardship*, para mantener la fiabilidad y seguridad de la defensa nuclear sin necesidad de realizar pruebas a gran escala.

Junto a este objetivo mencionado aparecen además estos otros:

—Energía. Demostración de las posibilidades de obtener energía a través

de la fusión nuclear mediante confinamiento inercial (*Inertial Fusion Energy, IFE*) usando láseres, pensando en la posibilidad de disponer de una fuente segura, limpia y de recursos inmensos.

—Ignición. Consecución de más energía por fusión de la que se usa para iniciar las reacciones de fusión. Paso fundamental para todas las experiencias posibles y en particular para la obtención de energía.

—Ciencia avanzada. Solo posible en las condiciones que genera NIF en disciplinas como la astrofísica, materiales, física de partículas, física planetaria, física asociada al uso de neutrones y rayos X.

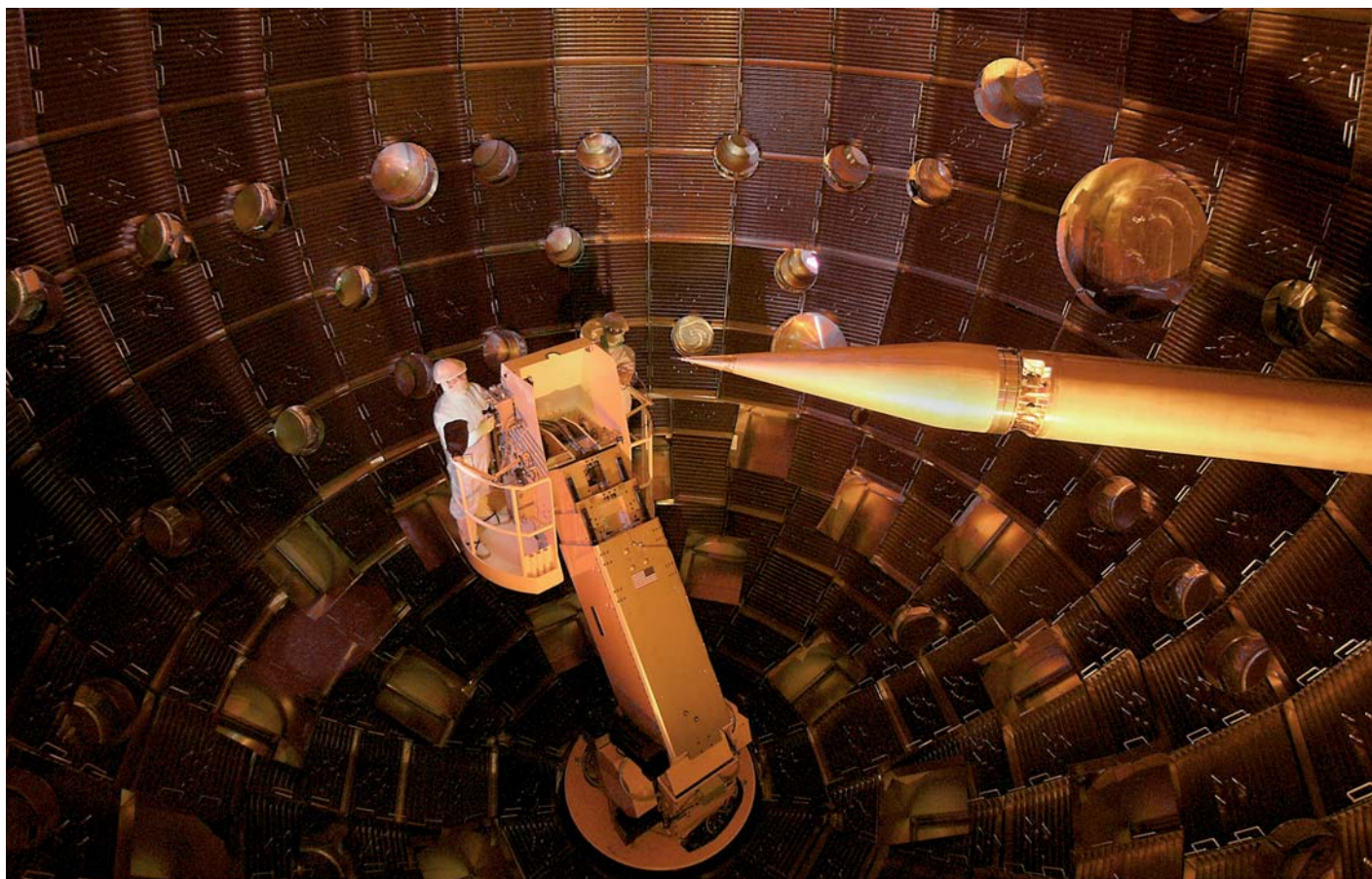
—Otros programas. Nuevas tecnologías de materiales útiles para los propios experimentos de NIF y para las plantas de potencia en el ámbito de la IFE; nuevas tecnologías de láseres; fuentes de fotones de alta energía para radiografía, imagen de

alta precisión y detección; componentes ópticos de alta precisión para diversos usos, incluyendo aplicaciones espaciales.

Instalación y funcionamiento

NIF es en este momento (antes de la entrada en operación a plena potencia del LMJ en Francia) el láser que genera más energía del mundo, produciendo 1,8 MJ (nominal de diseño) / 1,9 MJ real en los últimos disparos efectuados, con una potencia de 500 TW en luz ultravioleta (0,35 μm de longitud de onda). Su energía, liberada a través de 192 haces, se concentra en un blanco de 1 mm³ de tamaño, produciendo temperaturas de 100 millones de kelvin, densidades de 1.000 g/cm³ y presiones hasta 100.000 millones de veces superiores a la presión atmosférica.

La instalación se completó en marzo de 2009 y el día 10 de ese mes gene-



Interior de la cámara que contiene la cápsula de combustible en la Natinal Ignition Facility.

ró, con sus 192 haces, una energía de 1,1 MJ en luz ultravioleta, lo que supone unas 30 veces más que en cualquier otra instalación láser del mundo.

El láser es una inmensa obra de física e ingeniería habitualmente no descrito. NIF comienza en uno de los dos láseres de fibra óptica dopado de iterbio que se conoce como oscilador maestro (*Master Oscillator*). La señal producida se encuentra en la frecuencia infrarroja (1.053 nanómetros de longitud de onda, 1,053 micras) con una energía del rango de ¡nanojulios! Esta señal se divide en 48 haces que pasan por 48 preamplificadores, que consisten en láminas de cristal de neodimio que son bombeados mediante lámparas de destello. Se realizan hasta cuatro pases por dichos preamplificadores, lo que conduce a una energía 10.000 millones de veces más potente: 6 julios. Cada uno de los 48 haces se sub-

divide a su vez en otros cuatro subhaces, es decir, 192 en total, empaquetados de cuatro en cuatro en un solo dispositivo o línea. Esos 192 haces pasan ahora a la línea principal de amplificación de potencia, mediante 48 amplificadores, cada uno de los cuales está compuesto de 11 láminas de 1 metro de longitud y de cristal de fosfato dopado con neodimio.

El bombeo de los amplificadores se produce mediante 7.680 lámparas de destello de xenón que almacenan 400 MJ de energía eléctrica, que se liberan sobre el haz cuando pasa por los amplificadores. Un interruptor óptico, llamado celdas Pockels, atrapa la luz entre dos espejos, de manera que los haces pasan adelante y atrás hasta cuatro veces en los amplificadores antes de ir hacia la línea final. En ese momento los haces tienen 6 MJ. Finalmente, un conjunto de espejos conduce los haces hacia las aperturas en la cámara,

que tiene 10 metros de diámetro. Antes de la entrada de los haces en la cámara, pasan a través de cristales de fosfato de dihidrógeno y potasio, y convierten la luz a la longitud de onda del verde (527 nanómetros) y del ultravioleta (351 nanómetros), que es mucho más efectiva en la interacción con la materia, y, finalmente, en el calentamiento e implosión del blanco. Las pérdidas en estos procesos hacen decrecer la energía hasta 1,8 MJ, con un pulso típico que dura unos 20 nanosegundos. Este proceso supone un recorrido de los haces de 305 metros (desde el oscilador hasta el blanco) en un tiempo de 25 nanosegundos.

El blanco que iluminan esos 1,8 MJ de energía láser ha tomado muy diversos aspectos dependiendo de los experimentos. En el caso de la campaña de ignición (National Ignition Campaign, NIC), aunque luego se hablará de los

últimos experimentos, el blanco es generalmente una esfera hueca muy delgada, del orden de los 2 mm de diámetro, hecha de plástico o de berilio, que contiene unos 150 microgramos de una mezcla de deuterio y tritio, congelados a 18 K, lo que hace que formen una capa uniforme en el interior de la esfera. Esa cápsula criogénica está contenida en una estructura cilíndrica en la escala del centímetro hecha de oro (*hohlraum*), donde se producen los rayos X que iluminan finalmente la cápsula contenedora del DT (véase figura 1).

Los experimentos de ignición

La campaña de ignición se inició el 29 de septiembre de 2010 con un primer experimento integrado en una colaboración de LLNL, Los Alamos, General Atomics, Sandia National Laboratory y el Laboratorio en Rochester de Laser Energetics. El desarrollo del programa para conseguir ignición se está efectuando en cuatro fases. La primera consiste en la iluminación de la cobertura cilíndrica (*hohlraum*) de oro para producir la necesaria radiación en ella que ilumine la cápsula combustible en su centro. En la segunda fase se busca conseguir un ajuste preliminar del blanco en su posición con cápsulas criogénicas o no criogénicas, para precisar la simetría de los haces generados por el *hohlraum*, el ajuste temporal de las ondas de choque y las velocidades y masas en ablación adecuadas; parámetros críticos todos ellos para la ignición. En la tercera fase se llevan a cabo implosiones sobre cápsulas ya criogénicas de una mezcla de tritio, hidrógeno y deuterio (THD) con una composición de 72 %/22 %/6 %. De esta manera, al reducirse los rendimientos de las reacciones de fusión y, por lo tanto, de la intensidad de emisión de los neutrones, partículas y radiación, se puede conseguir de manera más sencilla un diagnóstico completo de las condiciones de temperatura y de densidad que se precisarían

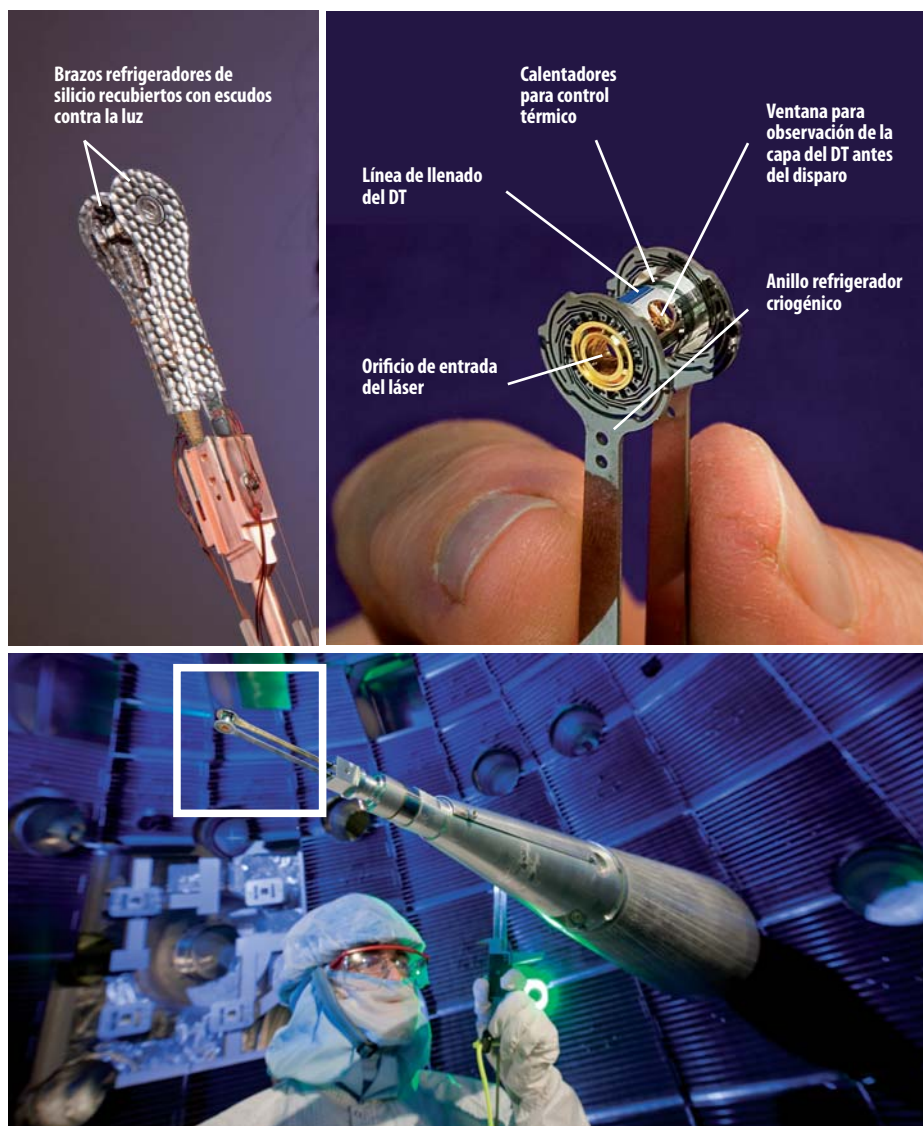


Figura 1. Detalle del cilindro o *hohlraum* donde va alojada la esfera de combustible.

en la ignición. La cuarta fase, en la que se está, es el intento de conseguir finalmente la ignición del blanco.

Últimas experiencias

A continuación se describen los resultados de las últimas experiencias publicadas (N131119, N130927, numeración en AAMMDD), que han dado lugar al anuncio y explicación en *Nature* (Hurricane *et al.*, *Nature* 506, 343-348, 20 February 2014) de la consecución de ganancia de energía en el combustible en los términos que se van a aclarar a continuación. Sirva además esta descripción para explicar cuáles son los procesos que ocurren,

y las magnitudes asociadas al proceso de ignición (necesario para conseguir que este sistema sea una fuente viable de energía), y se puedan alcanzar condiciones necesarias para los otros objetivos mencionados de NIF. Los 192 haces depositan su luz en el *hohlraum* de oro, que en estos experimentos era de 5,75 mm de diámetro del cilindro y una longitud de 9,425 mm (véase figura 2).

En los experimentos que han dado lugar a estos últimos resultados con éxito (denominados de prepulso alto, *High Foot*, HF), el *hohlraum* se llena de He a una densidad de 1,6 mg/mm³, frente a los anteriores (denominados de prepulso bajo

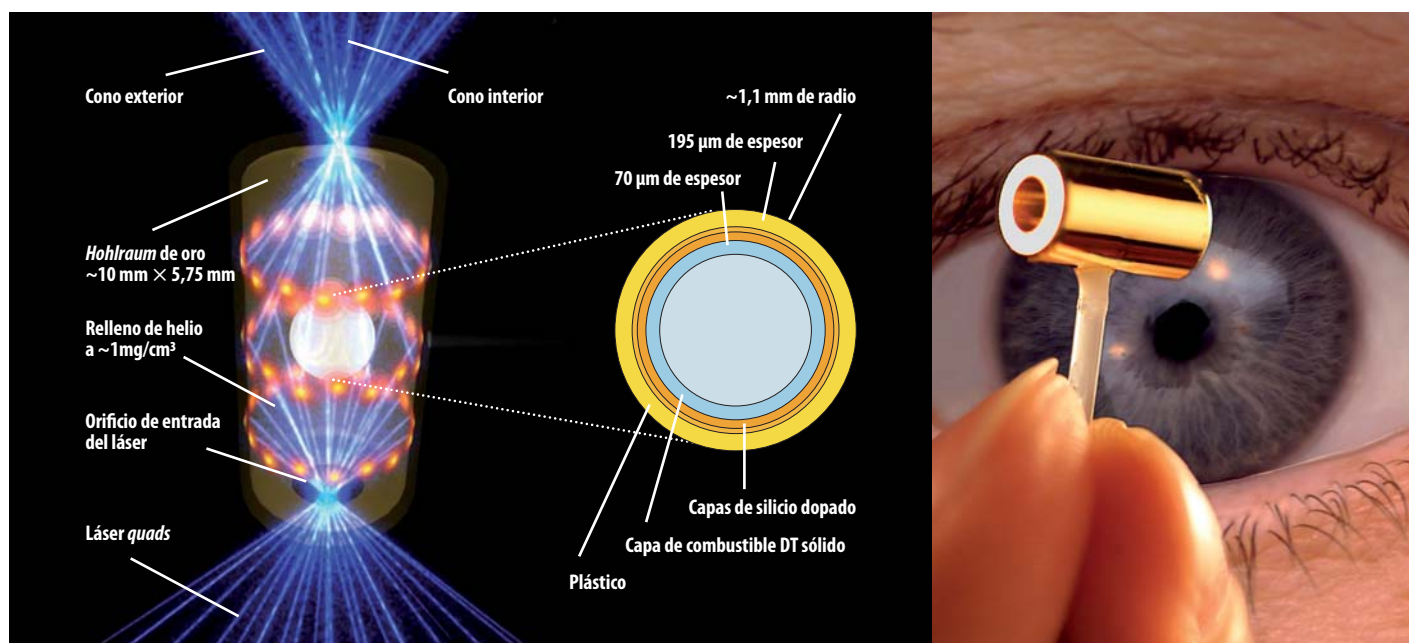


Figura 2. Entrada de la radiación láser e impacto sobre la esfera de combustible y corte de dicha esfera.

Cilindro donde se aloja la cápsula de combustible.

o pequeño, *Low Foot, LF*) en los que se llena de ese gas a $0,96 \text{ mg/mm}^3$; el objetivo es conseguir que se restrinja y retrase la introducción del plasma de oro procedente de las paredes del *hohlraum* en la cavidad, impidiendo la propagación de los haces láser. La interacción de los haces láser con las paredes internas de oro convierten dicha energía en radiación equivalente a temperaturas de emisión de 290-300 eV. Una fracción de esa radiación es absorbida por la cápsula que contiene el DT y que está situada en el centro de la cavidad cilíndrica, produciendo presiones de 100 Mbar en la capa exterior de la cápsula. Esa presión es liberada en diversos choques y acelera la cápsula hacia el interior.

Pegado a la cara interior de la cápsula (con radio externo de 1,1315 y 1,1241 mm e interno de 0,9665 y 0,9303 mm) está el combustible criogénico de DT con espesores de 71,4 y 69,3 micras y una temperatura de 18,6 K; cuando el combustible alcanza en la implosión su pico de velocidad máximo, el DT tiene una energía cinética que es una fracción de la energía en forma de rayos X absorbida por la cápsula. Al final del pro-

ceso de implosión, el combustible se frena, debido a las altas presiones generadas en el centro de la cápsula comprimida, y se genera una reducida zona de alta temperatura desde el centro hacia el exterior (conversión de energía mecánica en térmica). En esa zona central se comienzan a producir reacciones de fusión nuclear, y por lo tanto neutrones y partículas alfa, y la temperatura pasa a ser de algunos keV. Cuando el producto de la densidad y el radio de la zona es de $0,3 \text{ g/cm}^2$ y las temperaturas superan los 4 keV, esa zona central entra en ignición, al depositar en ella su energía las partículas alfa de manera local. Al alcanzar ese producto valores superiores a 1 g/cm^2 el *quemado* (progresión de las reacciones de fusión y consumo del DT) se propaga hacia el combustible aún frío y en este se comienzan a dar las condiciones de fusión y un disparo de autocalentamiento, liberando una energía mayor que la absorbida por la cápsula. Tendríamos ignición y quemado; cuanto mayor es la masa involucrada en el proceso antes de que la cápsula se desconfinen, mayor será el rendimiento de cada una de las explosiones. Ese es el objetivo.

Hasta los últimos experimentos, las condiciones de iluminación correspondían a los denominados pulsos de irradiación láser LF, donde se efectuaba un pequeño pulso inicial antes del pulso principal del láser, que llevaba al *hohlraum* a una temperatura de 60 eV y el pulso final provocaba cuatro choques, mientras que en los últimos (denominados de HF) el prepulso conseguía temperaturas iniciales en las paredes del *hohlraum* de 90-100 eV y el pulso principal generaba tres choques posteriores. La razón para modificar esta forma de iluminación tiene su origen en el conocimiento de que se producen inestabilidades hidrodinámicas en el frente de ablación, lo que conlleva la mezcla del material combustible con el de la cápsula. Esto provoca un enfriamiento no deseado del combustible al emitir radiación de frenado el material de más alto número atómico y, por lo tanto, la no consecución de las condiciones de temperatura requeridas para la fusión nuclear. El efecto del pulso HF inhibe la mezcla del plástico usado (carbono-hidrógeno dopado con silicio) con el combustible. El motivo de este efecto estabilizador es

Tabla 1. Resultados de algunos de los experimentos de fusión nuclear realizados en NIF

Cantidad	N131119 ^{425TW} 1,9MJ	N130927 ^{390TW} 1,8MJ	N130927 ²⁵	N130927 ²⁵	N130927 (sim.)
Y_{13-15} (neutrón)	$(5,2 \pm 0,097) \times 10^{15}$	$(4,4 \pm 0,11) \times 10^{15}$	—	—	$7,6 \times 10^{15}$
T_{ion} (keV) D-T	$5,0 \pm 0,2$	$4,63 \pm 0,31$	—	—	4,2
T_{ion} (keV) D-D	$4,3 \pm 0,2$	$3,77 \pm 0,2$	—	—	3,9
DSR (%)	$4,0 \pm 0,4$	$3,85 \pm 0,41$	—	—	4,1
τ_x (ps)	$152,0 \pm 33,0$	$161,0 \pm 33,0$	—	—	137
$PO_x PO_n$ (μm)	$35,8 \pm 1,0, 34 \pm 4$	$35,3 \pm 1,1, 32 \pm 4$	—	—	32
$P2 / PO_x$	$-0,34 \pm 0,039$	$-0,143 \pm 0,044$	—	—	—
$P3 / PO_x$	$0,015 \pm 0,027$	$-0,004 \pm 0,023$	—	—	—
$P4 / PO_x$	$-0,009 \pm 0,039$	$-0,05 \pm 0,023$	—	—	—
Y_{total} (neutrón)	$6,1 \times 10^{15}$	$5,1 \times 10^{15}$	—	—	$8,9 \times 10^{15}$
$E_{fusión}$ (kJ)	17,3	14,4	—	—	25,1
r_{hs} (μm)	36,6	35,5	34,4-42,3	35,7-36,0	32,2
$(\rho r)_{hs}$ ($g\ cm^{-2}$)	0,12-0,15	0,12-0,18	0,13-0,19	0,1-0,14	0,15
E_{hs} (kJ)	3,9-4,4	3,5-4,2	3,7-5,5	3,71-4,56	4,1
E_{α} (kJ)	2,2-2,6	2,0-2,4	2,0-2,4	2,0-2,5	2,8
$E_{DT\ total}$ (kJ)	8,5-9,4	10,2-12,0	10,0-13,9	10,92-11,19	13,4
G_{fuel}	1,8-2,0	1,2-1,4	1,04-1,44	1,28-1,31	1,9

Las filas 1 a 9 de las columnas 2 y 3 son cantidades medidas directamente, el resto se deriva de los datos.
Las columnas 4 a 6 muestran los resultados de dos modelos gestionados por datos y una simulación, respectivamente.

el aumento de la velocidad del frente de ablación, que depende directamente de la temperatura de radiación y hace que disminuya el crecimiento lineal de la inestabilidad. Por otro lado, este mecanismo

aumenta la escala espacial donde se produce el gradiente de densidad del frente de ablación; esto provoca que la relación entre la presión del sistema y la de Fermi sea más alta, lo que lleva a que el fluido

sea menos compresible y, por lo tanto, tenga menos riesgo de *romperse* durante la implosión.
La energía que se ha depositado en el combustible se puede determinar

Residuos radiactivos generados en la producción de energía por fusión nuclear

En las plantas de potencia de fusión nuclear no existe un elemento radiactivo intrínseco generado en la propia reacción, sino el uso de un elemento de corta vida (12,5 años) emisor beta, que es el isótopo del hidrógeno tritio.

La naturaleza del material radiactivo proviene solo de dos fuentes:

- Los materiales componentes de la planta que al interaccionar, fundamentalmente, con los neutrones existentes en ella se “activan”, lo que quiere decir que pasan de estables a inestables o radiactivos, pero en el caso de la fusión con periodos de solo cientos de años.
- El propio tritio, componente combustible fundamental de la planta de potencia.

Los muy diversos estudios de reactores conceptuales de fusión nuclear han pretendido acotar:
—La fuente de isótopos radiactivos generados en el sistema.

