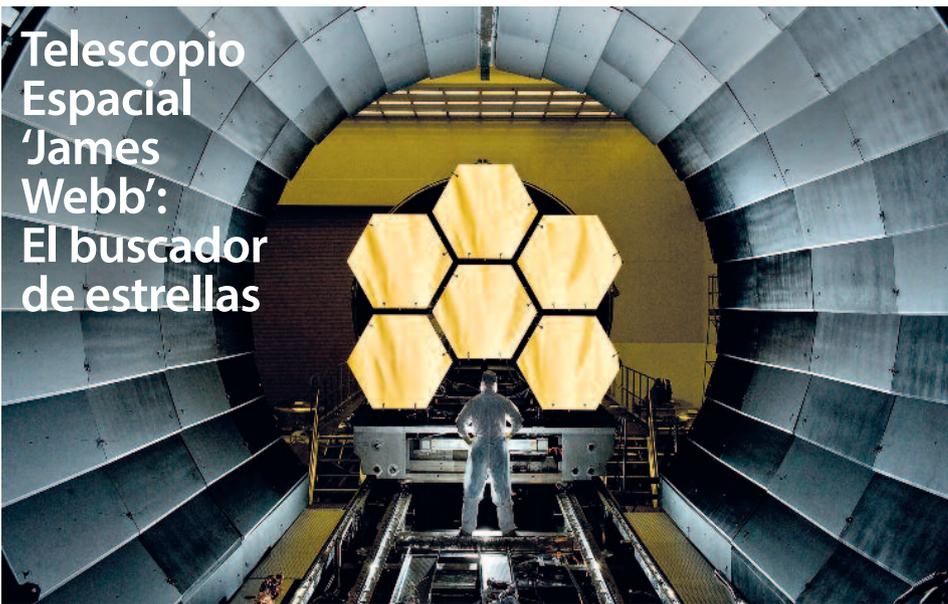




## Encomienda de Funciones Control y supervisión del CSN en las comunidades autónomas



Telescopio  
Espacial  
'James  
Webb':  
El buscador  
de estrellas

La radiación de Hawking  
y las fluctuaciones  
cuánticas del vacío

---

Ciberseguridad  
en el ámbito público

---

Grafeno: el material  
que revolucionará  
el siglo XXI

---



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

Toda la información sobre seguridad nuclear y protección radiológica, de la mano del organismo regulador, ahora también desde tu móvil.



[www.csn.es](http://www.csn.es)

# Inspectores de encomienda de funciones

Este número 37 de ALFA recoge en portada la sección ‘CSN por dentro’ que va dedicada a los inspectores con encomienda de funciones, que desde las distintas comunidades autónomas con las que el CSN tiene firmados estos acuerdos, contribuyen a la supervisión y control, sobre todo de las instalaciones radiológicas, siempre al servicio del organismo regulador.

Su trabajo es desde inspeccionar los aparatos que utilizan rayos X para el diagnóstico médico, los que permiten realizar algo tan común como una placa dental o una mamografía, hasta supervisar el control del transporte del material radiactivo que transcurre por las carreteras españolas, entre otras muchas competencias. Labores del día a día de estos inspectores de encomienda de funciones con los que hemos hablado para la realización del citado reportaje.

Como artículos técnicos, tratamos la *Ciberseguridad en el ámbito público*, para reflexionar desde la posición del CSN sobre el cambio trascendental de nuestra sociedad desde la cultura del papel a la cultura virtual, que conlleva una modificación en nuestra forma de entender las comunicaciones profesionales y, por supuesto, en sobre cómo podemos garantizar la seguridad de las comunicaciones electrónicas. Y otro artículo técnico que trata sobre la *Experiencia en el uso de*

*MAVRIC en la evaluación del cálculo de blindajes en sistemas e instalaciones nucleares y radioactivas*. Por su parte, la radiografía en este número aborda los *Recombinadores autocatalíticos pasivos para la eliminación de gases combustibles en accidentes severos*, que las centrales nucleares españolas, a excepción de Trillo que los instaló en 2002, han instalado reciente-

*Desde la inspección de los rayos X para el diagnóstico médico al control del transporte de materiales radiactivos por carretera... Todas estas labores forman parte del día a día de los inspectores de encomiendas de funciones*

mente en sus contenciones.

La colombiana Adriana Ocampo, que ocupa el cargo de directora del programa Nuevas Fronteras de la NASA, es la protagonista de la entrevista en esta ocasión. Ocampo asegura que “para explorar muchas regiones del sistema solar se requiere tecnología nuclear” y añade que “el estudio de Venus y sus similitudes con la Tierra nos permitió descubrir el efecto invernadero y el calentamiento global”.

En cuanto a los artículos de divulgación, destaca *En el universo profundo de los agujeros negros* sobre la radiación de Hawking y las fluctuaciones cuánticas del vacío y todos los interrogantes que plantea la existencia de este tipo de radiación, cómo por ejemplo, “si al final un agujero negro desaparece, ¿a dónde va todo lo que se ha tragado”.

También se incluye un reportaje sobre el nuevo telescopio espacial, el James Webb, que se prepara para sustituir al Hubble, y que captará la luz de las primeras galaxias y estrellas del Universo.

Asimismo, se analiza el grafeno, material sobre el que se prevé que revolucionará el siglo XXI, convirtiendo en rápidas, baratas y eficientes las tecnologías más vanguardistas.

Nuestra habitual sección Ciencia con nombre propio está dedicada al físico español Blas Cabrera, director del Laboratorio de Investigaciones Físicas entre 1910 y 1937 y rector de la Universidad Central de Madrid (1931). Cabrera, que acompañó a Einstein en su visita a España en 1923, también participó en la creación de la Universidad Internacional Menéndez Pelayo de Santander, de la que fue rector y su carrera como investigador discurre paralela a su impulso incansable en la modernización radical que España necesitaba para sacudirse su atraso científico.

## ALFA

Revista de seguridad nuclear  
y protección radiológica  
Editada por el CSN  
Número 37 / Año 2018

### Comité Editorial

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

### Comité de Redacción

Ángel Laso D'Lom  
Natalia Muñoz Martínez

Manuel Aparicio Peña  
Ana Gozalo Hernando  
Felipe Teruel Moya

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

### Coordinación editorial

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

### Fotografías

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

### Impresión

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

### Fotografías de portada Agencias

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

© Consejo de Seguridad Nuclear

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

## REPORTAJES

### 06 La radiación de Hawking: el universo de los agujeros negros

En 1974 el físico Stephen Hawking predecía que los agujeros negros emitían energía de forma continua: es la llamada radiación de Hawking. Pero, lo que no podía imaginarse el físico inglés es que, décadas más tarde, la existencia de esa radiación iba a poner en jaque a toda la física, al tener que responder cómo funcionan realmente los agujeros negros.



### 28 Grafeno: el material que revoluciona el siglo XXI

El grafeno era, hasta hace poco, una quimera, un modelo teórico usado por los físicos que nunca se había sintetizado. Pero, hoy se ha convertido en el santo grial de los llamados nuevos materiales. Su futuro es tan prometedor que muchos investigadores opinan que revolucionará las tecnologías y sectores más insospechados. Sus maravillas y promesas provienen de su composición. Con el grosor de un átomo, se trata del material más delgado del que se dispone.



### 44 Blas Cabrera: El embajador de la ciencia

Blas Cabrera y Felipe (1878-1945) es una de las figuras científicas españolas más eminentes y uno de los físicos más prestigiosos en todo el mundo gracias, sobre todo, a su investigación en física teórica y experimental. Fue catedrático de electricidad y magnetismo en la Universidad de Madrid y director del Laboratorio de Investigaciones Físicas perteneciente al Instituto de Ciencias Físico-Naturales. Reconocido como uno de los mayores expertos en electromagnetismo, sus experimentos fueron fundamentales para el desarrollo de la mecánica cuántica y, gracias a su trabajo, hoy existe un aparato con el que podemos hacernos resonancias magnéticas.



### 52 El 'James Webb' prepara su viaje para suceder al 'Hubble'

El observatorio James Webb, tras varios retrasos y un sobrecoste descomunal, entra en la recta final de pruebas para ser lanzado en marzo de 2021. El objetivo prioritario de la nueva máquina científica que prepara la Agencia Espacial de los Estados Unidos (NASA) es captar la luz de las primeras galaxias y estrellas que se formaron en el Universo y recoger el testigo del ya veterano telescopio espacial 'Hubble'.

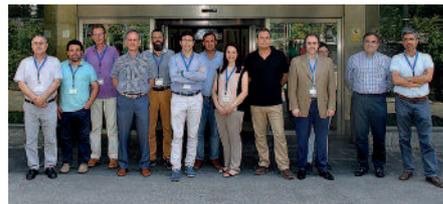
### 50 RADIOGRAFÍA

Recombinadores autocatalíticos pasivos para la eliminación de gases combustibles en accidentes severos.

## EL CSN POR DENTRO

### 20 Encomienda de Funciones, control y supervisión del CSN en las comunidades autónomas

Inspeccionar los aparatos que utilizan rayos X para el diagnóstico médico, aquellos que permiten realizar algo tan común como una placa dental o una mamografía, o supervisar el control del transporte del material radiactivo que transcurre por carreteras españolas son, entre otras muchas competencias, las labores del día a día de los inspectores de encomienda de funciones.



## ENTREVISTA

### 14 Adriana Ocampo, directora del programa Nuevas Fronteras de la NASA

“Un asteroide como el que causó la extinción masiva podría producirse de nuevo”

## ARTÍCULOS TÉCNICOS

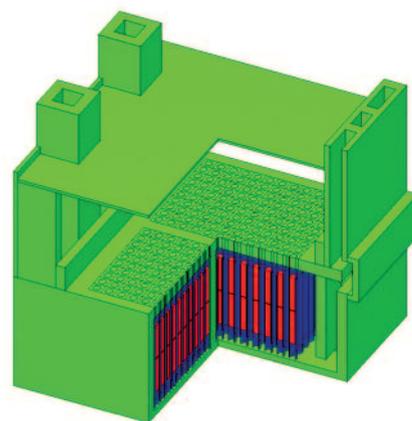
### 34 Ciberseguridad en el ámbito público

El trascendental cambio que estamos viviendo en nuestra sociedad, que camina desde la ‘cultura de papel’ a la ‘cultura virtual’ exige un cambio en nuestra cultura laboral, en nuestra forma de entender las comunicaciones profesionales y en nuestra forma de garantizar la seguridad de las comunicaciones electrónicas. Casi podríamos dar por acabados los viejos sistemas de comunicación corporativa. La sede electrónica, los servicios web, las notificaciones electrónicas, el e-mail o el mensaje electrónico y las redes sociales corporativas están sustituyendo las formas habituales de comunicación entre profesionales, entre ciudadanos y viceversa.

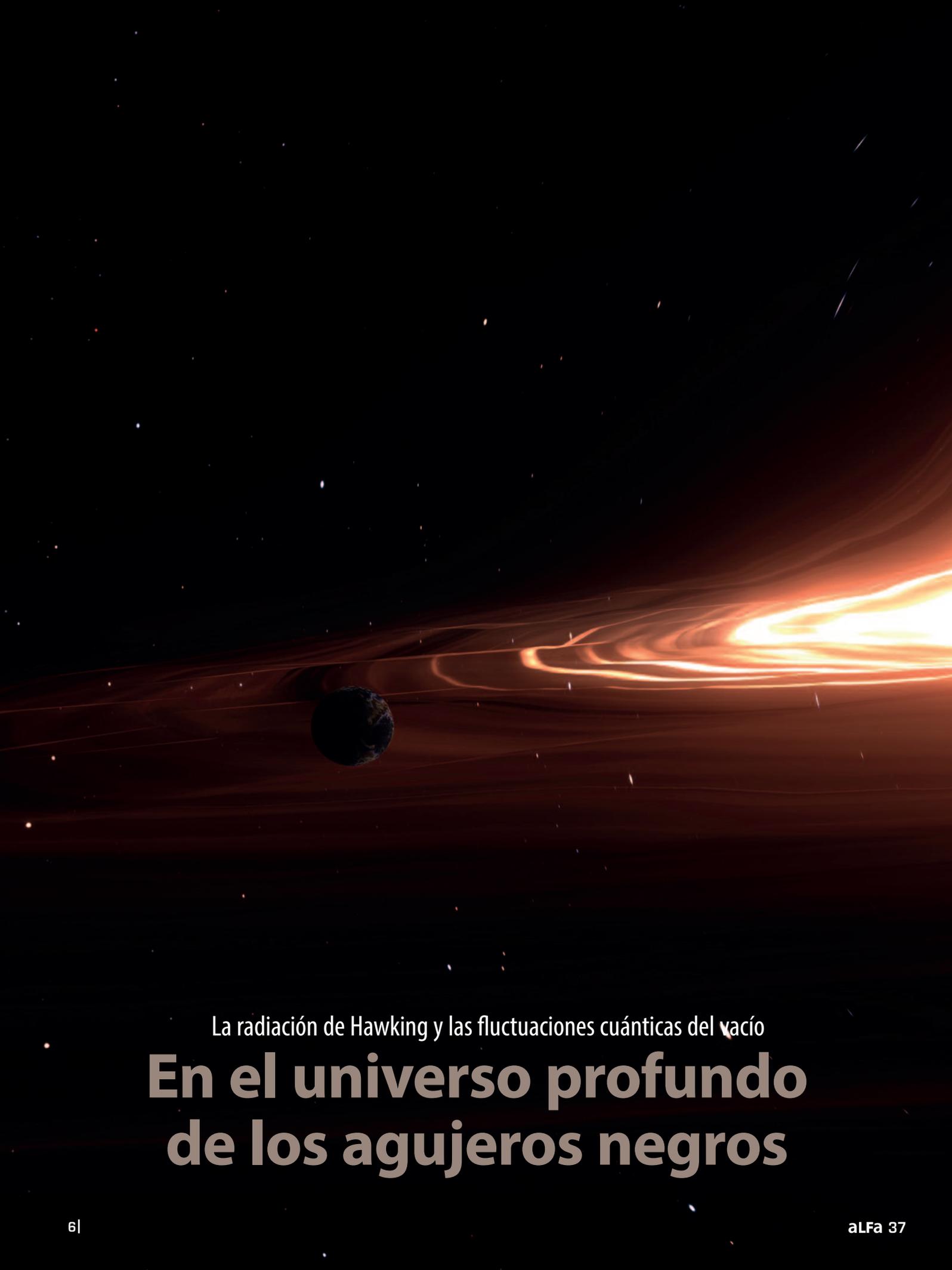


### 39 Experiencia en el uso de MAVRIC en la evaluación del cálculo de blindajes en sistemas e instalaciones nucleares y radiactivas

La instrucción de seguridad IS-26 emitida por el CSN establece que el titular de una instalación nuclear debe analizarla desde el punto de vista de la seguridad nuclear y la protección radiactiva, para prevenir los accidentes y mitigar sus consecuencias. Uno de los temas que debe incluir el Estudio de Seguridad es la evaluación del blindaje. El CSN ha optado por el uso del código MAVRIC como herramienta principal para la realización de las evaluaciones de los temas relacionados con la protección radiológica operacional contenidos en los Estudios de Seguridad.



60	Reacción en cadena
64	Panorama
68	Acuerdos de Pleno
69	csn.es
70	Publicaciones



La radiación de Hawking y las fluctuaciones cuánticas del vacío

# En el universo profundo de los agujeros negros



En 1974 el físico Stephen Hawking predecía que los agujeros negros emitían energía de forma continua: es la llamada radiación de Hawking. Pero, lo que no podía imaginarse el físico inglés es que, décadas más

tarde, la existencia de esa radiación iba a poner en jaque a toda la física, al tener que responder cómo funcionan realmente los agujeros negros.

■ Texto Miguel Ángel Sabadell | Periodista | ■

**E**n enero de 2014, Stephen Hawking publicaba un artículo titulado *Preservación de la información y predicción del tiempo meteorológico para agujeros negros*. Allí aparecía una frase que iba a provocar una pequeña tormenta: "No hay agujeros negros". Fue la última contribución significativa a la ciencia de un hombre que dedicó su vida a lidiar con la existencia de unas peculiares zonas donde la misma física pierde los papeles, las singularidades espaciotemporales.

Cuando la noticia saltó a los medios de comunicación, el alboroto fue importante, pues uno de los padres de la teoría moderna de los agujeros negros parecía negar la existencia de esta peculiar criatura celeste. Sin embargo, no era eso lo que decía el artículo, sino algo más: "No hay agujeros negros en el sentido de regímenes de los cuales la luz no puede escapar hasta el infinito. Hay, sin embargo, horizontes aparentes que persisten a lo largo de un periodo de tiempo".

Este trabajo de cuatro páginas incidía en lo que realmente define la propia esencia de un agujero negro: ¿de verdad que todo lo que entra, no puede salir?

Para entender todos los aspectos sutiles de esta pregunta, primero debemos hacer un viaje en el tiempo, a las trincheras del frente ruso en 1915, durante la Primera Guerra Mundial. Allí se encontraba el director del observatorio astronómico de Postdam (Alemania), que con 40 años abandonó la tranquilidad de su cargo para alistarse como voluntario tras el estallido de la gran guerra. Su nombre era Karl Schwarzschild. En aquellas condiciones poco propicias para desarrollar un trabajo científico, Schwarzschild estudió los artículos de Albert Einstein que, en noviembre de 1915, había presentado en la Academia de Ciencias Prusiana. En ellos aparecían las ecuaciones de su gran obra, la teoría general de la relatividad, que describe la gravedad. Pues bien, un mes más tarde de ser publicadas,

Schwarzschild, en el frente ruso, fue el primero en encontrar una solución a las ecuaciones. En particular, halló una solución analítica al problema de una masa puntual situada en el espacio vacío.

Desgraciadamente, no pudo defender su trabajo en la Academia. Durante su estancia en el frente oriental contrajo una enfermedad de la piel, el pénfigo. Repatriado urgentemente, murió el 11 de mayo de 1916 en un hospital de Postdam. Pero su trabajo no se perdió, pues fue el propio Einstein quien se encargó de leerlo en la Academia cuando Schwarzschild yacía en el lecho de muerte.

En él no solo daba una descripción correcta del campo gravitatorio del Sistema Solar, sino que introducía la existencia de

*La existencia de la radiación de Hawking plantea muchos interrogantes, pero el más importante es que, si al final un agujero negro desaparece, ¿a dónde va todo lo que se ha tragado?*

los agujeros negros. Schwarzschild demostró que si una masa está lo suficientemente concentrada, la curvatura del espacio en regiones próximas alcanzará tal magnitud que la dejará separada, aislada, del resto del universo. Estamos ante un embudo cósmico: cualquier cosa que se precipite en su interior, se perderá irremisiblemente y quedará atrapada allí, sin conexión posible con el resto del universo.

A la distancia del centro del agujero negro (la singularidad) que marca ese límite de no retorno se la conoce con el nombre de radio de Schwarzschild u horizonte de sucesos. Nada de lo que pudie-

ra acontecer en su interior será visto, oído o conocido por ningún observador externo. Que esto sea así conlleva una pregunta que trae de cabeza a los físicos teóricos especializados en la relatividad general desde hace 50 años: ¿si dejamos caer información dentro de un agujero negro, se pierde irremisiblemente?

El dilema es de calado. Para evitar los viajes en el tiempo y sus consiguientes paradojas (como matar a tu madre antes de que conozca a tu padre) y para preservar la integridad de la teoría general de la relatividad, la velocidad a la que se transmite la información no puede superar la barrera de la velocidad de la luz. Y aquí tenemos el dilema: el horizonte de sucesos se define como el lugar geométrico del espacio que rodea a un agujero negro a partir del cual la velocidad de escape gravitatoria empieza a ser mayor que la de la luz. Esto quiere decir que toda la información que la atraviese queda perdida para siempre. ¿Qué pasaría si lanzáramos entropía a un agujero negro? Recordemos que la entropía es una magnitud física relacionada con el desorden, y según la segunda ley de la termodinámica, la entropía de un sistema aislado (por ejemplo, nuestro universo) solo puede crecer. Aquí surge el problema: podríamos deshacernos de la entropía del universo enviándola al interior de un agujero negro. De lo que suceda dentro... ¡quién sabe!

En 1971, un estudiante de postgrado de padres judíos nacido en México, Jacob Bekenstein, hizo una propuesta radical: la superficie de un agujero negro, su horizonte de sucesos, era una medida de su entropía y, de este modo, se podía aplicar todo lo que se sabía sobre termodinámica a los agujeros negros. Pero había un problema con el impecable razonamiento de Bekenstein: si un agujero negro tiene entropía, debe tener temperatura; y si tiene temperatura, por muy pequeña que esta pueda ser, entonces debe radiar energía. Ahora bien, si un agujero negro se traga



El vacío cuántico está formado por partículas virtuales. Cerca del horizonte, éstas pueden absorber energía del campo gravitatorio presente y convertirse en partículas reales, creándose pares partícula-antipartícula. Tales pares se aniquilan entre sí, pero puede ocurrir que una de las partículas se forme en el interior del horizonte y la otra pueda escapar del agujero negro. Este proceso produce la emisión neta de radiación por parte del agujero negro y la disminución de masa de éste.

todo lo que encuentra y nada sale, ¿cómo es posible que pueda emitir radiación?

En 1972, en la escuela de verano de Les Houches (Alpes franceses), Stephen W. Hawking junto con dos expertos en agujeros negros, James Bardeen y Brandon Carter, derivaron cuatro leyes de la mecánica de un agujero negro que se parecían mucho a las de la termodinámica. Pero este trío no quiso dar su brazo a torcer y siguió hablando de analogía con la termodinámica: "son similares, pero distintas a las leyes de la termodinámica", afirmaron en su artículo de 1973. Ese año, el teórico ruso Yakov Zeldovich y su estudiante Alexei Starobinsky demostraron que, uniendo la mecánica cuántica con las ecuaciones de un agujero negro en rotación, éste debería

emitir algún tipo de radiación. Hawking, en una visita que hizo a Zeldovich en Moscú en septiembre, no quedó muy convencido, aunque sí intrigado y empezó a estudiar el tema. Y en 1974 sus cálculos le revelaron que Bekenstein tenía razón: los agujeros negros radiaban y las leyes que había formulado con Bardeen y Brandon eran, realmente, las leyes de la termodinámica de un agujero negro: "estaba realmente triste, porque destruía todo mi marco teórico, e hice lo que pude para deshacerme de este resultado", confesaría años más tarde el autor británico.

### Agujeros negros y radiación

El problema estaba en la misma concepción del agujero negro. La teoría general

de la relatividad es una teoría clásica, que no tiene en cuenta efectos cuánticos. Y, sin embargo, el protagonista absoluto de un agujero negro es la singularidad central, un punto matemático, sin dimensiones, donde se encuentra concentrada toda la masa de la estrella aplastada por su propia gravedad. Considerar tamaños tan pequeños implica que se deben tener en cuenta posibles efectos mecanocuánticos, y eso fue lo que hicieron Bekenstein y Hawking.

El primer resultado que obtuvieron fue que los agujeros negros no tenían entropía cero. De hecho poseen mucha, más que la de las estrellas de donde provienen. Tiene 1020 más entropía que un gas ideal de su misma masa y que ocupase un volumen del orden del universo visible. El segundo

# Stephen Hawking y los agujeros negros



resultado es que los agujeros negros no están en el cero absoluto de temperatura. Cualquier cuerpo con masa –energía– y entropía debe encontrarse a una temperatura distinta de cero y los agujeros negros también la tienen, aunque sea extremadamente pequeña: del orden de diez milonésimas de grado por encima del cero absoluto para los agujeros más pequeños que se pueden formar por evolución estelar (de tres masas solares), y aún menor cuanto mayor masa tenga el agujero. El tercero es consecuencia del anterior. Si no está a temperatura cero, deberá emitir energía. Pero, ¿no habíamos quedado en que nada puede escapar de su interior? Sí, respondió Hawking. Esa energía proviene justo de su superficie y no de dentro. Los agujeros negros no son negros, son grises.

La energía emitida, llamada radiación de Hawking, lo es a costa de la contenida en su interior, luego un agujero negro pierde energía de manera continua. En un alarde especulativo podríamos calcular el tiempo que debe pasar para que un agujero negro desaparezca completa-

mente tras lanzar toda su masa al espacio en forma de energía: a este proceso se le llama evaporación de Hawking. Con una masa pequeña, unas 3 masas solares, desaparecerá después de transcurrida la friolera de 1066 años. Sabiendo que el universo lleva existiendo desde hace 1010 años, decir que la vida de un agujero negro es 1056 veces más larga que la actual del universo es lo más parecido a la inmortalidad. ¿Y qué potencia radia? Unos 10-24 vatios: para emitir tanta luz como una bombilla corriente necesitaríamos cien billones de agujeros negros.

## Relatividad ‘vs’ mecánica cuántica

La existencia de la llamada radiación de Hawking plantea muchos interrogantes, pero el más importante es que si al final un agujero negro desaparece, ¿a dónde va toda la información que se ha tragado? Esta pregunta no es baladí, sino que pone de manifiesto el profundo desencuentro que hay entre las dos grandes teorías de la física del siglo XX, la relatividad general y la mecánica cuántica.

Démonos cuenta de lo que significa aplicar estas dos teorías a los agujeros negros. La relatividad general dice que si un libro cruza el horizonte de sucesos queda atrapado en el agujero negro para siempre, desapareciendo del resto del universo. La teoría cuántica dice que aunque el libro sea disgregado en las partículas atómicas más pequeñas, y mientras esos trozos existan, será posible reconstruir el libro. Pero, la aparición de la evaporación de Hawking hizo que todo eso cambiara, pues, al desaparecer el agujero, cualquier información que se hubiese tragado simplemente desaparecería. Esto es conocido como la paradoja de la información.

Hawking pensaba que quien ganaría la partida sería la relatividad general, y la información desaparecería para siempre. Otros, como John Preskill, un físico del Caltech (California), defendían que lo que primaria era la mecánica cuántica, que asegura que debería ser posible recuperar toda la información de los objetos que han caído al agujero negro midiendo el estado cuántico de la radiación que sale

de él. Ahora bien, la única que sale es la proveniente de la evaporación y ésta no lleva información alguna: lanza un kilo de granito y un kilo de microchips y el resultado final es el mismo. La situación era tan tensa que, en 1997, Preskill apostó con Hawking una enciclopedia de béisbol a que él tenía razón.

Ese mismo año el físico argentino experto en teoría de cuerdas Juan Maldacena formuló una conjetura que dio forma al llamado principio holográfico de la teoría de cuerdas, formulado en 1993 por Gerard 't Hooft y Leonard Susskind: toda la información contenida en un volumen del espacio se puede representar con una teoría que vive en la superficie de ese volumen. Dicho de otro modo, podemos saber lo que sucede en el interior de una habitación creando una teoría que solo tenga en cuenta lo que ocurre en las paredes. Esto significa que incluso la evaporación tridimensional de un agujero negro se puede describir en un mundo bidimensional donde, y esto es lo importante, no hay gravedad y las leyes cuánticas gobiernan solas. La consecuencia es evidente: no hay pérdida de información. De algún modo, la información debe poder salir de un agujero negro. En 2004 Hawking reconoció públicamente su error y le envió la enciclopedia de béisbol a Preskill. Ahora solo había que saber cómo demonios podía salir la información de un agujero negro.

En 2012 entró en juego Joseph Polchinski, del Instituto Kavli de Física Teórica con base en California, dos de sus estudiantes y Don Marolf, un físico teórico de la Universidad de California. Empezaron por imaginar lo que sucedía cuando lanzamos un astronauta al interior de un agujero negro. Desde el punto de vista clásico, lo que sucede es muy poco agradable. Mientras se aproxima, siente cómo el agujero negro tira más fuerte de sus pies que de su cabeza, porque la gravedad es más intensa cuanto más cerca nos encontramos del centro del objeto masivo.

## Pero, ¿qué es la radiación de Hawking?

El físico inglés postuló la existencia de la radiación de Hawking por vez primera en 1974. Si la Tierra pudiera ser comprimida en una esfera de 10 milímetros de radio, se convertiría en un agujero negro, un objeto de densidad infinita que provocaría un campo gravitatorio tan poderoso que ni siquiera la luz, podría escapar de él.

Durante décadas se creyó que estos oscuros vórtices (torbellinos o remolinos) hacían desaparecer para siempre lo que caía en su interior, pero, en 1974, el físico Stephen Hawking descubrió que estos sumideros cósmicos no eran en realidad tan negros ya que, si se tienen en cuenta los efectos de la física cuántica, emiten una radiación por la cual comienzan a evaporarse hasta desaparecer en una gran explosión final con todo lo que se han tragado.

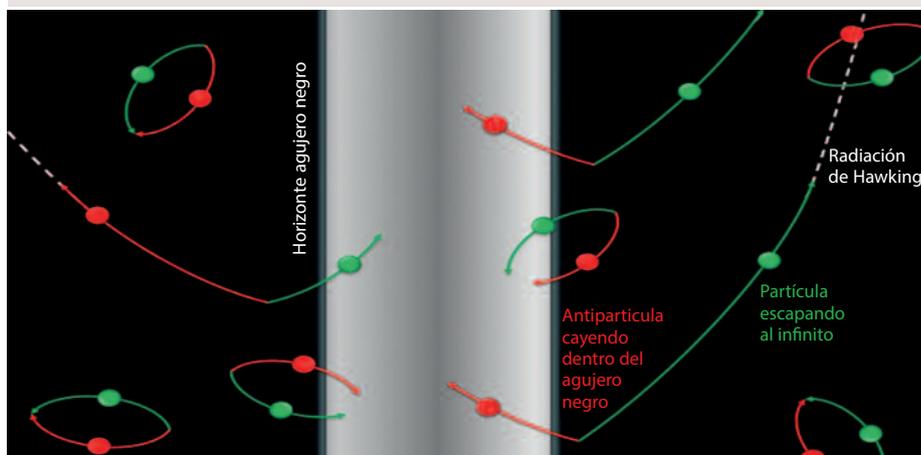
Esta teoría planteó otro conflicto, denominado 'paradoja de la información', consistente en que nada puede desaparecer sin más. Pero según Hawking, la radiación que ha emitido el vórtice en realidad contiene la información de lo que un día se tragó, igual que el humo en-

cierra el contenido de un papel que se ha quemado.

### Microagujeros negros

En 1974 Stephen Hawking postuló que podrían existir agujeros negros del tamaño de una cabeza de alfiler y con la masa de una montaña. Evidentemente su existencia no se debe al colapso estelar, y en los años siguientes los teóricos se esforzaron por encontrar algún mecanismo que los generara. El Big Bang les dio ese mecanismo: podrían haberse formado menos de un segundo después del chupinazo cósmico, de ahí que también se les llame agujeros negros primordiales.

