CSN

alfa

Revista de seguridad nuclear y protección radiológica
Consejo de Seguridad Nuclear
Número 49
Marzo 2022

DEEP WEB
El subsuelo de internet

Luces y sombras del hidrógeno como alternativa de futuro a los vehículos eléctricos enchufables

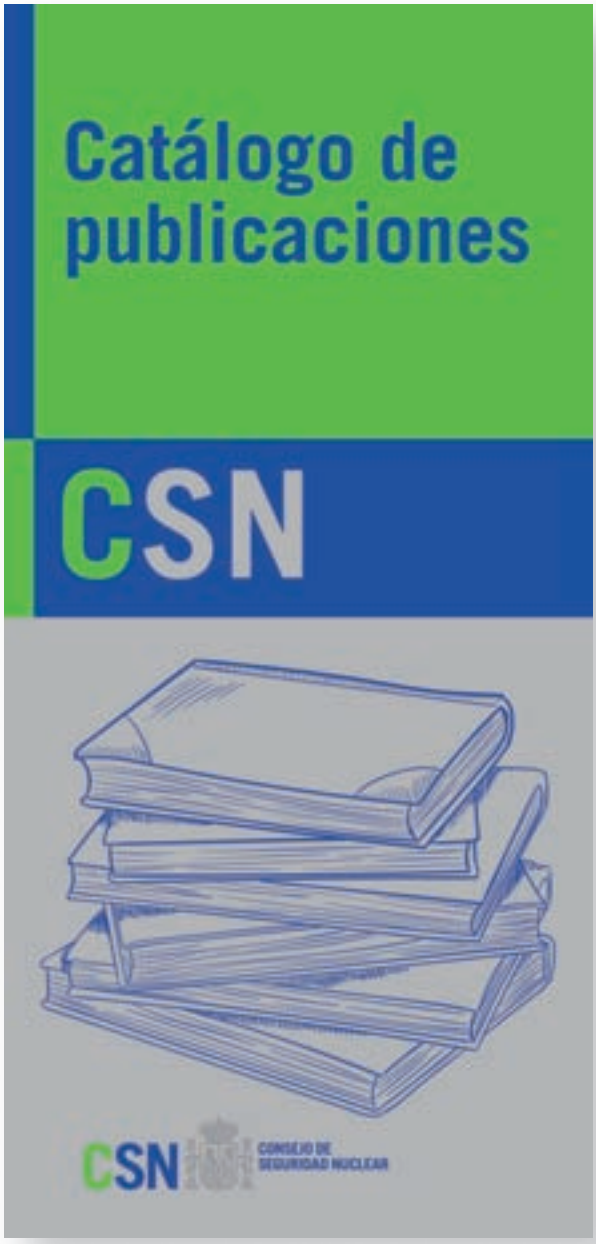
María José Blanco, directora del Centro Geofísico de Canarias: "La ciencia ha reducido el impacto de la erupción"

Resultados del desarrollo de modelos genéricos de análisis probabilista de seguridad (APS) en el CSN

Descubre todas las publicaciones del CSN

El CSN pone a tu disposición publicaciones divulgativas, guías de seguridad, informes técnicos. normativa, folletos, monografías... sobre seguridad nuclear y protección radiológica.

Descarga nuestro **Catálogo de publicaciones** mediante este código QR:



CSN CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

Cambiar el tiempo

Llega este primer número de Alfa de 2022 con la intención de conocer las claves científicas del envejecimiento para ralentizar su aparición y desarrollo mediante la eliminación del daño molecular de las células, la adición de genes de la longevidad en el ADN o la reprogramación celular. Se trata no solo de envejecer más lentamente sino, sobre todo, de hacerlo de un modo saludable. La vida del científico español más destacado de la historia ocupa Ciencia con nombre propio. Santiago Ramón y Cajal inauguró, con sus investigaciones sobre el sistema nervioso, toda una nueva disciplina, la neurociencia. Su impresionante trayectoria culminó con la obtención del premio Nobel de Fisiología y Medicina de 1906.

Entre los reportajes descubrimos que un 25 por ciento del territorio del hemisferio Norte se sustenta sobre el permafrost. Esta capa de suelo ha permanecido congelada durante miles de años; ahora, los expertos alertan de que se está calentando a un ritmo vertiginoso debido al cambio climático, lo que podría suponer una catástrofe ecológica debido a los millones de toneladas de carbono que encierra en su interior. En el marco de la transición ecológica que la humanidad necesita para combatir el cambio global provocado por los combustibles fósiles, incluimos un reportaje sobre el hidrógeno, que se propone como una opción sostenible para la movilidad, en competencia con los vehículos eléctricos enchufables, dado que no emite contaminantes y ofrece una alta eficiencia energética.

Los dispositivos electrónicos que utilizamos profusamente contienen elementos químicos, conocidos como 'tierras raras', que presentan propiedades peculiares y los convierten en bienes muy preciados, aunque su extracción provoca daños ambientales y problemas geopolíticos, ya que China controla ese mercado. Con los mencionados dispositivos navegamos habitualmente por la red, pero la mayor parte de internet no la conforman los sitios y buscadores más habituales, sino la llamada *Deep Web,* el conjunto de millones de páginas invisibles que ofrecen privacidad y anonimato a los usuarios, además de un rincón, la *Dark Web,* donde se llevan a cabo actividades ilegales prácticamente indetectables.

> *El hidrógeno se propone como una opción sostenible para la movilidad, en competencia con los vehículos eléctricos enchufables*

También entrevistamos a María José Blanco, directora del Centro Geofísico de Canarias y responsable del comité científico que ha estudiado el volcán de Cumbre Vieja, en la isla de La Palma. Nuestra Radiografía está dedicada al ITER, el reactor de fusión nuclear más grande y potente, cuyo objetivo es demostrar la viabilidad tecnológica de esta forma de energía durante la segunda mitad de este siglo.

La parte más técnica de Alfa se abre con el desmantelamiento de las instalaciones nucleares, que tiene como meta la liberación de su emplazamiento para otros usos, libre de efectos radiológicos no admisibles a trabajadores, población y medioambiente. Se analizan experiencias anteriores, la armonización de estos procesos en Europa y la la Instrucción de Seguridad IS-45. Por otro lado, la supervisión de la operación de las centrales nucleares debe realizarse desde una posición independiente; por eso, disponer de un modelo propio de Análisis Probabilista de Seguridad (APS) mejora el conocimiento de los riesgos de las plantas. El CSN, en colaboración con la UPM, ha desarrollado su modelo estandarizado (SPAR-CSN) para una central genérica de diseño PWR-WEC de 3 lazos.

alfa

Revista de seguridad nuclear y protección radiológica
Editada por el CSN
Número 49
Marzo 2021

MIXTO
Papel procedente de fuentes responsables
FSC® C125445

Comité Editorial
Josep Maria Serena i Sender
Pilar Lucio Carrasco
Francisco Castejón Magaña
Elvira Romera Gutiérrez
Rafael Cid Campo
Mª Fernanda Sánchez Ojanguren
David Redoli Morchón
Ignacio Martín Granados
Ignacio Fernández Bayo

Comité de Redacción
Ignacio Martín Granados
Natalia Muñoz Martínez
Vanessa Lorenzo López
Adriana Scialdone García
Arturo Fernández García
Juan Enrique Marabotto García
Ignacio Fernández Bayo

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

Coordinación editorial
Divulga S.L.
C/Diana, 16
28022 Madrid

Fotografías
CSN, Divulga, OIEA, DepositPhotos.

Impresión
Editorial MIC
C/Artesiano s/n
Pol. Ind. Trobajo del Camino
24010 León

Fotografía de portada
© Depositphotos

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

6 La ciencia de estirar el tiempo

Los científicos buscan conocer las claves del envejecimiento para retrasar su aparición y desarrollo a partir de métodos como la eliminación del daño molecular de las células, la adición de genes de la longevidad en el ADN o la reprogramación celular. Se trata no solo de envejecer más lentamente sino, sobre todo, de hacerlo saludablemente.

SHMELJOV / DEPOSITPHOTOS

12 Extraños elementos dominan el mundo

Los dispositivos electrónicos que utilizamos profusamente contienen elementos químicos, conocidos como 'tierras raras', que presentan propiedades peculiares y los convierten en bienes muy preciados, aunque su extracción provoca daños ambientales. Además, China produce la mayor parte de ellos, por lo que controla el mercado.

31 El subsuelo de internet

La mayor parte de internet no la conforman los sitios y buscadores más conocidos, sino la llamada *Deep Web,* el conjunto de millones de páginas invisibles que se ocultan en la red y que ofrecen privacidad y anonimato a los usuarios, además de un rincón, la *Dark Web,* donde se llevan a cabo actividades ilegales prácticamente indetectables.

37 El combustible de la discordia

En el marco de la transición ecológica que la humanidad necesita para combatir el calentamiento global provocado por los combustibles fósiles, el hidrógeno se propone como una opción sostenible para mover los vehículos, dado que no emite contaminantes y posee una alta eficiencia energética, en competencia con los vehículos eléctricos enchufables.

50 Los cimientos de la Tierra se derriten

El permafrost es la capa de suelo que ha permanecido a una temperatura bajo cero ininterrumpidamente durante miles de años; ahora, expertos alertan de que se está calentando a un ritmo vertiginoso como consecuencia del cambio climático, lo que podría suponer una catástrofe ecológica debido a los millones de toneladas de carbono que encierra en su interior.

CIENCIA CON NOMBRE PROPIO

56 Santiago Ramón y Cajal, padre de la neurociencia

El científico español más destacado de la historia inauguró, con sus investigaciones sobre el sistema nervioso, toda una nueva disciplina, la neurociencia. Su impresionante trayectoria culminó con la obtención del premio Nobel de Fisiología y Medicina de 1906 y tuvo el mérito añadido de crear una brillante escuela de neurología en nuestro país.

RADIOGRAFÍA

24 **La fusión nuclear y el ITER**

Entramos en los últimos años de la construcción del reactor de fusión nuclear más grande y potente construido hasta ahora, cuyo objetivo es demostrar la viabilidad comercial de esta forma de energía durante la segunda mitad de este siglo.

ENTREVISTA

26 **María José Blanco, directora del Centro Geofísico de Canarias**

"La contribución de la ciencia ha sido fundamental para reducir el impacto social y económico de la erupción".

ARTÍCULOS TÉCNICOS

17 **El desmantelamiento antes del desmantelamiento**

El desmantelamiento de las instalaciones nucleares tiene como meta la liberación de su emplazamiento para otros usos, libre de efectos radiológicos no admisibles a los trabajadores, la población o el medioambiente. Se presentan algunas consideraciones sobre experiencias anteriores y se analiza su efecto regulador, así como la armonización sobre estos procesos en Europa y la publicación de la Instrucción del CSN IS-45.

43 **Resultados del desarrollo de modelos genéricos de APS en el CSN**

La supervisión de la operación de las centrales nucleares debe realizarse desde una posición independiente; así, el desarrollo de un modelo propio de Análisis Probabilista de Seguridad (APS) mejora el conocimiento de los riesgos de las plantas. El CSN, en colaboración con la UPM, ha desarrollado su modelo estandarizado (SPAR-CSN) para una central genérica de diseño PWR-WEC de 3 lazos.

63 **Reacción en cadena**

67 **Panorama**

69 **Acuerdos del Pleno**

70 **Publicaciones**

71 **Abstracts**

Las investigaciones sobre el proceso de envejecimiento y la forma de evitarlo intentan conseguir que vivamos más, pero sobre todo que vivamos mejor y libres de enfermedad

La ciencia de estirar el tiempo

A los pocos días de comenzar este nuevo año la persona más anciana del mundo, Kane Tanaka, celebró su 119º cumpleaños en Japón con una botella de cocacola y haciendo el símbolo de paz delante de los fotógrafos. Tanaka declaró estar decidida a prolongar el récord un año más. Mientras su futuro se debate en el misterio de la biología, la investigación en envejecimiento busca en el laboratorio formas de ralentizar, e incluso de revertir, los efectos del tiempo. Desde cambios en la dieta hasta fármacos que eliminan el daño molecular de las células, el regreso de estas a un estado embrionario mediante la reprogramación, o la introducción de genes de la longevidad por terapia génica, los científicos tratan de saber si terapias experimentales que alargan y mejoran la vida en animales de experimentación son verdaderamente posibles en humanos.

■ Texto: **Eugenia Angulo** | Periodista de ciencia ■

Antonio vivió 102 años: nació el año del hundimiento de Titanic. Durante su largo siglo de vida que comenzó en 1912 fue ingeniero de caminos, inventor, empresario, profesor universitario. Patentó casi una treintena de invenciones, entre ellas: un dinamómetro simplificado, una llave de tuercas automática, un dispositivo de seguridad para motores de automóviles, un tapón irrellenable, una máquina para segar plantas, un sistema de traviesa para ferrocarril y una variedad de sistemas vibratorios para hormigón con lo que fundó su propia empresa.

A los 68 años se convirtió en aviador y poco después fundó la Asociación de Amigos del Autogiro, que presidió hasta

La mujer más longeva del mundo, la japonesa Kare Tanaka, a los 21 y a los 119 años.

casi su muerte. Con 93 años la Federación Aeronáutica madrileña le nombró mejor deportista del año —era uno de los que más kilómetros de vuelo había hecho—, premio que recibió justo antes que un muchacho de 12. Envejeció despacio: primero necesitó un audífono, después bastón, después silla de ruedas. A partir de los 100, fármacos para las alucinaciones. Antonio fue mi abuelo.

La vida de un hombre es solo un parpadeo, "entre dos oscuridades, un relámpago" en el poema de Vicente Aleixandre, pero junto al resto de singularidades compone una historia mayor. En este caso la historia trata sobre la duración de la vida: vivimos el doble que hace 100 años. Si en 1920 la vida media en el mundo era de unos 35 años, en 2019 fue de 73, y en muchos de los países más ricos superó los 80 años: España, Suiza, Italia y Australia, por ejemplo, llegaron a los 83 años. En cabeza, año tras año, lidera Japón: la esperanza de vida es de 87 para las mujeres japonesas y 81 para los hombres. En cuanto a los centenarios, las cuentas del Instituto Nacional de Estadística dicen que en 2020 hubo en España 17.308. Veinte años antes no llegaban ni a la tercera parte.

Hasta en las noches más oscuras el deseo ancestral de vivir se revuelve. Vayamos a ello, entonces. Vivimos más, pero: ¿cuánto tiempo podremos darle esquinazo a la muerte?

Las células durmientes

Manuel Serrano es uno de los mayores expertos en envejecimiento del mundo y actualmente dirige el programa de Envejecimiento y Metabolismo en el Instituto de Investigación Biomédica de Barcelona (IRB). Para él y otros muchos científicos, uno de los cambios más relevantes en investigación sobre envejecimiento en los últimos años ha sido considerarlo como un proceso sobre el que se puede actuar, quitando parte de su condición irremediable. "Envejecer es un proceso que es manipulable, no digo que sea completamente evitable, pero es manipulable: se puede acelerar y se puede retrasar", afirma.

Los científicos han ido aumentando la longevidad en animales por distintos caminos. María Blasco, directora del Centro Nacional de Investigaciones Oncológicas, y el mismo Serrano crearon en 2008 Triple, una estirpe de ratones superresistentes al cáncer y súper longevos: su esperanza de vida era un 40% superior. Los Triple provienen de cruzar ratones a los que Blasco introdujo por terapia génica el gen de la telomerasa —una especie de reloj biológico que marca el envejecimiento de las células— con los ratones transgénicos de Serrano que contaban con tres genes —p53 entre ellos, el llamado "guardián del genoma"— protectores frente al cáncer.

Pero fuera del laboratorio vivir tiene su precio y, a medida que envejecemos, nuestras células acumulan daños moleculares que, pasado un determinado umbral, no pueden ser reparados. En este momento las células tienen tres opciones: mutar en cancerosas, autodestruirse —

Manuel Serrano, director del Programa de Envejecimiento y Metabolismo del IRB.

apoptosis, en jerga científica— o entrar en un estado semidormido llamado senescencia. En un principio se pensaba que las células senescentes eran relativamente inofensivas pero en los últimos años han cambiado su papel en el proceso de envejecer.

"Hoy se entiende, y hay muchos datos sobre ello, que muchas enfermedades degenerativas que ocurren con el envejecimiento en realidad son un envejecimiento acelerado y focalizado en un órgano. Esto es lo que ocurre con el fallo renal, la fibrosis hepática, el fallo respiratorio, la arterosclerosis, las enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer... Todo esto entra dentro de un cierto debate pero hay muchos científicos que piensan que es un envejecimiento acelerado causado por las células senescentes", explica Serrano. La buena noticia es que unos fármacos especiales —los llamados fármacos senolíticos— podrían eliminarlas lo que llevaría a un rejuvenecimiento del organismo.

"Esto se ha demostrado extensivamente estos últimos años en animales de experimentación, pero también hay ensayos clínicos que se están haciendo en varios países del mundo intentando demostrar su beneficio terapéutico. No se están haciendo ensayos para retrasar el envejecimiento —esto es muy complicado de demostrar por requerir mucho tiempo y por los costes asociados—, se están haciendo para ver si estos fármacos evitan determinadas enfermedades en las que hoy se entiende que ocurre un envejecimiento prematuro focalizado en un órgano", explica Serrano.

La senescencia podría compararse con los procesos inflamatorios que son similares en muchas enfermedades y se tratan con el mismo rango de medicamentos inflamatorios. "Si entramos en los detalles esto es mucho más complicado, pero las células senescentes son

CNIO

AMPARO GARRIDO / CNIO

Arriba: Dos ratones de dos años de edad. El de la derecha, modificado genéticamente, tiene una esperanza de vida un 40% superior al otro. Abajo: María Blasco, directora del Centro Nacional de Investigaciones Oncológicas (CNIO).

más o menos parecidas, se acumulan en distintos órganos, y se pueden tratar con los mismos fármacos, al menos en esta primera generación de fármacos antisenescencia celular", añade.

Muchos de estos ensayos se están haciendo en la helada Minnesota, en la famosa Clínica Mayo con la que Serrano y su equipo colaboran buscando propiedades físicas en estas células durmientes para poder detectarlas por resonancia magnética. "Estamos haciendo ensayos clínicos en el departamento de nefrología del Hospital de Bellvitge y en el de oncología del Vall d'Hebron y tenemos ya datos con pacientes, pocos, pero estamos acumulando más y más datos muy interesantes, muy prometedores, y esto puede ser muy importante. Si esto funciona sería el método para evaluar la eficacia de las terapias senolíticas. En todas las terapias médicas es siempre esencial poder tener una medida, no lo puedes dejar a algo subjetivo. Es importante decir: hemos tratado con este fármaco y había un número X de

En busca del secreto de la longevidad

El pasado mes de septiembre, la revista Technology Review, del Massachusetts Institute of Technology (MIT), publicó la noticia de que una nueva empresa estadounidense, Alto Labs, financiada por multimillonarios como Jezz Bezos, fundador de Amazon, y Yuri Milner, cuya fortuna proviene de Facebook, habría recaudado más de 200 millones de euros para investigar tecnologías punteras para retrasar el envejecimiento. Según aseguraban, Alto Labs ya habría fichado a los mejores investigadores del campo, como el premio Nobel japonés Shinya Yamanaka, descubridor de la reprogramación celular, y los españoles Manuel Serrano y Juan Carlos Izpisúa. De confirmarse, Alto Labs seguiría el camino de Calico, fundada por Google en 2013, o Human Longevity creada un año después por Craig Venter, empresas privadas en busca de la forma de vivir más años con salud.

Juan Carlos Izpisúa Belmonte.

senescencia y hemos disminuido en tanto", explica el investigador.

Ciencia Benjamin Button

Otro avance reciente roza los límites de lo imaginable: la posibilidad de "rejuvenecer" las células usando una técnica de reprogramación descubierta por el científico japonés Shinya Yamanaka. Una especie de historia de Benjamin Button. En 2012, Yamanaka y el británico John B. Gurdon recibieron el premio Nobel de Medicina y Fisiología por sentar las bases para desandar el camino de una célula: pasar de la madurez de una célula adulta a la juventud de una célula madre —en jerga científica, célula pluripotente— llena de posibilidades. Volver al principio como si el tiempo no hubiera empezado a contar.

En concreto, Yamanaka determinó que modificando solo cuatro genes de células adultas, que obtuvo de la piel, estas retrocedían en el tiempo a un estado similar a células embrionarias que tienen la capacidad de convertirse después en cualquier tejido, una especie de lienzo en blanco. Poco después, el equipo de Serrano fue el primero en demostrar que es posible realizar esta técnica dentro del organismo, *in situ,* hasta entonces sólo se había hecho *in vitro.* Y posteriormente, otro español, Juan Carlos Izpisúa Belmonte del Instituto Salk en California, demostró que si tan solo se iniciaba la reprogramación y se hacían retroceder a las células en el tiempo de forma transitoria y reversible para luego regresar a su identidad original, también en ese caso "rejuvenecían".

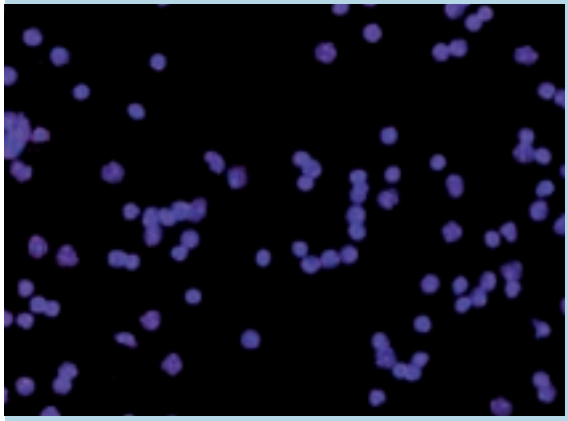
Para Serrano, "este avance es muy importante porque por primera vez permite rejuvenecer de manera relativamente fácil y reproducible a células, y esto tiene un impacto beneficioso en todo el organismo, como se ha demostrado con ratones. Esta técnica aún está lejos de su aplicación para salud humana pues de momento requiere introducir genes, lo cual es complejo y poco práctico, y estos genes entrañan riesgos, cáncer principalmente, pero hay mucha investigación para conseguir controlar y dominarla usando fármacos".

Ante estos descubrimientos la pregunta es inevitable: ¿hasta dónde se puede llegar a especular con la longevidad? ¿Existe un límite para la vida humana? "Te diré que la mayor parte de los investigadores que trabajamos en envejecimiento estamos más interesados en enfermedades concretas que consideramos un proceso de envejecimiento acelerado, porque esto es algo más factible, más realista y muy importante. Pero, por supuesto, claro que especulamos y aquí nos gusta también poner las cosas en contexto: con medidas simplemente en el estilo de vida, la longevidad de los humanos se ha multiplicado por 2 en

Telómeros: la longitud de la vida

En el año 2009 las biólogas Elizabeth Helen Blackburn y Carolyn Widney Greider recibieron el Premio Nobel de Medicina y Fisiología por "su descripción molecular de los telómeros y la identificación de la enzima telomerasa". Blackburn usa la siguiente metáfora: si piensa en sus cromosomas —que transportan el material genético— como si fueran cordones de zapatos, los telómeros serían las pequeñas puntas protectoras del final. Los telómeros son unas secuencias cortas de ADN que se repiten y están recubiertas de proteínas especiales y, en conjunto, sirven de protectores del final de las hebras de ADN.

El problema es que a lo largo de nuestra vida los telómeros tienden a desgastarse, a acortarse, y cuando ya no pueden proteger a los cromosomas, las células empiezan a funcionar erráticamente. Esto provoca cambios fisiológicos en el organismo que se ha comprobado que aumentan el riesgo de sufrir las principales enfermedades del envejecimiento: enfermedades cardiovasculares, diabetes, cáncer, debilitamiento del sistema inmunitario... De esta forma, el acortamiento de los telómeros es uno de los muchos procesos del envejecimiento que se han investigado en los últimos años.



CNIO

Imagen de los telómeros de los cromosomas.

Una enzima, sin embargo, la telomerasa, es capaz de poner freno a este proceso. Su trabajo es añadir ADN a los extremos de los cromosomas de forma que puede ralentizar y revertir parcialmente el acortamiento de los telómeros, otorgando así a las células una suerte de "inmortalidad". El problema: aplicada de forma permanente, la telomerasa se mueve entre un delicado equilibrio entre alargar la vida y aumentar la incidencia de cáncer porque beneficia por igual a células sanas o enfermas. El siguiente paso era encontrar la manera de suministrarla de manera temporal.

En 2012, el equipo de María Blasco en el CNIO llevó a cabo la primera terapia génica contra el envejecimiento utilizando como vehículo un virus para poner el gen de la telomerasa en ratones. Eligieron un virus que rápidamente se diluía de forma que el efecto era como poner una única dosis de telomerasa. Lograron así aumentar la vida en ratones sin provocarles cáncer. Pero su aplicación en humanos todavía es lejana.

Mientras se avanza en tecnologías relacionadas con investigación en telómeros, en su libro "La solución de los telómeros", Elizabeth Blackburn y la psicóloga Elissa Epel proponen que controlar el estrés crónico, hacer ejercicio, comer mejor y dormir suficiente pueden alargarlos, o al menos, impedir que se acorten.

100 años: si era 40 años en 1900, es más de 80 en el 2000 y no ha habido fármacos ni tratamientos sofisticados. Han sido simplemente los antibióticos, el agua salubre, la alimentación, que es mucho mejor ahora...", responde Serrano.

Todos esos factores se han ido sumando para aumentar la longevidad. La pregunta entonces es ¿se puede llegar más lejos con fármacos, con tratamientos más sofisticados? "Estoy seguro, y estoy seguro de que esto se conseguirá. No va a ser algo inmediato, no va a ser un salto de un día para otro, será progresivo y seguiremos viendo como el envejecimiento saludable sigue alargándose y alargándose. Hoy día creo que la experiencia de todos nosotros es que las personas de 70 años son personas activas, sanas, la mayor parte, y que llevan una vida muy satisfactoria en todos los sentidos. Estoy seguro de que más adelante esta situación que describo para las personas de 70 años, será aplicable a los que tienen 80, y algún día a los que tienen 90, y la longevidad irá alargándose poco a poco, estoy seguro. Y habrá fármacos que serán capaces de mejorar, de ayudar, en este proceso".

El cuarteto: ejercicio, nutrición, control del estrés y suplementos

José Viña, catedrático de Fisiología en la Universidad de Valencia, dirige desde hace más de 30 años un grupo que investiga cómo mejorar la vida en la vejez, el Freshage Age and Exercise Research Group. Viña, 68 años, calcula que lleva 30.000 kilómetros hechos en bicicleta por Valencia. Juega al tenis, practica pilates, medita, come mucha fruta, pescado, y toma un suplemento multivitamínico. "Después me pasa una cosa que es importante en ciencia: aquí casi todo lo que piensas sale mal, si no a todos nos habrían dado el premio Nobel. Para estar en ciencia hay que ser optimista y se ha demostrado epidemiológicamente que los optimistas viven más. Y yo soy optimista".

Para Viña, médico, el fondo del problema del envejecimiento es que no tenemos posibilidad de reparar el daño molecular que ocurre con el paso del tiempo al cien por cien y, por tanto, la inmortalidad hoy no está al alcance de la ciencia. "Eso ya está probado en animales de experimentación. Nosotros en el laboratorio tenemos moscas en las circunstancias más óptimas, pero acaban envejeciendo; tenemos ratones en las condiciones más óptimas, pero acaban envejeciendo. Este es el problema aquí: que la reparación del daño no se puede hacer al 100%".

Por experimentos en gemelos univitelinos se sabe que la longevidad tiene al menos dos componentes: uno de ellos es genético y podría representar hasta el 20%, y el otro gran 80% son factores ambientales entre los que están los hábitos de vida. De momento se conocen varios genes de la longevidad —p53, telomerasa, age-1— y en experimentos de biología molecular en animales se ha comprobado que cuando se sobreexpresan, cambia la longevidad.

NICHOLAS NIXON

Durante cerca de cuatro décadas las hermanas Brown se fotografiaron cada año, mostrando la evolución de sus rostros con la edad.

En el grupo de Viña estudian centenarios y en ellos se ve muy bien la importancia de esta parte genética. "Son familias; por ejemplo, la tuya y la mía. Mi madre murió la semana que cumplió 99 y ya teníamos la mesa del restaurante preparado. Y su madre, mi abuela, murió con 101, y su hermana con 92. Hay un elemento genético que esperemos que nos pase a ti y a mí que se ve muy bien que se da en la centenariedad. Por ejemplo, ahora estamos estudiando un gen que se llama bcl, que hemos visto que se sobreexpresa en centenarios. Y resulta que cuando nosotros sobreexpresamos ese gen, por ejemplo, en moscas, viven más. Los genes de la longevidad pueden ayudar a aumentar la longevidad un 10, 15 o 20%, que son 20 años, eh, pero de ahí a decir usted vivirá 1000 años... Hoy eso no está al alcance de la mano".

Puesto que la parte genética que heredamos de momento no podemos cambiarla, nos queda el medio ambiente. "El problema actual donde nos estamos centrando más, desde luego mi grupo, es más que en alargar la vida, en alargar la vida saludable. Eso en términos médicos se llama evitar la fragilidad. Estamos buscando sistemas para aumentar la calidad de vida, dicho en términos médicos, para retrasar la fragilidad, que lleva a la dependencia y eso es del máximo interés en geriatría. No le voy a poner a un niño un gen para que viva más. De momento no es sensato. La terapia génica del envejecimiento es difícil de extrapolar al humano. Ojo, porque en el animal se hace y viven más. Pero en este momento, la terapia génica del envejecimiento no está a corto plazo en humanos. ¿Qué podemos hacer? Cuatro cosas: ejercicio, nutrición, control del estrés y suplementos. Con eso uno puede alargar la vida 15 años."

Y Viña da los siguientes datos: en Europa, el 40% de las personas de más de 65 años están deficientes en proteínas, no comen bastante. En muchas partes de España y Europa (especialmente en el norte del continente) hay déficit de vitamina D. Una solución es dar suplementos de proteínas y vitaminas. "Mi madre no hubiera vivido tanto si no le hubiéramos dado suplementos de proteínas porque comía muy poco. Con los multivitamínicos no se ha demostrado que haya toxicidad con esas dosis relativamente bajas y la misma pastilla te cubre a ti que a mí. Pero debemos hacer mucha medicina personalizada, es decir, ¿a usted qué le falta? O bien al menos personalizada de grupo: al grupo de personas como usted, ¿qué les suele faltar? Repito que no todos los mayores son iguales: un señor de 70 que corre 5 km al día no es lo mismo que su hermano mayor que tiene 86 y que no sale de casa", concluye Viña.

De lo que se trata con este cuarteto de ejercicio, nutrición, control del estrés —por ejemplo, con técnicas de meditación y vida social— y suplementos, en ese orden de importancia, es buscar elementos de calidad de vida que lleven a aumentar la vida media, más que aumentar la vida máxima: es decir, que mucha gente llegue a 80 más que haya muchos centenarios.

En un reloj de sol que diseñó Antonio, mi abuelo, sobre la dorada piedra caliza, reza la leyenda: "Hora est benefaciendi". Es la hora de hacer el bien. Murió una tarde apacible y caliente de principios de verano, después de comer y de echarse la siesta.

TOMIHAHNDORF.WIKIMEDIA COMMONS

La pugna por el control y el poder de las tierras raras, esenciales para las nuevas tecnologías

Extraños elementos dominan el mundo

Nuestra sociedad, cada vez más dependiente de las tecnologías, se encuentra de nuevo en una encrucijada. Los dispositivos electrónicos que nos rodean a diario requieren en la mayoría de los casos del uso de tierras raras, un conjunto de 17 elementos químicos que por sus características físico-químicas se han convertido en el "oro tecnológico" del siglo XXI. Sin embargo, los métodos de extracción de estos materiales, poco amigables con el medioambiente, llevaron al grueso de las potencias a no invertir en su producción e importar estos materiales. Ahora China tiene el control del mercado de tierras raras y decide cuándo, dónde y con quién. Se presentan retos para el uso y distribución de estos elementos con propiedades increíbles, y quizás el mayor de ellos sea dar con el modo de poder extraerlos de una forma sostenible y sin dañar el entorno.