- Los caminos de potencial escape de estos isótopos, sean líquidos o gaseosos, en operación.
- La magnitud y clasificación de los residuos radiactivos que permanecen al final de vida.

En las plantas de fusión nuclear, los inventarios de productos radiactivos en circulación son pequeños (pero deben lógicamente de ser contemplados), su generación se acaba al parar la instalación, no hay generación de isótopos fisibles y tienen bajos niveles de calor residual. Las plantas de potencia se van a plantear con materiales avanzados de baja activación, cuya elección, para la que hay un muy potente (que debería aún ser incrementado) programa de investigación, va a ser una decisión esencial.

como la suma de las energías en la zona central caliente, la energía en el combustible externo frío, la energía emitida por radiación de frenado a la que se descuenta la energía que se ha depositado por las partículas alfa. A su vez, cada uno de estos términos procede de una medida directa de diversos parámetros (véase tabla 1). Las medidas fundamentales son el rendimiento neutrónico en el rango de 13-15 MeV, alrededor del característico de 14,1 MeV de fusión; la temperatura de los iones del plasma de media durante el proceso de quemado; los intervalos de emisión neutrónica y de rayos X en el quemado; la relación de dispersión neutrónica o fracción de neutrones que, después de su dispersión, se miden con energías inferiores a la franja entre 13 y 15 MeV; el tiempo en el que se produce el pico de emisión neutrónica o *bang-time*. A través de estos parámetros, y usando relaciones conocidas (*Nature*, Hurricane 2014), se llega al conocimiento de la ganancia en el combustible como la relación entre la energía generada por fusión y la energía depo-



Vista general de las instalaciones de NIF con los tubos por los que discurren los rayos láser.

sitada en el combustible, en un valor > 1 , e igual a 1,2-1,4 / 1,8-2,0.

Cuantificando, en el experimento del 27 de octubre de 2013 se obtuvieron 14,4 kJ de energía por fusión cuando se habían depositado entre 10,2-12,0 kJ en el combus-

tible, mientras que en el del 19 de noviembre de 2013 la energía por fusión fue de 17,3 kJ, frente a 8,5-9,4 kJ. Por lo tanto, está demostrado el efecto de la deposición de las partículas alfa y la ganancia de energía así medida. Este exceso de energía no es lo

Además del tritio, la radiactividad inducida en estos reactores provendría del mecanismo físico por el que los neutrones producidos en la fusión *activan* (término por el que se conoce la generación de isótopos radiactivos a partir de aquellos que originalmente no lo son) los materiales estructurales. Sin embargo, si comparamos un reactor de fusión nuclear con otro de fisión nuclear de igual potencia, se obtiene que la dosis radiactiva producida por este último es de 1.000 a 10.000 veces superior a la producida por uno de fusión por confinamiento magnético o inercial, respectivamente, y sus vidas, después del desmantelamiento de la planta, son del orden de algunos centenares de años, si se piensa en los materiales planteados en los estudios a corto plazo. Pero además, la investigación permitirá el desarrollo de materiales que minimicen dicha generación de isótopos radiactivos, y este es uno de los programas más importantes en el desarrollo actual de la fusión. Existen investigaciones actuales sobre el empleo de

aceros basados en aleaciones de hierro y cromo, materiales compuestos basados en el carburo de silicio y/o carbono, aleaciones de vanadio y otros materiales de baja activación que la harán mínima y tras un periodo de decenas de años.

Los materiales activados decaen con relativa rapidez: muy rápido al principio y hasta 10.000 veces menos al cabo de 100 años. De esta manera, en esos periodos de tiempo, el material podría ser licenciado y no considerado radiactivo por el organismo de control nuclear. Otros materiales podrían ser reciclados y usados en otras plantas de fusión. Solo una pequeña cantidad de material, dependiendo de la elección de los materiales, podría estar en la situación de requerir un almacenamiento en un plazo más largo. Se concluye que no existirían residuos de almacenamiento permanente si se lleva a cabo un proceso (complejo) de reciclado. Y en todo caso, los residuos serían de almacenamiento superficial y no geológico profundo.

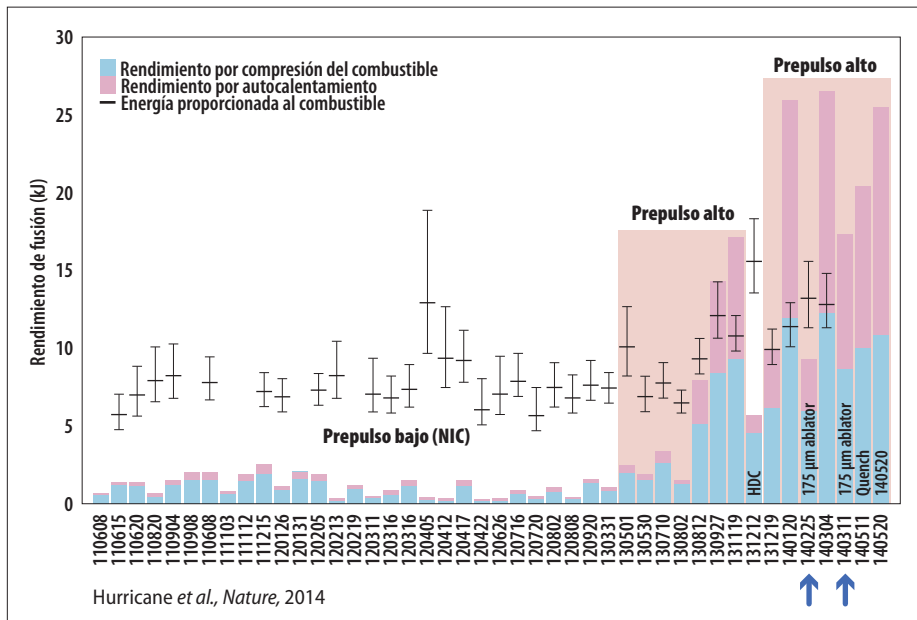


Figura 3. Resultados (rendimiento por fusión en cápsula de DT en kJ) obtenidos por los diferentes experimentos realizados en NIF.

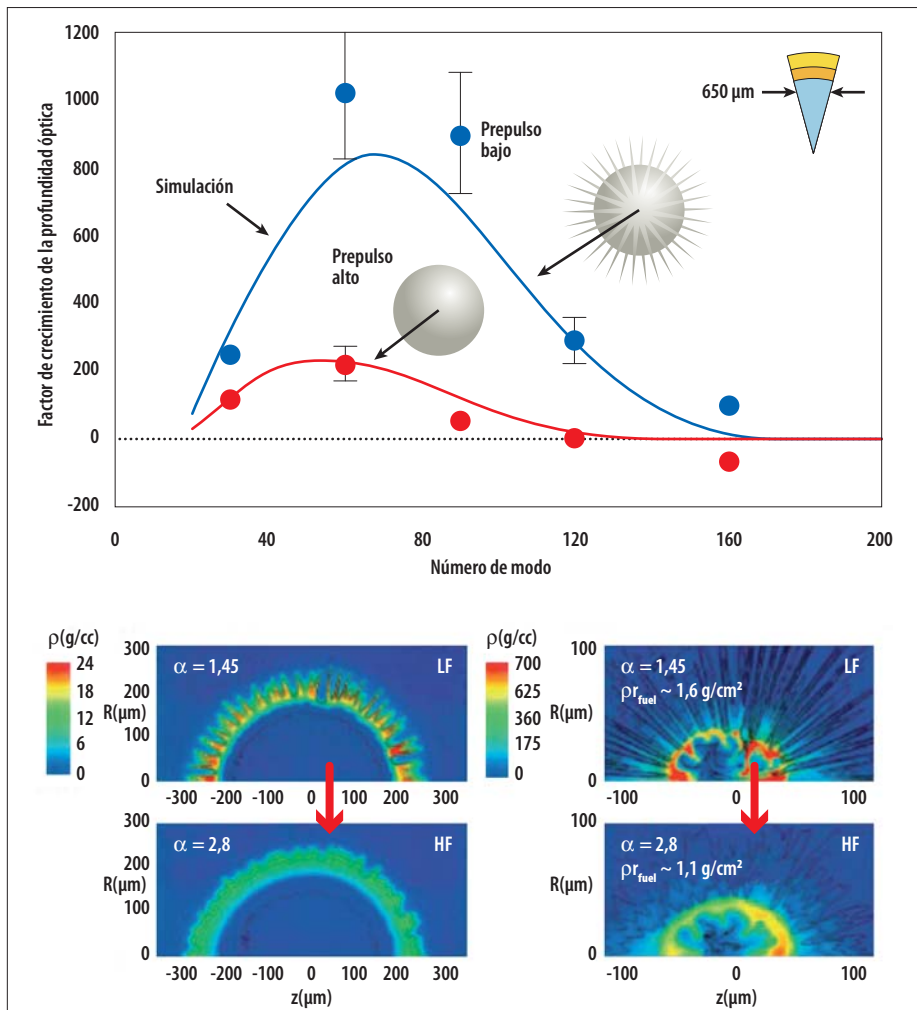


Figura 4.- Factor de crecimiento de inestabilidades para prepulso bajo (LF) y alto (HF), (arriba); y evolución del frente de ablación (abajo) durante implosión (izda.) y en máxima compresión (dcha.).

mismo si se usa en esa relación la energía absorbida por la cápsula (capa externa y el combustible DT), que es de 150 kJ, que si se considera la energía liberada por el láser de 1,8-1,9 MJ.

Por otra parte, si se estudia la figura 3, se observa claramente cómo el efecto del autocalentamiento por la deposición de energía de las partículas alfa es el mecanismo fundamental que contribuye al rendimiento del combustible, que es superior al efecto del trabajo por compresión en el combustible. En dicha figura, se observa que además de los resultados de Hurricane *et al.* (*Nature* 506, 343-348, 20 February 2014) aparecen resultados incluso mejores en marzo del año 2014, cuando se llega a valores de ganancia del combustible superiores a 2. Se añade que los resultados son concluyentes incluso contemplando las barras de error asociadas a los experimentos, efecto que solo se consigue por ese mecanismo y no a causa únicamente de la compresión. En definitiva, nos encontramos con el reconocimiento de que funciona el mecanismo esperado de autocalentamiento propio e indispensable para el concepto de ignición, aunque todavía no en la extensión deseada al conjunto del sistema.

El otro aspecto fundamental que se ha visto corregido en gran medida y que era un motivo para no alcanzar las condiciones necesarias en las experiencias previas de *low foot* ha sido el control de las inestabilidades hidrodinámicas motivadas en la interacción láser-plasma. Tal y como se puede apreciar en la figura 4, el crecimiento de dichas inestabilidades es mucho menor en todos los modos de oscilación posibles en el caso de prepulso alto, y se observa también (véase el recuadro inferior) la estabilidad del frente de ablación en su avance hacia el interior de la cápsula, cuando se compara con las campañas anteriores. De manera que se justifica plenamente el éxito en este sentido de la metodología y experiencias rea-

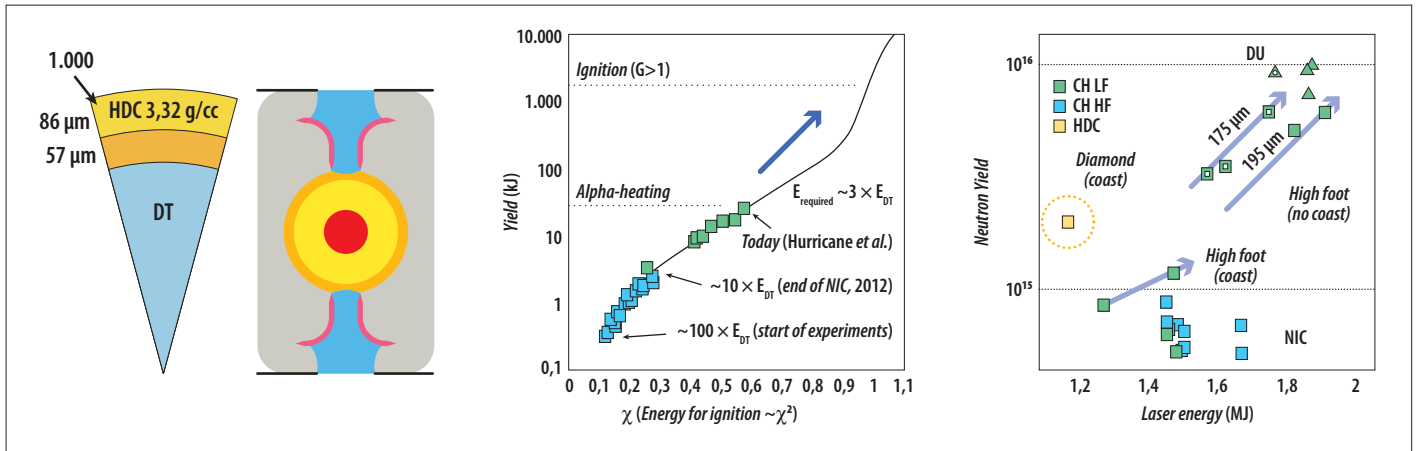


Figura 5. De izquierda a derecha, cápsula propuesta con capa de HDC y *hohlraum* con cuasivaci3n interna, rendimiento del DT vs. parámetro de ignici3n (1 = ignici3n) y rendimiento del DT vs. energí3a del láser.

lizadas. Ahora bien, dado este aspecto positivo, aparece uno negativo que consiste en la reducci3n de la convergencia (medida en términos de la relaci3n de los radios final e inicial de la cápsula) y del parámetro crítico del producto de la densidad y el radio, en el momento de máxima compresi3n.

Se prepara para ese objetivo realizar una nueva serie de experiencias para, manteniendo las condiciones alcanzadas de no crecimiento de las inestabilidades hidrodinámicas (y por lo tanto sin mezcla de los materiales en la implosi3n), lograr una mayor compresi3n y

convergencia. En esa campaa aparecen dos ideas fundamentales:

—Aumentar la energí3a que incide en la cápsula (rayos X) o hacer que la eficiencia de calentamiento sea superior.

—Aumentar la velocidad de implosi3n/aumentar la masa en ablaci3n o disminuir el trabajo necesario PdV para el mismo efecto.

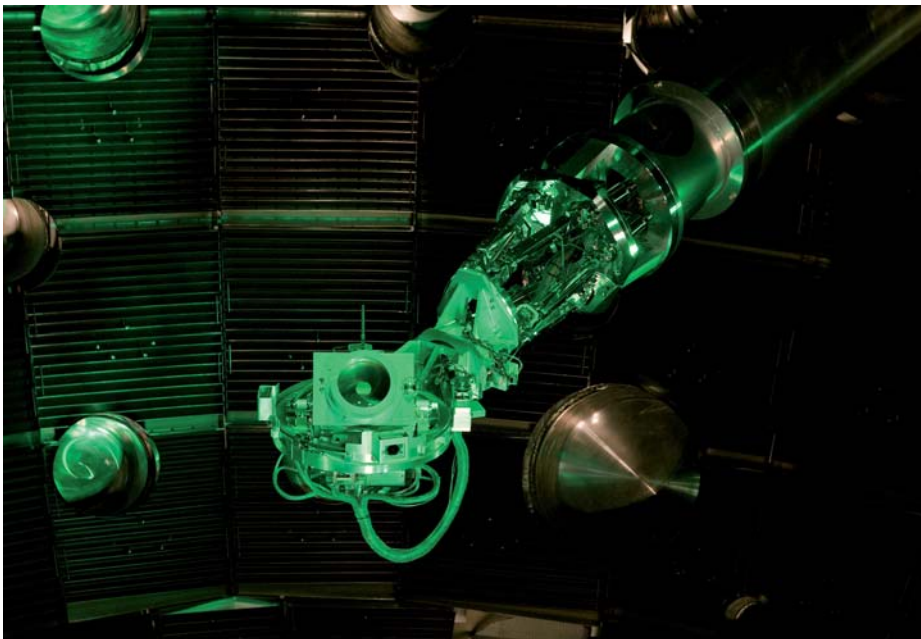
Lo que, segun queda reflejado en la figura 5 (T. Anklam, J. Edwards, *ICTP-IAEA College on Advanced Plasma Physics*, 20th August, 2014), pasa por usar *hohlraum* con llenado cuasivaci3n y el uso de materiales como diamante (carbono de

alta densidad, *High Density Carbon/HDC*) en lugar de plástico u otros. Las próximas campañas pasan por ahí, pensando en una línea de progreso como la representada en dicha figura, que refleja los experimentos pasados, los últimos prometedores y el necesario salto que se precisa para lograr la ignici3n.

Y la pregunta esencial, llegados a este punto de avance evidente, es si el proceso es escalable hasta la ganancia que se precisa en dispositivos de potencia o no. Esta es ahora la gran pregunta.

Láser MegaJoule y Orion

El Láser MegaJoule (LMJ) es el dispositivo para ignici3n mediante fusión inercial por láser, junto a otros objetivos similares a los ya mencionados de NIF, que Francia ha acabado de construir cerca de Burdeos, bajo la responsabilidad del Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA). Será por lo tanto del mismo nivel que NIF y el segundo gran láser de alta energí3a en entrar en funcionamiento en el mundo. Aún con peculiaridades propias, su constituci3n como láser es parecida a la de NIF. La idea de los blancos que se usarán es parecida aunque con formas distintas, tratando de corregir de otra manera los problemas ya conocidos. Sus dimensiones son de 300 por 100 metros el conjunto del edificio (incluyendo el láser) y de 60 metros de diámetro por 38 de altura el edificio que con-



Mecanismo de evaluaci3n por inspecci3n óptica de los experimentos realizados en NIF.

tiene la cámara, incluyendo el blindaje biológico de esta. Aunque la forma del blanco aún no se ha decidido, en este momento se piensa en soluciones *hohlraum* en forma de balón de rugby.

LMJ tiene una tecnología láser similar a NIF, pero estructurado en cuatro bahías a ambos lados de la cámara (de dimensiones similares, 10 metros de diámetro), donde se aloja el blanco, con un número inicial de 240 haces, de los que se van a montar solo 176 y en la primera etapa 160. Su energía es de 1,5 MJ, disparados entre 0,7 y 25 nanosegundos, lo que supone una potencia de 400 TW.

El LMJ ha comenzado a operar con solo ocho haces (*bundle*), compuestos en dos grupos de cuatro haces cada uno (*quad*), desde finales de agosto de 2014, con experimentos en el infrarrojo y ultravioleta, y están previstos los primeros de radiación para antes del final de 2014. Progresivamente se irán completando los otros haces para los que su soporte y estructura está ya preparada, completando distintos experimentos de radiación-hidrodinámica, física atómica, ecuaciones de estado e inestabilidades, para llegar a la ignición, para la que no hay una fecha definida, pero que quizás podría situarse en 2020. Significativo es que a principios de 2017 esta configuración, unida al láser de petavatios anexa Petal (que se describe a continuación), estará abierta para el uso de la comunidad científica del mundo de la energía, astrofísica, física planetaria, materiales y física de alta densidad de energía en general. En la actualidad, noviembre de 2014, está abierta la primera convocatoria de interés para realizar experimentos en dichas instalaciones combinadas: LMJ-Petal.

En Reino Unido ha comenzado a funcionar otra instalación tremendamente útil para conocer más la física de la fusión inercial, que es el láser Orion en el establecimiento de Aldermaston (AWE). Es un láser capaz de liberar 5 kJ

de energía en luz ultravioleta (0,35 micras) con diez haces. Dispone además de dos haces de petavatios para calentamiento y diagnóstico, perfectos para la realización de experimentos en ignición por choque e ignición rápida en una cámara de 5 metros.

Petal y Firex-1

Se investigan actualmente otras opciones para conseguir energía por fusión inercial de manera eficiente, reduciendo las magnitudes necesarias de energía liberadas por el láser, como son la ignición por choque y la ignición rápida. El secreto en ellas es llevar a cabo una iluminación en los blancos, de suerte que el proceso de calentamiento y compresión se desacoplen, haciendo que ese calentamiento final, consecuencia de la compresión a lo largo de todo el pulso (en el proceso convencional o ignición central), se produzca de manera independiente: mediante una onda de choque muy intensa al final del pulso original largo (20 nanosegundos) provocada por un corto pulso de cientos de picosegundos (ignición por choque), o mediante un pulso ultracorto de pocos picosegundos en el último momento, que sea capaz de generar un haz de electrones relativistas en el centro de la cápsula ya comprimida (ignición rápida).

En el caso de la ignición por choque, existen dos fases bien definidas: una de compresión moderada y otra de choque para provocar el calentamiento central. Y tiene dos problemas importantes: alcanzar en esa fase final al menos los 300 Mbar de presión y el efecto de la generación de electrones supratérmicos (ultrarrápidos), que provocarían un calentamiento central con anterioridad al momento deseado. Se están efectuando experimentos en geometría plana y esférica, aún lejos de ser concluyentes, que indican que es posible, pero que la investigación está aún lejos de definir esa posibilidad.

El Programa Europeo de Fusión Inercial está pasando en la actualidad por incentivar la investigación en esa línea, sin dejar de lado las otras alternativas como la ignición rápida, y también en EE UU con el láser Omega. En ese sentido, la aparición de la instalación Petal asociada al LMJ es una fantástica noticia. Con una energía de 3,5 kJ, en una longitud de onda de 1.053 nm y generados entre 0,5 y 10 picosegundos, supone una potencia de 7 PW y una intensidad de $10^{20} \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$. Comenzando sus primeros experimentos de acondicionamiento y prueba entre 2015 y 2016, Petal estaría acoplado a LMJ (4 *quads*) y abierto para su uso por parte de la comunidad científica a finales de 2016 o principios de 2017 y ahora se publicita la solicitud de aportaciones a esta instalación.

Las experiencias en ignición rápida se están realizando en diversos laboratorios en Europa, con láseres como Vulcan (Reino Unido), Luli (Francia), Pals (República Checa), y en EE UU con Omega, pero el programa más avanzado y contundente lo lleva a cabo el Instituto de Ingeniería del Láser (ILE) de la Universidad de Osaka. Tomemos por lo tanto su programa para definir la investigación realizada en esa área. Para poder llegar a las temperaturas de ignición, ILE ha definido un doble objetivo: aumentar la energía del láser de pulso corto (PW) usado y aumentar la eficiencia del proceso de calentamiento. Lo primero se va a lograr a finales de 2014 o al comienzo de 2015 con la operación del láser de PW, en el Proyecto Firex-I que supera las capacidades del previo LFEX, hasta usar cuatro haces con una energía de 10 kJ en 10 picosegundos. Para solventar el segundo objetivo, se han identificado los problemas hasta ahora existentes. Uno es la generación de electrones supratérmicos (o ultrarrápidos), consecuencia de la existencia de un preplasma, debido a la interacción del prepulso láser con la cápsula,



Aspecto exterior de la cámara de ignición de la instalación francesa Laser MegaJoule.

que interacciona con el pulso ultracorto fundamental y que provoca una pérdida de energía al tener esos electrones tan energéticos energía suficiente como para que su rango de deposición pase la zona central del blanco. Por otra parte, en esa generación de electrones relativistas se da una tremenda divergencia del haz (de hasta 100°) lo que conlleva una reducción significativa de los que depositan su energía en el centro de la cápsula comprimida, sin contribuir al calentamiento.

Para resolver el problema crítico de la divergencia, ILE está proponiendo la generación de campos magnéticos (autogenerados) para su colimación. El mecanismo ha sido comprobado usando campos magnéticos generados externamente. Para conseguir que los campos sean autogenerados, se está proponiendo un doble anillo-condensador que dispone de un aro por el que penetra el haz láser, incidiendo sobre la segunda placa en la que se genera un plasma que actúa como un generador de corriente entre ambas placas que provoca, en el sentido deseado, el campo mag-

nético. Las pruebas ya han indicado que con este sistema se logran campos adecuados de 0,7 teslas, habiéndose alcanzado con éxito para la colimación del haz de electrones 1 tesla.

Ignición y física avanzada

Con más de 50 veces, la energía de cualquier otro láser, NIF y LMJ permiten investigaciones que están en el extremo de las condiciones del laboratorio; eso incluye:

- Densidades de $\sim 10^3 \text{ g/cm}^3$.
- Densidades neutrónicas de $10^{26}/\text{cm}^3$.
- Presiones hasta ahora inalcanzables de 10^{11} atmósferas.
- Volúmenes de material en condiciones de temperatura inalcanzables de 10^8 K .
- Volúmenes de material en condiciones de temperatura de radiación hasta ahora inalcanzables de 10^6 K .

De hecho, en solo tres situaciones el Universo está o ha estado en dichas condiciones extremas: en el *big bang*, en el

interior de las estrellas y planetas y en las explosiones termonucleares.