El ingrediente esencial es una fluctuación en la densidad del Universo que induzca un colapso gravitacional. Pero, el reto es, evidentemente, descubrir cómo detectarlos... si existen, claro. Aquí es donde entra la evaporación Hawking: los microagujeros deberían estar desapareciendo ahora mismo. Descubrir extrañas explosiones gamma en el universo puede ser un buen indicativo de su existencia.



# Por qué Hawking no ganó el Premio Nobel



Las mejores teorías de Hawking nunca se han sometido a pruebas experimentales.

Albert Einstein fue nominado para el premio Nobel 62 veces en 12 años. Y no ha sido el que más nominaciones recibió. Arnold Sommerfeld, uno de los padres de la teoría cuántica, fue nominado 81 veces y nunca consiguió la preciada medalla.

Y es que estos prestigios premios también son famosos por sus retrasos a la hora de conceder el preciado galardón. Bárbara McClintock descubrió la existencia de los transposones, unos genes que saltan de un lado a otro del genoma, en 1948. No la recompensaron hasta 35 años más tarde. En 1986, Ernest Ruska fue galardonado por diseñar el primer microscopio electrónico real-

mente eficaz 53 años después de construirlo. Tuvo suerte y murió dos años más tarde de acudir a Estocolmo, pues los Nobel no se otorgan póstumamente. En 1983 le concedieron el Nobel de Física al hindú Subrahmanyan Chandrasekhar por un trabajo que había realizado cuando viajaba de la India a Gran Bretaña, en julio de 1930.

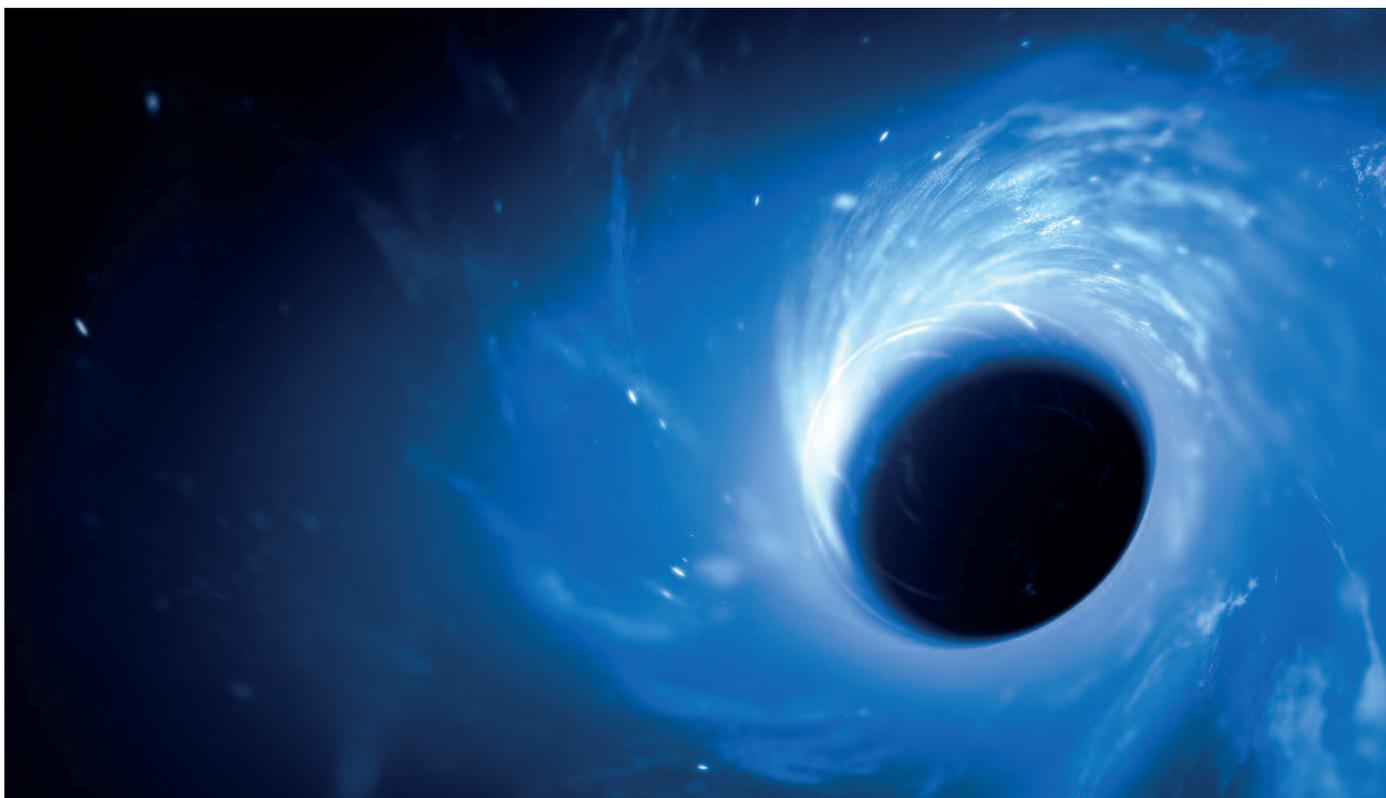
Que no se le haya concedido el premio a Hawking se explica conociendo la historia de los Nobel. A lo que hay que añadir que un serio hándicap: sus trabajos no han pasado nunca del ámbito teórico y no se han comprobado experimentalmente, y eso no es algo que guste al Comité Nobel. ▸

También va a notar como si le comprimes lateralmente con una camisa de fuerza, pues todos los puntos de su cuerpo se dirigen al centro del agujero, la singularidad. Esta combinación de estiramiento y compresión se incrementa de tal forma que tritura a nuestro desgraciado amigo convirtiéndolo, literalmente, en un largo fideo mientras sigue su camino sin retorno a la singularidad central.

Pues bien, según Polchinski y Marolf esta visión es errónea porque no tiene en cuenta los procesos cuánticos que se producen en el horizonte de sucesos y, en particular, la evaporación Hawking. Lo que realmente le pasará a nuestro astronauta es que cuando llegue al horizonte de sucesos... ¡estallará en llamas! El pobre habrá chocado contra una especie de cortafuegos cósmico que impide que nada penetre en el agujero negro y churrusca todo lo que toca. Esta solución tiene un pero... y muy grande. El gran problema es que exige que en el horizonte de sucesos hay que deshacerse de un aspecto fundamental de la relatividad general, el principio de equivalencia.

## Gravedad y aceleración

Dicho de otro modo, aceptar la idea del cortafuegos, y así preservar la integridad de la información, implica que hay que sacrificar lo que Einstein calificó como "el pensamiento más feliz de mi vida": que si una persona cae libremente en un campo gravitatorio no siente su propio peso, o lo que es lo mismo, si estamos encerrados en un armario no hay forma de distinguir si nos encontramos en la superficie de un planeta o nos llevan por el espacio a aceleración constante. En esencia, lo que Einstein afirmó es que la gravedad y la aceleración son intercambiables. Polchinski y Marolf dijeron que esto no se cumple en el horizonte de sucesos. Conscientes de lo que significaba, en su artículo también presentaron otra solución al problema: el cortafuegos no aparece, pero entonces lo que deja de funcionar es la mecánica cuántica.



Para Hawking, el horizonte aparente es el límite exterior del agujero negro, donde queda atrapada la materia, energía e información, sin llegar a la singularidad central.

El revuelo que formaron fue de órden. Cualquiera de las dos soluciones resultaban inaceptables pues implicaba que una de las dos teorías más importantes de la física del siglo XX no funciona en los agujeros negros: si salvas una, tienes que enterrar la otra.

Uno de los que se negó a mutilar la física de este modo fue Stephen Hawking, y es aquí donde engarza su artículo mencionado al principio de este artículo. Para Hawking no es necesario destrozarse la relatividad general ni la teoría cuántica, sino que es posible salvarlas redefiniendo lo que entendemos por agujero negro. Lo que propuso Hawking es que, en realidad, lo que define al agujero negro es lo que llamó el 'horizonte aparente', que podemos imaginar como una superficie donde los rayos de luz que intenta escapar del agujero se quedan atrapados, como suspendidos en el espacio-tiempo. Para Hawking no hay duda que este horizonte aparente es el verdadero límite exterior del agujero negro, y es ahí donde queda atrapada toda

la materia, energía, información que cae sin llegar a la singularidad central y desaparecer para siempre. Por eso afirmó que no existen los agujeros negros... tal y como se cree que son: "la ausencia de un horizonte de sucesos significa que no existen los agujeros negros".

Incluso Hawking dice que este horizonte aparente puede llegar a desaparecer (aunque no llegó a explicar cómo) lo que, en principio, permite que del agujero ne-

gro salga cualquier cosa. Más aún, también predice que la singularidad central puede que ni siquiera exista y lo único que haya tras el horizonte aparente sea la materia y energía tragada por el agujero dando vueltas por el interior sin acabar sus días en el centro del mismo. De este modo, la información no se destruiría y se liberaría mediante el proceso de evaporación, pero de una forma que sería imposible reconstruirla. Como explicó un antiguo colaborador suyo, Don Page, de la Universidad de Alberta en Canadá, "sería más difícil que intentar reconstruir un libro que has convertido en cenizas".

La propuesta de Hawking suena muy radical a oídos de sus colegas, aunque para algunos lo es menos que querer reformular los cimientos de la física teórica. ¿Habrás que hacerlo? ¿Serán los agujeros negros los aniquiladores de una de las dos teorías más importantes de la física, como postulan los defensores del cortafuegos? ¿O no hará falta porque existe el horizonte aparente de Hawking? El tiempo lo dirá. 🌐

*En su última teoría, Hawking propone un 'horizonte aparente', que define a los agujeros negros y que es dónde queda atrapada la luz que intenta escapar de su interior*

Adriana Ocampo nació en Barranquilla, Colombia, en 1955, desde muy pequeña sintió la llamada del Espacio. Cuando era niña, EE.UU. y la Unión Soviética se habían lanzado a una carrera espacial

que inspiró a muchas personas como ella. Cuenta que, cuando sus padres se mudaron a California cuando ella tenía 14 años, lo primero que preguntó fue dónde estaba la NASA.

Adriana Ocampo, directora del programa Nuevas Fronteras de la NASA

# “Un asteroide como el que causó la extinción masiva puede producirse nuevamente”

■ Daniel Mediavilla / Periodista **Fotografía** / Agencias ■

Ahora, como directora del programa Nuevas Fronteras de la NASA, ha trabajado en el desarrollo de misiones como *Juno*, que está desvelando facetas desconocidas de Júpiter, y *New Horizons*, la primera sonda en visitar Plutón. El año que viene también estará al tanto de lo que suceda con OSIRIS-REx, una nave espacial que visitará el asteroide Bennu, un objeto del que tomará una muestra que devolverá a la Tierra para su análisis. Ocampo volverá así a trabajar en uno de los intereses científicos de sus primeros años, cuando realizaba su tesis doctoral en torno al cráter creado por el asteroide que impactó en la península mexicana de Yucatán y acabó con los dinosaurios.

En enero de 2019, nuestra civilización conocerá un nuevo mundo. La sonda *New Horizons*, que sobrevoló Plutón en 2015 cambiando para siempre la imagen que tenemos del planeta enano, ha seguido su camino alejándose de la Tierra e internándose en una región conocida como el cinturón de Kuiper. Esa región del Sistema Solar está repleta de objetos desconocidos, desde asteroides a gigan-

tescas masas de roca y hielo que, en algún momento, podrían haberse llamado planetas. Allí se encuentra Ultima Thule, un mundo binario que veremos de cerca por primera vez en unos meses.

**PREGUNTA.** Usted comenzó su trabajo como investigadora con una tesis sobre el asteroide que acabó con los dinosaurios. Ahora hay un catálogo bastante preciso de los asteroides de gran tamaño que se cruzan con la órbita de nuestro planeta, pero ¿es posible que haya alguno que no tengamos controlado y nos dé una sorpresa?

**RESPUESTA.** Sobre el evento de Yucatán, que ocurrió hace unos 66 millones

de años, al comienzo no sabíamos si lo había provocado un asteroide o un cometa. Ahora, las evidencias indican que fue un asteroide de unos diez kilómetros de diámetro. Está en la familia de asteroides que causarían una extinción masiva global. De hecho, este impacto de Yucatán provocó la extinción de más del 50 por ciento de las especies que existían en aquel momento. Para limitar las posibilidades de que algo así nos pille por sorpresa, desde la NASA y junto con otras organizaciones internacionales, estamos elaborando mapas y tenemos una base de datos acumulados durante varias décadas. Se ha hecho un recuento bastante completo de todos los objetos mayores de un kilómetro de diámetro, pero siempre hay sorpresas. Hace unas semanas pasó un objeto que estaba fuera de nuestro Sistema Solar, completamente desconocido, que hemos llamado Oumuamua. Sabemos que es un objeto que tenía una órbita de miles de años de duración y pasó sin que supiésemos que iba a pasar. Las sorpresas están todavía ahí. No tenemos una información infalible. También sabemos que los objetos de menos de un kilóme-

*El estudio de Venus y sus similitudes con la Tierra nos permitió descubrir el efecto invernadero y el calentamiento global*

tro pueden causar catástrofes masivas o regionales, dependiendo de dónde caigan. Así que sí, algo parecido a lo de Yucatán puede ocurrir nuevamente. Cuando preguntas a gente especializada en este área te dicen que la pregunta no es si ocurrirá, sino cuándo. Por eso, la NASA puso en marcha la Oficina de Defensa Planetaria. El objetivo de esta oficina es coordinar la vigilancia de este tipo de objetos a nivel global con otras agencias espaciales y otras instituciones especializadas en objetos pequeños como asteroides y cometas.

**P.** ¿Hay misiones específicas para tratar de evitar el impacto contra la Tierra de este tipo de objetos?

**R.** La NASA ha lanzado la misión OSIRIS-REx, que es un acrónimo, y la S es de seguridad. Va a llegar a Bennu, que es un objeto muy interesante que venimos vigilando desde hace años. Tiene la posibilidad de cruzar la órbita de la Tierra casi una vez cada seis años, pero también sabemos que su órbita está evolucionando. Vigilamos Bennu desde que se descubrió y ahora se mandó esta misión que llegará a finales de este año. La fase de encuentro empieza en agosto, nos acercaremos lo suficiente para tener una fotografía pequeña. El encuentro cercano será a finales de este año y entonces OSIRIS-REx volará en formación con Bennu y lo fotografiará en detalle

durante dos años. En ese periodo, el equipo científico decidirá dónde ir y capturar una muestra del asteroide para devolverla a la Tierra, donde llegará en 2023. El sistema que OSIRIS-REx lleva a bordo es, básicamente, una aspiradora, que aspirará la superficie de Bennu donde se considere más interesante, quizá por la diversidad de composición del suelo. Después, se traerán las muestras a la Tierra, donde un equipo científico va a investigar durante años. Además, se tiene previsto abrir una competición para que esas muestras sean estudiadas por la comunidad científica mundial. Queremos tener esa muestra de Bennu en la Tierra porque nos hablará de su compo-



La científica visitó Madrid para participar en el ciclo 'Hablemos de Física', en el que ha impartido la conferencia 'La misión espacial New Horizons: descubriendo nuevos mundos', en la facultad de Ciencias Físicas de la UCM.

sición química, de la densidad de su suelo, de sus propiedades mecánicas... Eso, llegado el momento en que Bennu tuviese una trayectoria de impacto con nuestro planeta, nos daría información para poder mitigar el desastre.

**P.** Cómo se utilizaría el conocimiento que se tiene sobre ese asteroide para impedir que impacte contra la Tierra.

**R.** Parte del equipo de la Oficina de Defensa Planetaria se dedica a eso, a defender el planeta. Y si Bennu o algún otro asteroide tomase una órbita peligrosa, porque un asteroide de más de un kilómetro de diámetro se clasifica según su trayectoria, hay formas de mitigar el riesgo. Bennu tiene quinientos metros de largo, pero incluso con ese tamaño puede provocar una catástrofe con una colisión directa con el planeta. No se intentaría destruirlo, porque no es efectivo; al contrario, haríamos el problema más grande, porque no podemos predecir qué harían los miles de fragmentos en que se dividiría el asteroide. Se trata de desviar la órbita. Para hacerlo, es importante la información que nos traiga Osiris. Se podría anclar un motor o varios motores iónicos en lugares estratégicos del asteroide que desvíen su trayectoria. Esta es una de las tácticas que venimos estudiando y que pueden ser las más efectivas. Así mitigas el desastre y no creas un problema más grande.

### Venus 'versus' Marte

**P.** Venus es, junto a Marte, el planeta del Sistema Solar más parecido a la Tierra, pero ha recibido mucho menos interés y muchas menos misiones que Marte. ¿Por qué?

**R.** Venus es un planeta extraordinario. Tenemos mucho que aprender de él. Durante la evolución de nuestro sistema solar, la Tierra y Venus estaban evolucionando al mismo tiempo, y Marte también. Pero Marte tiene la mitad de

diámetro de la Tierra. Venus tiene exactamente el mismo diámetro, es como un planeta mellizo de la Tierra. Tiene la misma composición. Al comienzo de la formación planetaria y cuando los planetas empezaron a tener atmósfera, Venus y Marte parecían tener atmósferas similares y todas las características que en aquellos tiempos eran propias del cinturón habitable de nuestro Sistema Solar, con agua líquida, una fuente de energía y material orgánico. Se daban las condiciones para que se diese la vida. Pero, algo pasó en Venus que todavía no entendemos. Gracias a las misiones espaciales que enviamos a Venus y a las mediciones que se realizaron en su

*El objetivo es llegar a Marte para construir asentamientos permanentes que siempre dependerán de las misiones robóticas*

atmósfera, nos dimos cuenta de que si comparamos estos modelos con los de la Tierra, estaba sucediendo algo parecido. Y ahí se descubrió el efecto invernadero. Esa comparación entre planetas permitió detectar, esperemos que a tiempo, algo tan importante como el calentamiento global. Venus, después de su formación, tuvo océanos. Por las mediciones isotópicas, sabemos que tenía mucha más agua de la que hay ahora, pero, a partir de un momento, las temperaturas empezaron a subir. Una de las grandes incógnitas es cómo fue que la Tierra se desarrolló de esta forma, mientras un planeta hermano, casi idéntico al comienzo, se acabase desarrollando de una manera tan diferente. Se piensa que

no hay posibilidades de vida en Venus, pero, recientemente, un investigador escribió un trabajo en el que proponía la idea de que en la atmósfera mediana, a entre cincuenta o sesenta kilómetros de altura, hay unas señales en el ultravioleta que aparecen y desaparecen periódicamente. No se pueden explicar los mecanismos, pero un equipo científico ha encontrado una bacteria que emite en el ultravioleta y tiene un ciclo de vida que aparece y desaparece. Están proponiendo que a lo mejor en la atmósfera media de Venus, donde las temperaturas no son tan altas y tienen un poco más de agua, pudiese haber organismos flotando dando origen a esa señal en el ultravioleta que aparece y desaparece. Definitivamente es una hipótesis interesante que requiere ser comprobada y por eso queremos mandar más misiones para hacerlo.

**P.** ¿Hay algún proyecto próximo de la NASA para explorar Venus?

**R.** La última misión que enviamos a Venus fue *Magallanes*, hace casi 45 años. Después, la ESA envió *Venus Express* y ahora JAXA tiene una nave orbitando que se llama *Akatsuki* y está recopilando una información extraordinaria, viendo Venus en el infrarrojo, que permite penetrar las capas más profundas de la atmósfera y poder casi ver su superficie. Si mandas un cohete, es más fácil llegar a Venus que a Marte. La razón por la que hay más misiones a Marte es que tiene un atractivo tan importante porque las condiciones en estos momentos son mejores para que el ser humano ponga un asentamiento permanente. Por eso ha habido muchas agencias espaciales que se han centrado en Marte. Rusia ha sido el país que ha avanzado más el conocimiento de Venus, gracias a las misiones *Venera*. Son las primeras y únicas que han llegado a estar hasta 120 minutos en la superficie de Venus. Fueron las primeras imáge-

## “Para explorar muchas regiones del Sistema Solar se requiere tecnología nuclear”

■ Texto **Daniel Mediavilla** | Periodista ■

La exploración de los límites del Sistema Solar requiere también determinadas tecnologías de propulsión. En Europa, por ejemplo, no se permite utilizar sistemas de propulsión nuclear, como el que ha llevado a *New Horizons* hasta Plutón o mantiene en funcionamiento a *Curiosity* sobre Marte. Pero la NASA también ha logrado enviar una misión de exploración hasta Júpiter con paneles solares. La sonda *Juno* ha llegado con esa tecnología donde antes solo se había llegado con propulsión nuclear.

“Yo siempre digo propulsión, propulsión, propulsión, porque necesitamos nuevas tecnologías, no cabe duda. *Juno* es extraordinaria. Hemos comprobado que podemos llegar hasta una distancia tan grande como la que nos separa de Júpiter con paneles solares. Cada vez se están haciendo más efectivos, así que a lo mejor llegaremos pronto con ellos hasta Saturno”, explica Adriana Ocampo.

“Pero cuando hablamos de los confines del Sistema Solar, lo que tenemos en términos de tecnología hoy para abastecer los sistemas de una nave espacial es la energía nuclear. No es un gran generador nuclear, sino una pequeña cantidad de plutonio que va desintegrándose y el calor que produce se transforma en electricidad. Son apenas unos gramos. Este es el motivo por el que las *Voyager* han durado tanto y *New Horizons* tiene un generador de segunda generación de los que llevaron los *Voyager*. Ahora, esa misma tecnología se está haciendo más efectiva, se ha venido avanzando para hacerla más pequeña y que dure más tiempo”, añade. “Estamos pensando en enviar módulos a la superficie de Europa que puedan taladrar la corteza de hielo. Y no solo es Europa, que es una luna de Júpiter, también queremos llegar a Titán, la luna más grande de Saturno. También necesitamos módulos de larga duración si queremos explorar la parte oscura de la Luna. Para explorar muchas áreas del Sistema Solar se requiere tecnología nuclear, que es la mejor que tenemos en estos momentos”.

Hay otras tecnologías que se vienen desarrollando, como la de propulsión iónica, que es muy efectiva, porque se viene utilizando desde hace más de una década. La



“Ya tenemos misiones que se están planificando con energía termonuclear”, explica esta directiva de la NASA.

han usado varias misiones. “Cuando llevas una nave a mitad del espacio, se prenden estos motores iónicos y duran décadas encendidos. Nos podría dar esa duración que queremos para mandar algo al espacio profundo, pero esa es la parte de propulsión. Después está la parte de baterías que se necesitan para abastecer los sistemas a bordo de la nave y ahí necesitamos otros sistemas. Podríamos propulsar una nave espacial con un sistema iónico, pero para abastecer los sistemas necesitamos también energía termonuclear. Ya tenemos misiones que se están planificando con esa tecnología. También se está usando el viento solar. Los japoneses lanzaron hace años velas solares. Cuando uno está en el océano, usamos el viento, y lo que hacemos con el viento solar es algo similar. La dificultad y la complejidad de este sistema es que es necesario desplegar unas telas muy grandes en el espacio. Pero tenemos que seguir explorando nuevas tecnologías. La misión *Juno* nos está mostrando que Júpiter es un protosol, que no llegó a ser una estrella, pero que tiene en su interior una reacción termonuclear que hace que emita más energía de la que recibe. Si lográsemos descifrar por qué sucede eso, a lo mejor estudiar Júpiter nos permitiría descubrir una forma energética que nos pudiese ayudar a navegar y explorar el Sistema Solar y a realizar misiones interestelares, algo que ya se incluye en planificaciones que se están haciendo a 50 u 80 años. ▶



Ocampo coincide con otros expertos en señalar que el próximo gran paso de la ciencia en materia astronómica será la llegada del humano a otros planetas.

nes que pudimos recibir de ese planeta. Ahora trabajamos en colaboración con científicos rusos para ver qué se requeriría para desarrollar una misión conjunta para ir a Venus. Es importante, porque, si llegamos a entender lo que pasó en Venus, entenderíamos mejor la evolución de nuestro planeta en el pasado y en el futuro.

**P.** ¿Merece la pena lo que se puede hacer con una misión tripulada a Marte frente a lo que se consigue con las robóticas, si se tiene en cuenta la diferencia estratosférica de costes?

**R.** Hemos explorado Marte robóticamente durante décadas y el objetivo siempre fue llevar una misión tripulada en algún momento. Dado que durante los últimos diez años, gracias a *Curio-*

*sity*, se ha confirmado que hay agua líquida en el subsuelo y agua dulce líquida –algo muy importante–, nos podemos plantear una misión de ese tipo. Pienso que las misiones robóticas y las misiones tripuladas van mano a mano. Las misiones robóticas son esenciales para empezar la exploración. La vida humana no se tiene que arriesgar hasta que tengamos algo muy bien estudiado y sepamos dónde vamos a mandar a los seres humanos. Incluso cuando las misiones tripuladas lleguen allí, se van a tener que apoyar en misiones robóticas, no solo orbitando, porque van a querer saber si viene una tormenta. Todo va en conjunto. El ser humano está hecho para ir más allá de nuestro planeta y esa es la próxima frontera. Efectivamente, cuando

hablamos de costes, las misiones robóticas pueden ofrecer un mayor valor para la ciencia por menores costos, pero eventualmente, cuando un ser humano está en la superficie de un planeta, una persona entrenada puede triplicar la ciencia que podríamos hacer con un módulo robótico. Es una inversión muy importante que hay que hacer en colaboración entre muchos países.

### Descubir un nuevo mundo

**P.** La sonda *New Horizons* continúa en dirección a Ultima Thule, un nuevo mundo doble más allá de Plutón, de pequeño tamaño. Sabemos que en el cinturón de Kuiper, donde está Ultima Thule, hay muchos pequeños objetos helados como ese, pero ¿existe la posi-

bilidad de que más allá pueda haber algún gran planeta inesperado?

**R.** El próximo sobrevuelo que *New Horizons* realizará será a finales de este año y llegará a su máximo acercamiento en enero de 2019. Va a ser extraordinario, porque, literalmente, es descubrir un nuevo mundo y es ir a una nueva área del Sistema Solar. Es como cuando Colón salió hacia tierra incógnita. No sabía qué se iba a encontrar. Nos encontramos en ese punto histórico de nuestra especie, en el que estamos empujando las fronteras del descubrimiento de una región de nuestro Sistema Solar que

es completamente desconocida. Allí hay objetos que no son ni asteroides ni cometas; están en una nueva clasificación de algo que, quizás, podríamos calificar como miniplanetas, muchos de ellos binarios como Ultima Thule. El cinturón de Kuiper tiene unas 48 unidades astronómicas de ancho y está a más de 70 unidades astronómicas de nosotros. Eso son 70 veces la distancia del Sol a la Tierra. Después nos encontramos con la nube de Oort. Ahí existen los cometas que llamamos de largo periodo, y de donde, de vez en cuando, salen algunos cometas, como el Halley, que vienen a visitarnos a nuestro Sistema Solar.

**P.** ¿Por qué se acumulan esos objetos en esa nube tan lejos de la influencia del Sol?

**R.** Los cometas desempeñan un papel muy importante, porque son los que trajeron los elementos volátiles, los gaseosos, los líquidos o los aminoácidos al interior de nuestro Sistema Solar. Fue gracias a Júpiter, que se formó en nuestro sistema solar y que, si hubiese ad-



“¿Cómo llegó la vida a la Tierra?” es una de las preguntas que, según esta científica, es clave y el objetivo que persigue contestar la NASA a través de cada una de las misiones espaciales que se realizan para conocer mejor el Sistema Solar.

quirido una masa mayor, hubiese sido una estrella. Gracias a su campo gravitacional se atrajo esas moléculas volátiles e, incluso, a los cometas de largo periodo de la nube de Oort hacia el interior del Sistema Solar cuando se estaba formando. Pensamos que durante el periodo de bombardeo, con los impactos de estos cometas y asteroides, se empezó a sembrar la Tierra con estos aminoácidos, que son los precursores de la proteína, elementos claves de la vida, y el agua, que es lo más importante que necesitamos para que se dé la vida como la conocemos.

**P.** ¿Qué esperamos de las misiones que, como *New Horizons*, pueden llegar más allá de la frontera de nuestro Sistema Solar?

**R.** Hay varias misiones que han salido del Sistema Solar. Primero fueron los *Pioneer* y luego, los *Voyager*, que nos ayudaron a definir cuándo una nave espacial está fuera del Sistema Solar. Eso sucedió cuando ya no se pudo detectar

más la influencia del campo gravitacional del Sol en la nave espacial. Ese sería el punto final de nuestro sistema solar. Eso ocurre a cien unidades astronómicas de distancia. Es muy interesante lo que *New Horizons* nos viene mostrando. Nuestra clasificación original de lo que era el Sistema Solar fue muy básica, incluso simple. Lo clasificábamos todo en planetas, asteroides y cometas. Y esto era todo lo que había en nuestro Sistema Solar. Ahora nos estamos dando cuenta de que vivimos en un sistema mucho más complejo. Hay asteroides que actúan como cometas, incluso en el cinturón de asteroides, que están rompiendo las clasificaciones. Estamos en esa aventura del conocimiento de poder definir mejor los objetos de nuestro sistema solar. Pienso que en las próximas décadas, y gracias a misiones como *New Horizons*, podremos llegar a ese conocimiento y a tener una idea más completa de lo que es el Sistema Solar y el lugar donde vivimos. 

# Encomienda de Funciones, control y supervisión del CSN en las comunidades autónomas

Inspeccionar los aparatos que utilizan rayos X para el diagnóstico médico, aquellos que permiten realizar algo tan común como una placa dental o una mamografía, o supervisar el control del transporte del material radiactivo que transcurre por carreteras españolas son, entre otras muchas competencias, labores del día a día de los inspectores de encomienda

de funciones al servicio del organismo regulador de la seguridad nuclear y la protección radiológica. Estos inspectores son los ‘ojos del CSN’ en cada una de las nueve comunidades autónomas con las que el Consejo de Seguridad Nuclear tiene firmada una encomienda de funciones.