■ Texto: **Lucía Casas** | periodista científica, titular de una beca CSIC/FBBVA ■

"Como quizás ya sepan, los minerales que se consideran cada vez más valiosos en el mundo son aquellos que se utilizan en la fabricación de teléfonos móviles y ordenadores: itrio, terbio, osmio, disprosio, etcétera. Todos escasean. Y el problema es aún más acuciante porque China tiene su enorme garra de panda firme sobre casi todas las minas que producen estos valiosos y escasos minerales de la Tierra". Así justifica Peter Isherwell, el histriónico y multimillonario empresario que representa a ciertos magnates de la tecnología en la hilarante película *Don't Look Up,* la decisión de dar marcha atrás a la misión que trata de destruir el cometa Diviasky antes de que colisione contra la Tierra causando la extinción de toda vida en el planeta. La razón de cancelar la última oportunidad de la humanidad para evitar un trágico final es simple: el cometa alberga una cantidad desorbitada de tierras raras. Aunque en el mundo real no debemos enfrentarnos al impacto de una roca enorme que viaja a altas velocidades por el espacio en dirección a nuestro hogar, existe una parte del relato que ficción y realidad comparten: el creciente interés por estos elementos químicos, que han pasado de ser los olvidados de la tabla periódica a ser los causantes de un conflicto geopolítico de primer orden en cuestión de décadas.

Ytterby, donde todo empieza

El descubrimiento de las primeras tierras raras se lo debemos, en parte, al teniente sueco Carl Axel Arrhenius, que estando destinado en un archipiélago cercano a Estocolmo (Suecia) durante 1788 encontró en una mina de feldespato cercana al pueblo de Ytterby un extraño material oscuro. Arrhenius, que había estudiado química en la Casa Real de la Moneda, sabía que aquel hallazgo no podía tratarse de carbón debido a su gran peso, de modo que decidió hacer llegar la muestra al químico Johann Gadolin. Tras analizarla, Gadolin concluyó que aquella piedra contenía un elemento nuevo, que más tarde recibiría el nombre de gadolinita en su honor. Aunque la gadolinita se desestimaría años después al tratarse de una mezcla de silicatos en lugar de un solo elemento, de aquella cantera salieron las primeras tierras raras conocidas por el ser humano: en homenaje a Ytterby recibirían los nombres de itrio, terbio, erbio e iterbio, distinción envidiable para un pequeño pueblo y caso único en la tabla periódica. Ytterby fue el escenario de partida de una búsqueda que se

prolongaría durante más de un siglo y que daría como resultado una lista de diecisiete elementos: escandio, itrio y el grupo completo de lantánidos.

Aunque el nombre que ha perdurado para designar a estos elementos sea el de las tierras raras, ni son tierras, ni son tan raras. Antiguamente el término «tierra» se utilizaba para denominar a los óxidos, compuestos de varios elementos químicos. Durante años se pensó que muchos compuestos eran tierras raras, hasta que la llegada de la espectroscopía pudo finalmente ayudar a los químicos a diferenciar los compuestos de los elementos más básicos en base a sus líneas espectrales. Con respecto al segundo término, conviene aclarar que estos elementos no son raros debido a que haya una menor abundancia de ellos en el planeta. De hecho, algunas tierras raras, como el itrio o el neodimio, son bastante comunes, mucho más que otros elementos tan ubicuos como la plata. Sin embargo, sí resulta poco común encontrar tierras raras puras, ya que suelen estar adheridas a otros materiales, de ahí que su extracción requiera bastante esfuerzo además de causar un impacto ambiental destacable.

SEETAO

Extracción minera en un yacimiento de tierras raras en China.

Baotou, infierno y paraíso

En la región interior de Mongolia, perteneciente a la República Popular China, se encuentra el área minera de Baotou, principal explotación de tierras raras a nivel mundial y tristemente conocida por el impacto ambiental que ha causado la mina Bayan Obo del complejo industrial Baogang Steel and Rare Earth en el entorno de sus instalaciones. De la operación de extracción de tierras raras ha derivado la creación de un lago artificial, que más bien recuerda a un vertedero de desechos tóxicos, un cementerio humeante y gris que no ha parado de crecer desde los años cincuenta. Y es que una de las aristas más puntiagudas y preocupantes de la dependencia de las tierras raras es su modelo de extracción, altamente contaminante.

Existen diferentes métodos dependiendo del tipo de suelo en que se encuentren estos materiales. Para zonas con abundancia de monacita, un grupo de varios minerales que suelen contener tierras raras, se recurre a la lixiviación para separar los distintos materiales mediante el uso de un disolvente líquido, generalmente ácido sulfúrico, que ataca al mineral a una temperatura media de 200 ºC. Evidentemente el proceso no acaba aquí, ya que para obtener tierras raras de gran pureza es necesario limpiar la muestra con tratamientos entre los que se incluyen hidróxidos de amonio y sodio, ácidos, sulfatos y otras sustancias. Aunque las tierras raras presenten similitudes entre ellas, no todas responden a los mismos tratamientos ni logran precipitarse solo ante el uso del ácido sulfúrico. Y esto solo en el caso de la monacita.

Se estima que producir una tonelada de tierras raras genera en torno a 100.000 m³ de gas residual que contiene, entre otros compuestos, dióxido de azufre y ácido sulfúrico. También produce alrededor de una tonelada de residuos radiactivos como torio y uranio, además de contaminar alrededor de 75.000 litros de agua, un bien que en no pocos lugares escasea. Entonces, ¿por qué se asume el coste medioambiental de extraer estos materiales? La justificación se halla en la multitud de aplicaciones de las tierras raras, que gracias a sus propiedades magnéticas y ópticas se han convertido en un activo muy valioso para la sociedad industrializada y en motivo de discordia para las potencias mundiales.

La Edad de las tierras raras

Las propiedades de las tierras raras están íntimamente ligadas a su configuración atómica y electrónica. Los diecisiete elementos se caracterizan por tener un comportamiento químico muy similar; generalmente el estado de oxidación de las tierras raras suele ser trivalente (+3) y son elementos muy estables. Sus átomos suelen presentan un gran apantallamiento en sus orbitales externos, un efecto derivado de las fuerzas de repulsión que ejercen los electrones entre sí y el cual hace que arrancarlos de uno de estos átomos requiera del uso de mucha energía. Debido precisamente a sus similitudes químicas suelen

encontrarse juntos, de ahí que su extracción y separación también sea complicada.

Son tantas las aplicaciones de estos elementos que podríamos decir que, al igual que en su momento la humanidad experimentó las tres Edades —de piedra, de bronce y de hierro—, en la actualidad vivimos inmersos en la frenética Edad de las tierras raras. Las encontramos en aleaciones metálicas (cerio y erbio), en los discos duros de nuestros ordenadores (terio e iterbio), en cualquier televisor plano (europio e itrio) o incluso en un marcapasos (prometio). Para la producción de electricidad a partir de turbinas, presentes en casi la totalidad de las llamadas energías verdes o renovables (salvo el caso de la fotovoltaica), se recurre al uso de imanes permanentes, compuestos generalmente por neodimio o por una aleación de samario y cobalto. En los microondas, en los rayos láser, en la calibración de instrumentos de observación astronómica, en medicamentos y tratamientos contra el cáncer o la artritis reumatoide… estos extraños elementos dominan el mundo y su utilización, en algunos casos, parece ser inevitable.

Uno de los campos donde el papel de las tierras raras parece indispensable es la óptica. Concepción Cascales, profesora de investigación del Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid (ICMM-CSIC), lleva años trabajando en el Grupo de Materiales Láser y Luminiscentes con Tierras Raras del centro. Allí desarrollan todo tipo de materiales basados especialmente en lantánidos trivalentes, desde láseres de estado sólido hasta nanopartículas luminiscentes. "Una de las ventajas de los láseres basados en tierras raras es que presentan emisiones en longitudes de onda

Concepción Cascales.

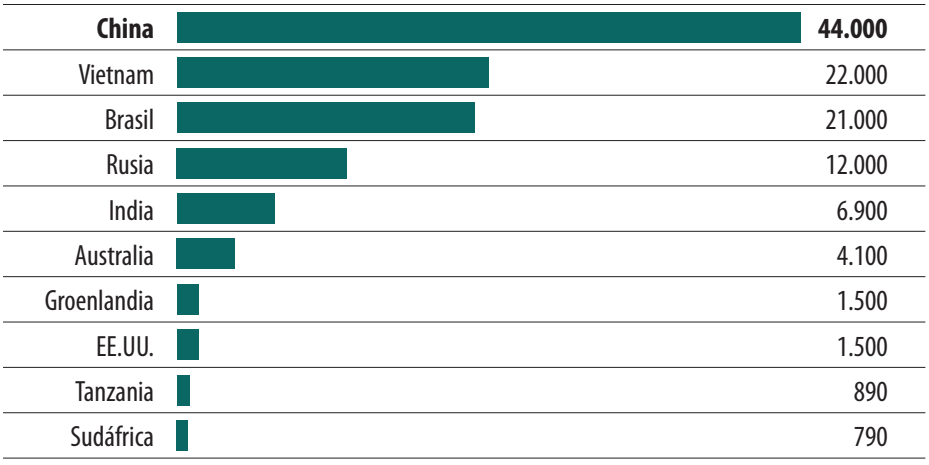
características, específicas de cada lantánido, y que abarcan desde el ultravioleta hasta el infrarrojo cercano", comenta la investigadora. Otra de las aplicaciones más novedosas, explica Cascales, es la utilización de nanopartículas dopadas con tierras raras, que "pueden utilizarse como nanosondas en bioimagen, en luminiscencia o como agente de contraste en resonancia magnética. Y también en termometría sin contacto, como una especie de nanotermómetros que pueden introducirse en las células. Cabe pensar en usar estas nanopartículas como plataformas capaces de incorporar simultáneamente todas esas funcionalidades". Y aunque quizás se podría pensar en hacer todo esto con otros materiales, en la actualidad no hay aún ningún sustituto adecuado.

Félix Jiménez-Villacorta es doctor en Física y actualmente se encuentra en el hub estratégico de tecnologías neutrónicas ESS Bilbao. Durante años ha investigado las posibles alternativas a los imanes permanentes fabricados con tierras raras, otra de las aplicaciones más rentables de estos elementos. "La aplicación fundamental de los imanes que tienen tierras raras es la generación de energía", comenta. Para generar electricidad necesitamos un

Félix Jiménez-Villacorta.

campo magnético, y este es el principio que siguen todas las turbinas para producir energía. Sin embargo, "para generar una corriente eficiente durante mucho tiempo debemos tener un imán muy estable, que no pueda desimanarse. Los que se utilizan en los aerogeneradores eólicos pueden pesar de una a cuatro toneladas, y además deben ser muy duros magnéticamente. Esta eficiencia solo la consigues con tierras raras", resume. Pese a ello, Jiménez-Villacorta señala que se pueden fabricar imanes

Reservas mundiales de tierras raras en el mundo hasta 2020 (en miles de toneladas métricas)



El maravilloso club de los 17

Número atómico	Nombre	Año de descubrimiento	Algunas aplicaciones	Abundancia (ppm)*
21	Escandio (Sc)	1879	Luces de alta intensidad, industria aeroespacial	22
39	Itrio (Y)	1794	Tubos de rayos X, baterías y láseres	33
57	Lantano (La)	1839	Tratamientos médicos, vidrios ópticos	39
58	Cerio (Ce)	1803	Catalizador en la extracción de petróleo, motores de combustión interna	66.5
59	Praseodimio (Pr)	1885	Discos duros, cámaras y piezas de aviación	9.2
60	Neodimio (Nd)	1885	Imanes, motores y baterías híbridas	41.5
61	Prometio (Pm)	1944	Láseres para submarinos y satélites	0,00001
62	Samario (Sm)	1853	Disminución del dolor en pacientes terminales	7.05
63	Europio (Eu)	1901	Fibra óptica y coloración del rojo en las pantallas	2
64	Gadolinio (Gd)	1880	Resonancias magnéticas, diagnóstico de enfermedades	6.2
65	Terbio (Tb)	1843	Circuitos electrónicos y fósforos	1.2
66	Disprosio (Dy)	1886	Discos duros y reactores nucleares	5.2
67	Holmio (Ho)	1878	Coloración de vidrio, láser médico	1.3
68	Erbio (Er)	1843	Gafas de sol y fósforos	3.5
69	Tulio (Tm)	1879	Instrumentación médica	0.52
70	Iterbio (Yb)	1878	Odontología y aleaciones de acero	3.2
71	Lutecio (Lu)	1907	Medicina nuclear, Catalizador en la extracción de petróleo	0.8

*ppm = partes por millón de la corteza terrestre

TERENCE WRIGHT

Óxidos de tierras raras: praseodimio, cerio, lantano, neodimio, samario y gadolinio.

permanentes sin estos materiales, aunque no se alcancen unas condiciones tan favorables, como es el caso de los imanes de ferrita. "Otra solución es reciclar los imanes que ya no se utilicen, ya que estos no pierden sus propiedades con el paso del tiempo", concluye.

Al mejor postor

La Unión Europea, EE. UU. y Japón denunciaban hace una década ante la Organización Mundial del Comercio (OMC) la necesidad de iniciar una investigación contra China debido a las restricciones impuestas por el país asiático a la hora de exportar tierras raras y otras materias primas. Desde entonces, la presión en torno a estos materiales no ha hecho más que crecer en paralelo al liderazgo de China en el sector. Pandemia por medio, los precios se han encarecido y China ha aprendido a usar esta superioridad como moneda de cambio para conseguir aquello que desee. Mario Esteban, investigador del Real Instituto Elcano y profesor del Centro de Estudios de Asia Oriental de la Universidad Autónoma de Madrid, considera que la clave es la alta concentración de la producción de tierras raras en China ya que "es el país con las mayores reservas de tierras raras del mundo, con el 44 %, pero el porcentaje de la producción de estas tierras raras que concentra es significativamente mayor, casi monopolístico en algunas de ellas".

La razón de este monopolio se esconde tras la estrategia liberal que adoptaron las potencias mundiales en las pasadas décadas y que llevaron a la mayoría de países a importar estos elementos en lugar de producirlos: "Si China quiere asumir el coste medioambiental de la extracción de tierras raras, que lo hagan ellos y nosotros ya compraremos el producto final. Este era el pensamiento de países como Estados Unidos hace no tanto", explica Esteban.

Por supuesto, la situación ha cambiado, en parte porque "en un contexto de creciente competencia geopolítica, particularmente entre Estados Unidos y China, Pekín puede utilizar su control sobre las tierras raras como palanca para intentar influir sobre otros países que las necesitan", dice el experto. Ahora las tierras raras son un activo importante a

Al alcance de cualquiera

Tratar de procesar la complejidad de los teléfonos inteligentes no es tarea fácil. Cualquier ciudadano -occidental- dispone de uno y lo utiliza a diario, a todas horas, para casi cualquier cosa. Se han convertido en un anexo a nuestro cuerpo; quizás por ello no reparamos en todo el esfuerzo humano que hay detrás de tan sofisticado invento ni nos percatamos de la cantidad de elementos que componen al nuevo mejor amigo del *Homo sapiens*. En cada uno de los teléfonos móviles actuales encontramos una lista nada anecdótica de tierras raras. La pantalla, por ejemplo, suele fabricarse utilizando pequeñas cantidades de disprosio, europio, itrio, lantano, praseodimio, gadolinio y terbio. Y así con todo; los circuitos electrónicos, el micrófono, los altavoces... En nuestras manos tenemos el oro del siglo XXI y nos servimos de él para ver vídeos o enviar memes.

nivel económico, íntimamente relacionado con las nuevas tecnologías y punto clave en la transición energética. Estados Unidos, Australia, Rusia o Brasil no pueden permitirse incertidumbres ni quieren depender de China. Por ello, según Esteban, "están impulsando proyectos de producción de estos elementos en sus territorios. Y a la par, también encontramos empresas que llevan un tiempo buscando tecnologías alternativas; por ejemplo, en el sector automotriz, que es uno de los más dependientes".

Sin embargo, y aunque el resto de países decidan iniciar ahora proyectos propios para la extracción de estos materiales, China presenta una ventaja decisiva y fulminante, y es que "la sociedad civil no tiene capacidad en el país para imponer sus prioridades a las autoridades", resume Esteban: las principales explotaciones de tierras raras en China se encuentran en zonas con un nivel socioeconómico muy bajo, de modo que su población asume el coste medioambiental de estas actividades contaminantes por necesidad. Esto da un margen a las autoridades difícil de imaginar en otros países como Australia.

Mario Esteban.

Un horizonte incierto

Las tierras raras no dejarán de ser un activo valioso para los países, al menos no en un futuro inmediato, y su aplicación en determinados sectores parece ser inevitable, de modo que cabe preguntarse: ¿Cómo podemos minimizar el impacto de estos elementos en nuestras vidas? La extracción de tierras raras deberá ir acompañada de un compromiso real por parte de las autoridades a la hora de sancionar a aquellas empresas cuyo impacto ambiental supere las recomendaciones de los expertos. La investigación dedicada al desarrollo de nuevas aplicaciones para estos elementos deberá complementarse con estudios que exploren todas las posibilidades alternativas siempre que eso sea posible y, por supuesto, para tratar de encontrar métodos menos dañinos para el entorno. Posibilidades factibles, recomendadas y anheladas, aunque quizás la respuesta más sensata sea la misma para todos los problemas que enfrenta la humanidad; decrecer, por derecho propio más que por necesidad.

Estructuras de hormigón escarificadas. Se observan las marcas de las medidas radiológicas para la verificación de la correcta retirada de la contaminación embebida.

El desmantelamiento antes del desmantelamiento

El desmantelamiento de instalaciones nucleares es un proceso técnico y administrativo, con un conjunto de actividades cuyo objetivo final es la liberación de su emplazamiento para otros usos convencionales. Todo esto sin ocasionar efectos radiológicos no admisibles, ni a los trabajadores, ni a la población ni al medio ambiente. Aquí se presentan algunas consideraciones sobre la experiencia adquirida en los primeros proyectos de desmantelamiento de estas instalaciones y se analiza el reto regulador que han significado estas primeras experiencias. También se trata la armonización reguladora sobre estos procesos en Europa y la publicación de la Instrucción del CSN IS-45, que regula una de las lecciones aprendidas: la necesidad de una planificación previa del futuro desmantelamiento con suficiente antelación a la finalización de la etapa operativa de la instalación.

■ Texto: **José Luis Revilla González** | Jefe del Área de Instalaciones del Ciclo y en Desmantelamiento ■

Las centrales nucleares que cesan de manera definitiva su operación, bien sea por razones técnicas, económicas o por cualquier otro motivo que obligue a finalizar su actividad, continúan estando sometidas al control regulador en tanto que las mismas puedan seguir siendo una fuente potencial de daños a los individuos o al medioambiente. Todos los reactores y demás instalaciones nucleares cuando llegan al final de su vida operativa deben ser desmantelados. Tras su desmantelamiento, la declaración de clausura, o finalización de licencia, es el último acto que las autoridades reguladoras ejercen sobre los titulares y representa un reconocimiento tácito de que los riesgos remanentes que puedan quedar en su emplazamiento se consideran aceptables.

El desmantelamiento de una instalación nuclear se define, desde un punto de vista regulador, como el conjunto de actividades administrativas y técnicas que incluyen el desmontaje de equipos, sistemas y componentes, la descontaminación y demolición de las estructuras y la restauración de los terrenos afectados por la antigua instalación.

Un análisis más conceptual y práctico define al desmantelamiento como una reducción sistemática y progresiva de los riesgos remanentes que quedan en la instalación una vez finalizada su vida ope-

rativa. Las autoridades encargadas de su regulación tienen la responsabilidad de asegurar que los trabajadores, el público y el medio ambiente estén suficientemente protegidos, tanto durante el propio desmantelamiento como cuando este haya concluido. Esta función de control requiere que los titulares hayan identificado previamente estos riesgos y que hayan puesto las medidas para resolver los problemas de seguridad que los mismos pueden implicar.

Reto regulador

En esta nueva situación, los elementos combustibles están fuera del núcleo del reactor, por lo que se minimiza la posibilidad de configuraciones críticas y se reducen de un modo sustancial los riesgos presentes en su etapa operativa, la mayor parte de ellos bien conocidos y controlados desde su inicio. Sin embargo, el desmantelamiento implica otras actividades diferentes a las que habitualmente se llevan a cabo durante la operación y se tienen que tener en consideración nuevos aspectos de seguridad.

Gran parte de los criterios y de la normativa utilizada para controlar los riesgos radiológicos durante la etapa operativa de la instalación siguen siendo aplicables durante su desmantelamiento. Aparece, sin embargo, la necesidad de desarrollar una regulación específica que haga frente a los nuevos riesgos emergentes y de adaptar los esquemas de supervisión y control típicos de la etapa operativa de la instalación a las actividades de desmantelamiento, que se caracterizan por:

- Su dinamismo. Lo que implica un cambio constante de la configuración física de la instalación, con la modificación continua del mapa de riesgos durante las actividades de desmantelamiento, que contrasta con una situación cuasi estática durante la operación (tasas de radiación, flujos de aire, situaciones inesperadas, etc.).
- Su irreversibilidad. Lo que impide repetir la actividad, provocando que el control regulador tenga que focalizarse en acciones preventivas como el entrenamiento, la cultura de seguridad de la organización y la garantía de calidad en la primera y única ejecución de la actividad que se puede llevar a cabo.
- Su control enfocado a incidentes. De consecuencias más leves, pero de ocurrencia frecuente, frente al control durante la operación que se focaliza en accidentes, de ocurrencia remota, pero con consecuencias ciertamente más graves.

El análisis e integración de todos estos aspectos innovadores del desmantelamiento constituyó, a finales del pasado siglo y comienzos del actual, un auténtico reto para la industria nuclear y para las autoridades reguladoras encargadas de su supervisión y control. Actualmente, con algunos desmantelamientos ya finalizados y numerosos proyectos en marcha, se cuenta ya con suficiente experiencia para poder estandarizar el desmantelamiento como actividad industrial, así como para hacer más diligente y predecible el proceso de su licenciamiento.

Numerosas organizaciones internacionales como el OIEA, la NEA y el propio sector nuclear han constituido diversos grupos para analizar la experiencia adquirida y emitir recomendaciones y guías para hacer frente al reto que plantean los desmantelamientos.

Armonización europea

Por su parte, los reguladores también han desarrollado requisitos estandarizados, como los denominados niveles de referencia de seguridad para el desmantelamiento y para la gestión de los residuos radiactivos que está desarrollando la Asociación de Reguladores Nucleares de Europa Occidental (WENRA) para su uso en Europa.

WENRA es un grupo formado por los organismos reguladores de 18 países europeos, junto con diversos miembros asociados y observadores de Europa y resto del mundo. Su objetivo es desarrollar un enfoque común y armónico para la seguridad nuclear y permitir que los principales reguladores de seguridad nuclear en Europa intercambien experiencias y debatan importantes cuestiones de seguridad. La asociación ha organizado varios grupos de trabajo temáticos, entre los que se incluye el denominado *Working Group on Waste and Decommissioning* (WGWD), que aborda los aspectos reguladores relacionados con los residuos radiactivos, el combustible gastado y las cuestiones reguladoras que plantea el desmantelamiento de instalaciones nucleares.

Este grupo, en el que participa desde su inicio el CSN, tiene por objetivo principal el de llevar a cabo un proceso de armonización reguladora en relación a las instalaciones de gestión de residuos radiactivos y del combustible gastado y al desmantelamiento de instalaciones nucleares. El grupo WGWD, basándose en las recomendaciones del OIEA y en la experiencia reguladora de sus países miembros, ha elaborado, entre otros, el documento "Decommissioning Safety Reference Levels Report", en el que se establecen los denominados niveles de referencia de seguridad "Safety Reference Levels" (SRL) para el desmantelamiento de instalaciones nucleares.

Tomando como referencia los citados SRL, el grupo WGWD ha llevado a cabo diversos ejercicios de intercomparación entre las regulaciones de los países miembros aplicables a la seguridad del desmantelamiento de las instalaciones nucleares. El ejercicio sirve para determinar, en los distintos países WENRA, su grado de armonización o coincidencia con

Almacén temporal Individualizado (ATI) de la central José Cabrera, como estructura auxiliar para el desmantelamiento.

dichos niveles de referencia SRL. Las discrepancias o diferencias halladas dependen lógicamente del esquema regulador de cada país, así como de su experiencia en la regulación de los proyectos de desmantelamiento.

El objetivo armonizador de WENRA tiene por finalidad establecer en Europa una regulación de obligado cumplimiento de carácter general durante la planificación y la ejecución de actividades del desmantelamiento, a aplicar a lo largo de todas las fases de la vida de la instalación, desde su diseño inicial hasta la declaración de su clausura.

Marco normativo español

Los proyectos españoles de desmantelamientos llevados a cabo hasta la fecha cumplen, a nivel práctico, la mayoría de los citados requerimientos SRL. Sin embargo, para una parte importante de los mismos, todavía no existe una regulación específica que los haga de obligado cumplimiento a nivel general. Esta carencia se suple, en la mayoría de los casos, incorporando dichos requerimientos a condicionados e instrucciones técnicas complementarias a las autorizaciones de desmantelamiento concedidas.

La actual estrategia española para el desmantelamiento de las centrales y demás instalaciones nucleares parte de la Ley 25/1964 sobre energía nuclear, que determina el desmantelamiento y clausura de las instalaciones nucleares como un servicio público esencial que se reserva a la titularidad del Estado. La empresa pública de gestión de residuos radiactivos, Enresa, asume dicha titularidad y es la responsable de llevar a cabo el desmantelamiento de las instalaciones nucleares, una vez que estas hayan finalizado su vida operativa.

Esta estrategia se plasma en las distintas ediciones del Plan General de Residuos Radiactivos, que contempla una transferencia temporal de la titularidad de las instalaciones nucleares a Enresa, al objeto de que esta proceda a su desmantelamiento. Esta transferencia se produce reglamentariamente de manera simultánea a la concesión a Enresa de la autorización para que proceda al desmantelamiento de la instalación. Este proceso no debe ser óbice para que el operador de la instalación adopte, durante su vida útil, todas las medidas necesarias para facilitar su futuro desmantelamiento.

Un control regulador eficaz, sin embargo, exige una planificación previa del desmantelamiento, con suficiente antelación a la finalización de la etapa operativa de la instalación a desmantelar. De esta manera, el control podrá ser ejercido con carácter inmediato sobre el conjunto de las actividades que se vayan a

llevar a cabo tras el cese definitivo de operación de la instalación.

La implicación del operador en el desmantelamiento de la instalación es especialmente importante durante la etapa que transcurre desde el fin de su operación y su transferencia de titularidad a Enresa. En esta etapa de transición se efectúan las denominadas actividades preparatorias o de predesmantelamiento.

Una de las lecciones aprendidas de la experiencia es la necesidad de contar con una previsión anticipada del futuro desmantelamiento al que se someterá la instalación. Esto exige, desde el inicio, una planificación temprana de los aspectos tecnológicos, organizativos, de gestión de residuos y de los económico-financieros, que demuestre la viabilidad de dicho desmantelamiento.

En este sentido, en el caso español el artículo 14 del vigente Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas, Real Decreto 1836/1999 (RINR), requiere que la solicitud de autorización previa de las instalaciones nucleares incluya información básica sobre las previsiones tecnológicas y financieras necesarias para garantizar su futuro desmantelamiento. Asimismo, los artículos 17 y 20 del mismo reglamento reiteran estas previsiones para que se incluyan en el Estudio Preliminar de Seguridad que acompañe a la solicitud de autorización de construcción de la instalación y, ya como documento oficial, en la solicitud de autorización de explotación.

Los mencionados requisitos reglamentarios obligan a adoptar una actitud anticipada sobre el futuro desmantelamiento de las instalaciones, tanto a los propios titulares como a los distintos organismos competentes encargados de su regulación y control.

Cabe destacar sin embargo que, en el caso de España, los requerimientos normativos para prever las necesidades y los criterios o requisitos de seguridad que se deben aplicar durante las etapas de diseño, de construcción y de explotación de las instalaciones nucleares, con objeto de facilitar su futuro desmantelamiento, solo se han incorporado recientemente y de una manera muy general en el Reglamento sobre Seguridad Nuclear, Real Decreto 1400/2018. El artículo 36 de este reglamento requiere un denominado Plan de Desmantelamiento de la instalación en todas las fases de su vida, conteniendo las previsiones para su desmantelamiento.

La Instrucción IS-45

España, como país miembro de WENRA, se siente obligada a cumplir los requisitos de seguridad que el grupo WGWD ha establecido para el desmantelamiento. Se precisa, por tanto, incorporar al marco reglamentario español todos los requisitos que aún no sean de obligado cumplimiento, aunque, como se ha indicado anteriormente, se vengan aplicando en la práctica.

Dado el marco estratégico español, en el que el titular de explotación de las instalaciones nucleares difiere del titular responsable de su desmantelamiento, se opta por trasponer los criterios de seguridad SRL en dos instrucciones diferentes, aunque complementarias, y dirigidas, la primera a los titulares operadores de las instalaciones nucleares antes de su transferencia a Enresa, y la segunda a Enresa, titular responsable de la ejecución de las tareas de desmantelamiento.

La reciente Instrucción del CSN IS-45 sobre los requisitos de seguridad durante las fases de diseño, construcción y explotación de las instalaciones nucleares y radiactivas del ciclo del combustible nuclear, para prever su desmantelamiento y, en su caso, su desmantelamiento y cierre, es la primera instrucción que incorpora a la regulación nacional sobre el desmantelamiento los requisitos de

seguridad SRL del grupo de trabajo WGWD.

En concreto, viene a ratificar la necesidad de incorporar, tanto en las etapas de diseño y construcción de la instalación nuclear como durante toda su vida útil, una planificación anticipada de su futuro desmantelamiento.

El objetivo de esta instrucción es establecer directrices para los operadores de las centrales y demás instalaciones nucleares para prever y demostrar, en fases tempranas de su vida, que su desmantelamiento es posible y seguro. La instrucción, como se ha indicado anteriormente, no va dirigida Enresa, responsable de la ejecución de las actividades de desmantelamiento, sino a los titulares de la autorización previa, de la de construcción y de la de explotación.

La IS-45 requiere al titular de la instalación nuclear que se contemple desde el principio una planificación para su futuro desmantelamiento en el denomi-

La central nuclear Vandellós 1, actualmente en la fase de latencia, como ejemplo de un desmantelamiento diferido.

nado Plan Preliminar de Desmantelamiento, y que se adopten determinadas precauciones y actuaciones para facilitar el futuro desmantelamiento, antes de que este comience.

Cultura de seguridad

Quizás la principal innovación conceptual que trae la instrucción es la de que el titular de la instalación nuclear ha de responsabilizarse de su futuro desmantelamiento. Esta filosofía es particularmente importante en un contexto regulador como el español, en el que el desmantelamiento de las instalaciones esta fuera de la perspectiva de actuación futura de los titulares de explotación de las instalaciones.

La instrucción requiere que el operador de la instalación ha de concienciarse para adoptar, desde el inicio de su licenciamiento, las medidas necesarias para facilitar su desmantelamiento, tanto en su diseño como en su construcción y durante su operación.

Registros

La historia de las instalaciones está recogida en sus archivos, que son la fuente básica de información para la planificación del futuro desmantelamiento. La instrucción trata de evitar la pérdida de las referencias documentales que puedan ser útiles en el futuro desmantelamiento y requiere a los titulares de operación la recopilación y preservación del conocimiento y de la experiencia técnica adquirida durante toda la vida de la instalación que pueda utilizarse en su desmantelamiento.

Durante las fases de diseño, construcción y explotación se identificará y recopilará toda la información relevante, como: documentos y modificaciones de diseño previas a la solicitud de desmantelamiento, registros sobre la vida operativa de la instalación, incidentes y sucesos notificables, inventarios históricos de radionúclidos, tasas de dosis y niveles de contaminación, documentos de caracterización, acondicionamiento y almacenamiento de las sustancias nucleares y de los residuos radiactivos generados o gestionados en la instalación, etc.

Los documentos y registros que contengan este tipo de información se consideran registros permanentes y deberán ser conservados durante toda la vida operativa de la instalación para, en su caso, ser transferidos a su proyecto de desmantelamiento y para evitar la pérdida de referencias en los desmantelamientos diferidos.

El punto final del desmantelamiento es la liberación del emplazamiento de la instalación previa una restauración que lo rehabilite para su uso convencional, lo que requiere un conocimiento del estado radiológico inicial del emplazamiento antes de que este pueda ser alterado. La IS-45 requiere que para una nueva instalación se realice un estudio base del fondo radiológico para su comparación con el estado final que se proponga. Para aquellas instalaciones en las que tales estudios base no hayan sido realizados en el pasado, podrán utilizarse los de áreas análogas no impactadas de características similares.

Configuración de la planta

La principal fuente de información acerca de la instalación a desmantelar proviene de los planos y la documentación de su fase de diseño. Toda la planificación del desmantelamiento descansa en planos y esquemas de ingeniería de la instalación; de ahí la insistencia en requerir una gestión adecuada del conocimiento y de la información.