Por órdenes de magnitud de diferencia, nada puede producir las densidades y número de neutrones que generan (o generarán) el NIF y el LMJ. Su capacidad, unida a otras instalaciones para la investigación de la física de alta densidad de energía, permite disponer de oportunidades para conocer más en diversos campos de la física espacial y planetaria:

- Transporte de radiación e hidrodinámica.
- Astrofísica.
- Ciencia de materiales ultradensos y daño de materiales.
- Diversas áreas de física del plasma.
- Interacción láser-plasma.
- Fuentes de luz ultraintensas y óptica no lineal.
- Fuentes de radiación nuevas.
- Áreas que envuelven electromagnetismo, cuántica, física relativista y estadística.
- Física nuclear y física de alta energía.

Fernando Castelló Boronat (Castellón, 1958) se licenció en Ciencias Políticas y Sociología por la Universidad Complutense de Madrid. Casado y con dos hijos, trabajó en la empresa privada en el sector financiero, ha sido concejal del Ayuntamiento de su ciudad, después diputado por Castellón en las Cortes Valencianas, donde fue portavoz adjunto del Grupo Parlamentario Popular. En 1999 fue nombrado *conseller* de Industria y Comercio de la Generalitat Valenciana, más tarde de Innovación y Competi-

tividad, y finalmente de Industria, Comercio y Energía. En 2003 pasó a ocupar el puesto de secretario de Estado de la Seguridad Social y, entre 2004 y 2008, fue diputado por Castellón. En el Congreso ejerció de portavoz de Industria, Energía y Telecomunicaciones y Sociedad de la Información. Entre 2008 y 2011 presidió el Tribunal de Defensa de la Competencia de la Generalitat Valenciana. En mayo de 2012 fue nombrado miembro del Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear.

Entrevista a Fernando Castelló, consejero del CSN

“En el proceso de licenciamiento del ATC debe primar el rigor sobre los plazos”

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

Dos años y medio después de su incorporación conoce los vericuetos de la *casa* y es el coordinador del equipo creado para sacar adelante la cuestión más novedosa y compleja que afronta actualmente el Consejo: el licenciamiento del Almacén Temporal Centralizado (ATC) que deberá albergar el combustible gastado de las centrales nucleares españolas y los residuos radiactivos de alta actividad.

PREGUNTA: *¿Se ven las cosas del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) de diferente manera desde dentro de la casa?*

RESPUESTA: Cuando llegué aquí tenía un conocimiento bastante aproximado del CSN por mi experiencia ante-

rior, sobre todo desde el Congreso de los Diputados. Pero siempre encuentras cosas que no habías pensado. Quizás la circunstancia que más me ha sorprendido es que, aunque desde fuera se sabe de la capacidad técnica del Consejo, cuando estás dentro la percibes mucho más y esos recursos humanos proporcionan una gran tranquilidad. Hay otras cosas importantes también, pero la que más es comprobar la profesionalidad y la capacidad técnica, un valor espectacular.

P: *¿Cree que el Consejo es poco conocido o mal conocido fuera?*

R: Poco conocido sí, pero es por la propia peculiaridad del organismo. Su objetivo es la seguridad nuclear y la pro-

tección radiológica y lo mejor que puede ocurrir, y es lo que sucede, es que este trabajo pase desapercibido, que no esté habitualmente en los medios de comunicación, ya que las situaciones están bajo control. No obstante, sería muy interesante que algunas instituciones de la Administración pública española y los medios de comunicación tuvieran un conocimiento algo más exhaustivo de lo que es y lo que hace el Consejo, pero por su idiosincrasia es lógico que sea un gran desconocido para la opinión pública.

P: *¿Qué virtudes y qué carencias del Consejo destacaría?*

R: Una de las grandes virtudes es la que comentaba antes: los profesionales



que tiene en todos los ámbitos de su actividad. Este valor hay que preservarlo para que la actividad del Consejo se vea garantizada. Y en eso estamos trabajando. En este año pasado hemos conseguido que se puedan convocar oposiciones para poder ir renovando las capacidades del Consejo y que se nutra de nuevos valores. Otra cuestión que me gustaría destacar es el gran prestigio internacional del CSN, adquirido en su trayectoria y en sus más de 30 años de trabajo, mediante la presencia del organismo y de nuestros técnicos en reuniones y misiones internacionales. Creo que aún queda recorrido y que hay un potencial muy interesante en el ámbito internacional, y que de-

bemos rentabilizar ese prestigio en beneficio de la institución y de España, obteniendo un mayor retorno tanto para el propio Consejo como para el sector empresarial en general.

P: *El Pleno del CSN le nominó coordinador del proceso de licenciamiento del ATC. ¿Fue un regalo envenenado?*

R: No, en absoluto, en todo caso es una oportunidad magnífica porque es un proyecto de Estado, como se ha dicho y repetido muchas veces, aunque es verdad que supone un reto importante a todos los niveles. Hay que tener en cuenta que el proceso de licenciamiento de un proyecto como el ATC es relevante en el ámbito nuclear en todo el mundo. Exis-

te experiencia internacional en cuanto al almacenamiento de combustible gastado (en Francia, Suecia, Reino Unido...), pero de características análogas al ATC solo hay un almacén similar, de menor capacidad, en Holanda y, por lo tanto, como proyecto novedoso puede ser una grandísima oportunidad para el CSN, sobre todo si se consigue cumplir con el objetivo de ponerlo en funcionamiento sería muy importante para el Consejo, como organismo regulador, que ha licenciado una instalación de estas características en el ámbito internacional.

P: *Un reto muy complicado ¿no?*

R: Los retos no suelen ser sencillos, por eso son retos. Y en todo caso, com-



“El OIEA considera el Foro Iberoamericano un modelo de colaboración regional entre organismos reguladores”

PREGUNTA: Parte del prestigio internacional del CSN se percibe en la actividad del Foro Iberoamericano en el que usted representa al Consejo. ¿Qué importancia tiene para este foro?

RESPUESTA: Se trata de una organización que se constituye en 1997 y que ha tenido un gran desarrollo, gracias, especialmente, a la ventaja del idioma común y al esfuerzo de sus miembros. Ahora estamos en un momento crucial y puede ser muy interesante en el futuro, porque nació con seis países y ahora ya somos nueve, incluida Colombia que se incorporó hace poco. Prueba de su interés es que se han firmado acuerdos con el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), que está muy interesado en el Foro como modelo de colaboración regional entre organismos reguladores, y también con la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP).

P: ¿España obtiene beneficios o más bien aporta su experiencia al resto de miembros?

plicado como requiere un proyecto de estas características. Evidentemente no es una cosa sencilla, pero, aún así, el CSN está cumpliendo con sus obligaciones correctamente. No olvidemos que el Consejo ya tiene amplia experiencia en el licenciamiento de otras instalaciones nucleares, en la supervisión y control de su operación y en modificaciones de diseño de instalaciones nucleares para el almacenamiento temporal de combustible gastado.

P: Hace tres años que se designó el emplazamiento de esta instalación y da la impresión de que las cosas van muy despacio. ¿Es así o es que tienen que ir despacio?

R: Las cosas tienen su tiempo, y en materia de seguridad nuclear y protección radiológica y, en general, en los asuntos en los que trabaja el Consejo, los plazos no son como en otras administraciones. En cualquier caso, hay que decir que el

Consejo ha tomado algunas decisiones internamente que están agilizando el proceso de evaluación, como tener una organización específica, con un coordinador y un coordinador adjunto, y externalizar alguno de los trabajos. Esto se ha hecho para agilizar el proceso de evaluación, dada la carga de trabajo que tenemos en algunas de las áreas afectadas y los recursos humanos disponibles cuantitativamente. Pero los plazos son los que deben de ser y pueden parecer lentos, pero tiene que ser así, porque lo que debe primar es el rigor en la evaluación.

P: ¿Estas exigencias de rigurosidad explican que el CSN haya contratado un informe a una empresa externa?

R: Se trata de una asesoría externa, contratada por concurso público, que lo que hace es ayudar al trabajo interno del propio Consejo, que, como decía, tiene unos recursos humanos limitados. Y lo

que ha estado haciendo es apoyar el trabajo del propio CSN, para que los tiempos no se dilataran más de lo necesario. Que dure lo que el rigor nos impone, pero nada más que eso. En todo caso, no es novedoso que el CSN contrate empresas externas siempre que lo considere conveniente, ya sea por carga de trabajo o bien por cuestión de innovación o experiencia de otras organizaciones.

P: ¿Dispone el Consejo de expertos en todas las áreas implicadas en un proyecto que incluye estudios muy especializados en disciplinas tan diferentes?

R: El Consejo tiene expertos en todas las áreas, lo que ocurre es que por las propias características del organismo los recursos que tiene son limitados y su actividad es amplia y ha sido mayor en los últimos años debido a la implantación de las lecciones aprendidas del accidente de Fukushima. Cuando se conoció que nos

R: Todos obtenemos beneficios. Es un mecanismo que nos permite intercambiar conocimientos y además tiene un programa técnico muy importante. Todos los años se aprueban dos o tres proyectos técnicos para desarrollar. Ahora estamos debatiendo la estrategia a medio y largo plazo para tener una mayor capacidad, tanto en lo que se refiere a la coordinación de normativa como en experiencias en el ámbito técnico, y con ello poder exportar el modelo a otras regiones. El año 2015 es importante para concretar ese futuro del Foro que hasta ahora ha dado resultados muy interesantes, pero que puede mejorar en los próximos años.

P: *En esa proyección del modelo hacia otras regiones, España puede tener especial interés, por ejemplo en el área mediterránea. ¿Nuestro país estaría bien situado para organizar o participar activamente en una asociación en esa zona?*

R: Entiendo que ese es uno de los elementos que debemos trabajar para el futuro. Es decir, aprovechar nuestra gran experiencia y el modelo del Foro Iberoamericano para poder posicionarnos en el ámbito de la región mediterránea y el norte de África y tener unas relaciones mucho más intensas con países tan próximos, que además tienen tanto interés, no solo desde el punto de vista nuclear, sino también geoestratégico.

P: *Hay otra región más lejana, Asia, en la que usted ha presentado el modelo del Foro y ha participado en las reuniones de Europa-Asia. ¿Tiene interés esta zona para España?*

R: Creo que para nosotros los países asiáticos pueden ser de interés, especialmente aquellos que tienen una evolución y unas expectativas de crecimiento en estos ámbitos. A nadie se le escapa que China tiene un programa nuclear muy ambicioso y otros países del entorno asiático también están en esa misma dinámica y podemos desempeñar un papel protagonista que no debemos desaprovechar. Todo lo que sea oportunidad de trasladar nuestro conocimiento, de posibilitar acuerdos en los que el Consejo pueda participar como organismo regulador, y así ayudar también a España a posicionarse en esos mercados, puede ser sumamente interesante.

P: *¿Hay un retorno en estas actividades internacionales para el Consejo?*

R: Por supuesto, siempre hay que buscar ese retorno que, en nuestro caso, no suele ser económico. Lo más importante de ese retorno es la transferencia de conocimiento y ver qué pueden aportar esos países que están con programas nucleares al regulador español. Creo que, como le he dicho, el Consejo puede adquirir mayor protagonismo en el ámbito internacional y con ello colaborar en la proyección de España en el mundo. ■

iban a solicitar estas autorizaciones y este proyecto, el Consejo estudió la necesidad de apoyar a los expertos del CSN para que el trabajo no se dilatará en exceso, teniendo en cuenta otros procesos de licenciamiento y supervisión y control que transcurren en paralelo. Era una cuestión de oportunidad y de cumplir con el objetivo de sacar con tiempos razonables un trabajo que es muy importante.

P: *Se han aireado algunos problemas o requisitos que el Consejo ha exigido a Enresa para mejorar el proyecto o aclarar aspectos. ¿Significa que el proyecto tiene carencias graves?*

R: Yo no lo pondría en términos de gravedad. Lo que sí es cierto es que hay que saber en qué momento procesal está el proyecto. Aquí nos presentaron en su momento toda la documentación que el Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas requiere para la solici-

tud de autorización previa y para la solicitud de autorización de construcción. El Consejo en cierto momento, con fecha 15 de septiembre, le pide al titular información adicional sobre muchas cuestiones, como hace con cualquier otro proyecto de licenciamiento que se presenta. Esa petición es para que explique algunas cosas, para que informe de manera más profunda otras, para que añada información y justificación de sus argumentaciones ya expuestas en los documentos presentados y, en definitiva, para poder evaluar con rigor, sin más.

P: *¿Y lo está haciendo?*

R: En estos momentos Enresa está remitiendo toda esa información adicional. Lo que ocurre es que la trascendencia pública que tiene este asunto no la tienen otros y la gente no sabe que este es un trabajo normal; de hecho, esta forma de proceder está así recogida en nuestros

procedimientos de actuación. Entiendo que los medios de comunicación y en algunos ámbitos políticos se quiera dar mayor importancia a unas cosas e interpretar algunas cuestiones, pero en estos momentos la situación del proyecto del ATC es que está en un proceso de petición de información adicional, que Enresa está cumpliendo contestando a estas peticiones y que en cuanto se tenga toda esa información será evaluada por los técnicos del organismo y, finalmente, el Pleno se posicionará respecto al informe que se le presente en la propuesta de dictamen técnico (PDT), elaborado por los servicios técnicos, sobre dichas solicitudes de autorización previa y de construcción.

P: *¿Para cuándo?*

R: El Consejo no tiene plazos. Va a depender de que Enresa nos vaya aportando la información en los tiempos en los que se ha comprometido a hacerlo, y de

momento los está cumpliendo, y va a depender del tiempo que lleve la evaluación de esa información. Dar una fecha sería por mi parte una imprudencia.

P: *¿Es fluida la relación con Enresa?*

R: Es la habitual, como con cualquier otro titular y, en general, es muy fluida, lo ha sido y lo será porque tiene que ser así. Es una relación de mutua confianza, aún teniendo en cuenta que el regulador y los titulares tienen sus obligaciones muy determinadas. Es absolutamente necesario que el regulador y el titular, cualquiera que sea, tengan una buena interacción para cumplir los objetivos que tenemos, que son los mismos para todos: la seguridad y la protección radiológica, por lo cual debemos estar muy en sintonía.

P: *Además de las reuniones técnicas habituales, hubo una de carácter más institucional, con visita del presidente de Enresa al Consejo...*

R: Las reuniones con Enresa desde el punto de vista técnico son permanentes. Además, el CSN tiene constituido un comité de enlace con Enresa, que celebra dos reuniones anuales, en las que se tratan todos los temas, no solo el ATC sino también El Cabril o cualquier otra actividad. El CSN tiene constituidos comités de enlace también con otros titulares como Enusa, Unesa y el Ciemat. Sí, es verdad que en el programa de trabajo general del ATC hay establecidas reuniones periódicas con Enresa, prácticamente una al mes.

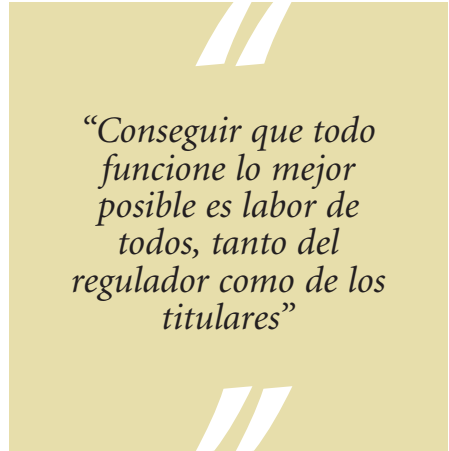
P: *¿No es un poco precipitado que Enresa haya sacado a concurso la obra civil del ATC sin el informe del Consejo?*

R: Esa es una responsabilidad de Enresa, nosotros ahí no tenemos nada que decir ni opinar, porque no está bajo nuestra responsabilidad el que tengamos que autorizar o informar esta decisión. Lo que nos compete es evaluar e informar sobre las cuestiones de seguridad nuclear y la protección radiológica. Como

es sabido, la autorización administrativa la otorga el Ministerio, pero nosotros informamos esas autorizaciones, tanto la previa o de emplazamiento, la autorización de construcción, como, en su caso, se informaría sobre la autorización de explotación. No tenemos nada que decir sobre la gestión de Enresa, que es la que debe tomar las decisiones de cuándo contratar las obras, los servicios o los recursos humanos.

P: *El diseño conceptual del ATC fue aprobado en su día por el Consejo. ¿Puede variar ahora con las características del emplazamiento?*

R: Precisamente se está evaluando la idoneidad del diseño en ese emplaza-



“Conseguir que todo funcione lo mejor posible es labor de todos, tanto del regulador como de los titulares”

miento. Desde el punto de vista de la seguridad ambos conceptos no se pueden separar. En esta etapa, sobre la base del diseño conceptual, se está realizando la adecuación a las características específicas del emplazamiento. El diseño conceptual del almacén como instalación que permita la ubicación de elementos combustibles gastados de manera temporal y en seco, con sus elementos básicos de seguridad, no varía. Se debe diseñar una instalación en una ubicación concreta y eso es lo que se evalúa.

P: *¿Cabe la posibilidad de que se lleve a descartar Villar de Cañas?*

R: Estamos trabajando sobre la solitud de Enresa y ahora con la informa-

ción adicional que hemos requerido a la empresa veremos cuál es el resultado final. En cualquier caso, nuestro trabajo es garantizar la seguridad de la instalación, no realizar la selección de los emplazamientos. Esa labor corresponde al Ministerio de Industria, Energía y Turismo y el CSN se mantuvo al margen del proceso de selección, garantizando así su independencia como organismo regulador.

P: *¿Cómo va la trasposición de la Directiva Europea de Residuos?*

R: Ha sido traspuesta en el Real Decreto 102/2014 de 21 de febrero de 2014, sobre la gestión responsable y segura del combustible nuclear gastado y de los residuos radiactivos. Precisamente, forma parte de la reglamentación aplicable, entre otras instalaciones, al ATC.

P: *¿Y el proceso de autorización de Santa María de Garoña?*

R: En mayo de 2014 el titular solicitó la renovación de la autorización de explotación. En el mes de julio, el CSN estableció nuevos requerimientos en una Instrucción Técnica Complementaria (ITC). Entre otros aspectos, se requerían determinadas pruebas e inspecciones sobre la integridad de la vasija y sobre penetraciones a esta; el titular ha iniciado las actuaciones para recoger los datos y realizar los nuevos análisis requeridos, y el CSN se está pronunciando sobre las actuaciones y planificaciones de las nuevas pruebas solicitadas. Creo que todo el mundo ha podido comprobar que la ITC que salió es muy rigurosa y que se le ha requerido prácticamente todo lo que se le podía requerir. Ahora está en el proceso de evaluación y no podemos adelantar resultados.

P: *¿Qué otros retos afronta el CSN?*

R: Es importante el reto que ya he señalado de los recursos humanos, que es permanente, y creo que estamos en situación de ir cumpliendo en los próximos años con nuevas incorporaciones para cubrir las necesidades del día a día y pa-

ra estos retos adicionales, como el del ATC, que van surgiendo en la vida del regulador. Además, hay otras dos cuestiones que me gustaría resaltar, una está ligada a lo anterior y es la gestión del conocimiento dentro del propio Consejo. No solo es importante de cara al futuro que los recursos humanos sean los que la actividad del Consejo requiera, sino también que no se pierda el conocimiento de los técnicos que han trabajado y vivido la experiencia del día a día duran-

más el conocimiento a la opinión pública y a los grupos de interés, utilizando los instrumentos y las herramientas que hay disponibles. Por eso, va a haber una nueva web mucho más accesible, donde se accederá más fácilmente a la información. Y otro reto interesante para toda organización es hacer una revisión interna de su propio funcionamiento y de su normativa. A veces las cosas tienen su inercia y es conveniente revisar y actualizar los procedimientos para mejorar.

R: Efectivamente. Por ejemplo, se van incrementando los instrumentos de trabajo, como el SISC, en el que se han introducido cuestiones novedosas, como son los elementos transversales. Hay que ver cómo están funcionando las cosas y mejorarlas, aprendiendo de la experiencia, tanto del regulador como de los titulares, porque conseguir que todo funcione lo mejor posible es una labor de todos. Respecto a las instalaciones radiactivas, hay que señalar



te tantos años. Se trata de que las nuevas generaciones puedan absorber ese conocimiento. La otra cuestión es el reto de la transparencia: que las actuaciones del Consejo sean comunicadas con rigor y en el momento oportuno, teniendo en cuenta siempre que se trata de cuestiones de seguridad. Y el presidente está muy empeñado en ello.

P: En transparencia el Consejo cumple ya sobradamente con la ley ¿no?

R: El reto no es tanto cumplir los criterios de la ley, que se cumplen ampliamente, sino que además se facilite mucho

P: Una forma de ayudar a esa revisión son las misiones del OIEA. ¿Hay prevista alguna revisión de las conclusiones que en su día tuvo la que se hizo al CSN?

R: Está prevista para 2018. Los resultados de la que se hizo fueron muy buenos y lo que tenemos que hacer es estar permanentemente al tanto. Los procesos de mejora continua y el sistema de gestión implantado para la gestión interna, esperamos que se vean reflejados en esa nueva revisión de nuestra actuación.

P: El mundo es cambiante y hay que adaptarse de forma continua...

que el número de actividades de licenciamiento se ha incrementado, tanto en el ámbito hospitalario, instalaciones de diagnóstico PET y renovación de las instalaciones de aceleradores lineales, como industrial. A todas estas nuevas solicitudes y al incremento de actividad consiguiente de supervisión y control, estamos dando respuesta. Además, el CSN continúa trabajando en el control de la gestión de fuentes radiactivas encapsuladas de alta actividad. Como ve, la actividad que desarrolla el Consejo es diversa e intensiva. ©

El radón (^{222}Rn)

■ Texto: **Jose Luis Martín Matarranz y Marta García-Talavera San Miguel** |
Subdirección de Protección Radiológica Ambiental ■

Existen en la naturaleza tres isótopos del gas noble radón. El ^{222}Rn ($T_{1/2}$, 3,82 días) de la cadena de desintegración del uranio (^{238}U) y al que se denomina específicamente radón, el ^{220}Rn ($T_{1/2}$, 54,5 s) isótopo producido en la serie del torio (^{232}Th) y al que se denomina torón y el ^{219}Rn ($T_{1/2}$, 3,92 s) isótopo de la cadena del actinio (^{235}U) y al que se denomina actinón. Este último existe en cantidades inapreciables dadas las bajas concentraciones de ^{235}U en los materiales naturales.

Debido al mayor significado radiológico del ^{222}Rn frente a los otros dos isótopos, en adelante nos vamos a referir a este.

El radón se produce de manera ubicua en la corteza terrestre, aunque sus tasas de exhalación oscilan entre amplios márgenes, en función del contenido de ^{226}Ra existente en el terreno y de su permeabilidad. Debido a su solubilidad en el agua, el radón se encuentra también en dicho medio, y presenta valores bajos en las aguas superficiales, y concentraciones más elevadas en las aguas subterráneas, en función de la geología del terreno.

También se utiliza como trazador e indicador de procesos ambientales, como en la predicción de terremotos o de erupciones volcánicas. Tiene aplicación también como trazador de procesos atmosféricos y, debido a su solubilidad en el agua, en estudios hidrogeológicos.