■ Texto **Vanessa Lorenzo y Arturo Fernández** | Área de Comunicación del CSN | ■

**E**n relación con lo establecido en la Disposición Adicional 3ª de la Ley 15/1980 de creación del Consejo de Seguridad Nuclear, y en los estatutos que regulan su funcionamiento, se define la Encomienda de Funciones como: “La relación entre el CSN y las comunidades autónomas, en virtud de la cual el CSN

encarga a las mismas la realización de actividades de carácter material, técnico o de servicio, propias de la competencia del primero”. De un modo más específico, podríamos explicar que bajo este marco legal, el organismo regulador tiene la facultad de encomendar a las comunidades autónomas el ejercicio de sus funciones

para conseguir a través de las capacidades de éstas, una mejor ejecución de las actividades que le atribuye la Ley. El fin último de los acuerdos es prestar a los administrados y a la sociedad en su conjunto un servicio más eficaz y eficiente, aproximando los entes administrativos a los ciudadanos. Y es que la proximidad física posibilita una relación más ágil y flexible con los administrados, permitiendo así aumentar la intensidad y la calidad de las actuaciones.

Era junio de 1984 cuando el organismo regulador ponía ‘la primera piedra’ con la Generalitat de Cataluña, estableciendo así el primer Acuerdo de Encomienda. Un año después llegó Baleares; Valencia, en 1986; Navarra, en 1987 y durante los años noventa se sumaron a estos acuerdos las comunidades de Galicia (1990), Canarias (1994) y País Vasco (1995). Asturias lo hizo en 2004 y la última en firmar su acuerdo fue Murcia (2006), completando así las nueve comunidades autónomas con las que actualmente el CSN tiene firmados acuerdos de encomienda.

Que la función principal del organismo regulador es velar por la seguridad nuclear y la protección radiológica de las



Un inspector con encomienda de funciones durante el examen de un contenedor marítimo con una fuente de Cobalto-60.



Representantes de las diferentes comunidades autónomas con encomienda de funciones durante su última vista al CSN.

personas y el medio ambiente es algo bien sabido por todos, pero ¿qué competencias delega el CSN en las entidades regionales?

Comenzaremos explicando que son encomendables las funciones fijadas, entre otras disposiciones, en la Ley de creación del CSN, su estatuto, el reglamento de instalaciones nucleares y radiactivas, el reglamento de protección sanitaria contra las radiaciones ionizantes y el decreto de instalación y utilización de rayos X médicos.

Las principales tareas delegadas están relacionadas con instalaciones radiactivas de 2ª y 3ª categoría, clasificadas en función del riesgo radiológico asociado a los equipos o materiales radiactivos que utilizan o almacenan. Para contextualizar al lector, este tipo de instalaciones son aquellas que cuentan con fuentes radiactivas utilizadas con fines científicos, médicos, agrícolas, comerciales o industriales, instalaciones tan cercanas al ciudadano como pueden ser, por ejemplo, los aparatos de rayos X para uso médico.

El documento de Criterios Generales para la Encomienda de Funciones del

Consejo de Seguridad Nuclear, cuya revisión en vigor fue aprobada por el Consejo el día 23 de febrero de 2005, señala como funciones encomendables: las actividades de inspección de control, evaluaciones y dictámenes técnicos para autorizaciones, licencias y cursos de per-

*Funciones encomendables son las actividades de inspección de control, evaluaciones y dictámenes técnicos para autorizaciones, licencias y cursos de personal, vigilancia radiológica ambiental y asistencia en materia de emergencias*

sonal, vigilancia radiológica ambiental y asistencia en materia de emergencias. Las encomiendas pueden incluir todas o algunas de estas funciones definidas como encomendables y su alcance puede ser

revisado según las cláusulas que se establezcan en el propio convenio.

La ejecución de estas tareas se lleva a cabo también bajo los criterios establecidos en los convenios firmados con cada respectiva comunidad, los criterios generales aprobados por el Consejo y los manuales de procedimientos establecidos por el CSN. De esta manera, el organismo regulador, de conformidad con lo dispuesto en el artículo 11 de su estatuto, supervisa la ejecución de las funciones encomendadas pudiendo dictar normas, procedimientos, instrucciones, orientaciones, correcciones o hacer uso de otros medios de control que hagan más efectiva dicha supervisión, ya que es el único competente en materia de seguridad nuclear y protección radiológica.

### **El CSN en las comunidades autónomas**

En primer lugar, señalar que no todas las comunidades autónomas tienen encomendadas las mismas competencias. Cataluña, Valencia y País Vasco llevan a cabo programas de Vigilancia Radiológica Ambiental. Por lo tanto, según el alcance y el número de instalaciones que determinan la carga de trabajo de las funciones

Manuel Rodríguez Martí, secretario general del Consejo de Seguridad Nuclear

## “Los retos a los que se enfrenta una encomienda en una comunidad autónoma son similares a los del Consejo en solitario”

**PREGUNTA.** A través del Acuerdo de Encomienda, el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) delega algunas de sus funciones en el equipo encomendado para prestar al conjunto de la sociedad un servicio más eficaz y eficiente. ¿Podríamos decir, por tanto, que ellos son parte de la visión del regulador en la comunidad autónoma?

**RESPUESTA.** El tema creo que es completamente bidireccional. Por un lado, la encomienda constituye un instrumento para llevar a cabo las directrices del CSN y la ejecución práctica de las actividades propias de sus funciones desde el propio territorio de la comunidad, con las ganancias de eficacia y eficiencia asociadas a la cercanía geográfica.

Por otro lado, el CSN recibe a través de las encomiendas la información sobre la situación del cumplimiento de sus funciones y la percepción sobre la actuación del organismo existente en estas regiones. En el alcance de las funciones encomendadas, los ciudadanos deben considerar indistinguibles la visión de las autoridades de las CC. AA. y la del propio CSN.

**P.** El Consejo de Seguridad Nuclear celebra cada año la reunión de la Comisión Mixta de Seguimiento del Acuerdo de Encomienda de Funciones, firmado entre el organismo regulador y las diferentes comunidades autónomas. ¿De qué otro modo se lleva a cabo el flujo de información entre los encomendados y el organismo regulador?

**R.** En cuanto al intercambio de información y documentación con el CSN, la situación ha evolucionado en los últimos años merced a las capacidades actualmente disponibles de sistemas de información. Todas las CC. AA. disponen de equipos informáticos conectados directamente a la red interna de sistemas de información del CSN, lo que les permite el acceso a la información relativa a las instalaciones y actividades situadas en sus territorios, así como a la información interna necesaria para el desarrollo de su actividad.

Se han incorporado sistemas de información que per-



En la imagen, Manuel Rodríguez Martí.

miten la interacción sin flujo de papel, las comunidades autónomas disponen de acceso al sistema documental del CSN, pudiendo incorporar al mismo toda la documentación que reciben de los titulares de instalaciones o actividades y los documentos, como actas e informes, que generan en el desarrollo de su actividad.

También se han sumado a los Acuerdos de Encomienda previsiones para que las funciones de custodia y archivo de la documentación original en soporte papel sean realizadas en las distintas comunidades.

Anualmente se celebra, además, una reunión en la que participan todos los técnicos de la C. A. con encomienda y personal del CSN, en la que se comentan los temas más destacados y se establecen criterios y prácticas armonizadas.

**P.** Firmaron los primeros acuerdos con Cataluña allá por 1984 ¿Qué valoración hace acerca del trabajo desarrollado a lo largo de estos 34 años? ¿Han cambiado mucho las competencias que se delegaron en los primeros años respecto de las actuales encomiendas?

**R.** Existe un primer grupo de competencias, las relativas a la inspección y control de instalaciones radiactivas, incluidas las instalaciones de radiodiagnóstico médico, y a la inspección y control de actividades de transporte de material radiactivo, que conforman el primer bloque actividades encomendadas cuando se establece un nuevo acuerdo de encomienda.

(Sigue en la página 23)

(Viene de la página 22)

Estas competencias se han mantenido en todas las CC. AA., si bien el ejercicio de las mismas, en la práctica, ha ido evolucionando con la normativa aplicable y con los procedimientos del propio CSN. A partir de esas competencias básicas, algunas comunidades autónomas han querido evolucionar adoptando nuevas competencias entre las definidas por el CSN como encomendables y esta evolución ha sido bien acogida por el CSN siempre que ha venido acompañada de un aumento de los recursos, fundamentalmente humanos, disponibles en la comunidad autónoma.

En las decisiones para seguir esa evolución tiene un peso importante el número de instalaciones y actividades sometidas a la Reglamentación Nucle-

ar, objeto de las funciones del CSN, existentes en cada región. En comunidades con número muy reducido de instalaciones o actividades, resulta más difícil justificar la dedicación de recursos adicionales y el aumento de las necesidades de formación y cualificación asociados con la encomienda de nuevas funciones.

**P.** En relación al ámbito de las funciones encomendadas, actualmente tienen sobre la mesa la aplicación de la nueva instrucción del CSN sobre protección física de fuentes de alta actividad o el estado de la transposición de las directivas de

seguridad nuclear y protección radiológica. ¿A qué otros retos en esta materia se enfrentará el organismo a medio plazo?

**R.** Con las líneas maestras establecidas según las cuales, en el ámbito de las funciones encomendadas, las competencias, cualificación y recursos disponibles en las CC. AA. deben ser análogos a los disponibles en el propio CSN esos nuevos retos son muy similares a los que se enfrentaría el Consejo en solitario.

Inicialmente, corresponde al CSN el liderazgo en el impulso de la implantación de esas nuevas actividades, estableciendo las relaciones institucionales con otros organismos implicados, los criterios técnicos para su puesta en práctica así como los programas de formación que deben

seguir todos los técnicos que vayan a desarrollarlas.

Una vez completada esta fase inicial, los técnicos de las CC. AA. tendrán un papel análogo al de los técnicos del Consejo de Seguridad Nuclear que desempeñaran esas nuevas funciones. Una vez completada la implantación las nuevas prácticas, pasaran a ejecutarse por todos con la planificación que el organismo determine. El proceso es análogo al de establecimiento de una encomienda o ampliación de una existente con la particularidad de que en este caso la actividad también es novedosa para el CSN. 

*Anualmente se celebra una reunión en la que participan todos los técnicos de las comunidades autónomas con encomienda de funciones y el personal del CSN*

encomendadas, cada comunidad autónoma es la que establece una unidad administrativa que garantiza la ejecución de la actividad.

Podríamos asegurar que 'los encomendados' son los ojos del CSN en esas regiones del territorio español, pero ¿cómo es el equipo que da vida al acuerdo? Y ¿quién ejecuta los trabajos que se contemplan bajo la encomienda?

Comenzaremos explicando que formar parte del personal de la encomienda conlleva una serie de requisitos, entre otros estar adscrito a un órgano de la administración autonómica, preferentemente en el área de Industria, Medio Ambiente o Sanidad, tener conocimien-

tos y titulaciones específicas y estar acreditado por el CSN. En el caso, por ejemplo, del País Vasco, el equipo de encomienda está compuesto por un jefe de servicio encargado de la evaluación, dos inspectores que ejecutan las inspecciones y un administrativo destinado principalmente a la tramitación de licencias.

Dentro de estas tres funciones, nos centraremos en el intenso trabajo que suponen las inspecciones que hacen todas las encomiendas para el control de funcionamiento de instalaciones radiactivas, que comprende la realización de las inspecciones necesarias para el control de las instalaciones de 2ª y 3ª categoría, incluidas las de rayos X para

diagnóstico médico (existen más de 38.400 en España), así como las inspecciones con ocasión de incidentes, emergencias o denuncias en el ámbito de las instalaciones y el transporte de combustible nuclear u otros materiales radiactivos.

Adicionalmente, algunas encomiendas tienen asumidas tareas adicionales. Por ejemplo, Baleares, Cataluña y País Vasco hacen la evaluación de todas las solicitudes de instalaciones radiactivas de 2ª y 3ª categoría en su territorio. Además, en según qué encomiendas inspeccionan los servicios de protección radiológica que prestan servicio en el ámbito de las instalaciones radiactivas, empresas



Un inspector encomendado comprueba la correcta descarga de una fuente de Cobalto 60.

de venta y asistencia técnica de equipos de rayos X para diagnóstico médico.

Teniendo en cuenta que a fecha de 2017, en España había registradas 1.302 instalaciones radiactivas de 2ª y 3ª categoría, el principal trabajo de los inspectores encomendados se centra en este tipo de instalaciones..

El día a día de un inspector transcurre entre las instalaciones y la oficina pero siempre rodeado de una infinidad de documentación, y es que tal y como ellos mismos relatan su trabajo requiere “una preparación documental exhaustiva, ya que implica la revisión de actas de años anteriores, las elaboradas por otros compañeros previamente, de los procesos de licenciamiento, de los informes anuales, etc.”. Además todas las inspecciones y evaluaciones se llevan siempre

## CRONOLOGÍA DE LA FIRMA DE ACUERDOS



a cabo conforme a lo estipulado en los procedimientos establecidos por el CSN, y de cada una de ellas se debe cargar en una aplicación corporativa del CSN el acta correspondiente.

### El día a día de un inspector

A comienzo del año, siguiendo los criterios Consejo de Seguridad Nuclear, en función del número de inspecciones acordadas con éste, el encomendado realiza una planificación de las inspecciones que debe realizar. Para la mayoría de las comunidades autónomas el grueso de su trabajo se desarrolla sobre las revisiones anuales de las instalaciones de 2ª y las que se llevan a cabo cada tres años en las de 3ª categoría. El tipo de inspecciones que se realiza es variable pero principalmente se trata de revisiones a:

–Instalaciones radiactivas (industria, medicina, investigación, etc.) para su puesta en marcha, modificación de funcionamiento, control y de clausura.

–Control de instalaciones de radiodiagnóstico médico.

–Transportes de material radiactivo y nuclear que se originen dentro del territorio español, transiten o tengan por destino la Comunidad Autónoma.

–Cursos impartidos por entidades homologadas por el CSN para la obtención de licencias de supervisor u operador de instalaciones radiactivas.

Además, los encomendados pueden colaborar en emergencias radiológicas con objeto de tener una primera impresión y pronta comunicación con el CSN sobre una posible emergencia y descartar así alarmas injustificadas que pue-

dan movilizar medios humanos y técnicos sin necesidad.

A estos efectos, el CSN, además de recibir los documentos pertinentes por las actividades encomendadas, tiene acceso directo a las personas, instalaciones y trabajos implicados en dicha ejecución, recibiendo la notificación inmediata en caso de producirse alguna incidencia.

Los trabajos previos a la inspección conllevan, entre otros asuntos, analizar el acta del año anterior, revisar el informe anual presentado en el primer trimestre, comprobar la última autorización de funcionamiento, el estado de las licencias del personal de la instalación, etc.

Las inspecciones pueden ser anunciadas, pactándose así la fecha entre el representante del CSN y el titular de la ins-

## DE ENCOMIENDA DE FUNCIONES



### EXPERIENCIA MUY POSITIVA.

La experiencia en la ejecución de los acuerdos de encomienda de funciones se valora muy positivamente, tanto por parte del Consejo como por los representantes de las comunidades autónomas, existiendo por parte del CSN un claro interés en consolidar, y mejorar los acuerdos vigentes a través de una mayor coordinación y elaboración conjunta de programas de actuación, así como firmar nuevos acuerdos de encomienda con comunidades autónomas que tengan interés en participar en el sistema.

talación, o no comunicadas a éste, “con el factor sorpresa buscamos asegurar la efectividad del motivo de la inspección”, apunta uno de los encomendados.

“Los pasos a seguir durante la visita de inspección están bien definidos en los correspondientes procedimientos, en los que se definen los objetivos, preparación, ejecución y tramitación”, señala otro de estos inspectores. Y es que se debe comprobar tanto la documentación generada durante el último año (revisiones de los equipos radiactivos, hermeticidades de las fuentes, calibraciones y verificaciones, de los equipos de medida de radiación, control dosimétrico del personal, diarios de operación, etc.), como los aspectos prácticos

(correcto funcionamiento de los sistemas de seguridad de los equipos radiactivos y de los recintos blindados, mediciones de tasa de dosis en el entorno del trabajo, etc.).

Una vez finalizada la revisión, se redacta el acta correspondiente y se traslada al CSN. En caso de que se haya detectado una desviación, el inspector deberá realizar un seguimiento tanto en el trámite de la misma como en el posible apercibimiento y llevará a cabo las inspecciones que sean necesarias.

Este complejo plan de inspección, tal y como nos explican los inspectores, conlleva unas tareas vinculadas como son la atención de las consultas del personal de las instalaciones respecto a la

incorporación de nueva normativa del CSN, instrucciones técnicas y guías de seguridad en sus procedimientos y en los reglamentos de funcionamiento y planes de emergencia, etcétera. Esta función informativa y asesora aseguran “consume tiempo y requiere de disponibilidad para atenderlas con cierta preferencia, puesto que resulta fundamental para que el administrado esté bien informado”.

En palabras de los inspectores, “el ejercicio de las funciones encomendadas supone un nivel de responsabilidad y de implicación personal a la hora de transmitir la cultura de seguridad a los responsables de las instalaciones. Frente a ellos, nosotros somos una referencia



Miembros de la comunidad autónoma de las Islas Baleares durante la Comisión Mixta de Seguimiento.



Supervisión y control durante el transporte de material radiactivo.

del organismo regulador y hay que mostrar una transparencia absoluta”. “Creo que impregnar la credibilidad en una dinámica de trabajo facilita mucho las cosas para todos y la respuesta de los inspeccionados viene en concordancia”, asegura otro de los encomendados.

### Seguimiento de la Encomienda

El contacto entre las CC. AA y el CSN es permanente, adicionalmente al flujo diario de llamadas y correos electrónicos toda la documentación para la evaluación de los expedientes de las instalaciones es remitida al organismo y es alojada en las bases de datos comunes, y es que todas las comunidades autónomas cuentan con equipos informáticos conectados directamente a la red interna de sistemas de información del CSN, permitiéndoles así el acceso a la información relativa a las instalaciones y actividades situadas en sus territorios, así

como a la información interna necesaria para el desarrollo de su actividad.

El seguimiento de los convenios de encomienda se lleva a cabo a través de

*La reunión anual en la sede del organismo regulador permite a los encomendados unificar criterios de actuación y conocer las novedades en su sector*

la Comisión Mixta de Seguimiento, formada por ambas instituciones. Representantes del CSN y de la comunidad autónoma organizan una reunión anual para repasar las actividades llevadas a cabo durante el transcurso anual de la

encomienda. A lo largo de la misma, ambas partes dialogan sobre la ejecución de la planificación de las tareas realizadas y sobre las que están por desarrollar. El encuentro permite presentar el informe anual de las tareas realizadas por parte de la comunidad autónoma, una evaluación del cumplimiento de las actuaciones en instalaciones radiactivas y otra de evaluación en transportes. Ambas partes concluyen estas reuniones con una valoración global del desarrollo del acuerdo.

Además de esta reunión de gestión con cada CC. AA, el conjunto de los encomendados se reúne una vez al año en la sede del organismo regulador para mantener una jornada técnica de trabajo que los encomendados valoran muy positivamente, puesto que les permite “poner en común el trabajo, unificar criterios de actuación y conocer las novedades en su sector”.



Si el siglo XX fue la era de los plásticos, el siglo XXI parece destinado a convertirse en la era del grafeno, un material recientemente descubierto hecho de hojas de carbono de panal de abeja de un solo átomo de espesor y cerca de 200 veces más fuerte que el acero.

Convertirá en rápidas, baratas, flexibles y eficientes las tecnologías más vanguardistas

## Grafeno: el material de laboratorio que revoluciona el siglo XXI

El grafeno era hasta hace poco una quimera, un modelo teórico usado por los físicos que nunca se había sintetizado. Pero, hoy se ha convertido en el santo grial de los llamados nuevos materiales. Su futuro es tan prometedor que muchos investigadores opinan ya que

revolucionará las tecnologías y sectores más insospechados. Sus maravillas y promesas provienen de su composición. Con el grosor de un átomo, enlazados de forma hexagonal, es el material más delgado del que se dispone.

■ Texto **Pura C. Roy** | Periodista | ■

**P**ero, las características del grafeno descritas no quedan aquí: es, al mismo tiempo, altamente resistente, unas 200 veces más que el acero, y sin embargo muy flexible y dúctil y tan ligero que un metro cuadrado de grafeno

solo pesa 0,77 miligramos. Sorprendente.

El carbono del que está hecho lo convierte en un elemento fascinante, pues si bien es muy común (nosotros estamos compuestos en gran parte de carbono), da lugar a materiales muy diferentes tan

solo cambiando la forma en la que unos átomos se unen a otros. Cuando se empaqueta densamente en una estructura tridimensional, por ejemplo, tendríamos un diamante; pero, cuando se organiza en capas bidimensionales débilmente

unidas, tendríamos del grafito con el que se fabrican las minas de los lápices.

Lo que está claro es que, en su corta vida, el grafeno ha capturado la imaginación de los científicos de todo el mundo. Además de ser un gran conductor térmico, también conduce la electricidad de forma más eficaz que el cobre o el silicio. Y encima es abundante y su producción relativamente barata. Es casi completamente transparente y tan denso que ni siquiera el helio, el átomo de gas más pequeño, puede atravesarlo. No se necesitaba más para que la industria de la electrónica y la tecnológica lo vieran como el objeto de deseo destinado a revolucionar los retos de este siglo XXI.

### Ámbito energético

Entre las numerosas aplicaciones del grafeno en ámbitos como la energía y la electrónica destacan su capacidad para producir electrodos transparentes en células solares fotovoltaicas o para electrónica orgánica de gran superficie, al ser extraordinariamente flexible. Además, con este material pueden diseñarse diodos orgánicos de emisión de luz, los conocidos como OLED que aspiran a sustituir a las pantallas LCD y de plasma, también pantallas táctiles y flexibles, diferentes tipos de sensores y cámaras de visión nocturna.

El Instituto de Ciencias Fotónicas de Barcelona (ICFO) descubrió el año pasado una nueva cualidad extraordinaria del grafeno, su gran capacidad para transformar los fotones de la luz en electrones. Si este fenómeno se pudiese mantener a gran escala, este material se convertiría en un gran



## Un hito en el campo de la física

Las noticias acerca de los distintos usos se han disparado desde que se aislaron las primeras muestras de grafeno, a partir de grafito, en 2004, por dos investigadores de la universidad de Manchester que recibieron el Nobel en 2010, Andre Geim y Konstantin Novoselov, profesor y alumno doctorado de la Universidad de Manchester, respectivamente. Geim, de nacionalidad holandesa, y Novoselov, británico-ruso, obtuvieron el grafeno a partir del grafito normal, el material de las minas de los lápices, y lograron una lámina de un grosor de solo un átomo.

Muchos pensaban entonces que era imposible que un material así fuera estable. Sin embargo, a partir de sus trabajos, los físicos de todo el mundo pueden estudiar ahora una nueva clase de materiales bidimensionales con propiedades únicas.

En 2005, un profesor español y experto en grafito, Francisco Guinea, del Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid (ICMM) del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), y otros dos colegas, Antonio Castro Neto y Nuno Peres, estudiaron los resultados de Geim y Novoselov y se dieron cuenta de que no solo se hallaban ante un éxito experimental, sino frente un hito en el campo de la física. ▶

recurso para construir paneles solares. En el grafeno, los electrones se mueven con mucha más libertad, 200 veces más rápido que sobre el silicio, consumiendo mucha menos energía y produciendo menos calor.

### El gran proyecto europeo

Promete servir para tantas cosas, que, por ello, los equipos de investigación de todo el mundo han puesto el foco sobre él. Aunque la mayoría de los proyectos están en fase de investigación, para el año 2023, el proyecto europeo Graphene Flagship estima que el grafeno hará más rápidas, baratas, flexibles e eficientes las tecnologías más variadas y vanguardistas. A este proyecto, dotado inicialmente con 1.000 millones de euros, España aporta el mayor número de compañías y concentra en torno al 12 por ciento de los fondos, en el grupo de cabeza de los que conforman este consorcio al que, poco a poco, se van sumando más *partners* industriales. En él participan 150 equipos de investigación de 23 países de la Unión Europea (UE).

Mar García Hernández, investigadora del Instituto de Ciencia de Materiales del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y coordinadora de este programa, opina que “el grafeno no es un producto caro, se puede comprar 1 kilogramo, de calidad aceptable, por unas decenas de euros, pero hay que buscar métodos de síntesis que le permita competir con otros materiales. Con los métodos de síntesis actuales es posible conseguir grafeno de muy buena calidad”. Y es que “no todas las aplicaciones requieren la misma calidad. Las aplicaciones electrónicas son las

más exigentes”, añade García Hernández. “Pero, para otros usos, a partir de la delaminación del grafito, consigues una calidad suficiente para hacer supercondensadores o baterías”, subraya esta investigadora.

Estos métodos de síntesis son los llamados *Top down* (descendentes) y *Bottom up* (ascendentes). Mediante el primero, el grafito se obtiene con la exfoliación de materiales de carbono, normalmente grafito, para obtener láminas de grafeno mediante procesos mecánicos y/o químicos. “Mediante el *Bottom up*, el grafeno se obtiene a partir de los átomos de carbono generados tras la descomposición de hidrocarburos, generalmente a altas temperaturas”, explica García Hernández. “La optoelectrónica y la electrónica, tanto rápida como flexible, han sido áreas prioritarias, pero también todas aquellas que tienen que ver con el almacenamiento de energía o su generación. Otro foco es su combinación con nanomateriales para conseguir otras aplicaciones”, precisa esta investigadora del Instituto de Ciencia de Materiales del (CSIC).

Algunas ruedas de bicicleta, cascos de ciclista, raquetas de tenis y esquís ya incluyen grafeno en su es-

## Medicina y biomedicina

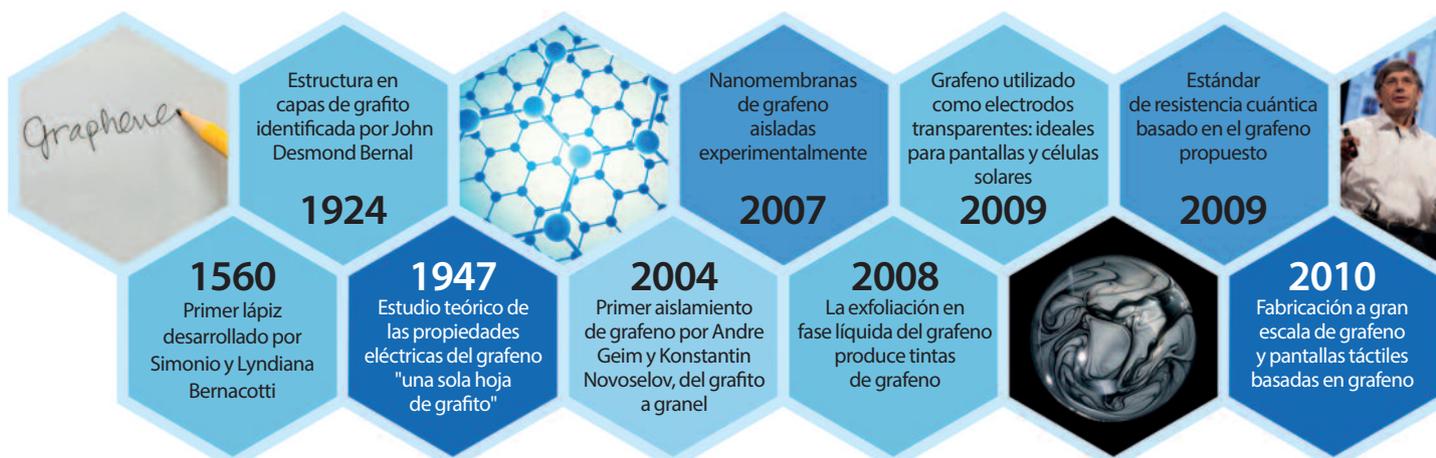
También levantan expectativas las aplicaciones del grafeno en medicina y biomedicina. La iniciativa G-Immunicomics, dentro del proyecto europeo Graphene Flagship, tiene como objetivo estudiar su uso de manera segura. El gran talón de Aquiles es demostrar su biocompatibilidad y cómo el óxido de grafeno, la forma oxidada del grafeno, actúa en nuestro sistema inmunitario. En estos momentos las líneas de investigación emprendidas en el área de la medicina y la biomedicina en todo el mundo van desde terapias contra el cáncer a ingeniería de tejidos y transferencia genética.

El grafeno también permite obtener señales eléctricas parecidas a las del silicio que permitirían obtener información cualitativa y cuantitativa sobre qué moléculas pasan en cada momento, algo que podría aplicarse por ejemplo en secuenciadores de ADN más eficientes y portátiles, según exponen en su trabajo los investigadores del Instituto Catalán de Nanociencia y Nanotecnología (ICN<sub>2</sub>), el Centro Singular de Investigación en Química Biológica y Materiales Moleculares (CiQUS), la Universidad de Santiago de Compostela y el Donostia International Physics Center (DIPC). Como en muchas otras investigaciones, el futuro nos dirá que desarrollos concretos se plasman en realidades prácticas.

estructura para ser más ligeros y con una sujeción más fuerte. Hay pinturas capaces de revelar roturas en la fachada de un edificio, porque gracias a este material la pintura podría cambiar de color y detectar grietas, avisando de la necesidad de una reparación. También se investiga su uso en alas de aviones, en combinación con nanocompuestos. “A partir de las investigaciones del grafeno, toda una familia muy variada de materiales bidimensionales está siendo tomada en cuenta, por ejemplo la de semiconductores como el disulfuro de molibdeno o el disulfuro de tungsteno, así como otros que son superconductores o metamateriales, hechos a partir de láminas bidimensionales. El futuro será una combinación de todos”, afirma García Hernández.

Aunque Europa lidera la investigación del grafeno, Asia controla las patentes sobre sus aplicaciones. Por ello, ahora, la UE está poniendo mucho énfasis en los desarrollos, principalmente en baterías para coches eléctricos u otras aplicaciones y en sensores de contaminación atmosférica, del agua y productos químicos peligrosos que puedan estar ocultos.

Recientemente, un equipo del





Si bien las posibilidades son muchas, la mayor parte del trabajo sobre el grafeno se ha realizado hasta ahora a muy pequeña escala en laboratorios de química y física.

Instituto Catalán de Nanociencia y Nanotecnología (ICN<sub>2</sub>), el Centro Singular de Investigación en Química Biológica y Materiales Moleculares (CiQUS), la Universidad de Santiago de Compostela y el Donostia International Physics Center (DIPC), ha sintetizado con éxito una membrana de grafeno con poros cuyo tamaño, forma y densidad se pueden modificar en la nanoescala con precisión atómica.