Los sistemas de gestión de la planta deben incluir, además de los registros de diseño directamente relevantes para la operación, otros que podrían ser importantes para el desmantelamiento. La información sobre aberturas temporales realizadas durante la construcción o mantenimiento puede facilitar la reutilización

de estos accesos durante su desmantelamiento. Los planos de construcción localizan juntas estructurales y de expansión en los edificios que pueden ser de gran ayuda para su demolición y para el desmontaje de grandes equipos y sistemas. Las descripciones y fotografías de las distintas etapas constructivas de la instalación pueden sugerir secuencias de desmontaje, vías de evacuación de residuos, etc.

La experiencia sugiere que los registros de la planta a veces pueden estar incompletos o ser inexactos y, en consecuencia, pueden no reflejar la configuración final de la misma. Se debe considerar, ya desde el principio de la operación, la necesidad de registrar de forma continua las posibles variaciones en la configuración física de la planta, así como los sistemas de archivos para mantener dichos registros. En instalaciones antiguas puede darse el caso de que no se disponga de esta información básica, lo que contribuye a dificultar su desmantelamiento, exigiendo incluso la reconstrucción de los planos de diseño iniciales de la instalación.

El problema de la pérdida de información es evidente sobre todo en instalaciones en las que se retrasa el inicio de su desmantelamiento, en pequeñas instalaciones piloto o antiguas instalaciones de investigación que dejaron de ser operativas tiempo atrás, en las que además ha habido una gran rotación de personal y cambios organizativos en su historia. Cuando por fin se decide su desmantelamiento resulta que sus archivos han sido desechados o simplemente han desaparecido.

En el caso de los desmantelamientos diferidos de centrales nucleares, antes de proceder a la fase inactiva o de latencia de la instalación se debe documentar exhaustivamente el conocimiento histórico disponible de la fase de diseño y de las modificaciones realizadas durante su operación. Esta información deberá mantenerse disponible para el reinicio de las tareas de desmantelamiento en el futuro.

Diseñar para desmantelar

El diseño de las centrales e instalaciones nucleares, así como las modificaciones de diseño que posteriormente se realicen, deben tener presente las necesidades de su futuro desmantelamiento, que se sintetiza en la expresión "diseñar para desmantelar":

- Se persigue minimizar la generación de residuos radiactivos, limitando y controlando la activación y la contaminación.
- Se diseña para minimizar las dosis en las tareas de desmantelamiento, simplificando y facilitando accesos y el desmontaje de equipos.
- Se tiene en consideración la futura manipulación y gestión de materiales y residuos.

Muchos de los requisitos de diseño destinados a facilitar el mantenimiento durante la operación son también beneficiosos para las tareas de desmantelamiento posteriores. La facilidad de acceso y los espacios amplios proporcionan capacidad de manipulación, sustitución y desmontaje de componentes. Sin embargo, otras consideraciones de diseño presentan dificultades especiales como las provisiones en el diseño utilizadas para dotar de estabilidad a largo plazo a determinados sistemas como las estructuras destinadas a minimizar la infiltración, a contener derrames y escapes, etc.

La buena práctica consiste en evitar el uso de tuberías empotradas, trazando las tuberías a través de áreas accesibles como túneles o zanjas, o utilizando barreras dobles para las que atraviesen paredes o soleras de hormigón. Las fugas en tuberías empotradas son difíciles de localizar durante la operación de la planta y pueden dar lugar a una mayor cantidad de residuos radiactivos en la demolición de las estructuras y a exigir medidas de protección radiológica adicionales.

La selección y la terminación de los materiales utilizados tienen gran importancia en el futuro desmontaje y demolición de sistemas. Usar aceros de poca activación neutrónica (bajo contenido en cobalto) minimizan las dosis recibidas por el personal afectado por su futuro desmantelamiento y la generación de residuos radiactivos. Un buen acabado y pulido de recipientes y tuberías facilita la descontaminación y el saneamiento de los sistemas y componentes, etc. En general resulta una buena práctica conservar registros de la composición original de los materiales de acero y hormigón utilizados en la planta (incluidas las especificaciones técnicas), ya que el conocimiento de las impurezas puede ser importante para el desmantelamiento

La nueva instrucción requiere que durante el diseño y construcción de la instalación se describan, analicen y justifiquen las medidas sobre la selección de materiales y sus acabados, las características del diseño de los sistemas, equipos y componentes que faciliten su desmontaje, demolición y su posible uso durante el desmantelamiento.

Historial operativo

La descripción y las especificaciones de funcionamiento de los sistemas a desmantelar facilitan las tareas de saneamiento previo de la instalación, antes de su desmontaje, especialmente si se debe realizar usando el equipamiento preexistente en la instalación, mediante la circulación de soluciones descontaminantes o mediante técnicas de trabajo remoto. Información equivalente se puede extraer también de las especificaciones de los suministros efectuados a la instalación.

El registro del historial operativo de la instalación proporciona datos importantes que facilitan posteriormente su desmantelamiento. La experiencia indica

que, durante la operación rutinaria de las instalaciones, siempre hay que contar con la posibilidad de incidentes o accidentes que impliquen contaminaciones internas o de vertidos incontrolados que afecten a zonas interiores o del exterior de la instalación.

Una buena práctica es la detección temprana de las fugas y de la contaminación en tuberías subterráneas. También es deseable proporcionar medios para monitorizar los parámetros químicos de la planta, con el objetivo de minimizar la corrosión de los componentes metálicos. Los operadores de la instalación deben prestar especial atención al registro de esta información, ya que, de lo contrario, tal contaminación solo podría identificarse durante la demolición de las estructuras.

La futura restauración del emplazamiento se facilitará si durante la operación de la instalación se establece un programa de control y de actuación de las zonas exteriores, dentro de la zona bajo control del explotador, que se hayan podido contaminar de manera significativa por diferentes sucesos operativos, incidentes o accidentes que hayan implicado liberaciones de material radiactivo.

Demolición del edifico de reactor de la central nuclear Vandellós 1.

Plan preliminar de desmantelamiento.

El Plan de Desmantelamiento y Clausura no es un documento que sea requerido por el actual reglamento sino un mero concepto terminológico referido al conjunto de documentos oficiales que rigen las actividades una vez sea concedida la autorización de desmantelamiento.

Una innovación importante de la nueva Instrucción IS-45 se centra en la previsión temprana estratégica del futuro desmantelamiento de la instalación nuclear al requerir un plan preliminar que anticipe o prevea su desmantelamiento seguro desde el momento inicial del licenciamiento de su autorización previa.

El propósito del plan preliminar de desmantelamiento es proporcionar una información básica sobre la complejidad del futuro desmantelamiento y establecer procedimientos para la recopilación de información relevante durante la operación y el mantenimiento de la instalación que pueda facilitar el proceso.

El plan preliminar que el titular de la instalación deberá elaborar en colaboración con el responsable de su futuro desmantelamiento (Enresa en el caso de instalaciones nucleares) debe establecer y documentar la estrategia que inicialmente se establece para su desmantelamiento.

La versión inicial de este plan preliminar incluirá una cantidad mínima de detalles y muchas de las conclusiones se pueden basar en suposiciones lo más realistas posibles. Parte de la información deberá incorporarse más adelante en sus revisiones posteriores. Cada actualización del plan incluirá información sobre cambios de equipos, estructuras o procesos; eventos no planificados; cambios en las capacidades de apoyo, incluida la gestión de desechos y el monitoreo radiológico; actualización de las condiciones radiológicas; cambios en los requisitos legislativos; cambios en los supuestos financieros; y mejoras en la tecnología de desmantelamiento.

El plan preliminar actualizado se vuelve más detallado a medida que se acerca el final del período operativo de la instalación y se agrega la información adicional que se prevé necesitar para proceder a su desmantelamiento. Las suposiciones del plan se deben validar por Enresa, que va a ser el ejecutor de las actividades del futuro desmantelamiento de la instalación nuclear. Una vez que la instalación deja de funcionar de forma permanente, Enresa prepara, por último y en base a la última versión del plan preliminar, el plan definitivo de desmantelamiento de la instalación, que es la base para la solicitud de su autorización.

La fusión nuclear y el ITER

Texto: **Pedro Mateos (Divulga)**

La fusión nuclear es el motor que produce la luz y el calor que irradian las estrellas, y consiste en la unión de núcleos atómicos elementales para formar uno más pesado. A diferencia de la fisión, no produce desechos radiactivos directos, aunque sí produce una intensa radiación neutrónica que activa los materiales de contención. Su combustible principal está formado por los núcleos de dos isótopos del hidrógeno, el deuterio, que se puede extraer del agua del mar, y el tritio, menos abundante pero reutilizable en el proceso. La fusión genera una gran cantidad de energía. Pero aprovecharla de forma controlada es extremadamente complejo, dada la repulsión electrostática de los núcleos atómicos. Vencer esa resistencia exige alcanzar el confinamiento del plasma en condiciones extremas de temperatura y presión. Para conseguirlo se utilizan dos vías alternativas: el uso de intensos campos electromagnéticos (confinamiento magnético), y el uso de haces de luz láser que calienten y compriman el plasma (confinamiento inercial).

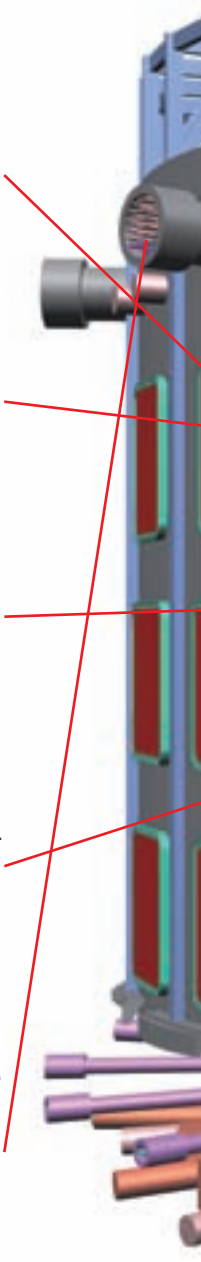
La fusión nuclear se ha conseguido en algunos de los proyectos desarrollados hasta ahora, pero para ello se ha necesitado inyectar en el sistema más energía de la obtenida. Para conseguir ganancia energética se puso en marcha en 2007 el Reactor Termonuclear Experimental Internacional (ITER, por sus siglas en inglés), ubicado en Cadarache (Francia), en el que participan 35 países (los 27 de la UE, Suiza, Reino Unido, EE.UU., China, India, Japón, Corea del Sur y Rusia).

ITER es el mayor megaproyecto científico internacional y su objetivo es demostrar la viabilidad tecnológica de la fusión nuclear como fuente de energía limpia, inagotable y rentable en términos energéticos. Actualmente se encuentra en la recta final de su construcción, iniciada en 2013, y ya se han completado más de tres cuartas partes del complejo proceso de ensamblaje, que involucra a miles de trabajadores.

El reactor del ITER utilizará el confinamiento magnético y la tecnología tokamak, ideada en los años 50 por científicos soviéticos. A diferencia de los stellerator, que exigen una configuración altamente sofisticada con bobinas exteriores, los tokamak consisten en una estructura de forma toroidal con bobinas eléctricas que inducen una corriente alterna en el plasma. En el caso del ITER, unos hilos superconductores de 100.000 kilómetros de longitud total conformarán los campos magnéticos toroidales, posibilitando el confinamiento del plasma y la fusión nuclear.

El reactor cuenta con una cámara de criostato que proporciona el vacío imprescindible para su correcto funcionamiento, así como de una máquina de vacío revestida de un manto o escudo térmico que protege la estructura del violento calor necesario para la fusión de los núcleos atómicos, así como del impacto de los neutrones de alta energía. Es en la cámara de vacío donde encontramos los imanes superconductores que generan el campo magnético uniforme e intenso, preciso para confinar el plasma y que además ayudan a su calentamiento.

Las cifras que rodean al ITER son colosales. En conjunto, este instrumento llegará a pesar 23.000 toneladas y se construye sobre una plataforma de 42 hectáreas; el edificio del tokamak medirá 73 metros y contendrá 830 metros cúbicos de plasma, que calentará a temperaturas cercanas a 150 millones de grados Celsius,



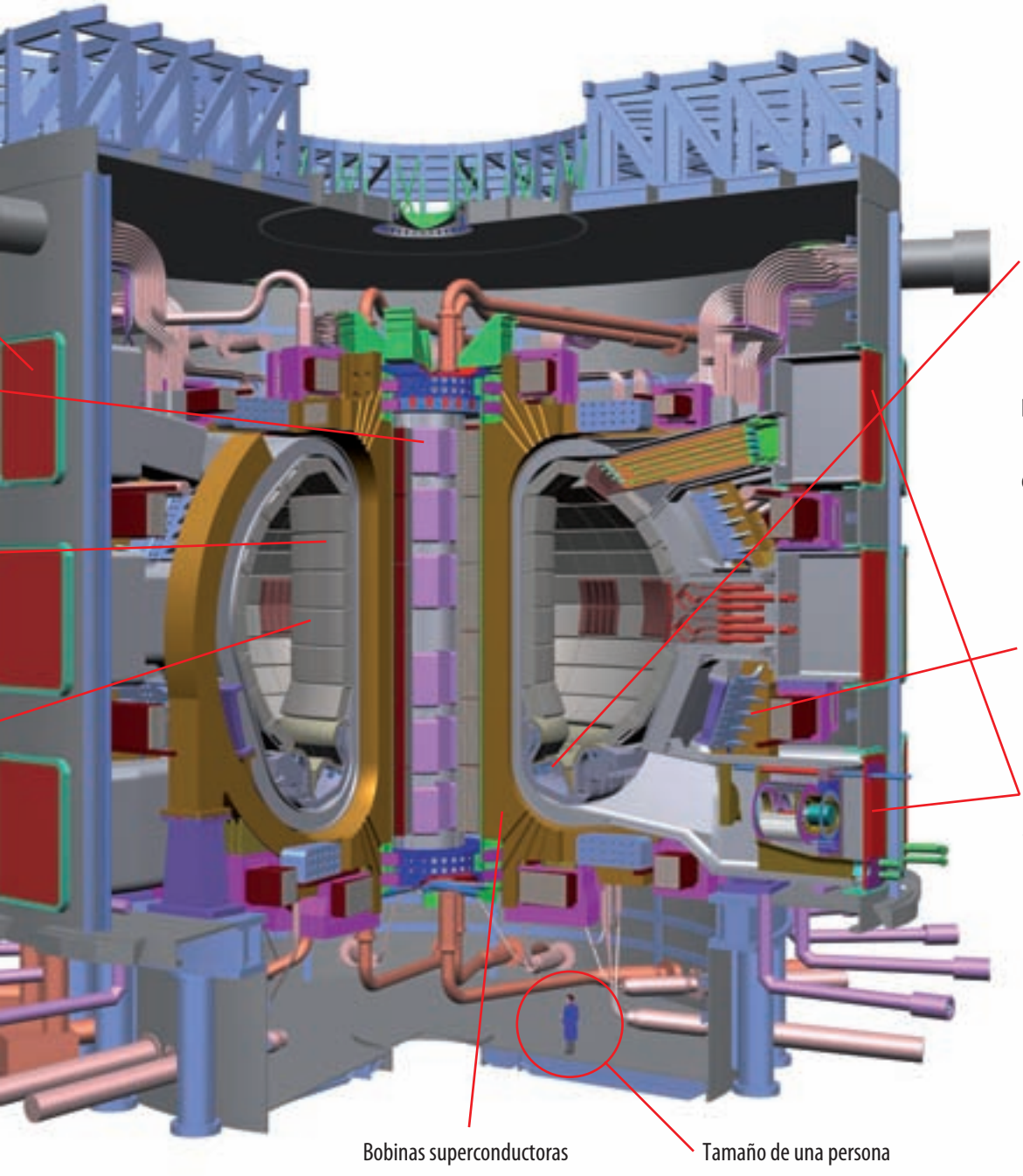
1 Ráfagas de deuterio y tritio se inyectan en la cámara toroidal del tokamak. El gas pesa menos que un sello de correos y ocupa un tercio del volumen de una piscina olímpica.

2 La electricidad que fluye a través de este electroimán produce un voltaje a lo largo del gas.

3 El voltaje separa los electrones de los átomos de deuterio y tritio, cuyos núcleos se convierten en átomos cargados (iones), un estado de la materia llamado plasma.

4 El plasma es confinado en el tanque de vacío gracias a los campos magnéticos generados por un conjunto de bobinas superconductoras, y se calienta a 10 millones de grados Celsius.

5 Para aumentar aún más la temperatura, se disparan ondas de radio y microondas al plasma y chorros de deuterio de alta energía, con lo que el plasma alcanza entre 100-200 millones de grados Celsius, un calor suficiente para la fusión de los núcleos atómicos.



6

La fusión produce neutrones de alta energía y núcleos de helio, cuya energía mantiene caliente el plasma antes de que convierta en cenizas, eliminadas más tarde por el desviador.

7

Los neutrones y otras partículas generadas bombardean las paredes de la cámara y la calientan hasta temperaturas muy elevadas. Este calor es el que se aprovechará en una futura central eléctrica para producir electricidad. Los imanes superconductores operan a temperaturas cercanas al cero absoluto. El contraste es el mayor gradiente de temperatura del Universo.

8

El plasma debe ser continuamente reabastecido con deuterio y tritio para que el proceso no se interrumpa. El combustible no fusionado también se recupera del gas de escape y se reutiliza.

produciendo 500 MW de potencia de fusión en períodos de 400 a 600 segundos.

Se estima que en 2025 el ITER iniciará sus pruebas con plasma, la fase principal y más importante. Tres años más tarde comenzarán las pruebas de baja potencia con hidrógeno y helio y en 2032, las de alta potencia. En 2035 se pondrán en marcha los test con deuterio y tritio, que completarán el proceso que llevará a cabo el ITER. Si todo va bien, al ITER le sucederá otro reactor aún experimental, el DEMO, que deberá demostrar la viabilidad económica y servir como prototipo de reactor comercial, cuyas características (tokamak, stellerator o inercial) aún no están decididas.

La voz y el rostro de María José Blanco Sánchez (Madrid, 1962) ha sido uno de los más habituales en los medios de comunicación de los últimos meses de 2021, mientras el volcán de Cumbre Vieja inundaba con coladas de lava y lluvia de cenizas buena parte de la isla de La Palma, como portavoz del Comité Científico y responsable del Grupo de Vigilancia Volcánica del Pevolca (Plan Especial de Protección por Riesgo Volcánico de la Comunidad Autónoma de Canarias). Tras licenciarse en Ciencias Físicas por la Universidad Complutense de Madrid, donde también se doctoró en 1995 en el área de sismología, realizó estancias de investigación en Francia y Países Bajos. En 1990 ingresó en el Cuerpo de Ingenieros Geógrafos del Estado del Instituto Geográfico Nacional (IGN) con destino en Canarias y toda su trayectoria profesional desde entonces ha estado vinculada al estudio del volcanismo del archipiélago y a la implantación de un sistema de vigilancia de la actividad volcánica. En las islas Canarias ha realizado trabajos de investigación en aspectos geodésicos, geomagnéticos, sísmicos y cartográficos, publicados en revistas internacionales y difundidos en congresos del ámbito de la volcanología. Por la parte administrativa, ha ocupado diferentes responsabilidades, como jefa del Servicio Regional del IGN, representante de la Administración General del Estado en la Comisión Autonómica de Protección Civil y Emergencias de Canarias o miembro del Consejo Cartográfico de las islas. Actualmente es directora del Centro Geofísico de Canarias. Como tal, ha tenido un papel decisivo en la gestión de las erupciones volcánicas de 2011 en El Hierro (el volcán submarino Tagoro) y 2021 en La Palma.

María José Blanco, directora del Centro Geofísico de Canarias

"La contribución de la ciencia ha sido fundamental para reducir el impacto social y económico de la erupción"

■ Texto: **Ignacio Fernández Bayo** | Periodista de ciencia ■

PREGUNTA: ¿Ha estado muy agobiada por la situación y por los medios de comunicación durante la erupción de La Palma?

RESPUESTA: No, no te creas. Teníamos un grupo en el que nos dividíamos la atención a los medios entre varias personas; entre otras cosas para que se viera que no es una sola persona la que está trabajando en la vigilancia vulcanológica del Instituto Geográfico Nacional. Somos varios e incluso las redes sociales las llevaban personas diferentes para poder dar distintos puntos de vista; porque unos son geólogos, otros sismólogos, físicos, geodestas… y así cada uno reforzaba la parte de su formación específica.

P: ¿Hasta qué punto cogió por sorpresa la erupción?

R: Ya desde octubre de 2017 en las redes sísmicas del IGN se venían detectando unos periodos con actividad en forma de enjambre, terremotos que se concentran en el espacio y en el tiempo, de una magnitud pequeña pero que respondían al mismo mecanismo de generación. Lo que pasa es que todos esos terremotos se producían a profundidades mayores de 21 kilómetros. Las intensificaciones pree-

ruptivas realmente empezaron en septiembre de 2021. La diferencia de la actividad que se registró a partir del 11 de septiembre es que esa actividad sísmica ya era bastante más somera y venía acompañada de una deformación medible en superficie. A partir de ese momento ya sabíamos que la intrusión magmática había alcanzado un límite diferente y estábamos ante un proceso que se podía acelerar. Lo que sorprendió es que la aceleración fue muy grande. En el caso de El Hierro la actividad preeruptiva se empezó a detectar en julio y la erupción empezó en octubre, tuvimos más de tres meses; y aquí fue apenas una semana, del 11 al 19.

P: ¿Era difícil calcular dónde se iba a producir y cuánto iba a durar?

R: La duración, imposible. No se puede saber cuando un proceso eruptivo va a tener su final, pero el dónde sí se supo, porque la migración de la deformación indicaba hacia dónde evolucionaba la intrusión magmática y los modelos de deformación nos indicaban una zona que era también la misma que señalaba el modelo de la sísmica.

P: ¿Qué medidas tomaron cuando estaba claro que iba a haber una erupción?

R: A partir del 12 de septiembre ya

empezamos a buscar un centro en La Palma, tal como establece el Plan de Emergencia Volcánica. El Instituto Geográfico Nacional es la institución responsable de la vigilancia y la alerta volcánica en España y como tal tenemos que cumplir lo establecido en el Plan de Emergencia de Canarias, conocido como Pevolca. Y lo primero es que tenemos que tener un centro de atención permanente durante la erupción en la isla donde tenga lugar. En el caso de El Hierro lo montamos en la Restinga, que era el punto más cercano a la erupción submarina. Y en el caso de La Palma primero escogimos un centro que pensábamos que era el que mejor visibilidad tendría, pero luego, viendo la posible evolución de las coladas, vimos que era mejor un centro que estuviera más al norte del centro de emisión y se escogió este lugar, que está en Tajuya, en el municipio de El Paso.

P: El trabajo principal es la recogida de datos, imagino.

R: El análisis de datos se puede hacer desde cualquier sitio, no es necesario que sea desde La Palma. De hecho, el personal que hace el análisis de esta información en tiempo real está tanto en nuestro centro de Tenerife como en el de Madrid. Aquí lo que se hace es el mantenimiento del sistema de vigilancia, hay un instrumental que lleva muchos años operativo y que hay que seguir manteniendo en funcionamiento. Realmente hay poca densidad de instrumentación, y el grueso ya estaba operativo antes de que la erupción comenzara, pero se reforzó la parte de seguimiento de emisión de gases, cámaras térmicas y visuales, algunas de las cuales ya no están operativas.

P: Una vez terminada la erupción ¿qué labor realizan?

R: Nosotros seguimos, como puedes ver, en el centro de atención y vigilancia a la erupción. Continuamos haciendo el mantenimiento del sistema de vigilancia volcánica en la isla y se continúa con una frecuencia mayor tanto el muestreo de gases como de agua para analizar el proceso posteruptivo. Toda esta información, tanto los datos de las redes experimentales como los de estos muestreos, nos permitirá mejorar el conocimiento que tenemos del fenómeno volcánico en Canarias, en La Palma en particular y el volcanismo monogenético como proceso geológico a escala global.

P: ¿Qué han aprendido de la erupción?

R: La erupción del volcán Tagoro, que fue la primera vez que como institución asumimos la responsabilidad de la vigilancia y de la alerta, nos ha permitido mejorar nuestro conocimiento y que nuestra respuesta ante la emergencia volcánica en la isla de La Palma sea mejor. No solo nosotros sino el sistema Pevolca en su conjunto. La respuesta, tanto del comité científico como del comité de dirección como de las fuerzas que han estado involucradas en la gestión de esta emergencia, ha sido más adecuada por la experiencia previa del Tagoro. Creo que el conocimiento especializado que adquirimos entonces ha permitido tener una respuesta más rápida y disponer de mecanismos que han facilitado el trabajo y la respuesta en Cumbre Vieja. Y lo mismo ocurrirá en el caso de esta erupción, que nos permitirá mejorar la preparación y la respuesta ante otro episodio eruptivo.

> *"El reconocimiento que hemos tenido se debe plasmar no solo en palmaditas en el hombro sino en una mejora de los equipos y más personal"*

Por ejemplo, en el caso sísmico, que es una de nuestras fortalezas, en Tagoro se implementaron sistemas automáticos de señales sísmicas que han permitido ahora mejorar la respuesta en La Palma.

P: ¿Se avanza en la capacidad predictiva o estamos estancados?

R: No, cada vez tenemos una información más especializada y un conocimiento más amplio del proceso volcánico y del todas su facetas, sísmica, geodésica y geoquímica, y permite que partamos de un nivel de conocimiento mucho más elevado, cada vez mejor.

P: ¿Se puede considerar que hay una recurrencia eruptiva en La Palma con las erupciones de 1949, 1971 y 2021?

R: Lo que pasa es que los procesos geológicos son muy largos, de centenares de años, y la historia escrita de La Palma es insuficiente. Hablar de recurrencia es un poco aventurado, porque establecer periodos de recurrencia de cuarenta o cuarenta y tantos años, o de cien años, en una historia de poco más de 500 años es muy aventurado. Pero sí es verdad que la historia escrita nos habla de que la máxima frecuencia eruptiva de Canarias de la que tengamos constancia la tiene la isla de La Palma.

P: Hace años se debatía si el de Canarias era un tipo de vulcanismo de punto caliente o no. ¿Está resuelto el debate?

R: No; no hay acuerdo. Hay una teoría unificadora que habla de diversas contribuciones a la generación del archipiélago canario, pero no hay aún una teoría única.

P: Pero son las islas más occidentales las que sufren las erupciones.

R: Una de las discrepancias con la teoría del punto caliente es precisamente que hay islas en medio carentes de actividad como La Gomera, que podría haber estado unida a otras islas en el pasado, pero Lanzarote sigue teniendo actividad eruptiva histórica y muy importante y según la teoría del

"En las emisiones de gases volcánicas se detecta radón"

P: ¿En las emisiones que se producen hay elementos radiactivos?

R: Bueno, si consideramos radiactivo el radón, sí. Tenemos, pero es que se emiten también en otros muchos fenómenos; por ejemplo, en el sísmico. Hay niveles de radón que se detectan en las estaciones que tenemos de medida y estos niveles varían dependiendo del estrés al que se someta el terreno. Dentro de la geoquímica, que es una de las ciencias que están implicadas en la volcanología, un tipo de estaciones que habitualmente se integran en el sistema de vigilancia volcánica son las estaciones de radón-torón. Nosotros tenemos ese tipo de estaciones en las zonas donde se puede acumular, pero no es el mayor de los problemas en el caso del fenómeno volcánico.

P: ¿En estas estaciones hay algún control por parte del Consejo de Seguridad Nuclear?

R: No, solo tenemos contacto para el análisis de este tipo de gases disueltos con el Centro de Experimentación CEDEX, del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA), pero con el Consejo de Seguridad Nuclear no; al menos por ahora.

punto caliente no se explicaría esta actividad actual.

P: ¿Se vigila de forma más intensiva que en Gran Canaria o Fuerteventura?

R: Es diferente el esfuerzo que hay que hacer. Nuestro comienzo fue por importancia y porque la primera reactivación que vivimos fue en 2004 en Tenerife. Después, reforzamos el sistema de vigilancia en El Hierro y luego en La Palma. Ahora estamos haciéndolo en Lanzarote. Ya hay bastante instrumentación instalada, pero en algún aspecto técnico aún se necesita un refuerzo. Pero no podemos olvidar el resto de las islas dada la dispersión que tienen. Cuanta más información tengamos, aunque sea de islas sin actividad, podremos mejorar la localizaciones sísmicas. Si pudiéramos tener un continuo de tierra mejoraría muchísimo el análisis de la información, pero al estar dispersado en islas tenemos un límite en las precisiones de la localizaciones sísmicas.

P: Decía que se empezó por Tenerife. ¿Cuándo?

R: En 2004 hubo un enjambre sísmico que ocurrió en la zona de Icod, con pocos terremotos sentidos pero acumulados y fue cuando la Administración, por fin, se dio cuenta de que faltaba, que había un peligro natural y que no había ninguna institución responsable de su vigilancia, mientras que el resto de riesgos, tanto naturales como antrópicos, tienen una institución que se ocupa de su vigilancia y alerta. Dada la trayectoria del IGN, que cubría tanto la parte geológica como la geodésica, se le encomendó esta responsabilidad. Eso fue en el año 2004.

P: ¿Cómo se reparten las responsabilidades con otras instituciones?

R: La competencia en la vigilancia es del IGN; otra cosa es que en el comité científico se integran, sin complicaciones ni protagonismos, instituciones que pueden aportar conocimiento y tecnología. En este caso forman parte el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), el Instituto Español de Oceanografía (IEO), la Agencia Estatal de Meteorología, el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y los departamentos de Geología de las universidades de La Laguna y la de Gran Canaria. Además, participan, por parte del Gobierno autonómico, el Instituto Volcanológico de Canarias (Involcán) y la red de Calidad del Aire, que ha sido una parte importante de la gestión de las evacuaciones, de los confinamientos y de los retornos. Este es el único fenómeno natural que tiene un comité científico en la evaluación de su peligrosidad y riesgo, que es el Pevolca, porque se reconoce la singularidad y complejidad del fenómeno volcánico. Además, es de los pocos fenómenos peligrosos que tienen o pueden tener fases previas a la ocurrencia, porque el sísmico o los fenómenos meteorológicos adversos, poca fase previa tienen, por lo que son competencias exclusivamente de una institución.

P: ¿El grado de vigilancia actual es el adecuado?

R: Siempre toda instrumentación es bienvenida. Nosotros, por ejemplo, no

teníamos drones ni personal que los manejara y la contribución del IGME con los vuelos que hacía en colaboración con el Gobierno de Canarias ha sido fundamental. Era la herramienta diaria, la observación de los vuelos del día anterior y de la madrugada del día. Siempre es bienvenida la inversión en instrumentación, porque cuantos mayores recursos tienes, mejor puedes ejercer tu labor de vigilancia, pero diría que el esfuerzo mayor por parte del IGN ahora es dotar de más personal y que el personal actual, que tiene ya un conocimiento muy elevado de sus especialidades, permanezca dentro del IGN para que ese conocimiento adquirido costosamente y durante muchos años permanezca en la institución.

P: Es un buen momento para reivindicar, ¿no?

R: Puedo ser subjetiva en la valoración, pero creo que la contribución de la ciencia a un proceso que ha tenido un impacto social y económico tan grande ha sido fundamental y es algo que se reconoce. Pero ese reconocimiento se debe plasmar no solo en palmaditas en el hombro sino en una mejora de la calidad de la ciencia en volcanología, en investigación. Hay que contemplar la volcanología como una ciencia en la que conviene invertir, porque mejora la gestión de un peligro tan importante como el volcánico. Es necesario mejorar las herramientas y disponer de las personas que atienden este fenómeno, que es lo que aporta el IGN.

P: ¿Esa gestión ha permitido mejorar la respuesta ante los daños materiales y evitar los daños a las personas?

R: Solo hubo una víctima, una persona que murió, aunque por causas ajenas al fenómeno volcánico directo. Y sí, la gestión ha permitido mejorar la respuesta; por ejemplo, en las evacuaciones y la toma de decisiones en cuanto a evolución de coladas o regreso de la población, se han hecho de acuerdo con las indicaciones del comité científico.

P: Vistos los daños producidos sobre dos mil y pico viviendas, da la impresión de que no se ha hecho una buena gestión previa del territorio, ¿no?