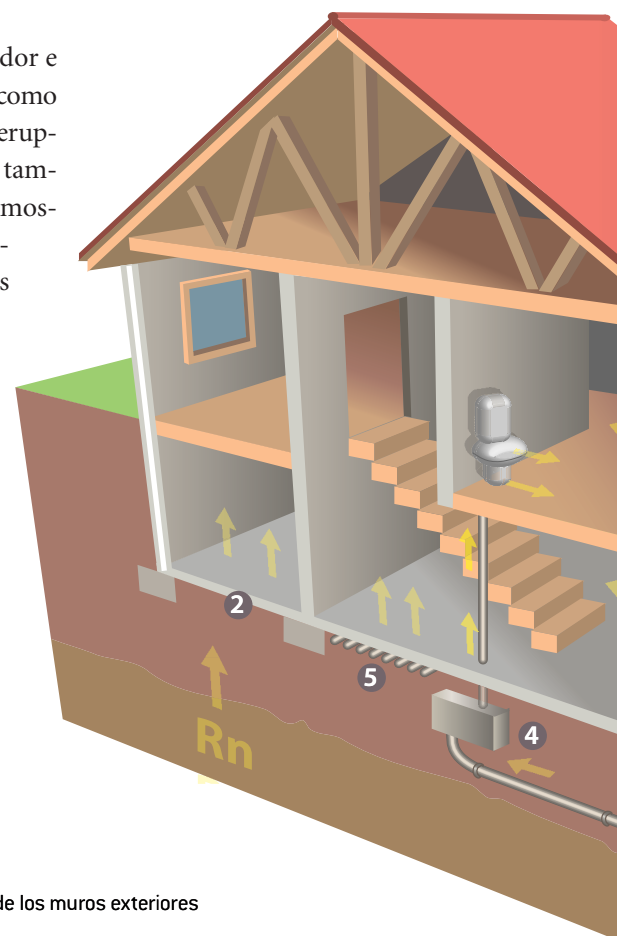
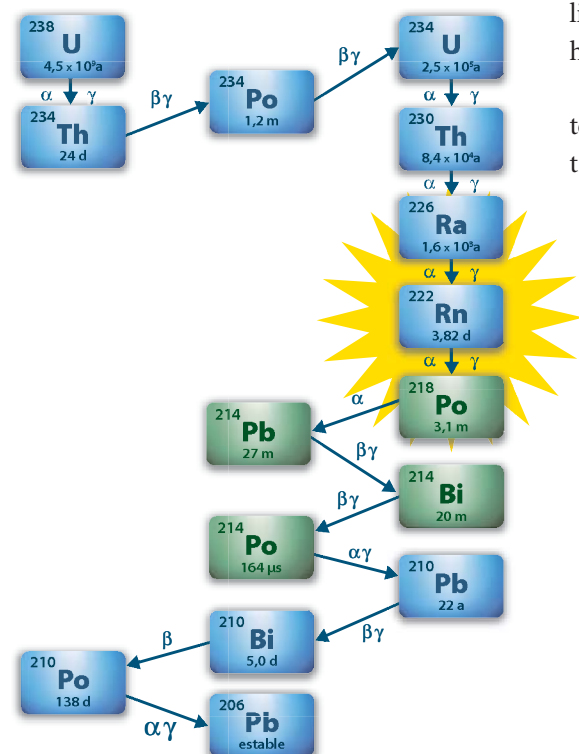
El radón, en su desintegración, da origen a cuatro radionucleidos: ^{218}Po ,

^{214}Pb , ^{214}Bi y ^{214}Po , con periodos de semidesintegración cortos y comprendidos entre los 16 μs del ^{214}Po y los 27 minutos del ^{214}Pb . Son los denominados descendientes de periodo corto y son los principales responsables de las dosis que se reciben por la inhalación de dicho gas.

El radón en interiores

Mientras que las concentraciones de radón y descendientes en el exterior, en general no suelen ser altas, en el interior de algunos edificios y viviendas, dependiendo principalmente del sustrato geológico y del tipo de construcción, se pueden originar concentraciones muy elevadas.

Otros dos parámetros adicionales muy importantes que influyen en las



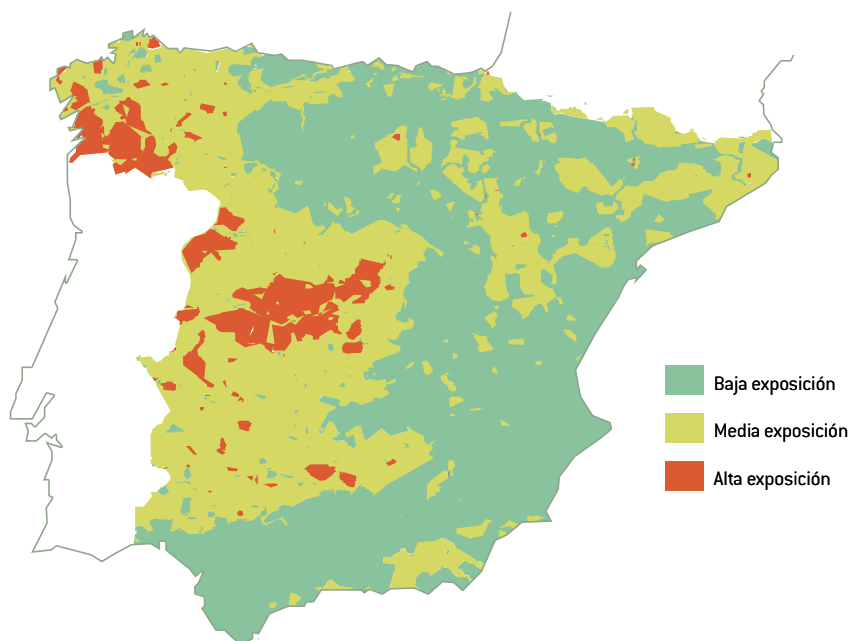
Vías de entrada del radón

1. Interior de la cámara de aire de los muros exteriores
2. A través de la solera
3. A través de los muros del sótano
4. A través de conductos de saneamiento
5. A través del forjado sanitario

concentraciones en el interior son las prácticas de ventilación y las prácticas de conservación de energía. Mientras las primeras ayudan a disminuir las concentraciones, las segundas contribuyen a elevarlas, debido al incremento de la hermeticidad de los edificios.

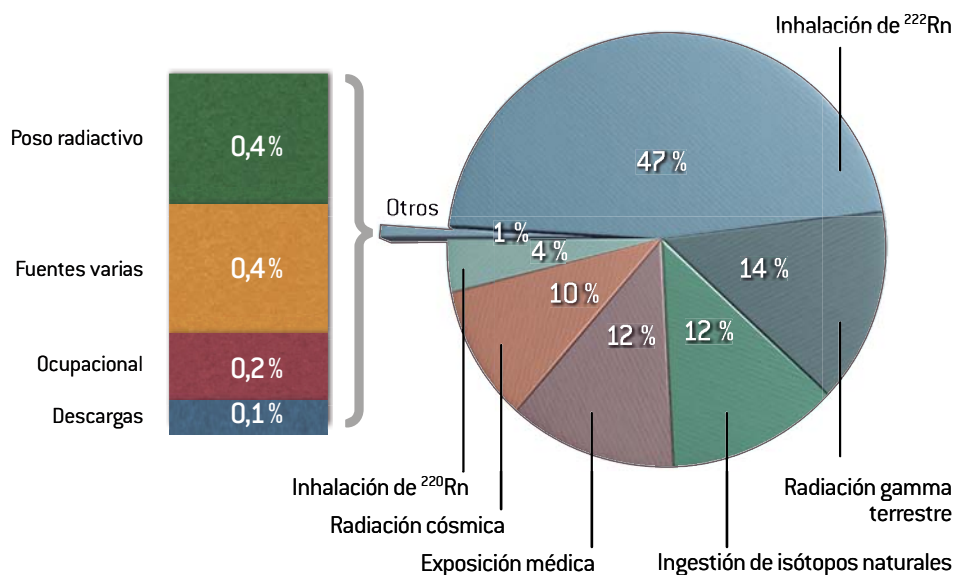
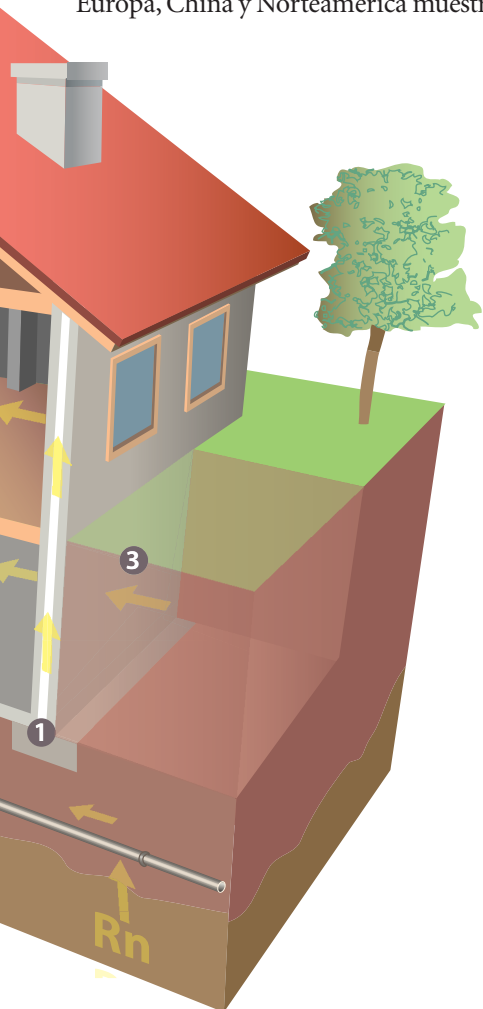
El radón es la principal fuente de exposición a las radiaciones ionizantes para la población y contribuye aproximadamente un 50 % a la dosis que se recibe por las fuentes de radiación natural. Fue clasificado como agente carcinógeno de primera categoría en el año 1988 por la Agencia Internacional de Investigación contra el Cáncer (IARC) y se considera que es la segunda causa de cáncer de pulmón a escala mundial después del tabaco. Como señala la OMS, los últimos estudios epidemiológicos realizados en Europa, China y Norteamérica muestran

Mapa predictivo de exposición al radón, que divide el territorio peninsular en tres categorías de exposición potencial



Exposición al radón

De la exposición de los individuos a la radiación ionizante, se ha estimado que un 13 % es debida a las fuentes artificiales y un 87 % a las fuentes naturales, de estas la principal es la exposición al ^{222}Rn en el interior de las edificaciones.



una asociación lineal entre la exposición al radón en viviendas y la incidencia de cáncer de pulmón, aun a concentraciones de 100 Bq/m^3 .

Con objeto de reducir el número de cánceres de pulmón atribuibles al ^{222}Rn y sus descendientes, la Directiva 1313/59 requiere a los Estados miembros el es-

tablecimiento de un plan de actuación nacional para hacer frente a los riesgos a largo plazo derivados de la exposición al radón en viviendas, edificios de acceso público y lugares de trabajo, considerando cualquier vía de entrada, ya sea el suelo, los materiales de construcción o el agua.



Los miembros de la Secretaría General del Consejo de Seguridad Nuclear ante la puerta del organismo.

Secretaría General: la puesta a punto del CSN

El Consejo de Seguridad Nuclear es un organismo regulador cuyas decisiones técnicas deben ser aprobadas por un Pleno, de carácter colegiado. Por ello hay pocas áreas de actividad en el CSN tan importantes para el Pleno como la Secretaría General, que debe asistirle en sus funciones bajo las órdenes del

presidente. Sin embargo, aunque es esta su principal competencia, la Secretaría General también se encarga de ejercer como la secretaria del propio Pleno y del Comité Asesor para la Información y Participación Pública del CSN. ■ Texto: **Vanessa Lorenzo López** | Área de Comunicación del CSN ■

En los números anteriores de la revista *Alfa*, en esta sección de “El CSN por dentro”, hemos ido descubriendo las tareas y las personas que están detrás de los dos pilares fundamentales de la actividad técnica del Consejo de Seguridad Nuclear; la Dirección Técnica de Seguridad Nuclear y la Dirección Técnica de Protección Radiológica. Pero el organismo regulador cuenta también con otro órgano directivo que es primordial para su buen funcionamiento. Pese a ser de un carácter más administrativo también cuenta con la máxima solvencia técnica: la Secretaría General, que coordina las actividades del Pleno bajo la batuta del presidente.

La Secretaría General está dirigida por María Luisa Rodríguez, que tiene encomendada por ley la misión de asistir al organismo regulador; por esta razón se encuentra bajo la dirección directa del presidente del CSN y del Pleno de la institución. Como su propio nombre indica, también actúa como secretaria del Pleno y del Comité Asesor para la Información y Participación Pública, un comité integrado por representantes de los principales grupos de interés con el CSN, que fue creado en 2011 para asesorar al organismo regulador en materias de transparencia y acceso a la información y la participación pública.

Sin embargo, además de interactuar cada día con las dos direcciones técni-

cas del CSN, de la Secretaría General dependen también varias subdirecciones y unidades que son de vital importancia para la actividad del regulador de la seguridad nuclear y la protección radiológica en España: la Subdirección de Personal y Administración, la de Tecnologías de la Información, la Asesoría Jurídica y la Unidad de Planificación, Evaluación y Calidad, junto con la de Inspección y la de Investigación y Gestión del Conocimiento. Además debe dirigir, impulsar, coordinar y supervisar la actividad de todos los órganos del CSN, así como facilitar la prestación de los servicios comunes.

Debido a la complejidad de su misión y a las diferentes actividades sobre

María Luisa Rodríguez López, secretaria general del CSN

“La relevancia que tiene la función de servicio público del organismo añade un plus de responsabilidad y exigencia”

PREGUNTA: ¿Qué valoración hace de su actividad y de la del CSN desde que fue nombrada secretaria general?

RESPUESTA: Abordar las tareas de la Secretaría General de un organismo regulador de la naturaleza del Consejo de Seguridad Nuclear supone un tremendo reto. Yo lo valoro muy positivamente, como una gran oportunidad personal. Tengo la esperanza de poder estar a la altura de la importantísima misión de servicio público que tiene el organismo y el resto de los profesionales que en él trabajan. Como algunos conocen, mi anterior etapa profesional se desarrolló en otro sector también muy regulado, el de las telecomunicaciones. A diferencia de aquel, en el que la regulación era de contenido básicamente económico, la regulación del CSN se centra en algo todavía más esencial: la seguridad nuclear y la protección radiológica de los trabajadores del sector y del resto de la sociedad.

P: ¿Cuál es la misión y las funciones de su área dentro del organismo regulador?

R: La Secretaría General es el órgano encargado de la dirección, impulso y coordinación de los servicios comunes del CSN y de sus áreas técnicas, con el objetivo último de facilitar a la parte esencial del organismo —el presidente y el Pleno— el ejercicio de sus funciones. Nuestras tareas podrían dividirse, a grandes rasgos, en dos vertientes: la de secretaria del Pleno y la de Secretaría General propiamente dicha. La primera de ellas se ocupa de la presentación al presidente de los temas que deben ir en el orden del día de las reuniones, para decisión o información, y que son elevados tanto por las direcciones técnicas como por el resto de las áreas. En esa misma faceta, durante las reuniones del Pleno, la secretaria general proporciona asistencia jurídica *in situ* sobre las cuestiones que se están discutiendo o sobre temas de legalidad formal de la propia reunión. La segunda tarea se centra más en la gestión de la vida diaria del organismo y en la coordinación de las diversas direcciones y servicios que apoyan al presidente y al Pleno en el ejercicio de sus funciones. Esto comprende no solo cuestiones téc-



nicas, sino también económicas, de recursos humanos o de soporte informático y de comunicaciones, entre otros. Sin olvidarnos de la Secretaría del Comité Asesor, que tiene como misión presentar propuestas de mejora en la comunicación y la transparencia de este regulador.

P: ¿Cómo se organiza un Pleno? ¿Es complicado?

R: No, no es complicado organizar una reunión del Pleno, pero sí tiene una sistemática estricta que hay que seguir en la preparación de la documentación que debe acompañar cada punto del orden del día. La calidad de la documentación, asegurar que contenga todos los datos que necesitan los miembros del Pleno para decidir, que no haya errores... es una tarea minuciosa y de responsabilidad, para la que cuento con la ayuda inestimable de un grupo de profesionales muy cualificados y de mucha experiencia. Durante el desarrollo de las sesiones, aparte de tomar las notas sobre las decisiones adoptadas y que luego conformarán el acta, como ya he comentado anteriormente, está la función de asesoramiento legal, cuando el presidente o los consejeros lo solicitan en algún punto en particular. Como saben, el secretario general tiene voz pero no voto. La elaboración del acta, la emisión de las certificaciones, su envío... es una dinámica similar a la de cualquier secretaria de un órgano administrativo colegiado. Si tuviese que señalar alguna particularidad sería la relevancia que tiene la propia función de servicio público del organismo —garantizar la seguridad nuclear y la protección radiológica— lo que, al menos para mí, añade un plus de responsabilidad y exigencia de rigor en lo que a la Secretaría del Pleno se refiere.

P: ¿Qué labor desempeña usted dentro del Pleno?

R: Además de lo definido en la respuesta anterior, se completa con dos tareas adicionales: [continúa en página 44]

[viene de página 43] custodiar los expedientes y documentos del Pleno y elaborar el acta y emitir las certificaciones, que es la auténtica función notarial de las decisiones adoptadas y que luego son comunicadas a sus destinatarios.

P: De la Secretaría General dependen las direcciones técnicas y otras unidades del organismo. ¿Resulta complicado gestionar perfiles tan diferentes?

R: Es la complicación normal en la dirección de equipos, a los que se debe hacer funcionar en la armonía que

necesite la organización. Y esto vale para cualquier tipo de organización, creo yo, ya sea una empresa o, como en este caso, un órgano de regulación. El gran punto positivo, en el caso del CSN, es el alto nivel de profesionalidad y la cualificación de sus funcionarios y empleados. Son equipos multidisciplinares, acostumbrados a trabajar en entornos internacionales, muy sólidos y absolutamente entrenados en dar a los órganos de decisión, el Pleno y el presidente, el apoyo que necesitan en la toma de decisiones. 

las que actúa, desde administración a gestión financiera y jurídica, además de sus labores de asesoramiento, la Secretaría General cuenta con un gabinete y una unidad de apoyo que le asiste.

Uno de sus principales objetivos es proporcionar asesoramiento jurídico al organismo regulador, área de la que se ocupa la Subdirección de Asesoría Jurídica, al frente de la que está Victoria Méndez. Entre sus labores están la de tramitar e informar las propuestas de reglamentación, los proyectos de instrucciones y guías de seguridad, los expedientes de contratación y los convenios que celebre el CSN, así como informar la propuesta de resolución de los recursos que se interpongan contra actos del Pleno y del presidente y la propuesta de resolución de las reclamaciones previas al CSN.

Otra de sus tareas relevantes es asumir la gestión económico-financiera, contable y patrimonial del organismo regulador. Así, la Secretaría General ostenta la jefatura directa del personal y mantiene las relaciones con los órganos de participación y representación de su plantilla a través de Luis Carreras, subdirector de Personal y Administración. Dentro de estas competencias están las de proponer planes de formación del personal, de acción social, de prevención de riesgos laborales y de igualdad entre mujeres y hombres. En cuanto a las labores administrativas, están, entre otras competencias, la de gestionar los servi-

cios de registro, archivo y documentación, y todo lo relativo a la seguridad y vigilancia de las instalaciones del Consejo.

Los medios informáticos y telemáticos del CSN también son gestionados por la Secretaría General, encargada de procurar que el organismo regulador cuente con los sistemas de comunicación necesarios para desempeñar su actividad. La Subdirección de Tecnologías de la Información, dirigida por Manuel Malavé, es la encargada de llevarlo a cabo.

Unidades de la Secretaría General

Respecto a las unidades que componen la Secretaría General, la Unidad de Planificación, Evaluación y Calidad, al frente de la que se encuentra Alfonso Cepas, coordina, elabora y realiza el seguimiento del Plan Estratégico y del Plan Anual de Trabajo, entre otras tareas. Ramón de la Vega es el jefe de la Unidad de Investigación y Gestión del Conocimiento, encargada principalmente de la propuesta, gestión y evaluación de los planes y programas de investigación y desarrollo promovidos por el CSN. Y, por último, en la parte más técnica está Jesús Gil, jefe de la Unidad de Inspección, cuya labor es la coordinación y evaluación de las actividades de inspección de las instalaciones nucleares y radiactivas.

Todas estas tareas son coordinadas por la Secretaría General, bajo la revisión

y aprobación del Pleno y del presidente del Consejo de Seguridad Nuclear.

Como secretaria del Pleno, María Luisa Rodríguez, asiste a sus sesiones con voz pero sin voto, lo que significa que opina de los temas debatidos, pero sin derecho a voto. Siempre bajo las órdenes del presidente, la Secretaría General efectúa la convocatoria de las sesiones del Pleno, redacta y firma las actas de las sesiones y expide las certificaciones de los acuerdos adoptados. Además, tiene el deber de asesorar sobre la legalidad de los asuntos y cuestiones que se sometan al Pleno.

Otra de las actividades de las que se ocupa la Secretaría General es el Comité Asesor para la Información y Participación Pública, integrado por representantes de la sociedad civil, del mundo empresarial, de los sindicatos y de las administraciones públicas de carácter estatal, autonómico y local. Entre sus competencias está la de convocar las reuniones ordinarias, así como las tareas inherentes a la secretaría del Comité, según lo establecido en el Estatuto del CSN. Es una labor que debe ser muy precisa, ya que se trata de un órgano asesor del regulador.

En definitiva, la Secretaría General es clave dentro del engranaje del Consejo de Seguridad Nuclear, al ser la encargada de que muchas de sus piezas estén perfectamente engrasadas para desempeñar su cometido en cualquier momento, algo básico en un organismo regulador como es el CSN. 

Reacción en cadena

NOTICIAS

Un interruptor regula el sexo entre bacterias

Una de las formas de reproducción dentro del mundo bacteriano es la conjugación: el proceso mediante el cual una célula procarionte transfiere parte de su material genético a otra. Para ello cuentan con entidades de replicación independientes, llamadas plásmidos, que permiten este tipo de reproducción sexual entre bacterias.

Aunque ya se habían identificado las proteínas im-



plicadas en la regulación del plásmido Pls20 de la bacteria *Bacillus subtilis*, presente en el suelo y comensal habitual del intestino de animales y humanos, hasta ahora se desconocía su mecanismo de acción. Ahora, un estudio lide-

rado por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), en colaboración con la Universidad de Newcastle, ha descubierto que este sistema de regulación funciona como un interruptor.

“Cuando se dan las condiciones adversas para la transferencia, el mecanismo se apaga y no hay expresión de genes para el intercambio, pero cuando aparecen las condiciones óptimas para la transferencia del plásmido, se enciende rápidamente”, explica Wilfried Meijer, investigador del Centro de Biología Molecular Severo Ochoa, del

CSIC y de la Universidad Autónoma de Madrid.

La conjugación plasmídica juega un papel clave en la diseminación de la resistencia a los antibióticos, por lo que este trabajo constituye la base para desarrollar herramientas biotecnológicas con implicaciones clínicas e industriales. “El entendimiento de este mecanismo es esencial para el diseño de estrategias dirigidas a frenar las resistencias, así como el desarrollo de sistemas que permitan una regulación de la expresión de los genes de forma precisa”, señala el investigador. ▀

Aparece el diario de un miembro de la expedición de Scott en la Antártida

Como es bien sabido, en 1913 un grupo de intrépidos británicos, liderado por el capitán Robert Falcon Scott, llegó a las costas antárticas para iniciar una expedición que pretendía alcanzar por primera vez el polo sur, en dura competencia con el noruego Roald Amundsen, que consiguió su objetivo antes que Scott. Para mayor desgracia, todos los miembros de la expedición británica murieron durante el regreso.

La expedición tenía otro equipo de apoyo, llamado Grupo Norte, cuyos seis miembros también murieron. Uno de ellos fue George Murray Levick, fotógrafo, zoólogo y cirujano, cuyo diario



ha sido encontrado ahora, un siglo después de su fallecimiento. El cuaderno, que fue encontrado durante el deshielo de la primavera del año pasado en la zona de la base que estableció el equipo cien años atrás, contiene anotaciones, datos y comentarios a lápiz de las

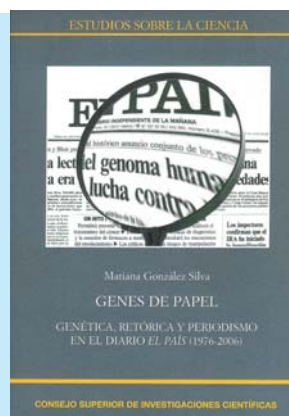
fotografías que Levick obtuvo en el cabo Adare, donde junto a sus cinco compañeros del Grupo Norte pasó el invierno en una cueva de hielo.

Según un comunicado de la institución Antarctic Heritage Trust, “se trata de un descubrimiento fascinante, ya que el diario es una pieza que completa el registro oficial de la expedición”. Tras haber

sido restaurado por expertos, el cuaderno ha sido depositado en el Scott Research Institute de Cambridge, donde acompaña a otros muchos objetos encontrados a lo largo de los años, testigos de aquella aventura que intentó conquistar el continente helado. ▀

Genes de papel**Matiana González Silva****Editorial CSIC. Madrid, 2014**

A finales de los setenta, la genética humana vivió un crecimiento espectacular para dejar de ser una ciencia marginal y convertirse tanto en la protagonista de la biología como en depositaria de inversiones millonarias. Entre los medios de comunicación que se hicieron eco del impacto de las transformaciones conceptuales y aplicaciones de esta pujante área científica, el diario *El País* fue un agente clave de difusión de los avances producidos y de los debates éticos que suscitaban. Este libro, fruto de la tesis doctoral de la autora, recoge el testimonio informativo de las noticias que el periódico publicó sobre este tema a lo largo de tres décadas y lleva a cabo un análisis de los más de mil reportajes, notas informativas, columnas de opinión, edi-



toriales y cartas al director publicadas entre 1976 y 2006. La intención de la autora es dar respuesta a dos grandes preguntas: cómo evolucionaron los discursos sobre genética humana a través de los periodistas a los que *El País* dio voz y qué elementos moldearon el estilo del periodismo científico del diario con más influencia de la España posfranquista. Además de un exhaustivo estudio sobre las consecuencias de la evolución de esta rama del conocimiento y su acogida mediática en España, la obra invita a reflexionar en distintas líneas sobre el papel de los medios de comunicación en el sistema tecnocientífico de la actualidad.

EFEMÉRIDES ► HACE 200 AÑOS...**Joseph von Fraunhofer descubre las líneas espectrales**

En 1814, el físico alemán Joseph von Fraunhofer estaba dedicado a la meticulosa construcción de los mejores lentes y prismas hasta entonces conocidos cuando, probando uno de sus artificios, descubrió unas misteriosas líneas oscuras que aparecían en frecuencias muy bien definidas. Un siglo antes, Newton había descompuesto la luz solar en los colores del arcoíris, demostrando que la luz blanca no era simple. Más tarde, el químico y físico William Hyde Wollaston, instalando una rendija estrecha en la trayectoria de un rayo de luz solar, había encontrado siete líneas oscuras que interpretó como separaciones de los colores, ya que en teoría el espectro solar estaba cruzado por líneas visibles. Pero con una instrumentación mucho más sofisticada, Fraunhofer llegó a observar hasta 600 de estas líneas oscuras en el espectro solar y representó sus longitudes de onda además en una gráfica. Aunque durante los siguientes 50 años no se encontró utilidad alguna para su hallazgo, medio siglo después se comprobó que estas líneas eran las huellas dactilares de los elementos presentes en la atmósfera solar y el análisis espectral se convirtió en una herramienta esencial de químicos y astrónomos.

El agujero de ozono aumenta la capacidad de captura de CO₂ del fitoplancton del Ártico

El incremento de la radiación ultravioleta por el agujero de ozono en el Ártico aumenta la capacidad de captura del dióxido de carbono (CO₂) de las algas, al reducir la actividad bacteriana, según ha descubierto un grupo de científicos liderado por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas. De acuerdo con los datos publicados en la revista *Geophysical Research Letters*, basados en 26 experimentos llevados a cabo en diferentes regiones del océano Ártico oriental, al ser expuestas a la radiación ultravioleta natural, el 77 % de las comunidades de plancton aumentan su producción en una media del 38,5 %. El dióxido de carbono es el principal gas responsable del efecto invernadero y

su incremento es uno de los factores responsables del calentamiento terrestre que de acuerdo con los expertos se está produciendo en nuestro planeta. Según los investigadores, este efecto es el contrario del que se produce en el Pacífico, el Atlántico y el Mediterráneo, donde las comunidades liberan CO₂ cuando están expuestas a la radiación ultravioleta. Esta característica diferencial del Ártico se explica por la inhibición de la respiración bacteriana durante el verano ártico, con 24 horas de exposición al Sol, sin que puedan recuperarse del estrés debido a la radiación ultravioleta, ya que el periodo nocturno es fundamental para la recuperación del daño producido por esta radiación.

EN RED



Mujeres con ciencia

A lo largo de la historia, numerosas científicas han contribuido al progreso de los distintos campos del conocimiento, dejando en la memoria de los libros figuras como la de Ada Lovelace, Marie Curie o Jocelyn Bell. Por desgracia, la mayoría de las aportaciones intelectuales, hallazgos e inventos llevados a cabo por mujeres ha tenido un reconocimiento inferior al de méritos semejantes realizados por hombres, manteniendo el nombre de muchas de ellas bajo la sombra durante siglos e incluso borrándolos de la memoria. La situación ha mejorado, pero dista mucho aún del equilibrio y, en la actualidad, las mujeres siguen sin gozar de las mismas oportunidades que los hombres para desarrollar una profesión científica, progresar en ella y obtener el reconocimiento.

“Mujeres con ciencia” nace con el objetivo de mostrar lo que hacen y han hecho las mujeres que se han dedicado y se dedican a la ciencia y a la tecnología. Biografías, entrevistas, eventos, efemé-

des y todo tipo de crónicas o hechos relevantes tienen cabida en este proyecto, cuyo propósito es dar a conocer la existencia de mujeres científicas, su trabajo y las circunstancias en que lo desarrollaron o lo desarrollan.

<http://mujeresconciencia.com/mujeres-con-ciencia/>

La financiación de la ciencia, cosa de todos

Desarrollar herramientas para el análisis del comportamiento y movimiento de los fluidos de la Tierra y mejorar así la gestión de catástrofes, conseguir campos más fértiles y con menos contaminantes, diagnosticar el VIH en niños menores de 18 meses por técnicas moleculares, detener de forma temprana el glioblastoma multiforme —uno de los tumores cerebrales más agresivos— y crear un videojuego para la estimulación cognitiva de las personas con discapacidad intelectual son algunos de los muchos proyectos de centros de investigación con los que se puede colaborar en Precipita, la nueva plataforma pública en España

REDES



Science Dump

La fuente científica donde encontrar los documentales más curiosos y las infografías más divertidas de la red.



@generalelectric

Fascinantes imágenes de unas enormes turbinas que casi tocan el cielo junto a las tripas de un tranvía. Toda la belleza de la tecnología en fotos.



@HubbleTelescope

Una mirada al Universo de la mano del telescopio espacial Hubble, desde las primeras imágenes que tomó cuando se puso en órbita hasta los últimos descubrimientos realizados por este gran ojo de la astronomía.



@Anthrohistoria

Un nuevo fósil encontrado para interpretar la vida pasada sobre la Tierra, una herramienta de piedra que elaboró un neandertal o muchos otros rastros del pasado. Fragmentos de la historia, de la antropología y de otras ciencias que estudian el ayer, como la egiptología y la arqueología, desvelados en un *tweet*.



Big Van Theory

Por el día investigan, y por la noche, este grupo de científicos se sube a un escenario para divulgar, a través de monólogos, aspectos diversos de los diferentes campos científicos a los que se dedican, de forma entretenida y divertida.

<https://www.youtube.com/channel/UCiwHnpaCFL-DuYg9q9xcvQrw>

para financiar proyectos científicos a través del mecenazgo privado (*crowdfunding*), creada por la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (Fecyt). Una nueva forma de apostar por la financiación colectiva de la ciencia

como fuente complementaria y hacer posible una contribución directa de la ciudadanía al progreso en áreas como la salud, el medio ambiente y la economía.

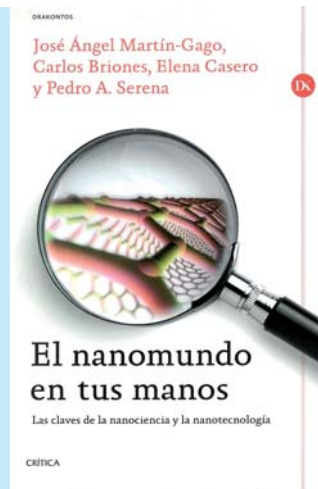
<http://www.precipita.es/descubre.html>

LIBROS

El nanomundo en tus manos. Las claves de la nanociencia y la nanotecnología

José Ángel Martín-Gago, Carlos Briones, Elena Casero y Pedro A. Serena
Editorial Ariel. Barcelona, 2014

Si un átomo de oro tuviera el tamaño de un campo de fútbol, el núcleo ocuparía el lugar de un clavo plantado en mitad del estadio y los electrones no serían más perceptibles a simple vista que los granos de polvo que vagan por el campo. Esto es porque todo lo que nos rodea está esencialmente constituido de vacío, y el resto de energía. Desde que esto se sabe, el desarrollo de la nanociencia y la nanotecnología ha sido espectacular, y ha permitido estudiar las propiedades de la materia en la nanoescala (mil millonésima parte de un metro) y describir el comportamiento de las entidades que lo pueblan,



átomos y sus agregaciones moleculares. La nanotecnología permite fabricar, caracterizar y manipular nanomateriales, entre los que destacan las nanopartículas y los nanotubos de carbono, pero ¿sería posible construir seres vivos pieza a pieza? ¿O nanorrobots? *El nanomundo en tus manos* plantea esta y otras cuestiones introduciéndonos

de lleno en el mundo de lo minúsculo, con su propia realidad, las leyes que lo gobiernan y los objetos que lo pueblan. Por otra parte, habla del futuro de esta tecnología que parece sacada de la ciencia-ficción, pero que ya está presente en sectores como la electrónica, la medicina y el arte.

AGENDA

Exposición

“Nicola Tesla: suyo es el futuro”

Abierta hasta el 15 de febrero de 2015

Espacio Fundación Telefónica

Fuencarral, 3, esquina Gran Vía. Madrid

Nikola Tesla es una de las figuras fundamentales de la historia del progreso y también una de las más olvidadas. Sería casi imposible imaginar el desarrollo de la civilización eléctrica en la que vivimos sin los descubrimientos, inventos y predicciones que llevó a cabo este genio. Tesla, que concibió por primera vez en la historia la corriente alterna y la radio, también fue pionero en tecnologías visionarias para su época como la robótica, los aviones de despegue vertical, las armas teledirigidas, las lámparas de bajo consumo, las energías alternativas o la transmisión inalámbrica de electricidad...

Esta exposición está pensada para difundir sus creaciones y recuperar su legado y su figura, ya que este genio de origen serbio murió pobre y sin recono-



cimiento. Para ello, cuenta con la colaboración del Museo Tesla de Belgrado y con piezas cedidas por el Museo Nacional de Ciencia y Tecnología español. Se trata de la exposición más grande celebrada nunca sobre la figura del in-

ventor, y cuenta con distintas actividades para todos los públicos. Además, el evento ofrece por primera vez a los visitantes objetos personales del científico que no habían salido nunca de su tierra natal.



Inaugurado el nuevo Centro Hispano-Luso de Alerta Temprana y Vigilancia Radiológica Ambiental de Cáceres

Este artículo describe brevemente los objetivos planteados y los motivos por los que se ha construido el recién inaugurado Centro Hispano-Luso de Redes Automáticas de Alerta Temprana y Vigilancia Radiológica Ambiental de Cáceres, como consecuencia de la ejecución de dos proyectos financiados por el Programa Europeo de Cooperación Transfronteriza España-Portugal, promovidos por los responsables

de Protección Civil y Medio Ambiente, tanto de la Comunidad Autónoma de Extremadura, como de las regiones portuguesas limítrofes de Castelo Branco, Évora y Porta Alegre, además de la Universidad de Extremadura. ■ Texto: **Antonio S. Baeza Espasa** | Catedrático de Física Aplicada de la Universidad de Extremadura y director del Laboratorio de Radiactividad Ambiental de la Universidad de Extremadura, LARUEX. ■

Recientemente ha entrado en operación en el Campus Universitario de Cáceres, el Centro Hispano-Luso de Redes Automáticas de Alerta Temprana y Vigilancia Radiológica Ambiental de Cáceres, gracias a la financiación conseguida por los proyectos titulados “Implantación de Redes de Alertas Tempranas para Planes de Protección Civil y Sistemas de Emergencias, fases I

y II”, acogidos al Programa Europeo de Cooperación Transfronteriza entre España y Portugal (POCTEP), para el ámbito geográfico comprendido por Extremadura y las regiones portuguesas de Alentejo, Centro y Beira Interior Sul. El objetivo de este centro es garantizar que los organismos responsables de gestionar en dicho ámbito situaciones de emergencia, dentro de las áreas de radiología

ambiental, de meteorología asociada a incendios forestales e inundaciones producidas en alguna de las dos grandes cuencas fluviales existentes, posean en todo momento la información necesaria para la adopción, en el menor tiempo posible, de las decisiones más adecuadas para llevar a cabo su cometido.

El pasado 9 de septiembre, el presidente del Gobierno de Extremadura, jun-

to con otras autoridades, entre las que se encontraba el rector de la Universidad de Extremadura y representantes de la Autoridad Nacional de Protección Civil de Portugal, inauguró en el Campus de la Universidad de Extremadura el Centro Hispano-Luso de Redes Automáticas de Alerta Temprana y Vigilancia Radiológica Ambiental (Alerta2). La existencia de este nuevo centro ha sido posible gracias a la financiación aportada por los Fondos Europeos de Desarrollo Regional (FEDER), concretamente por el Programa Europeo de Cooperación Transfronteriza España-Portugal, que persigue como objetivo principal el desarrollo de las zonas fronterizas entre ambos países, reforzando las relaciones económicas y las redes estables de cooperación. Este programa se estructura en cuatro ejes prioritarios, uno de los cuales es el de “cooperación y gestión conjunta en medio ambiente, patrimonio y entorno natural”, cuyo objetivo es, entre otros aspectos, el de “apoyar a las infraestructuras y servicios ambientales coordinados (protección, conservación y valoración del medio ambiente) en la gestión conjunta de los recursos humanos y materiales en situación de catástrofes...”. A dicho eje se presentó en 2010 el proyecto titulado “Implantación de Redes de Alerta Temprana para Planes de Protección Civil y Sistemas de Emergencias. Extremadura-Beira Interior Sul, o RAT_PC”. Este proyecto fue liderado por la Consejería de Administración Pública del Gobierno de Extremadura y en él participaron como socios las consejerías de Agricultura, Desarrollo Rural, Medio Ambiente y Energía, y la de Empleo, Empresa e Innovación de dicho Gobierno, la Universidad de Extremadura y la Autoridade Nacional de Protecção Civil – Comando Distrital de Operações de Socorro de Castelo Branco en Portugal.

Dos fueron los principales objetivos del proyecto RAT_PC. En primer lugar,

Facilitar las decisiones

La conjunción de objetivos e intereses de los responsables de Protección Civil y Medio Ambiental, tanto del Gobierno de Extremadura como de las regiones portuguesas fronterizas con dicha comunidad, Castelo Branco, Évora y Porta Alegre, ha hecho que, en colaboración con la Universidad de Extremadura, se haya obtenido de la Unión Europea, más concretamente de su Programa de Cooperación Transfronteriza España-Portugal, financiación para dos proyectos titulados “Implantación de Redes de Alerta Temprana para Planes de Protección Civil y Sistemas de Emergencias, fases I y II”. Los objetivos fijados en estos proyectos son múltiples y todos ellos se construyen aprovechando la experiencia previa existente, tanto en el ámbito de la cooperación transfronteriza como en el de la gestión de redes automáticas de alerta (la Red de Vigilancia Radiológica de Extremadura), para elaborar un sistema de apoyo mutuo con, entre otros aspectos, la creación del Centro Hispano-Luso Alerta2 que facilite en caso de necesidad la adopción, con la mayor brevedad posible y con la máxima información disponible, de aquellas decisiones que sean de la competencia de los precitados gestores y que permita acometer las diferentes situaciones de alerta que puedan producirse. Concretamente, en las áreas de meteorología asociadas a la gestión de incendios forestales, de riesgos debido a inundaciones en alguna de las dos grandes cuencas fluviales y de emergencias radiológicas en la región EUROACE, comprendida por Extremadura y las regiones portuguesas enumeradas anteriormente. ▶



El centro neurálgico de comunicaciones y procesos de datos de Alerta2.

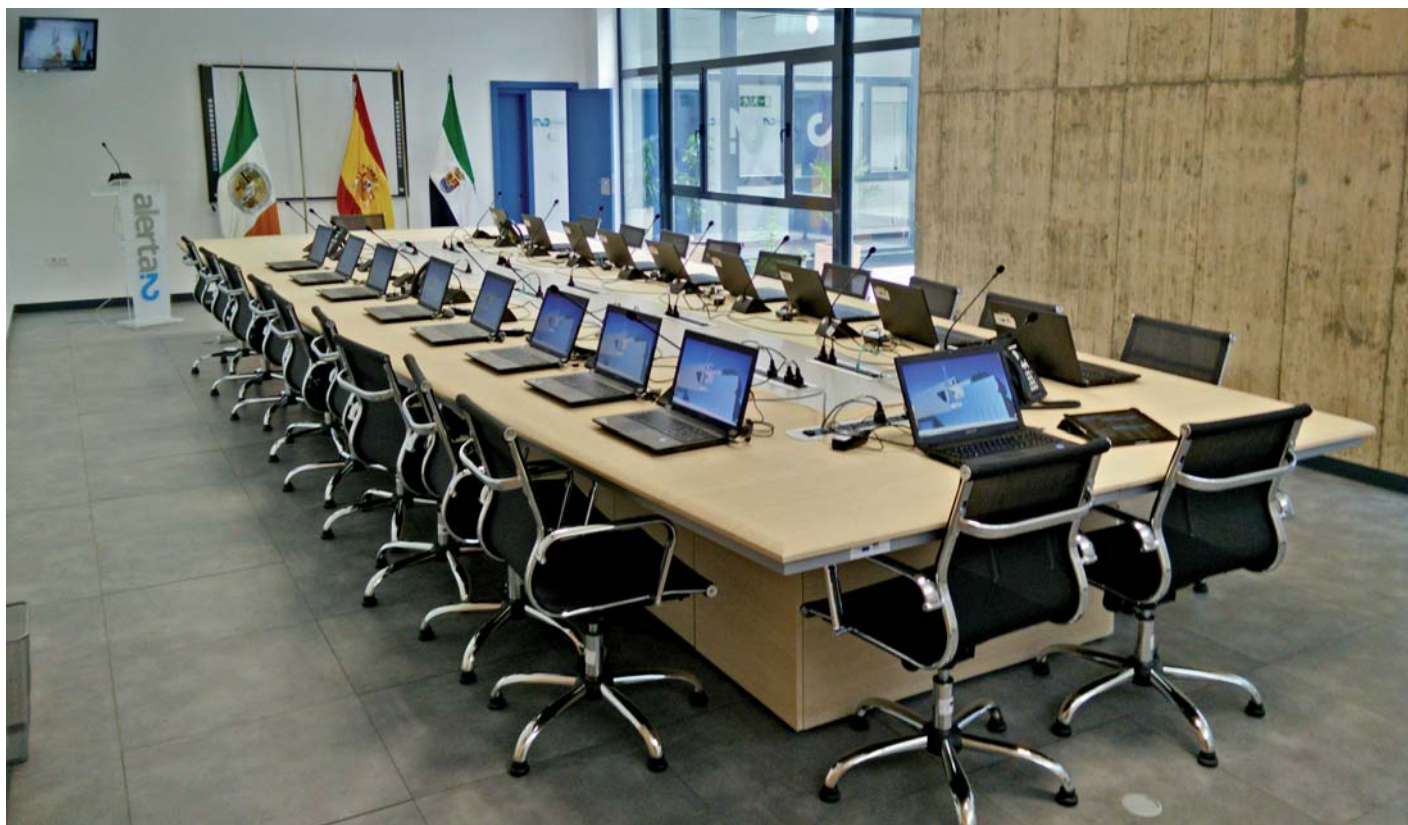
establecer una Organización de Respuesta Conjunta ante Emergencias entre los diferentes servicios responsables de la gestión de emergencias y de Protección Civil a ambos lados de la frontera hispano-portuguesa, en el ámbito geográfico descrito, de forma que con el apoyo de los organismos competentes en la vigilancia radiológica, en la protección del medio ambiente, en la investigación y en la formación, se pudiese asegurar la adecuada actuación coordinada transfronteriza en respuesta a situaciones de emergencia (tanto de origen natural como inducidas por el ser humano) que puedan incluso suponer no solo pérdidas materiales, sino también víctimas humanas. El segundo objetivo fue que, dentro de la infraestructura con la que debía dotarse a dicha colaboración, se proponía construir un edificio que albergase el equipamiento necesario que debe poseer el centro logístico de todas las redes de alerta temprana para planes

de protección civil y sistemas de emergencias transfronterizos, objetivo de la colaboración establecida en el proyecto RAT_PC entre Extremadura y Beira Interior Sul. Este centro garantiza la operación de dos redes: una de alerta radiológica que abarca el territorio comprendido en el proyecto y otra red meteorológica asociada a la gestión de incendios forestales.

Este proyecto finaliza en 2014. No obstante, y dados los logros conseguidos durante su ejecución, se ha aprobado una segunda fase titulada “Implantación de Redes de Alerta Temprana para Planes de Protección Civil y Sistemas de Emergencias 2ª Fase, Alentejo – Centro – Beira Interior Sul – Extremadura (Región EUROACE), o RAT_PC_II”. La principal repercusión que sobre el Centro Hispano-Luso Alerta2 ha supuesto esta ampliación del proyecto original ha sido tanto la extensión espacial del ámbito de operación de las dos redes de

emergencia antes aludidas como la puesta en funcionamiento de una tercera para el caso de situaciones de inundaciones en las cuencas fluviales del Tajo y del Guadiana, dentro del ámbito geográfico del proyecto.

El centro se construyó en el Campus Universitario de Cáceres y se cedió para su operación a la Universidad de Extremadura, UEx, para los fines previstos en ambos proyectos, dado que en dicha institución existen grupos de investigación con la suficiente experiencia en el diseño, implementación y gestión de redes de emergencia en tiempo cuasi real, que permiten abordar con garantías los objetivos de los proyectos RAT_PC. Concretamente, en la UEx existe el Servicio de Apoyo a la Investigación, Laboratorio de Radiactividad Ambiental o LARUEx, que posee desde 1990 experiencia en el diseño, construcción y gestión de la Red de Alerta Radiológica de Extremadura, cuyo funcionamiento actualmente está



Sala de reunión de los diferentes responsables, donde se toman las decisiones en caso de emergencia.

cofinanciado por la Consejería de Agricultura, Desarrollo Rural, Medio Ambiente y Energía del Gobierno de Extremadura y el Consejo de Seguridad Nuclear, y cuyo sistema de gestión de calidad está certificado por AENOR de acuerdo con la norma internacional ISO-9001 desde 2010, con el número ER-0993/2010.

Así pues, el centro se diseñó para que pudiera satisfacer al menos dos requerimientos. El primero es que con su infraestructura y funcionamiento se garantizase el automatismo en la recepción, gestión, elaboración y emisión de las informaciones obtenidas y en las predicciones ofrecidas por los modelos actualmente para las tres redes de emergencia, poniendo todo ello a disposición de aquellos organismos responsables de la toma de decisiones en tales situaciones anómalas, siempre en el ámbito geográfico abarcado por los proyectos que han financiado su construcción y existencia. Otro es que, con sus dotaciones y estructura de personal se pueda avanzar en I+D en el ámbito de interés de las tres redes de emergencia, construyendo y mejorando, hasta donde sea posible, el *hardware* y el *software* asociados a la adquisición de las informaciones primarias por las redes, a la transmisión segura de datos, a la elaboración automatizada de la información precisa, y de sus correspondientes modelos, para los diferentes niveles cualitativos y cuantitativos que garantizan en cada momento la ayuda necesaria a quien corresponde la toma de decisiones.

Para ello, el LARUEX posee un buen sustrato sobre el que construir los requisitos exigidos para el funcionamiento de Alerta2, ya que ha aplicado sistemáticamente en la Red de Alerta Radiológica de Extremadura ese planteamiento mixto entre la necesaria prestación de servicio —garantizando en todo momento la disponibilidad de la información ofrecida

por la citada red— y la no menos importante actividad de I+D+i. De esta forma, actualmente la totalidad del diseño del *software* de gestión de la citada red y de las características de diferentes estaciones —desde la unidad móvil a las estaciones piloto de monitorización radiactivo, tanto en aguas como en aerosoles—, gracias en parte a la financiación proporcionada por el CSN, han supuesto una directriz identificativa en estos últimos años del LARUEX, debido entre otros aspectos a las diferentes formaciones de

tio interior que proporciona luz natural a prácticamente todas sus dependencias y, sin embargo, la suficiente privacidad y seguridad exterior.

En la planta baja se localizan fundamentalmente las siguientes dependencias. El área de emergencias, en donde aquellos miembros de los organismos responsables de tomar decisiones en las emergencias reciben y transmiten de primera mano a sus respectivos organismos las informaciones que se están obteniendo, así como las derivadas de



El nuevo centro de alerta ubicado en Extremadura se encuentra en permanente estado de vigilancia.

base que poseen sus miembros, entre los que se encuentran titulados en Física, Química, Ingeniería Química, Ingeniería Civil e Informática.

Dentro de las principales características y funcionalidades del centro, destaca que está construido con sistemas de protección sísmica (ha alcanzado el mayor grado de la Escala Macrosísmica Europea) y de eficiencia energética, utilizando para ello sistemas de geotermia. Posee una superficie construida de 890 m², distribuida en dos plantas que rodean un pa-

ellas o aquellas informaciones complementarias, reales o modeladas, que en cada momento soliciten a los operarios de la sala de control, que es donde se gestiona y elabora toda la información. Junto a ella se localiza la sala de recepción de datos, que es donde se reciben, almacenan y desde donde se remiten todos los datos recibidos e informaciones generadas a partir de estos. La información es recibida y expedida por diferentes vías de comunicación, en su mayoría duplicadas y selecciona-

das teniendo en cuenta la criticidad de su recepción y/o envío, el tamaño de la información circulante y las características físicas y geográficas de las estaciones emisoras y receptoras de dichas informaciones. Así, se pueden identificar vías de acceso o envío de datos a través de satélite, Internet, telefonía móvil, radiofrecuencias analógicas y digitales, etc. Los *software* de gestión de la información están estructurados de forma que cuando falla la vía preferente de envío, además de notificar

Seguidamente, encontramos otras dos pequeñas dependencias destinadas a garantizar el suministro eléctrico de toda la instrumentación existente en el centro y, en particular, en las áreas vitales de emergencias, de recepción y envío de datos y de control. Así, se cuenta con dos sistemas ininterrumpidos de alimentación eléctrica de 60 caveas, complementarios entre sí, los cuales a su vez están alimentados por un grupo electrógeno de similar potencia que garantiza una autonomía de funcionamiento

en sus ubicaciones definitivas dentro de las tres redes que se gestionan. El segundo prototipo construido de estación piloto de monitorización radiactivo en aerosoles se instalará en breve en la frontera entre Cáceres y Portugal, y está dotado con sistemas de medida de la actividad de emisores gamma en aerosoles, actividad de emisores gamma en gases atmosféricos, tasa de dosis y un amplio conjunto de variables meteorológicas. Su construcción ha sido posible, en parte, gracias a la financiación aportada por el CSN.

En cuanto a la primera planta, amén de una serie de espacios destinados a la gestión administrativa, reuniones, despachos de los investigadores responsables de los desarrollos de I+D y de la prestación de servicios que se realiza en Alerta2, justo encima de la sala de recepción de datos, se encuentra la sala de control. En situación de no emergencia, todas las actividades de la sala, fundamentalmente la comprobación del funcionamiento de todas las redes y sistemas, son gestionadas cada semana por un único técnico de Alerta2. En caso de cualquier anomalía, los sistemas la notifican automáticamente no solo al técnico responsable cada semana del control, sino también a los encargados de solventarla y al director de Alerta2.

En el supuesto de una situación de emergencia, esta se notifica automáticamente a los integrantes citados anteriormente, además de a aquellos organismos responsables de adoptar las correspondientes acciones de remedio. Lógicamente, en función de la magnitud de la emergencia, la Dirección puede solicitar la participación activa de otros miembros de Alerta2, cada uno de los cuales realizaría su correspondiente labor en los diferentes ordenadores de la sala de control, y también podría ampliar el ámbito de la notificación externa, si así lo estima conveniente, para garantizar su solución en el menor plazo posible por el organismo competente. ©



En los laboratorios de Alerta2 se ponen a punto nuevos sistemas de monitorización.

automáticamente a los responsables dicha incidencia, conmutan a una nueva vía de remisión de datos, restringiendo incluso automáticamente, si es el caso, las características de las informaciones remitidas. Los ordenadores receptores de las informaciones y los servidores en donde estas se almacenan y/o gestionan están duplicados en el LARUEX, otro edificio que dista unos 50 metros del centro Alerta2, a donde acceden por una vía complementaria de la red de comunicaciones de la UEx.

del centro de dos semanas sin suministro eléctrico exterior.

Asimismo, en dicha planta baja se localizan, entre otras dependencias, dos laboratorios identificados como de instrumentación y de electrónica. En ellos se montan, prueban, ponen a punto y reparan todo tipo de sistemas de detección o de medida, equipamiento complementario, sistemas electrónicos e informáticos, amén de realizar sus pruebas de funcionamiento, validación y, en su caso, calibrado, antes de ponerlos en operación

Spanish Nuclear Group for Cooperation, o la colaboración de cuatro empresas españolas para aumentar su presencia en mercados emergentes

Trabajo de chinos

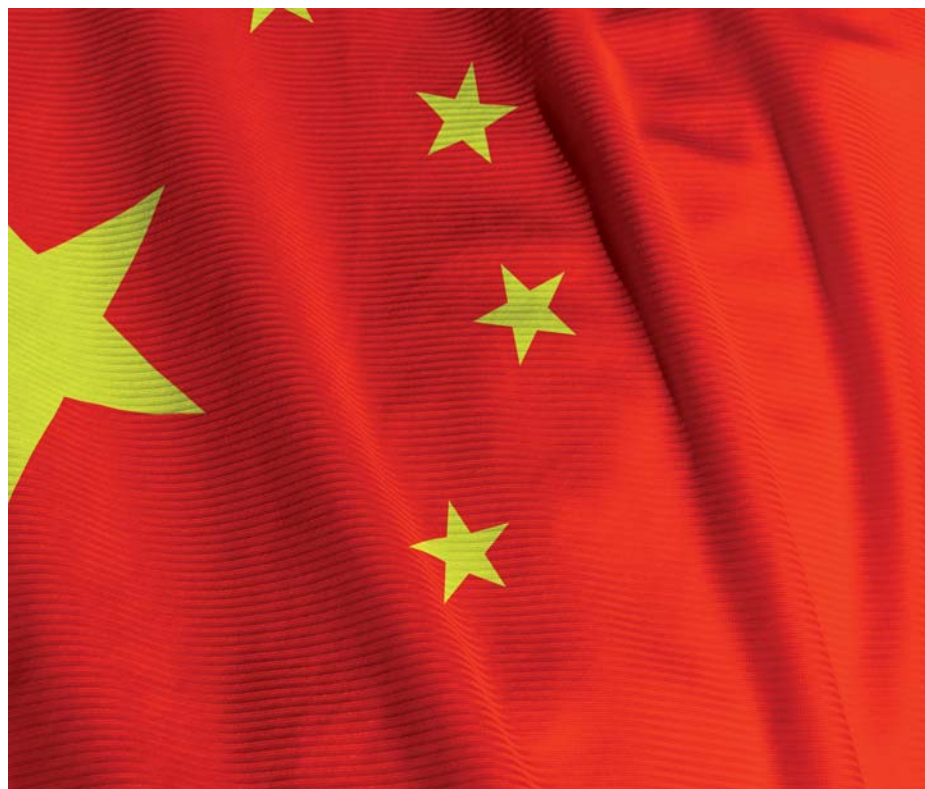
El comercio nuclear internacional ha cambiado mucho en los últimos años en el mundo. A los viejos actores de siempre en el lado de la oferta, Estados Unidos y Francia, se les han unido con fuerza Corea del Sur y Rusia; por la parte de la demanda, también se ha ampliado mucho el campo de juego, sobre todo con el voraz crecimiento de China y de la India. Para atender a estos países, cuatro empresas españolas con gran tradición de presencia internacional, ENSA, Enusa, Tecnatom y Ringo Válvulas, se han unido para formar el Spanish Nuclear Group for Cooperation (SNGC), con el objetivo de presentar sus productos y servicios en los nuevos mercados y aprovechar las oportunidades que surjan. Presencia en ferias, muchos viajes, una notable labor de mercadotecnia (o *marketing*) y sinergias son los componentes de este proyecto destinado a buscar circunstancias de negocio para las empresas nucleares españolas. ■ Texto: **Antonio Calvo Roy** | periodista científico ■

Algo más de 2.000 profesionales del mundo nuclear y presencia en 35 países; capacidad y conocimientos para trabajar con todas las tecnologías de reactores; cerca de cincuenta años de historia nuclear en su país de origen... Las cartas de presentación del SNGC, Spanish Nuclear Group for Cooperation, (no tienen nombre en español porque viven para el mundo exterior) son conocidas, y reconocidas, hasta en la China. De hecho, el origen de esta aventura fue, precisamente, el mercado chino, aunque después se amplió el objetivo, y la última letra del acrónimo, la C, que originalmente significaba China, pasó a ser una C de cooperación.

Todas las empresas que forman este consorcio, Tecnatom, ENSA, Enusa y Ringo Válvulas, tenían ya experiencia internacional y, de hecho, Carmelo Palacios, su director general, tiene una amplia experiencia vendiendo por todo el mundo los productos de ENSA. “En 2006 tres empresas nucleares con clara vocación internacional, Enusa, Tecnatom y ENSA, decidieron crear esta aventura para buscar sinergias en el mercado exterior. En 2008 se unió Ringo Válvulas, que completa muy bien la oferta. Tenemos expertos en combustible, inspección, operadores, salas de control y simuladores, fabricantes de grandes componentes, como vasijas e intercambiadores de vapor, equipos para almacenamiento y transporte de combustible gastado y válvulas de alto nivel, una pieza importante en las centrales nucleares.”

Tecnatom está presente en China desde finales de la década de los ochenta, y ENSA entró unos diez años después. Tecnatom, por ejemplo, llevó a cabo la formación de los primeros técnicos nucleares de la central de Qinshan, propiedad de CNNC (China Nation Nuclear Corporation), ubicada cerca de Shanghái. En el

ISTOCKPHOTO



año 2000, ENSA fabricó el primer generador de vapor para Qinshan II.

Todos ellos están ya presentes en China, el país del mundo que más nucleares está construyendo. En la actualidad, el gigante asiático tiene 20 centrales nucleares en operación, con una potencia instalada de 20.000 MW, y 28 más en construcción, que estarán operativas, se

mas nucleares y no esté dentro del Tratado de No Proliferación Nuclear complica su relación con el OIEA desde el punto de vista de las autorizaciones, “aunque se ha llegado a un acuerdo con el organismo internacional para poder vender productos a instalaciones que se sometan a las salvaguardas e inspecciones del OIEA igual que cualquier otro país.”



Carmelo Palacios, director general del Spanish Nuclear Group for Cooperation.

espera, antes de 2020. Y tienen la previsión de seguir en esa misma línea. La India, otro de los objetivos, tiene también 20 centrales en funcionamiento, aunque la potencia total nuclear instalada es de 5.000 MW, lo que significa que son unidades pequeñas, muchas de ellas de 250 MW. “Pero en la India hay cuatro centrales de agua pesada en construcción, y algunas más de diseño ruso, y 24 en perspectiva”, dice Carmelo Palacios.

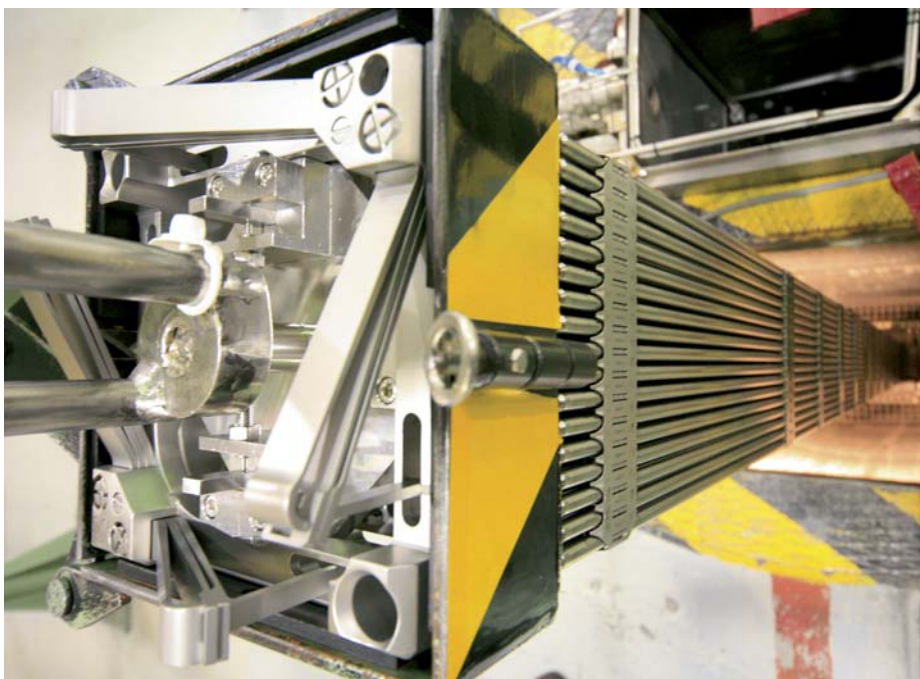
Es un mercado interesante, aunque entrar allí no es fácil. “Las leyes de responsabilidad civil son muy estrictas, dice Palacios, desde el desastre de Bhopal, en 1984. Un grupo de trabajo entre la India y Estados Unidos está llegando a acuerdos en este sentido que pueden abrir el comercio en aquel país.” Por otra parte, el hecho de que la India cuente con ar-

Además de estos dos países, los más poblados de la tierra y en los que la demanda de energía crece a mayor velocidad, el SNGC trabaja también mirando a Sudáfrica y a los países al sur del río Bravo. En Argentina, en su central de Atucha II, que será puesta en operación comercial en un plazo breve, están presentes estas empresas, y hay planes para buscar oportunidades de negocio en todo el continente, allí donde se piense en la posibilidad de iniciar la industria nuclear, aunque, por el momento, solo México, Brasil y Argentina tienen plantas nucleares en operación en el área. Pero en todo caso, el foco está situado en Asia porque “en SNGC nos estamos centrando en los mercados en los que la entrada es más complicada, y en los de habla hispana, en general, es más sencillo.”

Cada una de las empresas que forma parte del SNGC se ocupa de una parte del ciclo o del negocio, por lo que la complementariedad es muy grande. Enusa trabaja en todo lo relacionado con el combustible nuclear y en torno al 70 % de su producción va al mercado exterior; ENSA fabrica grandes componentes, como vasijas de reactor, presionadores, generadores de vapor y sus tapas, bastidores y contenedores de combustible, cabezales de combustible, contenedores para almacenaje y transporte..., y prácticamente toda su producción es para el mercado exterior; Tecnatom es una ingeniería con algo más de 50 años de experiencia que está especializada en el adiestramiento y formación de técnicos para plantas nucleares, de cuya facturación entorno al 40 % viene ya del exterior, y tienen la idea de incrementar el porcentaje; Ringo Válvulas, fundada en el año 2000 por parte del equipo directivo que dejó la compañía Walthon Weir Pacific —una empresa que llevaba 30 años en este negocio—, se dedica al diseño, abastecimiento de materiales, fabricación, montaje y pruebas de válvulas, elementos claves en la operación de las centrales nucleares. Está presente en cinco países de África, cuatro de América, cerca de una veintena en Asia y prácticamente en todos los europeos.

De feria en feria

Entre los contratos recientes que estas empresas han firmado en China, se puede destacar el que ENSA ha suscrito recientemente para suministrar un contenedor metálico, además de haber finalizado los trabajos de fabricación de los generadores de vapor AP-1000 para la central nuclear de Sanmen. Por su parte, Enusa ha firmado un contrato de suministro de equipos de inspección para las fábricas de combustible de Yibin y otros; Tecnatom construye ocho salas de control para las nuevas plantas y tres simuladores de alcance total; y Ringo Válvulas, por



Elemento combustible en la factoría de Enusa.

su parte, continúa suministrando válvulas a varias centrales nucleares del país.

La participación en las ferias del sector que se celebran en China, en años alternos en Pequín y en Shanghái, es una de las tareas principales del SNGC, y allí va siempre su director, Carmelo Palacios. “Contamos con una delegación en China, porque el mercado internacional se mueve mucho y hay que estar muy atentos a las oportunidades. Además, es un mercado muy competitivo en el que hay que hacerlo muy bien cada vez para continuar trabajando. En ese sentido, estamos muy tranquilos porque la calidad es el sello de identidad de las cuatro empresas.”

SNGC es una alianza comercial, una iniciativa sin ánimo de lucro, de manera que los contratos son siempre firmados y llevados a cabo por cada una de las empresas participantes, que utilizan esta estructura para estar presentes en todo el mundo y aprovechar las sinergias que surgen por el hecho de ir los cuatro de la mano. La presidencia rota entre las cuatro empresas, así como la vicepresidencia, que ostenta el anterior presidente para asegurar de esa manera la conti-



Newsletter editado por SNGC.

nuidad. Cuenta con una estructura mínima y una oficina en Madrid, precisamente en la sede de Enusa. En China, sin embargo, utiliza la oficina de Tecnatom, porque la ingeniería tiene allí una sede en la que trabaja un ingeniero chino contratado por SNGC.

El trabajo, por tanto, es la dirección general de la iniciativa, los viajes constan-

tes, la búsqueda de oportunidades y de alianzas y la publicación de un boletín de noticias, en inglés y en chino, que cuenta con muchos suscriptores en todo el mundo y que permite poner al día las novedades de las cuatro compañías y del entorno nuclear internacional.

Para su fundación contó con una subvención del ICEX, el Instituto Español de Comercio Exterior, que “sigue ayudándonos en lo que necesitamos cuando estamos en el exterior. De hecho, tenemos una excelente relación con ellos, como con las embajadas en los países en los que estamos, algo que siempre es muy positivo. No es lo mismo presentarte tú solo que hacerlo arropado por el servicio exterior de tu país, especialmente por las consejerías comerciales”, dice Carmelo Palacios.

En total, y de media anual, porque fluctúa mucho dependiendo de las entregas de cada año, “la facturación en China de las cuatro empresas integradas en el SNGC es de entre 50 y 70 millones de euros por ejercicio”, explica Palacios. Pero, insiste, “se trata de una curva muy quebrada, porque son pedidos muy voluminosos pero de muy largo proceso.”

“Es un mercado complicado”, reflexiona Palacios, “pero tiene muy buenas perspectivas. Por otra parte, su propia industria es también muy activa y cada vez participa más en sus construcciones, además de que están empezando a estar muy activos también en el mercado mundial, fuera de su propio país.” Ese es uno de los cambios que se están produciendo en el entorno nuclear, la llegada de nuevos actores o la recuperación del prestigio de los antiguos, como Rusia, “que también están muy activos en el mercado mundial”. De hecho, “Rusia está fabricando dos centrales en China, una en la India —y quizá dos más—, también en Vietnam, en Bangladesh, en Jordania... Se están moviendo mucho.” En Sudáfrica, por ejemplo, hay también proyectos en los que quieren estar presentes todos los fabricantes de



Nuevos simuladores digitales táctiles de central nuclear producidos por Tecnatom.



Entrega de un generador de vapor de Ensa a China.

componentes y quienes ofrecen servicios nucleares en todo el mundo. Corea del Sur es otra de las potencias emergentes, “está haciendo una central en los Emiratos, con alguna ayuda de Westinghouse”.

Vivir con la maleta en la mano

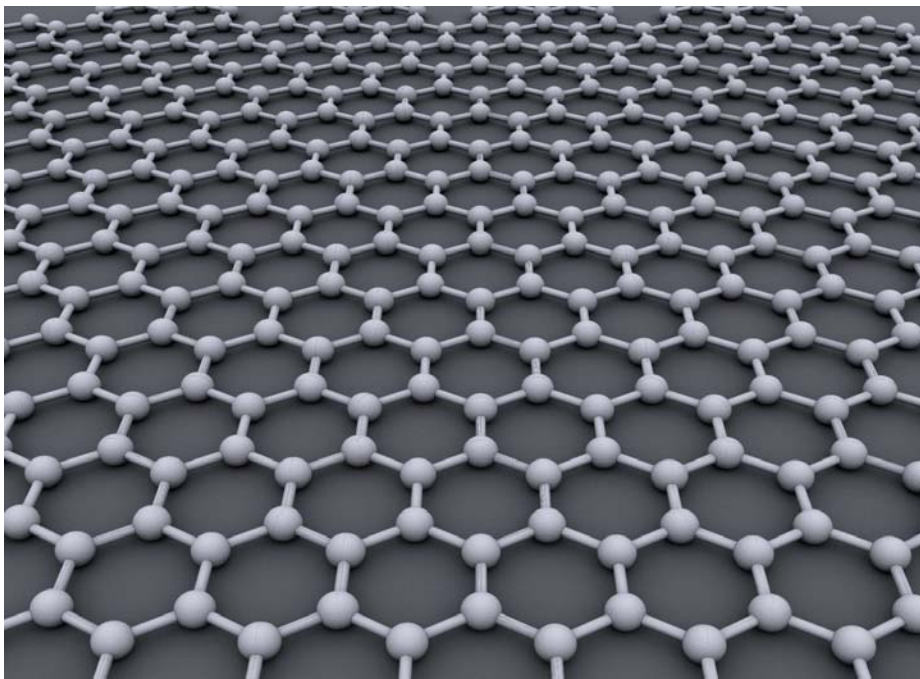
Carmelo Palacios, santanderino, casi no deshace la maleta antes de volver a ha-

cerla. Es el director general de SNGC y su trabajo es, precisamente, salir al mundo y buscar oportunidades de negocio para las cuatro empresas que forman este consorcio. Ingeniero industrial por la Universidad Politécnica de Madrid y licenciado en Ciencias Económicas (MBA) por la Universidad Complutense de Madrid, ha desarrollado casi toda su carre-

ra profesional en actividades comerciales relacionadas con la energía nuclear, tanto en equipos y servicios para centrales nucleares como en la cooperación en consorcios.

Hasta el año 2010, cuando se incorporó a SNGC, había trabajado en diversas empresas del mundo nuclear, sobre todo en ENSA, donde entró en 1976. De allí saltó a Tarquinius SA, como director general. Esa empresa, creada por un grupo de inversores, tenía la idea de especializarse en el comercio y colaboración industrial con la URSS. De ahí pasó, en 1992, a Arbayún Ingenieros, una empresa creada para promocionar a empresas como ENSA, Empresarios Agrupados, Tecnatom y Walton Weir Pacific en los países de la antigua Unión Soviética y del Este de Europa, tanto directamente como a través de ayudas de la Unión Europea y del Banco Europeo para la Reconstrucción y el Desarrollo. En 1996 volvió a ENSA, donde se mantuvo hasta su jubilación en 2009, cuando era director de Desarrollo de Negocio.

Se trata, pues, de una vida en nuclear y en inglés, volcada siempre al comercio exterior y a la búsqueda de oportunidades para las empresas españolas de ese sector. Además, durante su carrera ha sido vocal de la Junta Directiva de la Sociedad Nuclear Española, miembro del consejo de administración de ENWESA (una empresa subsidiaria de ENSA y Westinghouse), miembro del consejo rector de la plataforma de fisión CEIDEN, en la que están involucradas todas las empresas españolas relacionadas con la investigación y desarrollo de la fisión, miembro del consejo rector de la Plataforma Tecnológica de Fusión, en donde participaban todas las empresas españolas relacionadas con la fusión nuclear para proyectos en el ITER y otros, además de haber sido miembro de diversos comités de estudio de esta plataforma tecnológica y de las juntas de administración de varios consorcios. ©



Los nanomateriales basados en el carbono diseñan el futuro

La fiebre del grafeno

Sobre el carbono se ha edificado la vida y sobre ella han evolucionado las civilizaciones, por no hablar del trabajo que ha dado a los químicos de la vasta disciplina de la química orgánica. Y si parecía que no le quedaban más sorpresas que ofrecer, empieza a hacer cosas raras cuando los científicos disminuyen su tamaño a escala nanométrica. Nanotubos de carbono; los redondeados fullerenos; el más reciente y extravagante, el carbino; y planeando sobre todos ellos, el gran rey, el grafeno. Los nanomateriales de base carbono han recibido varios Premios Nobel en los últimos años y son muchas las aplicaciones en las que se supone que intervendrán de forma decisiva, dentro de sectores como la electrónica, la construcción, la energía y la salud. Falta por comprobar de qué son realmente capaces. ■ Texto: **Eugenia Angulo** | periodista científica ■

Primero, se quemó en forma de madera haciendo que el fuego iluminara las cavernas de nuestros más remotos antepasados. Después, el carbón alimentó las calderas de la revolución industrial. Hoy, un elefante tendría que balancearse sobre un lápiz para atravesar una lámina de grafeno del espesor de un

envoltorio de plástico, según han calculado investigadores de la Universidad de Columbia. El carbono cambió el mundo dos veces y parece que ahora va a por la tercera. Es la base sobre la que se sustenta la vida y ahora también la base sobre la que, según la ciencia, puede que se asiente el futuro.

Grafito, diamante, nanotubos de carbono, fullerenos, grafeno y carbino. Esta es la familia de las formas alotrópicas del carbono que se conoce hasta la fecha. Los dos primeros conviven con nosotros desde hace décadas, siglos en algunos casos: entre los dedos de las mujeres, en las puntas de los tocadiscos, en las raquetas de tenis, en los lápices, en los sofisticados microscopios de efecto túnel...

Pero los cuatro últimos, digamos que... bueno, son un poco diferentes. Vendrían a ser unos primos lejanos que han pasado su vida en el extranjero y vuelven contando maravillas incomprensibles. El extranjero en este caso es, literalmente, un mundo nuevo: el nanomundo, todo aquello a escala de millonésimas de milímetro, es decir, materia unas 100.000 veces más pequeña que un cabello humano. Bajo esas circunstancias el carbono adopta formas geométricas especiales que le aportan funciones radicalmente nuevas. Y el que reina por encima de todas ellas es, sin duda alguna, el grafeno.

El rey del futuro

El principal protagonista de esta historia no puede ser más sencillo: una malla cristalina hexagonal de átomos de carbono separados entre sí por una distancia de 0,1 nanómetros, en forma de lámina con un grosor de ¡un solo átomo! Es lo que se dice, un material bidimensional.

Para adelantarse en la carrera por el control de este material, la Unión Europea lanzó el pasado año el mayor programa de I+D de toda su historia, la iniciativa Graphene Flagship, que supone una inversión de 1.000 millones de euros entre 2013 y 2023. En total, 76 centros de investigación, académicos y empresariales, de 17 países europeos están uniendo esfuerzos para crear una gran red interconectada que aúna los avances en su investigación. Por su parte, los Gobiernos de Corea y Reino Unido han inver-



Andre Geim y Konstantin Novoselov, descubridores del grafeno.

tido en los últimos dos años al menos 40 millones de dólares y 24 millones de libras, respectivamente, según el informe *Graphene Market, Technologies and Opportunities 2014-2024*. Y para el año que viene, está prevista la apertura del National Graphene Institute en Manchester, Reino Unido.

Es precisamente en la universidad de esta ciudad inglesa donde en 2004 los científicos de origen ruso, Andre Geim y Konstantin Novoselov, descubrieron el grafeno al exfoliar finísimas capas de grafito. Nada más aislar las primeras láminas —1 milímetro de grafito contiene unos ¡3 millones de capas de grafeno!—, Geim y Novoselov, que ganaron el Premio Nobel de Física en 2010 por ello, midieron su comportamiento y descubrieron unas propiedades inesperadas y portentosas que conforman una interesante biografía.

Para empezar, conduce la electricidad mejor que el cobre y que cualquier otro metal conocido, por lo que podría mejorar la velocidad de los *chips* de los ordenadores y producir mejores células solares; es 200 veces más resistente

que el acero, pero seis veces más ligero; es casi completamente transparente al absorber solo el 2 % de la luz que recibe; es impermeable a los gases, incluso a aquellos tan ligeros como el hidrógeno o el helio, por lo que podría formar parte de membranas; y no hay que olvidar su elasticidad, ya que se puede estirar hasta un 20 % de su tamaño original y, tras deformarse, vuelve a su po-



Bernardo Herradón, investigador del CSIC.

sición anterior. Seguimos: resiste cualquier grado de pH, tanto ácido como alcalino; es inerte ante sustancias químicas muy activas; se puede doblar sin quebrarse; no se rompe; soporta grandes presiones y es muy estable térmicamente, tanto a bajas como a elevadas temperaturas. Gran conductor del calor, posee el récord de conductividad térmica, por lo que sería idóneo para disipar calor.

Muestra propiedades magnéticas, ópticas y electrónicas muy interesantes. Y para terminar, de momento, es susceptible de ser alterado para conseguir modular esas propiedades o conseguir otras nuevas, bien dopando la lámina, es decir, sustituyendo átomos de carbono por otros en la red cristalina, o bien formando un sándwich con capas de otros materiales. Así se puede *funcionalizar* el material; en otras palabras: lograr que interaccione con otras sustancias y servir, por ejemplo, de detector. Como un gran lienzo en blanco, lleno de posibilidades.

Cada una de esas propiedades, estructurales y funcionales, convertiría al grafeno en un material que haría suspirar a empresas de todo tipo de sectores, desde la construcción a la electrónica pasando por la energía, pero la conjunción de todas ellas es la que le hace excepcional y capaz, *a priori*, de estar dentro y fuera de todo tipo de aparatos y productos. Y se recalca *a priori* porque, pasada una década desde su descubrimiento, la mayor parte de estas potenciales aplicaciones aún no han salido de los laboratorios. Así que la pregunta es inevitable: ¿Está cumpliendo el grafeno las expectativas?

Sueños de grafeno

“Solo han pasado 10 años. Ese tiempo en investigación, y tratándose de un material con muchas expectativas y que puede servir para muchas cosas, es poco,

hacen falta décadas para que llegue a la sociedad”, explica Bernardo Herradón, investigador del Instituto de Química Orgánica General del CSIC y cofundador de la empresa Gnanomat, que ha desarrollado un nuevo método para fabricar grafeno de alta calidad y compuestos derivados (composites).

En 1996 se otorgó el Premio Nobel de Química a los descubridores de los fullerenos, otro de estos compuestos 100 % carbono a escala nanométrica: Robert F. Curl, Harold W. Kroto y Richard E. Smalley. “Había muchas expectativas sobre estos sistemas de carbono, pero pasados ya casi 20 años desde el premio a los fullerenos no podemos decir que haya una aplicación práctica, inmediata. Las expectativas en el caso del grafeno son muy superiores, veremos qué es lo que sucede dentro de unos años”, opina Nazario Martín, catedrático de Química Orgánica en la Universidad Complutense de Madrid y director adjunto del Instituto IMDEA de Nanociencia.

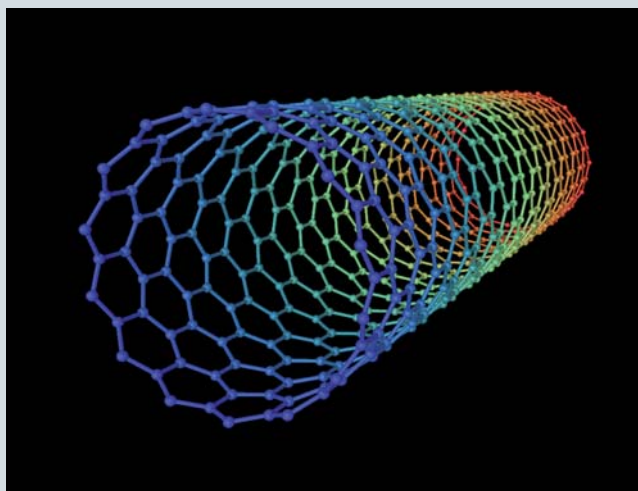
Hoy no hay prácticamente nada que contenga al material milagro, “no estamos teniendo pantallas de televisión que sean una lámina que pueda enrollarse, aunque eso también era un poco ciencia ficción”, matiza Herradón. “Las expectativas del grafeno se están cumpliendo, de momento, en el ámbito de la investigación. Pero vamos camino de aplicaciones en áreas muy distintas: desde la acumulación de electricidad en supercondensadores a materiales que pueden servir para detectar gases o para reforzar materiales estructurales, como el fuselaje de un avión”, añade.

El primer paso ya está en marcha y varias empresas, surgidas en su mayoría alrededor de grupos de investigación, están produciendo grafeno en pequeñas cantidades que se consumen sobre todo en investigación. España se ha convertido en líder en el campo con varias empresas a la cabeza mundial: Avanzare, fundada en

Los tres magníficos: nanotubos de carbono, carbino y fullerenos

Nanotubos de carbono: pueden considerarse como una lámina de grafito enrollada sobre sí misma, en función de este enrollamiento se forman nanotubos de distinto tamaño y geometría. Aunque existen evidencias de tubos de carbono de tamaño nanométrico sintetizados a principios del siglo XX, hasta la invención del microscopio de transmisión de electrones o TEM (*Transmission Electron Microscopy*) no pudieron visualizarse de forma directa. Probablemente, la llegada del grafeno no ha sido una gran noticia para los investigadores de este tipo de compuestos, que han visto cómo se ha llevado la mayor parte de la publicidad y la financiación. En cualquier caso, la experiencia acumulada en nanotubos está siendo muy útil para adelantar el trabajo en grafeno, que tuvo las primeras medidas eléctricas solo un año después de su descubrimiento.

Carbino: la más reciente de todas las formas alotrópicas del carbono, el carbino ha sido considerado como el nuevo grafeno. Consiste en una cadena de átomos de carbono unidos por dobles enlaces o bien alternando enlaces triples y sencillos, lo que le convierte en un verdadero material unidimensional. Esta peculiar estructura le aporta unas propiedades igualmente sorprendentes: su resistencia al estiramiento sobrepasa la de cualquier material conocido, es doble que la del grafeno, al mismo tiempo que es tan flexible como una cadena de ADN. Las primeras teorías sobre su existencia aparecieron en el siglo XIX y



Nanotubo de carbono.

2004 por cuatro científicos del Departamento de Química de la Universidad de La Rioja; Graphenea, que lleva desde 2010 sintetizando grafeno en su planta de San Sebastián; Graph Nanotech, del Grupo Antolín, fabricante de componentes para el automóvil, con sede en Burgos; Nanoinnova, impulsada por profesores de la Universidad Autónoma de Madrid; Graphenano, fundada hace dos años en Alicante, y la recién llegada Gnanomat, formada por investigadores del CSIC.

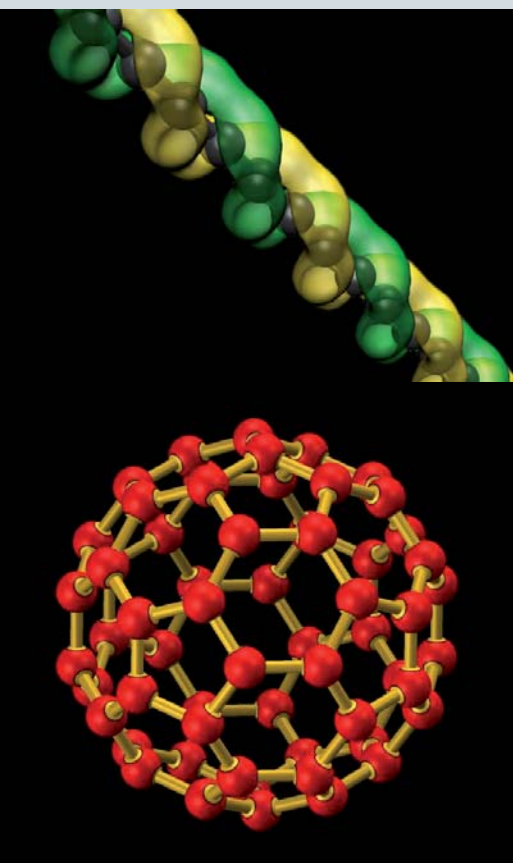
En cuanto a las vías de producción, sería como intentar taparse con una man-

ta demasiado pequeña: o bien te cubre la cabeza o los pies, pero no ambos. “Los llamados métodos de deposición en fase de vapor permiten obtener láminas muy puras, muy limpias, pero son difíciles y caras de obtener. Otro, opuesto al anterior, implica la síntesis en varias etapas (de grafito a óxido de grafito, este ya se puede exfoliar, de ahí se obtiene óxido de grafeno que luego se reduce), lo que supone tiempo, tiempo es dinero, energía y además hay que usar reactivos contaminantes para el medio ambiente”, expli-

una primera aproximación al material se sintetizó por primera vez en la extinta URSS en 1960. Recientemente, el equipo de la investigadora Mingjie Liu, de la Universidad de Rice, logró sintetizar una cadena de 44 átomos, y el año pasado, el equipo liderado por esta científica consiguió calcular algunas de sus propiedades, confirmando la estabilidad del material a temperatura ambiente.

Fullerenos: entre los nanotubos de carbono y el carbino se encuentra otra forma extraña del carbono. Si el grafito es el estado fundamental del carbono (la configuración más estable de menor energía), seguido del diamante, y el carbino la

estructura más estable dentro del estado energético más alto, los fullerenos se encuentran a medio camino. Se trata de moléculas de carbono plegadas en forma de esfera, elipsoide o cilindro, formando anillos hexagonales, pentagonales y a veces heptagonales. La primera molécula de fullereno, el C₆₀, es como un balón de fútbol: tiene 20 hexágonos además de los 12 pentágonos, como un icosaedro truncado. Fue sintetizada en 1985 también en la Universidad de Rice por los investigadores Robert F. Curl, Harold W. Kroto y Richard E. Smalley, quienes recibieron el Premio Nobel de Química por este descubrimiento en 1996. El más pequeño posible se denomina C₂₀ y está formado exclusivamente por 12 pentágonos, sin ningún anillo hexagonal, es decir, un dodecaedro con 20 átomos de carbono.



Carbino (arriba) y fullereno.

ca Herradón. Es el método que produce la mayor cantidad de grafeno, pero... de baja calidad. Aun así, puede servir para aplicaciones donde no sea necesario uno de calidad alta.

Entre ambos están los métodos intermedios que se basan en exfoliar grafito por métodos físico-químicos usando disolventes. En eso trabaja Gnanomat que, mientras se escribía este reportaje, anunció el desarrollo de un nuevo método que permite obtener cantidades y calidades de grafeno intermedias entre

CSIC

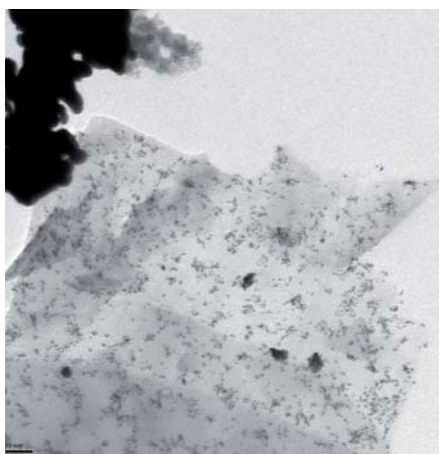


Imagen nanométrica de una superficie de grafito con nanopartículas de oro.

ambos. “Digamos que la tecla correcta que hemos pulsado es el disolvente, pero nuestro método tiene ventajas adicionales: es más rápido y no son contaminantes y podemos reciclarlos”, detalla Herradón.

El método ha sido patentado y licenciado por el CSIC y tiene una importantísima ventaja adicional: es capaz, sin tener que separar las láminas de grafeno, de obtener materiales compuestos, llamados composites, con metales, óxidos metálicos, sulfuros, polímeros... Sería el lienzo en blanco citado anteriormente sobre el que seguir construyendo nuevas aplicaciones, es decir, de momento, promesas.

“Pongo como ejemplo el desarrollo de los polímeros en los años veinte del siglo pasado, que llevó a la revolución de la industria del plástico. Solo hay que esperar a que haya una aplicación que se confirme como algo de verdadero valor, un punto de inflexión a partir del cual habrá un crecimiento espectacular del grafeno. Y la empresa que haya investigado y tenga un poco de ventaja con respecto a sus competidoras es la que se llevará el gato al agua”, opina el investigador.

Aplicaciones reales

El mercado del grafeno crecerá de los aproximadamente 20 millones de dólares en 2014 a 390 millones para 2024, según el reciente estudio *Graphene Market, Technologies and Opportunities 2014-2024*, publicado por la consultora IDTechEx. Y, por supuesto, los gigantes de la industria no son ajenos a estos números.

IBM ha producido varios prototipos de componentes electrónicos con grafeno, mientras Samsung ha fabricado una pantalla plana con electrodos a base del supermaterial. El fabricante de raquetas Head ha contratado a los campeones de tenis Novak Djokovic y Maria Sharapova para promover sus



El arte del grafeno

Una aplicación en principio inesperada se anunció recientemente: un escáner de grafeno que permite distinguir pigmentos sin tomar muestras, además de mostrar bocetos o pinturas que hayan quedado ocultas bajo una obra. “Puede mostrar detalles del proceso creativo de una pintura que son de gran valor histórico-artístico porque nos dicen más acerca de cómo trabajó el pintor, lo que es muy útil para los conservadores”, explica Laurens van der Maaten de la Delft University of Technology, entidad que forma parte del proyecto *InsidEE (Integration of technological solutions for imaging detection and digitisation of hidden elements in artworks)*, financiado por el Séptimo Programa Marco de la Unión Europea.

El escáner aprovecha una de las múltiples peculiaridades del grafeno: sometido a ondas electromagnéticas, tiene un comportamiento no lineal, en otras palabras, “funciona como una especie de multiplicador de frecuencia. Si sobre el grafeno hacemos incidir una onda de una frecuencia determinada, este tiene la capacidad de emitir otra más alta”, explican David Gómez y Nuria Campos de la empresa española ITMA Materials Technology, que también participa en el proyecto.

Esta propiedad del grafeno está permitiendo a los científicos emitir en la banda de terahercios, frecuencias en las que hasta ahora solo se han acometido emisiones experimentales y que se encuentran por debajo de los infrarrojos, pero por encima de las frecuencias que utiliza la telefonía móvil o las comunicaciones vía satélite. Por eso, “comenzar a utilizarla supone cubrir un nicho existente entre las frecuencias que utilizan otras tecnologías ya desarrolladas”, afirma Javier Gutiérrez, investigador de la empresa Treelogic y coordinador del proyecto. ▶

raquetas hechas con grafeno. Y BASF y Daimler-Benz han diseñado un concepto de coche eléctrico inteligente llamado Forvision que lo incorpora. Por su parte, BASF presentó en 2012 un informe sobre el futuro del grafeno, donde establecía una previsión de mercado por valor de más de 1.000 millones de dólares en 2015 y alrededor de 7.500 millones para 2025.

En el campo de la energía, el grafeno sería especialmente importante, no tanto como conductor eléctrico, sino para almacenamiento de electricidad. Ya hay prototipos de baterías más ligeras y capaces de proporcionar diez veces más energía que las actuales, además de, para alivio de los tecnoadictos, recargarse en minutos en lugar de las horas que se necesitan en la actualidad y durar más tiempo. Baterías de este tipo también tendrían un gran impacto en el desarrollo de los coches eléctricos y, con ellos, de las energías renovables. Y hay quienes están desarrollando sensores químicos y biológicos; sistemas de disipación de calor; carrocerías de vehículos; pantallas de televisión enrollables; células fotovoltaicas; adhesivos y pinturas más resistentes...

No hace falta decir que China, el gigante asiático, también está en la carrera. Con más de 2.000 patentes, ha superado a Estados Unidos y a Europa, que sigue por los pelos liderando la publicación de artículos científicos sobre el material. Y a su vez, Corea y Japón le siguen muy de cerca los pasos a China. “Que no te quepa la menor duda de que en cuanto haya realmente un mercado de grafeno quienes lo fabriquen serán China e India. De eso estoy convencidísimo”, concluye Herradón. La ventaja competitiva de Europa será el desarrollo, y la propiedad industrial, de material de más calidad y materiales compuestos”. La fiebre del grafeno sigue en marcha. ©

Panorama



Homenaje a los empleados del Consejo de Seguridad Nuclear que en 2015 cumplieron 25 años al servicio de las Administraciones Públicas

El pasado 18 de diciembre de 2014 tuvo lugar, en el salón de actos del Consejo de Seguridad Nuclear, la entrega del premio por sus 25 años de trabajo en el conjunto de las Administraciones Públicas y al menos 5 años en el CSN a 34 miembros de la plantilla del Consejo.

En la apertura del acto el presidente del Consejo, Fernando Marti Scharfhausen, agradeció a todos su fidelidad a la institución y su perseverancia y acreditado rigor en el desempeño de su actividad laboral durante esos 25 años de servicio. Y también animó a todos los presentes a que cumplan ese periodo de actividad laboral para poder recoger también en un futuro su propio galardón.

Tanto el presidente del CSN como el resto de los miembros del Pleno del organismo regulador, la vicepresidenta Rosario Velasco y los consejeros Antoni Gurgu, Fernando Castelló y Cristina

Narbona, así como la secretaria general, María Luisa Rodríguez, se encargaron de entregar los premios de forma individual a cada una de las personas de la plantilla del Consejo de Seguridad Nuclear que han acreditado esos 25 años de servicio.

Reconocimiento institucionalizado

La concesión de estos premios obedece a un acuerdo del Pleno, del 12 de noviembre de 1997, que institucionalizó este reconocimiento para el personal funcionario y laboral del organismo que acredite 25 años de servicio en el conjunto de las Administraciones Públicas, siempre que, al menos cinco de ellos hayan sido prestados en el Consejo.

Juan Pedro García y José María Rey asumieron la representación de todos los premiados y en sus intervenciones repasaron la evolución de la tecnología apli-

cada en el CSN y recordaron con cariño a Luis García Gajate, fallecido en 2010 y que en 2014 habría cumplido los 25 años en el CSN.

Los 34 premiados han sido: José María Abaigar, Sonia Abín, María Consuelo Alejano, Virgilio Jesús Arranz, María Isabel Barbero, Virginia Bernedo, Blanca Cañamero, Carlos Castela, Juan Alfonso Cepas, Pilar Fajó, Juan Pedro García, María Jesús Goyoaga, Ángela Gutierrez, Ana María Hernández, Rodolfo Isasia, José Miguel Larrañaga, María José López, Julio López, Rafael Mendilibar, Carlos Mendoza, María Antonia Montoro, Lucía Morales, Manuel Oliva, Francisco Javier Ortega, María Lourdes Pérez, Francisco Javier Ramón, José María Rey, Engracia Rubio, José Gregorio Sánchez, Susana Solís, Belén Tamayo, Laura Urteaga, Pablo Varela y Teresa Vázquez.

El presidente del CSN comparece ante el Congreso de los Diputados

El 3 de diciembre, y conforme a lo establecido en su Ley de Creación, el presidente del Consejo de Seguridad Nuclear, Fernando Marti Scharfhausen, compareció ante la Comisión de Industria, Energía y Turismo del Congreso de los Diputados tras la remisión del informe de las principales actividades desarrolladas durante 2013. Inició su intervención explicando que se ha modificado la estructura y contenidos del informe para hacer su lectura más ágil y comprensible, y agradeció el apoyo recibido de la Comisión para la inclusión del Cuerpo de Seguridad Nuclear y Protección Radiológica entre los sectores excluidos de la tasa de reposición cero, en los Presupuestos Generales del Estado.

El presidente señaló que las centrales nucleares tuvieron un comportamiento correcto desde el punto de vista de la seguridad a partir de

los resultados obtenidos del Sistema Integrado de Supervisión de Centrales (SISC). En 2013, se llevaron a cabo 190 inspecciones a los reactores nucleares en funcionamiento, 76 a transportes de mate-

Escala Internacional de Sucesos Nucleares y Radiactivos (INES). En el capítulo de protección radiológica, el número de trabajadores controlados dosimétricamente en España fue de 105.150.

diente se encuentra en fase de estudio por el cuerpo técnico del organismo y subrayó que “se está actuando con todo el rigor técnico y la máxima independencia y transparencia”. Sobre el ATC explicó que el



riales radiactivos y 1.842 a instalaciones radiactivas, estas últimas en colaboración con las nueve comunidades autónomas con las que se mantienen acuerdos de encomienda. Las centrales nucleares notificaron 40 sucesos, todos ellos clasificados como nivel 0 en la

El presidente dedicó una atención especial a la situación administrativa en la que se encuentran la central nuclear de Santa María de Garoña y el Almacén Temporal Centralizado (ATC) de residuos radiactivos. De la primera recordó que el expe-

pasado enero se recibió del Ministerio de Industria, Energía y Turismo la petición del informe preceptivo sobre las solicitudes de autorización previa y de construcción presentadas por Enresa, y que dichos informes se encuentra en fase de estudio.

Estocolmo acoge la XIV reunión de HERCA

La vicepresidenta del Consejo de Seguridad Nuclear, Rosario Velasco, el consejero Antoni Gurguí y la directora técnica de Protección Radiológica, M^a Fernanda Sánchez, asistieron a la decimocuarta reunión del Comité de Dirección de la Asociación Europea de Autoridades Competentes en Protección Radiológica (HERCA), que tuvo lugar los días 21 y 22 de oc-

tubre en Estocolmo (Suecia). La reunión se estructuró en cuatro sesiones: asuntos de relevancia para los grupos de interés; información de las autoridades nacionales competentes en materia de protección radiológica; temas de interés desde el punto de vista de la Comisión Europea y asuntos de carácter interno, relativos a las actividades llevadas a cabo en el marco de HERCA, incluida la actividad de los grupos de trabajo en los que el CSN tiene representantes.



HERCA está compuesta por representantes de 55 autoridades europeas en materia de protección radiológica, pertenecientes a 31 países y mantiene relaciones con más de 50 organizaciones externas.

La vicepresidenta del Consejo de Seguridad Nuclear preside la VIII Asamblea General de CEIDEN

La vicepresidenta del CSN, Rosario Velasco, presidió la VIII Asamblea General de la Plataforma Tecnológica de Energía Nuclear de Fisión, CEIDEN, el pasado 14 de octubre en el Ministerio de Industria Energía y Turismo. El subdirector general de Energía Nuclear, Javier Arana, inauguró la sesión poniendo de relieve el crecimiento experimentado por la plataforma así como los retos y oportunidades que se le presentan a la I+D+i nuclear en España. A lo largo de la asamblea se presentó el desarrollo de las líneas de trabajo definidas para el bienio 2014-2015, se revisaron los avances en cada uno de los programas y proyectos y se debatieron propuestas para el futuro. Rosario Velasco, que preside la plataforma desde 2013, clausuró el acto resumiendo las nuevas iniciativas planteadas en el encuentro, animando a una mayor participación de todos sus miembros y destacando el papel que juega el organismo regulador.



Encuentro bilateral del CSN y la NRC

Entre los días 18 y 20 de noviembre, una delegación del Consejo de Seguridad Nuclear, encabezada por su presidente, Fernando Marti Scharfhausen, viajó a Estados Unidos para mantener una reunión bilateral con el organismo regulador estadounidense, la Nuclear Regulatory Commission (NRC). Formaban también parte de la comitiva el consejero Antoni Gurgui y el director técnico de Seguridad Nuclear, Antonio Munuera.

Tras visitar en Chicago la central nuclear en desmantelamiento Zion NPP y, ya en Washington, el National Institute of Standards and Technology (NIST) y su reactor de investigación, se reunieron con la presidenta de la NRC, Allison Macfarlane y los consejeros William Ostendorff y Kristine Svinicki. También visitaron el centro de emergencias de la NRC y mantuvieron un encuentro con el director de la Oficina de Regulación de Reactores, Bill Dean.

La reunión, que se enmarca en el acuerdo bilateral entre España y EE UU de 1979, puso de manifiesto las buenas relaciones que ambos organismos mantienen desde hace años y el interés mutuo en seguir reforzando la cooperación internacional y el intercambio de lecciones aprendidas y buenas prácticas en materia de seguridad nuclear.



El CSN participa en la XXVIII reunión de ENSREG

Una delegación del Consejo de Seguridad Nuclear, presidida por Fernando Marti Scharfhausen, participó el 16 de octubre en la XXVIII reunión del Grupo Europeo de Reguladores de Seguridad Nuclear (ENSREG), que se inició con la intervención

del presidente del grupo, Andy Hall, quien planteó las nuevas líneas de actividad de su mandato.

Durante el encuentro se abordaron cuestiones como la Directiva de Seguridad Nuclear, el seminario para revisar los planes de acción

nacionales y la tercera conferencia europea de Seguridad Nuclear que tendrá lugar en 2015. Antonio Munuera, director técnico de Seguridad Nuclear del CSN, lidera el grupo de trabajo sobre seguridad nuclear y fue, además, el encargado de

presentar el seminario de revisión de los planes de acción, que tendrá lugar en abril. También se intercambió información sobre los avances alcanzados por los otros grupos de trabajo en los ámbitos de la gestión de residuos y la transparencia, así como en la cooperación internacional.

El consejero Antoni Gurgu, presente en la World Nuclear Exhibition



Como vicepresidente de la Asociación de Autoridades Reguladoras de Seguridad Nuclear de Europa Occidental (WENRA), el consejero del CSN Antoni Gurgu participó el 17 de octubre en París, durante las jornadas World Nuclear Exhibition, en una mesa redonda en la que se abordaron cuestiones relevantes para el futuro de la energía nuclear y otra sobre las lecciones aprendidas de los accidentes nucleares. Gurgu en-

fatizó la eficacia de la labor desarrollada por WENRA, cuyos niveles de referencia —revisados después del accidente de Fukushima— y su implementación en los Estados miembros de WENRA han mejorado la armonización y la seguridad de sus instalaciones nucleares. La World Nuclear Exhibition es un encuentro internacional de la industria nuclear en el que han participado cerca de 500 empresas y más de 5.000 visitantes. ▸

Fernando Castelló participa en el foro sobre seguridad nuclear Asia-Europa

Fernando Castelló, consejero del CSN, participó el 4 de noviembre en el tercer seminario sobre seguridad nuclear que la reunión Asia-Europa (ASEM) organizó en Yogyakarta (Indonesia).

Durante su intervención, Castelló destacó la importancia de la colaboración internacional para la mejora de la competencia y la credi-

asistentes pusieron de manifiesto la necesidad de mantener una mejora continua en materia de seguridad nuclear y la importancia de contar con reguladores independientes.

La ASEM surgió en 1996 para fomentar el diálogo y la cooperación entre países europeos y asiáticos, abordando temas políticos, económicos y



bilidad, ya que “las organizaciones internacionales impulsan grupos de expertos y proyectos de investigación necesarios para desarrollar nuevos conocimientos”. Los

culturales, con el objetivo de fortalecer la relación entre ambas regiones. Actualmente está compuesta por 53 Estados e instituciones europeas y asiáticas. ▸

La consejera Cristina Narbona interviene en la reunión del Comité de Actividades Reguladoras Nucleares

La consejera Cristina Narbona y el subdirector de Ingeniería, José Ramón Alonso, asistieron el 2 de diciembre, en representación del Consejo de Seguridad Nuclear, a la XXXII reunión del Comité de Actividades Reguladoras Nucleares (CNRA) de la Agencia de Energía Nuclear (NEA-OCDE) en París. En su presentación repasaron los temas más relevantes que han ocupado la actividad del organismo regulador durante el segundo semestre del año 2014, como la re-

novación de la autorización de explotación de la central de Trillo, el estado de Santa María de Garoña, la evolución del proceso de licenciamiento del Almacén Temporal Centralizado (ATC) y la aplicación del plan de acción nacional español post Fukushima.

Durante esta 32 reunión del CNRA se presentó el nuevo director general de la NEA, William Magwood, y un nuevo grupo de trabajo sobre “Cultura de seguridad en los organismos reguladores”, li-



derado por Suecia y del que forma parte el subdirector de Tecnología Nuclear del CSN, Rafael Cid. Este grupo organizará un seminario el 3 de junio de 2015. ▸

Principales acuerdos del Pleno

Análisis y posición del Pleno del CSN en materia de protección física de las centrales españolas

Durante la reunión del Pleno del 10 de septiembre, a petición del presidente, el consejero Antoni Gurguá expuso las líneas generales del documento “Análisis y posición del Pleno del CSN en materia de protección física de las instalaciones nucleares españolas”. Tras el oportuno debate, se aprobó por unanimidad el documento, su calificación como documentación confidencial y su remisión a las autoridades competentes en materia de protección física, para que surta los efectos oportunos.

Plan de protección física del ATC durante su construcción

En su reunión del 1 de octubre, el Pleno del Consejo aprobó por unanimidad la solicitud de autorización del Plan de Protección Física del Almacén Temporal Centralizado de combustible nuclear gastado y residuos de alta actividad (ATC) y su Centro Tecnológico Asociado (CTA), por el plazo de validez de la autorización de construcción que, en su caso se conceda.

Propuesta de apercebimiento a Cofrentes por incumplimiento de la Instrucción IS-06

El Pleno del CSN aprobó, en su reunión del 1 de octubre, una propuesta de apercebimiento al titular de la central nuclear de Cofrentes por incumplimiento de la Instrucción del Consejo IS-06, por la que se definen los programas de formación en protección radiológica básica y específica.

En una comprobación realizada por la Inspección del CSN a la central, durante los días 14 a 16 de octubre de 2013, se identificó la vulneración de lo establecido en la citada instrucción en su apar-

tado 5.3: “La acreditación en el caso de la formación específica se considera válida para un periodo de 12 meses consecutivos desde la última vez en que se superó el curso de formación correspondiente”, al tener un trabajador caducada dicha acreditación. Este incumplimiento podría constituir una infracción leve, dado que se considera que no se han derivado daños ni perjuicios directos a las personas o al medio ambiente, y la imposición de determinadas medidas correctoras.

Plan de Refuerzo Organizativo, Cultural y Técnico de ANAV

Tras estudiar la propuesta de la Dirección Técnica de Seguridad Nuclear, el Pleno del Consejo aprobó por unanimidad, en su reunión de 1 de octubre, el informe final de cierre del Plan de Refuerzo Organizativo, Cultural y Técnico (Procura) de la Asociación Nuclear Ascó-Vandellós II (ANAV), que detalla las mejoras organizativas y de gestión de la explotación tras la implantación de las acciones y lecciones aprendidas por el titular.

Renovación de la autorización de explotación de Trillo

En la reunión del 8 de octubre, el Pleno del Consejo aprobó por unanimidad la solicitud de renovación de la autorización de explotación de la central nuclear de Trillo por un periodo de diez años, a partir del 17 de noviembre de 2014 hasta el mismo día y mes de 2024. Previamente, el titular había presentado la Revisión Periódica de la Seguridad (RPS) correspondiente al periodo comprendido entre el 1 de enero de 2002 y el 31 de diciembre de 2012, acompañada de las revisiones en vigor de los documentos oficiales de explotación, una revisión del análisis proba-

bilista de seguridad (APS), el análisis de envejecimiento de la central y un análisis de la experiencia de explotación durante la autorización vigente.

Ejecución y montaje del vallado y sistema de seguridad física del ATI de Garoña

En su reunión del 22 de octubre, el Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear aprobó por unanimidad, con condiciones, la solicitud de autorización para la ejecución y montaje del vallado y sistema de seguridad física perteneciente al Almacén Temporal Individualizado (ATI) de combustible gastado de la central nuclear de Santa María de Garoña, que fue presentada por el titular de dichas instalaciones.

Contenedor ENUN 52B para combustible gastado

El Pleno del CSN, en su reunión del 5 de noviembre, aprobó por unanimidad informar favorablemente la solicitud, de Equipos Nucleares, S.A. (ENSA), de aprobación del diseño del contenedor ENUN 52B para el almacenamiento de combustible gastado tipo BWR en instalación autorizada, tras la aceptación del Estudio de Seguridad y del Programa de Garantía de Calidad, con las condiciones señaladas por la Instrucción del Consejo IS-20, que establece las características del combustible que se va a cargar en el contenedor, las condiciones para la revisión de los documentos presentados con la solicitud de aprobación y los requisitos que debe cumplir el titular, con anterioridad a la carga del contenedor. La aprobación del diseño tendrá un periodo de validez máximo de 20 años, a contar desde la fecha de emisión de la correspondiente autorización, conforme a lo previsto en la citada IS-20. ©

El CSN informa

Información relativa al tercer trimestre de 2014

Centrales nucleares

Almaraz I y II

Nº de sucesos (nivel INES)	2 en unidad I (INES 0) y 1 en unidad II (INES 0)
Paradas no programadas	1 (unidad II)
Nº inspecciones del CSN	8
Actividades	

Al inicio del periodo, la unidad I estaba en parada programada por la vigesimotercera recarga de combustible, que terminó el 20 de agosto al conectarse a la red. Durante la parada se instaló un nuevo panel de parada alternativa para mejorar la seguridad contra incendios de la central y modificaciones relacionadas con las mejoras adoptadas tras el accidente de Fukushima.

El 17 de septiembre se produjo la parada automática del reactor como consecuencia de la inserción de ocho barras de control, originada por la pérdida de alimentación eléctrica a sus bobinas de retención.

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

Ascó I y Ascó II

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

Al inicio del periodo, Ascó I se encontraba realizando la vigesimotercera recarga de combustible, que finalizó el día 5 de julio, y permaneció al 100 % de potencia nuclear hasta el 30 de septiembre, en que se bajó al 98,6 % para la sustitución del Caldon y la realización del PV-97 (operabilidad de válvulas de la turbina).

Durante el trimestre, Ascó II ha permanecido operando al 100 % de potencia nuclear, con las siguientes excepciones: el 4 de julio se bajó al 70 % por una crecida del río Ebro, para el control de la proliferación de macrófitos. El 24 de julio se bajó al 69 % para intervenir la caja B2 del condensador. El 13 de agosto se bajó potencia y el 14 se desconectó de la red para intervenir la bomba de carga 11P01A, hasta el 8 de septiembre.

Cofrentes

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

Durante el tercer trimestre de 2014 la central se mantuvo funcionando de manera estable en operación a potencia, con bajadas menores para pruebas y mantenimiento de vacío en el condensador por razones meteorológicas. El 23 de agosto se bajó carga al 53,40 % para realizar un cambio de secuencia y pruebas de asentamiento de barras de control, y se recuperó el 100 % de potencia el día 25 de agosto.

Santa María de Garoña

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

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

Tras la emisión de la ITC 14/01, sobre requisitos adicionales en relación con la solicitud de renovación de la autorización de explotación, el CSN ha iniciado el proceso de evaluación de las respuestas del titular a dicha ITC.

Trillo

Nº de sucesos (nivel INES)	1 (INES 0)
Paradas no programadas	0
Nº inspecciones del CSN	7
Actividades	

En este periodo de tiempo la central ha operado a plena potencia. El 4 de agosto se descubrió, a raíz del análisis de experiencia operativa, la existencia de una conexión entre partes del sistema de agua de servicios esenciales sísmica y no sísmica. El titular analizó el impacto que tendría la pérdida de agua suponiendo el fallo, durante un terremoto, de las válvulas del VE afectadas y concluyó que se produciría una pérdida de caudal significativa a largo plazo (muchos días) y, de acuerdo con sus procedimientos internos, esta pérdida se aislaría en las primeras horas tras el terremoto.

Durante este tiempo se finalizaron las actividades de evaluación para la renovación de la autorización de explotación, que fue aprobada el 17 de septiembre, por un periodo de diez años.

Vandellós II

Nº de sucesos (nivel INES)	2 (INES 0)
Paradas no programadas	1
Nº inspecciones del CSN	9
Actividades	

Durante este trimestre la central ha funcionado al 100 % de potencia de forma estable, con la única excepción de una parada automática no programada el 25 de julio, de un día y medio de duración, y una incidencia no significativa por indisponibilidad de equipos, que requirió una ligera reducción de potencia durante algo más de un día para intervenciones de mantenimiento.

Instalaciones del ciclo y en desmantelamiento

Ciemat

PIMIC-Rehabilitación

En este trimestre el Ciemat remitió la documentación relativa al Plan de Control de Materiales Desclasificables del proyecto.

PIMIC-Desmantelamiento

También se ha continuado trabajando en el plan de pruebas para la desclasificación de tierras del Montecillo.

Y los trabajos de sondeos en el área de los alrededores de la Lenteja y de la celda F1, con motivo de la obtención de datos de caracterización.

Nº de sucesos	0
Nº inspecciones del CSN	3

Centro de Saelices el Chico

Planta Quercus

En el mes de julio Enusa solicitó una prórroga para presentar la autorización para el desmantelamiento según la nueva normativa aplicable. En septiembre se concedió una prórroga por un año.

Nº de sucesos	1
Nº inspecciones del CSN	0

Minas de Saelices

Las instalaciones siguen bajo control, sin observarse incidencias significativas.

Otras instalaciones de minería de uranio (Salamanca)

Planta de concentrados de Retortillo

Prosigue la evaluación de la documentación adicional presen-

tada por Berkeley Minera España, relacionada con la solicitud de autorización previa de la planta de concentrados de uranio.

Mina de Retortillo-Santidad

Prosigue la evaluación de la documentación presentada por Berkeley Minera, relacionada con el condicionado de la concesión de explotación minera.

Nº inspecciones del CSN	0
-------------------------	---

Fábrica de uranio de Andújar

Actividades

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

Nº inspecciones del CSN	0
-------------------------	---

El Cabril

Actividades

La instalación sigue bajo control, sin incidencias significativas. Se han realizado las operaciones habituales para la gestión definitiva de residuos radiactivos de baja y media actividad y de muy baja actividad. La Dirección General de Política Energética y Minas ha autorizado las revisiones 9 del Plan de Emergencia Interior y 12 de las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento.

Nº de sucesos (nivel INES)	0
Nº inspecciones del CSN	1

Vandellós I

Actividades

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

Nº de sucesos	0
Nº inspecciones del CSN	0

José Cabrera

Actividades

El 10 de julio dieron comienzo las actividades de segmentación de la vasija del reactor, que proseguían al final del trimestre.

Han continuado las actividades de desmontaje de grandes componentes y elementos radiológicos, entre las que destaca el desmantelamiento del generador de vapor.

Nº de sucesos	1
Nº inspecciones del CSN	3

Juzbado

Actividades

A lo largo del trimestre la instalación ha desarrollado sus actividades sin incidencias destacables en su operación.

No se han producido actividades de licenciamiento.

En el mes de septiembre se realizó el simulacro anual de actuación ante emergencias.

Nº sucesos	0
Nº de inspecciones del CSN	2

Instalaciones radiactivas

Resoluciones adoptadas sobre instalaciones radiactivas (científicas, médicas, agrícolas, comerciales e industriales):

Informes para autorización de nuevas instalaciones	9
Informes para autorización de modificación de instalaciones	96
Informes para declaración de clausura	8
Informes para autorización de servicios de protección radiológica	0
Informes para autorización de unidades técnicas de protección radiológica	2
Informes para autorización de servicios de dosimetría personal	0
Informes para autorización de retirada de material radiactivo no autorizado	11
Informes para autorizaciones de empresas de venta y asistencia técnica de equipos de rayos X para radiodiagnóstico médico	0
Informes para autorización de otras actividades reguladas	1
Informes relativos a la aprobación de tipo de aparatos radiactivos	6
Informes relativos a homologación de cursos para la obtención de licencias o acreditaciones	19

Acciones coercitivas adoptadas sobre instalaciones radiactivas (científicas, médicas, agrícolas, comerciales e industriales):

Apercibimientos a instalaciones radiactivas industriales	3
Apercibimientos a instalaciones radiactivas de investigación o docencia	0
Apercibimientos a instalaciones radiactivas médicas	1
Apercibimientos a unidades técnicas de protección radiológica	0
Apercibimientos a servicios de protección radiológica	0
Apercibimientos a instalaciones de rayos X médicos	0
Apercibimientos a otras actividades reguladas	0

Seguridad física

Actividades más relevantes

Durante este periodo se evaluó la solicitud de autorización de protección física presentada por Enresa para la construcción del Almacén Temporal Centralizado, así como las solicitudes de autorización de protección física correspondientes a transportes de material nuclear de categoría III fuera de la Unión Europea.

El CSN recibió el Premio Duque de Ahumada de la Guardia Civil, en reconocimiento a “la mejor acción para fomentar la cultura de seguridad en las organizaciones”.

Simulacros	0
Nº de Inspecciones	1 (Santa María de Garoña)

Notificación de sucesos

Nº incidentes en instalaciones nucleares notificables en 1 hora	4
Nº incidentes en instalaciones nucleares notificables en 24 horas	8
Nº incidentes radiológicos	6
Hechos relevantes	Ninguno reseñable

Emergencias

Activación de la ORE

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

Otras actividades relevantes

En este periodo, el CSN ha organizado y financiado un curso práctico de formación sobre emergencias nucleares, destinado específicamente a los responsables de la organización del Penta y realizado con la colaboración de la Subdelegación de Gobierno de Tarragona y con la Asociación Nuclear Ascó-Vandellós.

El CSN también ha participado en la realización de ejercicios parciales del Penva (establecimiento de controles de acceso) y del Penta (activación ECD Montbrió).

Eventos internacionales

El CSN ha sido la sede de la 9ª reunión del Working Group Emergencias de HERCA (Asociación Europea de Autoridades de Control Radiológico).

www.csn.es



Por qué brillan las estrellas

En 1938, los físicos alemanes Bethe y Weizsäcker dieron respuesta a la vieja cuestión de la energía inagotable de las estrellas. En el interior del Sol, la enorme presión y la elevada temperatura hacen que el hidrógeno se fusione para producir helio mediante un ciclo de reacciones nucleares de fusión. Es una de las cuestiones planteadas en la sección “¿Sabías que...?” del Canal Saber de la web del Consejo.

<http://www.csn.es/index.php/es/sabias-que>



Un buzón electrónico para denuncias y notificaciones ante el CSN

El Consejo de Seguridad Nuclear pone a disposición de los trabajadores de instalaciones nucleares y radiactivas un formulario para que puedan comunicar cualquier hecho que afecte o pueda afectar a su funcionamiento seguro y al cumplimiento de la normativa vigente en materia de seguridad nuclear o protección radiológica. De acuerdo con la Ley Orgánica de Protección de Datos de Carácter Personal, el CSN garantiza la confidencialidad de los datos personales de los trabajadores que comuniquen este tipo de eventualidades.

http://www.csn.es/index.php/es/?option=com_content&view=article&id=12161&Itemid=312%E2%8C%A9=es%E3%80%88=es



SISC

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



Actas del Pleno del CSN

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



Alfa

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



Publicaciones divulgativas



La radiación natural
Principales fuentes de radiación natural (Póster)



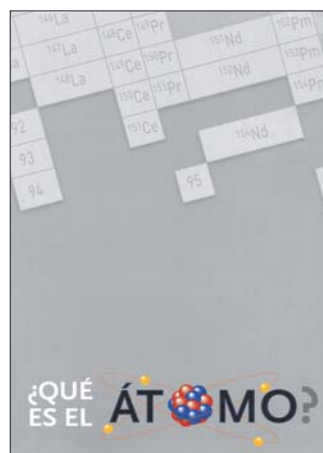
La radiación artificial
Impactos sobre el medio ambiente (Póster)



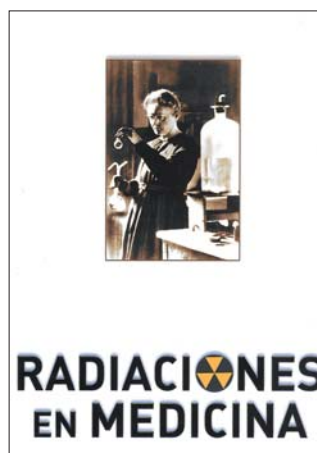
Espectro de ondas electromagnéticas
(Póster)



Las fuerzas de la Naturaleza
(Póster)



¿Qué es el átomo?
(Póster)



Radiaciones en Medicina
(Póster)

alFa Revista de seguridad nuclear y protección radiológica

Boletín de suscripción

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

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

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

Abstracts

REPORTS

4 The shortage of technetium compromises medical diagnosis

Technetium-99m is the most widely used isotope in nuclear medicine because it is ideal for the scanning of organs such as the heart, the brain and the kidney and for the detection of tumours that may be missed by other techniques. However, its availability is threatened due to the scarcity and ageing of the nuclear reactors in which it is produced.

15 A 100 kilometre-long particle accelerator

The Large Hadron Collider (LHC) has already achieved its main objective, discovery of the Higgs particle, and many more discoveries are now proposed before it reaches the end of its service lifetime in around 2030. But high-energy physicists are already imagining what its successor will be like, which may be four times larger than the LHC.

20 International conventions

Nuclear safety and radiological protection issues know no frontiers. For this reason, the International Atomic Energy Agency promotes the creation of different international conventions to boost cooperation and improve the surveillance and safety measures applied at the facilities.

49 Spanish-Portuguese Early Warning and Environmental Radiological Surveillance Centre

2014 has seen the inauguration of Alerta2, the new Spanish-Portuguese Early Warning and Environmental Radiological Surveillance Centre, located on the Campus of the University of Extremadura in Cáceres. The new installation has been financed by the European Spain-Portugal Cross-Border Cooperation Programme.

54 Sights set on China

The increasing demand for nuclear technology coming from Asian countries, especially China and India, has changed the panorama of the sector. Four Spanish companies have set up the Spanish Nuclear Group for Cooperation (SNGC), with a view to taking advantage of synergies between their products and services and improving their chances of penetrating the market in this area.

58 The graphene fever

The new nanomaterials based on carbon molecules that have appeared in the last thirty years, such as fullerenes, carbon nanotubes and graphene, have been the subject matter of several Nobel prizes and are revolutionising a number of sectors, among them electronics, construction, energy and health. And the promises are even more exciting than what has been achieved to date.

INSIDE THE CSN

42 Secretariat General, fine-tuning of the CSN

The Secretariat General of the Nuclear Safety Council is responsible for assisting the members of the Plenary in their decision-making and participates in their meetings with the right to be heard but not to vote. Among many other functions, it also acts as secretariat to the CSN's Advisory Committee on Public Information and Participation.

40 RADIOGRAPHY

Radon (^{222}Rn).

INTERVIEW

34 Fernando Castelló, CSN counsellor

"In the process of licensing the CTS facility, rigour should prevail over schedules".

TECHNICAL ARTICLES

8 The new European directive on radiological protection

In December 2013, the European Union approved a new directive establishing basic standards for protection against the dangers of ionising radiations. The new standards, which are to be transposed to the national legislation before 2018, unify and repeal several previous directives.

24 A critical step for inertial fusion energy and other paths towards ignition

During the last few months of 2013 and the first of 2014, the US National Ignition Facility obtained promising energy gain results in fusion reactions based on laser-driven inertial confinement. These results are analysed here with a view to evaluating their real scope and the new facilities set up to perform research along these lines, such as the Laser MegaJoule in France.



Súmate a los 100.000

Desde su inauguración en 1998, los 100.000 visitantes del Centro de Información del Consejo de Seguridad Nuclear han tenido ocasión de aproximarse al conocimiento sobre las radiaciones ionizantes, sus usos, sus riesgos y los controles y la protección que son necesarios para garantizar su utilización fiable, en la cual el CSN –como organismo encargado de la seguridad nuclear y la protección radiológica– juega un papel muy importante.

En la vida diaria utilizamos las radiaciones con una enorme frecuencia, tanto en relación con la salud y la medicina –en diagnóstico y en terapia– como también en la industria y en la investigación. A través de un recorrido guiado por los 29 módulos, se pueden conocer con detalle estos aspectos relacionados con las radiaciones. Consigue más información en www.csn.es/index.php/es/centro-informacion o pide cita en centroinformacion@csn.es. Súmate a los 100.000.