Este trabajo es especialmente útil para

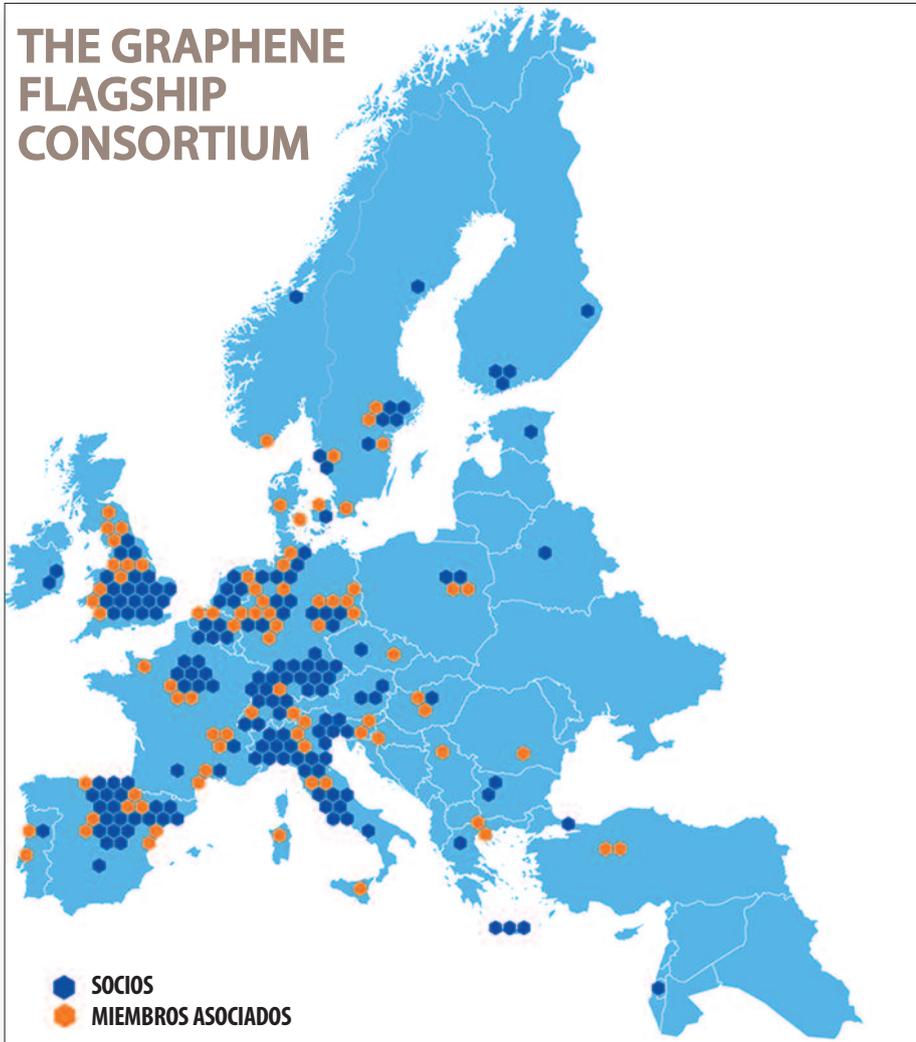
*El Centro Tecnológico de Componentes y la Universidad de Cantabria trabajan para atrapar y eliminar con grafeno elementos radiactivos*

filtros y sensores más duraderos, selectivos y energéticamente eficientes para sustancias extremadamente pequeñas, como gases de efecto invernadero, sales o biomoléculas, según el equipo, que ya ha solicitado una patente sobre la membrana de grafeno poroso.

No obstante, aunque todo esto es posible en teoría, producir un material con estas propiedades requiere de una precisión que todavía no está al alcance de las técnicas actuales de fabricación.



## THE GRAPHENE FLAGSHIP CONSORTIUM



El Graphene Flagship coordina a más de 150 grupos de investigación académica e industrial en 23 países, y cuenta con más de 60 miembros asociados.



Otra aplicación de estos materiales presenta una alta eficiencia para la eliminación de estos isótopos radioactivos en aguas contaminadas de sectores como el minero o centrales nucleares.

También recientemente, el Centro Tecnológico de Componentes (CTC) y la Universidad de Cantabria han presentado un sistema innovador que emplea el grafeno para atrapar el  $\text{CO}_2$  que se produce en las combustiones de los procesos industriales. Esta aplicación, diseñada inicialmente para su uso en las industrias químicas, soluciona los problemas derivados de las emisiones de este gas que provocan, entre otros efectos, el cambio climático y el calentamiento global.

### Atrapar elementos radiactivos

Para Ángel Yedra, responsable del área de Nanomateriales y Materiales Avanzados del CTC, “a escala de laboratorio, se han desarrollado los materiales y se ha testado su capacidad para atrapar gas  $\text{CO}_2$  de manera eficaz. Pero, aún quedan por resolver algunos procesos como la integración, la

*En su corta vida,  
el grafeno ha capturado  
la imaginación  
de los científicos  
de todo el mundo*

reutilización o la ingeniería para que sea una innovación aplicable a las membranas y a los filtros selectivos de gases”.

Paralelamente y de manera conjunta, el CTC y la Universidad de Cantabria trabajan para atrapar y eliminar elementos radiactivos. La elevada superficie específica que presentan los materiales grafeníticos y la posibilidad de colocar en su superficie grupos químicos capaces de atrapar radioisótopos metálicos, permite a estos materiales presentar una alta eficiencia para la eliminación de estos isótopos radioactivos en aguas contaminadas de sectores como el minero o centrales nucleares.

“Se han realizado ensayos de laboratorio en los que se ha comprobado la alta eficacia de los materiales grafeníticos en la eliminación de ciertos isótopos radiactivos en agua (hasta el 95 por ciento). Además, se han estudiado diferentes parámetros que afectan el tiempo de proceso o las concentraciones de material grafenítico con el objetivo de optimizarlo. A pesar de su estado embrionario, esta tecnología innovadora para la descontaminación de aguas podría suponer un gran avance en uno de los aspectos más controvertidos del sector nuclear. Actualmente, la depuración se realiza mediante otros métodos más complejos. Del mismo modo, podría aplicarse en otros campos como en la descontaminación de balsas de explotaciones mineras”, explica Yebra. Otras líneas de investigación a partir del grafeno en las



El grafeno podría generar aviones más ligeros y fuertes (reemplazando aleaciones metálicas), paneles solares más competitivos (reemplazando al silicio), equipos de transmisión de energía más eficientes (por superconductores) y supercapacitores con placas más delgadas que cargan en segundos y almacenan más energía.

que están inmersos es el textil. “En la actualidad estamos desarrollando materiales grafeníticos en diversas aplicaciones co-

mo: pigmentos avanzados para pinturas anticorrosivas, tejidos ignífugos y conductores eléctricos”, comenta Yebra. 🌐



Ropa y calzado más resistente y ligera sería otra posibilidad, aunque aún pueden pasar muchos años antes de que se pueda desarrollar de forma práctica y rentable.

# Ciberseguridad en el ámbito público

El transcendental cambio que estamos viviendo en nuestra sociedad, que camina a grandes pasos desde la 'cultura de papel' a la 'cultura virtual' exige, a su vez, un cambio en nuestra propia cultura laboral, en nuestra forma de entender las comunicaciones profesionales y en nuestra forma de garantizar la seguridad de las comunicaciones electrónicas.

Casi podríamos dar por acabados los viejos sistemas de comunicación corporativa, basados en la gestión de tableros de anuncios, en las publicaciones

de revistas internas, en el envío de circulares y notas interiores y en avisos en papel, entre otros. Por el contrario, la sede electrónica, los servicios web, las notificaciones electrónicas, el e-mail o el mensaje electrónico y las redes sociales corporativas están sustituyendo las formas habituales de comunicación entre profesionales, entre ciudadanos y entre ambos y viceversa.

■ Texto **Manuel Malavé de Cara** | Subdirector de Tecnologías de la Información | ■

La revolución que supone la digitalización de la economía y de la sociedad implica una transformación global en la que la información y los datos juegan un papel determinante. Pero, como no podía ser de otra manera, la eclosión de la economía digital también ha traído aparejado el crecimiento exponencial de los riesgos de seguridad cibernética. Pero aunque las personas y organizaciones públicas y privadas han ido tomando conciencia de estos riesgos y agudizando su preocupación por la necesidad de impulsar un entorno seguro ya sea físico o virtual, sigue habiendo multitud de amenazas que frecuentemente pasan desapercibidas.

Y, por todo ello, la administración española está en pleno proceso de cambio. Y el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) también.

Sin embargo estos cambios a medios de comunicación electrónica cuya gran aportación está fundamentada en contenidos destinados a la creación y el fomento de la cultura corporativa y a la participación ciudadana y que van acompañados de una enorme capacidad de interactividad y velocidad, necesitan un soporte elemental: una base sustancial de credibilidad y de confianza en el sistema que garantice la privacidad y la seguridad de las comunicaciones.

Para el CSN, el modelo de madurez en Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TIC) que garantiza una relación segura entre los ciudadanos e industria regulada y el propio CSN, promueve una estrategia de ciberseguridad que debe tener en cuenta las tres capas del ciberespacio: la física, la lógica y la social, y ocupa cuatro grandes prioridades:

## 1. Institucionalizar la ciberseguridad:

para ello, desde la publicación en 2013 de la *Política de Seguridad en el ámbito de los sistemas de información del CSN*, tratamos de integrar la ciberseguridad en todas nuestras comunicaciones diarias y en todos los procesos de trabajo. Por esto son vitales varios elementos tales como emprender una formación de ciberseguridad individual, cuya suma eleve la seguridad colectiva; diseñar nuevos procedimientos y guías en la organización, que encaminen hacia soluciones tecnológicas y formas de trabajo más garantistas, y presentar nuevas soluciones tecnológicas que simplifiquen el papel burocrático, protejan debidamente las comunicaciones y centren la actividad técnica en las personas.

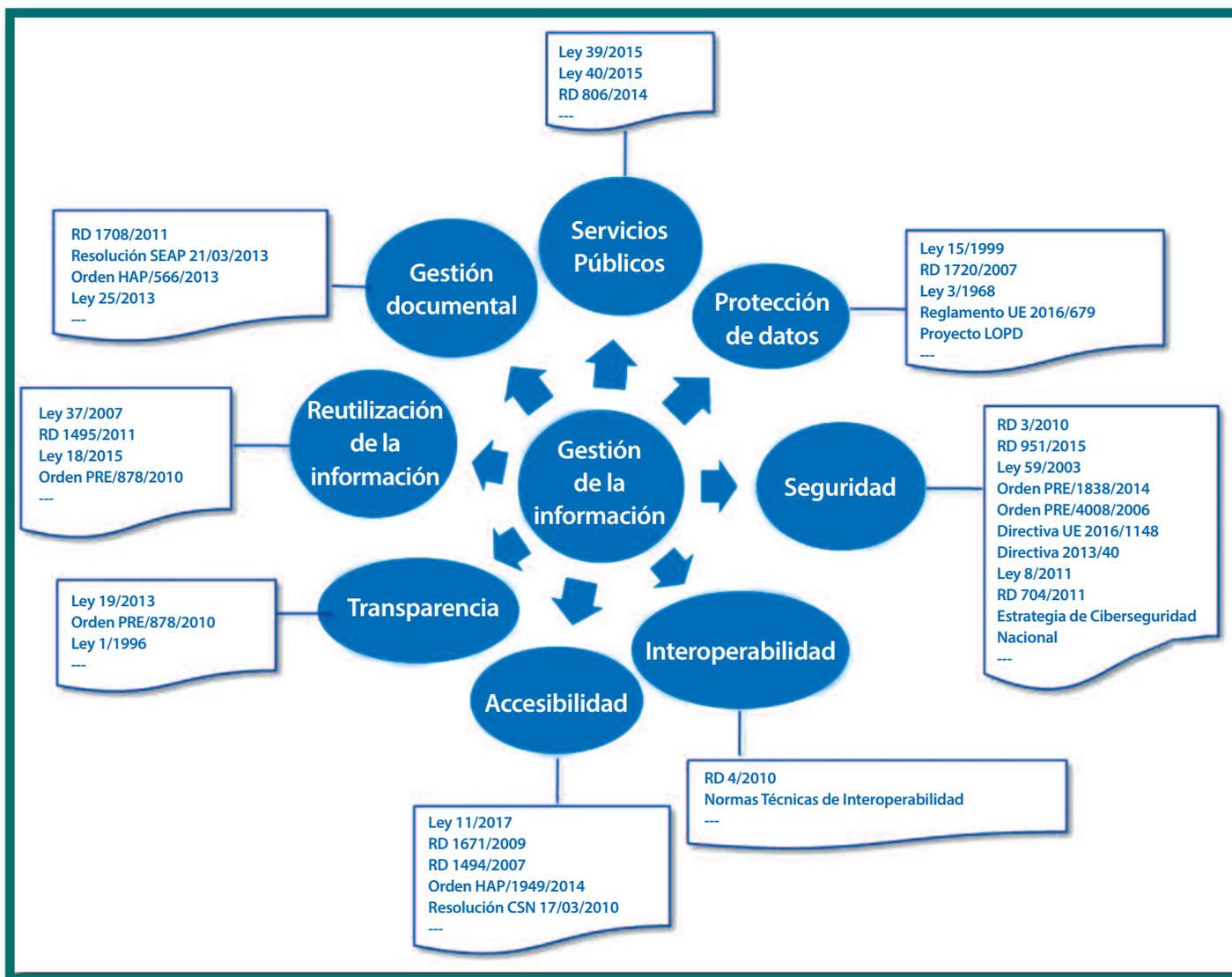
## 2. Organizar una ciberdefensa activa:

de esta manera es posible detectar y bloquear intrusiones externas en tiempo real, detectar errores en perfiles in-

ternos y caracterizar los sistemas de forma que los accesos a los mismos estén controlados y securizados. Aquí alcanza un especial interés la reducción del perímetro gracias al empleo de servicios compartidos y la implantación de un punto de acceso único a la red.

**3. Reducir la complejidad:** entendemos que en estos temas a nivel de usuario la complejidad es enemiga de la seguridad y, por ello, debemos evitar conducir las actuaciones humanas hacia funcionalidades desconocidas y complejas. La interacción del CSN con sus interlocutores, sean compañías o ciudadanos, trata de estar basada en el contenido de la comunicación y no en la complejidad de la misma.

**4. Interés organizacional:** sin redes y sistemas que no incorporen intrínsecamente los elementos básicos del Esquema Nacional de Seguridad (ENS) tales como trazabilidad, integridad, autenticidad, disponibilidad y confidencialidad de la información intercambiada, no se garantizan los niveles adecuados de seguridad cibernética. El apoyo inversor y un entusiasmo continuo de la organización es un factor conjunto elemental para que la innovación y la colaboración participen por igual en el éxito de la protección en ciberseguridad.



Pero, todo ello precisa de la cobertura en derecho. Así, dentro del amplio ámbito legislativo existente en materia de ciberseguridad, es necesario destacar como punto de partida la creación del marco legal con el que enfrentar los nuevos retos de la seguridad que supuso la *Ley de Seguridad Nacional*, con la que se garantiza una arquitectura de gobernanza adecuada a los nuevos riesgos situando la responsabilidad sobre las políticas de ciberseguridad al máximo nivel de Gobierno.

Y, en particular, destaca el papel relevante del mencionado ENS de 2010 y 2015, con el que la Administración, en todos sus niveles de actuación local, autonómica, general y universitaria, encuentra las directrices técnicas y organizativas

de todo el marco de defensa necesario. Actualmente, su implantación global en España ronda el 50%, por lo que, por tanto, junto al Esquema Nacional de Interoperabilidad, se hace necesario mejorar las capacidades humanas bien formadas que ayuden alcanzar un mayor nivel de implantación. Aunque la mejora en seguridad no acaba nunca, el plan de adaptación al ENS del CSN, iniciado hace varios años, está en su etapa final en sus diversos dominios de seguridad.

A nivel europeo, resaltan la *Directiva 2013/40*, ya traspuesta al derecho español, relativa a los ataques contra los sistemas de información, con la que se armoniza la normativa europea en ese sentido mediante el establecimiento de una nor-

mas mínimas sobre la definición de las infracciones y sanciones penales también mínimas a aplicar y la cooperación entre las autoridades competentes.

Y más recientes aún, son dos nuevas normas europeas: i) la *Directiva 2016/1148*, conocida como directiva NIS (*Network Information Security*), sobre las medidas destinadas a garantizar un elevado nivel común de seguridad de las redes y sistemas de información en la UE, obligando a notificar los incidentes que afecten a operadores de servicios esenciales (no coinciden con los operadores de infraestructuras críticas) a la Autoridad competente en materia NIS; y, ii) el *Reglamento General de Protección de Datos*, que naturalmente trata de la protección de da-

tos personales y su libre circulación, y que promueve entre otras cosas la creación de mecanismos voluntarios de certificación, incorporando también la obligación de notificación, en este caso a la Autoridad de control en materia de protección de datos. En aplicación desde el pasado mes de mayo.

## Ciberamenazas

A medida que determinadas innovaciones tecnológicas tales como la economía

digital y compartida, el Internet de las Cosas, el almacenamiento en la Nube, la digitalización del Derecho administrativo, la penetración del *Big Data* en el mundo científico, técnico y social, etc., se multiplican y penetran más profundamente en el mundo físico, es correlativamente más probable el aumento de las ciberamenazas; es decir, de sucesos precursores de incidentes que provocan daños materiales o pérdidas inmateriales en los activos de las compañías.

Todo apunta a que en 2020 tendremos 38.500 millones de dispositivos conectados a Internet y que el 12,8% de la venta comercial se hará vía comercio electrónico, etc., y, según el *World Economic Forum*, el nivel de riesgo global percibido en 140 economías analizadas alcanza para las Ciberamenazas el 8%, y el de la Burbuja de Activos llega al 11%. Esto nos da idea del alcance del potencial daño percibido: las Ciberamenazas están al nivel de la Crisis Fiscal (10%) o de la Burbuja de Activos.

The infographic consists of 12 numbered cards, each with a background image and a text box containing a tip. The tips are as follows:

- Utiliza siempre contraseñas robustas, difíciles de adivinar por otras personas y nunca las compartas o las pongas a la vista.**
- Bloquea tu equipo siempre que te ausentes del puesto de trabajo y configura la activación del salvapantallas con contraseña tras unos minutos de inactividad.**
- Mantén tu mesa limpia de papeles y no dejes información confidencial a la vista en tu mesa de trabajo. Cuando hayas acabado con ella, guárdala en un lugar seguro.**
- Ten cuidado cuando utilices dispositivos USB, ya que es fácil perderlos y que sean sustraídos. Evita utilizarlos para almacenar información confidencial de la empresa y si lo haces asegúrate de que van cifrados.**
- Sigue siempre recomendaciones de seguridad, aplica el sentido común y si tienes dudas, pregunta a personal especializado.**
- Si tienes que eliminar documentación confidencial, recuerda utilizar una destructora de papel para evitar que se puede recuperar por un usuario no autorizado.**
- Utiliza siempre los recursos que la empresa ha puesto a tu disposición para el almacenamiento de la información. Evita utilizar dispositivos personales o soportes de los que no se haga copia y carezcan de las medidas de seguridad adecuadas.**
- El eMail es una de las más importantes fuentes de acceso fraudulento. Aplica el sentido común, todo correo sospechoso y/o inesperado debes eliminarlo sin abrirlo.**
- Cuando estés fuera de la empresa, mantén tu portátil, tablet o smartphone siempre vigilado y no lo dejes desatendido al alcance de desconocidos. Es recomendable cifrarlo y si vas a trabajar en lugares públicos utiliza un filtro de privacidad para la pantalla.**
- Si vas a intercambiar información confidencial con clientes o proveedores, es recomendable que utilices alguna herramienta para cifrar la información. Algo tan sencillo como un fichero comprimido con contraseña puede ser suficiente para evitar miradas indiscretas.**
- Evita conectarte a redes inalámbricas de hoteles, restaurantes o cafeterías con dispositivos del trabajo. Si lo haces, nunca transmitas información confidencial o hazlo mediante VPN.**
- Si vas a deshacerte de un portátil, un PC, un disco duro externo o cualquier otro dispositivo, recuerda utilizar una aplicación de borrado seguro para impedir el acceso a tu información. Esto también es aplicable si otra persona va a utilizar tu equipo.**

Los ciberataques se han convertido en una alternativa real a las herramientas convencionales de inteligencia, muy especialmente debido a su bajo coste, a la dificultad de probar su autoría y al importante volumen de información que puede ser obtenido por esta vía. Así, el ciberespionaje político, con origen en los servicios de inteligencia extranjeros, sigue constituyendo una de las principales amenazas para la seguridad internacional. O por su parte, el ciberespionaje económico, especialmente dirigido a industrias de los sectores de la Defensa, Alta Tecnología, Química, Energía y Salud, persiguen en la mayor parte de los casos el acceso a desarrollos avanzados, y son realizados por determinados estados y empresas con alto nivel de sofisticación, de volumen y de tipología.

Pues bien, estos son algunos agentes de amenazas muy significativos, entre otros varios, que están provocando alteraciones en el orden político y económico mundial por lo que tienen de elementos perturbadores de la competencia y la democracia.

Estamos asistiendo a la presencia constante y continua de algoritmos en la vida diaria que ejercen una influencia tan grande como, en muchos casos, imperceptible, que nos lleva irremediablemente a un modelo con una enorme pluralidad de identidades digitales, cuyas consecuencias tanto en la empresa privada, en la administración pública y en la vida privada de los ciudadanos debemos mitigar y, para ello, implantar determinadas medidas atendiendo a:

i) El factor humano, en el que la sensibilización y concienciación en materia de ciberseguridad sigue siendo una asignatura pendiente. También la de retener el talento dentro de la Administración, que haga viable una transformación más global y más rápida.

II) El factor tecnológico, que debe garantizar la implantación de medidas de vigilancia, protección y seguridad automatizables avanzadas.

III) El factor económico, que impulse el incremento de las inversiones en una tendencia favorable al equilibrio entre la seguridad física y la seguridad lógica.

IV) El factor legislativo, que incorpore un régimen sancionador y certificador eficiente.

V) El factor federal, que anime a la revelación responsable de vulnerabilidades y al intercambio y cooperación entre entidades contra las ciberamenazas.

### Esquema Nacional de Seguridad

Hoy día las Administraciones Públicas se relacionan entre sí y con sus órganos, organismos públicos y entidades vinculadas o dependientes a través de medios electrónicos, que aseguran la interoperabilidad y seguridad de los sistemas y soluciones adoptadas por cada una de ellas, y garantizan la protección de los datos de carácter personal, facilitando preferentemente la prestación conjunta de servicios a los interesados.

Para ello, dentro de la Administración española el Esquema Nacional de Seguridad (ENS), ya mencionado anteriormente, representa la iniciativa legislativa de mayor incidencia en la defensa de la Administración frente a las ciberamenazas, y está constituido por los principios básicos y requisitos mínimos que garanticen adecuadamente la seguridad de la información tratada.

Este ENS que se corresponde con el RD 3/2010, de 8 de enero, junto al RD 951/2015, de 23 de octubre, que modifica el anterior, sirve de marco de referencia y desarrollo de herramientas de seguridad que facilita la adecuación de las distintas Administraciones contra las ciberamenazas. Así abarca la obligación de adecuar medidas de forma ordenada tales como:

- Incorporar el documento de Política de Seguridad donde se asignan responsabilidades formales.
- Categorizar los sistemas en función de la información que manejan.
- Realizar análisis de riesgos con periodicidad programada.
- Preparar la declaración o certificación de conformidad con el ENS.
- Elaborar el plan de adecuación para la mejora de la seguridad.



- Incorporar un sistema de gestión continuada de la seguridad.
- Auditar la seguridad cada dos años.
- Informar sobre el estado de la seguridad.
- Compartir de forma federada los incidentes y su resolución.
- Etcétera.

Pues bien, todas estas medidas y otras muchas, encuentran adecuación gestora en una serie de procedimientos, guías, servicios y herramientas con las que la Administración da respuesta eficiente al ENS, estando el CSN federado en la mayoría de ellas. Entre todas ellas se citan:

EAR/PILAR, herramienta que soporta el análisis y la gestión de riesgos de un sistema de información en base a la metodología Magerit; y, CLARA, herramienta que analiza las características de seguridad técnicas definidas a través del ENS.

En el campo de la Gestión de incidentes, el CERT gubernamental que radica en el Centro Criptológico Nacional (CCN), colabora con los organismos públicos y compañías de interés estratégico para España en la detección, notificación, evaluación, respuesta, tratamiento, y aprendizaje de incidentes de seguridad de información o ciberincidentes que puedan sufrir sus sistemas. En esta línea contemplamos herramientas como LUCIA con la que se gestionan de forma federada los incidentes propios del organismo que se trate y los que provienen del Sistema de Alerta Temprana de Red SARA y de Internet.

En el terreno de las amenazas persistentes avanzadas, el CCN\_CERT ofrece la herramienta CARMEN para la adquisición, procesamiento y análisis de información

para la generación de inteligencia principalmente a partir de los tráficos de una red. Esta herramienta está orientada a la identificación de movimientos externos (servidores de exfiltración) y movimientos laterales de una amenaza persistente avanzada. Las capacidades de adquisición y análisis de la herramienta permiten cubrir las principales vías de comunicación de estas amenazas con el exterior (navegación web, consultas DNS y correo electrónico) así como diferentes mecanismos de comunicación interna en la red comprometida.

*La concienciación y la formación del personal con acceso legítimo a la información es la principal aportación a la ciberseguridad desde el punto de vista humano*

Finalmente, en el campo de la información sobre el estado de la seguridad en las distintas Administraciones Públicas, éstas disponen de INES, que es la plataforma que da un conocimiento más rápido e intuitivo del nivel de adecuación al ENS y del estado de seguridad de sus sistemas. Así, del informe 2016 se deducen cinco aspectos en los que las administraciones precisan mejorar:

- La gestión de cambios, mantenimiento, configuración y gestión de la configuración.
- El proceso de gestión de incidentes.
- Las medidas de continuidad del servicio.

- El empleo de criptografía para proteger soportes.
- La concienciación y formación del personal.

## Conclusiones

De igual modo que el espacio virtual ha derivado al ciberespacio, el término seguridad ha evolucionado a la ciberseguridad: La evolución de los vectores de ataque hacia el uso de técnicas más sofisticadas y las nuevas tendencias en el ámbito tecnológico nos obligan a aumentar la inversión, la formación del personal dedicado a la seguridad y un mayor foco en la concienciación de los empleados públicos en cualquier marco presupuestario.

Siendo importantes las personas como factor de riesgo, éstas se están desplazando del centro de las políticas de seguridad. La era del IoT y la presencia de algoritmos y la multiplicidad de identidades digitales, acentúan los riesgos. En este contexto, los tiempos de respuesta no se ajustan al modelo humano, incapaz de operar en microsegundos. Ello supone un salto cualitativo, con la aparición de nuevas amenazas.

Seguir la trayectoria ya consolidada del mundo de la seguridad nuclear en el ámbito de la cooperación y la trazabilidad: el intercambio de información sobre incidentes para evitar que éstos se repitan en Administraciones diferentes, es un magnífico ejemplo de cómo hacer frente a nuevos retos en el campo de la seguridad de la información.

La concienciación y la formación del personal con acceso legítimo a la información es la principal aportación a la ciberseguridad desde el punto de vista humano. 

## REFERENCIAS

- [1] Notas del Observatorio del Sector Público de Informática El Corte Inglés.
- [2] Ciberamenazas y Tendencias. Edición 2017 del CCN-CERT IA-16/17.
- [3] Cuadernos de estrategia 166. Energía y geoestrategia 2014 del Club español de la energía.

# Experiencia en el uso de MAVRIC en la evaluación del cálculo de blindajes en sistemas e instalaciones nucleares y radiactivas

La instrucción de seguridad IS-26 emitida por el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) establece que el titular de una instalación nuclear debe analizarla desde el punto de vista de la seguridad nuclear y la protección radiactiva, de forma que se verifique la capacidad de las barreras y elementos importantes para la seguridad, para prevenir los accidentes y mitigar sus consecuencias. Este análisis de seguridad se debe documentar en un Estudio de Seguridad, de acuerdo con lo establecido en el Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas.

Uno de los temas que debe incluir el Estudio de Seguridad es la evaluación del blindaje, cuyo objeto es la determinación de las tasas de dosis en el exterior e interior de una instalación debido a las fuentes que alberga. El resultado de dicha evaluación

ha de permitir efectuar la clasificación radiológica de zonas, estimar las dosis operacionales a trabajadores y comprobar que se cumplen los criterios de aceptación que pudiera establecer la normativa en materia de límites de tasas de dosis.

Ya que los códigos basados en el método de Monte Carlo son, en la actualidad, las herramientas más eficaces para la realización de dicho tipo de análisis, el CSN ha optado por el uso del código MAVRIC como herramienta principal para la realización de las evaluaciones de los temas relacionados con la protección radiológica operacional contenidos en los Estudios de Seguridad.

■ Texto **Jorge Peña Gutiérrez** | Consejero técnico del área de protección radiológica de los trabajadores (CSN) | ■

El método de Monte Carlo (MC) permite efectuar simulaciones de transporte de partículas en sistemas de diversa complejidad geométrica. Este es precisamente uno de sus atractivos: los paquetes de descripción geométrica que incorporan los códigos que utilizan el método de MC facilitan el modelado de prácticamente cualquier geometría. La simulación del transporte de partículas que efectúan dichos códigos es conceptualmente sencilla: extraen aleatoriamente (muestran) una partícula de la fuente de acuerdo con sus características, efectúan el transporte de dicha partícula dentro del sistema teniendo en cuenta las probabilidades y leyes de interacción de la partícula con la materia (secciones eficaces, distribuciones angulares y energéticas de las partículas secundarias) y registran su contribución en las zonas definidas de interés (detectores). Este proceso se repite tantas veces como sea necesario, hasta tener la

confianza de que la respuesta de la muestra de partículas finalmente considerada es representativa de la realidad. Esto es lo que, coloquialmente, se llama Monte Carlo 'crudo'.

Una simulación efectuada de esta forma requeriría una muestra suficientemente grande y una cantidad desmesurada de tiempo de computación, por esta razón las simulaciones mediante el método de MC se complementan con métodos de reducción de varianza. Dichos métodos hacen más eficiente el proceso de simulación.

Uno de los métodos de reducción de varianza más usados cuando se trata de simular el transporte de partículas neutras (neutrones y fotones) es el de muestreo basado en la importancia, CADIS (*Consistent Adjoint Driven Importance Sampling*). Mediante dicho método se trata con mayor prioridad a aquellas partículas que más contribuyen a la respuesta del detector; esto es, se extraen más partículas de la

fuente en las zonas que más contribuyen a dicha respuesta y se facilita su tránsito a través del medio.