R: Bueno, es que en Canarias no tenemos un volcanismo poligenético; es básicamente monogenético y por tanto son volcanes que tienen una única erupción y que pueden tener lugar en diferentes lugares y amplias zonas de Canarias. Si queremos evitar la afección del fenómeno volcánico a las infraestructuras es que prácticamente no podría haber infraestructuras en casi todo Canarias. Lo que tiene que existir es un mecanismo que permita afrontar los procesos posteruptivos y restablecer tanto la economía como la calidad de vida de los ciudadanos que se vean afectados por este fenómeno con una agilidad importante. Porque siguiendo ese mismo razonamiento, en todas las zonas sísmicas no podría haber poblaciones o infraestructuras sensibles. Yo creo que no es tanto evitar la afección al peligro como tener mecanismos de vigilancia que permitan minimizar el impacto, lo primero sobre la vida de las personas y luego en las infraestructuras; tener planes de respuesta adecuados y sobre todo tener mecanismos que permitan una gestión adecuada de la posterupción.

P: ¿Se puede considerar terminada la erupción de El Hierro de 2011 o existe algún indicio de que se pueda reactivar?

R: En el caso de El Hierro hubo seis reactivaciones posteriores que prolongaron unos dos años desde que se dio por terminada la erupción de Tagoro y durante estas reactivaciones hubo sismicidad de mayor magnitud incluso que en el periodo eruptivo y en el previo, con deformaciones más intensas, más aceleradas en algunos de estos procesos, pero desde marzo de 2014 estamos en el nivel base de todos los parámetros que mediante el sistema de vigilancia nosotros controlamos. Por lo tanto, se puede decir que la intrusión magmática de El Hierro que comenzó en 2011 ahora mismo ya no se produce, no existe.

P: ¿Hay una vigilancia especial en esa zona?

R: Bueno, todo el sistema de vigilancia está operativo en todas las islas, tanto las que muestran actividad: Tenerife, el Hierro, La Palma y Lanzarote, como las de Gran Canaria, Fuerteventura y La Gomera. Tenemos infraestructuras de vigilancia que nos permiten reforzar el sistema en las islas con actividad.

P: Hace unas semanas se ha producido en las islas Tonga una erupción catastrófica. ¿Se podría producir una erupción semejante en Canarias?

R: La verdad es que el tipo de magma y el contexto geodinámico en el que se produce esta erupción no tiene nada que ver con Canarias. Aquí tenemos una problemática diferente por el tipo de volcanismo y por el tipo de magma involucrado. Aunque hay muchos magmas diferentes en Canarias, ya que tenemos una variabilidad mucho más grande que en otras zonas volcánicas activas del mundo, el volcanismo es diferente. Sobre todo, el contexto geodinámico es diferente.

P: ¿Hay riesgo de terremotos destructivos en Canarias?

R: Hace muy poco que se revisó el catálogo sísmico canario y se ve que ha habido erupciones con terremotos que han tenido unas intensidades no pequeñas. El terremoto del 9 de mayo de 1989 entre Tenerife y Gran Canaria, que es una zona de sismicidad recurrente, tuvo una magnitud más alta de lo esperado y las crónicas recogen terremotos asociados a procesos eruptivos con unas intensidades elevadas.

Vídeo divulgativo del Instituto Geográfico Nacional sobre los volcanes.

SHMELIOV / DEPOSITPHOTOS

Secretos, verdades y mentiras de la 'Deep Web'

El subsuelo de internet

La web profunda, la que se halla debajo de la capa superficial donde llegan buscadores como Google, no es solo lo que nos han contado: además de una pequeñísima parte más oscura —la *Dark Web*, asociada sobre todo a actividades ilegales—, la mayor parte es utilizada a diario. Cuentas bancarias, redes sociales o intranets son algunos ejemplos entre las millones de páginas invisibles que se ocultan en la red, y que también sirven para posibilitar privacidad y anonimato en países con regímenes que coartan la libertad.

■ Texto: **Patricia Ruiz Guevara** | Periodista de ciencia ■

Cuando un internauta comienza a navegar por la red y abre un buscador web como Google, no es consciente de las conexiones que van a realizarse para que su búsqueda culmine con éxito. Comprar algo en una tienda digital, corroborar una información o encontrar el próximo vuelo u hotel son acciones que comienzan con un tecleo. Por ejemplo, si buscamos la palabra 'búho', Google nos devuelve 23.700.000 resultados de páginas. Parecen muchas, pero en realidad conforman una parte no tan grande de la web: es la llamada web superficial o clear web, esa que todos conocemos y

usamos a diario. Estas páginas están indexadas, es decir, son encontrables a través de motores de búsqueda. Por eso acuden a nuestra llamada cuando tecleamos. Hay otras que no.

Más abajo de esa web superficial, hay otra gran parte de internet que se conoce como *Deep Web* o web profunda. Allí se encuentran algunas de las cosas que suelen aparecer en los medios de comunicación —actividades delictivas, tráfico de armas, espionaje, blanqueo de dinero—, pero también muchísimas otras. De hecho, las primeras representan una parte ínfima frente a las que encontramos si excavamos un túnel subterráneo y digital para llegar a las verdaderas profundidades de la red.

Las primeras redes de comunicación entre ordenadores nacieron en los años 60 en el Massachusetts Institute of Technology. En 1981 se definieron los protocolos de comunicaciones actuales de internet, en 1989 el físico Tim Berners-Lee, con 34 años, inventó la World Wide Web y en 1991 publicó la primera página web. Desde entonces, el número de ellas no ha dejado de crecer de manera (casi) exponencial. El hito de mil millones se alcanzó en septiembre de 2014 y fue tuiteado y confirmado por el propio Berners-Lee a partir de datos de Internet Live Stats, que contabiliza en tiempo real los movimientos en la red. A finales de enero de 2022 había ya 1.921.931.574 sitios web online. Visibles.

Conviene diferenciar entre internet y web. "Desde el punto de vista técnico, internet es la infraestructura, un conjunto de redes interconectadas, de protocolos de comunicación y procesos", explica José M. Barceló, profesor del Departamento de Arquitectura de Computadores de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). La web son los contenidos. Así, a través de la WWW accedemos a ellos, distribuidos por todo el mundo, pero ¿cómo encontrarlos? "Tras el nacimiento de internet, más y más personas pudieron alojar contenido y ofrecer acceso a él. Pero había tanta información que hubo que crear una manera de buscarlo. Es como una biblioteca donde hay cada vez más libros; si las estanterías no estuvieran ordenadas sería muy difícil encontrar uno concreto", explica desde Kuala Lumpur Josep Curto, profesor de la Universitat Oberta de Catalunya (UOC) y fundador de AthenaCore. Así es como el subsuelo empieza a hacerse más profundo e invisible y esos casi dos mil millones de sitios web se quedan en la superficie.

José María Barceló.

Josep Curto.

De la web profunda...

Entre todos esos contenidos empezaron a diferenciarse dos tipos: los que son indexables (esos 1.921.931.574 que van fluctuando) y los que no. "Lo que hace un motor de búsqueda es ir buscando servidores donde están los recursos indexables", indica Barceló. Por ejemplo, Google. El gigante tecnológico lo explica en su web, y replica la analogía de la biblioteca: "Incluso antes de que empieces a buscar, en Google organizamos la información sobre las páginas web en el índice de búsqueda. Este índice es como una biblioteca, pero contiene más información que todas las bibliotecas del mundo. (...) Cientos de miles de millones de páginas web que, juntas, superan los 100.000.000 de gigabytes. Es similar al índice analítico de un libro: dispone de una entrada para cada palabra de cada página web que indexamos. Al indexar una página web, añadimos al índice todas las palabras que contiene".

¿Qué pasa con los contenidos no indexables? En 2001, Michael Bergman dio nombre a todo lo que es invisible a los ojos de los motores de búsqueda tradicionales (Google, Yahoo!, Bing, DuckDuckGo...) y de la mayoría de usuarios de internet: había nacido la *Deep Web*.

Como recoge el informe de buenas prácticas *Principios y recomendaciones básicas en Ciberseguridad* del Centro Criptológico Nacional de España, la principal razón de la existencia de la internet profunda es la imposibilidad de que los motores de búsqueda encuentren e indexen gran parte de la información existente en ella. Pero también hay contenidos no indexados deliberadamente. "Cuando queremos que se encuentre algo, lo damos de alta en los navegadores para que actúen los mecanismos de búsqueda e indexación

de forma periódica. Pero algunos contenidos están en la *Deep Web* porque el creador no quiere que sean encontrados", indica Curto. Llega el momento de coger impulso y excavar aún más hondo, donde se esconden los últimos flujos de información: cuando hablamos de casos de uso dentro del marco de la ilegalidad, hablamos de la *Dark Web*.

... a la más oscura

"Si la *Deep Web* hace referencia a todo el contenido de internet que no está indexado por los buscadores tradicionales y que, por lo tanto, está oculto, la *Dark Web* o web oscura hace referencia a una parte específica de la *Deep Web*, en la que su contenido sí puede considerarse peligroso y más difícil de acceder", resume Marcos Gómez, subdirector de Servicios de INCIBE-CERT, el centro de respuesta a incidentes de seguridad del Instituto Nacional de Ciberseguridad. Son términos, por lo tanto, muy diferentes, y "no deben usarse como sinónimos". La web oscura, ese subconjunto de la web profunda, solo es accesible utilizando determinados navegadores web, las *darknets* o redes oscuras. Freenet e I2P son dos de ellas, pero la más conocida es Tor (The Onion Router o el router cebolla), un proyecto diseñado e implementado por la Marina de los Estados Unidos en 2002. El objetivo era fortalecer las comunicaciones por internet y garantizar el anonimato y la privacidad.

"Para comprender el funcionamiento de Tor, debemos tener en cuenta que las conexiones que realizamos suelen ser directas: se traza una ruta del ordenador al router, del router a nuestro proveedor de internet y de ahí al servidor de la página web que queremos visitar", explica Mercedes Muñoz, ingeniera de ciberseguridad en Telefónica Tech. Pero Tor usa el "enrutamiento de cebolla", de ahí su nombre. "Se puede comparar con una malla, en la que cada nodo es un dispositivo co-

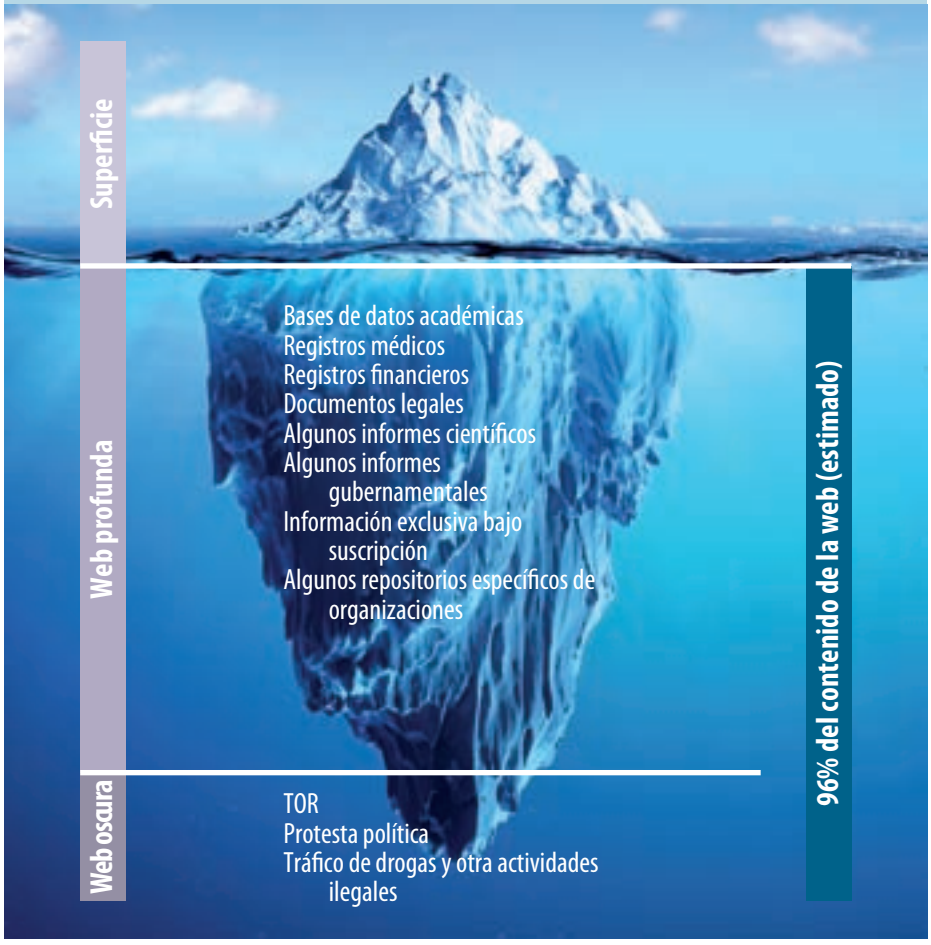
La web a vista de corte geológico

Hacer una lectura real de la web es muy complejo. Los datos pueden variar según las fuentes y los expertos consultados —pareciera que, como el centro de la Tierra, la web en realidad no es tan conocida—, pero las estimaciones sirven para hacerse una idea de su estructura. En un esquema por capas, como si se tratara de un análisis de suelo y subsuelo, la World Wide Web estaría formada por:

La web superficial o *clear net:* cerca de un 10 % del total, unos 2.000 millones de webs. Son las páginas indexadas que pueden ser encontradas con motores de búsqueda tradicionales: Wikipedia, blogs, YouTube, tiendas de comercio electrónico.

La web profunda o *Deep Web*: una capa formada por más del 90 % restante, de 600.000 a 800.000 millones de páginas web, son las no están indexadas y no se encuentran en Google (en 2015, se estimaba en 576.000). Cuentas bancarias, registros médicos, redes sociales privadas, intranets, foros privados, investigaciones; pero también Tor, usado de forma legal.

La web oscura o *Dark Web*: dentro de ese abismo terrestre de la *Deep Web*, están los sitios a los que hay que acceder con redes especiales y que están relacionados con actividades delictivas e información ilegal, una cantidad ínfima que puede variar entre un 0,01 % y un 0,1 %.



La ciberseguridad más profunda

Se puede husmear en la web profunda, pero conviene tomar precauciones. "El acceso a la *Deep Web* no está regulado, por eso es un ambiente donde los cibercriminales se mueven asiduamente", advierte Miguel Ángel Martínez Cueto, analista de ciberseguridad en INETUM. Los riesgos habituales, como un acceso inapropiado, una infección por malware o la ejecución de algún script que permita un ataque, se incrementan. Es mejor "contar con unos conocimientos informáticos altos. Es posible que un usuario estándar acceda donde no debe o ejecute algo sin darse cuenta", resume Martínez Cueto.

He aquí las precauciones que recomienda:

- Acceder mediante VPN (red privada virtual, por sus siglas en inglés): esto proporciona cifrado de todo el tráfico y mantiene la IP real del usuario oculta.
- Utilizar sistemas operativos Live (tipo Tails, Whonix, ZeusGuard) en lugar de Windows. Por norma general, traen Tor instalado de serie y se evitan instalaciones en el equipo.
- Evitar tener abiertos inicio de sesión, hacer suscripciones y pagos.
- Tapar nuestra webcam y desactivar la ubicación en el dispositivo.
- Descargar Tor de su web oficial (https://www.torproject.org). "Parece algo muy evidente, pero es una práctica habitual descargarlo sin contrastar el sitio que lo alberga", señala el experto.
- No navegar al azar por la *Deep Web* ni proporcionar información personal y evitar enlaces sospechosos.
- Usar servicios anónimos adicionales (buscadores anónimos, contraseñas seguras, cifrado de archivos, mensajería anónima).

Miguel Ángel Martínez Cueto.

Desde el INCIBE-CERT, el centro de respuesta a incidentes de seguridad de referencia para los ciudadanos y entidades de derecho privado en España, operado por el Instituto Nacional de Ciberseguridad, su subdirector de servicios, Marcos Gómez, recuerda algunos consejos fundamentales: "Dispositivos siempre al día con las últimas actualizaciones y parches del fabricante del hardware y del software; sistema operativo, navegadores y aplicaciones actualizadas. Estos, además, protegidos por aplicaciones de ciberseguridad, antivirus y antimalwares, cortafuegos o firewall y antispam". Y, por último, añade Gómez, la regla de oro: "Usar el cibersentido común. Poner en duda cualquier cosa que nos llegue y nos solicite información y ante la duda, acudir a los expertos de ciberseguridad de INCIBE".

nectado a esta red. En Tor, no hay una conexión directa, sino que se realizan al menos tres saltos entre los nodos de la red, que se corresponden con servidores gestionados por diferentes personas y organizaciones de todo el mundo", detalla.

Una vez instalado Tor, el paso natural es entrar en The Hidden Wiki (la wiki oculta), un listado distribuido en categorías donde están los enlaces a las páginas invisibles. Los dominios de Tor acaban en .onion y suelen ser ininteligibles, para aumentar la dificultad de su rastreo. "Hace unos años se mejoró el protocolo porque las URL eran muy cortas; se decidió hacerlas más largas y temporales", explica la ingeniera. Por ejemplo, http://r6rfy5zlifbsiiym.onion/ es una librería de cómics. Esta navegación es más segura y las búsquedas son mucho más difíciles de rastrear. Por eso, no solo se utiliza con fines delictivos; también lo hacen usuarios que quieren proteger su privacidad. "Hay empresas que la utilizan porque implica un sistema de comunicaciones muy seguro", explica Barceló.

De hecho, la línea entre web profunda y web oscura puede ser complicada de entrever. Por ejemplo, "la intranet de mi empresa es *Deep Web* y hace falta una aplicación para entrar en ella, pero no por eso es *Dark Web*", explica Jorge Louzao, hacker ético y colaborador de C1be3wall Academy de la Escuela de la Policía Nacional. En la compañía para la que trabaja, una de sus misiones es rastrear la *Deep Web* para verificar que no se publica información de la empresa. "Cuando hay un ataque y filtran información, acaba ahí. Hay casos de chantaje y amenazas antes de liberar la documentación, dinero mediante", explica Louzao.

Uso cotidiano

La *Deep Web* son secciones de las páginas web que no pueden ser indexadas, pero "también aquellas que requieren de un mecanismo de autenticación para acce-

der, por lo que se presenta en la vida cotidiana", explica desde Bogotá Diego Espitia, ingeniero electrónico, hacker y consultor sénior de seguridad en ElevenPaths, el equipo de ciberseguridad de Telefónica Tech en Colombia. Son las ocasiones en las que usamos usuario y contraseña, como "cuando accedes al correo electrónico desde el móvil, estás leyendo mensajes, consultas tu servicio médico o accedes a algún servicio del Estado. En estos casos, se busca adrede que no sean contenidos encontrables. La página web es pública pero lo demás no es accesible", explica Barceló.

De arriba a abajo y de derecha a izquierda: Marcos Gómez, Mercedes Muñoz, Jorge Louzao y Diego Espitia.

Publicaciones científicas, documentos gubernamentales, ficheros almacenados en plataformas de almacenamiento en la nube (como Dropbox o Google Drive), foros privados y otras bases de datos privadas. Todo forma parte de la web profunda y solo es necesario tener el enlace y las credenciales para acceder. Como se deduce, "muchos de los contenidos que podemos encontrar en la *Deep Web* son legítimos y no son peligrosos, pero esta parte de internet sí es utilizada para fines no tan lícitos, cercanos a la cibercriminalidad o totalmente ilegítimos, sobre todos aquellos que se encuentran en la *Dark Web*", recuerda Marcos Gómez del INCIBE.

El portal de noticias sobre gadgets y tecnología Xataka hizo un par de incursiones con el objetivo de relatar qué se encontraban ("Una semana en la *Deep Web*. Esto es lo que me he encontrado" y "Una semana en la *Deep Web*, tres años después"), y hallaron cosas inimaginables y otras al límite de lo inmoral: gente que busca a alguien que hackee sus notas de la universidad; patentes de energía alternativa; venta de armas nucleares, drogas y medicamentos ilegales; mercenarios; falsificaciones; pornografía en todos sus posibles escenarios; compraventa de personas y órganos; y cientos de teorías conspiranoicas. También información curiosa e interesante, como Hidden Answers (respuestas escondidas), una especie de Quora o Reddit, y hasta una emisora de radio digital propia: Deep Web Radio.

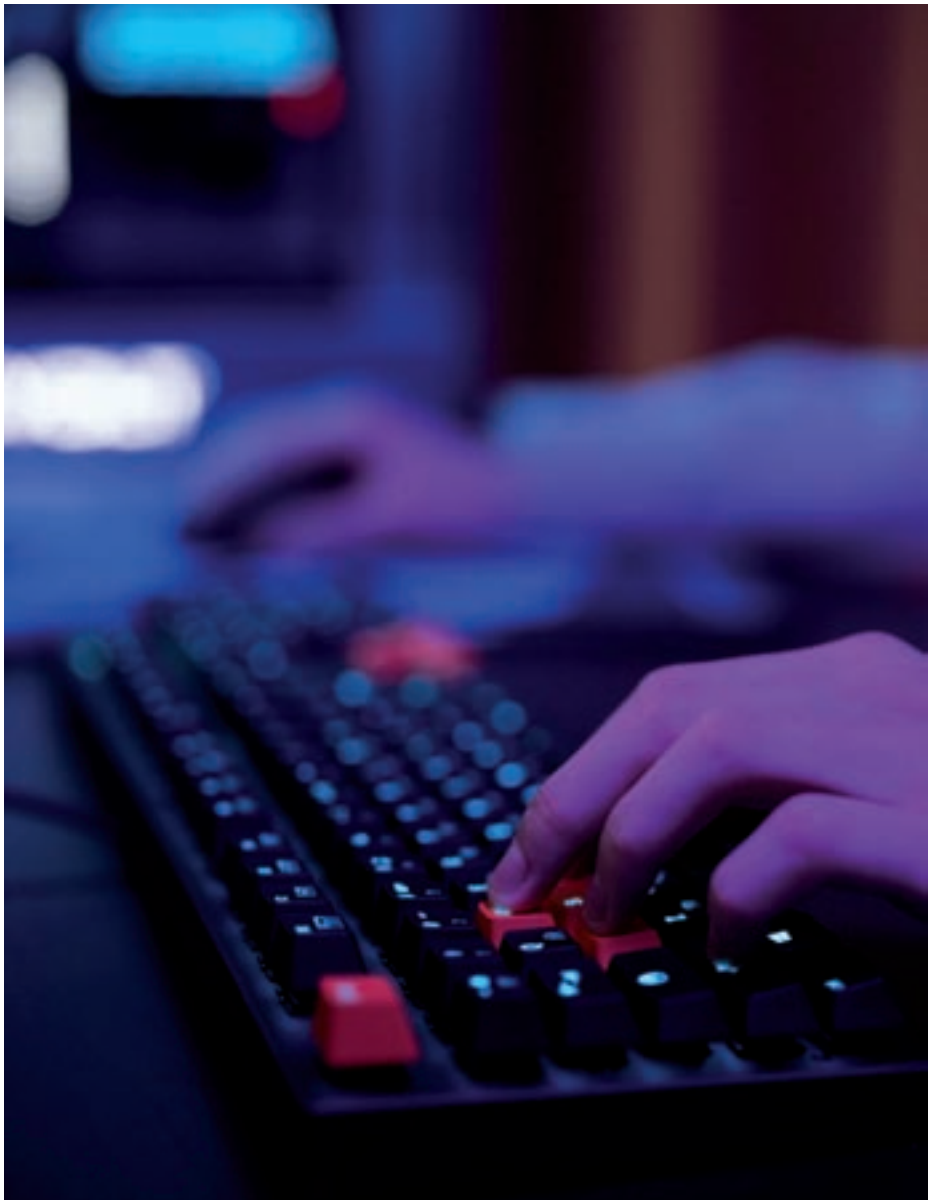
Pero, en esencia, la principal ventaja que ofrece utilizar las profundidades de la web es "preservar la privacidad durante la navegación, por ejemplo, para mantener el anonimato en sitios web de opinión; compartir información libremente sin que se conozca nuestra identidad; y acceder a contenidos que no están disponibles en nuestro país", señala Gómez. Esto nos lleva a algunas situaciones muy particulares. "La *Darknet* se usa mucho en periodismo y personal de ONG en zonas de conflicto. Es una manera de conectarte a internet de forma más segura que la normal", revela el hacker ético Jorge Louzao.

En países con regímenes como China, con su gran cortafuegos, que censura y vigila internet, "posibilita saltarse estas normas y poder acceder a otros portales de información y plataformas: te conectas a Tor, y tu conexión va saltando por sus capas, por esos nodos de salida con los que el firewall chino no va a entender tu tráfico ni a poder detenerlo".

Así, "las personas que se encuentran en países bajo dictaduras y con limitaciones pueden conectarse sin restricciones y comunicarse con el resto del mundo. Es otra herramienta más que, según el uso que se le dé, puede suponer un beneficio o un problema para la so-

ciedad", señala Mercedes Muñoz, de Telefónica Tech. La experta recalca que, pese a la fama que se le ha conferido, "navegar en la *Deep Web* en absoluto es ilegal, también es una forma de reportar sucesos en diferentes países y compartir contenido".

RON LACH / PEXELS



Para navegar por la *Deep Web* conviene tener conocimientos informáticos altos y tomar precauciones.

El futuro de la web

Una cosa está clara: al navegar por las web dejamos mucha información en ellas. Especialmente en las redes sociales, que han creado una forma especial de indexación: "Tienen sus propios jardines de contenido indexado: algunos se pueden encontrar con buscadores, pero otros están vallados dentro de la red social", explica Curto. Con tantos datos sensibles, "las utilidades son realmente infinitas en términos de procesamiento de información y de mejoras en los servicios, y de esto se nutren muchas de las grandes empresas del mundo digital", señala Diego Espitia, de Telefónica Tech.

El experto pone el ejemplo de Google, que empezó siendo un buscador y acabó creando servicios de correo electrónico, mapas y muchos más servicios. "Desde el punto de vista del aprovechamiento de datos, se puede mejorar la vida de los ciudadanos con datos anonimizados que son extraídos de la *Deep Web*", analiza Espitia. El profesor de la UPC José M. Barceló añade la inteligencia artificial (IA) a la ecuación: "La evolución del mundo de internet está en la IA, las empresas están analizando todos los datos de la web visibles para ofrecer servicios personalizados".

Pero esta no es la única tendencia. El nombre del padre de la World Wide Web vuelve a aparecer, treinta años después. Tim Berners-Lee, ahora con 66 años, quiere volver a revolucionar internet. Para ello ha creado Inrupt, una empresa enfocada en la identidad y privacidad digital, que acaba de conseguir una financiación de 30 millones de dólares. "Está trabajando en un proyecto para darle una vuelta de tuerca al concepto de la web y convertirlo en algo más privado y seguro, donde tengamos el control de nuestros datos y decidamos con quién y para qué los compartimos", señala Jorge Louzao Penalva. Algo que choca directamente con la situación actual de redes sociales y explotación de los datos por los gigantes tecnológicos.

En un momento bisagra, en el que todas las tecnologías están bullendo y empezando a implementarse de manera real, la web es el primer reducto que se debe abordar de manera responsable para impactar positivamente en la sociedad. Berners-Lee lo dijo muy claramente en Boston Magazine: "Lo importante es que, por primera vez, los usuarios (y no las grandes empresas tecnológicas) tendremos el control de nuestros datos, lo que significa que los sitios web y las aplicaciones se crearán para beneficiarnos a nosotros y no a ellos".

DEPOSITIPHOTOS

La combustión a hidrógeno permite prácticamente eliminar las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera.

Luces y sombras del hidrógeno como futura alternativa a los vehículos eléctricos enchufables

El combustible de la discordia

Formado únicamente por un protón y un electrón, el hidrógeno es el elemento químico más sencillo y antiguo de todo el universo. Y podría tener la llave para la urgente descarbonización que requiere la industria mundial, donde los combustibles fósiles ostentan un papel que debe disminuir si queremos alcanzar los objetivos climáticos propuestos. Su utilización en vehículos, un ámbito clave en términos ambientales, está en el horizonte. Tanto España como la Unión Europea se encuentran desarrollando ambiciosos planes para impulsar esta tecnología, aunque muchos expertos dudan que pueda desbancar a los coches de baterías debido, entre otras cosas, a su bajo rendimiento energético y su todavía excesivo coste de producción.

■ Texto: **Pedro Mateos** | Periodista científico ■

La teoría del Big Bang dibuja un nacimiento del universo donde, en tan solo unos segundos y bajo una temperatura de diez mil millones de kelvin, se formó casi todo el hidrógeno que existe, además de helio y un tanto de litio. De hecho, la molécula más antigua del universo, denominada "HeH+", es un híbrido entre hidrógeno y helio, los dos primeros elementos que integran la tabla periódica. Desde aquel momento, inmensas cantidades de hidrógeno salpican el espacio por todas partes, desde el corazón de las estrellas hasta la atmósfera de los planetas gaseosos, llegando a componer tres cuartas partes de toda la materia cósmica. Sin embargo, su carencia de neutrones le otorga una masa atómica insignificante: 1,00784; es tan ligero y volátil que la gravedad que ejerce nuestro planeta es incapaz de retenerlo, por lo que el poco hidrógeno que se produce de forma natural, como sucede en las expulsiones de gases volcánicos, se escapa

CARLOS MERINO

Carlos Merino, del Centro Nacional del Hidrógeno, junto a un coche propulsado por célula de combustible.

rápidamente hacia el espacio exterior. Si quisiéramos salir a buscarlo, habría que viajar a Júpiter, la acumulación natural de hidrógeno más cercana a la Tierra.

El hidrógeno, pues, no constituye una fuente de energía, ya que no lo podemos obtener directamente en su estado puro, sino que debe ser extraído de otros compuestos. La gran reserva de este elemento químico a nuestro alcance reside en los ríos, mares y océanos que pueblan nuestro planeta. Y es que, mientras que el hidrógeno gris y el hidrógeno azul se producen a partir de combustibles fósiles, como el gas natural (con emisión de CO_2), la obtención del hidrógeno verde (o renovable) radica en la división, mediante electrólisis, de moléculas de agua. Este hidrógeno, cuya producción es inocua para el medioambiente, puede ser almacenado en una celda de combustible ubicada en un vehículo, que lo va transformando en electricidad a medida que este la necesita mediante una conversión que únicamente expele vapor de agua. Otra manera de utilizar el hidrógeno es cuando este es quemado en contacto con el aire, produciendo grandes cantidades de calor como energía con una mínima emisión de contaminantes.

El combustible más ecológico

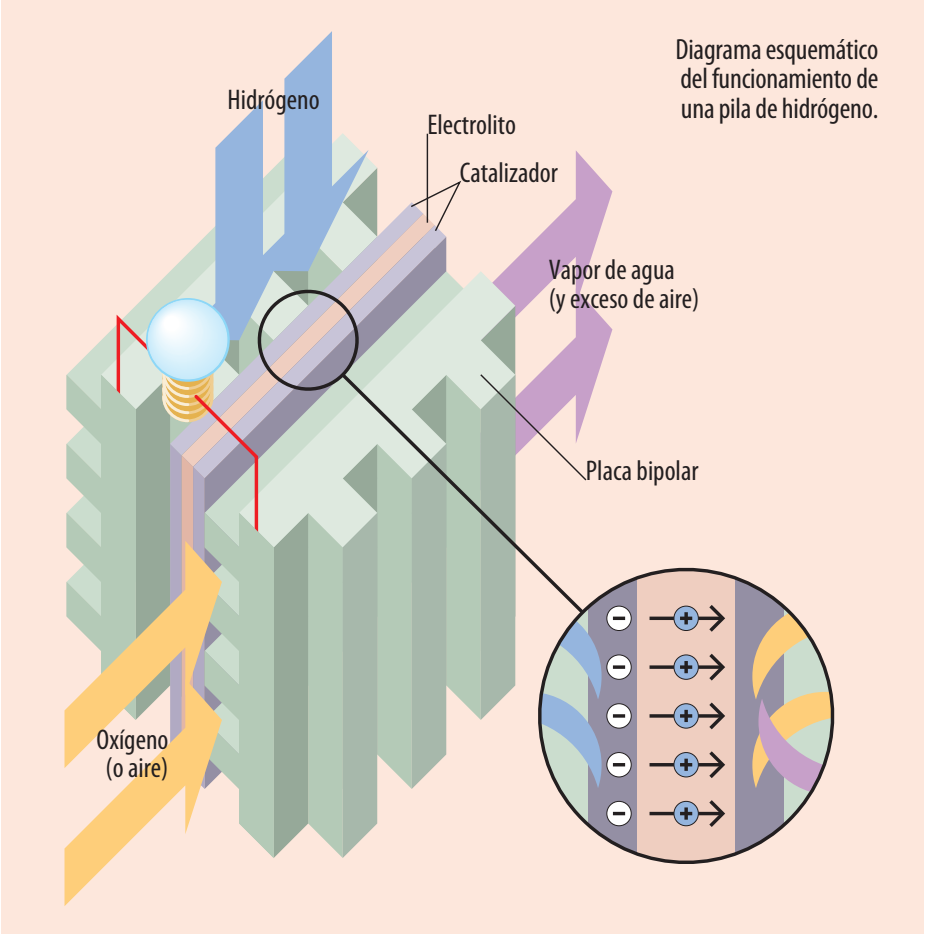
El principal argumento que convierte al hidrógeno verde en un combustible a tener en consideración para el futuro es su nula emisión de gases contaminantes a la atmósfera. "Estamos hablando de cero emisiones. La pila de combustible, equivalente al motor, transforma el hidrógeno almacenado a bordo y con el oxígeno presente en el aire se genera electricidad. Es una conversión electroquímica, no una combustión como ocurre con los motores de diésel o gasolina, lo que ofrece mayores rendimientos ecológicos", explica Carlos Merino, responsable de la Unidad de Simulación y Control en el Centro Nacional del Hidrógeno.

Actualmente, la mayor parte del hidrógeno comercial se obtiene a partir de gas natural o metano. La inclusión del hidrógeno renovable es, según Carlos Merino, "una de las palancas para conseguir esa neutralidad de emisiones que se persigue". "El hidrógeno, a diferencia de los motores eléctricos (de baterías), permite una mayor integración de energía renovable en la industria del transporte, gracias a su enorme capacidad de almacenamiento de energía", añade. Otra gran ventaja reside en el hecho de que, mientras los coches eléctricos necesitan varias horas para ser recargados, el hi-

drógeno verde permite una alta velocidad de repostaje, similar a la que ofrecen los combustibles tradicionales, además de una muy alta autonomía. "Hablamos de unos 5 o 7 minutos de recarga. Además, ofrece un gran grado de alcance, ya que otorga rangos de unos 600 o 700 kilómetros por cada repostaje, situándolo en una situación muy favorable para el uso", detalla Carlos Merino.

El hidrógeno es, por encima de todo, un buen conservador de energía. "Podemos almacenar energía en forma de hidrógeno durante mucho tiempo, como, por ejemplo, de verano a invierno, y en cantidades ingentes, en orden de teravatios-hora, cifras que serían inimaginables en una batería", explica Miguel Antonio Peña, investigador del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). "El uso de hidrógeno en vehículos es algo adicional a lo que es toda la tecnología de hidrógeno, que engloba más aplicaciones en numerosos campos como la industria (especialmente la petroquímica), la producción de fertilizantes y la elaboración de metanol, entre otras", añade el investigador.

Una de las claves para allanar el camino en clave hidrógeno es reducir el coste de producción de energías renovables, sobre todo de los componentes para producir y usar hidrógeno. "Se ha avanzado en este asunto desde los años 90, en una tendencia que se ha visto acompasada con las demandas de hidrógeno, más barato y más limpio. Desde el inicio de este siglo, la tecnología ha mejorado mucho, sobre todo en la durabilidad de los sistemas y en la inversión para implementar electrolizadores, pilas de combustible…", relata Miguel Antonio Peña. "El informe de McKinsey & Company (2020) hizo previsiones sobre cómo va a bajar el precio del hidrógeno verde durante las próximas décadas en función de la demanda, las instalaciones… comparado con cómo va a subir el precio del hidrógeno gris debido únicamente a las emisiones de CO_2". Y este prevé que, en el año 2030, en España será más barato el verde que el gris. Además, dado que el origen de este vector energético son fuentes renovables, países como España podrían aprovechar su favorable situación climática para generar grandes cantidades de electricidad, no solo con la finalidad de autoabastecerse sino también para exportar al norte de Europa, generando una "gran oportunidad para desarrollar considerablemente el tejido industrial nacional", agrega.



Miguel Antonio Peña.

Obstáculos sustanciales

Las desventajas que rodean al hidrógeno como combustible a gran escala no tienen tan poco peso como su núcleo atómico. Estamos ante un elemento que, para empezar, puede llegar a ser muy peligroso debido a su alta inflamabilidad, una característica que retrotrae a un famoso acontecimiento histórico. En 1937, el zepelín Hindenburg de la Alemania nazi, propulsado por hidrógeno, estalló en llamas en el cielo de Nueva Jersey en medio de una tormenta eléctrica, en un suceso que acabó con la vida de 36 personas

que iban a bordo. Desde aquel momento, aunque investigaciones posteriores lo exculpan del estallido, el hidrógeno adquirió una mala reputación y fue sustituido por helio a la hora de abastecer estos vehículos.

A pesar de que el hidrógeno constituye el mejor combustible con diferencia a nivel de densidad energética por kilo, superando en este aspecto con creces las prestaciones de la gasolina, el petróleo y el gas natural, lo cierto es que posee muy poca densidad energética en términos de volumen, donde su rendimiento es verdaderamente pobre. Para paliar con esta desventaja, existen diferentes fórmulas: "Hasta ahora, la más utilizada ha sido comprimir el hidrógeno para almacenarlo, lo cual genera pérdidas energéticas. Otra forma es licuarlo, enfriándolo a temperaturas de 253 ºC bajo cero, pero se consume mucha más energía al mantenerlo líquido", explica Miguel Antonio Peña. Una opción adicional la conformarían los hidruros metálicos, aleaciones de metales con hidrógeno, que forman un compuesto sólido capaz de almacenar este combustible, pero son muy caros y pesados, por lo que su utilización no es rentable a gran escala.

En la actualidad, se está planteando otra forma de hacerlo, sobre todo enfocada al uso del hidrógeno para largas distancias: el uso de amoniaco, que se obtiene haciendo reaccionar hidrógeno con el nitrógeno del aire. "El amoniaco es muy fácil de transportar y su eficiencia al hacerlo líquido es enorme", indica Miguel Antonio Peña. "En el lugar donde se va a utilizar, se lleva a cabo la reacción contraria, descomponiendo el amoniaco en hidrógeno y nitrógeno de nuevo". Otra posibilidad, aunque más controvertida a nivel medioambiental, sería almacenar

Emilio de las Heras.

hidrógeno en el subsuelo, en grandes bolsas o cavernas a presión, algo que ya ocurre con el gas natural. Por otro lado, un problema derivado de la composición del hidrógeno es que, al ser una molécula tan pequeña, es muy propenso a filtrarse y ocasionar fugas en los tanques donde se almacena, por lo que se necesitan materiales de revestimiento especializados muy resistentes para contenerlo de un modo adecuado.

Otra gran problemática del hidrógeno como combustible masivo es la gran cantidad de energía que se pierde en todo el proceso involucrado en su obtención, transporte y almacenamiento. La electrólisis posee una eficiencia media de entorno al 80 %; una vez generado, la compresión y enfriamiento le resta aún más rendimiento, circunstancia que se incrementa cuando la célula de combustible envía el hidrógeno al motor trifásico del vehículo. "De cada 100 electrones que salen de la turbina eólica o de la placa fotovoltaica, apenas 30 llegan a la rueda", calcula Emilio de las Heras, ingeniero naval y experto en energía y cambio climático. "Para alimentar una flota de aproximadamente dos mil quinientos millones de coches, que habrá en 2040, a base de hidrógeno electrolítico, se necesitará el doble o el triple de instalaciones renovables para producir la electricidad necesaria. Esto, para la sociedad, es insostenible", declara. En el caso de los coches eléctricos de batería, en contrapartida, el rendimiento oscila entre el 75 y el 80 %.

"El hidrógeno solo tendrá un futuro brillante allá donde no sea posible la electrificación", augura Emilio de las Heras. Por ejemplo, esta tecnología podría ser útil para las personas sin garaje propio que no pueden cargar sus baterías eléctricas en la calle, aunque hará falta la creación de una gran red de hidrogeneras para sostener este sistema; a día de hoy, únicamente hay 2 en España. "La gran mayoría del transporte marítimo será

Un ecosistema verde en Baleares

La iniciativa Green Hysland ha nacido para desarrollar un entorno energético basado en el hidrógeno verde y sus infraestructuras asociadas en las Islas Baleares. Para ello, se ha creado un consorcio de 30 socios de 11 países diferentes (9 de ellos de la UE, además de Chile y Marruecos), procedentes de la industria, la ciencia y el sector público. "En una etapa inicial, el proyecto suministrará hidrógeno verde a vehículos (autobuses y furgonetas de reparto), así como a edificios públicos (hoteles, estaciones marítimas y centros deportivos) y a los usuarios finales de la red de gas natural", dice Jorge Martín Jiménez, jefe de Calidad, Medio Ambiente, Innovación Y RSC de la Autoridad Portuaria de Baleares.

En lo que respecta al sector marítimo, las estaciones ubicadas en Mallorca, Menorca e Ibiza almacenarán energía en forma de hidrógeno, donde las pilas de combustible tendrán un papel clave para suministrar electricidad y calor a estas terminales. Asimismo, se llevarán a cabo diferentes evaluaciones tecnoeconómicas de soluciones basadas en este combustible, estudios cuyos resultados podrían permitir

Motor de célula de combustible instalado en un vehículo de la marca Toyota.

alimentado por hidrógeno, ya que no hay manera de hacer llegar la electricidad en trayectos largos", explica. El hidrógeno, a su vez, podrá tener una oportunidad en el transporte pesado por carretera, siempre y cuando existan suficientes estaciones de servicio en los principales puertos del país.

Descarbonizar la economía

Una de las responsabilidades más importantes que tiene la humanidad con respecto al planeta estriba en reducir el

el desarrollo futuro de redes de suministro de hidrógeno a buques para su propulsión y sistemas auxiliares. "El hidrógeno también tiene aplicación en una estación de repostaje para autobuses de la red municipal de Palma, así como en vehículos ligeros con pila de combustible. Otra de las intenciones es la inyección de hidrógeno en la red local de distribución de gas de la isla", indica Jorge Martín Jiménez.

"El proyecto prevé la producción y consumo en la isla de al menos 330 toneladas anuales de hidrógeno verde a partir de plantas fotovoltaicas de nueva construcción", dicen desde la Autoridad Portuaria de Baleares. Green Hysland requiere, en general, una inversión total de unos 50 millones de euros, incluyendo la generación de electricidad renovable y el equipamiento para los usuarios finales de hidrógeno verde. Para el año 2030, los objetivos ecológicos de este proyecto pionero son reducir en un 40 % las emisiones de gases contaminantes, aumentar la eficiencia energética en una cuarta parte y lograr un 35 % de penetración de energías renovables en la economía de las islas.

uso de combustibles no renovables en beneficio de alternativas más ecológicas. En esta dirección, durante las últimas décadas, numerosos países han puesto en marcha planes para impulsar al hidrógeno renovable, invirtiendo grandes cantidades de dinero en su desarrollo al considerarlo uno de los principales ejes en materia de medioambiente para las próximas décadas. "El hidrógeno verde se posiciona como una opción prometedora frente al uso de combustibles fósiles, que no tienen cabida en la energía del futuro", dice Adrián Fernández Carrasco, Coordinador de Movilidad en Greenpeace España.

Con las vistas puestas en 2030, la Unión Europea ha lanzado una estrategia para descarbonizar los sectores energéticos, teniendo como objetivo instalar 40 gigavatios de electrolizadores y diez millones de toneladas de hidrógeno renovable en el territorio comunitario. España, por su parte, cuenta con su propia hoja de ruta del hidrógeno, alineada con la Estrategia Europea del Hidrógeno, con la que pretende conseguir, en dos décadas, 4 GW de potencia y diferentes hitos energéticos en el marco de unas inversiones públicas que podrían alcanzar los 8.900 millones de euros, con la mirada puesta en un sistema eléctrico 100 % renovable para no más tarde de 2050.

La mayoría de energéticas españolas se ha subido al tren del hidrógeno verde. Repsol, con su proyecto SHYNE (Spanish Hydrogen Network), ha invertido 3.230 millones de euros con la meta de alcanzar una capacidad instalada de 500 MW en 2025 y de 2 GW en 2030. Iberdrola, por su parte, ha presentado el Clúster de Hidrógeno Verde Puerta de Europa, que integrará hasta 600 MW de electrolizadores. Otras compañías eléctricas como Naturgy, Enagal o Enel también han puesto en funcionamiento iniciativas en línea con la transición energética que, a manos del hidrógeno renovable, cerrará paulatinamente las puertas de la industria al carbón y creará nuevos modelos de negocio disponibles.

En nuestro país ya se han podido observar coches a celda de combustible de hidrógeno, como el Toyota Mirai y el Hyundai Nexo, aunque la oferta se espera que sea incrementada cuantiosamente durante los próximos años. Asimismo, la red de transporte de Barcelona ya dispone de un autobús de pila de hidrógeno, que se abastecerá de la primera planta de hidrógeno de uso público en España, la instalación de Iberdrola en la Zona Franca; mientras tanto, la empresa Alsa ha estrenado uno en Madrid que operará en una línea regular.

Hidrogenera para vehículos.

"Hay una progresión cada vez más creciente de la implantación de energías renovables que nos va a traer una serie de excedentes de producción en determinados tramos horarios. El principal destino de estos excedentes podría estar en la obtención de ese hidrógeno verde", comenta Adrián Fernández. "Desde Greenpeace, consideramos que habría que hacer una jerarquización y priorizar el uso de hidrógeno verde para aquellos usos que no admitan una electrificación directa, como puede ser el transporte pesado por carretera o el marítimo, que es lo que más difícil tiene la transición a eléctrico de batería. Si se plantea para todo el transporte, también para automoción a hidrógeno, las cifras no dan y estaríamos ampliando la dependencia a los combustibles fósiles de cara a un futuro".

A día de hoy, el transporte depende en más de un 95 % de combustibles fósiles, por lo que el desafío es mayúsculo. No obstante, de acuerdo con Greenpeace, debe vigilarse el riesgo de generar una burbuja de hidrógeno, pues no deben descuidarse otras patas necesarias para lograr la tan deseada transición energética. "Desde luego, la actuación no se puede limitar a coger todo lo que hay y pasarlo a cero emisiones con el mismo escenario y la misma cantidad de desplazamientos porque simplemente no salen las cifras, independientemente de que se utilicen tecnologías de baterías, de hidrógeno o de biocombustibles", concluye Adrián Fernández. Para otros, como Vaclav Smil, científico y miembro de la Real Sociedad Canadiense, considerado uno de los mayores expertos mundiales en el campo de la energía, todo esto es "tan solo un cuento de hadas". "No existe producción comercial de hidrógeno verde, todo forma parte del típico grandioso europlanning", apunta. "Llámenme cuando haya al menos unas pocas plantas comerciales de hidrógeno verde produciendo millones de toneladas del gas".

Central nuclear Ascó, cuyos dos reactores son de diseño PWR Westhinghouse de 3 lazos.

Resultados del desarrollo de modelos genéricos de APS en el CSN

La actividad reguladora requiere que la supervisión de la operación de las centrales se realice desde una posición independiente. Para ello es conveniente que el organismo regulador desarrolle sus propias herramientas y metodologías. En el contexto del Análisis Probabilista de Seguridad (APS), aun cuando los análisis realizados por las centrales son sometidos a revisión por pares y/o del propio organismo regulador, es muy difícil manejar la gran cantidad de hipótesis que hay detrás de los modelos. Por este motivo, el desarrollo de un modelo de APS propio para el uso regulador mejora el conocimiento de los riesgos de las plantas y puede ser visto como una mejora de la práctica reguladora. El CSN, en colaboración con la UPM, ha desarrollado su propio modelo estandarizado (SPAR-CSN) para una central genérica de diseño PWR-WEC de 3 lazos. Este documento presenta una descripción general de dicho modelo y resume los primeros resultados obtenidos a partir de su cuantificación.

■ Texto: **César Queral, Carlos París, Marcos Cabezas, Sergio Courtín, Alberto García y Julia Herrero** | Universidad Politécnica de Madrid (UPM) ■ **Enrique Meléndez, Miguel Sánchez** | Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) ■

El modelo genérico estandarizado de Análisis Probabilista de Seguridad (APS) desarrollado por el Consejo de Seguridad Nuclear y la Universidad Politécnica de Madrid es fruto del estudio y comparación tanto de los APS propios de las centrales españolas como de otros modelos SPAR de la Nuclear Regulatory Commission de Estados Unidos (USNRC) de centrales análogas. El objetivo es que el modelo genérico SPAR-CSN sirva como base estándar para la elaboración de los modelos SPAR-CSN específicos de las centrales españolas y en él se establecen

un conjunto de hipótesis y técnicas de modelización estandarizadas comunes, excluyendo todas las posibles particularidades operativas y de diseño específicas de cada central.

Descripción del proyecto.

El objetivo del trabajo de colaboración ha consistido en desarrollar un modelo de APS de una central nuclear española de diseño PWR Westinghouse, que sirva como estándar para los modelos del resto de centrales. El alcance que se pretende alcanzar debe ser comparable a los modelos SPAR (Standardized Plants Analysis Risk) utilizados por la USNRC para sus análisis de riesgo. Estos modelos SPAR-CSN han de permitir:

a. Entender mejor los principales factores de riesgo de las centrales nucleares españolas.
b. Contribuir a determinar las prioridades en las labores de inspección y revisión de las centrales españolas a través del análisis de importancia de sistemas y componentes.
c. Servir de herramienta para el análisis de los incidentes ocurridos en las centrales españolas para determinar la cercanía de un escenario de daño al núcleo, en el denominado análisis de precursores de accidente.
d. Contribuir a la valoración de los hallazgos de las inspecciones del Sistema Integrado de Supervisión de las Centrales del CSN (SISC).

Estos objetivos de alto nivel se han desgranado en diversos bloques de tareas:

- **Bloque 1.** Elaboración de un procedimiento para especificar el estándar de modelación en base a la comparación de los modelos de APS específicos de las centrales españolas PWR W3, y a los modelos SPAR de la USNRC.
- **Bloque 2.** Puesta a punto en RISKSPECTRUM de un modelo estandarizado de APS de una central española con alcance similar al de los modelos SPAR de la USNRC.
- **Bloque 3.** Validación y Verificación (V&V) del modelo obtenido.
- **Bloque 4.** Edición de manuales e implantación final.
- **Bloque 5.** Estudio de la viabilidad de integrar el modelo estandarizado en el Sistema de Información de APS (SIAPS) del CSN.
- **Bloque 6.** Organización de actividades de formación del personal del CSN.
- **Bloque 7.** Estimación de los recursos necesarios para elaborar los modelos de las restantes centrales nucleares españolas, incluyendo en la estimación la tecnología BWR (CN Cofrentes) y KWU (CN Trillo).

La metodología creada e implementada, basada en la comparación de los distintos modelos de APS de las centrales, consiste en los siguientes pasos:

1. Comparación de árboles de sucesos (ET), secuencias de éxito y daño y criterios de éxito de cada cabecero entre los modelos de APS de las centrales españolas, de los modelos SPAR-NRC y de otros modelos.
2. Propuesta preliminar de ET estandarizados y de criterios de éxito de sus cabeceros.
3. Comparación de la descripción, análisis funcional de cada sistema de seguridad considerado en los diferentes modelos, de las hipótesis de modelización (permite obtener una clasificación y discriminación de las diferencias entre los modelos de APS), y de los árboles de fallo (FT) de los sistemas.
4. Propuesta para la estandarización del modelo de FT para cada sistema, incluyendo un diagrama de bloques estandarizado del sistema, nomenclatura común de los equipos y fallos de los sistemas, evaluación y primera propuesta de hipótesis y técnicas de modelización, evaluación de acciones humanas y de condiciones de operación aplicables.
5. Comparación de las acciones humanas (tipo 3/5) incluidas en cada ET de los modelos de APS analizados e identificación de los POE relacionados con las secuencias.
6. Propuesta de acciones humanas para cada ET, incluyendo la cuantificación de su probabilidad de fallo mediante la metodología SPAR-H usada por la NRC en sus modelos estandarizados, relacionándolas con las secuencias y los POE aplicables.
7. Comparación de las bases de datos usadas en los modelos de APS analizados.
8. Propuesta de bases de datos genéricas a utilizar para los FT y la frecuencia de iniciadores.
9. Implementación de los ET y FT en el modelo SPAR-CSN de RiskSpectrum.
10. Verificación del modelo SPAR-CSN a través de una comparación de alto nivel del perfil de riesgo de la planta.

Descripción del modelo genérico SPAR-CSN

Esta sección presenta una descripción de alto nivel del modelo genérico SPAR-CSN. Hay que tener en cuenta que, como se mencionó en la sección 1, el modelo genérico SPAR-CSN ha sido diseñado como una base estándar a partir de la cual se desarrollarán los modelos específicos de las centrales españolas de diseño PWR-WEC de 3 lazos. Por este motivo, tanto las hipótesis de modelización como los diagramas de los sistemas de seguridad del modelo genérico han sido elegidos para ser representativos de una central típica, dejando los

Tabla 1. ETs del modelo genérico SPAR-CSN

ID	Suceso Iniciador	ID	Suceso Iniciador
LBLOCA	LOCA (>6 in.)	MSLB-US	Rotura en Línea de Vapor antes de MSIV
MBLOCA	LOCA (2 in. a 6 in.)	MSLB-DS	Rotura en Línea de Vapor después de MSIV
SBLOCA	LOCA (3/8 in. a 2 in.)	SGTR	Rotura de Tubos de Generador de Vapor
GT	Transitorio Genérico	LCWA	Pérdida de un tren del Sistema de Refrigeración de Componentes Esenciales
ATWS	Transitorio Anticipado sin Caída de Barras	LNSW	Pérdida del Sistema de Servicios No Esenciales
LC	Pérdida del Condensador	LOOP/SBO	Pérdida de Corriente Eléctrica Exterior/Station Blackout
LDC-A	Pérdida de la barra de corriente continua de 125 V de emergencia de tren A	LDC-B	Pérdida de la barra de corriente continua de 125 V de emergencia de tren B

detalles de diseño y las características operacionales de las centrales para los modelos específicos.

En los siguientes párrafos se describen los distintos aspectos del modelo genérico SPAR-CSN.

—Árboles de sucesos (ET)

Esta sección resume el alcance del modelo SPAR-CSN genérico en relación con la delineación de árboles de sucesos. En su versión actual, el modelo incluye 14 ET principales (ver Tabla 1).

Algunas de las principales hipótesis consideradas para la delineación de secuencias son:

- El tiempo de misión para las diferentes estrategias de mitigación de accidentes es 24 horas.
- Pasado ese tiempo, la situación de la planta será o bien daño al núcleo (consecuencia CD) o bien un estado estable y seguro (Safe Stable State, consecuencia S).
- Se ha seguido la definición de un estado estable y seguro del NUREG-2122: "condition of the reactor in which the necessary safety functions are achieved".

En la Figura 1 se presenta el árbol de MBLOCA dentro del modelo SPAR-CSN genérico como ejemplo de ET.

—Árboles de fallos (FT)

Esta sección resume el alcance de la tarea de árboles de fallos del modelo SPAR-CSN. En la versión actual, el modelo incluye 18 FT de sistemas de seguridad (Tabla 2, en la página siguiente), con 539 páginas y 1381 sucesos básicos en total.

Algunas de las hipótesis principales consideradas para la construcción de los FT son:

- No se han incluido modelos de fallo en espera de equipos, solamente en misión (24 horas) y a la demanda. Por ejemplo, no se incluyen las situaciones en las que un equipo estuviera fallado antes del suceso iniciador por cualquier circunstancia que no pudiera ser detectada (aunque sí su indisponibilidad por mantenimiento o pruebas); la probabilidad de estos fallos es baja en general.
- Se asocia un único suceso de indisponibilidad por mantenimiento o pruebas a cada tren de cada sistema. Estos sucesos incluyen las contribuciones de todos los equipos cuya indisponibilidad deja el tren correspondiente fuera de servicio.

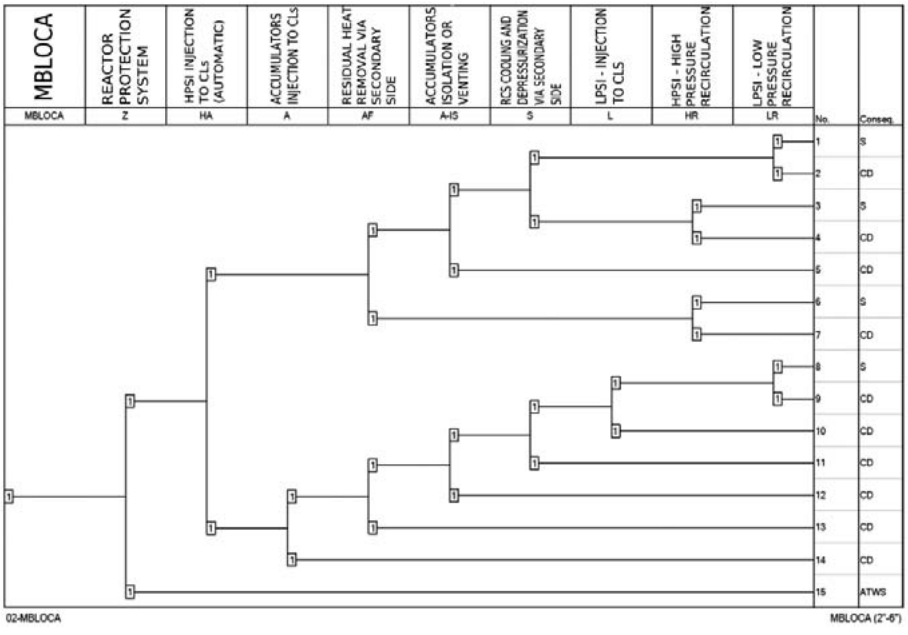


Figura 1. Árbol de Sucesos de MBLOCA del modelo genérico SPAR-CSN.

Tabla 2. FTs de sistemas de seguridad del modelo genérico SPAR-CSN

ID	Sistema	ID	Sistema
AC	Sistema de distribución de corriente alterna de emergencia	IA	Sistema de Aire de Instrumentos
AF	Sistema de Agua de Alimentación Auxiliar	LH	Sistema de Inyección de Seguridad de Baja Presión
AI	Sistema de Inyección de Acumuladores	MS	Sistema de Vapor Principal
CW	Sistema de Agua de Refrigeración de Componentes Esenciales	NC	Sistema de Agua de Refrigeración de Componentes No Esenciales
DC	Sistema de distribución de corriente continua de emergencia	NS	Sistema de Agua de Servicios No Esenciales
DG-A/B	Generadores Diésel de Emergencia	PR	Sistema de Alivio de Presión del Primario
DG-SBO	Generador Diésel de SBO	RP	Sistema de Protección del Reactor
ES/SQ	Sistema de Accionamiento de Salvaguardias / Secuenciador	SC	Sistema de Inyección a Sellos de las bombas del Primario
HH	Sistema de Inyección de Seguridad de Alta Presión	SW	Sistema de Agua de Servicios Esenciales

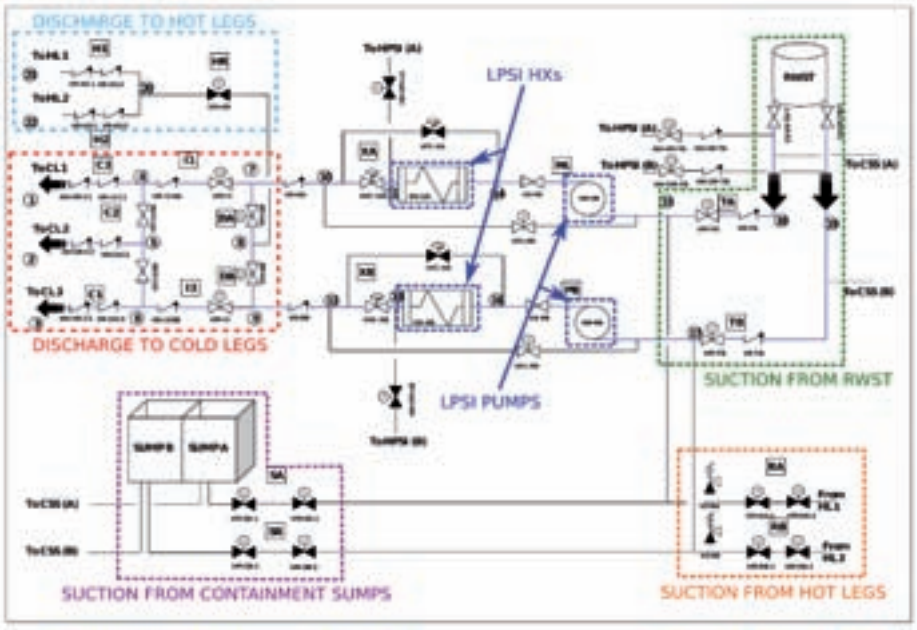


Figura 2. Diagrama simplificado del LPSI en los distintos modos de operación.

- Se incluye una representación de alto nivel del fallo de cada señal de lógica automática (arranques, permisivos, etc.), la cual se compone de la pérdida de alimentación eléctrica y un suceso básico no desarrollado representativo del fallo en la generación de la señal.
- Los fallos de las acciones manuales no incluyen los fallos del equipamiento de sala de control, como paneles, manetas, botones, etc.

En las Figuras 2 a 4 se muestra un ejemplo de FT correspondiente al sistema de inyección a baja presión (LPSI). El diagrama del sistema se muestra en la Figura 2, donde se indican las localizaciones de la succión y descarga del sistema, así como los equipos más importantes. La Figura 3 muestra el Top Event del FT del LPSI, que corresponde al fallo en la inyección a 1 de 3 ramas frías del primario, en modos inyección y recirculación. Por último, la Figura 4 representa la estructura general del FT del LPSI, indicando las conexiones entre las distintas páginas del FT y las diferentes partes del diagrama del sistema.

—Fiabilidad Humana (HR)

Respecto al ámbito de la fiabilidad humana, los modelos SPAR-CSN usan la metodología SPAR-H para cuantificar la probabilidad de error de las acciones humanas tipo 3, al igual que los modelos SPAR de la NRC. Sin embargo, a diferencia de estos últimos, los modelos SPAR-CSN incluyen un número de acciones significativamente mayor, hasta 38 en total en la versión actual del modelo genérico.

Los tiempos disponibles y requeridos para las acciones humanas se han obtenido a partir de una completa revisión, comparación y evaluación de la documentación de los APS de las plantas españolas. Las probabilidades de los diferentes errores humanos incluidos en el modelo están comprendidas en el rango de 1E-05 a 1E-01 (antes de considerar dependencias entre acciones humanas).

Para comprender y justificar la implementación de las acciones humanas tipo 3, se han identificado los POE involucrados en cada ET del modelo, con los correspondientes pasos clave para la actuación en cada uno de los cabeceros correspondientes.

Por otro lado, se han incluido solamente unos pocos errores humanos tipo 1, específicamente aquellos relacionados con equipos particularmente importantes para la seguridad (por ejemplo, calibración de las válvulas de alivio y seguridad del presionador, calibración de los canales de nivel del tanque de agua de recarga

etc.), y no se ha tenido en cuenta ninguna acción humana tipo 5.

Por último, tras incluir todas las acciones humanas en el modelo, se realizó un estudio completo de las posibles dependencias entre ellas siguiendo los siguientes pasos:

1. Se asigna el valor 1 a la probabilidad de todas las acciones humanas tipo 3, para maximizar su contribución en la cuantificación del modelo con RiskSpectrum.
2. Se calcula la frecuencia de daño al núcleo de cada ET, identificando y seleccionando las combinaciones de acciones humanas más importantes entre los conjuntos mínimos de fallos obtenidos para cada ET.
3. Se estudian las combinaciones de acciones humanas seleccionadas en el punto anterior, usando la metodología SPAR-H para determinar el nivel de dependencia entre las acciones.
4. Finalmente, se establece un conjunto de reglas de postproceso en el modelo SPAR-CSN para cambiar el valor de probabilidad condicionada de las acciones dependientes, atendiendo al nivel de dependencia en cada caso.

Se han analizado 19 combinaciones de dos acciones humanas siguiendo esta metodología, identificando tres combinaciones con dependencia completa (probabilidad condicionada de la acción dependiente puesta a 1), nueve con dependencia alta (probabilidad condicionada de la acción dependiente en torno a 0,5), cuatro con dependencia moderada (probabilidad condicionada de la acción dependiente en torno a 0,14) y tres con dependencia baja (probabilidad condicionada de la acción dependiente en torno a 0,05). Conviene aclarar que no se han encontrado combinaciones estadísticamente significativas de 3 acciones humanas o más.