En el caso de partículas neutras la importancia viene representada por la solución de la ecuación de transporte adjunta, es decir, por el flujo adjunto. Para resolver esta ecuación se necesita conocer: la geometría y composiciones del medio, las probabilidades y leyes de interacción de las partículas con el medio (secciones eficaces, distribuciones angulares y energéticas de las partículas secundarias) y la magnitud que se desea obtener. En el caso de un cálculo de blindaje, la magnitud suele ser la tasa de dosis en un punto o zona, y lo que habría que definir como fuente adjunta en la ecuación de transporte son los factores de conversión de flujo a dosis correspondientes al tipo de partícula (neutrón o fotón). Así pues, en un sistema el flujo adjunto, depende solamente de las propiedades del medio y de la magnitud que se de-

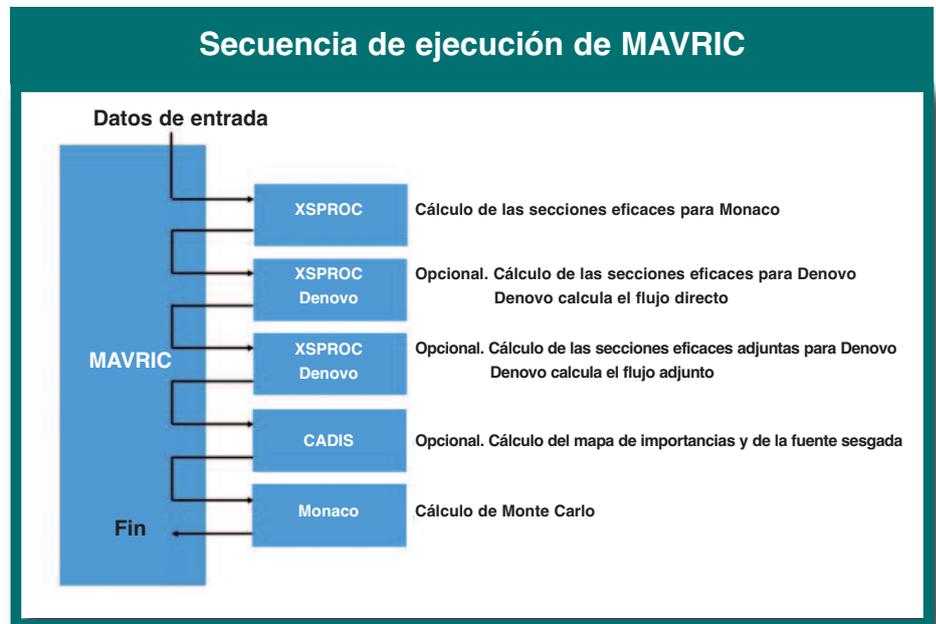
sea calcular; la fuente no interviene.

En el caso de que se calcule la tasa de dosis en diversos puntos o en una zona volumétrica existe la posibilidad de utilizar la técnica CADIS, modificando la fuente adjunta con la distribución del flujo directo. Así se consigue que la densidad de partículas en la zona donde se ubican los detectores sea aproximadamente uniforme. Esta técnica se denomina *Forward-weighted CADIS* (FW-CADIS).

El programa *Monaco with Automated Variance Reduction using Importance Calculations* (MAVRIC) implementa las técnicas de reducción de varianza anteriormente descritas.

### MAVRIC

MAVRIC es un programa incluido dentro del sistema de cálculo SCALE, que se ha desarrollado en el Laboratorio Nacional de Oak Ridge (ORNL) de Estados Unidos. Como puede verse en la figura 1, MAVRIC es un programa de control que invoca diversos programas concretos para realizar tareas específicas: procesamiento de secciones eficaces, cálculo de transporte, cálculo de fuente sesgada y mapa de



Esquema correspondiente a una secuencia de ejecución del programa MAVRIC (Figura 1).

importancias y simulación mediante Monte Carlo.

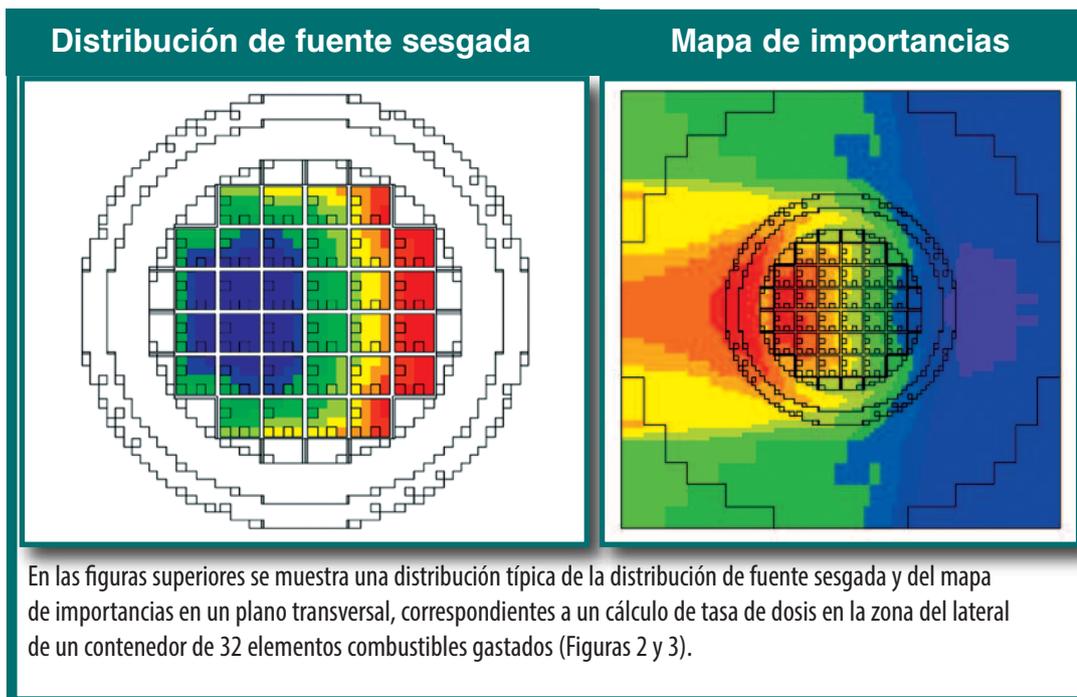
MAVRIC utiliza el programa Denovo para resolver la ecuación adjunta de transporte en geometría cartesiana (XYZ) mediante el método de ordenadas discretas ( $S_N$ ) y obtener una distribución del flujo adjunto en función de la posición y energía. La fuente adjunta en

la ecuación de transporte es la función de respuesta de la magnitud que se pretende calcular (típicamente los factores de conversión de flujo a dosis). Con la distribución de flujo adjunto MAVRIC construye dos distribuciones en función de la posición y energía: la de fuente sesgada y el mapa de importancias.

La distribución de fuente sesgada permite la extracción de partículas de fuente de aquellas zonas que más contribuyen a la magnitud que se desea calcular.

El mapa de importancias se utiliza para establecer el peso inicial de las partículas de fuente y controlar la evolución de sus historias a través del medio que atraviesan mediante la técnica de ventanas de peso (*weight windows*).

Con estas dos distribuciones MAVRIC utiliza el programa Monaco para realizar el transporte de partículas, concentrando el esfuerzo computacional



en la historia de aquellas que más contribuyen a la magnitud objeto del cálculo.

### Metodología

El CSN ha realizado multitud de evaluaciones de blindaje, las más significativas han sido para solicitudes relacionadas con contenedores de almacenamiento y transporte, el Almacén Temporal Centralizado (ATC) y los Almacenes Temporales Individualizados (ATI), los Centros Alternativos de Gestión de Emergencias (CAGE) y las instalaciones correspondientes a los Sistemas de Venteo Filtrado de Contención (SVFC) en centrales nucleares.

De forma sistemática, las evaluaciones se han efectuado mediante cálculos independientes y, de acuerdo con la experiencia adquirida en el uso de MAVRIC, se ha establecido una metodología basada en unos criterios que se aplican a la definición de las fuentes, la geometría, los detectores y el cálculo de importancias.

En el caso de los contenedores y de los almacenes de combustible gastado la fuente proviene de los siguientes tipos de radiación:

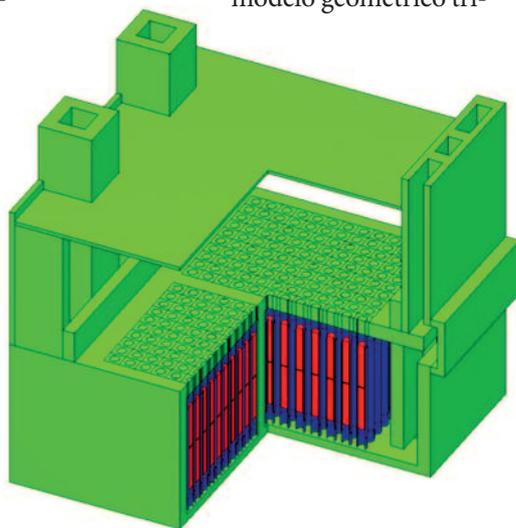
- Radiación gamma originada por la desintegración de productos de fisión radiactivos, la desintegración de actínidos radiactivos, la desintegración de productos de activación de componentes estructurales generados durante la operación en el núcleo y la producción de fotones secundarios resultado de la captura neutrónica en nucleidos fisibles y no fisibles.
- Radiación neutrónica originada por fisiones espontáneas, reacciones ( $\alpha, n$ ) en materiales del combustible y neutrones producidos por fisiones de multiplicación subcrítica.

En el resto de las instalaciones mencionadas la fuente proviene de la presencia de isótopos radiactivos y la componen las gammas generadas por desintegración.

La intensidad y espectro energético de todas estas fuentes se obtienen mediante el programa ORIGEN, contenido en el sistema SCALE, a partir de los datos nucleares contenidos en la librería ENDF/B.

Dado que existen diferentes tipos de fuente (neutrones, gammas) con diferentes características, se realiza un cálculo independiente de tasa de dosis para cada uno de ellos. Hay varias razones que aconsejan proceder de esta manera: 1/ Aporta conocimiento de la contribución (importancia) de cada uno de los tipos de fuente, y 2/ Permite definir parámetros de cálculo específicos dependiendo de las características de la fuente.

La generación de un modelo geométrico tri-



Sección de un módulo de almacenamiento del ATC. (Figura 4).

dimensional del sistema se realiza mediante las instrucciones de uso del *SCALE General Geometry Package* (SGGP). Dicho paquete dispone de diversas definiciones de cuerpos geométricos (prismas, cilindros, pirámides, esferas, etc.) que, adecuadamente combinados, permiten modelar adecuadamente sistemas con geometrías complejas. Los modelos geométricos se confeccionan a partir de los planos originales suministrados por el titular de la instalación.

Desde el punto de vista del tiempo de cálculo, se suele ganar eficiencia realizan-

do modelos concretos de unidades específicas del sistema, para ser insertadas en el modelo global del sistema. SCALE dispone de herramientas (*Keno3D*, *Fulcrum*) que permitan visualizar los modelos construidos, verificar la geometría y detectar posibles errores. En la figura 4 se presenta el modelo correspondiente a un módulo de almacenamiento de combustible gastado del (ATC) que está proyectado construir en Villar de Cañas (Cuenca).

Para determinar la tasa de dosis en diversos puntos o zonas de un sistema, Monaco permite definir dos tipos de detectores: puntuales y volumétricos.

Los detectores puntuales (*point detector*) registran, en cada evento que sufre una partícula, una magnitud que es inversamente proporcional al cuadrado de distancia entre el punto donde se produce dicho evento y el punto donde se encuentra el detector (*point detector estimator*). Esta técnica (*point detector estimator*) hace que el cálculo de las tasas de dosis con este tipo de detectores sea, con cierta frecuencia, inestable en medios donde las reacciones de dispersión pueden ser importantes.

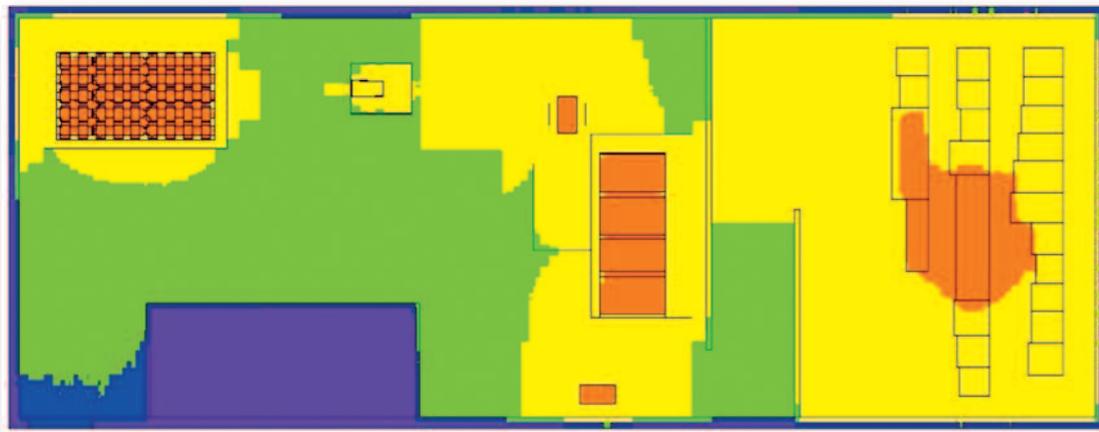
Los detectores volumétricos pueden estar asociados a una región específica del sistema (*region tally*) o a una zona definida mediante una malla cartesiana o cilíndrica (*mesh tally*). Este tipo de detectores utilizan la técnica basada en el registro del recorrido de la partícula dentro del volumen de la región o la malla (*track length estimator*). Dada la estabilidad que ofrece este tipo de detectores, el detector de región suele ser una buena alternativa al detector puntual.

En los cálculos de blindaje en contenedores de almacenamiento y transporte es necesario estimar las tasas de dosis en zonas alrededor de ellos. Los detectores volumétricos de malla cilíndrica son adecuados para realizar dicha estimación.

En los cálculos de blindaje en los ATI habitualmente se determina la posición

de los vallados radiológicos y el radio del área controlada. Hay que tener presente que en estos sistemas la contribución de la radiación dispersa proveniente del aire y del terreno suele ser importante, por lo que hay que considerar suficiente volumen de aire alrededor de los detectores y modelar adecuadamente la forma del terreno. Dada la inestabilidad que pueden mostrar los registros en detectores puntuales, es conveniente usar detectores de región.

Para la estimación de tasas de dosis en espacios interiores de un edificio suele ser más práctico la utilización de detectores



Mapa radiológico en un almacén (Figura 5).

volumétricos de malla. Estos detectores permiten obtener distribuciones espaciales de tasas de dosis dentro de un recinto. Dichas distribuciones son muy prácticas, entre otras razones, porque permiten estimar tasas de dosis operacionales recibidas por trabajadores que tengan que moverse dentro de dicho recinto.

En los cálculos de blindaje es necesario utilizar un conjunto de factores de conversión de flujo a dosis. En el CSN se utiliza el conjunto de factores correspondiente a ICRU-57. El conjunto basado en ANSI/ANS 6.1.1, 1977 genera, habitualmente, resultados más conservadores.

El alma de MAVRIC está en el cálculo de importancias, esto es, el cálculo del flujo adjunto para obtener la distribución es-

pacial y energética de la fuente sesgada y el mapa de importancias.

El cálculo tridimensional de flujo adjunto que realiza Denovo para MAVRIC se realiza en geometría cartesiana (XYZ) y requiere, por parte del usuario, lo siguiente:

- La definición de una malla cartesiana que abarque todo el sistema.
- La definición del orden de cuadratura angular y el número de polinomios de Legendre que ha de considerarse para describir la dispersión angular.
- La definición de la fuente adjunta.
- La asignación de valores a los pará-

deben estar en el centro de las celdas, nunca en los planos de la malla.

- La malla debe incluir todas las regiones del sistema que puedan contribuir a la magnitud que se desea calcular.
- Las fuentes puntuales adjuntas correspondientes a las posiciones de los detectores puntuales deben estar en el centro de celdas, nunca en los planos de la malla.
- Las fuentes volumétricas adjuntas que se definen cuando se usan detectores volumétricos deben estar incluidas dentro de la malla y rodeadas de planos.

- Los planos de la malla deben estar en los extremos de las regiones significativas.
- El tamaño de las celdas no debe ser drásticamente diferente del de las celdas vecinas.
- El tamaño de las celdas debe ser menor en aquellas zonas donde el flujo adjunto varía rápidamente.

Hay que tener en cuenta que el cálculo de

metros asociados a la generación de la representación cartesiana de la fuente real.

La malla está totalmente ligada al modelo geométrico del sistema, de la fuente y del tipo de detector, y ha de tener un tamaño tal que el flujo adjunto resultante del cálculo de transporte represente adecuadamente (no es necesario con exactitud) la forma de la distribución de importancias dentro del sistema. Es muy importante que la malla cumpla los siguientes requisitos descritos en la documentación de MAVRIC:

- Las zonas que ocupan las fuentes reales deben estar incluidas dentro de los planos de la malla. Si las fuentes son puntuales o muy pequeñas, éstas

Monte Carlo se realiza con la distribución cartesiana de la fuente sesgada, y que ésta se obtiene a partir de la distribución cartesiana de la fuente real; por lo tanto, la malla ha de tener una resolución que permita que ambos tipos de fuente estén adecuadamente representados. Aparte de la malla, hay que tener presentes el resto de parámetros que influyen en dicha representación.

En la metodología del CSN está la realización de las siguientes tareas:

- Verificación de los ficheros que contienen la distribución cartesiana de las fuentes con las herramientas gráficas que provee SCALE, para confirmar que la fuente real está representada adecuadamente.

- Examen del fichero que contiene la distribución de la función adjunta, para detectar su variación espacial y detectar posibles zonas donde debe incrementarse o reducirse la densidad de la malla.

El tamaño de la malla tiene un impacto importante en la memoria computacional requerida. Si los requerimientos de memoria son excesivos y es necesario adaptarlos a los recursos disponibles, la malla puede modificarse procurando preservar la parte correspondiente a las zonas donde existen fuentes.

El orden de cuadratura ( $S_N$ ) y la descripción de la dispersión angular con polinomios de Legendre ( $P_L$ ) pueden ser importantes dependiendo de las características del sistema. Unos valores adecuados para estos parámetros son  $S_8P_3$ .

La definición de la fuente adjunta depende del detector seleccionado. En caso de detectores puntuales la posición de la fuente adjunta coincide con la del detector puntual. En el caso de detectores volumétricos la fuente adjunta es una zona que rodea e incluye el volumen del detector. En el plano energético la fuente adjunta está definida por la distribución de los factores de conversión de flujo a dosis.

El cálculo de importancias se debe hacer con una librería en multigrupos de energía gruesos basada en la librería ENDF/B VII.1. La simulación con Monte Carlo se puede llevar a cabo con otra librería de grupos de energía más finos o, mejor, con una librería de secciones eficaces con representación continua en función de la energía. Las simulaciones realizadas con este último tipo de librerías necesitan más tiempo de computación, pero generan resultados más exactos.

Concluyendo, hay que procurar que el cálculo del flujo adjunto no sea innecesariamente costoso. Los requisitos de memoria y el tiempo de ejecución de un cálculo de Denovo dependen del tamaño de la malla, el número de grupos y el orden de

cuadratura; no obstante, cuanto mejor esté adaptada a la realidad la distribución de fuente y la de flujo adjunto, la simulación por Monte Carlo será más rápida y generará mejores resultados.

MAVRIC no tiene la opción de continuar un cálculo que haya concluido por haberse agotado el número de historias especificado o haber llegado al límite de tiempo establecido. Esta deficiencia se puede soslayar estableciendo inicialmente un número de historias o un tiempo de ejecución suficientemente grandes y efectuando un seguimiento sistemático de los resultados parciales obtenidos al final de cada paquete de historias. Así, cuando se considere que las magnitudes estadísticas de control (valores medios, incertidumbres, varianzas, etc.) han cumplido los criterios establecidos por MAVRIC, se puede parar la ejecución y aceptar como definitivos los resultados obtenidos en ese instante.

### Análisis de resultados

Los resultados de una ejecución son tasas de dosis en puntos o en volúmenes (regiones o mallas).

Si se ha seleccionado un detector volumétrico basado en una malla tridimensional MAVRIC genera unos ficheros binarios que pueden ser visualizados con las herramientas gráficas de las que dispone SCALE: *Mesh File Viewer* y *Fulcrum*. Las figuras 2 y 3 que mostraban la fuente sesgada y el mapa de importancias han sido obtenidas con estas herramientas.

La figura 5 muestra una distribución de la tasa de dosis en un almacén donde existen residuos radiactivos. Los colores en dicha figura son indicativos de la clasificación radiológica en el interior del edificio: morado para la zona de acceso libre, azul para la zona vigilada, verde para la zona controlada de permanencia libre, amarillo para la zona controlada de permanencia limitada y naranja para la zona controlada

de permanencia restringida.

Además de estas herramientas gráficas, MAVRIC suministra un amplio conjunto de utilidades que permite procesar la información contenida en los ficheros binarios con distribuciones tridimensionales de tasas de dosis.

El CSN ha desarrollado diversas utilidades complementarias que facilitan la realización de ciertas tareas habituales, como por ejemplo:

- La confección de mallas para el cálculo de importancias en sistemas que contienen estructuras repetitivas; por ejemplo, matrices de contenedores de un ATI.
- El análisis de tasas de dosis en diversas zonas de contenedores.
- La comparación de tasas de dosis entre distintas configuraciones de carga de un mismo contenedor.
- La generación de mapas radiológicos como el de la figura 5.
- La recopilación y combinación de tasas de dosis de detectores puntuales o volumétricos en cálculos independientes del mismo problema con distinta semilla para la generación de números aleatorios (método *poor man's parallel*).
- La generación de la geometría de un terreno abrupto; por ejemplo, el que puede rodear a un ATI.

### Conclusión

MAVRIC ha cumplido gran parte de las expectativas puestas por el CSN en él. A pesar de que todavía tiene alguna carencia, los cálculos de blindaje realizados con este programa han permitido al CSN realizar, con un alto grado de satisfacción, la evaluación de solicitudes de titulares de instalaciones nucleares y radiactivas, y verificar el cumplimiento de la normativa vigente en cuanto a límites en tasas de dosis, clasificaciones radiológicas de zonas y estimación de dosis operacionales a trabajadores. 



**Blas Cabrera:** *Blas Cabrera*  
**El embajador de la ciencia**

Uno de los testimonios gráficos más conocidos de la visita que Albert Einstein realizó a España, en marzo de 1923, es la fotografía que le muestra paseando por Madrid junto a uno de los científicos que hicieron las labores de anfitrión. Observando la imagen, no es difícil apreciar unas curiosas similitudes en el aspecto de ambos hombres: los sobretodos oscuros, recomendados para protegerse de esa primavera que en Madrid es siempre tardía (Einstein parece tomar

precauciones suplementarias llevando del brazo un segundo abrigo); los sombreros, las corbatas negras, los bigotes. Incluso el paso de ambos parece ir sincronizado, los dos con la pierna derecha adelantada, como si extremaran la precisión para mantenerse a la par mientras caminaban, para no perder el hilo de su conversación ante la fugaz interrupción del fotógrafo...

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

**P**ero los puntos comunes iban mucho más allá de la imagen; ambos fueron físicos excepcionales, ambos se conocían y admiraban mutuamente, y ambos se vieron obligados a concluir sus carreras –y sus vidas– lejos de su país natal. Porque si Einstein tuvo que emigrar a Estados Unidos para huir del nazismo, Blas Cabrera acabaría sus años exiliado en México, marcando en su biografía la paradoja de haberse convertido en un indeseable para el franquismo de una manera no demasiado diferente de cómo antes se había convertido en un personaje incómodo para el gobierno de la República. Ahí acaban las similitudes: la palabra Einstein es en todo el planeta sinónimo de genio, pero Blas Cabrera sigue siendo un nombre que apenas desperta un breve reconocimiento en sectores muy limitados del país que le vio nacer y le obligó a emigrar.

Aún con su trabajo ceñido a un campo tan particular como el paramagnetismo, Blas Cabrera logró serlo todo en la ciencia española. El físico estadounidense y premio Nobel John Hasbrouck van Vleck dejó escrito sobre él en 1978 que “en la historia del paramagnetismo, Blas Cabrera será recordado como el físico que hizo los experimentos adecuados en el momento adecuado. Y con el momento adecuado, me refiero al año 1925, que marcó el clímax del empirismo de la antigua teoría cuántica y los primeros años cruciales de la verdadera mecánica cuántica”. Blas Ca-

brera llevaba entonces treinta y tres años muerto, y no hay duda de que en todo ese tiempo nuevas generaciones de físicos notables habían surgido, proporcionando a Van Vleck un generoso muestrario a la hora de buscar ejemplos reseñables en su disciplina. Mucho de lo que se había descubierto desde entonces tuvo que ser revisado; pero buena parte del trabajo del español permanecía intacto como referencia.

el inventor, Blas Cabrera se sumergió en la política científica de su tiempo con el deslumbramiento de quien tiene ante sí la oportunidad soñada de modernizar una comunidad de conocimiento, una sociedad y un país.

El historiador científico José Manuel Sánchez Ron señala con puntería cómo la vocación científica de Blas Cabrera despertó en un terreno que parecía completamente yermo, ya que ni su entorno so-



La vocación científica de Cabrera surgió en el Café Suizo, donde acudía a la tertulia dirigida por Santiago Ramón y Cajal. A la derecha, durante la recepción de Alfonso XIII a Albert Einstein.

La carrera como investigador de Cabrera discurre paralela a su impulso incansable de la modernización radical que España necesitaba para sacudirse un atraso científico casi endémico. Compartió importancia y genio con su coetáneo Leonardo Torres Quevedo, pero, a diferencia del relativo distanciamiento de las instancias oficiales que siempre mantuvo

cial ni familiar ofrecían ninguna señal que pudiera guiarle hacia ese campo.

Nacido en 1878, primero de los siete hijos de un abogado y notario de la localidad lanzaroteña de Arrecife, el camino de su futuro parecía trazado sin posibles desvíos hacia la continuidad del oficio de su padre, y en efecto, con esa finalidad se trasladó en 1894 a Madrid para estudiar



Uno de los años trascendentes en la carrera de Blas Cabrera es 1928, cuando le nombran miembro del Comité Científico de la VI Conferencia Solvay (Bruselas), la reunión trianual que juntaba a las mentes más brillantes de la época: Schrödinger, Planck, Dirac, Lorentz, Rutherford, Heisenberg, Born... Su candidatura fue propuesta por Einstein y por Marie Curie.

Derecho. Pero una vez allí, poco le duró la vocación, y según él mismo reconoció, algo pudo tener que ver en su cambio de rumbo el que comenzara a frecuentar el Café Suizo, situado en la esquina de las calles de Alcalá y Sevilla, donde Santiago Ramón y Cajal dirigía una tertulia en la que la ciencia era el inevitable tema predominante de conversación. El caso es que, como escribió Sánchez Ron, “el abogado potencial se transmutó en científico” y en 1898 obtuvo la licenciatura en Ciencias Físico-Matemáticas por la Universidad Central de Madrid. Su entrada en el mundo científico, y concretamente en el campo de la Física, no pudo llegar en mejor momento, ya que en 1903 se crearía la Sociedad Española de Física y Química, destinada a ser uno de los organismos impulsores de una ciencia española todavía renqueante en exceso. Cabrera, que en 1901 había terminado con Premio Extraordinario su tesis doctoral *Sobre la variación diurna de la componen-*

*te horizontal del viento*, fue uno de sus socios fundadores y un prolífico publicista en *Anales*, la revista editada por la misma sociedad.

Cuando los avances españoles en Física comenzaron a tomar velocidad, Cabrera se situó de modo invariable en las posiciones de cabeza. Tras obtener, en 1905, su cátedra de Electricidad en la Universidad Central, regresó al año siguiente a Canarias para casarse con su

*Blas Cabrera sigue siendo un nombre que apenas despierta un breve reconocimiento en sectores muy limitados del país que le vio nacer y le obligó a emigrar*

compañera de estudios María Sánchez Real. Reinstalados en Madrid, los años siguientes serían una sucesión de cargos, honores y viajes: miembro de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales en 1910; director del Laboratorio de Investigaciones Físicas, creado específicamente para él por la Junta de Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas en 1911; y presidente de la Sociedad Española de Física y Química, que él mismo había contribuido a fundar en 1916.

Si atendemos a los recuerdos de Nicolás Cabrera Sánchez-Real, esta acumulación de puestos fue para su padre una plataforma desde la cual impulsar la puesta al día de la investigación española a través

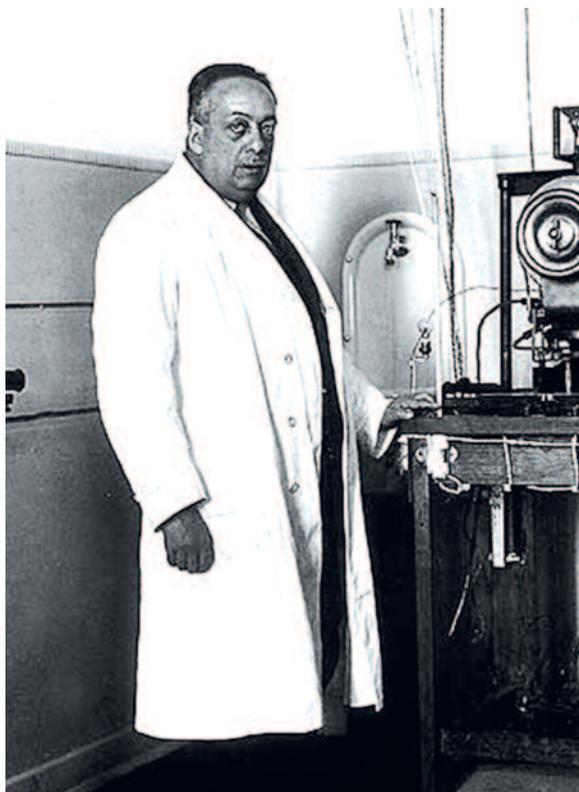
de la comunicación y el intercambio de especialistas con los principales centros europeos, una operación que coincidía con las ambiciones de la Junta de Ampliación de Estudios. Rosario Fernández Terán y Francisco González Redondo, en su exhaustivo trabajo sobre el científico, señalan que el Laboratorio de Investigaciones Físicas “concentraría la mayor parte de la investigación en Física y Química realizada en España en el primer tercio del siglo XX”, y que se dividiría en cuatro secciones –Electricidad y Magnetismo, dirigida por el propio Cabrera; Espectroscopia, a cargo de Ángel del Campo; Química-Física, comandada por Enrique Moles y Termología y Rayos X, con Julio Palacios al frente– “a medida que los profesores responsables regresaron de Europa para poner en marcha las técnicas y métodos aprendidos en Francia, Suiza, Alemania y Holanda”.