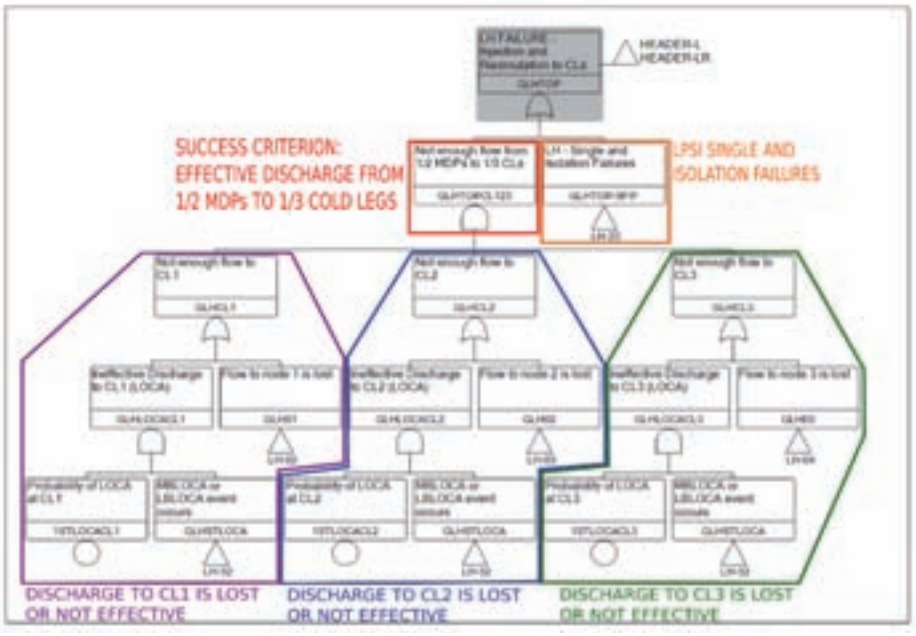


Figura 3. Top del FT del LPSI en el modelo genérico SPAR-CSN.

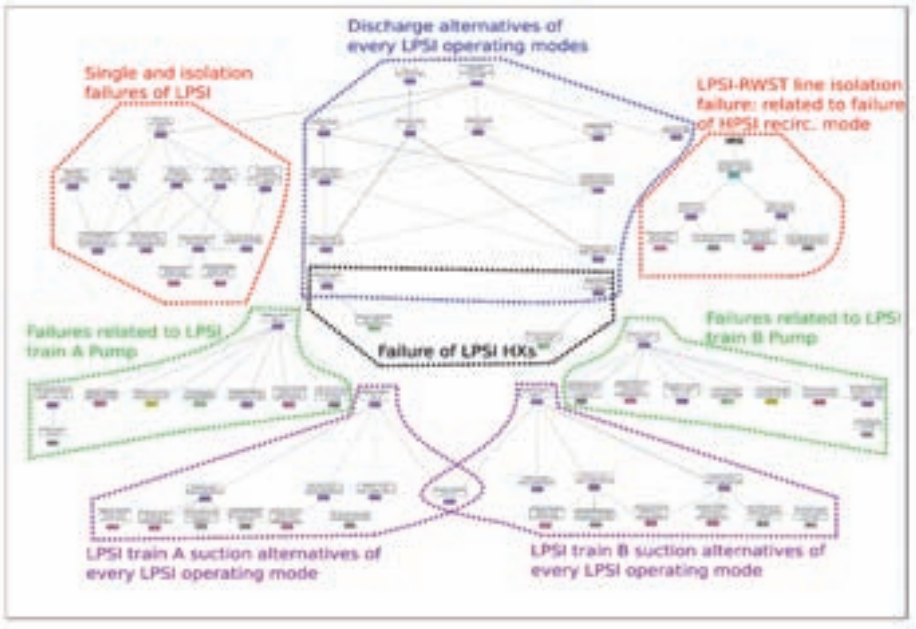


Figura 4. Diagrama del FT del LPSI en el modelo genérico SPAR-CSN.

—Fuentes de datos (DB)

Se han utilizado principalmente dos fuentes públicas de datos genéricos para asignar modelos de cuantificación a los sucesos básicos relacionados con fallos de equipos, indisponibilidad de sistemas y sucesos iniciadores:

- NUREG/CR-6928:
  - Unavailability Data Sheets (2015 update): para fallos de equipos.
  - Initiating Event Data Sheets (2015 update): para frecuencias de iniciadores.
  - Train UA (2015 update): para indisponibilidad de sistema por mantenimiento o pruebas
- NUREG/CR-5497:
  - CCF parameter estimations (2015 update): para fallos de causa común.

Tabla 3. CDF de cada ET y CDF total del modelo genérico SPAR-CSN, considerando (izquierda) y sin considerar (derecha) dependencias entre acciones humanas

ID del ET	CDF (1/a)	ID del ET	CDF (1/a)
LBLOCA	1,15E-08	MSLB-US	5,99E-08
MBLOCA	1,29E-07	MSLB-DS	7,62E-07
SBLOCA	1,45E-07	SGTR	3,45E-06
GT	7,39E-06	LCWA	7,12E-10
ATWS	5,02E-08	LNSW	2,18E-09
LC	5,15E-07	LOOP/SBO	4,52E-07
LDC-A	1,51E-08	LDC-B	1,60E-08
CDF Total	**1,29E-05**		

ID del ET	CDF (1/a)	ID del ET	CDF (1/a)
LBLOCA	1,15E-08	MSLB-US	1,56E-09
MBLOCA	5,34E-08	MSLB-DS	3,17E-08
SBLOCA	1,01E-07	SGTR	1,51E-08
GT	2,07E-07	LCWA	7,11E-10
ATWS	4,93E-08	LNSW	5,57E-11
LC	1,45E-08	LOOP/SBO	1,21E-07
LDC-A	7,26E-09	LDC-B	9,98E-09
CDF Total	**5,54E-07**		

Además, se han usado otras referencias públicas relacionadas con los modelos SPAR-NRC.

Primeros resultados del modelo SPAR-CSN

En esta sección se presentan y discuten los principales resultados relacionados con la frecuencia total de daño al núcleo (CDF) del modelo.

La Tabla 3 muestra la CDF obtenida a partir del modelo genérico SPAR-CSN, así como la contribución de cada ET en ella, tanto sin considerar dependencias entre acciones humanas como considerándolas, mientras que la Figura 5 muestra un diagrama de sectores comparando las contribuciones de los diferentes ET. Se pueden resaltar los siguientes aspectos:

El valor de la CDF está en el mismo orden de magnitud que otros modelos SPAR (por ejemplo, un modelo genérico SPAR de la USNRC presenta un valor de CDF de 3,01E-05 1/r·a para una planta PWR de 4 lazos genérica incluyendo dependencias entre acciones humanas, frente al valor de 1,29E-05 1/r·a obtenido por el modelo SPAR-CSN).

La contribución más importante a la CDF proviene del ET de transitorio genérico. Este es un resultado habitual entre los APS de centrales similares. En particular, el MCS más importante consiste en un transitorio genérico con un error humano en el control de nivel de los generadores de vapor, seguido de un error humano en la acción de Feed & Bleed.

La aplicación del análisis de dependencias entre acciones humanas incrementa el valor de la CDF en dos órdenes de magnitud.

Conclusiones

Las principales conclusiones obtenidas del trabajo realizado en el proyecto SPAR-CSN se resumen a continuación:

- La metodología ideada para el desarrollo de los modelos SPAR-CSN ha demostrado la viabilidad de estandarizar ET, FT y modelación de las acciones humanas entre las distintas plantas españolas estudiadas en este proyecto.
- El proceso de estandarización permite discriminar las diferencias de diseño y operación específicas de cada central que difieran del modelo genérico; se ha puesto especial cuidado en este aspecto en el proyecto SPAR-CSN.
- La metodología ha permitido identificar y gestionar las diferencias entre los distintos modelos de APS de las centrales españolas que pueden ser objeto de estandarización. Estas diferencias involucran ET (por ejemplo, transferencia entre ET, requerimiento de sistemas de seguridad del edificio de contención, clasificación de LOCA por tamaño de rotura), FT (por ejemplo, distribución de modos de funcionamiento de sistemas en los FT, uso de puertas de transferencia, descarte de sucesos imposibles, etc.) e hipótesis de modelización, así como el análisis de fiabilidad humana y bases de datos usadas para las probabilidades de fallos de equipos.
- Todas las diferencias relevantes identificadas, relacionadas ya sea con decisiones de modelización o con hipótesis adoptadas, han sido evaluadas por expertos del CSN, y se ha establecido una base común estándar basada en su experiencia. Además, se han tenido en cuenta los modelos SPAR de la USNRC públicamente disponibles como referencia para establecer el alcance de los modelos SPAR-CSN.
- El valor total de la CDF obtenido a partir del modelo SPAR-CSN genérico en su versión actual, así como los conjuntos mínimos de fallo asociados, están razonablemente de acuerdo con los obtenidos por otros modelos de APS clásicos y SPAR de la USNRC.

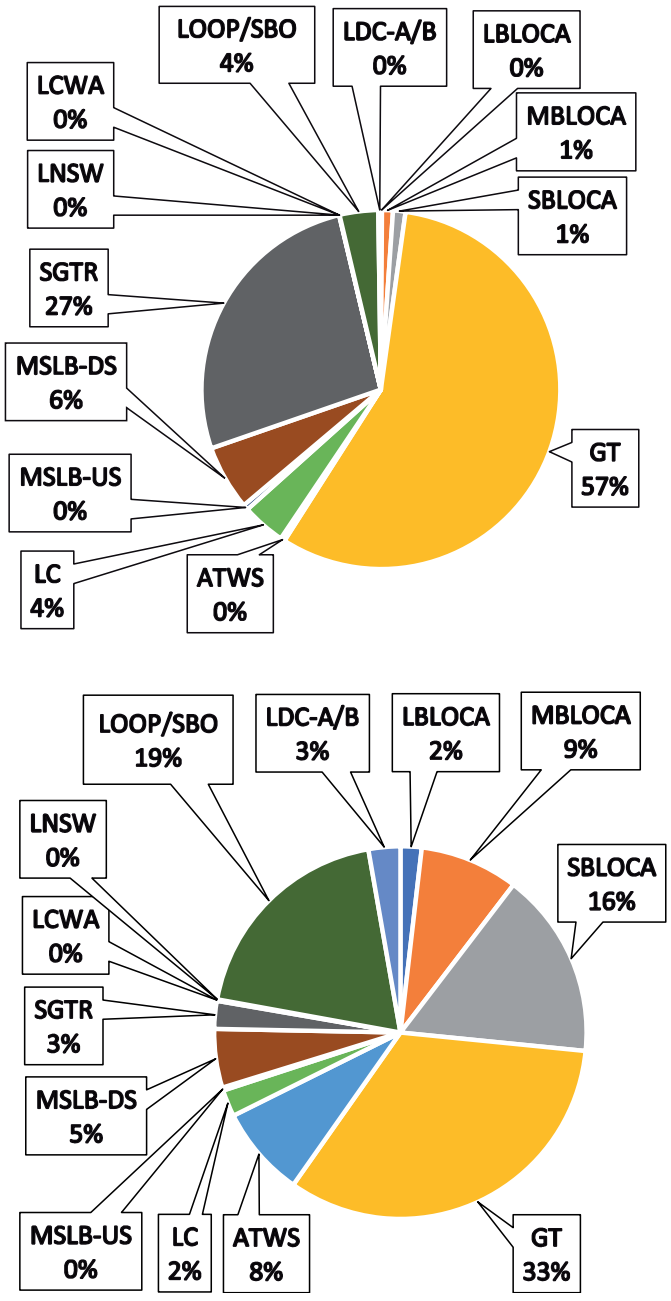


Figure 5. Contribución de cada ET a la CDF total del modelo genérico SPAR-CSN, considerando (izquierda) y sin considerar (derecha) dependencias entre acciones humanas.

- Los próximos pasos del proyecto SAPR-CSN incluyen una comparación más exhaustiva con otros modelos SPAR y con los modelos de APS de las centrales españolas.

Los modelos SPAR-CSN, ya en su estado actual, son herramientas útiles para entender y evaluar el riesgo asociado con la operación de las plantas. La construcción estandarizada de estos modelos proporciona un enfoque consistente desde el que evaluar los impactos sobre el riesgo de las plantas individualmente, así como los problemas concernientes a la industria en general. La intención del CSN es que estos modelos contribuyan a una mejor comprensión de los principales factores que contribuyen al riesgo de las centrales españolas y que puedan ser usados como herramientas para las diferentes aplicaciones de APS que están siendo implementadas en la actualidad en el CSN (por ejemplo, análisis de precursores, priorización en inspecciones y labores de supervisión, gestión de hallazgos de inspección, etc.). Con esto en mente, la intención es extender las presentes actividades para cubrir otras plantas españolas y mejorar el modelo en detalle, precisión y amplitud para cubrir las necesidades emergentes del CSN y para reflejar los avances en el estado del arte de la tecnología de APS.

Referencias

- Hiroki Watanabe (Nuclear Regulation Authority, Japan), Selim Sancaktar (U.S. NRC), Suzanne Dennis (USNRC). "Generic PWR SPAR Model White Paper". https://www.nrc.gov/docs/ML1900/ML19008A133.pdf (2018)
- U.S.NRC. Risk assessment of operational event. Handbook. Volume 3 - SPAR model reviews, 2nd edition (2010).
- U.S.NRC, RES/DRA, "SPAR Model Development Program", https://www.nrc.gov/docs/ML1029/ML102930134.pdf
- E. Meléndez, M. Sánchez-Perea, C. Queral, J. Mula, A. Hernández, C. París. "Standardized Probabilistic Safety Assessment Models: First Results and Conclusions of a Feasibility Study". 13th International Conference on Probabilistic Safety Assessment and Management (PSAM 13), Seoul, South Korea (2-7 Octubre de 2016).
- U.S. Nuclear Regulatory Commission, "Glossary of Risk-Related Terms in Support of Risk-Informed Decision-making," NUREG-2122, U.S. Nuclear Regulatory Commission (2013).
- U.S. Nuclear Regulatory Commission, "The SPAR-H Human Reliability Analysis Method" NUREG/CR-6883, U.S. Nuclear Regulatory Commission (2005).
- U.S. Nuclear Regulatory Commission, "Industry-Average Performance for Components and Initiating Events at U.S. Commercial Nuclear Power Plants". NUREG/CR-6928, U.S. Nuclear Regulatory Commission (2007).
- F. Marshall, D. Rasmuson, A. Mosleh. "Common Cause Failure Parameter Estimations". NUREG/CR-5497, U.S. Nuclear Regulatory Commission (1998).
- U.S.NRC. Risk Informing Emergency Preparedness Oversight: Evaluation of Emergency Action Levels- A Pilot Study of Peach Bottom, Surry and Sequoyah. NUREG/CR-7154, Vol. 2. Technical report (2013).

Construida sobre el permafrost, Ny-Ålesund es una de las cuatro poblaciones habitadas permanentemente en Spitsbergen, una de la islas del archipiélago de las Svalbard.

El permafrost, el hielo eterno de la tundra, víctima e impulsor del calentamiento global

Los cimientos de la Tierra se derriten

El 25 por ciento del suelo del hemisferio Norte está congelado; es el llamado permafrost. Sobre él se asientan poblaciones, carreteras e infraestructuras y de él depende el equilibrio de un ecosistema tremendamente especializado. Además, encierra un secreto: millones de toneladas de carbono preso en sus entrañas que si se deshelara se sumaría a las crecientes emisiones de gases de efecto invernadero. El cambio climático está calentando el doble de rápido estas zonas que las del resto del planeta, lo que parece amenazar a esta capa subterránea y, con ello, al resto del mundo.

Texto: **Elvira del Pozo** | Periodista de ciencia

3.000 metros de altura. En la mitad sur del planeta también hay sustrato helado, pero mucho menos porque tiene más océano y menos tierra. Allí, habrá que escalar los Andes, alcanzar los confines de la Patagonia y excavar muy profundo en la Antártida para encontrarlo.

El permafrost no se ve, porque lo tapa el paisaje que se deshiela y congela según se suceden las estaciones. Pero esta tierra subterránea, aislada de la intemperie, permanece por debajo de cero grados, al menos durante dos años seguidos. Aunque mucha de ella lleva milenios así. Hasta ahora. "El permafrost, en el conjunto del planeta, se está calentando. De media, su temperatura ha aumentado 0,29 grados centígrados", avisa Marc Oliva, investigador principal del Grupo de Investigación de Entornos Antártico, Ártico y Alpino de la Universidad de Barcelona. Y la razón parece ser el calentamiento global, señala la investigación en la que participó y que fue publicada en 2020 en Nature Communications.

la temperatura media anual en esta región ha subido 3,1 °C, mientras que en general solo aumentaba alrededor de 1 grado. Esta es la llamada de atención del último estudio del Programa de Vigilancia y Evaluación del Ártico del Consejo Ártico, que es el principal foro donde interaccionan los ocho estados árticos (Canadá, Dinamarca, Finlandia, Islandia, Noruega, Rusia, Suecia y Estados Unidos). Y el calor derrite el hielo, también el que no se ve a simple vista.

En el año 2100, el área de permafrost más vulnerable, el que está más cerca de la superficie, habrá disminuido entre un 2 y un 66 por ciento, en el supuesto más favorable, aquel en el que la humanidad restringe mucho la cantidad de gases de efecto invernadero vertidas a la atmósfera. Porcentaje que puede llegar al 99 por cien si persiste el nivel actual de emisiones. Estas son las estimaciones que maneja el último *Informe especial sobre el océano y la criosfera en un clima cambiante,* publicado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), en 2019.

Marc Oliva durante una de sus expediciones de investigación en Groenlandia.

Una cuarta parte del suelo del hemisferio Norte está congelado permanentemente, según el Centro Nacional de Datos de Nieve y Hielo. En total, más de 20 millones de kilómetros cuadrados repartidos entre las altas cumbres del Tíbet y de las Montañas Rocosas de EE.UU., y bajo los vastos paisajes casi siempre blancos de Siberia, Alaska, Canadá y Groenlandia. Están en los Alpes, Pirineos y demás picos que superan los

Un calentamiento mundial sí, pero desigual. El Ártico se está caldeando tres veces más rápido que el resto del planeta. En menos de medio siglo, de 1971 a 2019,

Las consecuencias ya se están empezando a notar. El 20 de junio del año

pasado, la estación meteorológica de Verkhoyansk llegó a los 38 °C , la temperatura más alta jamás registrada por encima del círculo polar ártico. Los habitantes de esta remota zona de Siberia, como también los de otras áreas de Suecia y Alaska, sufren olas de calor cada vez más frecuentes, que provocan incendios forestales incontrolables. Además, están padeciendo plagas y cambios en sus ecosistemas, pues el encharcamiento provocado por el deshielo no le va bien a las plantas que alimentan a especies emblemáticas como los renos y los osos, lo que está forzando a migraciones masivas de especies salvajes.

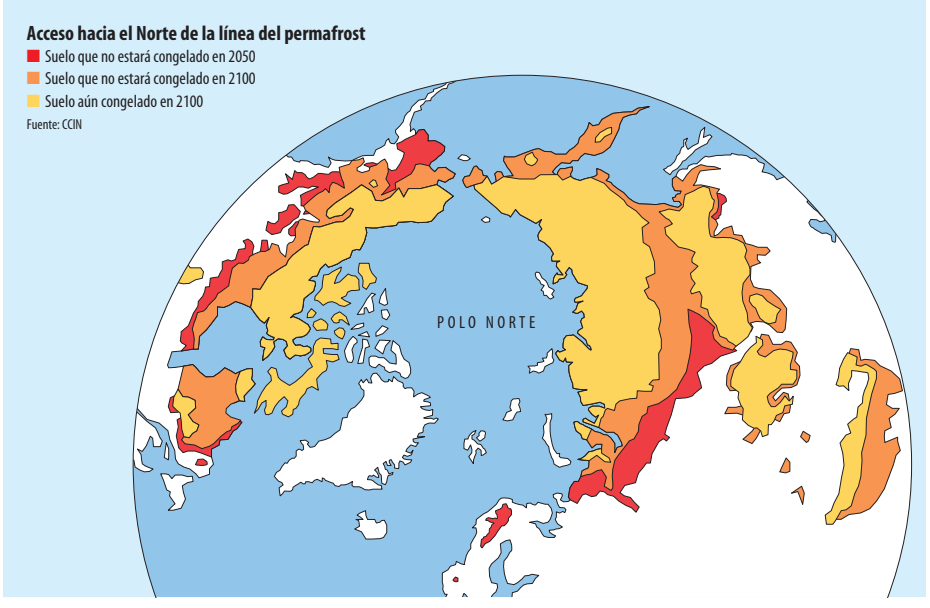
También, afecta a las infraestructuras: carreteras, edificios, instalaciones... que están firmemente construidas sobre este sustrato helado, que es tan duro como el hormigón... hasta que se derrite. Esta fue la causa de la mayor catástrofe medioambiental en el Ártico: el vertido de petróleo que se produjo en la región rusa de Norilsk, en 2020. El tanque que lo contenía se derrumbó por el deshielo del sustrato sobre el que se asentaba. Según un artículo publicado el año pasado en Environmental Research Letters, a partir de los datos recogidos por satélites de la Agencia Espacial Europea, más de la mitad de las comunidades e infraestructuras árticas estarán "en riesgo" por el deshielo del permafrost, en las próximas tres décadas. Esto preocupa especialmente a Rusia, ya que aproximadamente el 60 por ciento de su territorio se asienta sobre permafrost. Es tal la alarma que la prensa internacional se hizo eco de la decisión tomada por el presidente ruso Vladimir Putin de revisar la vulnerabilidad de las infraestructuras clave de su país, tales como gasoductos, centrales nucleares y vías de comunicación.

Aunque no hay que irse tan lejos. "En latitudes como la nuestra, donde el permafrost es casi residual y se entiende como algo exótico, la sociedad no percibe como problema su deshielo", señala Oliva. Lo que no sabe es que por encima de los 3.000 metros de altura, este hielo invisible es el que mantiene "pegadas" las montañas. Es el caso de las cumbres de Pirineos, Picos de Europa y Sierra Nevada. También, del Piz Cengalo, en los Alpes, que sufrió un derrumbe en 2017 que sepultó a ocho personas y supuso el desalojo de todo el valle. Esos días, las temperaturas fueron inusualmente altas.

Imagen del permafrost bajo la capa superficial del suelo de la tundra.

Chimeneas de carbono

Lo que pasa en el Ártico, no se queda en el Ártico. Este es el título del informe que publicó hace años Greenpeace para



STEVE JUVETSON - FLICKR - WIKIPEDIA

El derretimiento del permafrost provoca la aparición en superficie de pequeña lagunas. En la imagen algunas aparecidas en la Bahía de Hudson, en Canadá.

concienciar sobre el impacto global que tiene el deshielo de las zonas polares. No solo puntualmente afecta a las poblaciones que pisan permafrost, sino a todos los habitantes del planeta. El texto avisaba de que "según se caliente el Ártico y retroceda el hielo, los mecanismos de retroalimentación, entre ellos, una menor capacidad de reflexión del hielo (el llamado albedo) y la liberación de los gases de efecto invernadero de su largo almacenamiento en el permafrost, provocarán un aumento del cambio climático mundial".

Los terrenos congelados son un sumidero de carbono. Algunas estimaciones consideran que hay el doble de este elemento en el permafrost que en la atmósfera. Toda una caja de Pandora. Por una parte, contiene grandes cantidades de carbono orgánico en forma de plantas y animales que al morir se acumularon sin descomponerse, debido a la baja temperatura. Pero, sobre todo, tiene atrapadas grandes cantidades de metano antiguo, que proviene de los momentos en los que se estaba formando el permafrost. En climas fríos, en entornos de alta presión y ausencia de oxígeno, el CH_4 que producen organismos anaerobios a partir de la materia orgánica puede reaccionar con el agua a punto de congelarse y formar hidratos de metano. Estas son moléculas de H_2O que cristalizan dejando una cavidad en la que queda literalmente atrapado el gas. Su apariencia es la del hielo corriente con diminutas burbujas de aire en su interior.

Mientras el carbono siga almacenado, no hay problema. Pero, con el aumento de las temperaturas y la consecuente eliminación de las capas superficiales de hielo, quedará expuesta la materia orgánica muerta, que se descompondrá en dióxido de carbono, el célebre CO_2, y metano que irán a parar a la atmósfera. No hay que olvidar que el metano puede retener hasta 80 veces más calor que el CO_2, así que podría contribuir a que aumentara aun más la temperatura del planeta. Esto, a su vez, supondría más deshielo y más emisión de GEI y, por ende, más calor. Se podría desencadenar un mecanismo de retroalimentación conocido como la amplificación ártica. ¿Cuánto condicionará al clima global? No hay consenso aún para dar una respuesta.

DEPOSITPHOTOS

Efectos del derretimiento del permafrost en infraestructuras y viviendas de la tundra en Rusia.

"El impacto dependerá de cuánto carbono tiene atrapado realmente la gran extensión de permafrost ártico, que es lo que más preocupa a la comunidad científica", señala Oliva. El Informe del IPCC de 2019 estimó que 'el permafrost de las regiones ártico y boreal contienen entre 1.460 y 1.600 Gigatoneladas (Gt, igual a mil millones de toneladas) de carbono orgánico". Lo que supondría que almacena más de una cuarta parte del carbono global del suelo de la Tierra.

El mismo texto cree bastante posible que, hacia final de este siglo, el permafrost degradado libere anualmente entre un 0.01 y 0.06 Gt de CH_4/año, equivalente a las emisiones de 300 millones de coches, 12 veces los que tiene España . Esto "tiene potencial para acelerar el cambio climático", alerta. Un artículo posterior, publicado en enero de 2021 en la revista *Geoscientific Model Development,* va más allá y considera que estas emisiones producirán un aumento adicional de las temperaturas globales de alrededor de 0,2 grados centígrados, en 2100. Puede parecer poco pero cada pequeña variación importa si se tiene en cuenta que pasar de 1,5 grados a 2 a finales de siglo puede suponer o no la desaparición total de todos los arrecifes de coral o la extinción del doble de insectos, plantas y vertebrados, aclaraba en un estudio anterior el IPCC.

Otros estudios se muestran más optimistas. Es el caso del publicado en la

El radón escondido en el hielo

El radón es una de las principales causas de cáncer de pulmón, según datos de la Organización Mundial de la Salud. Un reciente estudio publicado en la revista científica Earth's Future en enero de este año, alerta que una parte "significativa" de la población subártica podría estar expuesta a niveles de radón peligrosos para la salud (por encima de 200 bequerel por metro cúbico) como resultado del deshielo del permafrost. Actualmente, esta barrera congelada actúa como aislante para que este elemento no escape a la atmósfera. Según Paul Glover, coautor del estudio, apenas una décima parte del radón escapa de este aislamiento, lo que hace que la concentración bajo el hielo sea hasta 12 veces mayor de lo que estaría si escapase libremente. Por eso calculan que el derretimiento del permafrost podría incrementar en más de 100 veces la concentración de radón en superficie durante un periodo de entre cuatro y siete años, según su profundidad y el ritmo del deshielo.

El radón es el responsable de la mitad de la radiación natural de la Tierra. Su origen arranca con la desintegración del uranio presente en suelos, rocas y agua, que produce el elemento radio, también radiactivo, el cual al desintegrarse genera el radón, que se difunde por la atmósfera. Al ser respirado, este gas radiactivo, incoloro, inodoro, insípido e indetectable sin dispositivos especializados, puede producir cambios en el ADN de las células que recubren las vías respiratorias y llegar a provocar cáncer.

Los investigadores indican que el mayor riesgo se produciría en los edificios con sótano que se adentra en el subsuelo y en los sustentados sobre pilotes, muy comunes en esas zonas circumpolares del hemisferio norte. La alta prevalencia de fumadores entre los habitantes de esas poblaciones incrementa, además, el riesgo de cáncer de pulmón.Y avisan que estas previsiones deberían tenerse en cuenta para planificar las futuras necesidades sanitarias, los códigos de construcción y los consejos de ventilación en estas regiones.

revista Siberian Environmental Change en 2020 que, aunque llega a cifras parecidas de emisiones de metano del orden del 0,02 Gt al año, a mediados de siglo, solo en Siberia, concluye que esto supondría un aumento de la temperatura global de menos de 0.02 grados centígrados. La investigación concluye que "la retroalimentación entre el deshielo de los humedales siberianos y el clima global se ha sobreestimado significativamente".

En la misma línea se encuentra un artículo publicado en 2020 en la revista Science, que sugiere que tras el fin de la última glaciación hace 12.000 años, cuando el hielo que cubría gran parte del globo se retiró hasta los límites actuales, sí aumentó el metano atmosférico pero no procedió del encerrado en el permafrost, sino que tuvo otro origen, como los incendios forestales o la descomposición de la materia orgánica que se produjo en los lagos que surgieron. "El hallazgo sugiere que las emisiones de metano que se prevén en respuesta al calentamiento futuro no será tan grande como algunos han sugerido", concluye el estudio.

Fernendo Valladares.

La pradera del mamut

Otra incógnita es si el medio podrá adaptarse y compensar con la suficiente rapidez los cambios del permafrost. En el informe de 2019 del IPCC se plantea que quizás al retroceder el hielo, el terreno será colonizado por plantas que capturen de manera natural parte del CO_2 emitido. Un artículo posterior, de septiembre de 2021, publicado en Nature, duda que "los ecosistemas árticos tengan la capacidad de recuperación para resistir nuevas tensiones". Opinión que comparte Fernando Valladares, director del grupo de Ecología y Cambio Global en el Museo Nacional de Ciencias Naturales: "secuestrará algo pero nunca el total del exceso producido porque la nueva vegetación de tundra no es nada exuberante: se compone de arbustos enanos, praderas, musgos, líquenes y árboles dispersos, y la fotosíntesis que se da en esos climas fríos es baja. Si, además, se tiene en cuenta que cambiar una superficie blanca por una oscura aumenta la absorción de radiación, el efecto sumidero de la vegetación ve reducido su alcance".

La capa vegetal superficial sí puede ser un aislante que preserve el subsuelo. La clave está en el tipo de vegetación. "Si se deja simplemente la que aparece naturalmente tras el deshielo del permafrost, una vegetación con mucha turba, encharcada, con matorrales dispersos que dejan muchos huecos sin cubrir, no sellará bien los gases que puedan estar todavía encerrados en las capas más profundas y tampoco aislará térmicamente lo que tiene debajo, porque el agua conduce muy bien el calor", explica Valladares.

La idea, "que no está exenta de polémica", como reconoce el investigador, es convertir esos nuevos terrenos ganados al hielo en una pradera, con grandes herbívoros que coman y de esa manera vayan forzando de manera natural a que se extienda una cobertura herbácea densa que sí pueda preservar el hielo profundo durante más tiempo. No se trata solo de entelequias secundadas por investigadores prestigiosos de la Universidad de Oxford y difundidas en Nature, sino que ya hay un proyecto piloto. El experto ruso en ecología ártica y subártica Sargey Zimov y su hija Nikita llevan años reintroduciendo caballos, ciervos, bisontes y otros grandes herbívoros en la cada vez más verde Siberia para reconstruir lo que ellos llaman la llanura del mamut (pleistocenepark.ru). El ecosistema de pastizales imperante por esas tierras en el Pleistoceno, hace más de dos millones de años.

Colocar capas aislantes para preservar el suelo no es nuevo y ya se hace desde hace años en Europa: cada primavera, en los Alpes suizos, cubren el glaciar Ródano con mantas térmicas para reducir en un 70 % el derretimiento estacional. "Esto no se puede ni plantear en las áreas próximas al ártico, con una superficie tan gigantesca, sólo Siberia tiene la extensión de Europa, donde solo parece posible intentar ayudar a que la naturaleza haga gran parte del trabajo: animales viviendo a su aire, reproduciéndose y generando una dinámica natural", puntualiza Valladares. "Este parque es una de las pocas acciones planteadas *in situ* para prevenir el apocalipsis ártico. Mientras, la ciencia está enfocada en cuantificar el problema para saber a qué atenernos y saber la mitigación que tenemos que hacer en otros sitios para contrarrestar la pérdida del permafrost. Darlo todo por perdido es también negacionismo. Así que ya podemos ser imaginativos", concluye el investigador.

Una biografía del célebre científico español en 12 escenas clave de su vida

Santiago Ramón y Cajal, padre de la neurociencia

Antonia Cajal y Justo Ramón Casasús, padres de Santiago Ramón y Cajal.

Santiago Ramón y Cajal ha sido y sigue siendo el científico más influyente de España, tanto por sus contribuciones al conocimiento universal como por la escuela que creó y que se expandió por el mundo. Reconocido padre de la célula nerviosa, la neurona, sigue recibiendo miles de citas anuales en artículos científicos, un caso extraordinario de vigencia. El premio Nobel de Medicina, que le fue otorgado en 1906, hizo que aquel hijo de un médico rural en la España de mediados del XIX pasara a ser una gloria nacional en vida y, casi 90 años después de muerto, icono, pararrayos, santo laico, venerado y venerable de la investigación. Si se hiciera la película de su vida, estas serían las principales escenas.

Texto: **Antonio Calvo Roy** | Periodista de ciencia, autor de *Cajal: Triunfar a toda costa*

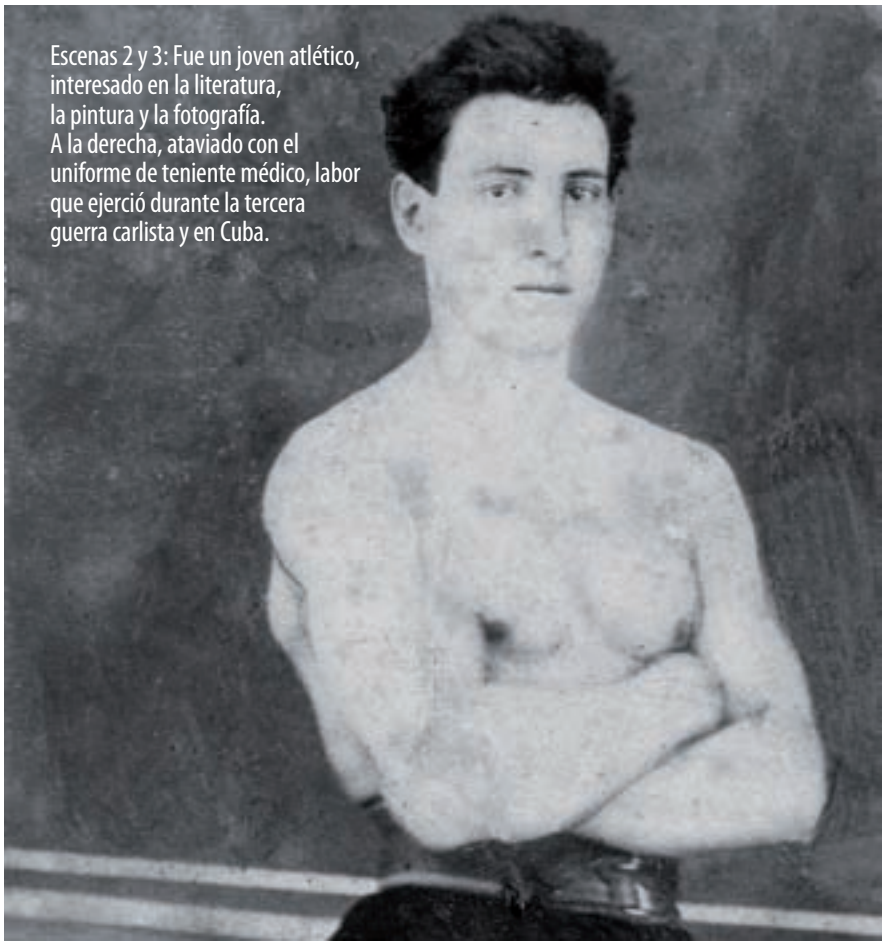
Escena 1

Ayerbe, verano de 1863. Una tarde de sol en este pequeño pueblo de Huesca, que un niño de 11 años no puede disfrutar porque está encerrado en la cárcel municipal por acuerdo del alcalde y de su padre. El niño, Santiago, dirige una pandilla de gamberros y no hay duda de quién es el jefe, quién tiene las mejores y peores ideas y quién es capaz de llevarlas a la práctica. El niño viene de Jaca, donde ha vivido con un tío suyo, tejedor, mientras estudia en los escolapios, y es el hijo del médico local. Ha tenido la idea de fabricar un cañón, con el que ha reventado la puerta del corral del vecino; motivo por el que, puestos de acuerdo el padre y el alcalde, le tienen encerrado en la cárcel de la villa. Justo Ramón Casasús, su padre, es un hombre serio y adusto que, con gran esfuerzo, estudia para obtener el título de médico y, aunque empezó de barbero sangrador, termina su vida como profesor de disección en la Universidad de Zaragoza. La madre de Santiago, Antonia Cajal, logra levantar el castigo.

Su padre le había enseñado a los seis años a leer y escribir, las cuatro reglas y algo de francés, en una cueva de pastores a las afueras de Valpalmas, un pueblo de Zaragoza en el que la familia vivió desde 1854, cuando Santiago tenía dos años, hasta 1860. Santiago había nacido en Petilla de Aragón, Navarra, el 1 de mayo de 1852, y era el mayor de los cuatro hijos de Justo Ramón y Antonia Cajal. En Valpalmas, donde fue a su primera escuela, asistió a tres acontecimientos que habrían de marcarle para toda su vida: el sentimiento de la patria, al celebrar las victorias en la guerra contra el "feroz marroquí"; la fuerza desordenada de la naturaleza, al ver caer un rayo en la escuela mientras rezaban y que dejó seco al cura que tocaba las campanas para alejar la tormenta; y el poder de la ciencia, al contemplar un eclipse anunciado por los astrónomos. Tres sucesos, recordaba retrospectivamente, que le marcarían toda la vida.

Escena 2

Cementerio de Ayerbe, noche cerrada. Un hombre y un muchacho de 16 años escalan las tapias del cementerio. Rebuscan el osario y llenan un saco con huesos. Son las piezas básicas de las lecciones de anatomía que Justo Ramón le da a su hijo, los primeros rudimentos para hacer del joven indisciplinado un cirujano de provecho. Hasta llegar a esos 16 años, Santiago Ramón ha sido ayudante de zapatero remendón, mozo de barbería y mal estudiante, por lo que su padre le ha sacado varias veces de la escuela, ante la imposibilidad de hacer carrera de él. Sin embargo, por primera vez el joven díscolo se interesa por algo y es



Escenas 2 y 3: Fue un joven atlético, interesado en la literatura, la pintura y la fotografía. A la derecha, ataviado con el uniforme de teniente médico, labor que ejerció durante la tercera guerra carlista y en Cuba.

capaz de aprender largas listas de huesos con complicados nombres en latín. Parece que se endereza, así que se trasladan a Zaragoza, donde el padre consigue plaza de profesor en la escuela de medicina en la que Santiago empieza sus estudios. Ha superado su afición a la literatura romántica y a la pintura, que ha cultivado a espaldas de su padre y protegido por su madre. De estudiante practicará el culturismo. Además, ha descubierto la fotografía gracias a la visita de un fotógrafo ambulante que le enseña los rudimentos del arte. El uso de la navaja de barbero, la habilidad para pintar y la fotografía son tres destrezas adquiridas entonces que serán de enorme utilidad para el futuro investigador.

Escena 3

Enfermería de san Isidro, Cuba, 300 enfermos y un solo médico, el capitán Cajal. Junto a la trocha del Este, en la manigua, un ejército empobrecido, mal armado y peor dirigido, corrupto hasta la médula, sufre los ataques constantes de los independentistas cubanos durante la Guerra de los Diez Años, que terminó con la paz de Zanjón, en 1878. Cajal, que se había licenciado en medicina en 1873, se había alistado como teniente médico, contra la voluntad de su padre, y había participado en la tercera guerra carlista, de donde pasó a Cuba. Finalmente, el médico también cae enfermo de malaria y está a punto de perecer por la intransigencia y la mala relación con el coronel del destacamento, al que no consiente sus trapicherías. Con esfuerzo, consigue le licencia absoluta y regresa, con el rabo entre las piernas. Ya que con su quebrantada salud no puede ser médico rural, como quería su padre, decide estudiar, también por influencia de Justo Ramón, para ser catedrático de medicina, para lo que prepara el examen de doctorado mientras da clase como profesor ayudante interino de Anatomía con "1.000 pesetas anuales de haberes", trabajo que desempeñó durante 1876 y 1877.

Escena 4

Laboratorio de histología de la facultad de Medicina de la Universidad Central, Madrid. Tras aprobar los exámenes para convertirse en doctor, uno de los catedráticos, Aureliano Maestre de San Juan, le enseña a Cajal preparaciones en el microscopio y a preparar las muestras. Esa nueva ventana fascina al joven doctor, que decide comprarse un microscopio —140 duros, a plazos— y dedicarse a aprender su manejo para la investigación, a resultas de lo cual publica sus dos primeros trabajos científicos, que "fueron bastante flojos". Así, de regreso a Zaragoza, cumple los objetivos que se había mar-

Escenas 4, 5 y 6. Arriba, Cajal en la época en que obtuvo la cátedra de Valencia adquirió un microscopio por 140 duros, con el que dio inicio a sus propias investigaciones científicas. Abajo, trabajando en su laboratorio mientras investigaba en su vacuna química contra el cólera. A la derecha, durante su etapa en Valencia hacía excursiones con amigos los domingos a la Albufera, donde comían paella.

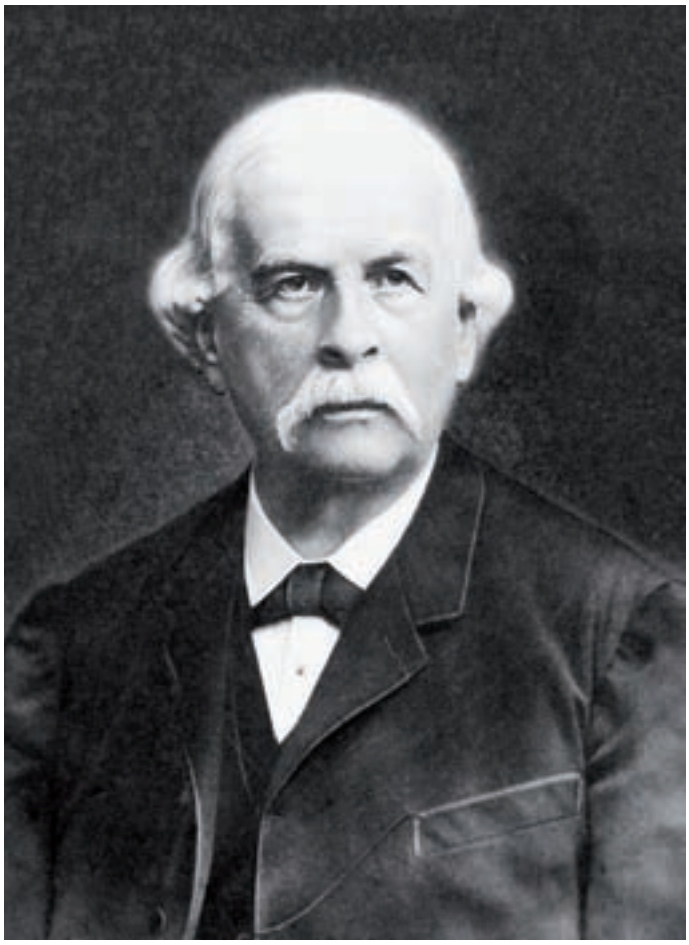
cado: casarse e independizarse de su padre. En el desván de la casa en la que vive la joven pareja monta su laboratorio —en el que, además de investigar, da clases a alumnos de doctorado—, mientras continúa con su docencia en la facultad, dirige el Museo Anatómico y, de paso, obtiene ingresos extra con un laboratorio fotográfico en el mismo desván, en el que saca y vende fotos de quienes se las encarga, por ejemplo, de majas en las corridas de toros. Por entonces cada fotógrafo era su propio químico, y él ha descubierto una nueva técnica de revelado que hace más rápido y sencillo el trabajo. Allí nacen sus dos primeros hijos mientras prepara, además, las oposiciones a cátedra. Tras algunos sinsabores consigue ganarlas y obtiene una plaza en la Universidad de Valencia, a donde su muda la familia en enero de 1884 para tomar posesión de la cátedra de Anatomía.

Escena 5

Verano de 1885. En la casa que han alquilado, en la calle de las Avellanas, Cajal está en su laboratorio, que ha dispuesto en "una sala holgada y capaz". Como siempre, trabaja febrilmente, pero ahora un poco más. Una epidemia de cólera se ha desatado en España, singularmente en Aragón y Valencia. Cajal, que ha dejado brevemente la histología y se ha centrado en la bacteriología, trata de encontrar una vacuna contra el cólera. La Diputación de Zaragoza le ha encomendado la tarea de hacer una exhaustiva investigación de la enfermedad y las posibles "inoculaciones profilácticas". Ahí descubre la eficacia de lo que llama "vacuna química", es decir, la inoculación de "cierta cantidad de cultivos muertos por el calor". En pago del trabajo, la Diputación le regaló un "magnífico microscopio Zeiss" que "me equiparó técnicamente a los micrógrafos extranjeros mejor instalados", lo que ayudó "eficacísimamente a mi futura labor científica". Además, se publicó su trabajo, que estaba ilustrado con diversos grabados hechos por el propio Cajal, que había aprendido el uso del lápiz y el buril litográficos en Zaragoza, cuando hizo sus primeras publicaciones. Esa habilidad y su buena mano para la pintura pintar le convirtieron en el autor no solo de los textos sino también de las ilustraciones de todos sus trabajos hasta 1890.

Escena 6

Madrid, 1887, calle Arco de Santa María, 41. Cajal se ha trasladado a la capital para formar parte de un tribunal de oposición a cátedra y una de las tardes visita a Luis Simarro, psiquiatra y neurólogo valenciano recién llegado de París y que acaba de conocer las



Escena 7. Cajal con sus cuatro primeros hijos. A la derecha, Albert von Kölliker Rudolph.

últimas novedades técnicas en tinción celular. En el salón de casa, Simarro ha montado un pequeño laboratorio y allí le muestra a Cajal el método de Golgi, que permite una tinción selectiva, la "maravillosa potencia reveladora de la reacción cromo-argéntica". De regreso a Valencia, Cajal repite sus ensayos, pero utilizando la técnica de Golgi —a la que introdujo algunas mejoras—, con la que obtiene resultados espectaculares. Sigue publicando incansablemente sus trabajos.

Escena 7

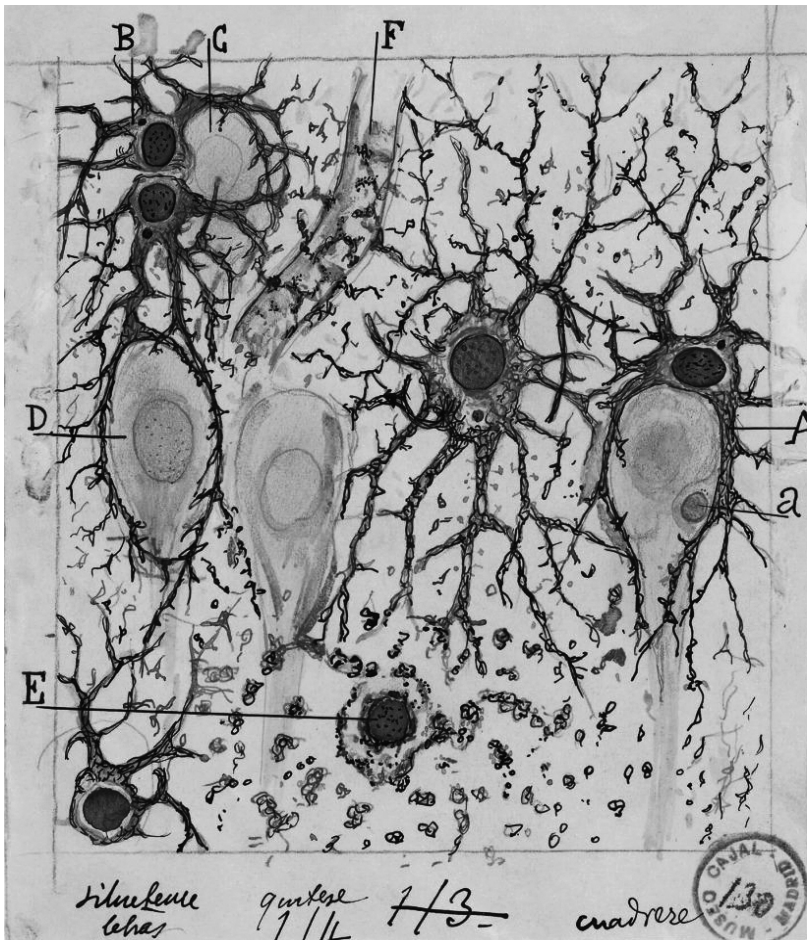
Barcelona, peña del café Pelayo. Afincado en la ciudad condal, donde ha ganado una oposición a cátedra, asiste cada día después de comer al "oreo espiritual" de la tertulia, junto a diversos catedráticos de ciencias, como Odón de Buen, periodistas y políticos. Allí, como en un recreo mental, se distrae de sus trabajos de investigación y docencia y, de hecho, es la única distracción que se permite y que continuará cuando se trasladé a Madrid, porque "debo mucho a la tertulia". Era el lugar en el que gozaba de "ratos inolvidables de esparcimiento y buen humor, en ella aprendí muchas cosas y me corregí de algunos defectos. Allí elevamos un poco el espíritu, exponiendo y discutiendo con calor las doctrinas de filósofos antiguos y modernos, desde Platón y Epicuro a Schopenhauer, Herbert Spencer; y rendimos veneración y entusiasmo hacia el evolucionismo y sus pontífices, Darwin y Haeckel, y abominamos de la soberbia satánica de Nietzsche" .

Pero, fuera de esos tres cuartos de hora de cada día, en Barcelona trabajó con tremendo ahínco y publicó sus trabajos más revolucionarios hasta la fecha. Según decía él mismo, 1888 fue su "año cumbre", en el que, para poder publicar todos sus trabajos, hubo de fundar una revista propia. En estos trabajos pudo demostrar con claridad que el cerebro estaba formado por células que eran entidades independientes, que no formaban una única red, tal y como aseguraba la teoría dominante en la época. Sus placas Petri lo mostraban con claridad y así lo publicó también en revistas alemanas.

Escena 8

Berlín, octubre de 1889, reunión de la Sociedad Anatómica Alemana. En vista del poco caso que hacían a sus descubrimientos, a los que "no concedían beligerancia", Cajal decidió ir a enseñárselos en persona. Tras las conferencias de la mañana, la tarde se dedicaba a enseñar cada uno sus preparaciones en un laboratorio preparado para ello. Y allí estaba Cajal, al pie de su microscopio, con todas sus placas

CORTESÍA INSTITUTO CAJAL–CSIC



Escenas 9 y 10. Dibujo de Cajal de los astrocitos del hipocampo del cerebro humano. El investigador, que nunca dejó el arte de lado a lo largo de su vida, recibió distinciones de instituciones como la Royal Society de Londres, la Universidad de Cambridge o la Universidad Central de Madrid. Abajo, trabajando en su laboratorio a principios del siglo XX.

AGA

listas, pero sin visitas; nadie la hacía caso. Finalmente, decide agarrar del brazo a Kölliker, "el venerable patriarca de la histología alemana", y conminarle a mirar sus preparaciones. Tal y como relató en un discurso uno de los asistentes, "la demostración fue tan decisiva que, algunos meses más tarde, el histólogo de Würzburgo [Kölliker] confirmaba todos los hechos afirmados por Cajal."

Además de mostrar sus preparaciones, Cajal explicó a sus colegas sus métodos de tinción, que eran parte muy importante de su éxito. Cajal, gracias sus conocimientos de química fotográfica, había conseguido mejorar las técnicas para el teñido de las células, una operación imprescindible para poder verlas en el microscopio. Y siempre se preció de contar con pelos y señales las técnicas que utilizaba para conseguir sus preparados. Además, Cajal, en vez de utilizar animales adultos para sus investigaciones, había utilizado embriones, algo que nadie había hecho hasta entonces, lo que le permitió ver lo que hasta entonces nadie había visto.

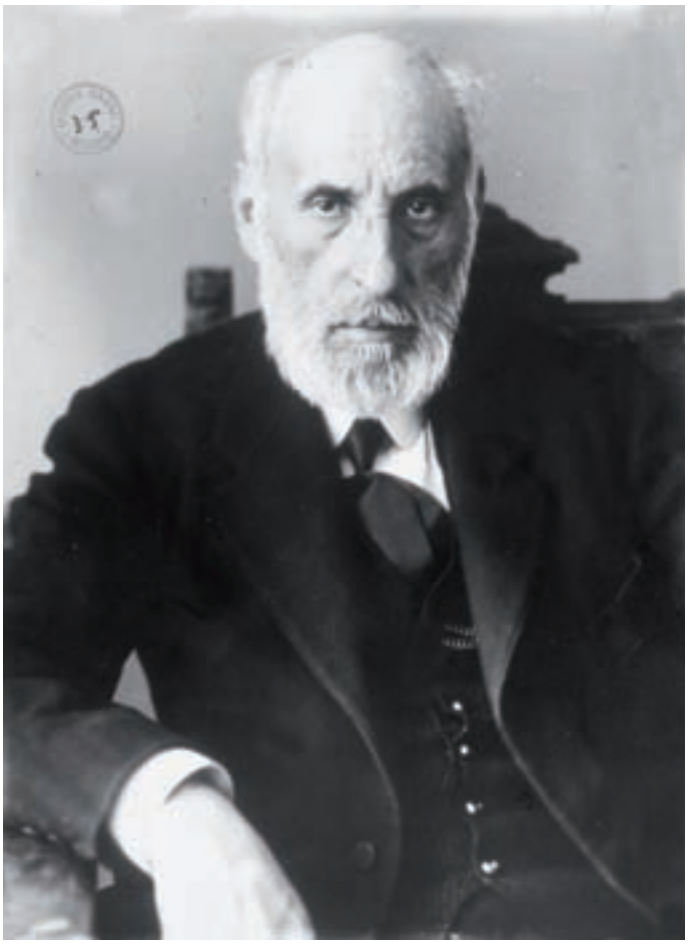
Escena 9

Salón de actos de la Royal Society, Londres, primavera de 1894. Cajal ha sido invitado a dar la Croonian Lecture, la conferencia anual a la que la institución decana de la ciencia mundial invita a un científico extranjero y le convierte en *fellow*. Cajal, cuyos trabajos ya son de dominio público, ha alcanzado estos años una gran notoriedad en el mundo neurológico internacional, una fama que es mayor fuera de España que en nuestro país. Además, en el mismo viaje se le concederá el doctorado *honoris causa* en la Universidad de Cambridge. En abril de 1892 había obtenido, tras una muy reñida oposición en la que se enemistó con Simarro, que optaba a la misma plaza, una cátedra en la Universidad Central (hoy Complutense), en Madrid, "el sueño de todo catedrático".

Escena 10

Verano de 1900, Cajal reposa en su "modesto cigarral", una pequeña casa de recreo que se ha comprado en Cuatro Caminos, muy cerca de Madrid. Allí recibe un telegrama anunciándole que el Congreso Mundial de Medicina, que se celebra cada tres años, ha decidido otorgarle el Premio Moscú, dotado con 6.000 francos, un dineral en la época y, sobre todo, uno de los premios más prestigiosos del mundo por entonces. El premio le convirtió en héroe popular y las campañas de prensa "tanto más agradecidas cuanto más espontáneas, crearon cierto estado de opinión, recogido diligente y generosamente por el

Escenas 11 y 12. Diploma del Premio Nobel en Fisiología y Medicina que le fue otorgado en 1906. Derecha, ya retirado, Cajal vive en la calle de Alfonso XII de Madrid, donde, entre visitas vespertinas al Café del Prado, se dedica a escribir piezas literarias, reflexiones y memorias, antes de su muerte, en 1934, que le convirtió en una leyenda de la ciencia.



Gobierno de don Francisco Silvela, quien propuso al Consejo de Ministros, después de consulta deferente con el interesado, la fundación de un Instituto de Investigaciones Científicas, donde el humilde laureado de París pudiera desarrollar ampliamente y sin cortapisas económicas sus trabajos biológicos". Así nació el Laboratorio de Investigaciones Biológicas, el lugar donde florecería la escuela de Cajal.

Escena 11

"Cierto día de octubre de 1906, sorprendióme, casi de noche, cierto lacónico telegrama expedido en Estocolmo y redactado en alemán". El Premio Nobel, la sexta vez que se concedía, le era otorgado, *ex aequo* con Camilo Golgi —"uno de los talentos más endiosados y engreídos que he conocido"—, inventor de la técnica de tinción, pero, aún entonces, defensor a ultranza de la teoría reticular, según la cual las neuronas eran una entelequia y el cerebro una única red. Además de los honores, le correspondieron "23.000 duros". Un año antes, en 1905, había recibido la Medalla Helmholtz, otorgada por la Real Academia de Ciencias de Berlín y considerada la más alta distinción científica alemana. La notable cantidad de premios y distinciones varias le obligaba al "temido programa de agasajos", pero le ayudaron a afianzar su laboratorio, más adelante convertido en Instituto Cajal. Con el dinero del Nobel pudo comprarse una casa en Alfonso XII, junto al Retiro y muy cerca de ese futuro Instituto.

Escena 12

Café del Prado, Madrid, 1932. Cajal, jubilado el 1 de mayo de 1922, justo al cumplir los 70 años, va allí un rato cada tarde. Trata de vivir alejado de todos, aquejado de una notable sordera, malhumorado con el mundo. Viudo desde 1930, el hueco que había dejado Silveria Fañanas, su esposa, era difícil de llenar. Casi todo el tiempo lo pasaba en "la cueva", el despacho que había montado en la sala más fresca de la casa de Alfonso XII. Siempre escribiendo, además de sus numerosísimos trabajos científicos, publica sus memorias, un libro de relatos, *Cuentos de vacaciones,* un ensayo sobre fotografía y libros de aforismos. Muy poco antes de morir ve la luz *El mundo visto a los 80 años,* las reflexiones de "un arterioesclerótico", un reflejo de su visión del mundo; un mundo que ya se había acabado. Murió el 17 de octubre de 1934 y su entierro, un acontecimiento nacional, supuso la muerte del héroe y el nacimiento del mito.

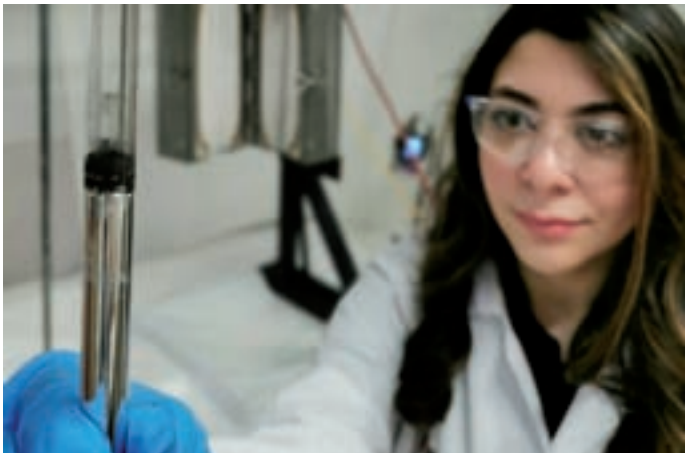
Reacción en cadena

Texto: **Pedro Mateos |**

NOTICIAS

Almacenar el CO_2 en estado sólido

La descarbonización de la industria pesada y la reducción de las emisiones de dióxido de carbono constituye uno de los retos fundamentales de este siglo en materia medioambiental. En esta dirección, científicos de la Universidad RMIT de Melbourne (Australia) han desarrollado una nueva y eficiente manera de capturar el dióxido de carbono y convertirlo en carbono sólido, conservándolo en este estado permanentemente. El proceso, económicamente viable y de fácil integración en la industria, emplea métodos químicos: una masa de metal líquido se calienta a unos 100-120 ºC, donde se inyectan las moléculas de dióxido de carbono, que se dividen para formar láminas de carbono sólido en una reacción que se consuma al instante. "Idealmente, el carbono originado podría ser después transformado en productos de valor añadido, contribuyendo a la economía circular", detalla Torben Daeneke, colíder del proyecto.

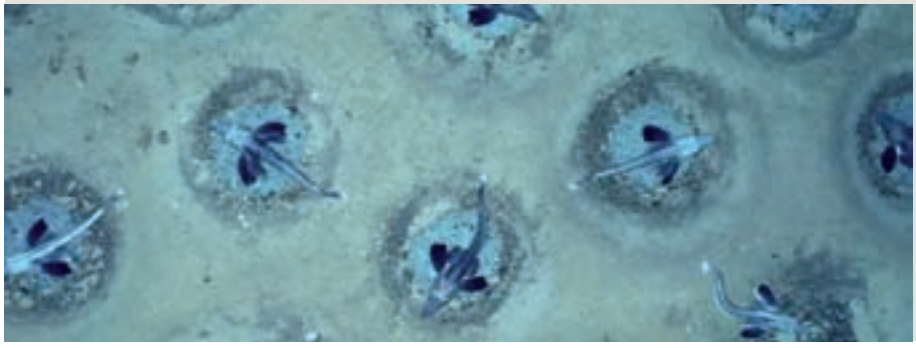


Por otro lado, al no necesitar temperaturas muy altas para su ejecución, sería factible alimentar el proceso a partir de energías renovables. "Esperamos que esta pueda ser una herramienta significativa para avanzar hacia la descarbonización, con el fin de ayudar a las industrias y los gobiernos a cumplir con sus compromisos climáticos y llevarnos radicalmente a emisiones netas cercanas a cero", dice Daeneke. Con la mira puesta en impulsar esta tecnología, este equipo seguirá investigando potenciales aplicaciones para el carbono convertido, incluyendo la elaboración de otros materiales.

La incubadora de peces más grande del mundo

Aunque parezca explorado en todos sus recovecos, nuestro planeta no deja de brindarnos oportunidades para descubrir infinitud de lugares, especies y fenómenos desconocidos. Un equipo de científicos ha encontrado, en el sur del antártico mar de Weddell, la cría de peces más grande del mundo conocida hasta la fecha, a través de un sistema de cámaras remolcadas que lograron fotografiar y filmar las escenas con precisión.

La densidad y el tamaño de la zona de cría en el momento de la observación apuntan a que en torno a 60 millones de dracos, conocidos como peces-hielo, habitan en este lugar, un hallazgo "totalmente fascinante", según Autun Purser, biólogo del Instituto Alfred Wegener y principal autor del estudio. "Cubrimos un área de 45.000 metros cuadrados y contamos más de 16.000 nidos de peces en las imágenes. Literalmente, no había final a la vista", dice.



Este descubrimiento es también una señal de alarma sobre la urgencia de establecer zonas marinas protegidas en la Antártida. "Debemos asegurarnos de que ninguna actividad pesquera o investigación invasiva tiene lugar allí en el futuro", opina Antje Boetius, profesor y biólogo de aguas profundas, acerca de un área que hasta ahora ha estado resguardada por su lejanía y las duras condiciones del mar helado que la rodea.

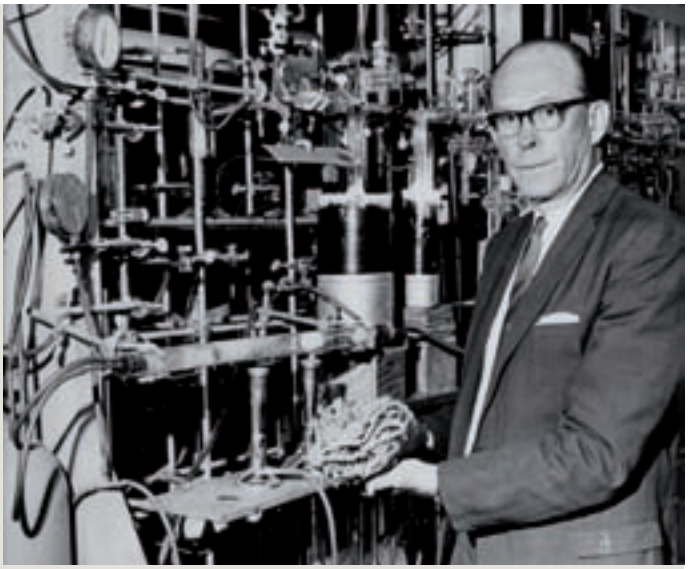
Ventanas inteligentes antipatógenos

Las bacterias se encuentran por todas partes: en cada mota de polvo, brizna de hierba y gota de agua viven infinidad de microorganismos que, aun indetectables a simple vista, tienen efectos de relevancia sobre el entorno y nuestra salud. Una investigación realizada por la Universidad de Columbia Británica (UCB) ha ideado unas ventanas inteligentes que dejan pasar la luz solar consiguiendo una casi completa desinfección de superficies en 24 horas, mientras logra bloquear la dañina luz ultravioleta. "Sabemos que la luz del sol mata a bacterias y a hongos", explica Sepideh Pakpour, profesor en la Escuela de Ingeniería de la UCB, "pero la pregunta es, ¿hay forma de aprovechar estos beneficios en edificios mientras nos protegemos del brillo y la radiación de los rayos UVA?". El experimento ha tenido lugar en un laboratorio ocupado por ventanas inteligentes y otras tradicionales, y se han sometido a observación diferentes cepas de bacterias peligrosas, como la *E. coli* o la *Klebsiella pneumoniae*.