La anécdota de estas estancias en el extranjero es que también acabarían rediri-

giendo la carrera del propio Blas Cabrera. En 1912, él mismo solicitó a la Junta una pensión de cinco meses para visitar laboratorios y trabajar en el campo del magnetismo en Francia, Suiza y Alemania. Era consciente no solo de la necesidad de predicar con el ejemplo cuando fomentaba la necesidad de internacionalización de los investigadores, sino de que su creciente importancia en el marco científico español no le eximía de la obligación de moverse por otros centros de investigación más avanzados en los que pudiera aprender y aportar. Finalmente, los cinco meses solicitados se alargaron a nueve, y la proyectada estancia en tres países se concentró casi por completo en la Escuela Politécnica Federal de Zurich (ETH por sus siglas en alemán), donde el físico francés Pierre Weiss llevaba diez años establecido como profesor. Según

escribió su hijo Nicolás, la labor de los primeros años de trabajo de Cabrera había estado dividida en terrenos como la disociación electrolítica y las propiedades magnéticas de la materia, pero, tras su estancia en el laboratorio de Weiss, “se centraron sobre todo en el estudio de sustancias levemente magnéticas”.

Cofundador de los principios modernos del magnetismo, Weiss era en este campo el punto de referencia obligatorio. Tras un comienzo algo titubeante –Cabrera se presentó en su laboratorio casi de sopetón, sin haber realizado ninguna gestión previa– se iniciaría un intercambio de conocimientos entre ambos científicos que evolucionaría a una duradera amistad. Weiss no tuvo reparo en reconocer en numerosas ocasiones la importante labor del laboratorio de Cabrera en Madrid, ni de señalar que de sus muros salieron 24 publicaciones del total de 180 con que contaba la biblioteca de su Escuela. No es de extrañar, si se considera



Durante el inicio de los años 20 del siglo pasado, Blas Cabrera vivió la Edad de Plata de la ciencia española.

la abundante producción científica de Cabrera, que publicó más de 110 trabajos entre 1912 y 1934. La fidelidad de Weiss pudo deberse en parte a la apuesta de Cabrera por la constante física sobre el momento magnético de los electrones, desarrollada por él y conocida como Magnetón de Weiss, que finalmente sería superada por el Magnetón de Bohr; pero el español estuvo mucho más acertado

*La carrera como investigador de Cabrera discurre paralela a su impulso incansable de la modernización radical que España necesitaba para sacudirse un atraso científico casi endémico*

en sus trabajos sobre las medidas de susceptibilidades atómicas de las tierras raras, que le situarían como uno de los físicos más importantes de la Europa de su tiempo.

### La Edad de Plata en la ciencia

En los años siguientes, Cabrera viajó por Europa y Sudamérica donde pronunció conferencias y recogió títulos honorarios –doctor *honoris causa*, profesor honorario, académico– al tiempo que ampliaba su red de contactos entre los coetáneos más brillantes de diversas especialidades. En 1921 llegó su nombramiento como miembro del Comité Internacional de Pesas y Medidas, en París. Había sido también uno de los primeros físicos europeos en defender del escepticismo inicial la Teoría de la Relatividad de Einstein, por lo que era lógico que en 1923 actuara como anfitrión de su colega y amigo durante sus días en España. Aquella visita fue el culmen de lo que se llamó la Edad de Plata de la ciencia española, donde esta parecía encaminada por fin a sacudirse unas telarañas que habían lastrado su marcha durante demasiado tiempo. El propio Einstein lo había expresado en su discurso de respuesta a Cabrera en la Academia de Ciencias: “creo que la mortificada y amenazada Europa puede volver los ojos llena de esperanza hacia este pueblo que se encamina al trabajo científico, después de haber producido para la humanidad cosas tan grandes en la esfera del arte”.

Einstein no fue el único en creerlo así: España estaba dejando de pasar desapercibida en la esfera científica mundial y las líneas de trabajo de sus laboratorios eran seguidas con interés por científicos de otros países y otros continentes. Un desarrollo que en 1926 recibió el apoyo de la Educational Board de la Fundación



Blas Cabrera con Marie Curie el día de la conferencia que ésta pronunció en la Residencia de Estudiantes acerca de 'La radioactividad y la evolución de la ciencia', en 1931.

Rockefeller con una donación destinada a una nueva sede para el Laboratorio de Investigaciones Físicas; al tiempo que en los años siguientes el edificio iba tomando cuerpo, de forma paralela se cimentaba la carrera internacional de su director. 1928 fue sin duda su año dorado: en primer lugar, fue elegido miembro de la Academia de Ciencias de París con el patrocinio de los físicos especializados Paul Langevin y Maurice de Broglie; pero incluso ese logro palideció al lado de su inclusión en el comité científico de la VI Conferencia Solvay, encuentros reservados a las mentes científicas más excepcionales del momento. El tema de esta sexta

edición serían 'Las Propiedades Magnéticas de la Materia' y la entrada de Cabrera se produciría con todos los honores: se incorporó junto con Niels Bohr y gracias al patrocinio de Einstein y Curie.

El edificio Rockefeller –prontamente abreviado como 'Roque'– se inauguró en 1932; en 1933 Cabrera contribuyó a fundar la Universidad Internacional de Verano de Santander, de la que sería nombrado rector en 1934 y, ese mismo año, fue nombrado presidente de la Academia de Ciencias de Madrid. En 1936 entró en la Real Academia de la Lengua en sustitución de Ramón y Cajal, precisamente el maestro que despertó su vocación en aquellas tertulias en el Café Suizo que no evitó recordar en su discurso de ingreso. Tuvo palabras también para la Junta de Ampliación de Estudios (JAE) y la labor desarrollada a lo largo de 25 años, poniendo las ciencias físicas como el mejor ejemplo de su eficacia “comparando nuestra ausencia casi absoluta en su historia anterior al siglo actual, con la producción de estos días”. En su discurso se comprometió ante la RAE a “corresponder a vuestra distinción con la máxima



La calidad de los trabajos del equipo de Cabrera, que llegó a publicar alrededor de 150 investigaciones, era reconocida por los máximos expertos en magnetismo de la época.

eficacia de que sea capaz”. No iba a tener oportunidad de hacerlo.

El golpe de Estado del 18 de julio cogió a Cabrera en Madrid, pero dos días después estaba de regreso en Santander con la intención inicial de continuar con su actividad rectora, ajena en la medida de lo posible a una virulencia creciente, consecuencia de la transmutación del intento de golpe en guerra civil. Pero, al igual que otros muchos, estaba ya clasificado en un colectivo acertadamente descrito por Luis Enrique Otero Carvajal: “la polarización ideológica acentuada con el estallido de la guerra civil colocó en tierra de nadie a una parte significativa de los miembros de la JAE y sus instituciones dependientes. Desbordados por el enfrentamiento civil y apegados a la tradición liberal, regeneracionista o institucionalista del que procedían, encontraron difícil acomodo en el espacio ideológico del bando republicano, mientras les quedaba vedado, precisamente por su liberalismo, la acogida o el encuentro con los partidarios del bando nacional”.

En el caso de Cabrera, no abandonó del todo sus compromisos con el gobierno, al que representó en los congresos científicos celebrados en 1937 con motivo de la Exposición Internacional de París, donde se expuso por primera vez el Guernica de Picasso. Pero ya antes de eso, según han escrito Terán y Redondo, había tenido ocasión de catar el creciente y agresivo extremismo que iba permeando los muros de la Universidad, “y es que la situación de un colectivo de señoritos burgueses que seguían dedicados a sus ocupaciones intelectuales en un Santander donde los milicianos habían dominado la rebelión militar no dejaba de ser cuanto menos «extraña»”. Terminado el periodo lectivo sin incidentes de mayor cuantía gracias a sus esfuerzos por mantener a las patrullas de milicianos apartadas del palacio de la Magdalena, Cabrera viajó, con no pocas dificultades, a Ma-

drid, donde se encontró con una situación similar, con amigos y colegas como José Castillejo –secretario de la JAE y hombre clave en la obtención de los fondos de la Rockefeller– señalado como objetivos por los anarquistas y librándose por poco de ser paseados. Al año siguiente, pretextando una reunión del Comité de Pesas y Medidas, viajaría a París para no regresar jamás.

### Guerra y exilio

Durante los años restantes de la guerra, intentaría mantener una equidistancia que terminaría pasándole factura por ambos lados. Estableció el Colegio de España de París como su residencia, haciendo oídos sordos a los requerimientos del Gobierno para presentarse, primero en Madrid y, posteriormente, en Valencia, e iniciar los trámites de reincorporación a sus cargos. Como consecuencia, perdió primero su sueldo de catedrático y su derecho a alojamiento en el Colegio y, pocos meses después, la cátedra misma, dentro de una acción punitiva hacia determinados profesores –entre ellos, José Ortega y Gasset, Américo Castro o Claudio Sánchez Albornoz– por haber “faltado abiertamente al cumplimiento de sus deberes más elementales, desoyendo el llamamiento del Gobierno”. Sólo le quedaba esperar la resolución de la contienda, mientras vivía de su sueldo del Comité de Pesas y Medidas. Pero ya antes del fin de la Guerra Civil comprobó que se había hecho merecedor de la atención depuradora del otro bando, que en 1939 le desposeyó igualmente de su Cátedra “por su pertinaz política antiespañola en los tiempos precedentes al Glorioso Movimiento Nacional”. Todavía mantuvo una insistente lucha epistolar, escribiendo cartas y suplicatorios a embajadores y autoridades de la dictadura, solo para encontrarse, no ya con impenetrables negativas, sino con un

## El legado de la familia Cabrera

La muerte de Cabrera en los primeros años del franquismo pudo tener algo que ver en la difuminación de su nombre en comparación con otros intelectuales de la época, como Castro, Ortega o Marañón, que consiguieron sobreponerse a unos años iniciales de marginación y olvido. El legado de Blas Cabrera se ha venido recuperando en los últimos años con trabajos biográficos y académicos, con su nombre bautizando calles, institutos, con reediciones de sus libros... Una recuperación lenta, pero constante, de su papel en los años más vitales de la ciencia española.

Sin embargo, la importancia de todo ello es relativa al lado de su legado familiar, extendido a su hijo Nicolás y su nieto Blas. El primero (1913-1989) compartió el exilio de su padre, interrumpiendo por la guerra civil su carrera de Ciencias Físicas, que terminaría en París. Su carrera profesional discurriría por Francia, Reino Unido y Estados Unidos,



donde dirigió el Departamento de Física de la Universidad de Virginia. Regresaría a España en 1968 y aquí desarrollaría el resto de su carrera profesional.

Blas Cabrera Navarro, nacido en París en 1942, ha desarrollado todo su trabajo como Catedrático de Física en la Universidad californiana de Stanford. Y no puede impedirse notar un regusto amargo cuando se piensa que una persona con un apellido fundamental para la ciencia española no visitara el país de sus ancestros hasta 1985. Si añadimos a estos nombres el de Juan Cabrera, hermano de Blas, que fue Catedrático de Electricidad de Magnetismo de la Universidad de Zaragoza y, posteriormente, rector de la misma, cabe preguntarse cuántas vocaciones científicas se aguardaban escondidas en el seno de aquella familia, quizá amorzadas por el peso de las tradiciones y la abogacía.

mayor ensañamiento que, en 1941, conseguiría que le expulsaran del Comité Internacional de Pesas y Medidas.

Solo quedaba el exilio definitivo y en un lugar más remoto y seguro que la Francia ocupada. México le dispensó la misma acogida que a docenas de científicos y profesores españoles, que en las décadas siguientes realizarían una notable aportación al tejido cultural del país. No fue ese el caso de Cabrera, ya envejecido, enfermo y con sus años de investigación más activos muy detrás de él. Con todo, reanudó su actividad docente, como pro-

fesor de Física Atómica y de Historia de la Física esta vez en la Universidad Nacional Autónoma de México, y en 1944 sucedió a Ignacio Bolívar en la dirección de la revista *Ciencia*, donde ya había publicado varios artículos y que daba refugio editorial a los científicos españoles exiliados. Fue todo un esfuerzo de voluntad frente al parkinson que arrastraba desde hacía años y que acabaría con él en agosto de 1945. Uno de los hombres que más había luchado por llevar a España al nuevo siglo dejó de tener sitio en su país cuando la propia España se partió en dos. 

# Recombinadores autocatalíticos pasivos para la eliminación de gases combustibles en accidentes severos

■ Texto **Juan Manuel Martín-Valdepeñas Yagüe** | Área de Análisis Probabilista de Seguridad | **Santiago Aleza Enciso** | Jefe de Área de Ingeniería de Sistemas | ■

Como consecuencia de las pruebas de resistencia europeas tras el accidente en la central nuclear de Fukushima Daiichi, las centrales nucleares españolas han abordado la implantación de diversas modificaciones para hacer frente a los accidentes severos. Una de las amenazas a la integridad de la contención es la combinación con el oxígeno de los gases combustibles (hidrógeno y monóxido de carbono) generados durante el accidente; con elevadas concentraciones de estos gases la combustión puede generar grandes cantidades de energía y un aumento muy significativo de la presión de la contención.

Por ello, en caso de accidente severo es importante disponer de medios para la gestión de los gases combustibles. Entre ellos, se puede citar los siguientes: homogeneización de la atmósfera de la contención, para evitar altas concentraciones locales; inertización de la atmósfera de la contención, incrementando la concentración de gases inhibidores de la reacción, como son el nitrógeno o el vapor de agua; o eliminación de gases combustibles, a través del venteo de la contención o de la acción de componentes que los recombinen o quemen de una manera gradual.

Existen diferentes componentes y tecnologías para la recombinación o quemado de gases combustibles. Una característica importante de la mayoría de este tipo de componentes consiste en la dependencia

de sistemas de soporte eléctricos. Sin embargo, los recombinadores autocatalíticos pasivos (*Passive Autocatalytic Recombiners* o PAR), tienen la gran ventaja, a diferencia de otros componentes para la recombinación o ignición de gases combustibles, de no necesitar ningún sistema soporte.

El principio de funcionamiento de los PAR consiste en la oxidación del gas

*Las centrales nucleares españolas (a excepción de Trillo, que los instaló en 2002) han instalado recientemente los PAR en sus contenciones*

combustible con oxígeno, utilizando metales nobles como catalizadores. El material catalítico suele ser paladio o platino, que se dispone de dos formas diferentes en los dispositivos comerciales: cubriendo unos gránulos esféricos de material cerámico dispuestos en lechos o recubriendo placas planas de acero inoxidable dispuestas en paralelo. En ambos casos, estos materiales se sitúan en la parte inferior de un canal que facilita la entrada del gas por medio de un efecto chimenea.

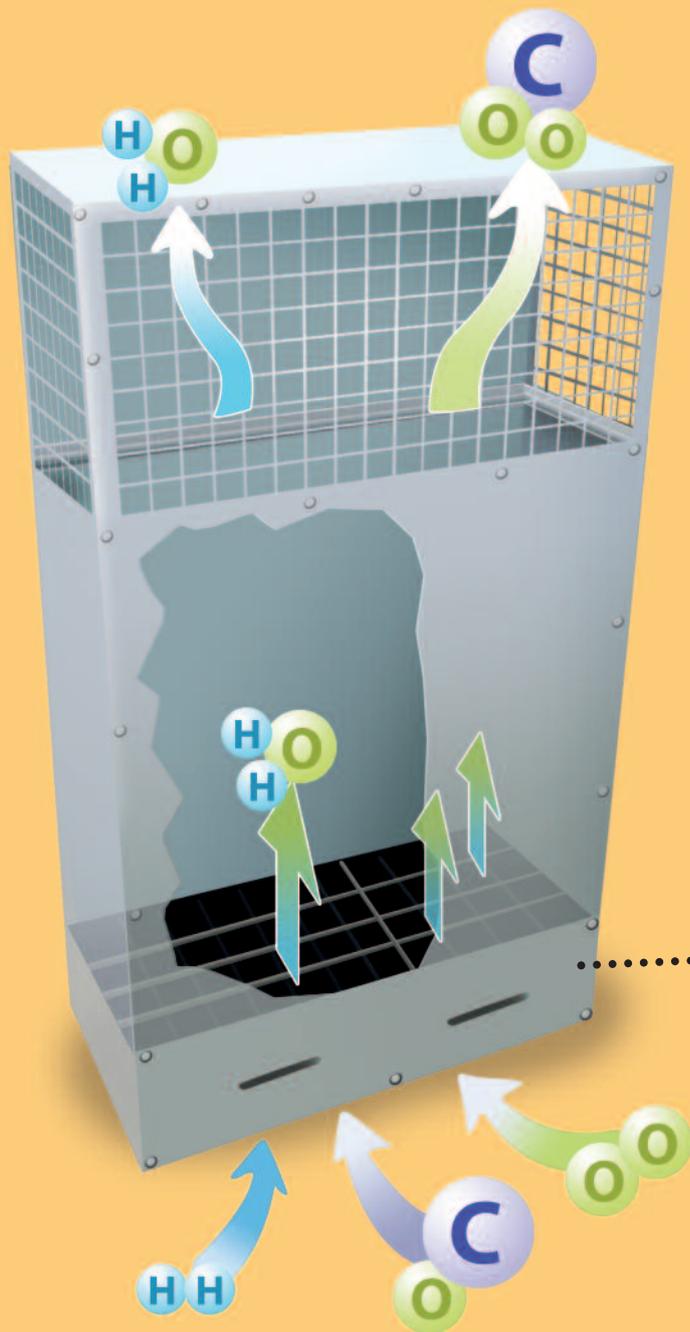
En cuanto a su capacidad de recombi-

nación, los PAR presentan una elevada eficiencia desde bajas concentraciones, iniciándose la recombinación en torno al 1%, es decir, por debajo del límite de inflamabilidad, y su ubicación en la contención se determina teniendo en cuenta también la minimización del riesgo de que actúen como fuentes de ignición, lo cual podría ocurrir a concentraciones de gases combustibles relativamente altas.

Para determinar el número de PAR es necesario llevar a cabo cálculos con códigos de accidentes severos, con el fin de obtener la evolución de la generación de gases combustibles; con este dato de entrada, el siguiente paso es analizar el transporte de dichos gases en la atmósfera de la contención; finalmente, con la distribución de gases combustibles se determina la ubicación y capacidad óptima de los PAR para evitar que se superen concentraciones de gases combustibles que pudieran amenazar la integridad de la contención.

Las centrales nucleares españolas (a excepción de la central nuclear de Trillo, que los instaló en 2002) han instalado recientemente los PAR en sus contenciones. La instalación de PAR se ha impuesto como una de las soluciones más comunes en las centrales nucleares de todo el mundo; con ellos, se reduce significativamente el riesgo asociado a los gases combustibles en accidentes severos contribuyendo a la gestión de estos gases de forma pasiva. 

# Principios de funcionamiento de un PAR



Los PAR están constituidos por una estructura de acero inoxidable que dispone en su interior de placas catalíticas para realizar la recombinaación del hidrógeno. La estructura es abierta, no presurizada y está diseñada para promover la convección natural, con una entrada de gas por la parte inferior y una salida lateral por la parte superior.

## Ventajas del PAR

- ✓ Auto inicio
- ✓ No depende de una fuente de alimentación extra
- ✓ Se puede colocar en cualquier lugar de contención
- ✓ Sin acumulación de presión
- ✓ Acceso libre a toda el área de contención. No requiere soporte vital para el personal que trabaja durante el funcionamiento / mantenimiento regular de la planta.

**Hidrógeno removido (aire, vapor, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> y CO)**



**Hidrógeno mezclado (aire, H<sub>2</sub>, CO)**

## Datos generales de diseño de un PAR

Material principal de la estructura	Acero inoxidable
Material base de las placas catalíticas	Acero inoxidable resistente a altas temperaturas
Catalizadores	Platino / Paladio
Medio	Aire, mezcla gas-vapor, H <sub>2</sub> , CO, aerosoles, gases nobles
Tipo	FR1-1500T
Tasa de eliminación de hidrógeno	5,36 kg/h
Número de placas catalíticas	150
Dimensiones de las placas	140 x 290 mm
Dimensiones de la estructura	1550 x 1400 x 326 mm
Peso total	130 kg

## Funcionamiento del PAR

Los PAR constituyen un sistema completamente pasivo. Su única función es la eliminación de gases combustibles liberados a la contención en caso de un accidente severo. Por tanto, su instalación no tiene ningún efecto en la operación normal de la central.

En caso de accidente, el proceso catalítico se pone en marcha automáticamente cuando la concentración de hidrógeno alcanza el 2% y la temperatura alcanza 50°C.



La Agencia Espacial de Estados Unidos (NASA) ha retrasado hasta el 30 de marzo de 2021 el lanzamiento del potente telescopio espacial James Webb (JWST), considerado como el sucesor del Hubble y cuyo viaje ya había sido pospuesto en otras ocasiones. (Credito: NASA).

El nuevo telescopio espacial captará la luz de las primeras galaxias y estrellas del Universo

## ‘James Webb’ prepara su viaje para suceder al ‘Hubble’

El observatorio *James Webb*, tras varios retrasos y un sobrecoste descomunal, entra por fin en la recta final de pruebas y ensayos para ser lanzado en marzo de 2021. El objetivo prioritario de la nueva máquina científica que prepara la Agencia

Espacial de los Estados Unidos (NASA) es captar la luz de las primeras galaxias y estrellas que se formaron en el Universo y recoger el testigo del ya veterano telescopio espacial ‘Hubble’.

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

**L**a luz de las primeras galaxias y estrellas que se formaron en el Universo y que lleva viajando unos

13.600 millones de años, será captada por primera vez con un telescopio. Es el objetivo prioritario de la nueva máquina científica

que ultima la NASA, con la colaboración de la Agencia Europea del Espacio (ESA, por sus siglas en inglés) y la Agencia

Espacial Canadiense (CSA, por sus siglas en inglés), para recoger el testigo del mundialmente famoso y ya veterano telescopio espacial *Hubble*. No en vano el proyecto arrancó como NGST (Telescopio Espacial de Nueva Generación, por sus siglas en inglés), hasta que fue bautizado con el nombre del segundo director de la NASA, James Webb, una figura clave en el programa lunar *Apollo*.

“El proyecto Webb es la mayor prioridad del Directorado de Ciencia de la Agencia [NASA] y el mayor proyecto internacional de ciencia espacial en la historia de Estados Unidos”, recalcó este año Robert Lightfoot, entonces director general en funciones de la agencia espacial estadounidense. El *Hubble* reescribió los libros de astronomía y el *James Webb* los va a reescribir de nuevo”, afirma Bill Ochs, jefe del programa del nuevo telescopio.

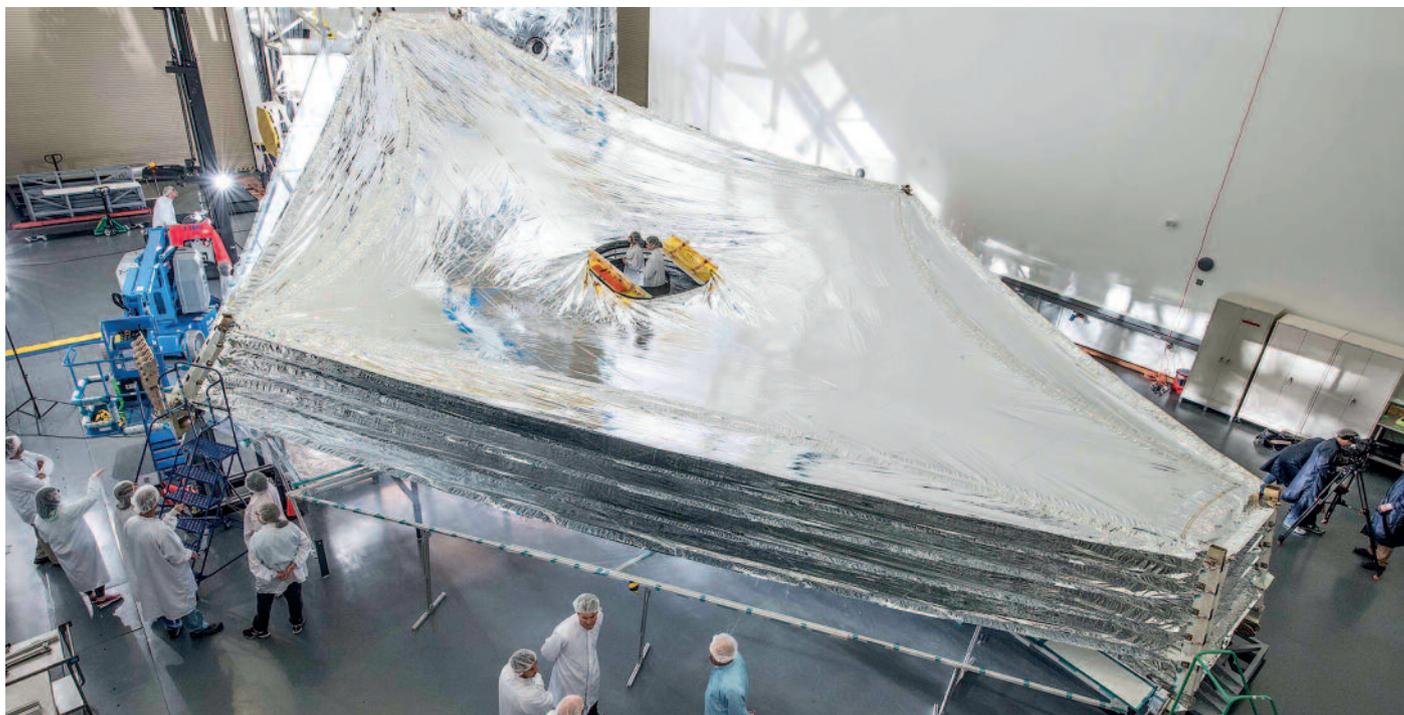
“El JWST (James Webb Space Telescope) será el experimento científico más complejo que jamás se haya lanzado al espacio”, afirma Amaya Moro-Martín, as-

trónoma del Instituto Científico del Telescopio Espacial (en Baltimore, EE. UU.), que gestiona el *Hubble* y que se encargará también del *James Webb*. Como el veterano observatorio en órbita puede que siga operando hasta 2025 y el *Webb* tendrá una vida útil de cinco a diez años a partir del lanzamiento, explica esta científica, “las operaciones de ambos probablemente se solaparán”, añade Moro-Martín.

El enorme proyecto, todo un reto tecnológico, lleva ya más de una década de retraso sobre los planes iniciales y un sobrecoste que ha multiplicado por 17 su presupuesto original, al pasar de 500 millones de dólares a los actuales 8.800 millones, y creciendo. Pero, finalmente, parece que se acerca la hora de la verdad, el lanzamiento al espacio para empezar a tomar datos del cielo: si todo se encarrila bien y las múltiples pruebas a las que debe someterse en la recta final son satisfactorias, el *Webb* partirá en marzo de 2021 para situarse a 1,5 millones de kilómetros de la Tierra y empezar a enviar imágenes del Universo ese mismo año.

Se considera heredero del *Hubble* por el impacto determinante que se espera que tenga en la astronomía, aunque no faltan especialistas que prefieren considerarlo “complementario”. Son dos telescopios muy diferentes. Empezando por el tamaño: el veterano observatorio tiene un espejo principal de 2,4 metros de diámetro; el del *Webb*, formado por 18 espejos hexagonales que se desplegarán ya en el espacio y se alinearán para formar una superficie única, mide 6,5 metros de diámetro, lo que proporciona un área para captar la luz de las estrellas de 25 metros cuadrados.

El JWST ni siquiera parece un telescopio, no es un cilindro como el *Hubble*. El rasgo más distintivo de su forma será un toldo del tamaño de una pista de tenis que, protegiendo los equipos del calor del Sol, la Tierra y la Luna, mantendrá el observatorio a 223 grados centígrados bajo cero, algo indispensable para un telescopio que funcionará en infrarrojo. Este toldo ha sido, y sigue siendo, un quebradero de cabeza para los ingenie-



Los fallos detectados en el ensamblaje de algunas piezas del telescopio han determinado que la Junta de Revisión Independiente (IRB), un comité que se encarga de garantizar la viabilidad de las misiones de la agencia espacial, haya retrasado de nuevo el lanzamiento del telescopio espacial. (Credito: NASA).

ros. Y uno de los motivos del último retraso del proyecto. Los problemas surgidos en los ensayos de despliegue de las cinco capas que forman el toldo e, incluso, el desgarro de una de dichas capas, significa trabajo extra para los ingenieros. Además, se han producido fallos de última hora en unas válvulas de los propulsores.

### Un nuevo cambio de fecha

El vértigo para los responsables del proyecto y para los astrónomos es que ese retraso puede significar un nuevo aumento del presupuesto, que el Congreso de EEUU, en 2011, limitó a 8.000 millones de dólares y que ya está superado. El plan inicial era lanzar al espacio el *Webb* en 2007, pero los ingenieros fueron encontrando dificultades en su desarrollo, algo con lo que hay que contar cuando se trabaja al límite de la tecnología aunque, en este caso, han sido colosales, y se fue retrasando hasta fijar la puesta en órbita en

2017, fecha que luego pasó a octubre de 2018, a 2020 y, ahora, a 2021. “Teniendo en cuenta la inversión que la NASA y nuestros socios internacionales han hecho, queremos actuar sistemáticamente

*El Webb partirá en marzo de 2021, para situarse a 1,5 millones de kilómetros de la Tierra y empezar a enviar imágenes del Universo ese mismo año*

en los últimos test, con el tiempo añadido necesario, para el lanzamiento en mayo de 2020”, comentaba Thomas Zurbuchen, director adjunto del Directorado de Ciencia de la agencia espacial estadouni-

dense, antes de que se confirmase, a principios de julio de este año, el nuevo cambio de fecha del lanzamiento a marzo de 2021. La NASA ha anunciado esta decisión después de recibir un informe de la Junta de Revisión Independiente (IRB), un comité que se encarga de garantizar la viabilidad de las misiones de la agencia espacial, en el que se indicaban fallos humanos en el ensamblaje de algunas piezas del telescopio.

“El *Webb* no está diseñado para ver el principio del Universo, sino para observar un periodo de la historia del cosmos que todavía no hemos visto”, explica John C. Mather, responsable científico del proyecto. “En concreto, queremos ver los primeros objetos que se formaron cuando el Universo se enfrió después del Big Bang”, añade. “No sabemos cuando el Universo, exactamente, produjo las primeras estrellas y galaxias, ni cómo. Para buscar respuestas a esas incógnitas hemos construido el *Webb*”, subraya Mather.

**El Buscador de Estrellas**  
El James Webb tendrá un alcance de 1,5 millones de kilómetros, lo que le permitirá revolucionar la astronomía moderna gracias a su capacidad para estudiar el infrarrojo medio y lejano con su espejo primario plegable de 6,5 metros de diámetro.

**Espejo secundario**

**Módulo de instrumental científico**  
Alberga cámaras y sensores.

**Espejo primario**

**James Webb espejo primario** 6,5 m.

**Hubble espejo primario** 2,4 m.

**Cinco capas de protectores solares**

**Alerones de navegación**

**Matriz de energía solar**  
Siempre apuntando al sol

**¿Hasta dónde alcanza el telescopio?**

**Hubble** 568 km.

**Luna** 384.400 km.

**Telescopio espacial James Webb** 1.496.690 km.

(Los elementos no están a escala) Fuente: NASA, webbtelescope.org

## ‘Hubble’, un telescopio de leyenda

El 24 de abril de 1990, cuando el telescopio espacial *Hubble*, salió al espacio desde la bodega del transbordador *Discovery* todos los científicos vieron por fin cumplirse un sueño que había tardado 20 años en hacerse realidad. Un gran observatorio situado en órbita, más allá de la atmósfera terrestre que distorsiona la luz de los astros que llega a la superficie del planeta y que tenía todo el potencial para revolucionar la astronomía.

Su primer objetivo fue determinar la edad del Universo. Pero el *Hubble*, de la NASA y con la colaboración de la Agencia Europea del Espacio (ESA), estaba concebido para abordar prácticamente cualquier campo de investigación en el cielo. Y ha cumplido las expectativas, superándolas con mucho, pero no sin una turbulenta historia de fracasos al principio y éxitos rotundos después tanto en la ciencia como en la ingeniería (ha superado con mucho su vida útil). Además, la fascinación que producen sus espectaculares imágenes entre millones de personas que jamás antes habían visto el cielo como el *Hubble* lo muestra, ha contribuido como tal vez ninguna máquina científica antes a la popularidad de la astronomía.

La euforia del lanzamiento duró poco. Al poco de situarse en órbita y enviar las primeras fotos, se descubrió que algo iba mal, muy mal: las imágenes estaban borrosas. El espejo (de 2,4 metros de diámetro) no tenía la forma perfecta prevista, no se habían hecho todas las comprobaciones necesarias antes del lanzamiento y en órbita no se podía cambiar.

Pero, lejos de tirar la toalla, los expertos decidieron darle una nueva oportunidad al querido y costoso telescopio (unos 1.500 millones de dólares de 1990, unos 2.870 millones de dólares de 2017, según Space.com). Como el *Hubble*, un artefacto espacial de casi 11 toneladas y el tamaño de un autobús, había sido concebido para estar al alcance de los transbordadores espaciales de la NASA y sus astronautas, se diseñó un dispositivo de corrección óptica (COSTAR) y una nueva cámara con unos pequeños espejos añadidos para



El telescopio espacial *Hubble* amarrado en la bodega del transbordador *Endeavour* durante la primera misión de reparación del observatorio en órbita, en 1993, con los astronautas Story Musgrave y Jeffrey Hoffman trabajando en el exterior de la nave.

compensar la aberración esférica que sufría el espejo principal. En 1993, siete astronautas viajaron en el transbordador *Endeavour*, capturaron el *Hubble* en órbita, lo amarraron en la bodega de la nave, efectuaron varios paseos espaciales para hacer las reparaciones y volvieron a soltarlo. Por fin, el 13 de enero de 1994 llegaron las primeras imágenes del *Hubble* reparado. Eran estupendas y con la altísima resolución que se esperaba.

El alivio de la comunidad científica fue tan inmenso como el trabajo que entonces comenzó en serio. Con los datos que tomaron, los astrónomos lograron determinar la edad del universo entre 13.000 millones y 14.000 millones de años (telescopios posteriores han permitido afinar esa edad en 13.799 millones de años).

Desde planetas de nuestro Sistema Solar, planetas en órbita de otras estrellas, hasta galaxias primitivas, agujeros negros, zonas de formación estelar, estudios de evolución galáctica... prácticamente no hay rincones del cielo al alcance de la luz visible que no haya explorado. Los descubrimientos en todos los campos se cuentan por centenares.

El *Hubble*, en órbita a unos 500 kilómetros de la superficie terrestre y dando una vuelta completa al planeta cada hora y media, envía 120 gigabytes de datos cada semana. Y lejos de estar ya obsoleto, sigue siendo muy útil para la ciencia. El año pasado, ya con 27 años, el *Hubble* descubrió la estratosfera de un exoplaneta gigante, vio galaxias ultrabrillantes y observó el cometa activo más lejano que se conoce.

Tras la primera misión de reparación del *Hubble*, se realizaron otras cuatro en las que los astronautas cambiaron cámaras, arreglaron dispositivos estropeados o deteriorados, renovaron ordenadores y equipos varios. La última fue en mayo de 2009. No se sabe cuanto tiempo seguirá funcionando en órbita, pero no se descarta que dure hasta 2020 o 2025. Un día se apagará, pero el *Hubble* permanecerá en la historia de la ciencia como un hito por su inmensa contribución a la astronomía. Es ya un telescopio de leyenda. ▸

Como el Universo esta expandiéndose desde el Big Bang, mirar más y más lejos en el cosmos significa mirar más y más atrás en el tiempo. Y en ese Universo en expansión, la longitud de onda de la luz emitida por estrellas y galaxias remotas se estira, de forma que lo que sería radiación ultravioleta o luz visible en su origen nos llega a la Tierra desplazada al rango de infrarrojo; por eso el *Webb* está dise-

ñado y optimizado para esa longitud de onda (en concreto, entre 0,6 y 28). “Para ver esos objetos de luz tan débil, el *Webb* tiene que ser capaz de detectar objetos que son 10.000 millones de veces más apagados que las estrellas de luz más débil que se aprecian sin un telescopio”, destacan los expertos de la NASA.

Pero en infrarrojo se ven muchos más objetos y fenómenos del cielo. Por ejem-

plo, las zonas de formación estelar dentro de densas nubes de polvo resultan opacas para los telescopios de luz visible, pero transparente para los de infrarrojo. Este es otro de los objetivos primordiales del futuro telescopio espacial. Observar el nacimiento de estrellas y de planetas es otros de los grandes objetivos. También permitirá investigar la evolución de las galaxias desde su formación hasta el presente. Otro reto a su alcance será determinar propiedades físicas y químicas de sistemas planetarios extrasolares e incluso ver directamente planetas grandes en órbita de otras estrellas.

### Instrumental muy sofisticado

El JWST incorporará cuatro instrumentos científicos. La cámara de Infrarrojo Cercano (NIRCam) detectará la luz de las primeras estrellas y galaxias en proceso de formación, las poblaciones de estrellas en galaxias cercanas y las estrellas jóvenes en la Vía Láctea. El Espectrógrafo de Infrarrojo Cercano (NIRSpec) permitirá analizar la luz de objetos celestes para conocer sus propiedades físicas, como la temperatura, la masa y la composición química. El NIRSpec está diseñado para observar cien objetos celestes simultáneamente. MIRI (Mid-Infrared Instrument) es a la vez cámara y espectrógrafo y permitirá ver galaxias lejanas, estrellas recién formadas, cometas y cuerpos del cinturón de Kuiper en nuestro Sistema Solar. Por último, el FGS/NIRISS ayudará a apuntar el *Webb* con precisión para obtener imágenes de alta calidad, pero también servirá para detectar planetas extrasolares y caracterizarlos.

De momento, se han marcado ya los primeros objetivos científicos del *Webb*: examinar Júpiter y sus lunas; buscar moléculas orgánicas alrededor de estrellas jóvenes; estimar la masa de superagujeros negros que están en el centro de galaxias, y buscar galaxias infantiles en el universo primitivo.



Según la NASA, el telescopio 'James Webb' está a la vanguardia de la innovación y el desarrollo tecnológico y es una hazaña de ingeniería sin precedentes. (Credito: NASA).

Muchos de los objetivos del *Webb* no lo serán en exclusiva. Otros telescopios, en tierra y en el espacio, permitirán complementar las observaciones. El primero de la lista es el futuro telescopio gigante ELT, el mayor en preparación actualmente, que el Observatorio Europeo Austral (ESO) está construyendo para su instalación en Chile. “El *JWST* y el ELT son dos herramientas complementarias para abordar retos parecidos”, explica el director general del ESO, Xavier Barcons. “Ambos telescopios están pensados y optimizados para recibir luz infrarroja. Eso permite observar zonas de formación de estrellas y planetas así como las primeras galaxias que se iluminaron en la historia del Universo. Con sus casi 40 metros de diámetro, el ELT recogerá mucha más luz que el *JWST*, cuyo diámetro es de 6,5 metros. Pero en tierra tenemos la desventaja de que todo emite luz infrarroja, por lo que cuesta más detectar objetos débiles”, continúa Barcons. Y añade: “Afortunadamente hemos aprendido a corregir el efecto nocivo de parte de las turbulencias atmosféricas en las imágenes tomadas desde tierra, con una técnica llamada óptica adaptativa. Así que la calidad de las imágenes obtenidas por el ELT y por el *JWST* será parecida. Combinando uno y otro los avances serán espectaculares.

“El *JWST* será el siguiente de la serie de los grandes observatorios de la NASA, constituida por los telescopios espaciales *Chandra*, *Compton*, *Hubble* y *Spitzer*; se espera que tenga una resolución angular similar o algo mejor que la del *Hubble*, pero en las longitudes de onda del infrarrojo mediano y cercano, exploradas por el *Spitzer* y superando concretes la resolución angular de este último”, explica Moro-Martín. En cuanto a la sensibilidad, continúa, “con su gran apertura de 6,5 metros de diámetro, el *Webb* tendrá unas ocho veces más capacidad de captar luz que el *Hubble* (2,4 metros de diámetro) y 64 veces más que el *Spitzer* (85 cen-



John Mather, astrofísico y cosmólogo norteamericano, Premio Nobel de Física en 2006, forma parte del equipo científico de la misión ‘James Webb’. (Crédito: NASA).

tímetros)”. Se trata, por lo tanto, de lo mejor de los dos mundos: una resolución como la del *Hubble*, a las longitudes de onda del *Spitzer*, pero extraordinariamente más poderoso que ambos”.

*El nuevo telescopio espacial operará a 1,5 millones de kilómetros de nosotros, en un punto de equilibrio gravitacional respecto al Sol y la Tierra*

Aunque 6,5 metros no es un diámetro muy notable para un telescopio actual (funcionan desde hace años, en tierra, los del rango 8-10 metros), colocar en órbita el *Webb* con ese gran espejo, su estructura

y el toldo es todo un desafío. Dentro del cohete Ariane-5 ECA que la Agencia Europea del Espacio (ESA) aporta como parte de su contribución al proyecto para lanzarlo al espacio, todo el *Webb* tiene que ir plegado. Los 18 segmentos hexagonales (de 1,32 metros cada uno) del espejo principal se abrirán como los pétalos de una flor en el espacio, una vez que el telescopio se haya separado del cohete, para formar una superficie única perfecta. “La alineación de los segmentos del espejo principal como si fuera un único gran espejo significa que cada trozo debe estar alineado con una precisión de una diezmilésima del grosor de un cabello humano”, señala Lee Weinberg, responsable de la óptica del telescopio en la NASA.

Los 18 trozos del espejo principal están hechos de berilio, material elegido por ser un metal ligero, muy resistente y que mantiene su forma en un amplio rango de temperaturas, explica la NASA. Y tienen depositada una finísima capa de oro (apropiado para la luz infrarroja): en



Modelo a escala real del futuro telescopio espacial 'James Webb' en los jardines del Centro de Vuelos Espaciales Goddard, de la NASA, en septiembre de 2005, con el equipo del observatorio delante. (Credito: NASA).

total, las 18 piezas, 25 metros cuadrados de espejo, llevan 48,25 gramos de oro. El espejo principal completo del *Webb* pesa 276 kilos, frente a los 828 kilos del espejo del *Hubble*, que es de una sola pieza.

Una vez desplegado en órbita, el espejo del *Webb* tiene que lograr y mantener la forma perfecta para poder enfocar correctamente los objetos astronómicos a los que se apunte. Para ello, cada uno de los 18 espejos lleva por detrás seis pequeños motores mecánicos que permiten obtener la posición exacta de cada uno y que todos actúen como un conjunto. Es la técnica utilizada en los telescopios terrestres de 10 metros, pero aquí siempre se pueden ajustar y reparar, mientras que en el espacio, fuera del alcance de los astronautas en este caso, cualquier error que se cometa puede ser catastrófico.

Esta es otra de las diferencias entre el *Webb* y el *Hubble*. El segundo opera en

órbita a unos 500 kilómetros de altura sobre la superficie terrestre, al alcance de los antiguos transbordadores de la NASA en los que viajaban los astronautas que pusieron el telescopio espacial en órbita y realizaron cinco misiones para repararlo y ponerlo a punto. El *Webb* operará a 1,5 millones de kilómetros, en un punto de equilibrio gravitacional respecto al Sol y la Tierra y hacia fuera del Sistema Solar, no hacia la estrella, denominado Lagrange-2 (L2). L2 es un lugar estratégico para que operen los telescopios y se viene utilizando desde hace tiempo para diferentes observatorios, que permanecen allí en una posición fija relativa a la Tierra. Al tener el planeta y el Sol detrás, en la misma dirección, el parasol protege el observatorio de su luz y calor y tiene visión de prácticamente todo el cielo. Pero a esa gran distancia, el *Webb* no podrá recibir expediciones de astronautas que lo repa-

ren y lo pongan a punto. El futuro telescopio espacial está diseñado para funcionar entre cinco y diez años.

El parasol del *Webb* ha supuesto desde el principio un reto (y una pesadilla) para los ingenieros. Mide 21,19 metros por 14,16 metros y forma de cometa, esta formado por cinco láminas extremadamente delgadas, finísimas y separadas para optimizar la evacuación de calor de un material denominado kapton y recubiertas de aluminio. El kapton es una película de poliamida de alta resistencia al calor y que permanece estable en un amplio rango de temperaturas (desde 269 grados bajo cero hasta 400 grados sobre cero). Además, el parasol lleva toda una estructura que debe desplegarse en órbita y luego mantener tensadas las cinco películas de kapton. El sistema mantendrá el telescopio a 234 grados centígrados bajo cero (por enfriamiento pasivo), mientras que uno de los

detectores, que funciona a 266 grados centígrados bajo cero, montará un sistema añadido de refrigeración por helio.

### Participación española

En total el *Webb* pesa, en Tierra, unos 6.200 kilos (frente a los 11.000 kilos del *Hubble*) y está formado por el gran parasol, espejos, instrumentos científicos y sistemas del artefacto espacial (equipos de comunicación, ordenadores, paneles solares, antenas, etcétera). En su diseño, desarrollo, construcción y pruebas participan prácticamente todos los centros de la NASA en Estados Unidos (con la colaboración de la ESA y de la Agencia Espacial Canadiense); de la construcción se encarga la empresa Northrop Grumman, como contratista principal.

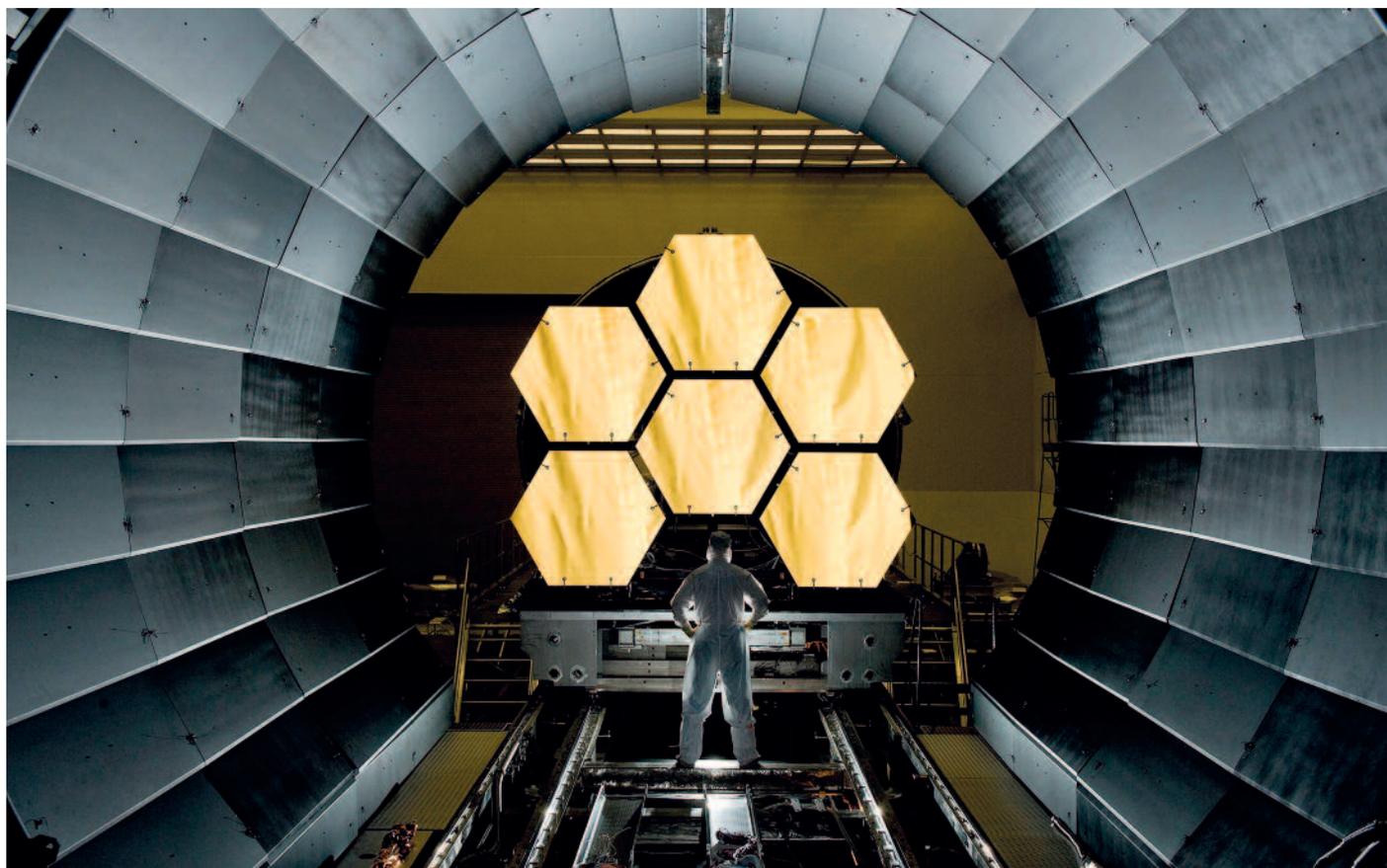
Será lanzado desde la base espacial de la ESA en Kourou (Guayana francesa) y

se dirigirá a L2. Tras desplegar todos los sistemas se realizarán las pruebas, ensayos y operaciones y se encenderán los instrumentos astronómicos. “A finales del tercer mes de viaje se podrán tomar las primeras imágenes de calidad científica, mientras el *Webb* completará su primera órbita en torno a L2”, explica la NASA. A los seis meses, si todo va bien, el flamante telescopio espacial empezará a realizar sus operaciones científicas rutinarias.

En cuanto a España, en concreto, “participa en dos de los cuatro instrumentos científicos del JWST: el espectrógrafo de infrarrojo cercano (NIRSpec) y el de infrarrojo medio MIRI”, explicaba la Sociedad Española de Astronomía (SEA) en una de sus reuniones científicas. “Por lo que respecta al NIRSpec, España forma parte del equipo científico que supervisa tanto el desarrollo del instrumento como

las observaciones que llevará a cabo, centradas sobre todo en las galaxias primigenias del Universo. Además, empresas españolas como EADS-Astrium-Crisa y EADS-CASA se encargan de construir parte de los componentes y *software* del NIRSpec”.

El *Hubble* acumuló contratiempos, retos y retrasos antes incluso del lanzamiento al espacio, y continuó, una vez allí arriba, dando disgustos y problemas, hasta que el gran telescopio espacial empezó a producir imágenes y datos científicos en cantidad y calidad asombrosas. El *Webb* no se le queda a la zaga en toda la fase de desarrollo del proyecto, pero la NASA está tomando todas las medidas posibles para garantizar, dentro de lo posible y de las incertidumbres inevitables de la aventura espacial, que el James Webb triunfe desde el primer momento. ©



Una vez desplegado, su espejo principal tendrá un diámetro de 6,5 metros y una pantalla protectora alcanzará la extensión de una pista de tenis. Además, va equipado con la última tecnología en los instrumentos que porta. (Credito: NASA).

# Reacción en cadena

MEDIO AMBIENTE

## La Antártida ha perdido tres billones de toneladas de hielo

El comportamiento del hielo sobre la Antártida es uno de los principales indicadores sobre los efectos del calentamiento global en nuestro planeta y la manera en que pueden afectar a los océanos.

Se calcula que el hielo y la nieve que se acumulan sobre el continente antártico serían suficientes para elevar el nivel del mar, en caso de deshacerse, hasta 58 metros de altura. Por eso los científicos han prestado especial atención a este lugar durante las tres últimas décadas, a través de los datos procedentes de las observaciones sobre el terreno y desde el satélite.

La revista *Nature* ha publicado una serie de estudios en los que aporta una panorámica muy precisa de la situación, que indican que el continente antártico ha perdido alrededor de tres billones de toneladas de hielo desde 1992, contribuyendo con ello a la subida del nivel del mar en ocho milímetros. El trabajo es obra del equipo del IMBIE (ejercicio de comparación del equilibrio de la masa de hielo, por sus siglas en inglés) que ha analizado 24 observaciones independientes del hielo tomadas desde el satélite entre 1992 y 2017.

El estudio también revela una evolución muy desigual



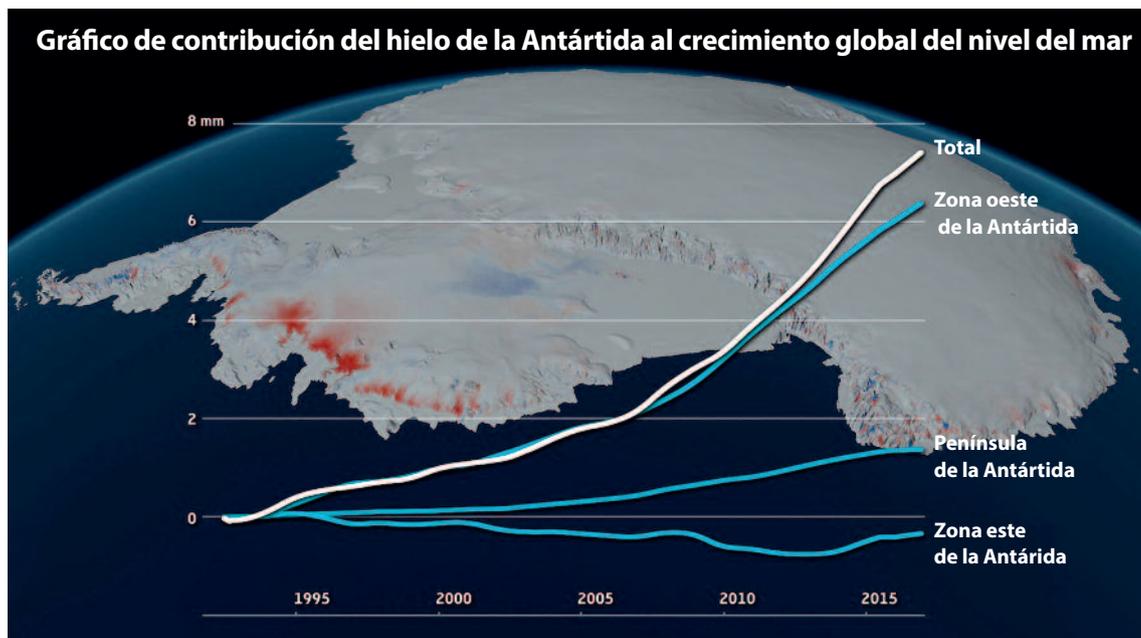
La capa de hielo de la Antártida perdió alrededor de tres billones de toneladas entre 1992 y 2017, según un análisis de la revista 'Nature'.

en las diferentes zonas de la Antártida: mientras la zona oriental presenta muy pocas variaciones, se estima que en la zona occidental la pérdida

de hielo se triplicó, pasando de 53.000 millones de toneladas al año a 159.000 millones. La región donde esta pérdida se notó más fue la península antártica, donde se pasó

de 7.000 millones de toneladas de hielo perdidas al año, a 33.000 millones, casi cinco veces más.

La Antártida almacena suficiente agua congelada como para elevar el nivel global del mar en 58 metros. Conocer cuánto hielo está perdiendo es clave para comprender los impactos del cambio climático en la actualidad y en el futuro.



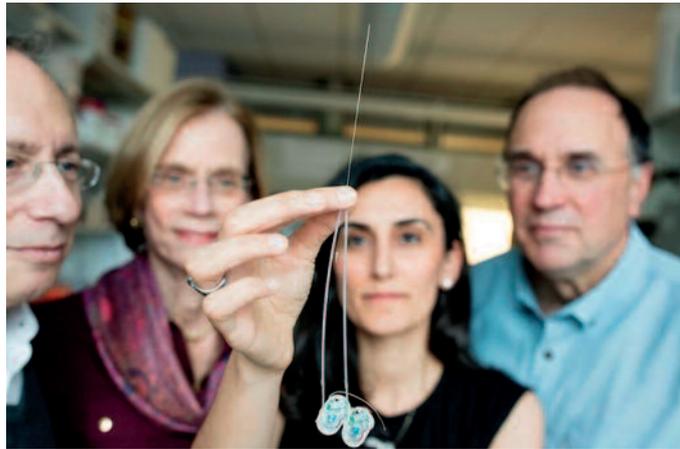
Este deshielo se traduce en un aumento medio del nivel del mar de cerca de 8 milímetros, y se ha acelerado en los últimos cinco años.

## MEDICINA

## Una aguja ultrafina para llevar medicamentos al cerebro

Investigadores del MIT (Massachusetts Institute of Technology) han desarrollado un sistema miniaturizado que puede llevar a regiones concretas del cerebro pequeñas cantidades de medicamento de tan solo un milímetro cúbico. Esta dosificación directa al objetivo podría permitir tratar enfermedades que afectan a circuitos cerebrales muy específicos, sin afectar a las funciones normales del resto del cerebro.

Utilizando este aparato, que consiste en varios tubos que llevan una aguja tan fina como un cabello humano, los investigadores pueden hacer llegar una o más medicinas al fondo del cerebro, con un control



El dispositivo puede dispensar con precisión uno o más medicamentos.

muy preciso sobre cuánta cantidad se está proporcionando y a dónde se dirige. En un estudio con ratas, han descubierto que podían llevar directamente al objetivo dosis de una droga que afecta a la función mo-

tora de los animales. "Podemos inocular cantidades muy pequeñas de múltiples medicamentos comparadas con las que tomamos ahora vía intravenosa u oral, y también podemos provocar cambios de con-

ducta a través de una infusión de medicamento", afirma Canan Dagdeviren, autor del estudio, publicado en la revista *Science Translational Medicine*.

Las medicinas utilizadas para tratar las enfermedades cerebrales suelen interferir con los neurotransmisores o en los receptores celulares. "Uno de los problemas de las drogas que afectan al sistema nervioso central es que no son específicas, y si las tomas por vía oral van a todas partes. El único modo de limitar la exposición es llevar esa droga sólo a un milímetro cúbico del cerebro, y para hacer eso, tienes que tener cánulas extremadamente pequeñas", afirma.

## INVESTIGACIÓN

## Inventan una molécula que se come el plástico

El plástico es cada vez un problema más acuciante para el medio ambiente. Es muy barato y sencillo de producir, pero tiene el inconveniente de que es un 'mal trago' para los microbios y otros seres que se encargan de las tareas de limpieza y reciclaje en la Tierra. Compuesto por complejos polímeros muy difíciles de digerir, por eso resulta poco biodegradable y puede persistir durante siglos en el medio ambiente.

Investigadores de la Universidad de Portsmouth (Reino Unido) y del Departamento de Energía de Estados Unidos han

desarrollado una enzima, un complejo proteico que cataliza una reacción química, capaz de digerir el tereftalato de polietileno (PET), el componente básico



El proceso para degradar el plástico podría ser similar al de la eliminación de detergentes o en la fabricación de biocombustibles.

de muchos envases de plástico. La enzima está inspirada en una proteína hallada en una bacteria y podría ayudar a solucionar el grave problema de la contaminación del plástico.

"Aunque la mejora que hemos logrado es modesta, este descubrimiento sugiere que es posible mejorar estas enzimas, acercándonos a una solución para reciclar la montaña de plástico que producimos", aseguran. Lo único que haría falta sería introducir estas enzimas en microorganismos para que degradasen el plástico dentro de reactores diseñados para tal fin.

## Ya están aquí las pilas del futuro

Las baterías rígidas para los usos más comunes tienen los días contados. Expertos en desarrollos electrónicos de la Queen's University de Belfast (Reino Unido), entre los que se encuentra la investigadora española Marta Lorenzo, acaban de presentar una alternativa a las pilas tradicionales: una batería flexible, orgánica y capaz de ser recargada. En principio, serán utilizadas en dispositivos médicos tales como marcapasos y desfibriladores.

Estas nuevas baterías, según indican sus creadores, además de sustituir los sistemas actuales, acelerarían el impulso y desarrollo de sensores intracorporales más avanzados y precisos. Hechas de electrolitos no inflamables y compuestos orgánicos,



Estas nuevas pilas están hechas con electrolitos no inflamables y compuestos orgánicos.

tendrían posibilidades de que su fabricación se realizara a partir de materias primas naturales, no con metales o semiconductores complejos, por lo que podría ser desechada sin tener que procesarla por separado, como ocurre con las pilas actuales.

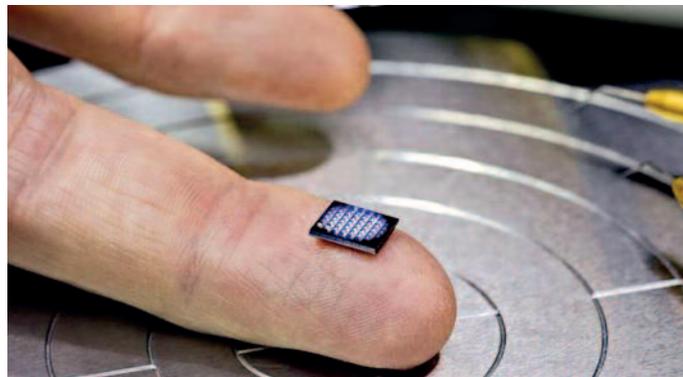
Aunque su idea inicial era emplear este tipo de baterías con los marcapasos, los investigadores del proyecto no niegan las posibilidades de que esta nueva tecnología pueda servir también para su empleo en dispositivos electrónicos portátiles.

## El ordenador más pequeño del mundo

IBM ha presentado el que, hasta la fecha, es el ordenador más pequeño del mundo. Según la multinacional informática su tamaño es comparable a un grano de arroz o una escama de sal gorda. Pese a sus minúsculas dimensiones, se trata de un ordenador con una capacidad de computación 86 veces superior al que la compañía presentó en 1990, aunque sus prestaciones se quedan cortas si se compara con la potencia de los ordenadores del presente.

Sin embargo, uno de sus puntos fuertes es su bajo pre-

cio. De acuerdo con la compañía, el coste de producción de cada uno de estos ordenadores es de menos de 10 céntimos de euro por unidad. Cada uno de ellos llevará varios cientos de



El tamaño del nuevo prototipo de IBM es similar al de un grano de arroz.

miles de transistores, según IBM, que permitirán monitorizar, analizar, comunicar e, incluso, tomar decisiones en base a los datos que reciba. Además, el ordenador funcio-

nará como fuente de las aplicaciones basadas en *blockchain* y se encuentra capacitado para hacer tareas sencillas de Inteligencia Artificial.

Una tecnología que desde la compañía vaticinan que se popularizará en un futuro cercano. "En los próximos años veremos ordenadores más pequeños que un grano de sal incorporados en los objetos cotidianos", ha afirmado, Arvind Krishna, jefe de desarrollo de IBM.

Este pequeñísimo ordenador aún es tan solo es un prototipo en fase de pruebas.

PRIMER TREN DE PILA DE HIDRÓGENO

# Coradia iLint, llega el tren ecológico del mañana

InnoTrans, la principal feria de la industria del ferrocarril, celebrada el pasado mes de septiembre en Berlín, ha tenido como principal novedad la presentación mundial del primer tren con pila de hidrógeno. Con esta tecnología, este tren comenzará a circular en 2018 en Alemania, supondrá la primera solución completamente libre de emisiones para líneas ferroviarias no electrificadas y se convertirá en una alternativa ecológica y económica a la propulsión diésel tradicional.

Como alternativa al diésel, el hidrógeno cumple con todos los requisitos esenciales para ferrocarril: se trata de una tecnología madura y su precio hace que su funcionamiento resulte económico. Se ha investigado ya durante décadas en tecnologías con hidrógeno y su seguridad ha quedado demostrada en numerosas aplicaciones.

La aplicación de la pila de combustible

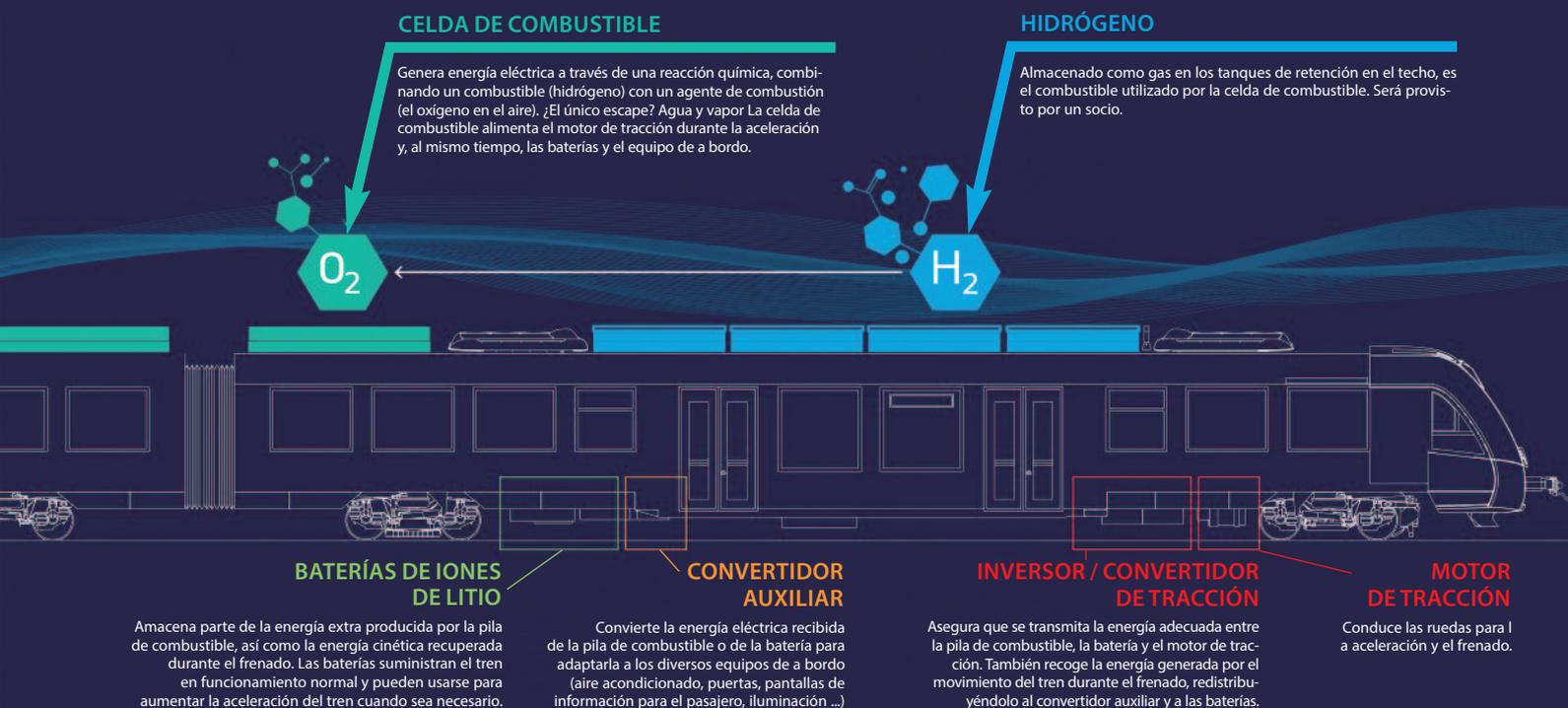
como sistema de propulsión ferroviaria permitirá así crear una nueva generación de trenes respetuosos con el medioambiente, silenciosos y eficientes. Además, los trenes incorporarán, junto a la pila de combustible, otras tecnologías de eficiencia energética, como baterías de almacenamiento de energía o sistemas inteligentes de gestión y recuperación de energía.

Las pilas de combustible son el eje central del sistema, la fuente de energía primaria para propulsar el tren. Estas son alimentadas a demanda con hidrógeno y los trenes son propulsados por una unidad de tracción eléctrica. Las pilas de combustible proporcionan electricidad gracias a la mezcla del oxígeno con el hidrógeno almacenado en depósitos. En este proceso, lo único que se emite es vapor de agua y agua condensada y no se generan gases ni partículas contaminantes. La electricidad se produce sin ge-



nerador ni turbina, lo cual hace que el proceso sea mucho más rápido y eficiente.

El nuevo tren, denominado Coradia iLint, pertenece a la familia de trenes regionales Coradia de Alstom y sus prestaciones serán equiparables a las de última generación de trenes regionales de tracción diésel, tanto en aceleración y frenado como en velocidad máxima (140 km/h) y autonomía (entre 600 y 800 km).



# Panorama



La delegación de expertos de la misión combinada IRRS-ARTEMIS posa ante la central nuclear de Trillo (Guadalajara).

## España recibe a la delegación internacional que lidera el equipo de las misiones IRRS y ARTEMIS del OIEA

Una delegación con los principales expertos internacionales que liderarán la misión combinada IRRS-ARTEMIS del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), se desplazó a Madrid para mantener una reunión con representantes del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), de los ministerios de Energía, Turismo y Agenda Digital (Minetad), y de Asuntos Exteriores y Cooperación (MAEC) y de la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (Enresa) durante los días 18 y 19 de abril.

La delegación estuvo compuesta por Victor McCree, director ejecutivo de operaciones del organismo regulador estadounidense (NRC, por sus siglas en

inglés), el Dr. Carl-Magnus Larsson, director ejecutivo del organismo regulador australiano (ARPANSA, por sus siglas en inglés) y David Senior, jefe de revisiones inter pares del OIEA.

El objeto de este encuentro fue el de continuar con las actividades preparatorias de la misión IRRS-ARTEMIS, que servirá para reforzar la infraestructura reguladora en materia de seguridad nuclear y protección radiológica, la gestión segura del combustible nuclear irradiado y de los residuos radiactivos de acuerdo con las obligaciones que emanan de las directivas comunitarias 2014/87/EURATOM y 2011/70/EURATOM. En la primera jornada, el conse-

jero Javier Dies; el secretario general Manuel Rodríguez; el director técnico de Seguridad Nuclear, Antonio Munuera, y la directora técnica María Fernanda Sánchez, se desplazaron a la central nuclear de Trillo (Guadalajara) junto con los representantes internacionales para realizar una visita técnica a las instalaciones.

Durante la visita, la delegación fue recibida por Eduardo Lasso, director general de Centrales Nucleares Almaraz-Trillo (CNAT); Aquilino Rodríguez, director de la central nuclear; Francisco López, representante de la junta de administradores del CNAT, y Luis Soriano, director de ingeniería. ▸

## La vicepresidenta del CSN preside la 33ª reunión del Consejo Gestor CEIDEN

La vicepresidenta del CSN, Rosario Velasco, presidió la 33ª reunión del Consejo Gestor de la Plataforma Tecnológica de I+D+i de Energía Nuclear de Fisión (CEIDEN), que se celebró en Madrid el pasado 6 de julio en el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT). La vicepresidenta informó sobre las actividades de *mentoring* de alumnas en el campo de la ciencia y tecnología nuclear que se están preparando. Asimismo, presentó al jefe de la división de Tecnología y Regulación de Seguridad Nuclear de la Agencia de Energía Nuclear (NEA, por sus siglas en inglés), Ho Nieh, que participó en este 33º Consejo,



La vicepresidenta del CSN, Rosario Velasco, en una foto de grupo durante la reunión internacional.

realizando la presentación 'New Opportunities and Challenges in Nuclear Safety and R&D'.

Los expertos realizaron presentaciones sobre temas tales como las novedades

en EPRI, la renovación del Grupo CEIDEN de Usuarios de Laboratorios de Patrones Neutrónicos (GULPN) o las actividades de la plataforma europea IGDTP.

## El consejero Castelló participa en la 23ª reunión del plenario del Foro Iberoamericano

Una delegación del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), encabezada por el consejero Fernando Castelló, participó en la reunión anual del plenario del Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores Radiológicos y Nucleares (FO-

RO), que se celebró en Brasilia (Brasil) los pasados 5 y el 6 de julio. El encuentro fue inaugurado, en representación de la presidencia del FORO, por Alexander Gromann, director de Seguridad Nuclear y Protección Radiológica de la Comisión

Nacional de Energía Nuclear de Brasil (CNEN), quien realizó una breve exposición sobre las principales áreas de trabajo del grupo y analizó las actividades más importantes llevadas a cabo por el mismo durante el último año.

De entre los asuntos tratados en esta reunión anual, cabe destacar el debate en el seno del plenario sobre el Plan de acción de la Estrategia 2017-2022. La Estrategia define los retos de futuro y, asociados a ellos, un conjunto de temas que se consideran prioritarios a la hora de abordar nuevos proyectos y actividades.



El consejero Fernando Castelló durante el plenario del Foro internacional.

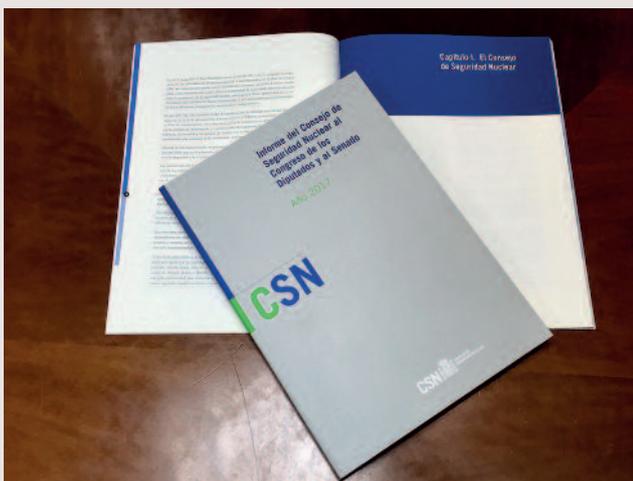
## El CSN informa al Parlamento del correcto comportamiento de las instalaciones reguladas en 2017

El CSN remitió al Congreso de los Diputados y al Senado su informe anual 2017, de acuerdo al artículo 11 de la Ley de creación 15/1980, de 22 de abril, del CSN que establece que “con carácter anual el Consejo de Seguridad Nuclear remitirá a ambas Cámaras del Parlamento español y a los Parlamentos autonómicos de las comunidades autónomas en cuyo territorio estén radicadas instalaciones nucleares, un informe sobre el desarrollo de sus actividades”.

En este informe anual del CSN se informa del comportamiento de la seguridad nuclear y la protección radiológica de las instalaciones reguladas por el CSN, no habiendo supuesto ningún riesgo ni para las personas ni para el medio ambiente.

En el documento, el organismo regulador certifica que la calidad radiológica del medio ambiente en 2017 se mantuvo dentro de la normalidad, tanto en el entorno de las instalaciones nucleares como en el resto del territorio nacional.

Del mismo modo, se confirma que todas las instalaciones nucleares funcionaron de forma segura a lo largo del pasado 2017 y que el funcionamiento de las instalaciones radiactivas con fines científicos, médicos, agrícolas, comerciales e industriales se desarrolló dentro de las normas de seguridad establecidas, respetándose las medidas precisas para la protección radiológica de las personas y el medio ambiente, y no se produjeron situaciones de riesgo indebido. ▶



Informe anual 2017 del Consejo de Seguridad Nuclear.



El consejero Jorge Fabra inauguró las 10ª Jornadas de Calidad en el Control de la Radiactividad Ambiental, organizadas por la Universidad del País Vasco.

## El consejero Fabra inaugura las X Jornadas sobre calidad en el control de la radiactividad ambiental

El consejero del CSN, Jorge Fabra, inauguró en Bilbao el pasado 20 de junio las 10ª Jornadas de Calidad en el Control de la Radiactividad Ambiental, organizadas por la Universidad del País Vasco. Durante el acto, en el que estuvo acompañado por el director de Energía, Minas y Administración Industrial del Gobierno Vasco, Aitor Patxi Oregi; el vicerrector del Campus de Bizkaia, Patxi Juaristi; el vicepresidente de la Sociedad Nuclear Española, Javier Guerra, y el presidente del Comité Organizador, Fernando Legarda.

Fabra comenzó su intervención poniendo de manifiesto la importancia de apostar por la ciencia y la innovación, aspectos claves para el progreso continuo de cualquier país. A este respecto, repasó el largo camino recorrido desde las primeras jornadas, organizadas en 1998, y los significativos progresos en materia de control de radiactividad ambiental alcanzados en estos últimos 20 años de trabajo.

Asimismo, Fabra alabó el adecuado funcionamiento de las redes de vigilancia hoy activas, así como la notable calidad de las medidas de radiactividad ambiental realizadas en los diferentes laboratorios, aspectos supervisados y controlados por el CSN dentro de su competencia de vigilancia de la calidad radiológica ambiental nacional.

Las jornadas fueron clausuradas por la directora técnica de Protección Radiológica del CSN, M<sup>a</sup> Fernanda Sánchez Ojanguren; el presidente de la Sociedad Española de Protección Radiológica, Borja Bravo, y el presidente del Comité de Seguimiento y Científico, Fernando Legarda. ▶

## El presidente del CSN comparece ante la Comisión de Energía, Turismo y Agenda Digital del Congreso de los Diputados

El presidente del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), Fernando Marti Scharfhausen, compareció ante la Comisión de Energía, Turismo y Agenda Digital del Congreso de los Diputados para responder a las solicitudes de comparecencia, ocho en total, efectuadas por diversos grupos parlamentarios de la mencionada Comisión (Grupo parlamentario confederal de Unidos Podemos-En Comú Podem-En Marea, Grupo Mixto, Esquerra Republicana y el diputado Joan Baldoví Roda) sobre materias de las competencias del CSN.

Uno de los temas abordados por Marti Scharfhausen fue dar respuesta a una pregunta sobre la Guía de Seguridad 1.10 (revisión 2) del CSN. Según explicó, la segunda revisión de la Guía, que se encuentra vigente desde mayo de 2017, establece los objetivos, el alcance, el contenido, los plazos de presentación y la forma de docu-



Fernando Marti Scharfhausen, durante su comparecencia en el Congreso de los Diputados.

mentar las revisiones periódicas de seguridad de las centrales nucleares en operación, en cumplimiento de la Instrucción del CSN IS-26, sobre requisitos básicos de seguridad nuclear aplicables a las instalaciones nucleares. ▶

## Representantes del Cuerpo de Bomberos de la Comunidad de Madrid visitan el CSN

Representantes del Cuerpo de Bomberos de la Comunidad de Madrid visitaron el pasado 10 de abril la sede del Consejo de Seguridad Nuclear. Tras el protocolario recibimiento por el Gabinete Técnico de la Presidencia, tuvieron la oportunidad de realizar un recorrido guiado por el Centro de Información, recinto destinado principalmente al público escolar y diseñado con técnicas interactivas de exposición, que tiene como propósito brindar información objetiva sobre las radiaciones ionizantes y sus aplicaciones en la industria, la medicina y la investigación, así como

sus riesgos y los controles que es necesario llevar a cabo para garantizar la seguridad y el papel del CSN como organismo regulador de dichas actividades



Los representantes del Cuerpo de Bomberos de la Comunidad de Madrid pudieron examinar la estructura de la Sala de Emergencias del CSN (SALEM).

Posteriormente, los representantes del Cuerpo de Bomberos de la Comunidad de Madrid, que serán futuros jefes supervisores una vez superado el periodo de formación, pudieron examinar la estructura de la Sala de Emergencias del CSN (SALEM) y recorrer las distintas dependencias donde desarrollan su trabajo los grupos que la componen: la Dirección de la Emergencia, el Grupo Radiológico (GRA), el Grupo de Análisis Operativo (GAO), el Grupo de Información y Comunicación y, por último, el Grupo de Coordinación (GCO). ▶

# Principales acuerdos del Pleno

## **Directriz Básica de Protección Civil ante el Riesgo Radiológico en la central nuclear José Cabrera en fase de desmantelamiento**

El Pleno del Consejo aprobó el 4 de abril el informe preceptivo para modificar la gestión del nivel exterior de respuesta de las emergencias derivadas de sucesos en el Almacén Temporal Individualizado (ATI) de la CN José Cabrera en desmantelamiento. Gestionada mediante la aplicación del Plan Básico de Emergencia Nuclear (PLABEN), desarrollado en el Plan de Emergencia Nuclear exterior a las centrales nucleares de José Cabrera y Trillo (PENGUA), en lo sucesivo será gestionada a través de la aplicación de la Directriz Básica de Protección Civil ante el Riesgo Radiológico (DBRR), desarrollada en el Plan Especial de Protección Civil ante el Riesgo Radiológico en Castilla-La Mancha (RADIOCAM).

## **Plan de Acción Nacional para la Misión IRRS de 2018**

El 9 de mayo, el Pleno del CSN aprobó el documento 'Plan de Acción Nacional para la Misión IRRS a España en Octubre 2018'. La misión IRRS-ARTEMIS a España prevista para llevar a cabo en octubre de 2018 responde a las obligaciones que emanan de la normativa de ámbito comunitario europeo (Directivas 2014/87/Euratom y 2011/70/Euratom). La primera misión IRRS a España se llevó a cabo en 2008 y la misión de seguimiento (Follow up) en 2011. De acuerdo con las disposiciones incluidas en las Directivas indicadas anteriormente, con una periodicidad de 10 años se llevarán a cabo misiones de revisión inter pares, por lo que España acogerá la misión combinada en el año 2018. El Plan de Acción presentado servirá como hoja de ruta de las actividades a realizar para mejorar la eficacia del organismo y del marco regulador nacional.

## **Informe para el diseño del contenedor ENUN 32P para almacenamiento de combustible gastado PWR en instalaciones de almacenamiento**

El CSN aprobó el pasado 9 de mayo la solicitud presentada por el titular de Equipos Nucleares S.A (ENSA) de modificación de la aprobación del diseño del contenedor para almacenamiento de combustible gastado ENUN 32P. Con fecha 1 de marzo, procedente del Minetad, se recibió la petición del informe sobre la solicitud formulada por ENSA de modificación de la aprobación del diseño del contenedor para almacenamiento de combustible gastado ENUN 32P, a la que se adjuntaba la revisión 4 del Estudio de Seguridad y la revisión 9 del Plan de Calidad.

## **Instrucciones Técnicas Complementarias sobre el programa de protección contra incendios al Estudio de Seguridad y autorización de las modificaciones de diseño relacionadas**

El Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear aprobó el pasado 6 de junio la propuesta de la Dirección Técnica de Seguridad Nuclear de remitir a las centrales nucleares la Instrucción Técnica Complementaria (ITC) sobre la incorporación de elementos del programa de protección contra incendios al Estudio de Seguridad y autorización de las modificaciones de diseño relacionadas. Con esta ITC se instaura un marco regulador que permite establecer controles administrativos sobre las modificaciones a los elementos del Programa de Protección Contra Incendios, equivalentes a los establecidos en la normativa americana y se homogeneiza el contenido del Estudio de Seguridad en relación al Programa de Protección Contra Incendios. Tras analizar dicha ITC, el Pleno acordó remitirla a las centrales nucleares Almaraz I y II, Ascó I y II, Cofrentes, Trillo, Vandellós II.

## **Informe 2017 al Congreso de los Diputados y al Senado**

El Pleno del CSN aprobó en su reunión del 9 de mayo de 2018 el Informe anual al Congreso de los Diputados y al Senado (2017) que elabora, de acuerdo al artículo 11 de la Ley de creación 15/1980, de 22 de abril, del CSN que establece que "con carácter anual el Consejo de Seguridad Nuclear remitirá a ambas Cámaras del Parlamento español y a los Parlamentos autonómicos de aquellas comunidades autónomas en cuyo territorio estén radicadas instalaciones nucleares, un informe sobre el desarrollo de sus actividades".

En el informe anual del CSN al Congreso de los Diputados y al Senado y de parlamentos autonómicos establecidos, se informó de la seguridad nuclear y la protección radiológica de las instalaciones reguladas por el CSN, que no supuso ningún riesgo ni para las personas ni para el medio ambiente.

## **Informe sobre el Proyecto de Real Decreto por el que se aprueba el Reglamento de seguridad nuclear en instalaciones nucleares**

El 30 de mayo, el Pleno del CSN aprobó el informe de la Dirección Técnica de Seguridad Nuclear (DSN) sobre el Proyecto de Real Decreto por el que se aprobó el Reglamento de seguridad nuclear en instalaciones nucleares. El 14 de febrero, la Secretaría General Técnica del MINE-TAD, conforme al artículo 2 de la Ley 15/1980 de creación del CSN, solicitó un informe al CSN sobre el proyecto mencionado para valorar el análisis de las implicaciones del contenido de la Directiva 2014/87/EURATOM, traspuesta en dicho proyecto, en el conjunto normativo y en la práctica reguladora y de explotación vigentes.

## El radón, en la web del CSN

El radón (radón-222) es un gas radiactivo natural procedente de la cadena de desintegración del uranio-238 y, por tanto, ubicuo en la naturaleza. Este gas, no suele presentar niveles altos al aire libre, pero tiende a acumularse en las viviendas y puede dar lugar a concentraciones elevadas, especialmente en zonas con suelos muy permeables o con un alto contenido de radio-226. Deter-



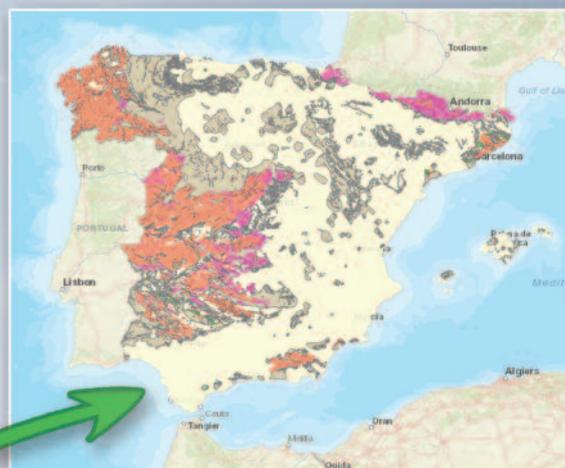
minadas actividades laborales (como la minería subterránea o la explotación de las aguas termales) pueden conllevar también un riesgo significativo de exposición a este gas.

En el enlace que figura en la web del CSN se puede consultar la cartografía del potencial de radón de España en dos enlaces: Mapa del potencial de radón en España y mapa de los

municipios en los que parte de la población reside en zonas de actuación prioritaria.

La información proporcionada por los mapas no debe considerarse sustitutiva de las mediciones directas, que son el indicador más fiable del riesgo al que está expuesto cada individuo en su vivienda o en su lugar de trabajo.

### Mapas de radiación natural



**Mapa del potencial de radón en España.** La cartografía del potencial de radón en España, desarrollada por el CSN, categoriza las zonas del territorio estatal en función de sus niveles de radón y, en particular, identifica en las que los edificios residenciales presenta concentraciones superiores a 300 Bq/m<sup>3</sup>.



**Mapa de zonificación por municipio de radón.** A partir del mapa del potencial de radón se obtiene, directamente, el mapa de zonas de actuación prioritaria (aquellas con potencial de radón superior a 300 Bq/m<sup>3</sup>). A efectos administrativos, es útil definir las zonas de actuación prioritaria a nivel municipal.



# Abstracts

## REPORTS

### 06 Hawking radiation: the universe of black holes

In 1974 the physicist Stephen Hawking predicted that black holes emitted energy continuously: the so-called Hawking radiation. What this English physicist could not imagine was that a few decades later the existence of this radiation would challenge the entire field of physics, requiring an answer as to how black holes really function.

### 28 Graphene: the material that is revolutionising the 21st century

Until recently, graphene was an illusion, a theoretical model used by physicists that had never actually been synthesised. But now it has become the holy grail of the so-called new materials. Its future is so promising that many researchers believe that it will revolutionise the most unsuspected technologies and sectors. The wonders and promises of this material spring from its composition. With the thickness of an atom, it is the thinnest material known.

### 44 Blas Cabrera: The Ambassador of science

Blas Cabrera y Felipe (1878-1945) is one of Spain's most eminent scientific figures and one of the most prestigious physicists in the world, thanks in particular to his research in the field of theoretical and experimental physics. He was professor of electricity and magnetism at the University of Madrid and director of the Physics Research Laboratory at the Institute of Physical and Natural Sciences. Recognised as one of the leading experts in electromagnetism, his experiments were fundamental for the development of quantum mechanics and, thanks to his work, we now have an apparatus that allows us to perform magnetic resonance studies.

### 52 The 'James Webb' prepares its journey to replace the 'Hubble'

After several delays and a colossal cost overrun, the James Webb observatory is now undergoing tests on the finishing straight for its launch in March 2021. The priority objective of the new scientific machine, which is being prepared by the US National Space Agency (NASA), is to pick up light from the first galaxies and stars that formed in the Universe and take over from the now veteran 'Hubble' space telescope.

## RADIOGRAPHY

### 50 Passive autocatalytic recombiners for the removal of combustible gases in severe accidents

## INSIDE THE CSN

### 20 Transfer of CSN functions, control and supervision to the regional autonomous communities.

The inspection of apparatus using X-rays for medical diagnosis, which allows for something as commonplace as dental scans or mammography, and supervision of the control of the transport of radioactive material on Spanish roads are, among many others, the daily tasks of the inspectors working within the framework of functional transfers.

## INTERVIEW

### 14 Adriana Ocampo, director of the NASA New Frontiers programme

"An asteroid like the one that caused mass extinction could happen again".

## TECHNICAL ARTICLES

### 34 Cybersecurity and the public domain

The transcendental change that is occurring in our society, which is moving from a 'paper culture' to a 'virtual culture', requires a change also in our understanding of professional communications and our way of guaranteeing the security of electronic communications. The old corporate communications systems might even be considered to be over and done. The electronic head office, web services, electronic notifications, e-mail or electronic messaging and corporate social media are replacing the traditional channels for communications between professionals and the members of the public and vice versa.

### 39 Experience in the use of MAVRIC for the assessment of shielding calculation in nuclear and radioactive systems and facilities

CSN safety instruction IS-26 establishes that the licensees of nuclear facilities must analyse their installations from the point of view of nuclear safety and radiological protection, in order to prevent accidents and mitigate their consequences. One of the issues to be covered by the Safety Study is the assessment of shielding. The CSN has opted to use the MAVRIC code as the main tool for the assessment of questions relating to operational radiological protection and contained in the Safety Studies.

- 60 Chain reaction
- 64 Panorama
- 68 Plenary Agreements
- 69 csn.es
- 70 Publications



# Súmate a los 125.000

Desde su inauguración en 1998, los 125.000 visitantes del Centro de Información del Consejo de Seguridad Nuclear han tenido ocasión de aproximarse al conocimiento sobre las radiaciones ionizantes, sus usos, sus riesgos y los controles y la protección que son necesarios para garantizar su utilización fiable, en la cual el CSN –como organismo encargado de la seguridad nuclear y la protección radiológica– juega un papel muy importante.

En la vida diaria utilizamos las radiaciones con una enorme frecuencia, tanto en relación con la salud y la medicina –en diagnóstico y en terapia– como también en la industria y en la investigación. A través de un recorrido guiado por los 29 módulos, se pueden conocer con detalle estos aspectos relacionados con las radiaciones. Consigue más información en [www.csn.es/index.php/es/centro-informacion](http://www.csn.es/index.php/es/centro-informacion) o pide cita en [centroinformacion@csn.es](mailto:centroinformacion@csn.es)  
Súmate a los 125.000.