"Nuestros resultados demuestran la utilidad de las ventanas inteligentes para la desinfección, y tienen implicaciones para reducir la transmisión de enfermedades infecciosas en los laboratorios, los servicios de atención sanitaria y los edificios en los que vivimos y trabajamos", anuncia Pakpour. Amplios estudios ya han mostrado que los hongos y las bacterias patógenas pueden permanecer en superficies inanimadas durante períodos de tiempo prolongados, contribuyendo así a la transmisión de enfermedades. Tras el incremento de la resistencia antimicrobiana, los antibióticos actuales no parecen una solución total para blindar a la humanidad contra estos organismos. "Estrategias medioambientales pasivas como esta pueden contribuir a mantener bajo el riesgo de infecciones", concluye Pakpour.

EFEMÉRIDES ▶ HACE 75 AÑOS...

Nace la datación mediante carbono-14



El descubrimiento del carbono-14, también llamado radiocarbono, por parte de Martin David Kamen y Samuel Ruben a principios de la década de los 40, conformó un gran paso adelante dentro de la química, pues permitió posteriores investigaciones en varios ámbitos científicos que sacudirían los cimientos de la historiografía. En 1947, el químico norteamericano Willard Frank Libby (1908-1980) se percató de que este isótopo radiactivo inestable del carbono, existente en la atmósfera como resultado del bombardeo del nitrógeno-14 por los rayos cósmicos que inciden en nuestro planeta, debía estar presente en todos los tejidos orgánicos; y, en efecto, primero es absorbido por las plantas durante la fotosíntesis y después es traspasado al resto de los seres vivos.

El estudio del carbono-14 permite determinar, de un modo bastante aproximado, la edad de aquellos materiales biológicos que lo contienen. Dado que su periodo de semidesintegración es de unos 5.730 años, permite remontarse hasta unos 60.000 años de antigüedad. Gracias a este método, se han logrado llevar a cabo importantes hallazgos arqueológicos, como el esclarecimiento del momento en que se produjo en Europa la transición de neandertales a *Homo sapiens* o del emplazamiento histórico de las diferentes etapas del Pleistoceno. Libby fue galardonado en 1960 con el premio Nobel de Química por un sistema que, aún hoy, constituye el instrumento más preciso del que dispone la ciencia para datar el pasado reciente.

EN RED

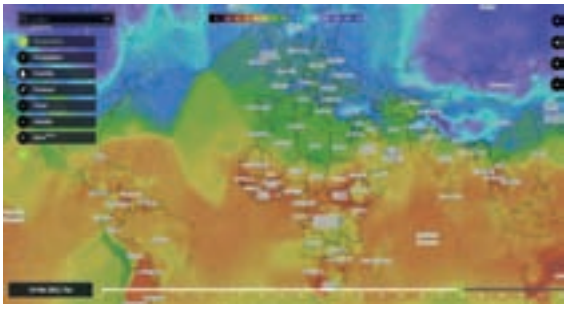
Red de dinosaurios

Antes de que el impacto de un meteorito acabase con la vida del 70 % de las especies que en aquel momento poblaban el planeta que nos acoge, hubo un largo periodo, unos 180 millones de años desde finales del período Triásico hasta la conclusión del Cretácico, en los que reinaron, sin oposición alguna, los dinosaurios. En The Dinosaur Database podemos encontrar valiosa

información referente a estos grandes reptiles; se trata de una base de datos que ofrece recreaciones visuales de cada especie de dinosaurio y una contextualización geográfica y temporal, así como diversa información sobre su ecosistema de preferencia, su modo de vida y su alimentación. El sistema permite rastrear especies en función de la etapa histórica o elegir un dinosaurio al azar del que aprender. El portal https://dino.lindahall.org/index.shtml muestra, por añadidura, una exposición virtual de las publicaciones originales de las colecciones de la Biblioteca Linda Hall, en Misuri. Nutriéndose de imágenes de fósiles y documentos históricos para ilustrar cada uno de los relatos, presenta muchos de los descubrimientos que han rodeado el estudio acerca de los dinosaurios, comenzando por la narración del hallazgo, en 1824, de una mandíbula de Megalosaurus por el paleontólogo y geólogo inglés William Buckland.

El tiempo en todo el mundo

Las condiciones atmosféricas varían a lo largo de la Tierra y su influencia en el ritmo de vida humano es manifiesto, por lo que constituyen un factor significativo en el estudio de la realidad social que nos rodea. https://map.worldweatheronline.com monitoriza diferentes parámetros meteorológicos en todos los puntos del planeta, mostrando en tiempo real las cifras precisas de temperatura, precipitaciones, humedad, presión, nubosidad, visibilidad y velocidad de los vientos, y ofrece los valores en varias magnitudes para facilitar la comprensión. Este mapa interactivo se ayuda de una interfaz de elevada fluidez que permite observar con facilidad



las diferencias meteorológicas existentes en función de las ubicaciones geográficas, contiene un buscador para poder acceder rápidamente a la información de un lugar concreto y, además, permite ver los datos de cualquier momento del presente día, así como una predicción del tiempo de los siguientes cuatro.

REDES

@FECYT_Ciencia
Perfil de la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología, que se dedica a divulgar sobre diferentes aspectos de la ciencia y la innovación.

Cuarentaytres
Canal principal del divulgador científico José Luis Oltra, donde comparte vídeos cortos que tocan disciplinas como la astronomía, la física y la química.

NASA Earth
Página oficial de la NASA dedicada a la divulgación de noticias científicas vinculadas a la astronomía, la geología y el medio ambiente.

@seo_birdlife
Cuenta oficial de la Sociedad Española de Ornitología, donde comparten asombrosas imágenes y defienden a las aves y los ecosistemas que habitan.

@elfisicobarbudo
Encargado de mostrar conocimeinto sobre física, matemáticas y otros ámbitos científicos.

Astrobitácora
Programa del divulgador científico Álex Riveiro sobre la actualidad de la astronomía.

AGENDA

Memoria

Museu de les Ciències

Ciutat de les Arts y les Ciències (Valencia)

www.cac.es/es/museu-de-les-ciencies/exposiciones/temporales/MEMORIA.html

La memoria se define como la capacidad de recordar, o cómo el conjunto de imágenes del pasado que permanecen en la mente; es ese almacén de datos e impresiones ubicado en el insondable cerebro que atesoramos dentro del cráneo y cuya naturaleza, todavía hoy, no hemos sido capaces de comprender en su totalidad. Esta exposición recorre los entresijos de nuestra mente, a través de diferentes módulos interactivos y soportes audiovisuales, que muestran la condición falible y cambiante que caracteriza a nuestra memoria, la facultad que posee un vínculo más estrecho con nuestra identidad. Además, muestra cómo distintas áreas del cerebro se ocupan de diferentes sistemas de memoria y aborda cuestiones como el olvido, la memoria implícita que se desarrolla de forma inconsciente y aquella que comparten conjuntamente los miembros de una sociedad.

¡Viajeros al tren! Ciencia y técnica sobre raíles

Museo de la Ciencia de Valladolid

Precio: 2 euros

Disponible hasta el 2 de mayo de 2022)

https://www.museocienciavalladolid.es/event/exposicion-viajeros-al-tren-ciencia-y-tecnica-sobre-railes/

Esta exhibición expone una parte de la historia ferroviaria española a través de más de 150 piezas maestras originales, procedentes de la colección Quiroga-Monte, atendiendo a la conexión entre los trenes y la ciencia y la técnica.

La exposición celebra el Año Europeo del Ferrocarril presentando, además, diversos juguetes ferroviarios, entre los que destacan los primeros trenes de arrastre, de madera o locomotoras eléctricas, entre otros objetos, recreaciones y materiales estrechamente vinculados con los cambios sociales y tecnológicos de la época de su fabricación.

Además, la muestra cuenta con paneles explicativos y un simulador de conducción de una locomotora de la serie 252.

LIBROS

El primate que cambió el mundo

Alex Richter-Boix

GeoPlaneta, 2022

400 páginas

19,95 euros

El ser humano ha ejercido una influencia de magnitud inconmensurable en todas las escalas de la naturaleza, en la que ha dejado una huella ya imborrable; ha alterado comunidades vegetales y animales, domesticado especies e incluso perturbado ciclos atmosféricos y ecológicos. El biólogo y apasionado por la divulgación científica Alex Richter-Boix repasa en esta obra, echando la vista 300.000 años atrás, el pasado de este primate que ha moldeado su entorno, a partir de la información que ha ido recopilando sobre él y su impacto. El libro se nutre de disciplinas como la bioética y la genética, la ecología y la evolución, ofreciendo un relato que entrelaza originales historias y anécdotas, bañadas en rigor científico, acerca de la tortuosa relación que han mantenido hasta hoy humano y medio desde el instante en que comenzamos a poblar el inabarcable mundo que nos rodea.

Panorama

Cambios en la presidencia del Consejo de Seguridad Nuclear

El Consejo de Ministros del pasado 4 de marzo aceptó la dimisión del presidente del Consejo de Seguridad Nuclear, Josep Maria Serena i Sender, que la había solicitado por motivos personales y familiares. El consejero Javier Dies pasó a desempeñar la presidencia del organismo regulador de forma temporal, al ser el de mayor antigüedad entre los consejeros. El Gobierno, a propuesta de la ministra para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Teresa Ribera, declaró como nuevo presidente al director de Seguridad Nuclear del organismo, Juan Carlos Lentijo.

Nacido en Barcelona, Josep María Serena es doctor Ingeniero Industrial y diplomado en Ingeniería y Gestión Ambiental. Fue nombrado presidente del Consejo el 29 de marzo de 2019. En su despedida de la plantilla del Consejo, Serena subrayó que se marcha con el convencimiento de que "el CSN es una gran familia que debe seguir creciendo, modernizándose y, sobre todo, profundizando en su camino de independencia y rigor para regular adecuadamente la seguridad nuclear y la protección radiológica en nuestro país". Y añadió que "para mí ha sido todo un honor y un orgullo poder contribuir a ello". Tanto la ministra como el Pleno del CSN agradecieron la labor y dedicación durante estos tres años del presidente saliente y destacaron su impulso para mejorar la eficiencia del organismo.

Javier Dies (Lérida, 1962) es doctor ingeniero industrial y catedrático de Ingeniería Nuclear de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), desde donde ha coordinado el grupo de investigación de ingeniería nuclear, y fue vicepresidente de la European Nuclear Education Network. Fue nombrado consejero del CSN en octubre de 2015 y el Gobierno aprobó, en la misma reunión, renovar su cargo de consejero por un nuevo periodo de seis años.

La propuesta aprobada de Juan Carlos Lentijo como nuevo presidente quedó pendiente del trámite previsto en la Ley 15/1980, de creación del Consejo de Seguridad Nuclear, por el que debe comparecer ante la Comisión correspondiente del Congreso de los Diputados, que informará sobre la capacidad e idoneidad del candidato. Su mandato se extenderá hasta abril de 2025. Nacido en Pedrosa del Rey (Valladolid) en 1959, es ingeniero industrial por la Universidad Politécnica de Madrid. En 1984 se incorporó al CSN, donde ocupó, entre otros puestos, el de director técnico de Protección Radiológica. En 2012 se incorporó al Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), en Viena, primero como director de la División de Instalaciones del Ciclo y Tecnología de Residuos y, desde octubre de 2015, como director general adjunto y responsable de su Departamento de Seguridad Nuclear. Se reincorporó al CSN en junio de 2021 y en el momento de su nombramiento era director técnico de Seguridad Nuclear.

Reunión extraordinaria del plenario de ENSREG por Ucrania

El Grupo Europeo de Reguladores de Seguridad Nuclear (ENSREG, por sus siglas en inglés) mantuvo el 27 de febrero una reunión extraordinaria por videoconferencia, que contó con la participación del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), para analizar la seguridad de las instalaciones nucleares ucranianas en vista de la agresión militar de la Federación Rusa contra Ucrania. Por parte del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) asistieron el consejero Javier Dies y el entonces director técnico de Seguridad Nuclear, Juan Carlos Lentijo. El OIEA compartió la información y los datos relevantes disponibles en ese momento sobre la seguridad nuclear en la zona y los miembros de ENSREG intercambiaron opiniones sobre los riesgos existentes en Chernóbil respecto a la seguridad nuclear, su contención o la gestión del combustible gastado. Asimismo, se analizaron otros riesgos de seguridad en las demás instalaciones nucleares del país. Finalmente, los miembros de ENSREG acordaron la adopción de una declaración donde se recuerda que el Consejo Europeo condena con la mayor firmeza posible la agresión militar injustificada de la Federación Rusa contra Ucrania.

La secretaria de Estado de Energía visita el Consejo de Seguridad Nuclear

Sara Aagesen, secretaria de Estado de Energía, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD), visitó el pasado 16 de diciembre el Consejo de Seguridad Nuclear, donde fue recibida por todos los miembros del Pleno, el secretario general y el director técnico de Seguridad Nuclear. El presidente del CSN, Josep Maria Serena i Sender, subrayó la importancia de este tipo de encuentros, "que sirven para fortalecer y estrechar los vínculos colaborativos entre todas las instituciones del Estado".

La visita se completó con un recorrido por la Sala de Emergencias (SALEM), el centro de operaciones en vigilancia permanente del Consejo de Seguridad Nuclear, aprovechando que se estaba realizando un simulacro, donde miembros de las dos direcciones técnicas, de Seguridad Nuclear y de Protección Radiológica, explicaron a la secretaria de Estado el desarrollo de estos simulacros y la organización y función de esta sala de emergencias. Durante este recorrido, la secretaria de Estado de Energía recorrió las distintas salas donde estaban desarrollando su trabajo los grupos que la componen la SALEM: la Dirección de la Emergencia, el Grupo Radiológico, el Grupo de Análisis Operativo, el Grupo de Información y Comunicación y el Grupo de Coordinación.

V Jornada de I+D en Protección Radiológica organizada por la SEPR y la PEPRI

El Consejo de Seguridad Nuclear albergó el pasado 30 de noviembre una nueva edición de la Jornada de I+D en Protección Radiológica que la Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR) y la Plataforma Nacional de I+D en Protección Radiológica (PEPRI) organizan conjuntamente cada año. Participaron Josep María Serena i Sender, la consejera del CSN y presidenta de PEPRI, Elvira Romera, y su homóloga en la SEPR, María Teresa Macías. Esta jornada técnica, que pudo seguirse tanto de manera presencial (con un número limitado de asistentes) como telemáticamente, es un importante punto de encuentro para los sectores involucrados en la protección radiológica. Serena i Sender destacó la estrecha y prolífica colaboración que ha existido siempre entre el organismo regulador y ambas entidades para impulsar la base científica y tecnológica de la protección radiológica, tanto dentro como fuera de España.

El presidente puso de manifiesto la importancia de la innovación, asegurando que "vivimos tiempos cambiantes en los que la innovación ya no es una opción, es un imperativo para cualquier organización que quiera mirar tanto al presente como al futuro". El acto tuvo como principal objetivo la puesta en común del análisis de las áreas temáticas de I+D en el campo de la protección radiológica que ha sido desarrollado por cinco de los diez grupos de trabajo de PEPRI, así como las propuestas de posibles proyectos a desarrollar.

Jornada anual de I+D en seguridad nuclear y protección radiológica

El presidente del Consejo de Seguridad Nuclear, acompañado de los consejeros Javier Dies, Elvira Romera y Francisco Castejón, inauguró el 17 de diciembre la jornada anual de I+D. Bajo el título "Una actividad estratégica para el CSN", esta sesión, que fue retransmitida también en directo, tuvo por objeto repasar las principales actividades del organismo en I+D e intercambiar conocimientos que permitan impulsar mejoras continuas en materia de seguridad nuclear y protección

radiológica. En su intervención, el presidente recalcó que "la innovación es un imperativo para cualquier organización que quiera mirar tanto al presente como al futuro" porque "en un entorno cambiante, debe ser la piedra angular de empresas e instituciones". También recordó que el propósito de esta jornada "es el de fomentar la colaboración entre organismos e instituciones, y, en consecuencia, elevar nuestra capacidad creativa e innovadora para mejorar nuestras respuestas a los nuevos retos que se nos plantean". A continuación, se presentaron los avances de los proyectos de investigación que el CSN apoya para lograr una mayor eficiencia y eficacia el campo de la seguridad nuclear y la protección radiológica.

El Comité de Dirección de HERCA aprueba su nueva estrategia para el periodo 2021-2026

Una delegación del Consejo de Seguridad Nuclear, encabezada por la consejera Pilar Lucio, participó en la 28.ª reunión del Comité de Dirección de la Asociación Europea de Autoridades Competentes en Protección Radiológica (HERCA) que se celebró en Praga durante los días 1 y 2 de diciembre. Durante la reunión se presentaron y discutieron, entre otros, los siguientes asuntos: el documento estratégico de HERCA para los próximos 5 años; la presentación del análisis preliminar del cuestionario sobre exposición ocupacional y registro de dosis, realizada por la red de notificación, registro y archivo a largo plazo de datos dosimétricos (ODCRR); y la aprobación del nuevo mandato y propuestas de acción para el periodo 2022-2025 del grupo de aplicaciones médicas (WGMA). Además, participaron y compartieron experiencias otras organizaciones internacionales relevantes en lo relativo a la protección radiológica, que habitualmente participan en calidad de observadores dentro de la Asociación, como el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y la Comisión Europea.

El Sistema Integrado de Supervisión de Centrales Nucleares durante el tercer trimestre de 2021

El Pleno del CSN fue informado, el día 27 de enero, de los resultados del tercer trimestre de 2021 del Sistema Integrado de Supervisión de Centrales (SISC), un organismo que tiene como objetivo la optimización y sistematización de la supervisión de las centrales nucleares mediante el uso de una metodología integral que permite concentrar los esfuerzos en las áreas de mayor riesgo potencial, incrementar la transparencia del proceso de supervisión y dar respuesta a los objetivos estratégicos del CSN.

Entre julio y septiembre de 2021 se llevaron a cabo 21 inspecciones a las centrales nucleares en operación y se categorizaron 31 hallazgos de inspección, que han sido clasificados como verdes, es decir, de "muy baja importancia para la seguridad". Todos los reactores en operación se encuentran en la columna de "respuesta del titular" de la matriz de acción del SISC, salvo la unidad II de Almaraz, que se sitúa en la columna de "respuesta reguladora" debido al hallazgo de inspección blanco categorizado en el trimestre anterior. Dicha columna implica que el titular de la instalación debe realizar un análisis para determinar la causa raíz y los factores contribuyentes de las deficiencias detectadas, así como la inclusión en su programa de acciones correctoras de las actuaciones necesarias para resolverlas.

Principales acuerdos del Pleno

Informe preceptivo correspondiente al Plan Especial de Protección Civil

El Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear, en su reunión del 24 de noviembre del 2021, aprobó el informe preceptivo correspondiente al Plan Especial de Protección Civil ante el riesgo radiológico en Castilla La Mancha (RADIOCAM). La evaluación efectuada por el CSN ha identificado que el plan propuesto es aceptable para la situación de la central nuclear José Cabrera (Guadalajara), actualmente en desmantelamiento.

Guía de seguridad GS-01.04

En la misma reunión del 24 de noviembre, el Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear aprobó el borrador final de la guía de seguridad GS-01.04, revisión 1, sobre "Control y vigilancia radiológica de efluentes radiactivos líquidos y gaseosos emitidos por centrales nucleares". El propósito de esta guía es establecer una serie de recomendaciones para el diseño y ejecución de los programas de vigilancia y control de las descargas de efluentes radiactivos líquidos y gaseosos de las centrales nucleares. Al igual que con otras publicaciones de normativa del CSN este borrador final es el resultado del proceso de información y participación pública al que se somete la normativa propuesta por el CSN.

Propuestas de cambio de planes de emergencia interior

El Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear, reunido el 1 de diciembre de 2021, informó favorablemente las solicitudes presentadas por los titulares de las centrales nucleares Almaraz, Cofrentes, Trillo y Vandellós II sobre propuestas de cambio del Plan de Emergencia Interior, con el objetivo de adaptarlo al contenido de la Instrucción de seguridad IS-44 del CSN, sobre requisitos de planificación, preparación y respuesta ante emergencias de las instalaciones nucleares, y para incorporar las mejoras resultantes del documento elaborado por el CSN, la Guardia Civil y los titulares de las centrales nucleares indicadas sobre las funciones de la Unidad de respuesta de la Guardia Civil en caso de activación del Plan de Emergencia Interior en dichas centrales nucleares.

Convenio con la Generalitat de Catalunya sobre cesión de datos

También en su reunión del 1 de diciembre de 2021, el Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear aprobó la firma de un convenio entre el CSN y la Generalitat de Catalunya sobre la cesión de datos de la Red Automática de Vigilancia Radiológica instalada por la Generalitat, cuyo objeto es el establecimiento de las bases técnico-administrativas entre ambas instituciones para alcanzar los objetivos establecidos. El acuerdo tendrá una vigencia de cuatro años, y el Consejo de Seguridad Nuclear realizará una aportación económica de 358.080,28 € en total.

Programa piloto de formación a distancia en Ascó y Vandellós II

El Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), en su reunión del 15 de diciembre de 2021, realizada de forma presencial, informó favorablemente la solicitud presentada por el titular de las centrales nucleares Ascó y Vandellós II sobre la exención temporal del cumplimiento de cuatro apartados de la Instrucción del CSN sobre licencias de personal de operación de centrales nucleares (IS-11), para poner en marcha un programa de formación no presencial para personal con licencia de operación.

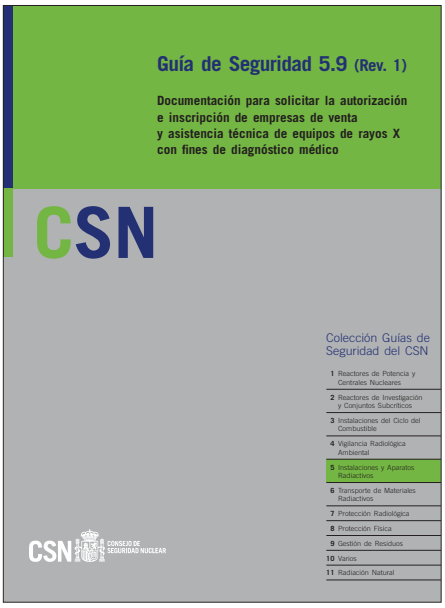
Propuestas de cambio de las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento

También en su reunión del 15 de diciembre, el Pleno informó favorablemente las propuestas de cambio de las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento (ETF) relativas a las pruebas de filtros en los sistemas de ventilación, calefacción y aire acondicionado —denominados HVAC— que han sido presentadas por los titulares de las centrales nucleares Almaraz (Cáceres), Cofrentes (Valencia) y Vandellós II (Tarragona). El objetivo de dichas propuestas de cambio es introducir la posibilidad de efectuar las pruebas de eficiencia de los filtros HEPA mediante el gas Poly Alpha Olefin (PAO) —u otros gases en el caso de los filtros de carbón activo— como alternativa al que actualmente está en uso, tras su prohibición por motivos sanitarios.

Unidad de radioterapia en el Hospital Recoletas Nuestra Señora de la Misericordia

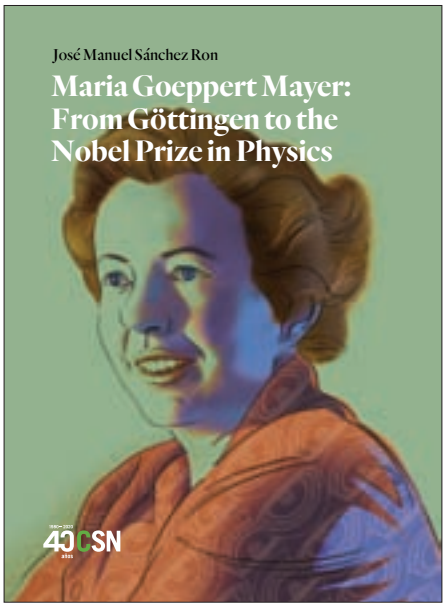
En su reunión del 21 de diciembre, el Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear aprobó la puesta en marcha de la instalación radiactiva de radioterapia del Hospital Recoletas Nuestra Señora de la Misericordia, de Segovia, tras la realización de la visita de inspección y aprobación del informe técnico de seguridad y protección radiológica de dicha solicitud. Por tanto, tal y como señalan los artículos 39 y 40 del Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas, dicha instalación ya podrá entrar en funcionamiento.

Publicaciones



Guía de Seguridad 5.9 (Rev. 1)
Documentación para solicitar la autorización e inscripción de empresas de venta y asistencia técnica de equipos de rayos X con fines de diagnóstico médico

Programa técnico
1997-2022
25 años del foro



Maria Goeppert Mayer: From Göttingen to the Nobel Prize in Physics
José Manuel Sánchez Ron

aLFa Revista de seguridad nuclear y protección radiológica

Boletín de suscripción

Institución/Empresa

Nombre

Dirección

CP Localidad Provincia

Tel. Fax Correo electrónico

Fecha Firma

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

También puedes suscribirte a la edición digital de la revista ALFA a través de este formulario online: http://run.gob.es/xdjxkd

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

Abstracts

REPORTS

6 The science of stretching time

Scientists are looking to understand the keys to ageing, in order to delay its onset and development on the basis of methods such as the elimination of cell molecular damage, the addition of longevity genes in DNA or cellular reprogramming. The aim is not only to grow old more slowly but also, and above all else, to do so in good health.

12 Strange elements that dominate the world

The electronic devices that we use so profusely contain chemical elements known as 'rare earths'. They feature unique properties that make them highly valued resources, although their mining causes environmental damage. Furthermore, China produces most of these elements, thereby controlling the market.

31 The internet subsoil

The greater part of the internet is not made up of the better known websites and search engines, but rather what is known as the Deep Web, the set of millions of invisible sites that hide in the web and offer privacy and anonymity to their users, as well as a corner known as the Dark Web, where practically undetectable illegal activities are carried out.

37 The fuel of discord

Within the framework of the ecological transition that mankind needs to combat the change caused by fossil fuels, hydrogen is being proposed as a sustainable option to power vehicles, since it does not emit contaminants and provides a high degree of energy efficiency in comparison to plug-in electrical vehicles.

50 The foundations of the Earth are melting

Permafrost is the layer of soil that has remained at temperatures below zero uninterruptedly for thousands of years. Now, experts are warning that it is warming up at a dramatic rate as a result of climate change, which might lead to an ecological catastrophe because of the millions of tons of carbon that are trapped within it.

56 Santiago Ramón y Cajal, the father of neuroscience

Through his research into the nervous system, this most outstanding Spanish scientist in history opened up an entirely new discipline, neuroscience. His impressive career culminated in his winning the Nobel Prize for Physiology and Medicine in 1906, and he was also behind the creation of a brilliant school of neurology in Spain.

RADIOGRAPHY

24 Nuclear fusion and the ITER

We are coming up to the final years of construction of the largest and most powerful nuclear fusion reactor built to date, the aim of which is to demonstrate the commercial feasibility of this type of energy during the second half of this century.

INTERVIEW

26 María José Blanco, director of the Canary Islands Geophysical Centre

"The contribution made by science has been fundamentally important in reducing the social and economic impact of the eruption."

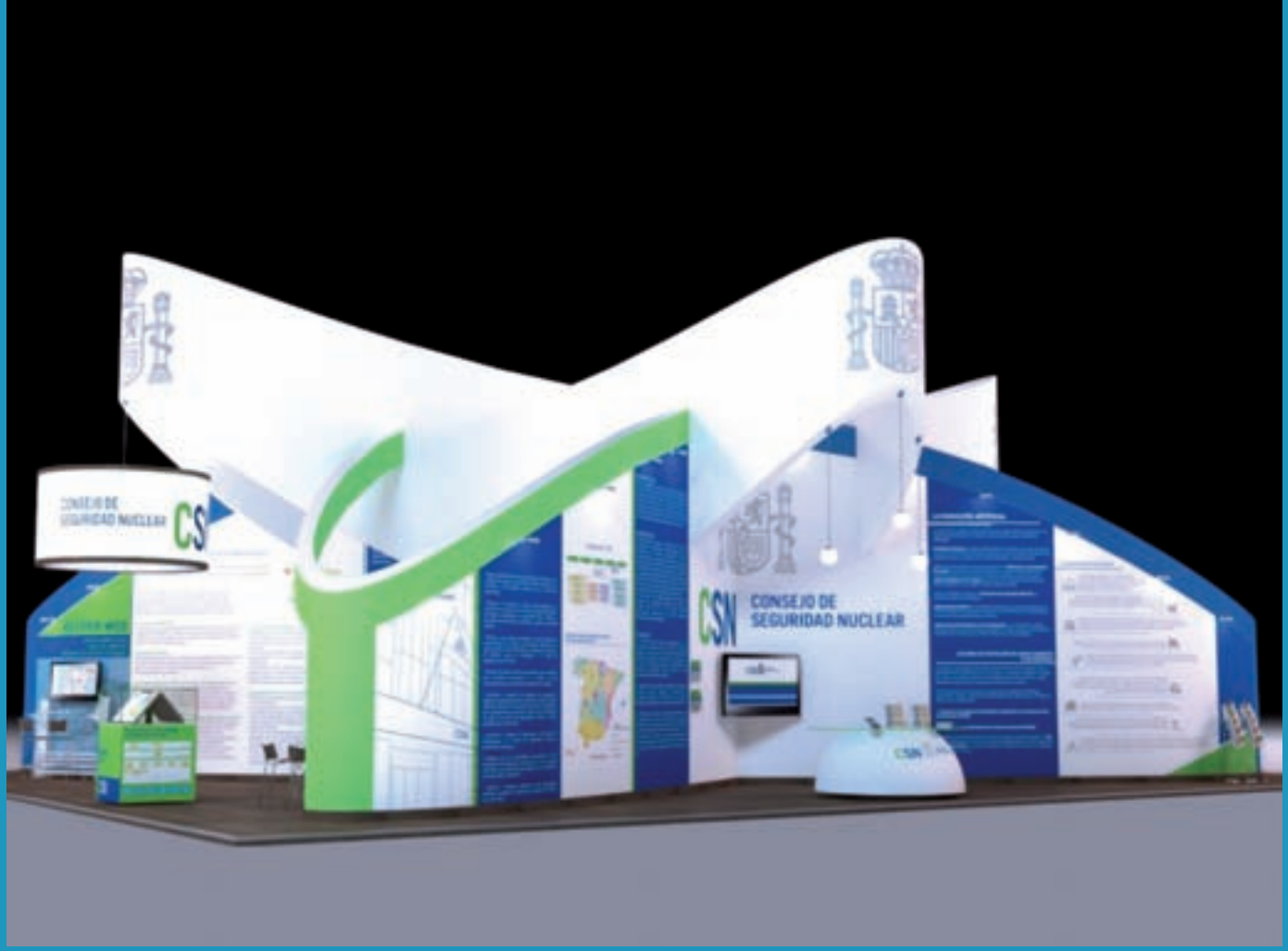
TECHNICAL ARTICLES

17 Decommissioning prior to decommissioning

The aim of the decommissioning of nuclear facilities is to release the sites for other uses free from unacceptable radiological effects for the workers, the general public or the environment. Certain considerations regarding previous experiences are presented here and an analysis is made of their regulatory effect, as well as the harmonisation of these processes in Europe and the publication of Safety Instruction IS-45.

43 Results of the development of generic PSA models at the CSN

The supervision of nuclear power plant operations must be performed from an independent position; in this respect the development of an in-house Probabilistic Safety Assessment (PSA) model improves our understanding of plant risks. The CSN, in collaboration with the Polytechnic University of Madrid (UPM), has developed its standardised model (SPAR-CSN) for a generic 3-loop PWR-WEC design plant.



De congresos sin salir de casa

El Consejo de Seguridad Nuclear dispone de un expositor virtual para ferias y congresos online. El diseño de la planta tiene forma de átomo, con el logotipo del CSN en el núcleo, y cuatro salas diferenciadas.

Este expositor virtual permite la realización de una visita interactiva en formato de imágenes 360° en 3D y es navegable desde diferentes dispositivos (ordenadores, tabletas y teléfonos móviles). En él se puede encontrar digitalizada toda la información que habitualmente muestra el CSN en los congresos, sustituyendo las imágenes de lonetas por infografías en las paredes de las salas virtuales. Además, contiene nuevos videos de carácter pedagógico que pueden ser visualizados dentro del mismo.

Acompáñenos en https://standvirtual.csn.es/

CSN CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR