CSN

# ALFA

Revista de seguridad nuclear y protección radiológica
Consejo de Seguridad Nuclear
Número 53
Marzo 2023



# Ha nacido una estrella

## Estados Unidos consigue la primera ignición de fusión nuclear controlada

**El uso de las radiaciones en la conservación del patrimonio cultural e histórico**

**Rosa Montero, escritora y periodista: "No escribes una novela para enseñar nada, escribes para aprender"**

**Nuevo Reglamento sobre protección de la salud ante los riesgos de las radiaciones ionizantes**




DEPOSITPHOTOS

# El CSN en tu bolsillo

## Toda la información del Consejo de Seguridad Nuclear, actualizada en tus dispositivos móviles

El Consejo ha rediseñado su aplicación para teléfonos inteligentes y tabletas, tanto en sistema iOS como Android. Dispone de un menú de navegación que permite el acceso a numerosa información, como el estado operativo de las centrales nucleares, los sucesos notificados, los datos ambientales de la Red de Estaciones Automáticas (REA) y de las estaciones autonómicas, publicaciones, noticias...
Descárgala ya en App Store o en Google Play.

iOS

Android

CSN CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

# Un paso más hacia la fusión nuclear

La fusión nuclear es probablemente el mayor reto científico y tecnológico de la historia. Conseguir domeñar el mecanismo que dota a las estrellas de su capacidad para generar energía es el sueño de una humanidad siempre amenazada por los problemas de abastecimiento energético, su escasez, su elevado coste y sus impactos ambientales. Poder disponer de una nueva fuente abundante, barata y limpia, como promete la fusión nuclear, es un empeño iniciado hace ya seis o siete décadas y cuyo desenlace tardará aún otras cuatro o cinco en llegar. Pero en diciembre se alcanzó un nuevo hito en este camino con la primera ignición de la historia en el Lawrence Livermore National Laboratory de Estados Unidos. A este éxito y su significado dedicamos el reportaje principal de este número de *Alfa*.

Otro avance de la tecnología que puede revolucionar el mundo es el llamado internet de las cosas, que consiste en dotar a todo tipo de instrumentos y productos, e incluso documentos, de un chip que le permita conectarse a internet e interactuar con otros aparatos y sistemas. Una de sus aplicaciones en el ámbito radiológico será, por ejemplo, el seguimiento completo y continuo de todas las fuentes radiactivas utilizadas en industria, laboratorios, hospitales, etcétera.

Junto a este tema, abordamos también las aplicaciones y cualidades de un material que, pese a su amplia presencia en nuestra vida cotidiana, pasa casi desapercibido: el vidrio, que fue objeto de atención durante 2022, elegido por la Unesco como Año Internacional del Vidrio.

Otros tres reportajes se acercan más a la actividad propia del Consejo de Seguridad Nuclear. Uno está dedicado a la renovación del Centro de Información, que este año cumple un cuarto de siglo y que ha acogido ya a más de 155.000 visitantes. Otro detalla el contenido del Plan de Igualdad del CSN, aprobado en enero de 2023 y que pretende avanzar decisivamente en la auténtica equiparación entre las mujeres y los hombres que forman parte del Consejo. Por último, abordamos el uso de técnicas nucleares y radiológicas para el estudio y protección de restos arqueológicos y otras manifestaciones culturales. El OIEA mantiene un programa en esta línea para aportar conocimientos técnicos, equipamiento y personal a los países que lo demanden, como Malta y Albania, en casos citados en el reportaje.

> *El Centro de Información del Consejo, que este año cumple un cuarto de siglo, ha acogido ya a más de 155.000 visitantes*

La periodista y escritora Rosa Montero, una de cuyas obras, *La ridícula idea de no volver a verte,* recoge en buena parte la vida de Marie Curie a través de su Diario, protagoniza la *Entrevista* de este número.

Por la parte técnica, la *Radiografía* está dedicada a explicar el trabajo de los inspectores residentes en las centrales nucleares, como un elemento esencial de la función reguladora del Consejo.

El primero de los artículos está dedicado al análisis de los sucesos ocurridos en el transporte de material radiactivo entre los años 2000 y 2020. Sus conclusiones permitirán mejorar los procesos para reducir el número y gravedad de estos eventos.

El segundo artículo técnico está dedicado al nuevo Reglamento sobre Protección de la Salud ante las Radiaciones Ionizantes, aprobado el pasado mes de diciembre mediante el Real Decreto 1029/2022 y que supone la trasposición de la Directiva 2013/59 de Euratom, El artículo detalla las novedades que introduce en ese ámbito.

alfa

**Revista de seguridad nuclear y protección radiológica**
Editada por el CSN
**Número 53**
**Marzo 2023**

MIXTO
Papel procedente de fuentes responsables
FSC® C125445

**Comité Editorial**
Juan Carlos Lentijo Lentijo
Pilar Lucio Carrasco
Francisco Castejón Magaña
Elvira Romera Gutiérrez
Teresa Vázquez Mateos
Javier Zarzuela Jiménez
Ignacio Martín Granados
J. Pedro Marfil Medina
Ignacio Fernández Bayo

**Comité de Redacción**
J. Pedro Marfil Medina
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, IStock.

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

**Fotografía de portada**
Reacción de fusión producida en NIF en 2016. LLNL/NIF

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

DAMIEN JEMISON



### 6 Ha nacido una estrella

En diciembre de 2022, el National Ignition Laboratory estadounidense consiguió la primera reacción de fusión nuclear con ganancia de energía. Este hito histórico se llevó a cabo mediante el sistema de confinamiento inercial, utilizando 192 rayos láser que impactaron sobre un blanco de deuterio y tritio y generaron las condiciones necesarias para la fusión de sus núcleos.

DEPOSITPHOTOS



### 13 El Centro de Información del Consejo se renueva

En 1998, el CSN puso en marcha el Centro de Información, un espacio destinado a ofrecer a la sociedad una información veraz sobre los usos de las radiaciones ionizantes, sus riesgos y la labor del Consejo para asegurar la protección de las personas y el medio ambiente. Cerca de su 25 aniversario, ha llevado a cabo una reforma para actualizar sus contenidos y mejorar sus instalaciones.

### 31 El amigo invisible

Naciones Unidas declaró 2022 como el Año Internacional del Vidrio, con la intención de recordarnos las cualidades de este material, cuya transparencia lo hace casi imperceptible pero que se utiliza con profusión en todo tipo de ámbitos e incluso en aplicaciones de las tecnologías más avanzadas, como la fibra óptica que nos conecta a internet.

DEPOSITPHOTOS



### 38 Objetos que navegan por la red

Se denomina internet de las cosas a la dotación de todo tipo de objetos de mecanismos de interconexión digital, lo que permite su control a distancia y la comunicación directa entre diferentes sistemas. Sus aplicaciones crecen de manera exponencial en ámbitos tan variados como la agricultura, el vehículo autónomo, la domótica y la gestión energética.

### 52 El Consejo de Seguridad Nuclear aprueba su primer Plan de Igualdad

En marzo de 2022 España estableció la obligatoriedad de empresas e instituciones con más de 50 trabajadores de disponer de un plan para garantizar la igualdad de trato y oportunidades entre hombres y mujeres. El CSN aprobó el suyo a principios de este año, aunque los primeros esbozos se hicieron en el año 2010.

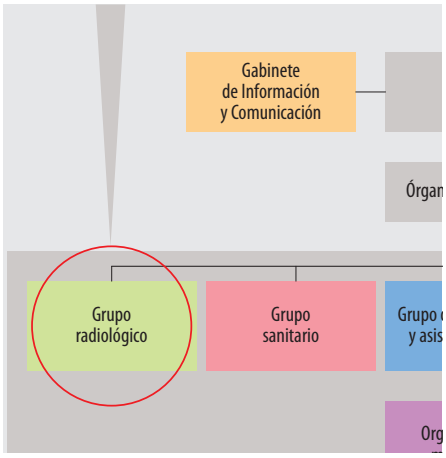
### 57 Rayos que alumbran la historia

Las técnicas radiactivas y nucleares se emplean con frecuencia creciente en tareas de restauración del patrimonio cultural y artístico. El Organismo Internacional de Energía Atómica promueve estas actividades y proporciona ayuda material, humana e instrumental para aplicarlas en diferentes países.

## RADIOGRAFÍA

24 **La Inspección Residente del CSN en centrales nucleares**

Una de las figuras más importantes para vigilar el correcto funcionamiento de las centrales nucleares es la del inspector residente, que realiza su trabajo directamente en las propias plantas. Se consideran agentes de la autoridad en el ejercicio de sus funciones y pueden acceder libremente, sin previo aviso, a toda la instalación.




## ENTREVISTA

26 **Rosa Montero, periodista y escritora:**

"No escribes una novela para enseñar nada, escribes para aprender"



JESÚS PERAITA

## ARTÍCULOS TÉCNICOS

17 **Análisis de los sucesos ocurridos en el transporte de materiales radiactivos en España desde 2000 hasta 2020**

El análisis de los sucesos que se producen en el transporte de material radiactivo constituye una herramienta esencial para reducir el riesgo inherente al mismo, pues de ese análisis se pueden extraer un conjunto de lecciones aprendidas y plantear acciones para reducir la probabilidad de ocurrencia de sucesos similares.

44 **Nuevo Reglamento sobre Protección de la Salud ante los Riesgos de las Radiaciones Ionizantes**

El pasado diciembre se aprobó el Real Decreto 1029/2022, que traspone al derecho español buena parte de la Directiva 2013/59/Euratom, con las Normas de Seguridad Básicas para la Protección contra los Peligros derivados de la Exposición a Radiaciones Ionizantes. Entre otras cosas, contempla tres tipos de exposición: planificada, de emergencia y existente.



63 **Reacción en cadena**
67 **Panorama**
69 **Acuerdos del Pleno**
70 **Publicaciones**
71 **Abstracts**



Zona de preamplificación del haz láser.

DAMIEN JEMISON

El laboratorio estadounidense NIF consigue la primera ignición de fusión nuclear controlada

# Ha nacido una estrella

La fusión nuclear es el mito energético por excelencia de nuestro tiempo, la promesa de una fuente abundante, barata, segura, limpia y asequible de energía para un mundo cada vez más sediento de ella. Una panacea cuya consecución es tan complicada que los científicos llevan cerca de 70 años intentando, hasta ahora infructuosamente, hacerla realidad. Como el horizonte, a medida que el conocimiento y la tecnología avanzan en pos de su consecución el objetivo parece alejarse al mismo ritmo. Pero el pasado diciembre se produjo un enorme salto adelante; un hito que quizás no acorte los plazos, pero muestra que el empeño es alcanzable y el camino adecuado: por primera vez se consiguió una reacción de fusión nuclear controlada con ganancia de energía; lo que se denomina ignición.

■ Texto: **Ignacio Fernández Bayo** | Periodista de ciencia ■
Fotos: **National Ignition Facility** ■

La estrella más pequeña y fugaz del universo nació en California el 5 de diciembre de 2022. Medía apenas un milímetro de radio y vivió tan solo una ínfima fracción de segundo, pero brilló de forma extraordinaria gracias a una reacción de fusión nuclear, la misma que alimenta a las estrellas del cosmos, provocada por la conjunción de 192 rayos láser, y devolvió con creces la energía que había recibido. La explosión se produjo en el gigantesco laboratorio denominado National Ignition Facility (NIF), una instalación que forma parte del Lawrence Livermore National Laboratory de Estados Unidos, y se trata de la primera ignición controlada de la historia.

La fusión nuclear consiste en la unión de dos núcleos atómicos ligeros para formar un núcleo más pesado. Por ejemplo, deuterio y tritio, dos isótopos del hidrógeno, que se funden para crear un núcleo de helio. En este proceso se desprende una enorme cantidad de energía, muy superior a la que proporciona la fisión nuclear. Desde la década de 1930 se sabe

que este es el mecanismo que se produce en el interior de las estrellas y que genera la energía que recibimos del Sol.

Desde sus inicios los científicos se plantearon aprovechar esta fuente energética cuyo combustible es muy asequible, ya que el deuterio se puede obtener de forma prácticamente inagotable del agua del mar y el tritio es fácil de producir. Pero conseguir vencer la repulsión electrostática que se produce entre los protones de ambos núcleos, dado que tienen carga eléctrica positiva, es tremendamente complicado porque exige unas condiciones de presión y temperatura extremas. La fusión es el mecanismo de la bomba de hidrógeno (o termonuclear), que consigue esas condiciones mediante la explosión de una bomba de fisión nuclear, que actúa como detonador. Pero conseguir la fusión de manera controlada y pacífica es, probablemente, el reto más complicado que se haya planteado la humanidad, que lleva ya cerca de 70 años trabajando en ello.

Las grandes instalaciones construidas para lograr este objetivo han ofrecido resultados esperanzadores. Se han producido reacciones de fusión, pero la energía empleada en provocar la reacción ha sido siempre muy superior a la obtenida. El resultado conseguido por la National Ignition Facility ha logrado por primera vez obtener una ganancia neta y nada menos que del orden del 50 %: la energía que impactó en el cilindro que contiene la bolita de combustible era de 2,05 megajulios, y la que se desprendió fue de 3,15. Estas cifras esconden, sin embargo, una trampa. No tienen en cuenta la energía inicial necesaria para cebar el láser, que es, según Manuel Perlado, presidente del Instituto de Fusión Nuclear de la Universidad Politécnica de Madrid, especialista en confinamiento inercial e investigador invitado de NIF en el pasado, "del orden de 300 megajulios"

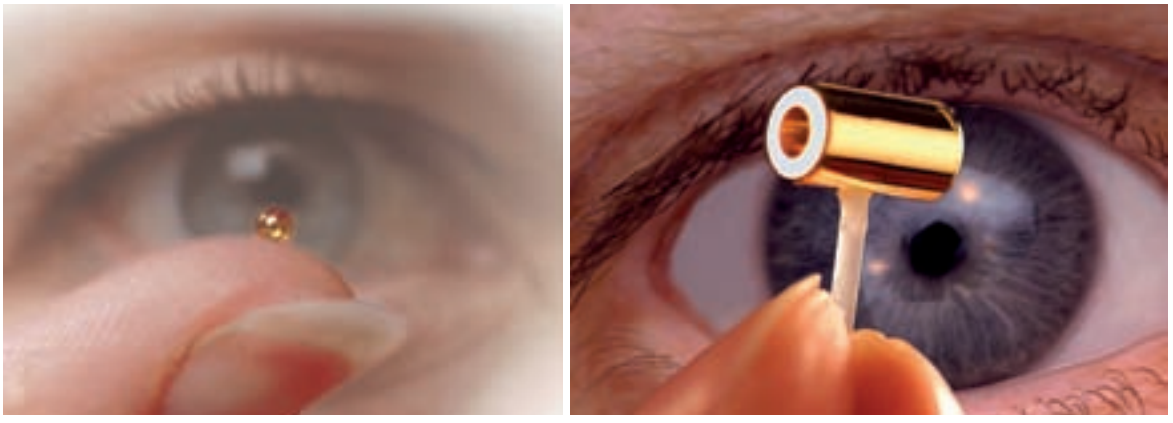
## La fuerza de la luz

La instalación estadounidense es el laboratorio más avanzado del mundo en el ámbito de la fusión nuclear por confinamiento inercial, que utiliza la energía de un potente haz de luz láser para provocar la fusión de los núcleos de deuterio y tritio que forman el combustible. Se trata de un camino muy diferente al de la otra gran opción para conseguir la fusión nuclear, el confinamiento magnético, que es el utilizado en el reactor europeo JET (Oxford, Reino Unido) y el que empleará el futuro reactor internacional ITER, que se está construyendo en Cadarache (Francia).

NIF ocupa una inmensa nave de 200 metros de longitud y 120 de anchura, superficie en la que cabrían casi cuatro campos de fútbol, y tiene la altura de un edificio de 10 plantas. En uno de sus extremos se encuentra la cámara de ignición, una esfera de 10 metros de diámetro hecha de hormigón en cuyo interior se encuentra la minúscula esfera de combustible. El otro elemento clave es el generador de luz láser, de neodimio sólido bombardeado por lámparas de destello que generan fogonazos de luz que excita los átomos de neodimio para producir el rayo láser primigenio. En el momento de su puesta en marcha, en 2010, era el láser más potente del mundo.

Entre ambos elementos se encuentra un laberíntico camino, que va y viene a lo largo de la nave. Un camino por el que circula la luz y que está jalonado por miles de instrumentos ópticos, lentes y espejos, algunos de los cuales van dividiendo el haz láser inicial hasta convertirlo en 192 rayos, mientras que otros amplifican su energía desde apenas unas milmillonésimas de julio del láser madre hasta los más de dos megajulios que impactan en la cápsula del combustible. La energía se multiplica a lo largo de este proceso por más de mil billones de veces. Tras realizar varios viajes a lo largo de la nave, los rayos de luz penetran en la cámara de ignición a través de 192 agujeros practicados en su pared para descargar su energía al unísono.

La bola de combustible es una cápsula hueca de plástico en cuyo interior se encuentra el deuterio y el tritio, en cantidad tan ínfima como un miligramo, que se enfría hasta 4 K para que se solidifique y se distribuya homogéneamente por el interior, adherido al plástico formando una capa de apenas 70 micras. Pero la descarga del láser no se realiza



A la izquierda, la minúscula bola de combustible, a la derecha, el cilindro donde va inserta, o *hohlraum*.

directamente sobre la minúscula bolita sino en el interior de un cilindro metálico (denominado *hohlraum*) que la aloja y que al recibir el impacto genera un intenso fogonazo de rayos X que son los que calientan la cápsula y provocan la reacción. El deuterio y el tritio alcanzan temperaturas del orden de los 100 millones de grados Celsius y se ven impulsados hacia el centro con una presión de miles de millones de atmósferas; generando una implosión brutal, en condiciones que permiten acercar los núcleos atómicos lo suficiente como para que entre en acción la fuerza nuclear fuerte y se fusionen, provocando la explosión final. Desde el disparo inicial del láser apenas ha transcurrido un microsegundo; el proceso de compresión y calentamiento del combustible ha durado 0,2 nanosegundos y el impacto de la radiación generada contra el interior de la cámara unos microsegundos más. El proceso ha terminado y la estrella artificial se ha extinguido.



Un operador comprueba el brazo en cuyo extremo se sitúa el cilindro con la bola de combustible, dentro de la cámara de ignición.

### 12 años de experimentos

Los intentos para conseguir el resultado ahora obtenido se iniciaron en 2010, miles de experimentos que consiguieron provocar la reacción de fusión, pero en cantidades mucho menores que las necesarias para la ignición. Tras el optimismo inicial frustrado por los resultados, se fueron detectando los problemas y buscándoles solución durante la docena

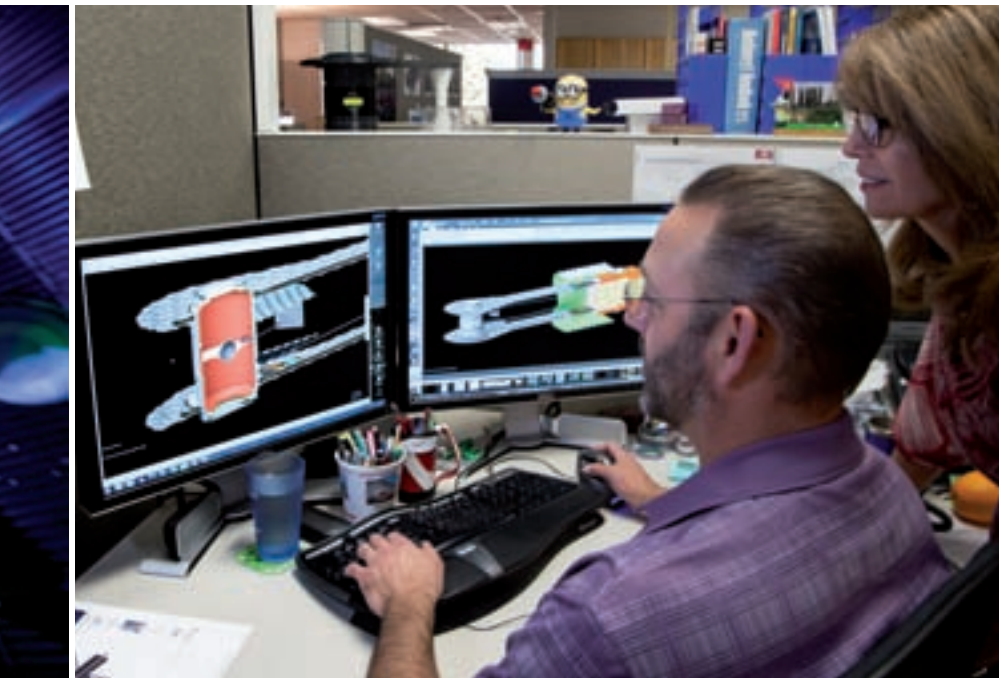
## El camino magnético

Pese al éxito obtenido por NIF, la opinión mayoritaria de los expertos se inclina por la opción del confinamiento magnético. Más allá de las opiniones, los hechos lo confirman: la trayectoria de instalaciones e inversiones realizadas durante décadas se ha centrado en este camino, en el que ha brillado especialmente el reactor europeo JET, situado en Oxford y que sigue ofreciendo resultados esperanzadores. Y especial relevancia tiene el gigantesco reactor internacional ITER que se está construyendo en Cadarache (Francia) y que podría iniciar sus experimentos en 2025. Concebido a mediados de los años 80, en 2004 se decidió el emplazamiento y en 2006 se inició su construcción.

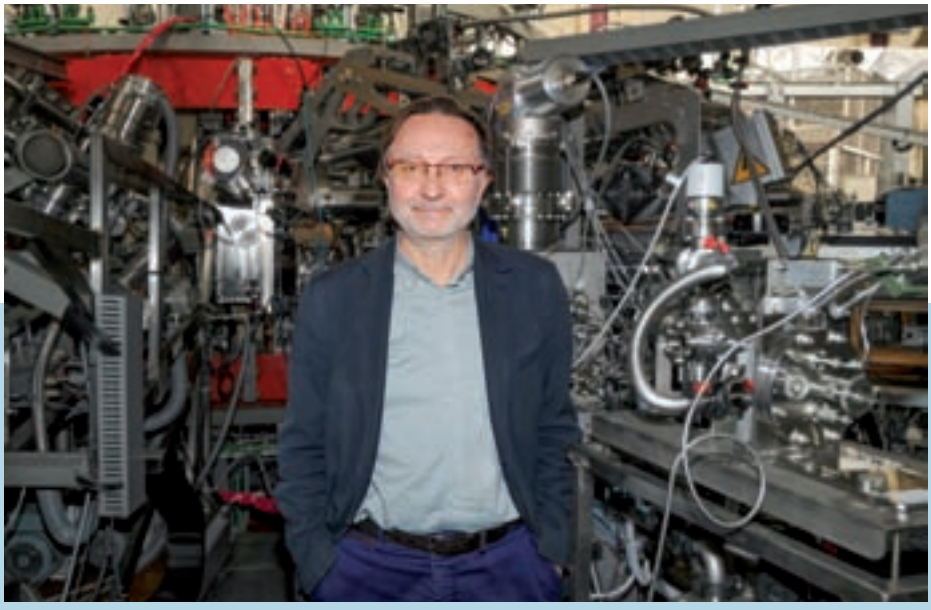
"JET e ITER manejan una ruta de integración de la ciencia y la tecnología muy desarrollada y pensamos que nos llevará a un reactor de fusión nuclear en las próximas décadas. Esa es la gran diferencia con la fusión inercial y es el camino que nos conducirá al objetivo", asegura Carlos Hidalgo, director del Laboratorio Nacional de Fusión.

En el confinamiento magnético no hay un blanco puntual, sino que el combustible, formado por deuterio y tritio, se encuentra en forma de plasma, un estado de la materia en la que los átomos son núcleos desnudos; es decir, están ionizados por haberse desprendido de sus electrones. El combustible circula por el interior de una cámara toroidal (con forma de rosquilla) donde gigantescos electroimanes superconductores generan campos magnéticos capaces de confinar el plasma; es decir, inducir una alta densidad de los núcleos de deuterio y tritio y calentarlos hasta temperaturas de entre 100 y 200 millones de grados para conseguir que se fusionen.

Dentro del ámbito magnético, existen a su vez dos opciones tecnológicas: el tokamak y el stellarator. El primero es el que se utiliza en JET y en ITER, y está, en general, mucho más desarrollado, pero la competencia entre ambos no ha terminado. En un tokamak, la cámara tiene una geometría sencilla, simétrica,



Técnicos estudiando el comportamiento del cilindro que contiene el combustible.



Carlos Hidalgo, director del Laboratorio Nacional de Fusión, del Ciemat, junto al TJ-II.

de rosquilla perfecta, lo que facilita su construcción. El problema es que el plasma se comporta de forma irregular y para mantener la coherencia del flujo y evitar inestabilidades es necesario utilizar una corriente que lo atraviesa. Una consecuencia de esta forma de resolver el problema es que su funcionamiento es pulsado: debe detenerse y reiniciarse cada cierto tiempo.

El stellarator traslada el problema de las inestabilidades a la forma de la cámara. El resultado es una configuración retorcida y complicada, que tardó muchos años en perfeccionarse hasta conseguir su adaptación al caótico comportamiento del plasma, pero sus defensores aseguran que ya está perfectamente resuelto el problema. Su gran ventaja es que puede funcionar de manera ininterrumpida. "Los stellarator han dado un gran salto en los últimos años, gracias, entre otras cosas, al arranque del Wendelstein 7-X alemán, y están muy bien posicionados", dice Hidalgo. Al fin y al cabo, España apostó por un stellarator hace ya 25 años con el reactor de investigación TJ-II, del Ciemat, además de participar en el tokamak ITER.

El siguiente paso deberá ser la construcción de un reactor DEMO, que deberá servir como prototipo de uno ya comercial. Según Hidalgo, "los primeros dispositivos DEMO serán tokamak, pero las futuras plantas de producción rutinaria de electricidad por fusión nuclear muy posiblemente serán stellarator".

de años transcurridos. ¿Qué ha cambiado para conseguirlo ahora? Según explica Manuel Perlado, "la clave del éxito ha sido conseguir una iluminación perfecta del blanco. Han conseguido controlar las inestabilidades que se producen. Es como si intentas comprimir una bola de goma con la mano; según presionas en algunos puntos por otros se aleja. En este caso se ha conseguido una compresión homogénea. Era un problema conocido, cuya descripción y solución no había sido debidamente acotada en los modelos de cálculo que han sido extensamente mejorados, junto al diseño de las cápsula. Además, la energía final del láser se ha incrementado con nuevos elementos ópticos desde 1,7 megajulios hasta los 2,05 de esta ocasión e incluso han hecho disparos de hasta 2,2. También se ha aumentado la masa de combustible, se ha cambiado el material del cilindro y se ha mejorado la manufactura de la cápsula".

Carlos Hidalgo, director del Laboratorio Nacional de Fusión, perteneciente al Ciemat, coincide en la valoración del evento: "El gran logro científico

ha sido comprimir una esfera a altísimas densidades manteniendo la simetría esférica. Implosionarla sin deformarla. Es un éxito sin paliativos. Me descubro ante este resultado". Pese a ello, considera que a la fusión inercial le falta aún muchísimo desarrollo tecnológico para pasar a ser una opción relevante para generar energía. "Sería necesario un sistema que colocara una bolita cada décima de segundo, en su posición exacta y reproducir ese grado de simetría en cada implosión. Esa tecnología está aún muy lejana".

De momento, solo se ha conseguido un evento, entre los cientos de intentos que realizan cada año. "Tienen que repetirlo y rápido —dice Perlado— porque si no tendremos problemas. Y tienen que hacerlo refinando los experimentos para dar el siguiente paso y conseguir algo más de energía, porque, aunque la ganancia haya sido espectacular aún es muy pequeña. Eso se conseguirá aumentando la masa en ignición y la energía del láser. Los modelos indican que si todo es super perfecto se puede quemar entre el 30 y el 40 % de la masa y aún hay margen de mejora".



ALFONSO ESTEBAN

Manuel Perlado, presidente del Instituto de Fusión Nuclear, de la ETSI Industriales de Madrid.

### Nuevos láseres

Pero los avances necesarios para alcanzar la meta del aprovechamiento energético de la fusión inercial van más allá de las posibilidades de NIF en su configuración actual, que es ya, de alguna manera, un instrumento obsoleto. "El láser de neodimio sólido tiene una eficiencia inferior al 1 %. Y el sistema utilizado para estimular los átomos y producir el efecto láser es muy ineficiente, porque son lámparas de destello que emiten luz blanca, que como es sabido tiene un espectro muy amplio y lo que se necesita es excitar electrones en un rango muy estrecho, así que se des-

## De las pruebas termonucleares a la astrofísica

Conseguir la fusión nuclear con vistas a resolver el problema energético de la humanidad del futuro no es el único objetivo de NIF. Si ha recibido el enorme apoyo económico y el respaldo político del Gobierno estadounidense es porque resulta fundamental por sus aplicaciones militares. Los acuerdos que en los años 90 llevaron a la supresión de los ensayos con bombas termonucleares forzaron a realizar ejercicios alternativos en laboratorio. Para ello, Estados Unidos creó el Stockpile Stewardship Program (SSP), en el que participan diferentes laboratorios nacionales, entre ellos NIF, ya que se trata de reproducir las reacciones de fusión nuclear y extrapolar sus resultados para simular en un supercomputador el comportamiento de la bomba.

Más allá de su aplicación militar, NIF permite otro tipo de estudios; por ejemplo, en astrofísica. Al fin y al cabo, si la fusión nuclear es el motor de las estrellas, disponer de un dispositivo que permite estudiar estas reacciones puede resultar muy útil para comprender mejor la mecánica estelar. Además, al emplearse presiones y temperaturas tan gigantescas, se puede estudiar el comportamiento de otros astros, como estrellas de neutrones, agujeros negros, enanas marrones e incluso planetas como Júpiter, en cuyo centro la presión gravitatoria es tan grande que se supone que está formado por hidrógeno sólido metálico.

Y volviendo al ámbito de la fusión nuclear, NIF también permite estudiar el comportamiento de los materiales utilizados en su cámara de ignición, sometido al intenso bombardeo neutrónico que generan las reacciones de fusión. Al fin y al cabo, el problema de los materiales es compartido con los sistemas de confinamiento magnético y es tan importante que ha llevado a la creación de un centro de investigación específico, el IFMIF-DONES, cuya construcción se ha iniciado en 2022 en Granada.





Arriba, vista general de la nave que aloja el NIF. Abajo, sala de control del oscilador maestro, donde se genera el láser.

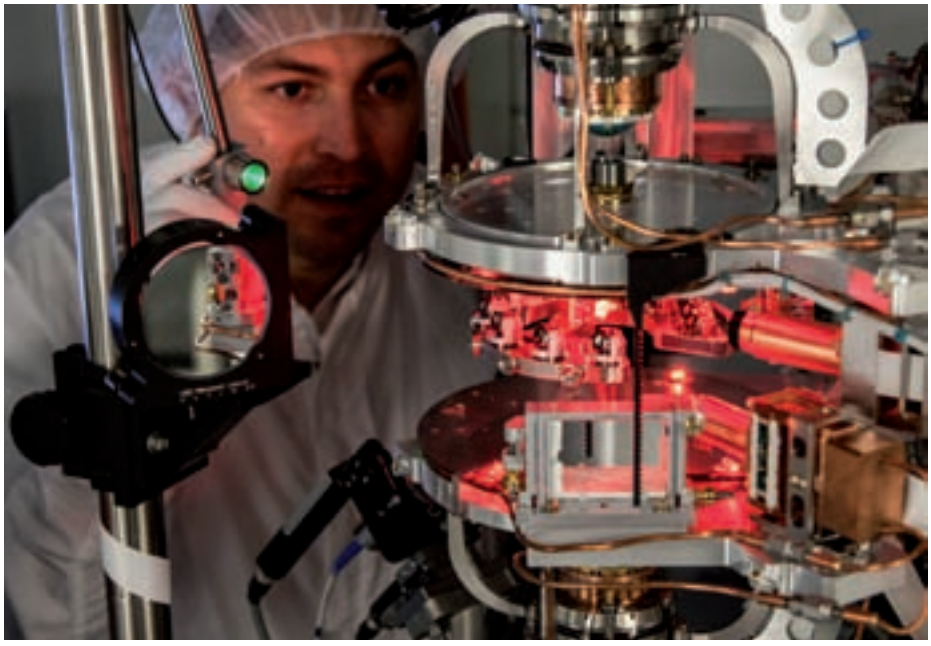
perdicia buena parte de la energía", explica Perlado. Una alternativa que plantea es usar diodos semiconductores. "Livermore tiene un láser de ese tipo, el Mercury, con eficiencias del 15 al 20 %, y además es capaz de repetir el pulso cinco veces por segundo. El problema es que tiene una energía muy baja. En Europa tenemos ya láseres repetitivos de alta eficacia disparando en nanosegundos, en las instalaciones de la Extreme Light Infraestructure, en la República Checa, y también en Francia y en Reino Unido, aunque, de nuevo, de baja energía", añade.

Otra opción, dice Perlado, "es utilizar láseres de excímeros, con difluoruro de kriptón o de argón, que emiten en el ultravioleta y de los que hay ya varios. Los más señeros son los del Naval Research Laboratory, cerca de Washington, como el Nike o el Electra, que tiene una eficiencia del 15 al 20 % pero aún de baja energía". Y también existen empresas privadas en Estados Unidos trabajando en este campo, como Xcimer Company, que están desarrollando un láser que, aseguran, podrá alcanzar decenas de megajulios.

Según Perlado, para la obtención comercial y efectiva de la energía de fusión inercial las ideas de los esquemas de ignición y ganancia son distintas a las empleadas en NIF. En lugar de iluminar el *hohlraum,* el láser impactará directamente en la bola de combustible. Es lo que se llama iluminación directa, y dentro de ese esquema aparecen opciones como la ignición por choque, que se investiga en Europa, o la denominada ignición rápida, que persigue Japón, que consiste en usar dos rayos láser, uno para comprimir y otro para calentar el combustible. "El primer láser es de algunos nanosegundos y cuando está en el último nanosegundo de compresión lanzan el segundo, que es el que calienta el interior del combustible". Hay aún más opciones, como la que propone la empresa Focused Energy, que utiliza partículas cargadas, protones esencialmente, generados por láseres ultracortos y que producen una iluminación rápida del blanco.

La cuestión no es solo conseguir mejorar la eficiencia y la energía obtenida, sino desarrollar, como plantea Carlos Hidalgo, un sistema que permita una producción regular y continua de energía. Perlado coincide y señala que "se trata de conseguir que el láser y la cápsula estén perfectamente sincronizados; que lo que se ha conseguido en condiciones





Arriba, la perfecta limpieza de los elementos ópticos es esencial. Abajo, comprobando la alineación de los elementos ópticos.

estáticas se haga en condiciones dinámicas. Pero ya se investiga en eso desde hace tiempo. El Instituto de Ingeniería del Láser de Japón, junto con el grupo Hamamatsu, y también General Atomics en Estados Unidos, tienen ya sistemas a pequeña escala que disparan el láser a intervalos de un segundo e impactan en las cápsulas de manera repetitiva; lo hacen a pequeña escala y en distancias muy cortas, pero consiguen una buena sincronización". Y apunta que otro problema es disponer de las cápsulas, criogenizadas y colocadas con precisión en el *hohlraum,* o cilindro, preparadas y fabricadas a la velocidad requerida, "y eso no es cosa trivial. Pero también aquí se investiga y hay incluso ya algunas patentes. General Atomic, por ejemplo, que es la empresa que suministra blancos a los laboratorios nacionales, está metida en el tema".

Todas las investigaciones para ir solucionando los problemas planteados deberían dirigirse hacia la puesta en marcha de un sistema demostrativo, capaz de combinar todas estas opciones tecnológicas de manera que consiga generar energía eléctrica. A diferencia de los sistemas de confinamiento magnético, donde está prevista la construcción de un reactor DEMO, "en inercial no hay casi nada hecho", reconoce Perlado, pero añade que hace un año el Gobierno estadounidense comenzó a agrupar a sus laboratorios, universidades y empresas privadas y a financiar proyectos que considere excelentes, en una primera fase a 18 meses, prorrogables hasta cinco años, con una dotación de varias decenas de millones de dólares.

Por su parte, Europa a través de una iniciativa académica de varios países europeos, entre los que está España, está confeccionando un mapa de necesidades y una hoja de ruta para las autoridades, recuperando la idea del proyecto HiPER de fusión inercial, que se mantuvo vigente dentro del programa europeo ESFRI desde 2006 a 2014, año en que se canceló por la ausencia de resultados en los experimentos de NIF. Quizás con el éxito alcanzado ahora en ese mismo laboratorio estadounidense se pueda volver a plantear. Pero será siempre a un horizonte de 40 o 50 años. Un plazo que difícilmente alcanzará Manuel Perlado: "Yo imagino una sociedad en el año 2080 en la que mi hija pueda ver y disfrutar de esta fuente energética, junto con las renovables", aunque, siempre optimista, añade que "quizás la colaboración público-privada puede darnos alguna sorpresa antes".

VANESSA LORENZO



# El Centro de Información del CSN se renueva ante su 25 aniversario

La actividad reguladora del Consejo de Seguridad Nuclear sobre los ámbitos nuclear y radiológico, tan imbricados en el tejido social, exige un esfuerzo adicional de trasladar a la sociedad sus actuaciones, como estipula la propia Ley de Creación del organismo. Dada la complejidad científica y tecnológica de los temas de su competencia, no basta para cumplir este cometido con dar cuenta puntual de las acciones desarrolladas, sino que es necesaria una intensa actividad divulgativa que permita a los ciudadanos entender, someramente al menos, el mundo de las radiaciones. El núcleo de esa tarea de formación y divulgación es el Centro de Información, un espacio de carácter museístico e interactivo que abre sus puertas diariamente y ha recibido ya en total a más de 155.000 personas. Tras la renovación de algunos de sus módulos, llevada a cabo en el verano de 2022, se dispone a cumplir su primer cuarto de siglo de actividad el próximo septiembre.

■ Texto: **Juan Quinto** | periodista ■

Me ha gustado mucho la visita y he aprendido y disfrutado mucho. Especialmente los temas médicos, que me conciernen un poco" dice una de las participantes en la primera visita de hoy, 25 de noviembre, al Centro de Información del Consejo de Seguridad Nuclear. Es un grupo de mayores pertenecientes a una asociación cultural llamada EnseñArte Madrid. Según Ana Belén Fuentes, historiadora del arte y responsable de la visita, "organizamos una actividad semanal con el grupo, rutas guiadas, excursiones y visitas a museos y exposiciones, pero cuan-

do se trata de un tema diferente, como en este caso, les resulta especialmente atractivo. Han venido casi todos". Y aunque reconoce que se trata de cuestiones complicadas, que les quedan distantes "porque no somos científicos", destaca que "la persona que nos ha hecho el recorrido se ha adaptado muy bien a nuestro entendimiento y ha resultado muy comprensible e interesante".

En el ámbito donde se sentían mejor informados de manera previa es el de los usos de las radiaciones en medicina. Quien más quien menos ha tenido que pasar alguna vez por pruebas de radiodiagnóstico por imagen y, en algunos casos, por radioterapia. Es también el tema que ha suscitado más preguntas, sobre todo para saber los riesgos que conllevan estas técnicas. No obstante, según otro visitante, "lo que más me ha llamado la atención es saber que, aunque no seamos conscientes de ello, estamos rodeados de radiactividad" y otra añade "a mí me ha sorprendido la cantidad de aplicaciones que tienen las radiaciones".

El Centro de Información cumple así con el cometido para el que fue creado: informar a la sociedad de las radiaciones ionizantes y de la física nuclear, sus aplicaciones, sus riesgos y el papel del Consejo en el control de su utilización de manera segura para las personas y el medio ambiente. Y lo hace apostando por despertar el interés y la curiosidad, con medios propios de los centros divulgativos al uso, con paneles, pantallas digitales, juegos, módulos interactivos, vídeos, maquetas y profusión de imágenes. Las visitas son guiadas, atendidas alternativamente por Ana Sevilla del Pozo, Reyes Sol Pedraja y Almudena García Díaz, el equipo que se ocupa de que el Centro esté siempre a punto para llevar a cabo su cometido y encargado de atender a los visitantes.

Hacia mediodía arranca la segunda visita de la mañana, un grupo de alumnos de segundo de Bachillerato del itinerario de Ciencias del Colegio Litterator, de Aranjuez. Las visitas escolares son el grueso de la actividad del Centro de Información. Son estudiantes de tercero y cuarto de la ESO, primero y segundo de Bachiller y ciclos formativos, especialmente de radiodiagnóstico, medicina nuclear y medioambiente, en grupos que no deben exceder de 35 alumnos más dos profesores o profesoras. En esta ocasión al ser de los más mayores y del itinerario especifico de Ciencias, ponen especial atención en las explicaciones, aunque no hacen muchas preguntas.

Sara, la profesora de Química del Litterator, repite visita. "Vinimos hace tres años, justo antes de la pandemia, también con los chicos de segundo de Bachillerato, y me pareció que las explicaciones eran superclaras y que el contenido estaba muy relacionado con lo que damos en el temario. Los chicos salieron encantados y yo tenía ganas de volver, porque estos últimos dos años no hemos podido, claro". Le acompaña Sofía, la profesora de Física, que insiste en esa utilidad: "intentamos relacionar lo que aquí ven con lo que damos en clase. La visita les permite ver en la práctica lo que aprenden de forma teórica en el aula. Y tenían muchas ganas de venir".

Y todos los visitantes, estudiantes o personas de otros colectivos, reciben a la salida una bolsa con material divulgativo. Los adultos, un librito sobre la radiación natural, otro sobre medicina y radiaciones, un folleto sobre el estudio epidemiológico, un ejemplar de la revista Alfa y un cuaderno con un bolígrafo. Los estudiantes se llevan un póster sobre el átomo, que contiene una tabla de isótopos, un folleto para descargarse la App de realidad aumentada *CSN Quiz,* un librito divulgativo sobre las radiaciones en la vida diaria, y una alfombrilla para el ratón con la tabla periódica.

## Cuatro ámbitos

El Centro de Información está situado a un costado del edificio del CSN y tiene su propia entrada separada de la general del resto del organismo. Ocupa un espacio expositivo de unos 350 metros



VANESSA LORENZO

Un grupo de visitantes observando la cámara de niebla.

cuadrados, con una treintena de módulos que se distribuyen en cuatro ámbitos, dedicados sucesivamente a la radiación natural, la radiación artificial y sus utilidades, los riesgos y servidumbres de la radiactividad y el trabajo del Consejo de Seguridad Nuclear.

El recorrido se inicia con la historia del descubrimiento e investigación de la radiactividad y sus principales protagonistas, con quienes el visitante puede hacerse una fotografía. Se explica de manera sencilla el átomo, los diferentes tipos de radiación, el espectro electromagnético y la radiación natural procedente de la corteza terrestre o de la atmósfera y las condiciones geográficas en las que dicha radiación tiene mayor riesgo, como las zonas graníticas que emiten radón. El visitante puede hacerse un test de radiación natural para determinar su grado de riesgo. El módulo que más atención suscita es la cámara de niebla, donde se visualizan las partículas cargadas que están presentes a nuestro alrededor sin que las percibamos.

Para pasar al segundo ámbito se atraviesa el túnel, emblema distintivo del Centro de Información, cuyas paredes muestran imágenes de las múltiples aplicaciones que los humanos han desarrollado para aprovechar las propiedades de las radiaciones. Entramos en el ámbito de las radiaciones artificiales y sus múltiples aplicaciones: conservar alimentos, esterilizar, control de llenado de líquidos, detección de fallos en estructuras, control de plagas, datación de restos... todo ello explicado de forma amena y comprensible. El mayor espacio se dedica, claro, a las dos grandes aplicaciones: la medicina, tanto en sus diferentes técnicas de diagnóstico como en las de terapia, y la generación de energía, donde se explica el funcionamiento de una central nuclear y todo el ciclo de combustible.

La tercera parte está dedicada a los riesgos que conlleva el uso de las técnicas nucleares y radiactivas. Se explican los diferentes tipos de residuos nucleares y la forma en que se controlan y almacenan para evitar que produzcan daños a las personas y al medio ambiente. Se puede observar la gestión de los de baja y media actividad en El Cabril, los almacenes temporales individuales donde se guarda el combustible gastado y se avanza cómo será el futuro almacén geológico profundo. También se tratan los accidentes y se explica la escala INES (Escala Internacional de Sucesos Nucleares, por sus siglas en inglés).

Conocer los riesgos es una perfecta introducción para mostrar la labor encomendada al Consejo de Seguridad Nuclear y la forma en que la lleva a cabo. Se explica la estructura de la organización, los medios dispuestos para proteger a las personas y al medio am-




ARTURO FERNÁNDEZ

El equipo que gestiona el Centro de Información, desde la izquierda: Reyes Sol, Almudena García, Enrique Marabotto y Ana Sevilla.

## Una visita desde la butaca

Con la aparición de la pandemia y el consiguiente confinamiento y paralización de numerosas actividades, el Centro de Información del CSN cerró sus puertas y se suspendieron las visitas concertadas. Pero se decidió seguir ofreciendo la oportunidad de conocerlo y descubrir sus contenidos mediante una visita virtual guiada, lo más parecida a una visita presencial, con explicaciones detalladas por parte de Reyes, Ana y Almudena. El vídeo dura 25 minutos y se recorren los cuatro ámbitos y todos sus módulos. También se puede ver cada módulo por separado en el canal de YouTube del CSN. Además, hay disponible otra visita virtual que permite moverse por el centro y escuchar explicaciones de una voz en off y textos escritos.

Se puede acceder a ambas opciones desde aquí: https://www.csn.es/visita-virtual

O mediante este código QR

biente, los criterios básicos con que deben operar las instalaciones, la vigilancia permanente de la red Revira, la Organización de Respuesta ante Emergencias y la estructura de la Sala de Emergencias (SALEM). Un juego interactivo permite a los visitantes recorrer virtualmente la sala y conocer la actividad de los cuatro grupos que la componen y la zona de dirección. La visita concluye con un vídeo en la sala de proyecciones, que varía según las características de los visitantes.

## La renovación

Aunque el Centro de Información ha tenido ya cambios y mejoras a lo largo de los años, en 2022 ha acometido una renovación importante. Según explica Enrique Marabotto, responsable del Centro, "se ha incluido el tratamiento y reparación de todo el mobiliario, la sustitución de la iluminación por otra de bajo consumo, la renovación informática, la actualización de contenidos, con algunos nuevos y mayor presencia de medios interactivos, así como la producción de un nuevo vídeo divulgativo con contenido y lenguaje más moderno e inclusivo"

Entre los cambios más importantes destaca una pantalla gigante táctil sobre la energía nuclear, con gran cantidad de posibilidades de información: la fisión nuclear, tipos de centrales -especialmente las PWR y las BWR-, el ciclo de vida, las centrales nucleares del mundo, el funcionamiento de las centrales españolas, su construcción y su desmantelamiento y otros temas, incluida la fusión nuclear. Además, se ha instalado una nueva maqueta de una central mostrando su impacto e integración en su entorno.

Nuevas pantallas con nuevos vídeos divulgativos, entre los que Marabotto destaca el de "La energía va contigo" y otro sobre el Tratado de No Proliferación de Armas Nucleares; paneles interactivos sobre proyectos singulares, como el reactor de fusión ITER, el sincrotrón Alba y el proyecto internacional IFMIF-DONES, que se ubicará en Granada y permitirá estudiar supermateriales necesarios para los reactores de fusión nuclear.

Nuevas imágenes, como las que recubren el interior del túnel, actualización de contenidos en general y nuevos juegos, que son el principal atractivo para los visitantes, especialmente los estudiantes.

El Centro de Información ha recuperado ya el ritmo de visitantes tras la reforma. "En este momento estamos al 100 % de la capacidad de acoger visitantes", dice Marabotto. Y ya se ha traspasado la cifra total de 155.000, camino de la celebración del 25 aniversario de su puesta en funcionamiento. 155.000 personas que han mejorado su conocimiento sobre el fascinante mundo de las radiaciones. Aunque no se realiza ninguna encuesta de satisfacción o comprobación del efecto de la visita, como dicen Ana, Reyes y Almudena, "la mejor valoración es que repitan". Y Sara y Sofía, las profesoras del Litterator, lo confirman: "volveremos siempre que sea posible. Lo tenemos contemplado dentro de nuestra programación desde que empezamos a planificar el curso".



ARTURO FERNÁNDEZ

Vista de los paneles dedicados al combustible nuclear.




Transporte de residuos radiactivos de la central nuclear Cofrentes, llevada a cabo por Enresa.

# Análisis de los sucesos ocurridos en el transporte de materiales radiactivos en España desde 2000 hasta 2020

El análisis de los sucesos que se producen en el transporte de material radiactivo constituye una herramienta esencial para reducir el riesgo inherente al mismo, pues de ese análisis se pueden extraer un conjunto de lecciones aprendidas. A partir de estas lecciones es posible implementar diversas acciones, dirigidas tanto a las entidades implicadas en las actividades de transporte como a las autoridades competentes, con el objetivo de reducir la probabilidad de ocurrencia de sucesos similares. Asimismo, la realización de análisis globales de los sucesos ocurridos en un determinado periodo de tiempo permite determinar cuestiones como qué sucesos ocurren con mayor frecuencia y por qué, si hay repetitividad en sus causas, cómo evolucionan a lo largo del tiempo en función de los cambios de la práctica en la que suceden y si hay factores en los escenarios de los sucesos que tengan mayor impacto en su ocurrencia. Las conclusiones de estos análisis globales permiten, desde el punto de vista de un organismo regulador como el CSN, ayudar a la planificación de actuaciones reguladoras tan importantes como la emisión de normativa y el desarrollo de sus actividades de supervisión y control.

■ Texto: **Eneko Zugazagoitia Hernando** | Técnico del Área de Transporte de Material Radiactivo del CSN ■

Desde finales de los años 90, para facilitar la gestión de las actividades reguladoras relacionadas con el transporte de material radiactivo, el CSN ha utilizado la aplicación informática Gestión de Transportes, que fue considerada como una "buena práctica" en las conclusiones del informe final de la misión IRRS realizada por el OIEA en España en 2018 [1].

Esta aplicación corporativa dispone de una base de datos sobre gestión de

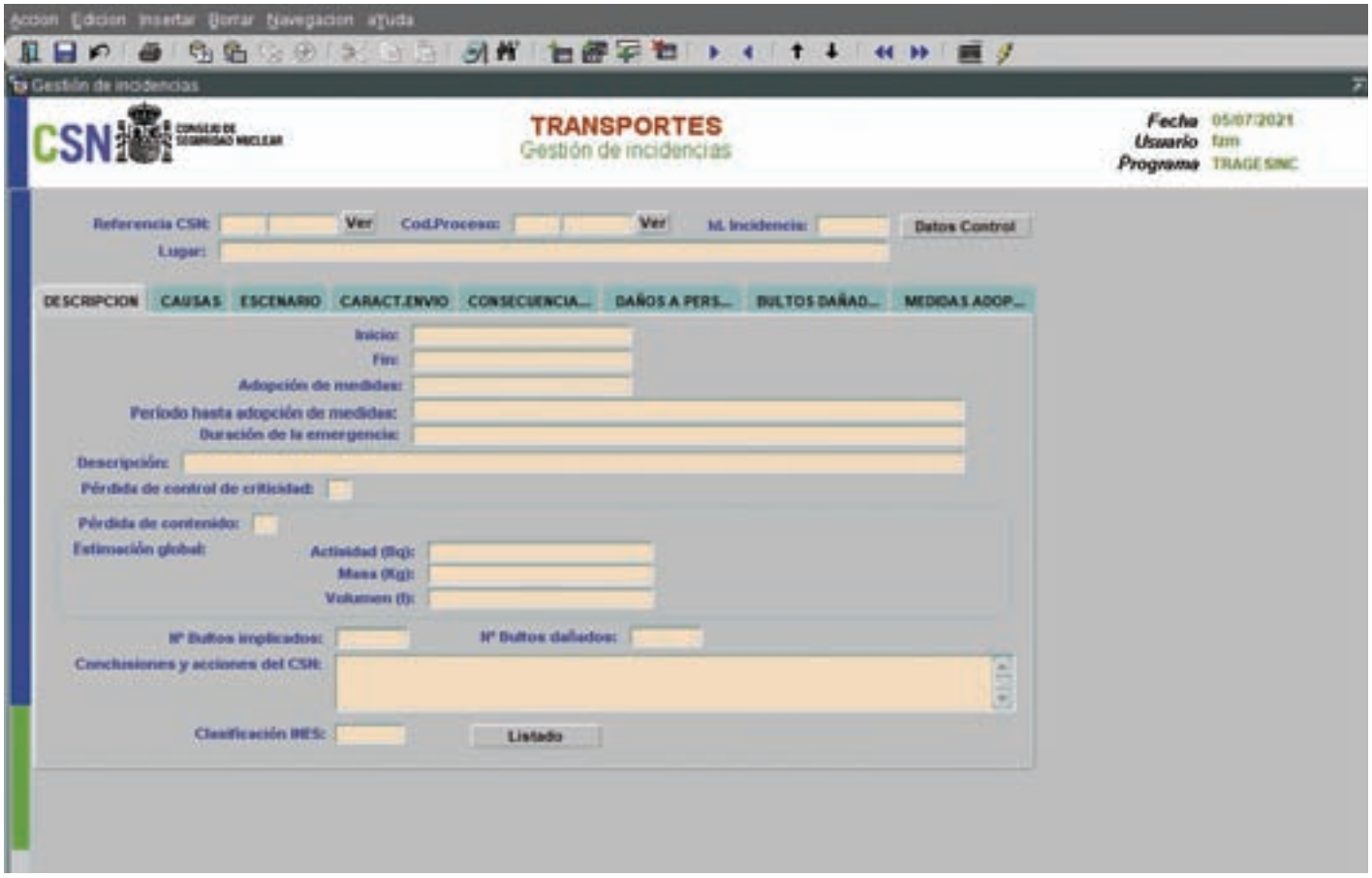



Figura 1. Pantalla principal de la base de datos Gestión de Incidencias de la aplicación Gestión de Transportes

incidencias (Figura 1) en la que se registra toda la información asociada a cada suceso ocurrido en el transporte de material radiactivo, considerando diversas características como: causas, tipología del material radiactivo y del bulto, medio de transporte y daños sufridos, consecuencias radiológicas, bultos dañados y medidas adoptadas. Estos sucesos son notificados al Consejo en cumplimiento de lo requerido por las instrucciones del CSN IS-34 [2] e IS-42 [3].

La información sobre los sucesos acaecidos anualmente en España en el transporte de material radiactivo se ha ido incluyendo en los informes anuales del CSN al Congreso de los Diputados y al Senado. Adicionalmente, el CSN publicó en 2022 un documento en el que se recoge un análisis detallado de los sucesos acontecidos en España desde el año 2000 hasta el año 2020 [4].

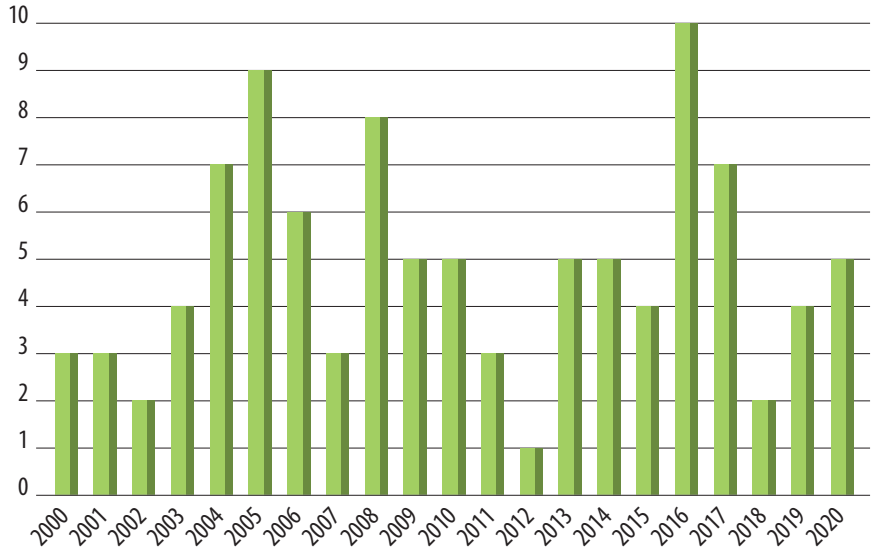



Figura 2. Sucesos anuales en el periodo 2000-2020.

## Características globales de los sucesos

Entre 2000 y 2020 se han producido un total de 100 sucesos en España, cuyo desglose anual se recoge en la Figura 2. Del análisis general de los mismos se puede comprobar que, dentro de cierta variabilidad, el valor medio de sucesos por año

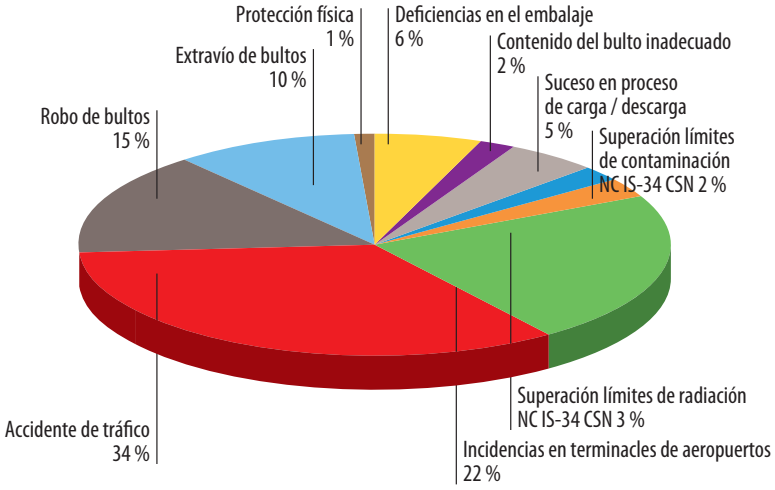



Figura 3: Proporción de cada clase de suceso en el periodo 2000-2020.



Accidente de tráfico de un vehículo de transporte de material radiactivo, sin incidencias radiológicas.

es aproximadamente de cinco. Si consideramos esa media de sucesos y el número aproximado de transportes de material radiactivo que anualmente se realizan en España (más de 100 000), tendríamos un índice de sucesos/nº de envíos anuales inferior a $5x10^{-5}$; es decir menos de un suceso por cada 20 000 transportes.

Los 100 sucesos han sido registrados en la base de datos sobre *Gestión de incidencias* en alguna de las diez categorías siguientes:

- Deficiencias en el embalaje.
- Contenido inadecuado del bulto.
- Suceso en procesos de carga/descarga.
- Superación de límites de contaminación reglamentados.
- Superación de límites de radiación reglamentados.
- Incidencias en terminales de aeropuertos.
- Accidente de tráfico.
- Robo de bultos.
- Extravío de bultos.
- Protección física.

Tal y como muestra la Figura 3, los sucesos más frecuentes han sido los accidentes de tráfico (34 %), las incidencias ocurridas en los terminales de los aeropuertos (22 %) y los robos (15 %) y extravíos de bultos (10 %).

En el caso de los accidentes de tráfico, con una media de dos sucesos anuales, el suceso tipo se caracteriza por producirse mayoritariamente en el transporte de radiofármacos con bultos del tipo A y exceptuados, por no verse dañada la carga, aunque sí el vehículo de transporte, y porque en su gestión la empresa de transporte aplica su plan de emergencia, comunica el suceso al CSN y envía otro vehículo para recoger la carga y hacerla llegar a los destinatarios inicialmente previstos.

Según los datos proporcionados por el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agencia Urbana, desde el año 2008 se promedian algo más de 110 accidentes anuales para el conjunto de movimientos de mercancías peligrosas (MMPP) por carretera; por lo que los que implican material radiactivo no llegan al 2 % de la media de los accidentes que involucran a todas los MMPP.

Las incidencias ocurridas en terminales de aeropuerto, con una media de un suceso anual, se caracterizan por ocurrir en los almacenes de las terminales de carga o en la pista del aeropuerto, implicando a bultos exceptuados y tipo A. Para su gestión, el operador aeroportuario comunica el suceso al aeropuerto (en aplicación de su plan de emergencia interior), al CSN y al expedidor.

Los robos y extravíos de bultos tienen una media conjunta de aproximadamente un suceso cada dos años. Los robos suelen producirse en vehículos de carretera aparcados fuera de las instalaciones, implicando a equipos radiactivos móviles




Figura 4. Escala INES.

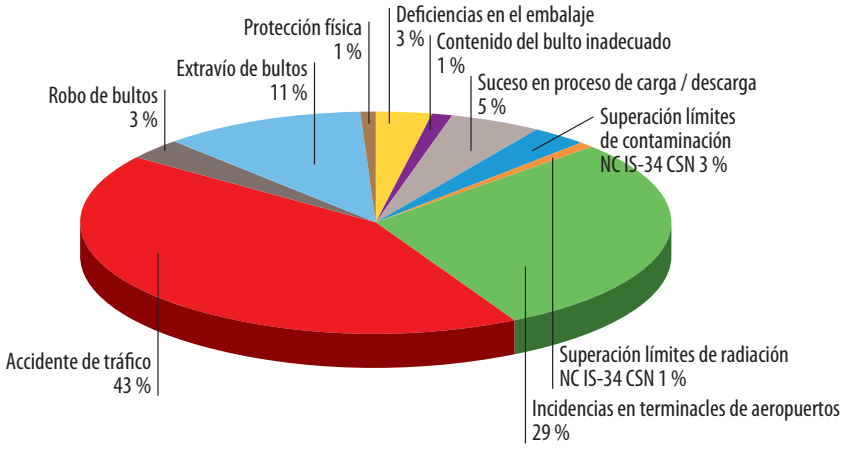



Figura 5: Clases de sucesos clasificados como INES 0

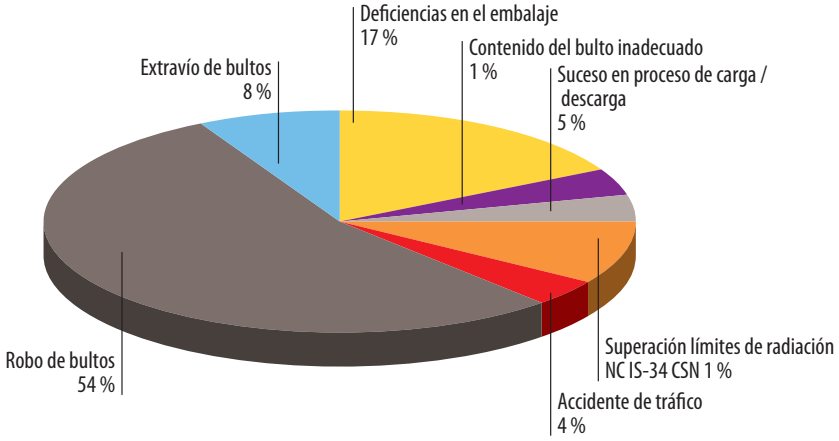



Figura 6. Clases de sucesos clasificados como INES 1.

(medidores de densidad y humedad de suelos conformando un bulto tipo A o gammágrafos industriales conformando un bulto tipo B). Los extravíos son más frecuentes en el transporte aéreo, durante la manipulación en rampa (pista del aeropuerto) y en los almacenes de las terminales de carga, afectando a bultos exceptuados y del tipo A con radiofármacos. Una vez confirmado el robo o extravío, el CSN difunde una nota de prensa para advertir a la población.

## Análisis de los sucesos según su clasificación INES

La Escala Internacional de Sucesos Nucleares y Radiológicos (INES) [5], Figura 4, que se emplea para comunicar al público de manera rápida y coherente la importancia desde el punto de vista de la seguridad de sucesos asociados a las fuentes de radiación, incluye en su alcance a cualquier suceso asociado al transporte de material radiactivo. Al objeto de que el público valore de manera rápida la importancia para la seguridad del suceso, a cada nivel de la escala INES se le asigna una expresión distinta, en orden creciente de gravedad: anomalía (1), incidente (2), incidente importante (3), accidente con consecuencias de alcance local (4), accidente con consecuencias de mayor alcance (5), accidente importante (6) y accidente grave (7).

Aplicando la clasificación INES a todos los sucesos ocurridos en el periodo de análisis, se comprueba que 76 sucesos lo han sido de nivel 0 y 24 de nivel 1. Atendiendo a la tipología del suceso, aproximadamente el 43 % de los clasificados como INES 0 (Figura 5) fueron accidentes de tráfico, el 29 % incidencias en terminales de aeropuerto y el 11 % extravíos de bultos. En cuanto a los sucesos categorizados como INES 1 (Figura 6), el 62 % se debieron a robos (54 %) y extravíos de bultos (8 %) y ya en menor medida (17 %) a deficiencias en el embalaje. Es importante tener en cuenta que, además de considerar el riesgo del material radiactivo involucrado, en el caso de los robos y extravíos de bultos la escala INES penaliza en su clasificación los sucesos en los que los bultos no llegan a encontrarse.

Del análisis de los resultados de la clasificación INES de los sucesos respecto a los siguientes parámetros: material transportado, tipo de bulto, sector de actividad, modo de transporte y fase del transporte, se concluye que casi todos los sucesos nivel 0 implicaron a bultos del tipo A transportando radiofármacos para el sector médico y que la mayoría de los sucesos nivel 1 se debieron a robos

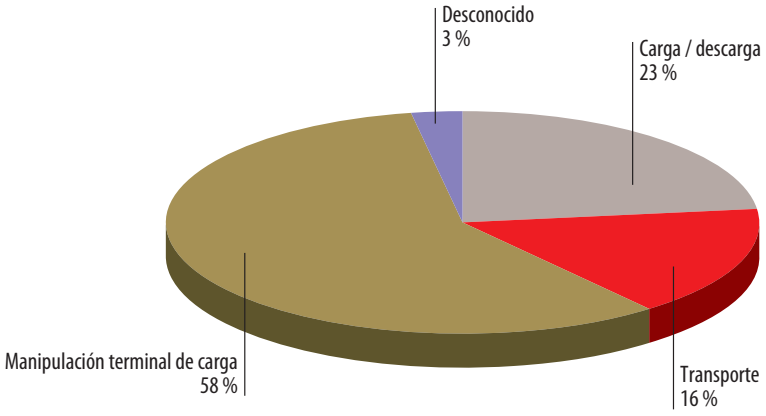



Figura 7. Fases del transporte en las que ocurrieron sucesos con daños a la carga.

de bultos del tipo A que contenían equipos radiactivos móviles de aplicación industrial mientras el vehículo se encontraba aparcado en un transporte por carretera.

## Análisis de las consecuencias de los sucesos

El análisis de las consecuencias producidas en los 100 sucesos se ha abordado distinguiendo entre los daños que se hayan producido a la carga, que se hayan producido en el medio de transporte, que hayan implicado daños físicos a las personas y que se hayan producido consecuencias radiológicas. Dichos análisis se han realizado teniendo en cuenta distintos parámetros fundamentales del proceso de transporte, como la fase en la que se produjo el suceso, los materiales radiactivos y tipos de bultos implicados, etcétera.

Así, se produjeron daños a la carga en 31 casos, incluyendo conservadoramente 15 sucesos en los que los bultos fueron robados o extraviados y no llegaron a recuperarse. También cumplirían el criterio de daños a la carga los sucesos en los que se produjeron solo pequeños daños, como abolladuras en el embalaje exterior de los bultos, y que no impidieron que la remesa pudiera ser entregada en el destino inicialmente previsto.

Esto supone que la media de sucesos con daños a la carga fue de aproximadamente dos al año. Asimismo, es interesante destacar que de los 31 sucesos en los que se confirmó el daño a la carga, en la mayoría (77 %) se vio afectado un único bulto, siendo cinco el número máximo de bultos afectados en un solo evento. La mayoría de los casos ocurrieron en las operaciones realizadas en las terminales de carga de aeropuertos (traslado en pista, carga y descarga), afectando a bultos del tipo A en los que se transportaban radiofármacos.

El análisis de los sucesos según los daños en el medio de transporte muestra que estos se produjeron en 34 casos de los 100. Como es de esperar, el 100 % de los daños ocurrieron durante la fase de transporte (traslado) y, más concretamente, en accidentes de tráfico durante el transporte por carretera. La mayoría de los vehículos de carretera que sufrieron daños eran vehículos ligeros (<1.5 Tm)

En general, los daños al vehículo de transporte provocaron su inmovilización; es decir, el vehículo no pudo continuar el transporte, teniendo que ser sustituido por otro. No obstante, en algunos casos esa inmovilización, y la consecuente sustitución, fueron realizadas por la empresa de transporte aplicando un principio de precaución, no porque el vehículo no pudiera continuar la marcha. Cabe destacar que en la mayoría de los sucesos con daños al vehículo de transporte no se produjo daño a la carga.

En cuanto a los daños físicos a las personas implicadas, es destacable que en ninguno de los 100 sucesos ocurridos las personas sufrieron daños derivados de la irradiación o contaminación, sino estrictamente físicos. Se han producido un total de 14 sucesos en los que se ha podido confirmar un daño físico a las personas, bien fuese el conductor, la tripulación o los miembros del público; 71 sucesos en los que no hubo consecuencias y 15 en los que no se pudo confirmar esta información (se corresponden con robos o extravíos de bultos en los que estos no llegaron a recuperarse). En los catorce sucesos con consecuencias, se produjeron un total de tres víctimas mortales (en tres sucesos diferentes) y catorce heridos. La causa mayoritaria (64 % de los sucesos) fue el alcance con otro vehículo en un accidente de transporte por carretera.

Finalmente, en relación con las consecuencias radiológicas, se han considerado como tales la contaminación radiactiva de superficies o de personas como resultado de la liberación del contenido de los bultos, o bien una exposición radiológica significativa de personas debido al daño o pérdida del blindaje del embalaje. Por exposición significativa, se ha entendido como tal aquella que haya supuesto una dosis relevante respecto a las dosis recibidas en la operación normal de un transporte o bien que se aproxime a los límites de dosis anuales definidos para el público o los trabajadores clasificados como expuestos.

Los resultados del análisis indican que únicamente en tres de los 100 sucesos ocurridos se han dado consecuencias de esta índole: en dos se produjo una exposición resaltable de personas y en el tercero se produjo una contaminación superficial de una zona. En ninguno de los sucesos ocurridos en el periodo de

estudio se produjo la superación de los límites de dosis anuales de trabajadores clasificados como expuestos o del público, de acuerdo con la reglamentación vigente en el periodo de análisis [6].

Sobre la base de todo lo anterior cabe extraer una conclusión fundamental: en los bultos no sujetos a aprobación de diseño (exceptuados, industriales, tipo A), para los que la reglamentación no exige la superación de ensayos que simulan condiciones de accidente, su comportamiento ante un accidente grave suele superar las expectativas reglamentarias. Esto implica que el enfoque graduado de los requisitos que deben satisfacer los embalajes se muestra eficaz como herramienta para garantizar la seguridad del contenido de los bultos y por extensión de las personas y el medio ambiente.

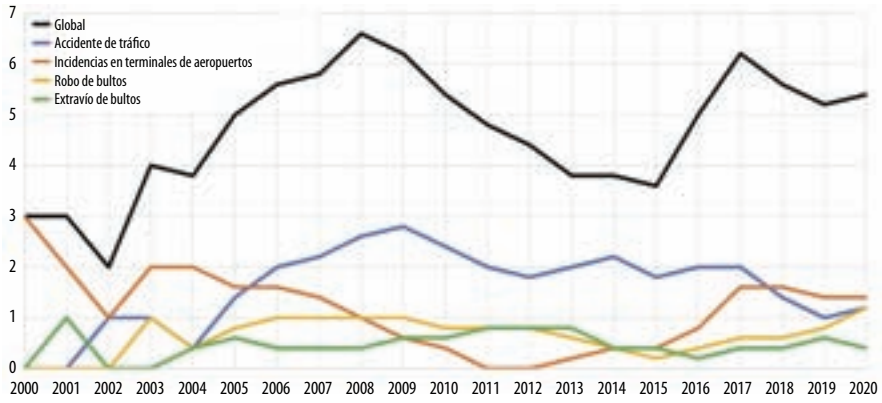



Figura 8. Tendencias de los sucesos más significativos en el periodo 2000-2020. Media móvil a 5 años.

## Análisis de tendencias y actuación del CSN

Anteriormente se ha identificado que las clases de sucesos con mayor incidencia son los accidentes de tráfico (34 %), incidentes en terminales de aeropuertos (22 %), robos de bultos (15 %) y extravíos de bultos (10 %). A fin de observar la tendencia de estos sucesos a lo largo del periodo de estudio y determinar cómo ha influido en la misma la actuación del CSN, en la Figura 8 se muestra su media móvil[1] a cinco años junto a la tendencia asociada al global de los 100 sucesos ocurridos en ese periodo.

La evolución de la tendencia global presenta una primera fase de incremento continuado hasta el año 2008, momento en el cual se invierte comenzando su descenso. Esta disminución de la media móvil se ve frenada en el año 2016, que representa el año con la mayor incidencia del periodo de estudio, al producirse diez casos, el doble del promedio correspondiente al periodo de análisis (5 sucesos/año). Esto puede considerarse como un hecho aislado, poco representativo de la tendencia, ya que a ese súbito incremento le sigue una estabilización en la media de cinco sucesos/año.

La tendencia de los sucesos debidos a accidentes de tráfico se comporta de manera análoga a la global durante la primera fase de crecimiento, alcanzando una media móvil cercana a los 3 sucesos/año en la primera década del 2000. Tras dicho máximo, se observa una disminución y una estabilización alrededor de los 1-2 sucesos/año. El aumento de los accidentes de tráfico en la primera década del 2000 se debe al claro incremento de los transportes de monodosis diagnósticas desde radiofarmacias y de productos PET desde ciclotrones. El incremento de este tipo de sucesos, además de las dosis operacionales asociadas al transporte de radiofármacos, fue una de las razones por las que en el CSN se consideraron prioritarias las inspecciones sobre este tipo de transportes, desarrollando un plan sistemático de inspecciones periódicas a los principales expedidores y transportistas. Se considera que la acción inspectora ha ayudado a la mejora en el desarrollo de estos transportes y, por tanto, a la reducción de los accidentes de carretera, a pesar del incremento de las actividades de radiofarmacia y de suministro de productos PET en la segunda década del 2000.

En la tendencia correspondiente a las incidencias en terminales aeroportuarias se observa una clara disminución a partir de 2005, pasando de una media móvil de 2-3 sucesos/año a prácticamente ningún caso en el primer quinquenio de la segunda década del 2000. Tras ese periodo, se ha producido un cambio puntual de la tendencia, con un incremento de la media móvil hasta 2017, momento en el cual vuelve a disminuir y se estabiliza en 1 suceso/año. La clara disminución de los sucesos en las terminales de aeropuerto a partir del primer quinquenio del 2000 previsiblemente se debe a las medidas adoptadas por los operadores aeroportuarios a raíz de los contactos mantenidos por el CSN con las autoridades aeroportuarias y por el incremento de su acción inspectora sobre estas actividades.

Respecto a los robos y extravíos de bultos, la tendencia ha mantenido un comportamiento estable, con un máximo en la media móvil de 1 suceso/año.

[1] Media móvil: indicador que proporciona el promedio de un subconjunto de datos de una serie numérica, en este caso el número de sucesos anuales en subconjuntos de 5 años. Utilizada para obtener una línea de tendencia, presenta como ventaja la capacidad de acomodar variaciones bruscas puntuales en los valores de la serie sin que ello impacte significativamente la evolución de la línea de tendencia.

Desde un punto de vista global, aparte del incremento de la acción inspectora sobre las actividades donde ocurren más sucesos, se considera que el desarrollo por el CSN de normativa reguladora específica ha contribuido a una mejora no solo en cuanto a la disminución de los sucesos sino también en relación con su gestión. En particular, cabe destacar:

- La IS-34, publicada en 2012, en la que se definen requisitos en relación con la vigilancia de la carga y de los vehículos durante las operaciones de carga y descarga, para tratar de evitar los robos de bultos radiactivos, y con la disponibilidad de personas y medios para prestar ayuda en incidencias durante el transporte de material radiactivo.
- La IS-42 sobre los criterios de notificación al CSN de sucesos en el transporte de material radiactivo.

## Comparativa con el contexto internacional

Para hacer esta comparativa se consideran una buena referencia dos estudios de detalle que se han realizado en Reino Unido [7] y Francia [8], pues en ambos países se desarrollan actividades de transporte de material radiactivo similares a las llevadas a cabo en España. El número total de transportes es superior en estos países debido a su mayor población y el mayor peso del sector industrial, lo que en consecuencia se traduce en un mayor número absoluto de sucesos, por lo que se considera de interés la comparativa no en lo que respecta al número sino a las características principales de esos sucesos.

Adicionalmente a esos dos estudios de detalle, a nivel europeo se dispone de un estudio realizado por la Comisión Europea [9]. Aunque en el propio estudio se reconoce una gran variabilidad en la información suministrada por los diferentes países que participaron en el análisis, las conclusiones más significativas coinciden con las resultantes de los otros dos estudios:

- La mayoría de los sucesos afectan a transportes de bultos exceptuados, industriales y tipo A con destino a los sectores médico e industrial, que utilizan el transporte por carretera.
- La mayoría de los sucesos fueron nivel 0 en la escala INES y ningún suceso de los reportados dio lugar a consecuencias graves para las personas por causa de la naturaleza radiactiva del material transportado.
- En ninguno de los sucesos hubo evidencia de que los bultos que cumplían los requisitos de la normativa de transporte no ofrecieran suficiente protección en las condiciones de accidente.
- El número de sucesos es bajo frente al número de transportes realizado.

A la vista de las conclusiones de estos estudios internacionales y del resultado de los análisis desarrollados para los sucesos ocurridos en España entre 2000 y 2020, se puede observar que la imagen global es coincidente; es decir, hay una clara similitud en la clase de sucesos frecuentes, el tipo de materiales y de bultos involucrados y los sectores más afectados, así como en la gravedad de esos sucesos, tanto si nos basamos en su clasificación INES como si lo hacemos en sus consecuencias.

## Conclusión

En definitiva, junto a las conclusiones de detalle que han sido ya presentadas a lo largo del texto, queda patente con carácter general que el número de sucesos y su gravedad son bajos en comparación con el número de envíos, lo que confirma que tanto el marco regulador nacional como el internacional del transporte de material radiactivo funcionan adecuadamente y garantizan suficientemente la seguridad de la actividad.

## Referencias


[1] Servicio integrado de revisión reguladora (IRRS) y Servicio integrado de revisión para programas de gestión de residuos radiactivos y combustibles gastado, de clausura y de restauración (ARTEMIS). Misión combinada a España. Madrid, 14 a 26 de octubre de 2018. IAEA-NS-IRRS-2018/06.

[2] Instrucción IS-34, de 18 de enero de 2012, del Consejo de Seguridad Nuclear, sobre criterios en relación con las medidas de protección radiológica, comunicación de no conformidades, disponibilidad de personas y medios en emergencias y vigilancia de la carga en el transporte de material radiactivo.

[3] Instrucción IS-42, de 26 de julio de 2016, del Consejo de Seguridad Nuclear, por la que se establecen los criterios de notificación al Consejo de sucesos en el transporte de material radiactivo.

[4] Análisis de los sucesos ocurridos en el transporte de materiales radiactivos en España desde 2000 hasta 2020. CSN ODE-06.01, 2022.

[5] INES. Escala Internacional de Sucesos Nucleares y Radiológicos. Manual del usuario. Edición de 2008. Organismo Internacional de Energía Atómica, Viena, 2010.

[6] Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes.

[7] Review of events involving the transport of radioactive materials in the UK, from 1958 to 2004, and their radiological consequences. HPA-RPD-014. J.S. Hughes, D. Roberts, S.J. Watson. 2006.

[8] Assessment of events involving transport of radioactive materials in France, 1999-2011. IRSN REPORT 2013-003E ind. 2. 2013.

[9] Review, analysis and report on the radiological consequences resulting from accidents and incidents involving radioactive materials during transport in the period 1975-1986 by and within member states of the European Communities. EUR12768 EN. Commission of the European Communities. 1990.

# La Inspección Residente del CSN en centrales nucleares

Texto: **Patricia Fernández Rodríguez y Alberto de Diego del Olmo |** Área de Coordinación y apoyo a la inspección residente del CSN

## ¿Qué es la Inspección Residente?

La Inspección Residente (IR) del CSN es el equipo de inspección permanente que dispone el organismo en cada central nuclear española. Está compuesto por un(a) inspector(a) residente y uno o dos inspectores residentes adjuntos en las centrales nucleares en operación, y por un único inspector residente en las centrales nucleares en situación de parada definitiva. El personal de la IR pertenece a la Subdirección de Instalaciones Nucleares (SCN), dentro de la Dirección Técnica de Seguridad Nuclear. El personal de la IR es considerado agente de la autoridad en el ejercicio de sus funciones, y puede acceder libremente, sin previo aviso, a toda la instalación, sin interferir en el funcionamiento de la planta y las actividades en curso.

En caso de manifiesto peligro, la IR puede exigir el inmediato cese de las obras, funcionamiento u operaciones, informando de las causas al CSN, al Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico y a la subdelegación del Gobierno.

## ¿Cuáles son sus funciones?

### 1. Supervisión permanente y directa de las actividades de la instalación en el emplazamiento

Para ello, recaban información a través de las siguientes vías:

- Reuniones informativas con el titular.
  - Reunión diaria de coordinación.
  - Reunión semanal de coordinación.
  - Reuniones puntuales de información urgente.
  - Reuniones de recarga.
- Visitas a Sala de Control.
- Rondas por planta e inspecciones por zona controlada.
- Observación *in situ* de pruebas, maniobras, mantenimiento.
- Acceso a información, documentación, programas y bases de datos del titular.
  - Parte diario.
  - Diario de operación.
  - Programa de acciones correctivas (PAC).
  - Datos de planta.
  - Órdenes de trabajo.
  - No conformidades.
  - Programa de ejecución de actividades.
  - Programa de recarga.
  - Actas CSNC y CSNE.
  - Manuales, planos, procedimientos, ...
- Asistencia como observador a reuniones del titular.
  - CSNC y CSNE.
  - Comités ALARA.
  - Regla de Mantenimiento.

**Esta información se transmite al CSN mediante:**

- Videoconferencia diaria a la coordinación de la IR (INRE), que la transmite posteriormente al CSN en la reunión diaria informativa de incidencias.
- Parte semanal, que posteriormente INRE compila en un resumen que se remite al Pleno del CSN, direcciones técnicas, subdirecciones, etc.
- En caso de incidencias relevantes, la IR lo comunicará inmediatamente a INRE y/o a la Sala de Emergencias (Salem) del CSN.
- Nota informativa cuando se produce un suceso notificable.
- Reuniones trimestrales.

**Los resultados de la inspección se documentan en:**

- Acta trimestral de inspección, de carácter público, según los procedimientos del SISC aplicables a la IR.
- Informe de evaluación de hallazgos, que nutren la matriz de acción del SISC.

## 2. Respuesta a emergencias nucleares

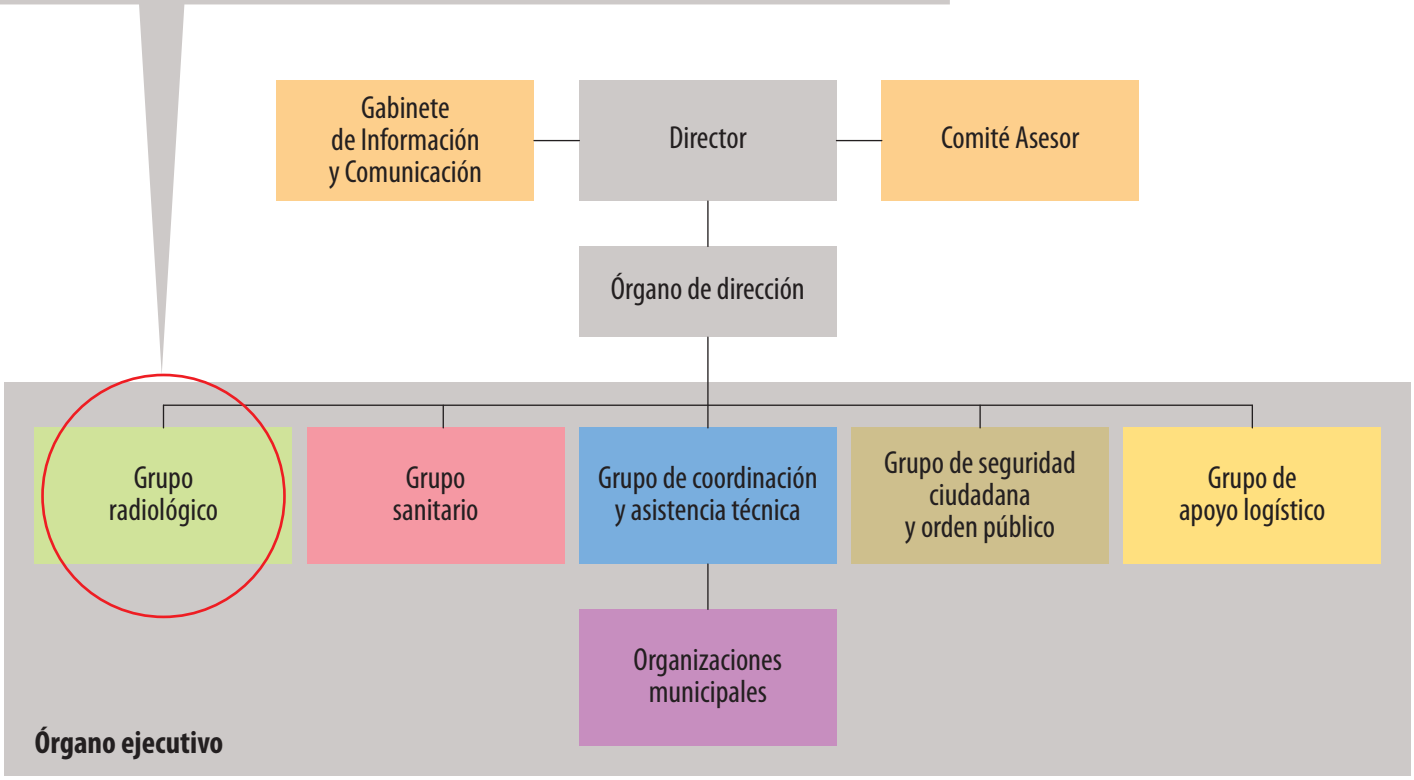
**En caso de emergencia en la central, el inspector residente asume la función de jefe del Grupo Radiológico del Plan de Emergencia de nivel de respuesta exterior (PEN),** nombrado directamente por el director del PEN (subdelegado del Gobierno en la provincia sede de la central), y el inspector residente adjunto es nombrado suplente del jefe del Grupo Radiológico.

Como jefe del Grupo Radiológico le corresponden, entre otras, las siguientes funciones:

- Recabar la información nuclear y radiológica relativa al accidente, manteniendo comunicación permanente con la Organización de Respuesta a Emergencias (ORE) del CSN y con la central nuclear.
- Asesorar al director del PEN respecto a:
  - Medidas de protección a la población.
  - Zonas de aplicación de las medidas.
  - Medidas de protección al personal de intervención.
- Transmitir al director del PEN las recomendaciones de la ORE del CSN.
- Seleccionar y proponer las estaciones de clasificación y descontaminación (ECD) y áreas base de recepción social (ABRS) que se deban activar.
- Establecer el control dosimétrico del personal de intervención.
- Coordinar la gestión de los residuos radiactivos generados.
- Proponer los contenidos de la información a la población afectada.

## 3. Información e interlocución con las autoridades y agentes locales

La Inspección Residente actúa como interlocutor inicial del CSN para la comunicación a las autoridades municipales y locales, en relación con los sucesos y acontecimientos más significativos de la central, y asiste y participa en las reuniones de los Comités de Información y en las Jornadas Informativas de AMAC (Asociación de Municipios en Áreas de Centrales Nucleares).



Rosa Montero Gayo (Madrid, 1951) es una escritora y periodista apasionada, capaz de dedicar muchas horas a hablar con sus lectores porque "me interesa mucho la gente". Su último artefacto, un libro sobre la salud mental en primera persona (y en segunda y en tercera) ha sido, como toda su obra, un notable éxito de crítica y, sobre todo, de público.
Apasionada también por la figura de Marie Curie, con pensamientos recurrentes sobre la muerte, resulta una conversadora inteligente y divertida. Le acaban de conceder el enésimo premio de su trayectoria, el Ojo Crítico Especial 2022, de Radio Nacional de España. "Me encanta, porque es un programa mítico, que ha hecho una gran labor cultural, de visibilización y de protección en el frágil camino de la obra de un artista", dice.

Rosa Montero Gayo, periodista y escritora

# "No escribes una novela para enseñar nada, escribes para aprender"

■ Texto: **Antonio Calvo Roy** | Periodista ■ Fotos: **Jesús Peraita** ■

**PREGUNTA:** ¿Hay suficiente periodismo cultural?

**RESPUESTA:** No, que va, pero este año ha habido una subida como consecuencia de la covid. Se ha leído más y —aunque ya lo sabíamos muchos, los políticos lo olvidan— se reforzó la idea de que lo cultural es muy importante. Ha habido un repunte ahora en televisión, hay varios programas culturales, pero siempre es poco. La gran crisis económica en los medios de comunicación se juntó con la crisis del cambio de sistema, de donde empezamos a salir ahora porque la gente ya está acostumbrándose a pagar por leer en digital, que es la única salida. Pero la crisis ha sido enorme y lo cultural era lo primero que desaparecía en los medios.

**P:** *¿Ve mejor a los medios, recuperándose de la crisis?*

**R:** Un poquito mejor, están saliendo de la larga travesía del desierto, pero quizá lo veo así sobre todo por mi optimismo.

**P:** En *Ser amigo mío es funesto,* la correspondencia entre Joseph Roth y Stefan Zweig, Roth se queja todo el tiempo de tener que escribir lo que llama artículos alimenticios, que no le dejan escribir novelas. ¿Ha sentido algo así?

**R:** Roth era un quejica. Pertenece a una generación de grandes escritores, muy masculinos, muy encumbrados por la crítica pero que eran unos pelmas. Creo que no se debe dejar el periodismo, siempre lo digo, cuando doy clase o con amigos míos que cometieron el error de dejarlo todo para dedicarse a la escritura creativa y que se han hundido, y eran escritores muy buenos. Si te dedicas solo a las novelas y tienes que empezar a publicar cada poco tiempo, puedes publicar bazofia. Hay que mantener la parte de la escritura creativa en el lugar más libre posible, sin la presión de la necesidad de publicar. Si a la presión y al ruido ambiental le añades tener que pagar las facturas, apaga y vámonos.

**P:** ¿No sería mejor que se pudiera vivir de la literatura?

**R:** Tal como están las cosas es imposible, no hay mercado suficiente. A no ser que tuvieras la suerte de ser como J.K. Rowling, [la creadora de Harry Potter] que escribes en la cocina de tu casa

y das un pelotazo, como si te cae la lotería. Salvo que tengas esa posibilidad, todo lo demás va a ser un chantaje para la libertad creativa. Todos queremos que se nos lea, pero entre que se lea y que se venda hay una diferencia grande.

**P:** ¿Le ayuda el periodismo, además, a estar atenta a la vida, a lo que pasa en la calle?

**R:** Yo no lo necesitaría porque me gusta la gente, pero sí que está bien. Lo que te da es una tribuna para hablar de determinados temas y para pensar, y ya se sabe que escribir es una manera de pensar especialmente buena, estricta, disciplinada. Ahora que no hago prácticamente nada más que los artículos, eso me obliga a pensar determinados temas y a pensarlos de una forma profesional, disciplinada y racional.

**P:** ¿Y no echa de menos las entrevistas, por ejemplo, ir a París a entrevistar a Jomeini?

**R:** Por Dios, no, lo detesto; no, no. Me piden alguna ahora y digo que no. He hecho unas 2.000 entrevistas y son un trabajo brutal. Me las preparaba como un trabajo de fin de curso, me estudiaba mucho al señor o la señora. Eso ya lo he hecho y como me queda poca vida y no me produce una sensación placentera no lo hago, no me da nada.

**P:** No es usted una escritora encerrada en su torre de marfil, tiene mucho contacto con los lectores. ¿Emplea mucho tiempo en ello?

**R:** Sí, ya digo que me gusta la gente. Me interesa la vida porque en general me interesa mucho la gente. Soy muy accesible porque creo que hay que serlo, y las redes, no todas, te dan esa posibilidad. Por ejemplo, tengo un Facebook maravilloso, profesional, en el que no hay trols. Es una ciudad de doscientas y pico mil personas en la que todos, más o menos, estamos dentro del mismo ámbito de intereses. Y ahí la gente es súper cariñosa y se dicen cosas interesantísimas; hay hilos que he metido en mis novelas o he hecho artículos a través de ellos.



**P:** ¿No le llevan demasiado tiempo las redes?

**R:** Sí, llevan mucho tiempo porque intento contestar y son muchas personas. En Twitter, que detesto, que no me interesa por su aire gritón, simplemente respondo a la gente que me dice cosas lindas y punto. Y luego Instagram, que casi no lo uso.

**P:** ¿Twitter contribuye a la enorme polarización que se ve en distintas sociedades?

**R:** Sin duda la exacerba las redes, pero en buena medida por nuestra idiotez, por nuestra ignorancia tecnológica y científica. La gente se acerca a las redes con una especie de respeto cuando lo único que hacen es magnificar, y además de manera anónima, al indeseable del barrio, al matón. Los conocemos, son los que antes se acodaban en la esquina del bar del barrio insultando a la gente y a los que la sociedad hacía un vacío sanitario. Ahora llega ese psicópata, lo suelta en Twitter, y todo el mundo, los políticos los primeros, diciendo ¡uy, lo que ha dicho! ¿Pero por qué le das un lugar que nunca ha tenido ni que tiene por qué tener?

**P:** ¿Eso es difícil de combatir?

**R:** Se combate con cultura social, desde la escuela, para aprender a valorar. Un estudio de hace poco señalaba que, hasta la universidad, los jóvenes no eran capaces de distinguir la diferencia entre una noticia y una opinión. Es para pegarse un tiro esa falta de cultura. Hay que educar en las normas básicas de lo real.

**P:** Volviendo a sus libros, su detective del futuro, Bruna Husky, está en un momento clave, al final de tercer libro ¿va a volver?

**R:** Sí, estoy súper interesada en saber qué pasa con ella y como si no escribo el libro no lo voy a saber… Lo único que veo es que le van a dar varias palizas hasta que comprenda que ya no tiene el cuerpo de la Bruna de combate. Le va a salir la chulería esa y le van a dar hasta que entienda que tiene ir ahora por la inteligencia.

**P:** ¿Y usted piensa, como ella, "me quedan tres años, dos meses y 17 días de vida"?

**R:** Sí, sí, todo el rato. Es el personaje con el que me siento más identificada. Incluso le he dado un nombre mío, mi Twitter es Bruna Husky, pero es anterior al personaje. No he empezado aún a escribirla, pero tengo algunas ideas, algunas notas. Probablemente será la última Bruna. Me siento muy identificada con esa cuenta atrás, con esa idea de la muerte. La inmensa mayoría de la gente vive como si fuera eterna, menos algunos neuróticos, Woody Allen y yo entre ellos, que pensamos en la muerte todo el tiempo.

**P:** Usted ha dicho que sus novelas de ciencia ficción son las más realistas. ¿Esa ficción es una manera mejor de contar la realidad?

**R:** Sí, en mis novelas contemporáneas soy poco detallista, son más de psicología de personajes, sin muchas descripciones; pero en las novelas de ciencia ficción soy hiperrealista. He intentado hacer un mundo que sea lo más real posible y en muchos casos hasta probable, desde el punto de vista social, el tecnológico, el científico.

> *"Lo único que hacen las redes sociales es magnificar, de manera anónima, al indeseable del barrio, al matón"*

**P:** Y una de las presencias que lo determina todo en ese mundo son los efectos del cambio climático.

**R:** Sí, si haces una novela de dentro de 100 años el cambio climático, hijo de nuestros actos, está ahí, sin ninguna duda. Hay una cosa que me irrita mucho de la mala ciencia ficción, que de repente se van a 200 años más adelante y ya la gente no come. ¡Pero por Dios, si ha habido cocinas desde Pompeya! Habrá otras formas de comer, pero lo seguiremos haciendo.

**P:** ¿Cree que somos conscientes de las consecuencias del cambio climático?

**R:** Creo que cada día se hace más evidente, pero es tan enorme que mucha gente no lo asume. Aunque cada vez hay menos negacionistas, la gente no sabe qué hacer con el cambio climático. Entrevisté a James Lovelock hace más de 20 años y me decía que ya era irreversible. Podemos intentar atrasarlo lo más posible, a ver si cae la suerte de que haya un descubrimiento científico, que no podemos ni pensar, que permita darnos una salida. Estamos como el enfermo terminal de cáncer, hay que intentar alargar lo más posible a ver si entretanto aparece una droga milagrosa, pero no pinta.

**P:** ¿Qué le diría a un negacionista?

**R:** Imposible, nada. Soy muy discutidora, capaz de hacerlo en el ascensor con un completo desconocido, pero ya he discutido tanto en ese nivel básico de ignorancia y ceguera, que con la razón no puedes demostrar nada. ¡Pero si les pasa a los terraplanistas, que les enseñas fotos y películas y las niegan!

**P:** Otra de sus batallas es la animalista, y con esta sí tiene actividad en Twitter.

**R:** En Twitter sí; ahí solo contesto las cosas cariñosas y también retuiteo aquellas llamadas de ayuda de animales, precisamente por la capacidad de diseminación de esa red.

**P:** ¿Nos define como sociedad cómo tratamos a los animales?

**R:** Absolutamente. El lugar que ocupan las mujeres en la sociedad y cómo esa sociedad trata a los animales son dos de las líneas divisorias de lo que una sociedad es. Y otra es la salud dental de la población; y la mental, claro.

**P:** ¿Estamos avanzando en estas cuestiones?

**R:** En conjunto hemos avanzado, pero estamos ahora en un momento de riesgo de retroceso bestial y muy peligroso en todo el mundo. Inventé Labari [un lugar de las novelas de Bruna Husky] como el sitio más horroroso, bestial, ma-

## Del periodismo a la literatura

Rosa Montero estudio periodismo y comenzó psicología "para tratar de entenderme a mí misma". Colaboró con grupos de teatro como Cánon y Tábano y empezó a colaborar en diversos medios, como Fotogramas, Pueblo y Posible. Desde 1976 trabaja de manera exclusiva para El País, donde ha sido redactora jefa del suplemento dominical. Ha hecho algo más de 2.000 entrevistas y ha recibido los más importantes premios de la profesión. Su primera novela, *Crónica del desamor,* apareció en 1979. Desde entonces ha escrito once novelas más que han recibido reconocimientos en muchos de los veinte países a cuyas lenguas ha sido traducida. Ha escrito tres novelas de su detective replicante de ciencia ficción, Bruna Husky, *Lágrimas en la lluvia* (2011), *El peso del corazón* (2015), y *Los tiempos del odio* (2018). Ha compuesto lo que ella llama artefactos, tres libros mezcla de ensayo, autobiografía "poco fiable" y ficción: *La Loca de la casa* (2003), *La ridícula idea de no volver a verte* (2013) y *El peligro de estar cuerda* (2022). Ha sido galardonada con el premio el Nacional de las Letras en 2017.



chista, esclavizante, dogmático, hiperreligioso…, el sitio más atroz, y a los dos años apareció el ISIS y era mucho peor.

**P:** Pero usted siempre ha renegado de la novela como panfleto, para convencer de nada a nadie.

**R:** Desde luego, para eso hay otros géneros, como el ensayo. La novela está hecha para intentar mirar en esa zona tenebrosa y zozobrante que tenemos dentro de nosotros. La novela pone palabras en aquello que es indecible, es un viaje de conocimiento personal, no escribes una novela para enseñar nada, escribes para aprender. Nace de tu inconsciente, no la controlas; suele transparentar tus ideas, pero a veces sucede todo lo contrario. Tolstoi, que era un machista atroz, escribió *Anna Karenina* contra el progreso, y le resultó un personaje como ese, feminista, porque escuchó a su personaje.

**P:** En sus novelas los personajes suelen ser empáticos. ¿Las redes matan la empatía?

**R:** Creo que no, también veo mucho cariño en las redes. Lo que están haciendo las redes es darle visibilidad a la gente más mala, al 13 o 15 por 100 de la población; son números estables, pero parece que son más porque se les hace caso. Y los estudios dicen que esos números son más altos entre los políticos y las grandes empresas, así que me surge una pregunta inquietante, porque soy muy evolucionista, ¿sirven para algo los psicópatas? ¿Tienen un lugar en el mundo?

**P:** Siempre ha escrito desde el feminismo.

**R:** Sí, porque el feminismo no es cosa de mujeres, es cosa de todos; el antisexismo si quieres llamarlo, que es lo contrario de la ideología patriarcal, que es reductora, destructora, esclavizante para las mujeres doblemente, pero también para los hombres. No concibo ahora mismo una persona con un mínimo alcance cultural que no sea antisexista, de la misma manera que hay que ser antirracista.

> *"La ideología patriarcal es reductora, destructora, esclavizante para las mujeres doblemente, pero también para los hombres"*

**P:** Y estamos también en un momento delicado en este aspecto.

**R:** Ha habido muchos avances en todo el mundo con respecto a la conciencia de la mujer en el mundo, con los animales, pero el progreso no es obligatorio, la historia se mueve y si hay un tirón hacia el progreso suele haber un contrabalance reaccionario. Ha habido grandes avances en este campo y vuelve la reivindicación machista, igual que ha habido grandes avances en el siglo XX en la creación de las supranacionalidades y ha habido un

## “Marie Curie tenía una pasión devoradora por el conocimiento”

**P:** Marie Curie, de la que habla tanto en *La insoportable idea de no volver a verte,* ¿no es un ejemplo excesivo para las niñas? ¿O eres Curie o no eres nada?

**R:** Hay que tener ejemplos, es magnífico. A los hombres se les pone Einstein como ejemplo y es maravilloso y no van a ser Einstein: lo importante es tener modelos. Clara Schumann, excelente pianista y compositora, acarició la idea de hacerse compositora, pero, dice: “qué idea estúpida ser compositora. Si ninguna lo ha conseguido antes ¿por qué lo voy a conseguir yo?”. Y lo terrible es que eso era mentira, porque la historia está llena de enormes mujeres compositoras, empezando por Hildegarda de Bingen en el siglo XII. Siempre ha habido mujeres que han hecho cosas, pero no se sabe.

**P:** El efecto Matilda, tan habitual en la ciencia, que creó Margaret Rossiter, es atribuir a hombres el trabajo de mujeres. ¿Existe también en literatura?

**R:** Sí, claro. Desde María Lejárraga, que toda la obra de Martínez Sierra es de su mujer. Quizá un poco menos, pero sigue pasando.

**P:** Después de haber profundizado en su obra ¿Qué es lo que más le llama la atención de Marie Curie?

**R:** Me encanta que sea tan pasional, nada fría. Tenía una pasión devoradora por la ciencia, por el conocimiento, por Pierre y luego por Langevin. Y lo alucinante era su voluntad, la capacidad de perseguir sus deseos en unas condiciones tan difíciles. El enorme talento que tenía era como una luz dentro de ella y era consciente de lo capaz que era en ciencia. Era una fuerza de la naturaleza.



Rosa Montero y Antonio Calvo durante la entrevista.

recrudecimiento de los patriochiqueros y de los nacionalismos más miserables. Y todo empeorado por la ola neofascista y la crisis del 2008, que se solucionó muy mal, con el empobrecimiento del 25 por 100 de la población.

**P:** Ursula K. Le Guin, una escritora a la que admira, dice que, frente a las personas de granito, con sólidas y firmes ideas, ella es de barro y quien pisa en ella, deja huella. ¿Es usted de granito o de barro?

**R:** Soy de barro total, de granito cero y además no me interesa. Reconozco dos maestros, que además conocí cuando ya había escrito dos o tres novelas. No es que me enseñaran el camino, es que lo que yo buscaba ellos lo habían llevado a un nivel sublime, que yo nunca alcanzaré. Son Vladimir Nabokov, en la parte hiperrealista, grotesca y de construcción de estructuras, y Ursula K. Le Guin en la parte más mítica. Son de los grandes escritores del siglo XX.

**P:** Usted tiene tres obras muy distintas al resto de su producción, *La loca de la casa, La insoportable idea de no volver a verte* y *El peligro de estar cuerda,* que es su última publicación. ¿De dónde salen?

**R:** Sí, la inmensa mayoría de mi producción son novelas y luego tengo estos tres libros, que yo llamo artefactos literarios. Justo se cumplen 20 años de *La loca de la casa* y acabo de descubrir que escribo un artefacto literario cada diez años. Y tengo otro en la cabeza que quiero hacer, que quizá sea mi último libro, pero como tengo dos novelas antes, será para dentro de 10 años. Son libros libérrimos. El primero es un libro sobre cómo se produce la creación y es muy interactivo, juego con el lector. El segundo es sobre el duelo y sobre cómo vivir una vida mejor, cómo aprender a vivir una vida más serena incluyendo el duelo, claro. Y el último, que termina hablando también de la muerte, es sobre la salud mental, a qué llamamos realidad. Son libros que he escrito cuando he tenido la madurez para hacerlos.

DEPOSITPHOTOS



El Año Internacional del Vidrio, celebrado en 2022, ha recordado los beneficios que nos proporciona este material

# El amigo invisible

El Año Internacional del Vidrio ha celebrado durante 2022 este material central en el desarrollo de nuestra civilización, pero que a veces pasa desapercibido. El vidrio es un material transparente, y por eso prácticamente invisible, de alta tecnología con la capacidad de incorporar múltiples funcionalidades. Es una materia prima indispensable para las tecnologías de la información y las comunicaciones, base de la fibra óptica que nos conecta a velocidades cada vez mayores y del 5G; en biomedicina con los biovidrios, que ayudan a la regeneración ósea, y en los viales que contienen vacunas o medicamentos; es también fundamental en energías renovables formando parte de paneles solares y turbinas eólicas, y, por supuesto, en la industria de los envases y en arquitectura, donde el vidrio flotado y los aerogeles nos protegen de la intemperie y reducen el consumo energético. En definitiva, el vidrio es una herramienta fundamental en el camino para conseguir un planeta más sostenible y, quizás, más justo.

■ Texto: **Eugenia Angulo Alonso** | periodista de ciencia ■

Escenario: calor, luz opaca cayendo del techo, tono gris del suelo y las paredes. Un brillo anaranjado se escapa de un horno enorme en cuyo interior nada una piscina de vidrio candente. Es diciembre y hace frío en la Real Fábrica de Cristales de La Granja. El cielo está encapotado y gris, pero en este taller, de techos altísimos metálicos, acabas por quitarte el abrigo mientras el público asiste, como hipnotizado, a una representación teatral que lleva miles de años ejecutándose de la misma manera.

"Es un buen trabajo para el invierno", dice Susan Spiranovich que se mueve como un gato entre la caña de soplar y los hornos, atenta a cada movimiento de Adam Holtzinger, con quien forma la empresa de artesanía del vidrio soplado Keep Brooklyn, y Marc Barreda, soplador

de vidrio en Amsterdam, cuya obra forma parte de las colecciones del Creative Glass Center of America, el Museo Nacional del Vidrio de España y el Nationaal Glasmuseum de los Países Bajos. Los tres, Spiranovich, Holtzinger y Barreda, se conocieron hace más de veinte años en la Escuela de Arte de Cleveland y están considerados los mejores sopladores de vidrio del mundo. Los tres van vestidos de negro y llevan zapatillas. Han acudido a la Real Fábrica para hacer una demostración de técnicas venecianas de soplado con motivo de la clausura del Año Internacional del Vidrio. Un grupo de sopladores de la fábrica los mira desde sus monos azules de trabajo. Efectivamente, es un buen trabajo para el invierno que se queda fuera, mirando desde la ventana.

En el interior, el calor de los hornos se mezcla con un leve olor a cera de abejas. Los artistas untan con ella sus herramientas para que resbalen mejor y no rayen las delicadas piezas que tallan. Holtzinger y Barreda abordan una jarra de agua bendita de estilo veneciano como las que solían utilizarse en iglesias o palacios. Les gusta el estilo veneciano porque es dificilísimo; unas piezas intrincadas y elegantes como un laberinto, un reto acabarlas sin que se rompan. Holtzinger coge la caña de soplar de la que cuelga una masa de vidrio naranja con forma de panal de abejas, y la mueve, o más bien baila con ella, utilizando la gravedad, la temperatura y el aire que sopla. Muchas veces introduce la pieza que está naciendo de entre la masa naranja en otro horno más pequeño y caliente, a unos 1200ºC, que utilizan para calentar rápido. Y de vuelta a soplar, y a girar la caña. Todo tiene algo hipnótico, como mirar el fuego o el mar, de asistir a una coreografía que no ha cambiado en dos mil años con los mismos materiales humildes: arena, aire, agua. Y el fuego. Los movimientos con la caña de soplar y el vidrio candente son precisos, rápidos, suaves, como si la caña viera un camino en el aire: sólo cuentan con unos pocos segundos para modelar antes de que el vidrio se enfríe.

Barreda corta por aquí, por allá, y los restos de vidrio muerto acaban en un cubo de plástico negro. Calienta alguna herramienta para que cuando la use y toque la pieza, no la rompa por la diferencia de temperatura. Entre Holtzinger y Barreda añaden unas decoraciones girando la caña para lo que toman más vidrio del horno que dejan enfriar antes, vidrio amarillo que estará a unos 900 ºC —el vidrio es naranja cerca de los 1 100 ºC y blanco cuando pasa de 1 500—. Acaban la jarra de agua que se queda mirando al público, transparente, brillante, delicada, y cogen un compás para tomar medidas y rematarla con un tapón.

Spiranovich pinta una corona con tiza en el suelo, ya que estamos en la casa real han decidido hacer una corona para el tapón fijándose en el logo. Se sienta para soplar por la caña en una silla baja de madera donde antiguamente se sentaban los hijos de los sopladores para aprender. La corona es pequeña, del tamaño de una castaña o algo mayor, y endiabladamente complicada. Solo ésta po-



JAMES MCFARLANE



SILVIO STREDDI

Arriba, demostración de fabricación de un objeto de vidrio en la Real Fábrica de Cristales de La Granja. Abajo, taller de producción de vidrio en Cvikov, Chequia.

## El vidrio natural

El vidrio también se encuentra en la naturaleza en estado natural. El principal y más abundante es la obsidiana: vidrio volcánico que se genera cuando un magma rico en sílice sale a la superficie a altísima temperatura para después enfriarse rápidamente con la temperatura ambiente. En estas condiciones, los átomos de silicio y oxígeno no tienen tiempo a organizarse y el sólido se queda en estado amorfo.

Otro tipo bastante abundante y muy peculiar es el vidrio de impacto meteorítico. "Se produce cuando un cuerpo rocoso cae en la superficie y eyecta todo lo que tiene alrededor del cráter de impacto. En una fracción de segundo aumenta la temperatura miles de grados lo que genera la fusión. Si el material que hay es silicio, como unas arenas de cuarzo, se generan gotas de vidrio que se eyectan alrededor de la zona de impacto y vuelan, pudiendo caer en una zona cercana o lejana, incluso a 300 km, en forma de lluvia de vidrio", explica Rafael Lozano, científico del Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Hay distintas variedades de tectitas, que es como se llaman estas gotas de vidrio, algunas de ellas muy valiosas, como las moldavitas, verdes y transparentes, muy apreciadas en joyería.

El tercer tipo también es muy peculiar, las llamadas fulguritas, donde la fusión proviene del impacto, en este caso, de un rayo. "El rayo lo que hace es fundir el material en la zona de impacto, y si esa zona de nuevo vuelve a ser silícea, se forma el vidrio", explica Lozano. Por último, un tipo también bastante raro, es el vidrio que se forma debido a la combustión espontánea del carbón. "En las minas de carbón, o simplemente en un paraje donde afloran capas de carbón, si entran en contacto con el oxígeno atmosférico pueden arder de manera espontánea hasta adquirir temperaturas por encima de los 1 000 grados, con lo cual funde el material que tiene alrededor y puede generar vidrios", explica.



Cartel de la exposición realizada por el CSIC.

dría valer unos 3 000 dólares, pero nunca venden las piezas que modelan, su objetivo es una búsqueda con los museos para conservar el conocimiento de los antiguos maestros vidrieros. Al cortar una filigrana con unas tenazas, la corona se rompe y cae al suelo. Han intentado acelerar el proceso, nos explican, pero en estas cosas no se puede correr. El público aplaude y los tres artistas sonríen. Lo volverán a intentar después de la comida.

El vidrio veneciano más antiguo conocido data del siglo XV, cuando la pequeña isla de Murano dominaba el mercado europeo, pero el vidrio ha acompañado a la humanidad casi desde nuestros principios: los arqueólogos han encontrado vestigios de este material en el revestimiento de objetos de cerámica del año 5000 a.C, en la antigua Mesopotamia, y los primeros envases elaborados con vidrio se encontraron en Egipto y datan del 2100 a.C.

Desde entonces, y gracias a virtudes tan nobles como su transparencia, brillo, versatilidad, maleabilidad, inercia química y resistencia a la corrosión, y también al ingenio, el vidrio ha modelado buena parte de la vida humana: está presente en las lentes de microscopios y telescopios, en los faros marinos, vidrieras de las catedrales, las gafas, en los acristalamientos, en la fibra óptica, y por supuesto, en las artes decorativas en las que se ha utilizado en vajillas, lámparas, joyas...

A pesar de esta compañía constante a través de los siglos, quizás por su humildad —no es más que arena sometida a altas temperaturas— y transparencia —miramos a través de él en lugar de observarlo directamente— el vidrio es, de alguna forma, invisible. Para devolverlo a la luz, la ONU declaró 2022 como el Año Internacional del Vidrio, a iniciativa de la International Comission on Glass, la Community of Glass Associations y el International Commitee for Museums and Collections of Glass. En febrero se llevó a cabo la ceremonia inaugural en el Palacio de las Naciones en Ginebra, Suiza, y ahora acaba de concluir con actos como éste de La Granja. Es la primera vez que un año internacional se dedica a un material para resaltar sus múltiples contribuciones en el arte, la ciencia, la medicina, la industria, la biotecnología, el desarrollo de las comunicaciones e internet, así como en la vida cotidiana, todo ello en concordancia con los objetivos planteados en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Según la ONU: "El vidrio ha acom-

## Atrapar el polvo de un cometa y envolver residuos nucleares

El vidrio es un material con diversas utilidades y aplicaciones en el desarrollo de la tecnología, biotecnología, industria, telecomunicaciones, medioambiente o astrofísica. Éstas son algunas de sus aplicaciones:

■ **Envases:** El vidrio se ha utilizado para conservar alimentos y bebidas durante siglos, no altera el aroma o el sabor de bebidas y alimentos, es impermeable, hermético y no se oxida. Es el único material de envase reconocido como seguro por la Administración de Medicamentos y Alimentos de Estados Unidos, recibiendo la etiqueta GRAS (Generalmente Reconocido como Seguro).

■ **Telescopios:** El vidrio puede desviar la luz en los microscopios y telescopios, mostrando la evolución del universo y los secretos de la vida. El Hubble tiene espejos vitrocerámicos que permiten recoger la luz desde distancias increíblemente lejanas. El James Webb, cien veces más potente que el Hubble, permitirá retroceder en el tiempo más de 13 500 millones de años para ver las primeras galaxias nacidas tras el Big Bang.

■ **Aislamiento:** el aislamiento habitual en la construcción está compuesto por finas fibras de vidrio que atrapan el aire y reducen el flujo de calor dentro y fuera de los edificios. El aislamiento puede mejorarse aún más con los aerogeles, un vidrio considerado el mejor aislante del mundo: es el material tridimensional más ligero que existe actualmente, con un 99,9 % de aire. Los aerogeles son utilizados por la NASA para capturar materia de los cometas y traerlos a la tierra de forma segura: el polvo espacial se estrella contra la esponja de vidrio y queda atrapado dentro de la estructura. También se utilizan en trajes espaciales, en nuevos tejidos y en el aislamiento de edificios modernos, ayudando a reducir los costes de construcción.



Ejemplo del uso del vidrio en acristalamiento de edificios.

■ **Arquitectura:** el vidrio es hoy esencial en la arquitectura más avanzada gracias al vidrio flotado. Este proceso permite fabricar grandes láminas de vidrio plano que aprovechan mejor la luz del día, reducen la necesidad de luz artificial y aumentan el ahorro energético. Los nuevos acristalamientos inteligentes reducen el efecto invernadero de los edificios al reflejar la luz infrarroja del interior y regular la transmisión de la luz visible. También pueden incorporar células solares fotovoltaicas que recogen la energía del sol, y disponen de tecnología de autolimpieza con recubrimientos que descomponen la suciedad. Estos recubrimientos interactúan con la luz solar para descomponer las partículas mediante fotocatálisis.



Fibra óptica hecha con vidrio.

■ **Fibra Óptica:** una vasta red de fibra óptica conecta el mundo y permite la comunicación fiable y rápida de datos a través de internet. Además, las nuevas fibras de vidrio de alta capacidad

pañado a la humanidad durante siglos y ha mejorado la calidad de vida de millones de personas como uno de los materiales más importantes, versátiles y transformadores de la historia."

### Lo que no vemos

El vidrio, ya sea natural o artificial, es una sílice amorfa: átomos de oxígeno y silicio descolocados dentro de un sólido. La diferencia con el cuarzo es que el silicio y oxígeno están matemáticamente colocados formando una estructura cristalina y, en el caso del vidrio, no. Por esto a veces se considera como un cristal falto de terminación: las mismas materias primas con distinto proceso de enfriamiento dan lugar a un material con una estructura atómica regular, el cristal, o a uno desordenado, el vidrio.

Para fabricarlo se emplean materiales humildes: la sílice de la arena, la materia prima más abundante de la Tierra, y sustancias como la caliza ($CaCO_3$) y el carbonato de sodio ($Na_2CO_3$). La fusión se hace en hornos a temperatura de unos 1 500ºC, y luego se enfría rápidamente. La disposición aleatoria de las celdillas de sílice permite jugar con la estructura, de forma que la adición de pequeñas can-




En medicina el vidrio permite conservar los medicamentos sin reaccionar químicamente.

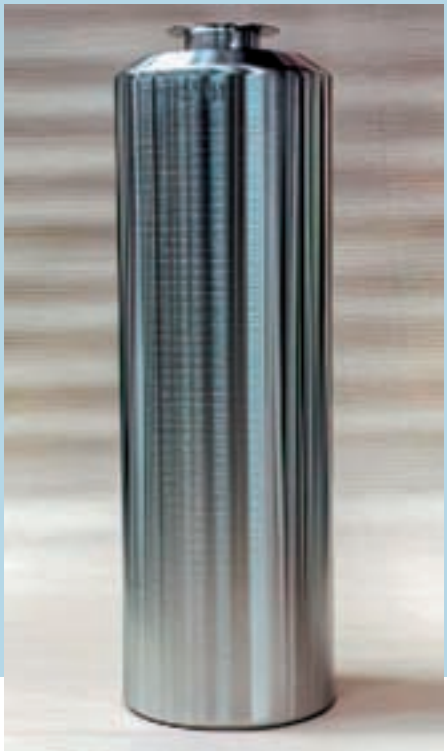
son clave para el desarrollo de la tecnología 5G. Las pantallas táctiles de vidrio son resistentes al rayado e incluso al agua.

■ **Medio Ambiente:** La principal ventaja del vidrio es que es infinitamente reciclable con lo que reduce el uso de materias primas, desechos y el consumo de energía. También forma parte de los paneles solares y las palas de las turbinas eólicas, pero también tiene otras aplicaciones medioambientales. El vidrio verde, por ejemplo, puede convertirse en partículas de vidrio hidrofóbico, que sustituyen a la arena en tratamientos de limpieza de aguas al eliminar metales pesados, materia orgánica y microplásticos.

■ **Transporte:** Los actuales parabrisas de los coches son más seguros y no se rompen en caso de impacto. El vidrio templado es mucho más resistente y seguro que el vidrio normal, ya que se puede romper de manera uniforme y sin dejar puntas cortantes.

■ **Medicina:** el vidrio es clave en medicina al ser uno de los elementos más inertes químicamente del mundo. Se utiliza para transportar y almacenar medicamentos sensibles que, de otro modo, podrían reaccionar con el vial en el que se conservan. Los biovidrios forman enlaces con el hueso y estimulan de forma activa la recuperación y generación de nuevo hueso. Además, el vidrio puede utilizarse para fabricar superficies fáciles de limpiar y capaces de eliminar las bacterias, por lo que se usan en hospitales y residencias.

■ **Gafas:** Las gafas se han usado para corregir los defectos visuales desde el siglo XIII, pero actualmente más de mil millones de personas en todo el mundo tienen problemas de visión sin tratar, lo que cuesta a la economía mundial 200 000 millones de dólares al año. Esto podría remediarse con iniciativas para fabricar gafas de bajo coste.



ANDRA. CIGEO

■ **Arqueología:** Por su extenso uso a lo largo del tiempo, y gracias a su perdurabilidad, es un material esencial en estudios arqueológicos de civilizaciones y culturas.

■ **Residuos:** Algunos residuos peligrosos, de origen industrial, se vitrifican para evitar que su toxicidad escape al medio ambiente. También se hace con algunos residuos nucleares, como el combustible de la central Vandellós I, que esperan, vitrificados, ser devueltos a España para su almacenamiento.

Contenedor de residuos radiactivos de alta actividad vitrificados.

tidades de otros elementos le confieren propiedades distintas en cuanto a color, resistencia mecánica y térmica, reactividad química o comportamiento óptico.

Casi cada día se encuentran nuevas propiedades para el vidrio: añadiendo boro se vuelve resistente al choque térmico, mientras que la plata o el cobre le proporcionan propiedades bactericidas; si se agregan tierras raras como el neodimio, el erbio o el cerio se pueden obtener vidrios láser de alta potencia, y añadiendo estroncio a los biovidrios se curan las fracturas óseas. Los acristalamientos de vidrio se refuerzan con pequeñas cantidades de aluminio y magnesio y, por supuesto, éste se puede colorear. Por ejemplo, el cromo lo vuelve verde y el cobalto, azul. Prácticamente todos los elementos de la tabla periódica pueden conferir al vidrio una nueva característica. Las fibras de vidrio, por su parte, confieren una gran resistencia a los materiales compuestos, desde las raquetas de tenis hasta las palas de las turbinas eólicas y los fuselajes de los aviones.

Alicia Durán, física, dirige el grupo de investigación GlaSS en el Instituto de Cerámica y Vidrio del Consejo Superior

de Investigaciones Científicas (CSIC) y ha sido la presidenta mundial del Año Internacional del Vidrio. Entre 2018 y 2021, Durán presidió la Comisión Internacional del Vidrio —la más importante del mundo en la especialidad y que agrupa a científicos, tecnólogos, artistas y todas las grandes empresas del sector—, por lo que estuvo desde el principio a la cabeza de la candidatura, que se aprobó con un poco de retraso por la irrupción en el mundo de la pandemia de covid-19. Para el Año Internacional han contado con 2 500 instituciones de 96 países.

"Estamos acostumbrados a ver el vidrio en los envases, en los acristalamientos, en los parabrisas de los coches... Eso es lo más visible, pero todo el resto de las cosas son invisibles. El vidrio es fundamental en las energías renovables: tanto en las centrales de concentración solar, como en las centrales fotovoltaicas, y en energía eólica, donde las palas de los aerogeneradores, que son de un material compuesto de matriz polimérica, están reforzadas con fibra de vidrio, hasta el 80 por ciento en peso, en algunos casos", explica la investigadora, que pasa a enumerar las muchas áreas de las que forma parte.

Una de ellas es en biomedicina, donde tiene numerosas aplicaciones; por ejemplo, los llamados biovidrios, un tipo de material —silicato de calcio con algo de sodio y fósforo— que al entrar en contacto con el plasma o la sangre genera hidroxiapatita, el mineral natural de los huesos. "Dos meses después de utilizarlo en una fractura, por ejemplo, en pacientes con osteoporosis, el vidrio ya no es detectable porque se convertido completamente en hueso", explica.

Estos materiales han ayudado a más de dos millones de pacientes a regenerar huesos que no se habrían curado por sí solos y también se están utilizando en pastas de dientes, pero desde hace unos cinco años, los investigadores han fabricado otro tipo de materiales para regenerar tejido muscular y la piel. "Se trata de unos parches hechos de unas fibras muy finitas de vidrios de borato, parecidas al algodón de azúcar, que se prensan en un parche. Éstos se ponen en heridas persistentes, en diabéticos, por ejemplo, que pueden llevar a la amputación. Se ponen en los hospitales, todavía no están en las farmacias, y se van cambiando una vez por semana. Entre seis y ocho semanas la herida está completamente curada".





Arriba, vidrieras góticas hechas con vidrio. Abajo, casco de barco hecho con fibra de vidrio.

Mientras, en odontología prácticamente todos los materiales actuales son vidrios o vitrocerámicos; más recientemente, unos vidrios muy especiales se distribuyeron por el mundo con un líquido preciado en su interior: las vacunas contra la covid-19. Aunque parezcan botellitas normales, estos vidrios tienen una altísima resistencia química para que no interactúen con la vacuna, y una altísima resistencia térmica para poder guardarlos a más de 100° C bajo cero. También se usan para contener medicamentos como, por ejemplo, los que se usan en quimioterapia.

"Y otra aplicación que seguramente es la más escondida y la más importante es la fibra óptica, fundamental para las telecomunicaciones y, por tanto, para internet. De la fibra óptica inventada en el año 67 a las fibras ópticas actuales ha habido una evolución tremenda; ahora son fibras con muchos agujeros en los que se multiplica la capacidad y la velocidad de transmisión de información. La fibra óptica, que es invisible y escondida, es la base de Internet, de la revolución de las telecomunicaciones y del fenómeno de globalización, que es un tema eminentemente económico, aunque en algunos momentos, por ejemplo durante la pandemia, hemos percibido que tiene también una dimensión social. La evolución de esas fibras ópticas tan nuevas son la base del 5G", explica Durán.



Los envases de vidrio siguen siendo los más utilizados en sectores como el vino.

En el campo del vidrio plano, o vidrio flotado, tan usado actualmente en arquitectura, hay muchísimas aplicaciones y los acristalamientos cada vez tienen más propiedades; por ejemplo, los recubrimientos fotocrómicos, electrocrómicos, a los que aplicando una diferencia de potencial pasan de ser transparentes a coloreados. Los acristalamientos inteligentes, bajo emisivos, con control solar, permiten ahorrar una cantidad enorme de energía y reducir de forma drástica las emisiones de $CO_2$.

En los últimos años, los vidrieros, a los que Durán llama los primos pobres de los ceramistas, están creando materiales nanovitrocerámicos con propiedades fotónicas y luminiscentes, y también recubrimientos de vidrios por un proceso químico denominado sol-gel en el que el equipo de Durán son expertos. Estos recubrimientos pueden usarse para la protección anticorrosiva de metales, y también pueden tener propiedades fotocatalíticas de manera que se han diseñado recubrimientos autolimpiantes de vidrios, hidrofóbicos o hidrofílicos, oleofóbicos, antirreflejantes…

Además de todo esto, el vidrio es el único material que puede reciclarse infinitas veces, al no degradarse durante el proceso de reciclado. Esto ha contribuido a abaratar su producción y a reducir el consumo de materias primas. En Europa ya se recicla el 78 % de los envases.

## Horno para el futuro

Entre todas estas cualidades que han hecho de él un material único, el vidrio tiene una limitación que es el alto consumo de energía en su producción: las materias primas son muy baratas, pero hay que fundirlas y llevarlas a 1 500 grados, de forma que la factura energética es el gasto fundamental. En el último medio siglo, desde los años 70, la industria ha reducido en más de un 50 % el consumo energético, pero sigue buscando nuevas formas de reducirlo, evitando además así las emisiones de dióxido de carbono.

El proyecto Furnace for the Future (horno para el futuro) está liderado por las 19 empresas vidrieras más importantes del mundo con el objetivo de construir un horno muy especial. Por un lado, se trata de sustituir los combustibles fósiles por hidrógeno, lo cual no es fácil, pero ya se ha logrado; por otro, calentar con electricidad solar, eólica o mezcla de las dos. "El prototipo se está haciendo en el Reino Unido y se pensaba que estaría listo el pasado mes de noviembre, pero no les ha dado tiempo, quizás para marzo o abril, pero bueno estamos muy cerca. El problema es el tamaño de los hornos de vidrio plano que son enormes, su superficie es de unos 150 metros cuadrados. Hasta las 150 toneladas por día ya se sabe hacer y sale un vidrio de altísima calidad, pero los hornos comerciales producen entre 900–1 200 toneladas por día. Ahí está el desafío", señala Durán.

En el mundo existen otros prototipos de horno, digamos, eficiente, y el pasado año, el fabricante de vidrio Saint-Gobain consiguió la primera producción mundial de vidrio plano, cerca de 2 000 toneladas, a partir de vidrio plano reciclado exclusivamente, lo que no es fácil, y biogas como combustible para alimentar la fusión.

"La idea que nosotros teníamos cuando presentamos la candidatura del Año Internacional era hacer visible lo invisible, llegar a la gente y demostrar que el vidrio es el material sobre el cual se puede construir un mundo más sostenible y más justo, energías limpias que permitan eliminar los combustibles fósiles, internet para conectarse con los sitios más lejanos del planeta y con las poblaciones más vulnerables, para dar la oportunidad de igualarse al resto de alguna manera", concluye la investigadora.

Arriba, acceso al catálogo de la exposición "La edad del vidrio", realizada por el CSIC con motivo del Año Internacional. Abajo, acceso a la visita virtual de la exposición.



El internet de las cosas se asienta en el sector energético, la agricultura y la conectividad

# Objetos que navegan por la red

¿Tienes una de esas pulseras de entrenamiento que miden la presión arterial o las calorías que has consumido? ¿El sistema de climatización de tu casa es capaz de detectar si hace frío para activar la calefacción y te lo notifica a través del móvil? ¿Recibes en el GPS de tu coche información en tiempo real sobre plazas de aparcamiento disponibles? Todo esto son ejemplos de internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés), un concepto que hace referencia a la interconexión digital de todo tipo de objetos físicos que se conectan a la red y se comunican con otros objetos y con los humanos. Cada vez se utiliza más y mejor en todo tipo de sectores económicos.

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

Un ecosistema IoT está formado por sensores incorporados a los objetos que recogen datos, la red de internet a la que se conectan para que se pueda acceder a ellos, la nube donde se guarda y se utiliza la información y sus aplicaciones, explica Ahmed Banafa, profesor de la Universidad Estatal de San José (California, EE.UU.) y experto en tendencias tecnológicas.

Es decir, primero se captura el dato del entorno físico, se analiza en la nube y después se reacciona a lo que se ha encontrado. De forma muy resumida, "siempre que haya un dispositivo que recoja datos y los envíe a la nube podemos hablar de IoT", define Aurora Gil de Castro, profesora de la Universidad de Córdoba del Área de Tecnología Electrónica.

Más allá de pequeñas utilidades diarias y aunque esta tecnología empezó a mencionarse hace ya bastantes años, su impacto a lo grande en las industrias es mucho más reciente. Según Banafa, este auge viene motivado por una serie de cambios tecnológicos significativos que se han dado a la vez: sistemas de procesamiento más baratos, teléfonos inteligentes, cobertura inalámbrica, el *big data* y el protocolo de direcciones IP IPv6. Los beneficios de disponer de una red de cosas conectadas entre sí pasan por mejorar en productividad, eficiencia, interoperabilidad y seguridad.

Pero no todo es un campo de flores: el IoT aún tiene retos que solucionar, entre los que el experto destaca la escalabilidad, la conectividad o disponer de modelos de negocio sólidos. Pero

esas exigencias ya han llegado. "En la actualidad encontramos aplicaciones del IoT en todos los ámbitos, desde las conocidas ciudades inteligentes para control del alumbrado público o gestión del tráfico hasta la agricultura para monitorización de los cultivos; e incluso en la sanidad, para el seguimiento de las pulsaciones o la presión arterial de un paciente", dice Gil de Castro.

El internet de las cosas aplicado a la industria recibe el nombre de IIoT (*industrial internet of things*) y, según datos de Oxford Economics, podría impulsar industrias que representan el 62 % del producto interior bruto en los países del G20. El uso de vehículos autónomos, la optimización del rendimiento de las máquinas y la mejora de la logística y la distribución son algunas de las ventajas que posibilita, además de beneficiar a los trabajadores con una mayor seguridad y una mejor interacción humano-máquina.

"Pensábamos que el IoT iba a avanzar mucho más rápido en el mundo industrial de lo que lo ha hecho, pero sí que hemos visto un cambio de ritmo en los últimos dos o tres años. Es normal, porque en entornos críticos, donde la seguridad es tan importante, es habitual esperar hasta que una tecnología está madura antes de aplicarla en el día a día", explica Juan Benavente, director de Tecnología en el centro tecnológico Phi4Tech. Para este experto, lo que sí se estaba haciendo ya era explotar los datos de entornos industriales, pero gracias al IIoT esta explotación se ha profesionalizado y hay datos más ricos y más variados: "La analítica se ha llevado a un nivel superior y, en concreto, las aplicaciones del IoT ya se extienden a escenarios como el sector nuclear, las refinerías y el sector energético en general".



Aurora Gil de Castro.



Ahmed Barafa.

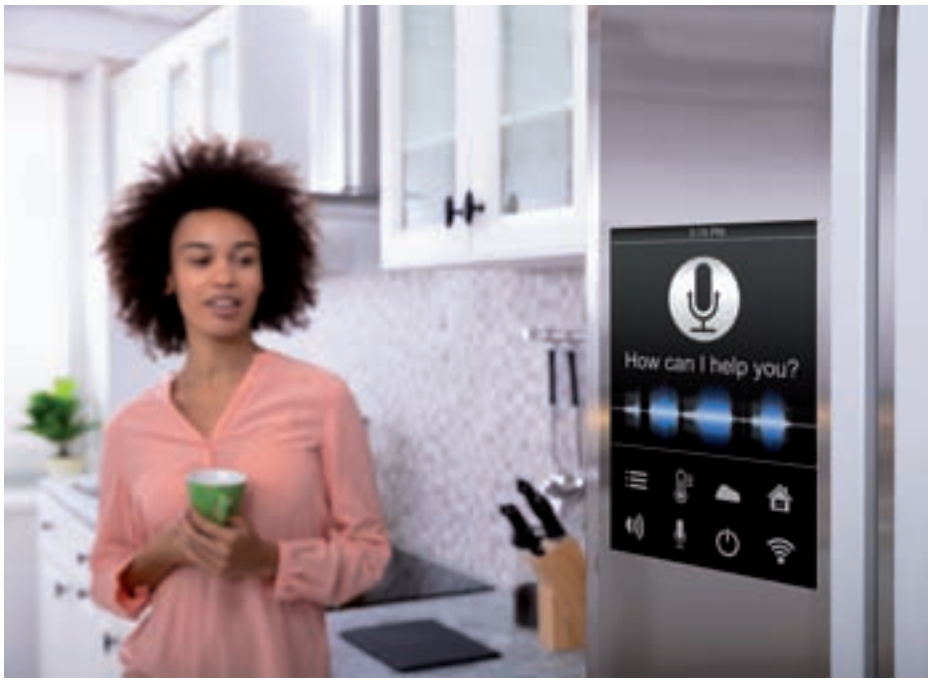
## Aplicaciones potenciales

Ante desafíos atemporales del sector energético, se idean soluciones nuevas que impactan en todos los pasos de la cadena. "Uno de los retos que han tenido las industrias energéticas que se basan en recursos naturales (como las petroleras, de gas o las nucleares con el uranio), ha sido encontrar la reserva y poder 'entenderla', es decir, saber qué cantidad de toneladas de mineral o de recurso hay, y también ser capaces de explotar esa reserva de la forma más eficiente", explica Benavente. El IoT podría utilizarse para la geolocalización de estas fuentes y para la gestión de nuevas reservas, ayudando a crear procesos cada vez más sensorizados y con un uso de los datos más intensivo.

También podría ser útil para el seguimiento de activos, algo imprescindible en un sector como el nuclear y radiológico, con instalaciones médicas de por medio y activos muy delicados. En particular, podría ser crucial para la trazabi-




El internet de las cosas podría facilitar la localización de fuentes radiactivas extraviadas




Los frigoríficos con IoT gestionarán el estado de los alimentos y harán la lista de la compra.

lidad del recorrido de fuentes radiactivas: si se desconoce su rastro, los escenarios pueden ser peligrosos. A veces se encuentran fuentes perdidas y se ignora su origen. Otras, se roban, como ocurrió en 2022 con el hurto de un maletín con material radiactivo en Fuenlabrada (Madrid), y es vital poder localizarlas y recuperarlas lo antes posible. En otras ocasiones se pierde su rastro y ocurren accidentes, como el incidente de Acerinox en Cádiz en 1998, en el que una fuente perdida acabó derretida en una planta de procesamiento de chatarra, con la consiguiente contaminación radiactiva.

La importancia de la trazabilidad no radica solamente en localizar las fuentes, sino también en poder identificar al eslabón de la cadena que ha errado en el procedimiento que se ha de seguir para los residuos radiactivos. En este sentido, el IoT puede ser una herramienta idónea.

"Antes, la trazabilidad se hacía de forma discreta en puntos concretos del proceso. Ahora, el uso de dispositivos IoT que acompañen al materíal harían posible una trazabilidad continua. Esto es una garantía de seguridad para los materiales críticos", señala Benavente. Además, las fuentes radiactivas no se usan exclusivamente en entornos nucleares: también en hospitales, laboratorios, industrias y en el sector de la construcción.

El Consejo de Seguridad Nuclear tiene distintos protocolos para asegurar la trazabilidad de estas fuentes radiactivas, que incluyen el seguimiento y control de las transferencias de activos que entran en España hasta su salida, hasta el final de su vida útil o hasta que son almacenadas en una instalación autorizada, así como una comprobación periódica de su localización.

Por otro lado, el IIoT y la inteligencia de análisis de datos puede utilizarse para la gestión, mantenimiento y supervisión de las propias instalaciones, para que esta sea más autónoma y pueda realizarse sin la necesidad de desplazarse al entorno industrial. "Hemos pasado de tener instalaciones supervisadas *in situ* a poder hacerlo de manera remota, como en la gestión de parques eólicos. También se pueden tomar decisiones a distancia y aplicarlas directamente en la instalación. Las industrias están consiguiendo hacer que estos procesos sean cada vez más autónomos", detalla Benavente.

Por ejemplo, en el sector nuclear, el IIoT se puede usar para "la monitorización de las condiciones de funcionamiento de las plantas, con parámetros como presión, flujo o temperatura, así como parámetros de vigilancia y contingencia a través de datos de cámaras de seguridad, medidas de peso o verificación de contenedores", añade Aurora Gil de Castro.

## Se hace la luz para el IoT eléctrico

El sector eléctrico también se encuentra inmerso en el paradigma del IoT, con aplicaciones diversas, como enumera Gil de Castro: medidores inteligentes para conocer el consumo eléctrico, y control de iluminación o climatización para regular la intensidad luminosa o la temperatura de forma automática. También hay estrategias para dar mayor estabilidad a la red eléctrica con la conexión, agregación y control de cargas, o IoT para el alumbrado público en ciudades inteligentes y entornos industriales.

Gil de Castro investiga en calidad de la energía e internet de las cosas, y diseña sensores IoT para poder medirla. Cuenta que en la actualidad existen numerosos equipos comerciales que ana-





Sistema de medición de condiciones de los cultivos que envía información automáticamente.

lizan la calidad de la energía, ofreciendo sus propios servicios en la nube en la que almacenan los datos. Sin embargo, "la solución en la que trabajamos en nuestro grupo de investigación está enfocada en el desarrollo de un sensor IoT que mida la calidad de la energía según establece la normativa europea para los medidores comerciales y que sea de bajo coste, permitiendo así correlacionar múltiples puntos medidos sin alcanzar un precio excesivo", dice. En general, cree que el IoT puede ayudar a optimizar recursos y abaratar costes: "Proporcionar un adecuado nivel de iluminación sin gastar más de lo necesario y con una adecuada calidad de la energía es uno de los retos que se deben conseguir".

## Agricultura conectada

El sector de la agricultura vive también un momento desafiante: la población aumenta y, con el crecimiento demográfico, la cantidad de alimento también debe aumentar, pero la realidad hídrica es otra. Mientras que es el sector que más agua consume (el 70 % del agua dulce que se consume), los episodios de sequía cada vez son más largos y frecuentes, y casi una cuarta parte de la población mundial habita en zonas con estrés hídrico extremo, según datos del Instituto de Recursos Mundiales.



Domenico Giustiniano.

"La agricultura necesita desarrollarse de manera más eficiente y sostenible. El monitoreo de las variables ambientales todavía se realiza en gran medida con métodos tradicionales, como personas que verifican visualmente el estado de plantas y vegetales. Esto hace que la producción no sea óptima y que se desperdicien muchos recursos como agua, fertilizantes o energía", indica Domenico Giustiniano, investigador del instituto IMDEA Networks.

A esta llamada de emergencia, el IoT acude. "La tecnología IoT permitirá monitorear y medir las variables del entorno. Estos datos se enviarán a la nube, donde algoritmos inteligentes tomarán decisiones óptimas sobre la cantidad de agua y otros parámetros que se pueden controlar; por ejemplo, la cantidad de luz en el caso de instalaciones interiores", dice Giustiniano. Otro parámetro que se puede medir es la humedad del suelo: "Según el nivel de humedad medido con sensores IoT, el riego se ajusta y se optimiza el consumo de agua".

Estas mejoras y sistemas de control automáticos impulsan el sector hacia la agricultura de precisión, que le coloca a todo el adjetivo 'inteligente': invernaderos inteligentes, riego inteligente, control inteligente de plagas... ¿Hasta qué punto está todo esto realmente implementado? "En España ya existen varias instalaciones que utilizan sensores para monitorizar la calidad de los cultivos. Hay menos invernaderos debido a las buenas condiciones climáticas y, por lo tanto, la inversión general en in-



## Otro reto a la ciberseguridad

Como en toda tecnología conectada a internet, hay una parte fundamental que no se puede olvidar: la ciberseguridad. De hecho, la paradoja es que algunas de las aplicaciones de los dispositivos IoT tienen como objetivo garantizar la seguridad de los activos sensorizados, pero ¿qué pasa con la ciberseguridad del propio dispositivo IoT?



Ignacio Porro.

Se estima que hay ya unos 30 000 millones de dispositivos conectados a la red. "Igual que han aumentado los tipos de dispositivos IoT, han crecido también los riesgos y, por ende, las amenazas", alerta Ignacio Porro, técnico de Ciberseguridad de Empresas del Instituto Nacional de Ciberseguridad de España (INCIBE). Este experto cree que "cada día las empresas y los usuarios tienen más conocimiento y más concienciación en materia de ciberseguridad, pero, debido a la multitud de dispositivos IoT que existen, es complicado que la ciberseguridad avance a la par que avanzan estos". Por eso, la posibilidad de sufrir un ciberataque por una vulnerabilidad que no haya sido parcheada o corregida se multiplica.

No hay riesgo pequeño, especialmente si hablamos de activos sensibles, como los del sector industrial y energético. "Si utilizamos dispositivos IoT para la geolocalización y el seguimiento, y estos se ven comprometidos, un ciberatacante podría saber dónde se almacenan los residuos radiactivos o conocer las rutas para transportarlos", ejemplifica Porro. Además, al acceder a un sensor, el agresor podría no solo ver esos datos, sino incluso ejecutar código, indica.

Si esto sucede, no solo podría estar en peligro el propio activo, sino también los demás, porque de un dispositivo IoT vulnerable se puede saltar a otro dispositivo al que esté conectado y esto puede abrir la puerta a que se comprometa la seguridad de otros activos. "Estas operaciones podrían causar graves daños o, incluso, un desastre", advierte Porro.

Ante estos riesgos en cadena, se desarrollan soluciones. "Lo primero que se debería hacer es tener actualizados y controlados todos los dispositivos, desactivar las funciones innecesarias y también todo dispositivo que no se utilice o que no se pueda controlar", enumera Porro. Si no es posible actualizar el dispositivo porque el fabricante ha dejado de proporcionar actualizaciones, aunque funcione bien, el experto indica que deberíamos desecharlo, "ya que podría tener vulnerabilidades no parcheadas, pero sí conocidas por los ciberdelincuentes, que podrían ser un vector de entrada para realizar un ciberataque".

vernaderos inteligentes y agricultura de precisión también es más limitada. Sin embargo, esto podría variar en pocos años debido al cambio climático y la necesidad de tener un ambiente más controlado", responde el investigador.

Precisamente, la investigación de Giustiniano está relacionada con los invernaderos. En la búsqueda de la sostenibilidad, desde IMDEA Networks trabajan en dispositivos de comunicación IoT que no tienen baterías y que transmiten y reciben datos a través de la luz. "Las baterías de estos dispositivos suelen contener en gran medida litio, un componente químico difícil de extraer, escaso y que puede tener un impacto ambiental nocivo significativo. Lo que hacemos es aprovechar la adopción de la tecnología LiFi, que utiliza bombillas LED comerciales que se vuelven *inteligentes* para fines de comunicación", explica. Así, en lugar de tener baterías, sus dispositivos capturan ener-



gía a través de cualquier fuente emisora de luz en pequeñas celdas solares hechas de silicio, un material ampliamente disponible en la Tierra y más respetuoso con el medio ambiente que el litio. En el sector de los invernaderos, esto significa que pueden usar las luces existentes para comunicarse con los dispositivos IoT.

## Conectividad caída del cielo

Para todas estas aplicaciones, además del dispositivo IoT con sensores hace falta algo primordial que viene incluido en el propio nombre de la tecnología: internet. Sin un enlace a la red, no se pueden enviar datos en tiempo real ni establecer conexiones entre dispositivos. Sin embargo, la conectividad global aún no es una realidad y hay zonas de la Tierra que no disponen de conectividad terrestre. Los activos localizados en estas zonas no se podrían sensorizar para acceder a su información de manera automática o periódica.

De nuevo, la solución viene de la mano de la tecnología, en este caso, de los satélites. "Hoy en día pueden monitorizar activos en zonas remotas donde antes era imposible acceder gracias a la conectividad satelital", indica Estefanía Quiroz, directora de Desarrollo de Negocio de FOSSA Systems, empresa que ofrece satélites miniaturizados, lo que los hace más asequibles y eficientes, y nodos IoT.

Gracias al despliegue de estos minisatélites, son capaces de habilitar el internet de las cosas en lugares donde antes no llegaba. "Con el IoT podemos monitorizar esos activos en zonas remotas. Los casos de uso son infinitos: monitorización de redes de distribución



Estefanía Quiroz.



Juan Benavente.

del agua, de cabezas de ganado, del transporte marino o de la corrosión galvánica de tuberías en oleoductos", explica Quiroz.

Antes, en esos casos tenía que ir un operario una vez a la semana a comprobar el estado de la tubería; ahora, trabajan con sistemas automáticos que entregan el dato dos veces al día, dice Quiroz, quien mira al futuro de la conectividad y el IoT y asegura que, "cuantos más satélites desplegados haya, menor será el tiempo de latencia (retraso en la transmisión) y mayores serán las posibles aplicaciones en situaciones que requieran de una actualización en tiempo real".

## Cerrar el círculo del IoT

En escenarios donde se tengan en cuenta la seguridad y la protección de los datos, y donde se utilice estratégicamente la tecnología como un medio y no como un fin, el internet de las cosas tendrá campo abierto para crecer. Juan Benavente cree que a esta tecnología aún le queda recorrido para seguir avanzando y "conseguir una fabricación de lazo; donde todo: el dato que se recoge, la decisión que se toma y la acción que se implementa, es un ciclo cerrado gracias a la tecnología". Para este experto, en los próximos años también será clave el enfoque medioambiental: "Hay y debe haber preocupación al respecto, y la trazabilidad que permite el IoT es una buena manera de marcar el camino por la sostenibilidad".

Por su parte, Ahmed Banafa augura que "surgirán otros muchos ecosistemas IoT, y las batallas comerciales y técnicas entre ellos dominarán áreas como el hogar inteligente, la ciudad inteligente, las finanzas y la sanidad". Pero, más allá de los retos que surjan por el camino, "los verdaderos ganadores serán los ecosistemas que cuenten con herramientas de análisis del IoT mejores, fiables, rápidas e inteligentes, ya que lo que importa es cómo convertir los datos en información, la información en acciones y las acciones en beneficios".



# Nuevo Reglamento sobre protección de la salud ante los riesgos de las radiaciones ionizantes

El 20 de diciembre de 2022 se aprobó el Real Decreto 1029/2022, Reglamento sobre Protección de la Salud contra los Riesgos derivados de la Exposición a las Radiaciones Ionizantes. Se incorpora así al derecho español gran parte del articulado de la Directiva 2013/59/Euratom del Consejo, de 5 de diciembre de 2013, por la que se establecen las Normas de Seguridad Básicas para la Protección contra los Peligros derivados de la Exposición a Radiaciones Ionizantes. Entre las principales novedades del nuevo Real Decreto respecto al anterior (Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes), que queda derogado, cabe destacar la definición de tres tipos de situaciones de exposición (planificada, de emergencia y existente), la revisión de algunos de los límites de dosis para los trabajadores para su mejor protección y la inclusión e integración de la protección contra las fuentes de radiación naturales en los requisitos globales. Además, se incorpora todo lo relativo a la protección operacional de los trabajadores externos con riesgo de exposición a radiaciones ionizantes por intervención en zona controlada.

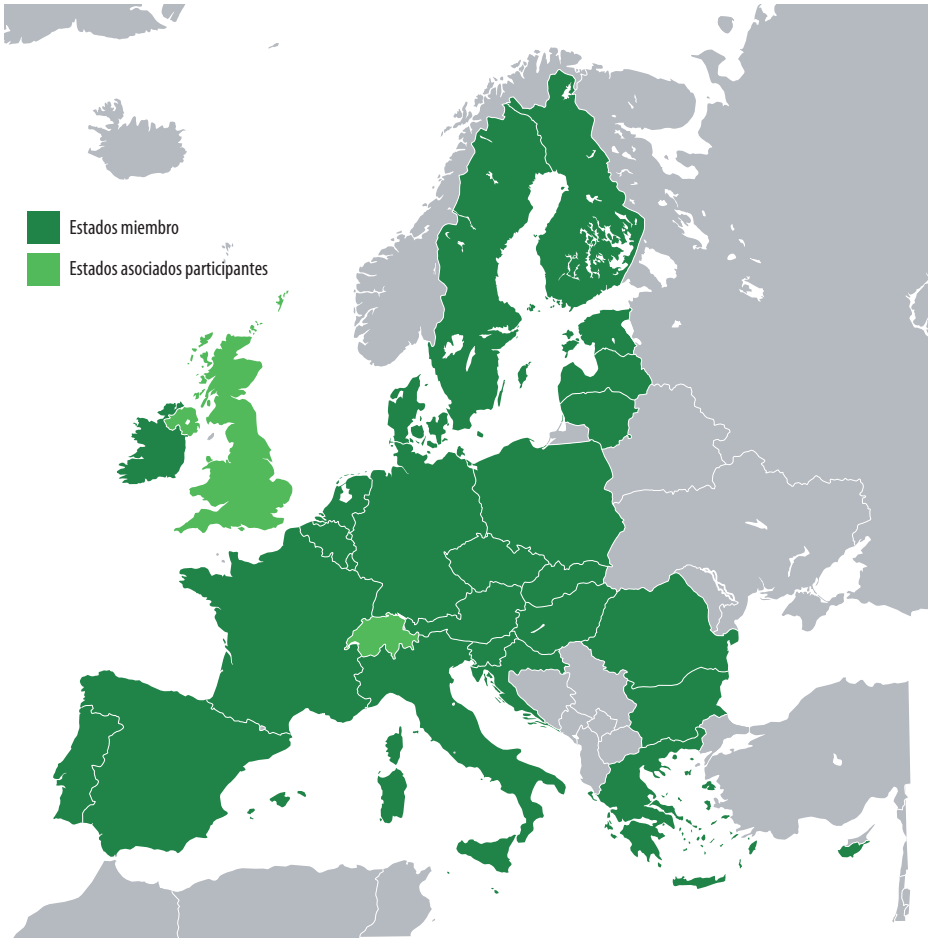
■ Texto: **Ana María Hernández Álvarez** | Jefa de gabinete de la Dirección Técnica de Protección Radiológica ■

La Directiva 2013/59/Euratom del Consejo, de 5 de diciembre de 2013 estableció las normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes y derogó las siguientes directivas:

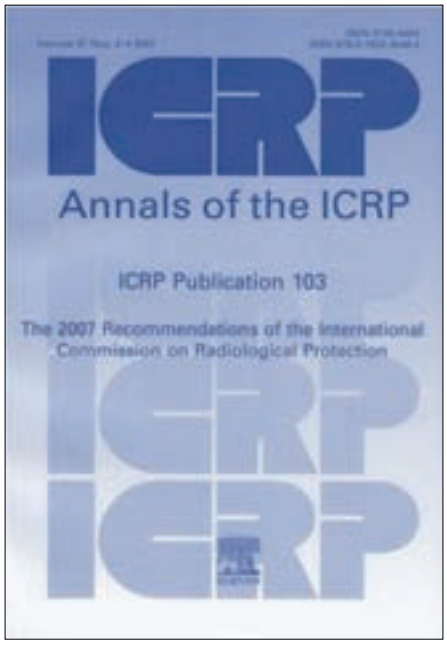
— Directiva 89/618/Euratom del Consejo, de 27 de noviembre de 1989, relativa a la información de la población sobre las medidas de protección sanitaria aplicables y sobre el comportamiento a seguir en caso de emergencia radiológica.

— Directiva 90/641/Euratom del Consejo, de 4 de diciembre de 1990, relativa a la protección operacional de los trabajadores exteriores con riesgo de exposición a radiaciones ionizantes por intervención en zona controlada.

— Directiva 96/29/Euratom del Consejo, de 13 de mayo de 1996, por la que se establecieron las normas básicas relativas a la protección sanitaria de los trabajadores y de la población contra los riesgos que resultan de las radiaciones ionizantes.




Comunidad Europea de Energía Atómica (Euratom).










Arriba, Recomendaciones Básicas de ICRP-103 y Directiva 2013/59/Euratom. Abajo, publicación en el BOE del Real Decreto 1029/2022.

— Directiva 97/43/Euratom del Consejo, de 30 de junio de 1997, relativa a la protección de la salud frente a los riesgos derivados de las radiaciones ionizantes en exposiciones médicas.

— Directiva 2003/122/Euratom del Consejo, de 22 de diciembre de 2003, sobre el control de las fuentes radiactivas selladas de actividad elevada y de las fuentes huérfanas

Así, mediante esta directiva se consolida la reglamentación europea en protección radiológica agrupando en una sola directiva las cinco existentes anteriormente.

Por otra parte, con la publicación de la Directiva 2013/59/Euratom se adaptaron las normas europeas de protección radiológica al sistema establecido en las Recomendaciones Básicas de ICRP-103 (2007)[1] y se introdujo una estrategia de mayor coherencia con las normas básicas del OIEA (2014) en lo relativo a la clasificación de fuentes de alta actividad, a la implantación de un enfoque gradual al control regulador y a los niveles de exención y de desclasificación. Así mismo, introdujo unos requisitos más exigentes en todo lo relacionado con la exposición de trabajadores y de miembros del público a fuentes de radiación natural.

## Directiva 2013/59/Euratom: Adaptación del ordenamiento jurídico español

Dado el amplio alcance de la nueva directiva, la incorporación de su articulado al derecho español ha sido un camino largo y complejo y ha supuesto un importante esfuerzo de coordinación y consenso a nivel nacional: se ha visto afectada numerosa normativa y contempla requisitos que son competencia de diferentes ministerios (Industria, Defensa, Interior, Fomento, Trabajo, Sanidad), así como del Consejo de Seguridad Nuclear.

Al objeto de transponer la nueva directiva, el Ministerio de Asuntos Exteriores designó en su momento al Ministerio de Industria, Energía y Turismo (actual Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico-Miteco) quien, en consecuencia, ha actuado como coordinador entre los diferentes agentes implicados. El Consejo de Seguridad Nuclear, como único organismo competente en España en materia de seguridad nuclear y protección radiológica ha tenido un papel fundamental en este proceso y ha trabajado en estrecha colaboración con el Miteco.

Parte del articulado de la Directiva 2013/59/Euratom, se transpuso a la reglamentación española mediante la publicación de los siguientes Reales Decretos:

- Real Decreto 601/2019, de 18 de octubre, sobre justificación y optimización del uso de las radiaciones ionizantes para la protección radiológica de las personas con ocasión de exposiciones médicas, que traspuso lo relativo a exposiciones médicas (artículos de la Directiva del 55 al 64 y otros parcialmente)
- Real Decreto 732/2019, de 20 de diciembre, por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación, aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo (BOE 27 diciembre de 2019), para los artículos 74 y 103 de la Directiva.

[1] ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4).

- Real Decreto 451/2020, de 10 de marzo, sobre control y recuperación de las fuentes radiactivas huérfanas (BOE 27 abril 2020), que traspuso los artículos 14, 92 a 95 y otros parcialmente de la Directiva.
- Real Decreto 586/2020, de 23 de junio, relativo a la información obligatoria en caso de emergencia nuclear o radiológica (BOE 24 de junio 2020), que traspuso los artículos 70, 71 y otros parcialmente de la Directiva.

Sin embargo, la mayor parte del articulado de dicha Directiva ha sido incorporado al derecho español con la publicación en el BOE número 305, el 21 de diciembre de 2022, del Real Decreto 1029/2022, de 20 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección de la salud contra los riesgos derivados de la exposición a las radiaciones ionizantes (RPSI), que constituye la base para la aplicación de los principios de la protección radiológica en España.

En cuanto a la transposición de la Directiva, los aspectos que no están incluidos en los reales decretos citados quedarían reflejados en los siguientes documentos:

- Proyecto de Real Decreto por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas y otras actividades relacionadas con la exposición a las radiaciones ionizantes, que afecta a la transposición de una treintena de artículos relacionados con el control regulador, la aplicación al mismo del enfoque gradual, fuentes de alta actividad, productos de consumo, radiación natural y otros aspectos.
- Proyecto de Real Decreto por el que se regulan los suelos o terrenos contaminados radiológicamente (art. 100-102 de la Directiva).
- Proyecto del Plan Nacional de Radón (art. 103 de la Directiva)

**Tabla 1. RPSI: estructura y contenido**

| |
|---|
| **Diez títulos** |
| Título I Disposiciones generales |
| Título II Sistema de Protección Radiológica |
| Título III Sistema de exposición planificada |
| Título IV Principios fundamentales de protección TE y personas en formación y estudiantes |
| Título V Protección radiológicas de los miembros del público en circusntacias normales |
| Título VI Situacionesde emergencia |
| Título VII Situaciones de exposición existente |
| Título VIII Inspección |
| Título IX Régimen sancionador |
| Título X Autoridades competentes |
| **Nueve disposiciones adicionales** |
| sobre aplicación de otra normatíva (por ejemplo, prevención de riesgos, tratamiento de datos de carácter personal, etc.) y sobre aspectos específicos (por ejemplo, exposición a radiación natural, empresas externas, etc.). |
| **Cuatro disposiciones transitorias** |
| validez de autotizaciones vigentes, límites de dosis a cristalino, estimación de dosis por exposición interna y servicios de doimetróa personal de radón. |
| **Siete anexos** |
| estimación de dosis, justificación prácticas productos de consumo, señalización de zonas, tipos de exposición existente, materiales de construcción, Plan Nacional contra el radón. |

En cuanto a los aspectos relacionados con las emergencias (artículos 7, 69, 97 y 98 de la Directiva) afectan a documentos específicos, competencia del Ministerio del Interior.

## RPSI: Principales novedades respecto a la anterior reglamentación vigente

El nuevo reglamento supone una revisión del Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes (RD 783/2001, de 6 de julio), teniendo en cuenta fundamentalmente lo reflejado en la Directiva 2013/59 de Euratom, e incorpora así mismo los requerimientos aplicables a los trabajadores externos anteriormente contenidos en el Real Decreto 413/97, de 21 de marzo, sobre protección operacional de los trabajadores externos con riesgo de exposición a radiaciones ionizantes por intervención en zona controlada (ambos quedan derogados).

Una de las importantes novedades que incorpora la nueva directiva es la clasificación de situaciones de exposición reflejada en la publicación ICRP-103 (planificadas, emergencias, existentes) así como los instrumentos de optimización establecidos en dichas recomendaciones (restricciones de dosis, niveles de referencia y niveles de referencia de diagnóstico).

En base a lo anterior, el RPSI, dentro del Objeto y ámbito de aplicación (art. 1 y 2), establece que todas las exposiciones a radiaciones ionizantes se encuentran en alguna de dichas situaciones, sobre las que posteriormente se estructura este Reglamento (Tabla 2).

Un segundo aspecto resaltable del nuevo Reglamento es la incorporación de todo lo relativo a la protección contra las fuentes de radiación natural, en coherencia con lo establecido en el Directiva 2013/59/Euratom, que introduce unos requisitos más exigentes en todo lo relacionado con este tema.

**Tabla 2. Situaciones**

| |
|---|
| **Situaciones de exposición planificada** |
| Aquellas que surgen del uso planificado de una fuente de radiación o de una actividad humana que altera las vías de exposición, causando la exposición o exposición potencial de las personas o del medio ambiente. Las situaciones de exposición planificada pueden incluir tanto las exposiciones normales como las potenciales. |
| **Situaciones de exposición de emergencia** |
| Aquellas debidas a una emergencia nuclear o radiológica. |
| **Situaciones de exposición existente** |
| Situaciones de exposición que ya existen cuando debe tomarse una decisión sobre su control y que no requieren, o ya no requieren, la adopción de medidas urgentes, o bien situaciones de exposición creadas por una fuente de radiación cuya ubicuidad o magnitud hace injustificado su control de acuerdo con los mismos criterios aplicables a una situación de exposición planificada. Incluyen las situaciones de exposición prolongada después de una emergencia nuclear o radiológica. |

En el RPSI, la protección contra las fuentes de radiación naturales, en lugar de tratarse separadamente en un título específico, se integra totalmente en los requisitos globales.

- Las industrias que procesan materiales que contienen radionucleidos naturales deben gestionarse dentro del mismo marco reglamentario que otras prácticas.
- Se consideran situaciones de exposición existente (art. 2.1c y anexo V) la exposición a fuentes de radiación natural, incluidas la exposición en recintos cerrados al radón y al torón, como lugares de trabajo, viviendas y otros edificios, a exposición externa a la radiación, procedente de los materiales de construcción, y la exposición de los miembros de la tripulación de aeronaves y vehículos espaciales. Sin embargo, en algunos casos, y de acuerdo con lo establecido en el articulado del RPSI, estas se deben gestionar como situaciones de exposición planificada, aplicando requisitos específicos de protección radiológica.

En este mismo sentido, es importante destacar que el RPSI considera trabajadores expuestos a aquellas personas que, implicando exposición a radón o radiación cósmica en aeronaves o vehículos espaciales, desarrolla su trabajo en actividades laborales que se gestionan como situaciones de exposición planificada (art. 3.84).

En cuando los coeficientes de dosis para la exposición externa e interna, y a fin de facilitar su actualización cuando sea necesario, no se incluyen en la RPSI las correspondientes tablas con los valores a aplicar, sino que se establecerán por el Consejo de Seguridad Nuclear de acuerdo con lo establecido en el propio RPSI. En consecuencia, el regulador adoptó el 17 de enero de 2023 una resolución que establece los coeficientes de dosis efectiva por exposición externa y que están basados, tal y como establece el RPSI, en las Recomendaciones de la ICRP 103. En el caso de la exposición interna, se mantienen vigentes los establecidos en el Real Decreto 783/2001, hasta su actualización por el CSN.

Por último, cabe resaltar que en el RPSI se especifican de forma detallada (art. 84) todas y cada una de las responsabilidades de las distintas autoridades competentes implicadas en la aplicación práctica del mismo.

## Situaciones de exposición planificada

El RPSI define en el título II el Sistema de protección radiológica y los principios en los que se fundamenta. En el caso de las situaciones de exposición planificada





Dos ejemplos de situación de exposición planificada: la actividad en una central nuclear (en la foto, Cofrentes) y pruebas diagnósticas médicas, como una radiografía.



El principio de justificación exige que los beneficios de una exposición superen a los riesgos, como en la radioterapia.

(título III), se incorporan novedades que afectan a cada uno de estos principios y que se resumen a continuación:

### Aplicación del principio de justificación

- Se requiere (art. 7.1) la justificación de nuevas prácticas por los promotores ante la Dirección General de Política Energética y Minas, quien, previo informe del CSN, decidirá si procede su autorización.
- Se prohíbe la venta o puesta a disposición del público de productos de consumo cuyo uso no haya sido previamente justificado (art. 8.2) y se especifica en detalle (Anexo II) el proceso a seguir para la justificación.
- Se prohíbe (art. 8.5) la exposición deliberada de personas para la obtención de imágenes no médicas, salvo en aquellos casos que dichas prácticas hayan sido expresamente justificadas y autorizadas.

### Aplicación del principio de optimización

La Directiva 2013/59/Euratom pone mayor énfasis en el concepto de restricción de dosis, aunque su implantación no se considera obligatoria, y se especifican las responsabilidades asociadas a dicha implantación

En el RPSI, en el artículo 9, sobre restricciones de dosis, se establecen las responsabilidades asociadas a la implantación (no obligatoria) de las restricciones de dosis: el titular de la instalación en el caso de los trabajadores expuestos y la Dirección General de Política Energética y Minas, previo informe del CSN, en el caso de los miembros del público.

### Aplicación del principio de limitación de dosis

Se adaptan los límites de dosis a lo establecido en la Directiva 2013/59/Euratom donde se elimina la flexibilidad (5 años) en la aplicación del límite de dosis efectiva para trabajadores expuestos y miembros del público y se reduce a 20 mSv/a el límite de dosis equivalente al cristalino (dejando flexibilidad a los Estados miembros para aplicarlo de forma promediada en cinco años).

En el artículo 11 del RPSI se establece un límite anual rígido para la dosis efectiva de los trabajadores expuestos y del público de 20 mSv/a y se reduce a 20 mSv (100 mSv promediados en cinco años) el límite de dosis equivalente al cristalino para trabajadores expuestos.

## Principios fundamentales de protección radiológica ocupacional

Las principales novedades en relación con la exposición ocupacional son las siguientes:

- Se establece (art. 20.3.a) la posibilidad de que la estimación de dosis de los trabajadores de categoría A que accedan a zona controlada se pueda realizar, previa aceptación expresa del CSN, por medios alternativos al dosímetro individual.
- Se requiere (art. 23.3) a los titulares de las prácticas y actividades que, de cara a la aplicación del principio de optimización, no oferten a los trabajadores beneficios salariales a cambio de relajación de las medidas de protección.
- Se establecen en detalle (art, 28) las funciones y responsabilidades de los servicios de protección radiológica (SPR) y unidades técnicas de protección radiológica (UTPR) y se introduce (art. 30) la obligación de que los jefes de los SPR del ámbito hospitalario dispongan de la titulación de Especialista en Radiofísica Hospitalaria, especificándose las funciones que, como tal, le corresponden[2].
- Se establece (art.32.3) la obligación de los servicios de dosimetría personal de remitir los resultados de la

[2] Aquellas asignadas en el Real Decreto 183/2008, de 8 de febrero, por el que se determinan y clasifican las especialidades en Ciencias de la Salud y se desarrollan determinados aspectos del sistema de formación sanitaria especializada, así como en el Real Decreto 601/2019, de 18 de octubre, sobre justificación y optimización del uso de las radiaciones ionizantes para la protección radiológica de las personas con ocasión de exposiciones médicas).




El carné radiológico permite el seguimiento de las dosis recibidas por los trabajadores externos.



Las situaciones de exposición de emergencia se producen con motivo de algún accidente nuclear o radiológico.

vigilancia individual al CSN para su incorporación al Banco Dosimétrico Nacional y se especifica que este queda sujeto a la reglamentación de protección de datos personales.

- Se incorporan (cap. VI, título IV) las disposiciones relativas a la protección radiológica de los trabajadores externos anteriormente recogidas en el Real Decreto 413/97, que queda derogado.

## Situaciones de exposición de emergencia

Como ya se ha indicado anteriormente, el RPSI define en el título II el Sistema de protección radiológica y los principios en los que se fundamenta.

En el caso de las situaciones de exposición de emergencia (título VI), se potencia la aplicación del principio de optimización, aclarándose que, aunque la optimización debe dar prioridad a las exposiciones por encima del nivel de referencia, debe también aplicarse a las exposiciones por debajo de dichos niveles (art. 67.3).

El establecimiento de los niveles de referencia aplicables a este tipo de situaciones se asigna al CSN (art. 67.3), quien deberá tener en cuenta que:

- Para el personal de intervención se establece (art. 69.2) un nivel de referencia de 100 mSv que, en situaciones excepcionales, puede incrementarse a 500 mSv.
- Para los miembros del público se establece (art. 70.1) un rango de niveles de referencia entre 20 y 100 mSv que, en casos concretos, se puede reducir por debajo de 20 mSv, cuando las medidas de protección no impliquen costes excesivos.
- En lo que se refiere a las actuaciones a llevar a cabo en situaciones de emergencia, se establecerán en los planes de emergencia nuclear derivados del Plan Básico de Emergencia Nuclear, de la Directriz Básica de Protección Civil ante Riesgos Radiológicos y de la Directriz Básica de Protección Civil ante el riesgo de accidentes en el transporte de mercancías peligrosas (art. 68).

Se asigna al CSN (art. 70.3) la responsabilidad de establecer los criterios para la transición desde una situación de emergencia a una situación existente y los relativos a la finalización de las medidas de protección a largo plazo, tales como el realojamiento.

## Situaciones de exposición existente

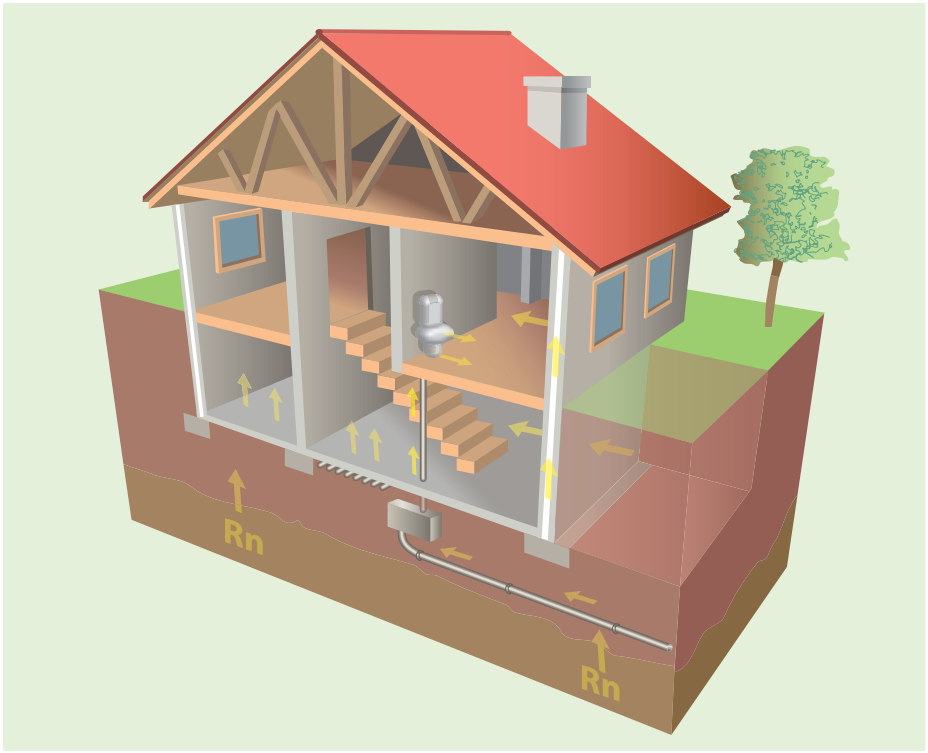
En el RPSI se consideran situaciones de exposición existente (art. 2.1c y anexo V) la exposición a la contaminación residual que haya podido producirse como consecuencia de una emergencia nuclear o radiológica o de una actividad humana pasada, la exposición de los miembros de la tripulación de aeronaves y vehículos espaciales, la exposición de trabajadores o miembros del público al radón en recintos cerrados y la exposición externa en recintos cerrados a la radiación gamma procedente de los materiales de construcción.

Para este tipo de situaciones, y en aplicación del principio de optimización de la protección radiológica, se establecen niveles de referencia:

- Un valor de 300 Bq/m3 para la exposición al radón en recintos cerrados (art. 72.a).
- Un valor de 1 mSv/a para la exposición en recintos cerrados a la radiación gamma procedente de los materiales de construcción (art. 72.b).
- En los casos no recogidos en los puntos anteriores, el CSN estable-



Otro ejemplo de exposición existente, en este caso a la radiación cósmica, es el que tienen las tripulaciones de aeronaves.




Infiltración de gas radón en una vivienda.

cerá niveles de referencia específicos cuando se detecte una situación que pueda generar un riesgo significativo desde el punto de vista de la protección radiológica. Estos niveles de referencia estarán comprendidos en un rango de valores de 1 a 20 mSv/a (art. 71).

En lo relacionado con la radiación natural, y de acuerdo con lo establecido en el articulado del RPSI, algunas de las situaciones de exposición existente deberán gestionarse como situaciones de exposición planificada, aplicándose requisitos específicos de protección radiológica.

En lo relativo a la exposición al radón:

- Se establece (art. 75) que los titulares de los lugares de trabajo en los que podrían existir altas concentraciones de radón y que se especifican en el RPSI (por ejemplo, lugares de trabajo subterráneos o donde se procese, manipule o aproveche agua de origen subterráneo) determinen el promedio anual de la concentración de radón y que, cuando dicho valor exceda del nivel de referencia de 300 Bq/m3, apliquen las medidas pertinentes para reducir dicha concentración.
- Se establece (art. 75.3 y 19.3) que cuando a pesar de esas medidas en los lugares de trabajo en los que se supere el nivel de referencia para radón, y las dosis excedan de 6 mSv/a, deberán aplicarse los requisitos aplicables a la protección radiológica de los trabajadores expuestos, incluidos los límites de dosis.
- Se establece (art. 77) un Plan Nacional contra el Radón, que se aprobará por el Gobierno a propuesta del Ministerio de Sanidad, y que incluirá las medidas para fomentar la identificación de viviendas, edificios de acceso público y lugares de trabajo, en los que el promedio anual de concentración de radón supere el nivel de referencia, y cuyo alcance se desarrolla en el Anexo VIII.
- Se crea (art. 78) un Comité del Plan Nacional contra el Radón, adscrito al Ministerio de Sanidad y constituido por representantes de las autoridades con competencias en la materia. Estará presidido por un director general del Ministerio de Sanidad, actuando como vicepresidente un director técnico del CSN.

En lo relativo al contenido radiactivo de los materiales de construcción:

- Se requiere (art. 80.1) a los suministradores de materiales de construcción susceptibles de contener material radiactivo (Anexo VI) la determinación del índice de actividad gamma (Anexo VII).
- Se establece (art. 80.3) la posibilidad de imponer exigencias específicas y restricciones para su uso en edificación a aquellos materiales en los que el índice de actividad gamma es mayor que 1.

En relación con la exposición de la tripulación de aeronaves y vehículos espaciales:

- Se considera la exposición del personal de tripulación de aeronaves y vehículos espaciales a la radiación cósmica una situación de exposición existente que se gestiona como situación de exposición planificada.
- Los miembros de la tripulación que puedan recibir dosis superiores a 6 msv/a se clasifican como trabajadores expuestos de categoría A.

## Acciones necesarias para la implementación de lo establecido en el RPSI

La publicación del RD 1029/2022, vigente desde el momento de su publicación en el BOE, requiere un plan de actuación para su completa implantación. Entre tales acciones, las más importantes son el desarrollo de normativa de menor rango, como instrucciones del Consejo de Seguridad Nuclear (IS), suscripción de protocolos de colaboración con otras instituciones del Estado y un plan de difusión del RPSI, que incluya los aspectos formativos de los profesionales y la información a instituciones y el público.

### Instrucciones de seguridad (IS) del CSN

Está prevista la elaboración y revisión de aquellas que se vean impactadas por la publicación de este nuevo reglamento.

Entre otras, cabe destacar, en relación con la radiación natural, las siguientes:

- Nueva IS en relación con los municipios de actuación prioritaria o con los residuos NORM (*normally occurring radioactive material*).
- Revisión de la IS-33, de 21 de diciembre de 2011, del Consejo de Seguridad Nuclear, sobre criterios radiológicos para la protección frente a la exposición a la radiación natural.
- Nueva IS sobre materiales de construcción.

Así mismo, merece especial mención la revisión de la IS-08, de 27 de julio de 2005, sobre los criterios aplicados por el Consejo de Seguridad Nuclear para exigir, a los titulares de las instalaciones nucleares y radiactivas el asesoramiento específico en protección radiológica, a fin de incorporar, entre otros aspectos, las nuevas competencias asignadas a las unidades técnicas de protección radiológica (UTPR) en relación con de prestación de servicios en el ámbito de la radiación natural y de las actividades reguladas por el Real Decreto 451/2020, de 10 de marzo, sobre control y recuperación de las fuentes radiactivas huérfanas.

Otras instrucciones de seguridad afectadas por la publicación del RPSI serían las siguientes:

- IS-01 Carné radiológico. Revisión. Pendiente del avance del proyecto en curso de carné radiológico digital.
- IS-03 Cualificación del técnico experto en PR. Revisión.
- IS-08 Criterios para exigir la creación de servicios de protección radiológica. Revisión.
- IS-28 Especificaciones de funcionamiento de instalaciones radiactivas de 2ª y 3ª categoría. Revisión.

### Acuerdos y protocolos con otras autoridades

El nuevo RPSI implica una serie de actuaciones y decisiones que el CSN tendrá que abordar, en colaboración con las autoridades competentes que corresponda.

- **Ministerio de Sanidad**
  —Plan Nacional de Radón (art. 77).
  —Comité Nacional de Radón (art. 78).
- **Ministerio de Trabajo**
  —Protocolo en relación con la colaboración de la Inspección de Trabajo y Seguridad Social (art. 82.2 y 82.3 y en la Disposición adicional sexta).
- **Ministerio de Fomento (MITMA)**
  —Materiales de construcción (art.80).
  —Control de dosis ocupacionales de las tripulaciones de aeronaves (art. 81 y disposición adicional séptima).

### Información y difusión del RPSI tanto en el ámbito profesional como al público

Una vez aprobado el RPSI, está previsto fomentar su conocimiento por los profesionales y la sociedad en general.

A este fin, desde el CSN se desarrollarán y promoverán acciones dirigidas a los diferentes grupos de interés entre los que se encuentran autoridades competentes (ministerios, comunidades autónomas y municipios), Comité Asesor para la Información y Participación Pública, sociedades profesionales (SEFM, SEPR), sindicatos, Asociación de Municipios en Áreas de Centrales Nucleares y Almacenamiento de Residuos Radiactivos (AMAC) y Comités locales de información en vecindad alrededor de las centrales nucleares españolas, entre otros.

DEPOSITPHOTOS



# El Consejo de Seguridad Nuclear aprueba su primer Plan de Igualdad

Los planes de igualdad se han convertido en una de las medidas imprescindibles a tomar por las empresas e instituciones en España. En marzo de 2022 se estableció su obligatoriedad para todas las entidades, públicas o privadas, cuya plantilla fuera mayor de 50 personas. Los planes pretenden reforzar y garantizar la igualdad de trato y de oportunidades entre mujeres y hombres en el empleo y la ocupación. El Consejo de Seguridad Nuclear comenzó a trabajar en su propio plan en 2010, bajo la presidencia de Carmen Martínez Ten, con un primer diagnóstico de la situación, paso previo a su desarrollo y puesta en marcha. El proyecto fue avanzando lentamente sin terminar de cuajar hasta que, en 2019, se realizó un nuevo diagnóstico de situación que ha culminado con la aprobación del plan este mismo año.

■ Texto: **Pura C. Roy** | periodista de ciencia ■

Para volver a impulsar la adopción de un Plan de Igualdad en el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), la iniciativa de 2019 contó con el asesoramiento externo de la Fundación Mujeres. También se puso en marcha un análisis comparativo orientado a identificar la evolución de dinámicas, sesgos o conductas que identificasen aspectos significativos para la consecución de la igualdad real y efectiva en el organismo. En el desarrollo del proyecto han colaborado diferentes áreas del Consejo, destacando la participación de la Secretaría General. Este trabajo ha dado sus frutos y a primeros de enero de 2023, el Pleno del Consejo aprobó su primer Plan de Igualdad, fortaleciendo su compromiso

con la promoción de la igualdad de oportunidades entre mujeres y hombres y dando cumplimiento a lo establecido en la legislación y contemplado en los objetivos de su propio Estatuto y de su Plan Estratégico 2020-2025.

Para la consejera Pilar Lucio, "el estatuto del CSN contempla dentro de sus planes y de su autonomía y competencias, la formación, organización y los planes estratégicos. Había que impulsar el Plan de Igualdad ya que era el único que no teníamos. Por suerte, al pertenecer a la Administración pública no se dan grandes diferencias salariales. Estas pueden estar más en quién ocupa los cargos de responsabilidad, en quién representa a la institución. Es necesario que las mujeres se sientan empoderadas para defender sus derechos. Esto sustenta nuestra idea de lo que debe ser el CSN o cualquier entidad pública, idea avalada por el actual presidente del CSN, Juan Carlos Lentijo".

El CSN contaba en 2019 con un 53 % de mujeres y un 47 % de hombres, lo que ofrece una situación equilibrada con presencia paritaria entre hombres y mujeres, y se observó que no existen diferencias significativas de género en la relación contractual entre hombres y mujeres en el personal funcionario, dándose una significativa estabilidad laboral en ambos sexos. Entre el personal laboral hay un mayor desequilibrio de género, con mayor presencia masculina, tendencia que se mantiene desde el año 2010, cuando se emitió el estudio de diagnóstico de la composición de la plantilla.

Irene Plaza, asesora transversal en el Gabinete Técnico de la Presidencia, señala que a nivel mundial se observa un mayor techo de cristal en el sector nuclear, ya que el 24 % son mujeres y el 75 % son hombres. "Así que nosotros no estamos nada mal". Según los expertos, las mujeres representan menos de la cuarta parte de la fuerza de trabajo en el sector nuclear a escala mundial, lo que perjudica no solo a la diversidad dentro de la industria, sino también a la competitividad. Numerosas organizaciones, entre ellas el OIEA, trabajan activamente para aumentar la proporción de mujeres en todas las categorías de empleo.

"El mayor desequilibrio en el CSN se da al analizar la plantilla por niveles jerárquicos. Muy similar a la de los grupos A1 y C2 que se da en la Administración General del Estado. Estos muestran una clara segregación vertical con más hombres que mujeres en puestos de mayor nivel", explica Plaza. En el caso del grupo 1 aparece casi el doble de presencia de hombres que de mujeres entre el personal funcionario, cuya provisión del puesto es por convocatoria de libre designación, siendo puestos con un mayor nivel de responsabilidad y capacidades directivas.

La situación en el grupo 2 se observa que está equilibrada mientras en los grupos 3 y 4 se muestra una mayor presencia femenina, lo que pone de relieve la mayor presencia de mujeres en cuerpos relacionados con tareas administrativas. El resultado del estudio comparativo de los datos obtenidos en el año 2019 frente a los del año 2010 muestra en general una tendencia continuista, debido a la estabilidad de la plantilla.

Tras el estudio de diagnóstico de 2019 se reactivó la Comisión Paritaria de Igualdad, con el fin de involucrar a los principales agentes sociales de la organización en la elaboración del plan. La irrupción de la pandemia ralentizó los trabajos, pero en 2022 se pudo terminar de diseñar y presentarlo para su aprobación. Según el cronograma del CSN, entre 2023 y 2026 tendrá lugar la implementación de las diferentes medidas incluidas en el plan, como las instrumentales para la transformación organizativa; la sensibilización, formación y capacitación; las condiciones de trabajo y desarrollo profesional; la corresponsabilidad y conciliación de la vida personal, familiar y laboral; y la violencia de género.

Según Lucio: "el defecto de sesgo que podría darse en el CSN es menor al ser



ARTURO FERNÁNDEZ

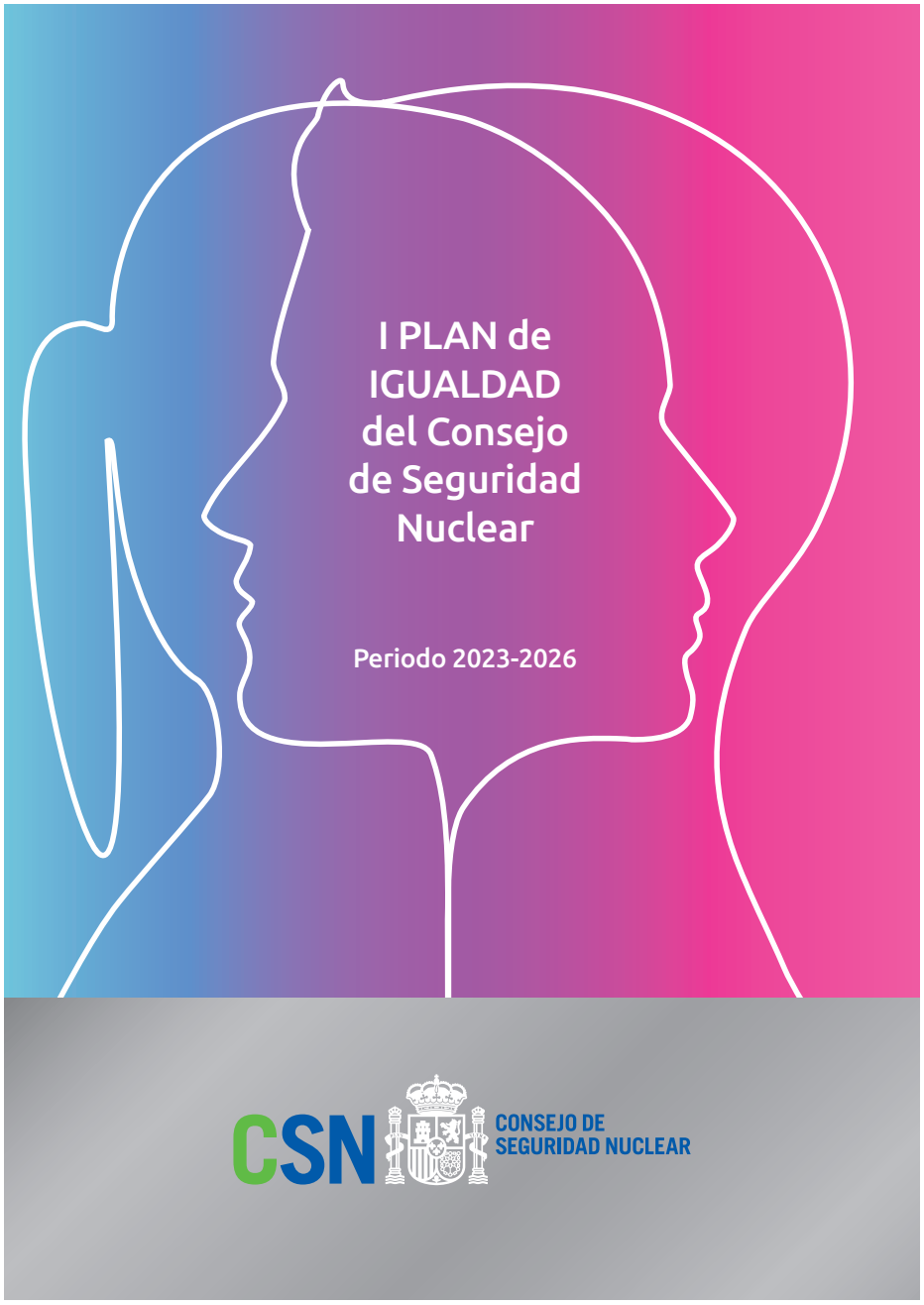
Presentación del Plan de Igualdad en el salón de actos del CSN el 10 de febrero de 2023.

un cuerpo formado por tecnólogos/as, ingenieros/as, físicos/as. Hay una paridad en el cuerpo técnico. Pero a más responsabilidad también hay más desequilibrios en el porcentaje de hombres y mujeres, como en jefes de área, subdirectores y de ahí para arriba, aunque no sea muy relevante en el Consejo. Si es más evidente en la participación en foros abiertos y en foros internacionales, donde hay un menor número de mujeres".

El Consejo de Seguridad Nuclear es un participante activo en los grupos de trabajo internacionales existentes en esta materia, mediante su integración en la organización International Gender Champions y en el grupo de trabajo de la NEA/OCDE para la mejora del equilibrio entre mujeres y hombres en el sector nuclear.

Para abordar las necesidades del personal al servicio del CSN con un alcance global e integral y consolidar la igualdad de trato y de oportunidades en la organización se han diseñado cinco ejes de actuación. El primero es la incorporación de la igualdad de género en las estructuras y actividades de la organización. La perspectiva de género debe estar presente en las convocatorias de ayudas y oposiciones, pero además es necesario incrementar la visibilidad de las funciones y tareas llevadas a cabo por las mujeres que trabajan en el CSN, con el fin de atraer el talento femenino.

Un segundo eje es la sensibilización, formación y captación. Es necesario realizar acciones formativas en igualdad dentro del Plan Anual de Formación del CSN, para fomentar el principio de presencia equilibrada de mujeres y hombres. Y es importante también tener en cuenta la educación de la mujer joven en ciencia. Desde el CSN se quiere contribuir a las vocaciones STEM (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas por sus siglas en inglés) en las mujeres. Por ello durante el 2023 se realizarán




Portada del documento elaborado para difundir el Plan de Igualdad en el CSN.

diversas actividades relacionadas con la igualdad con este propósito.

Las condiciones de trabajo y el desarrollo profesional son temas que siempre han preocupado a las mujeres. Por ello, un cuarto eje tiene como objetivo fomentar la realización de acciones encaminadas a impulsar la concurrencia de mujeres en puestos ocupados mayoritariamente por hombres o viceversa. "La corresponsabilidad y la conciliación de la vida personal, familiar y laboral rigen este cuarto eje del plan. Muchas mujeres no acceden a puestos superiores por la exigencia profesional que conllevan y que les imposibilita conciliar lo profesional y lo privado. Piden una mayor flexibilidad, como es el teletrabajo, que ya es una opción generalizada tras el confinamiento por la covid-19. Además, es necesario ofrecer facilidades para realizar oposiciones, incluso re-

## Marco general legal en España

El III Plan Estratégico para la Igualdad Efectiva de Mujeres y Hombres 2022-2025, se ha definido como "la hoja de ruta del Gobierno, y por tanto del conjunto de las Administraciones Públicas, para desplegar las políticas de igualdad". La inversión prevista alcanza los 21 319 millones de euros, un 4,4 % del presupuesto no financiero del Estado, frente al 1,1 % del plan anterior, cuya vigencia acabó en 2016.

Los avances en igualdad entre mujeres y hombres en los últimos quince años en España han sido muy significativos, situando a nuestro país por encima de la media europea (70,1 % frente a 67,42 %) en el último Índice de Igualdad de Género del Instituto Europeo de Igualdad de Género (EIGE, 2019). Sin embargo, tal y como muestra el Informe de Igualdad de Género de la Comisión Europea de 2019, la desigualdad entre mujeres y hombres en los países miembros de la UE todavía existe en muchos ámbitos.

"En las administraciones públicas se reproducen las mismas dinámicas, roles, costumbres y estereotipos de género que en cualquier otra organización y que en otros ámbitos de nuestra sociedad. Estos roles y estereotipos son la base, en gran medida, de las desigualdades entre mujeres y hombres. Los sesgos de género, las conductas sexistas, y las barreras invisibles (propias y ajenas) influyen, por ejemplo, en la promoción profesional -techo de cristal-, en una segregación o representación desigual, según qué ocupaciones profesionales, o en la división tradicional de los roles de cuidado y explican diferentes situaciones de discriminación directas e indirectas", recoge el texto de la Comisión Europea.

A los efectos del III Plan de Igualdad, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 5, 8 y 10 merecen una especial mención.

El ODS 5 aborda específicamente el objetivo de alcanzar la igualdad de género, en el marco del respeto global a los derechos humanos y como elementos integrados, inseparables y que marcan el equilibrio de las tres dimensiones del desarrollo sostenible: económico, social y medioambiental.

trasarlas por embarazo y que los permisos de maternidad no impidan la promoción de las mujeres. Todo ello hay que tenerlo en cuenta para que no se fomenten los desequilibrios", dicen desde el CSN.

Pero si hay una demanda continua en la sociedad es la de "a igual trabajo igual salario"; por ello, en el CSN se trabajarán medidas dirigidas a lograr la igualdad retributiva, aunque actualmente no haya grandes diferencias. Otro factor que el Consejo siempre tiene presente, debido a sus actividades, es la salud laboral y la prevención de riesgos. Así que está previsto reforzar la incorporación e integración de la perspectiva de género en la vigilancia de la salud del personal del CSN.

También se pretende aumentar la vigilancia en cuanto a la posible ocurrencia de episodios de violencia de género. El eje cinco revisará el protocolo de actuación contra el acoso sexual, asegurando la adaptación de la resolución del 28 de julio de 2011 de la Secretaría de Estado para la Función Pública. Es fundamental aumentar su conocimiento y la formación sobre su contenido, ya que un porcentaje alto de las personas entrevistadas para realizar los informes oportunos no sabían como actuar si se daba un caso de acoso.

Para conseguir todos estos objetivos, la transversalidad, como organismo público, es fundamental. La transversalidad de género es el proceso de evaluación de las implicaciones para las mujeres y los hombres de cualquier acción planificada, incluidas leyes, políticas o programas, en todas las áreas y a todos los niveles. Y aquí se incluyen también las opiniones y la ayuda de los sindicatos ya que la puesta en marcha de estos planes beneficiará a los empleados, en especial a las mujeres. La igualdad debe estar presente, de forma transversal y concreta, en todos los procesos de la negociación colectiva, y ser tratada como de interés estratégico para el conjunto de los trabajadores.

Según los sindicatos, entre las medidas que se deben incluir tanto en los convenios como en los planes de igualdad se encuentran las dirigidas a las condiciones de acceso al empleo, clasificación profesional, promoción y formación, retribuciones, ordenación del tiempo de trabajo para favorecer la conciliación personal, laboral y familiar, la prevención del acoso sexual o utilización de lenguaje inclusivo con el fin de evitar la perpetuación de un sistema de comunicación sexista, todas ellas tenidas en cuenta por el CSN.

Recientemente el sindicato UGT ha informado que incluirá en los planes de igualdad diagnósticos para evitar la discriminación de género en los algoritmos utilizados para facilitar procesos decisorios, al entender que las decisiones automatizadas de muchas empresas discriminan por género y afectan a aspectos clave como selección de personal, salarios, promociones y organización del trabajo.




## La defensa europea de la igualdad

La igualdad entre mujeres y hombres es uno de los objetivos de la Unión Europea desde su fundación. En todos los Tratados, desde el de Roma de 1957 hasta el de Lisboa de 2007, se establecen políticas en favor de la igualdad y empoderamiento de la mujer. Al mismo objetivo se dirige la Carta de los Derechos Fundamentales de la Unión.

Con el paso de los años, la legislación, la jurisprudencia y las modificaciones de los Tratados han contribuido a consolidar este principio, así como su aplicación. El Parlamento Europeo siempre ha sido un ferviente defensor del principio de igualdad entre hombres y mujeres.

Así, los planes de igualdad son un criterio de elegibilidad para acceder a la financiación del Horizonte Europa y los beneficiarios tienen que tomar medidas para fomentar la igualdad de oportunidades entre hombres y mujeres en la implementación de la acción y, si es aplicable, en línea con su plan de igualdad de género. Deberán perseguir, en la medida de lo posible, un equilibrio de género en todos los niveles del personal dedicado a la acción, incluidos los niveles de supervisión y dirección.

El Instituto Europeo de Igualdad de Género (EIGE), un organismo autónomo de la Unión Europea sito en Vilna (Lituania), señala que "el Índice de Igualdad de Género se basa en seis dimensiones fundamentales: trabajo, dinero, conocimiento, tiempo, poder y salud, y dos dimensiones satélite: intersección de desigualdades y violencia; y revela que la Unión Europea aún está a medio camino para convertirse en una sociedad igualitaria entre mujeres y hombres. A pesar de que desde hace 50 años se formulan políticas de igualdad de género en la UE, su puntuación media es tan solo de 54 (donde 1 representa la desigualdad total y 100 la plena igualdad)".

Las mayores brechas de género se encuentran en el ejercicio del poder, con una puntuación media de solo 38 en la UE y grandes diferencias en la proporción de mujeres y hombres en la toma de decisiones en Europa. Existen diferencias significativas de género también en el área relacionada con la distribución del tiempo, ya que la participación de las mujeres en el mercado laboral es limitada, debido a su participación desproporcionada en las funciones relacionadas con el cuidado.

### Libro de estilo para un lenguaje inclusivo

Aunque en el CSN se utiliza un lenguaje eminentemente científico y técnico, su uso desde la perspectiva de género no es un tema secundario para este organismo. Por ello en su libro de estilo se recoge que "en nuestra lengua existen términos y una gran variedad de recursos para nombrar a hombres y a mujeres de manera adecuada". Si aceptamos que el lenguaje puede empequeñecer o agrandar la realidad, e incluso deformarla, es importante utilizar un lenguaje no sexista e inclusivo. Por ello, el libro de estilo recomienda: mostrar una imagen coherente con el compromiso con la igualdad de oportunidades, visibilizar la presencia y participación de las mujeres y sensibilizar en igualdad tanto dentro como hacia el exterior.

También recoge que es importante señalar que, aunque la solución más recurrente para evitar el sexismo lingüístico sean las sustituciones en el vocabulario por otras palabras o su propia omisión, también podemos servirnos de un cambio en la redacción que, en muchas ocasiones, nos ofrece una solución más coherente y natural en el discurso. Además, podemos optar por el uso de diversas opciones en un mismo texto: desdoblamientos, omisiones del sujeto, utilizar la pasiva para evitar una referencia personal o acudir a sustantivos colectivos.

Muchos oficios han estado durante siglos reservados a los hombres.En consecuencia, el léxico que los designa se ha acuñado tradicionalmente en masculino. En muchos casos se alude a razones estéticas o de costumbres para no nombrar en femenino las profesiones que ya ejercen las mujeres y mantener el sustantivo en masculino. Estas deformaciones pueden ser cambiadas fácilmente en las redacciones.

WIKIPEDIA



Ánfora con monedas procedente del tesoro de Tomares.

El uso de las radiaciones en conservación del patrimonio

# Rayos que alumbran la historia

La restauración del patrimonio artístico es considerada, a la vez, una ciencia y un arte, porque este bebe de aquella para devolver al cuadro, la escultura o el tesoro encontrado el lustre que debió tener en sus orígenes. Una labor sin la que muchos de los vestigios de nuestra cultura acabarían muriendo. Y si tradicionalmente el restaurador se apoyaba mucho en la química, ahora las técnicas nucleares parecen ganar cada vez más terreno. El Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) está empeñado en llevar esta tecnología a museos, yacimientos y librerías de todo el mundo para conocer quién produjo nuestro legado, datarlo, determinar cómo se hizo y, finalmente, repararlo.

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

El mayor tesoro romano hallado en España desvela un fraude masivo cometido por los emperadores romanos de entre finales del siglo III y principios del siglo IV. Las 53 000 monedas encontradas en 2016 en el municipio de Tomares (Sevilla) tienen menos plata de la que debían. Eran malos tiempos para el Imperio —luchas por el poder, invasiones de pueblos limítrofes...— y Roma decidió dar gato por liebre a sus ciudadanos y ahorrarse un dinerito. Los nummis —moneda de bronce de la época— se acuñaron con la misma aleación cuaternaria de siempre —cobre, estaño, plomo y plata— pero, a medida que aumentaba la crisis, contenían cada vez menos de esta última. Para ocultar el engaño, les daban un baño superficial plateado que las hacía parecer como siempre.

"La caracterización química de la amalgama se hizo sin perforaciones, mediante fluorescencia de rayos X (XRF), que permitió, además, analizar un ele-

vado número de muestras en poco tiempo", explica Miguel Ángel Respaldiza, el catedrático de Física Nuclear del Centro Nacional de Aceleradores, que participó en la investigación. La XRF es una de las muchas técnicas nucleares que se utilizan en el diagnóstico de la restauración de obras de arte. Ayudan a decidir cuál es el problema y qué método de reparación es el más apropiado sin destruir parte de la pieza en el camino o con una invasión mínima. Esto supone una clara ventaja respecto a los métodos químicos tradicionales de obtención de información que, generalmente, requieren tomar muestras y hacer estratigrafías. En ellas, las obras de arte son tratadas como un suelo del que se extraen secciones transversales —catas— para ver los estratos de materia resultado de un determinado proceso creativo.

"La opción de no dañar y no contaminar objetos tan delicados es lo que está haciendo que cada vez más organismos, galerías de arte y librerías estén optando por técnicas nucleares en la restauración", señala Emina Alic, del área de Cooperación Técnica en Europa del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Ella está detrás de un proyecto que ha llevado un aparato de difracción de rayos X (XRD) a Malta y que enseña a cómo usarlo al personal de patrimonio nacional. Este pequeño país tiene, con la mitad de superficie que la Comunidad de Madrid, 90 museos e innumerables monumentos al aire libre y yacimientos submarinos. En total, más de un millón de objetos catalogados que cuentan la historia humana de los últimos 8 000 años. Y gran parte de su economía depende de ella. No preservarlo no es una opción.

A diferencia de la fluorescencia, que detecta elementos, la difracción va más allá e identifica las fases mineralógicas y composición química de la muestra (es decir, compuestos: pirita FeS2, cuarzo SiO2...). Otra técnica, la reflectografía



**Oro parece.** Los sobredorados son piezas de orfebrería con núcleo de plata, pero cubierto superficialmente de oro. Son muy típicos en joyería religiosa, como la diadema de la estatua de una Virgen. Para su restauración es necesario saber el espesor de la capa e identificar el proceso de deposición del metal. Si, por ejemplo, ha sido con el método de amalgama, siempre quedan restos de mercurio y eso es lo que se busca con las técnicas nucleares.

El reto está en que el grosor de la película dorada superficial es muy fino, del orden de una o dos micras. "La fluorescencia de rayos X suele tener poca resolución en profundidad y los microscopios de fluorescencia confocal solo son eficaces con espesores mayores, del orden de centenares de micras, más propio de lienzos pintados. Lo más adecuado es utilizar la espectrometría de retrodispersión Rutherford (RBS, en sus siglas en inglés) en el acelerador", señala Miguel Ángel Respaldiza.




OIEA

Emina Alic. Arriba, Miguel Ángel Respaldiza.

OIEA



*Martirio de Santa Catalina de Alejandría,* de Mattia Preti.

infrarroja, detecta imágenes subyacentes en cuadros: localiza desde los dibujos preparatorios en el lienzo, generalmente realizados a carboncillo, que tiene una reflexión muy fuerte en el infrarrojo, hasta arrepentimientos, correcciones y cuadros pintados sobre otros.

"Uno de los logros del proyecto de Malta es el de haber ayudado a desvelar un secreto que escondía un óleo del siglo XVII", relata Alic. Parece ser que en el verano de 1659 el pintor italiano Mattia Preti (1613–1699) visitó el archipiélago en busca de fortuna. Como carta de presentación pintó un cuadro que acabó siendo el Martirio de Santa Catalina de Alejandría, aunque en su origen fuera el de San Pablo. La radiación ha dejado al descubierto la figura del santo varón sobre la que se repintó a la mártir. Pareció gustar el óleo porque dos años más tarde se le encargó que pintara el techo de la maltesa Concatedral de San Juan.

A estos mismos rayos no hay pentimento (del italiano pentirsi: arrepentirse) que se le resista. Una reciente exploración del cuadro de Un hombre con armadura del Museo Nacional de Bellas Artes de

OIEA





OIEA

*Un hombre con armadura,* de Domenico Robusti y fotografía del mismo cuadro realizada con rayos X.

## La máquina de la verdad

Las técnicas nucleares pueden ayudar a desenmascarar falsificaciones y adjudicaciones erróneas. Basta la presencia de pigmentos anacrónicos para sospechar de la veracidad de una obra. "No pueden aparecer pigmentos del siglo XX en un Murillo, salvo en zonas restauradas; por eso es muy importante detectar qué es original y qué retocado", señala Miguel Ángel Respaldiza, catedrático de Física Nuclear de la Universidad de Sevilla.

Así, gracias a la datación por radiocarbono se desenmascararon el año pasado dos supuestas obras impresionistas en Francia. Aunque parecían de principios del siglo XX, las fibras de sus lienzos resultaron ser de los últimos 70 años. Al imitador se le escapó que todos los seres vivos, también el lino con el que se fabricó la tela del cuadro, absorben carbono de la atmósfera, incluido su isótopo inestable carbono-14. Al morir, dejan de captarlo y el acumulado comienza a desintegrarse a una velocidad conocida. Por suerte, la espectrometría de masas con aceleradores (AMS, en sus siglas en inglés) es capaz de detectarlo.

Mucho más complejo suele ser justificar una atribución en base a información puramente analítica. El investigador recuerda que "lo que se identifica son los pigmentos que se usaron en determinada época y por ese autor, pero eso también lo saben los falsificadores". Así que solo se toman como un refuerzo más para complementar el estudio de la documentación histórica que se tenga sobre una obra.

Malta ha descubierto que Domenico Robusti (su verdadero nombre era Domenico Tintoretto, hijo y asistente principal del famoso artista Tintoretto) pintó inicialmente al caballero con un cuello blanco de paño almidonado, a gusto de la época. Ya sea por buscar más sobriedad o porque quedó *demodé,* éste fue eliminado en la versión definitiva, quedando sepultado bajo la pintura superficial.

"El OIEA apuesta por todas las técnicas nucleares que puedan ayudar en la restauración del patrimonio", señala Alic. Todas ellas exponen la muestra a un haz de iones para inducir diferentes procesos atómicos y nucleares que generan varios productos, lo que da pistas sobre las propiedades del material (composición, estructura...). Cada tecnología aporta información distinta y complementaria, por lo que la decisión de cuál utilizar dependerá de la característica de la pieza y de lo que se busca. Por lo mismo, "no hay ninguna tecnología nuclear estrella y generalmente hay que emplear varias de ellas", cuenta Respaldiza. Aunque reconoce que la fluorescencia de rayos X es de las más utilizadas porque se puede aplicar a una amplia gama de materiales y, al ser portátil, permite trabajar *in situ,* lo que "facilita mucho nuestro trabajo", enfatiza el investigador. Esto es especialmente práctico en el caso de frescos, esculturas voluminosas... que no se pueden trasladar y también cuando no se deben mover por seguridad, debido a su gran valor.

### De Albania al Pórtico de la Gloria

Al hacer un barrido con XRF de una pieza, se desestabiliza la estructura de los electrones de la materia superficial. Esto provoca una emisión de radiación, que es distinta según el elemento químico. De esta manera delata su composición. Como resultado se obtiene un mapa de la distribución de los distintos pigmentos, identificados en base a los elementos que los componen. Gracias a esta técnica, el trabajo de investigadores albaneses auspiciado por el OIEA identificó los componentes del color utilizados en un retrato del XVIII de San Jorge, uno de sus

OIEA



Investigadora del OIEA trabajando con el difractor de rayos X (XRD).

santos más apreciados. También así se descubrieron las paletas cromáticas originales del Pórtico de la Gloria (Catedral de Santiago de Compostela), enterradas bajo suciedad y reparaciones acumuladas durante ocho siglos de visitas constantes de peregrinos y turistas. En ambos casos, esta información permitió restaurar las obras aplicando los mismos colorantes genuinos, lo que en el caso gallego requirió casi una década.

"El barrido con rayos x también muestra cómo fueron distribuidos los tintes de la obra, lo que delata la técnica pictórica del pintor", apunta Respaldiza. Los grandes maestros de la antigüedad se distinguían por ser capaces de crear una gama de colores enorme gracias a su habilidad para mezclarlos y para trabajar en capas. Gracias a la ayuda de esta técnica, uno de los cuatro grandes lienzos del Arzobispado de Sevilla atribuidos al taller de Zurbarán (1598–1664), se cree que lo realizó el maestro y no sus discípulos, como se pensaba. Se trata de San Pedro Mártir y la calidad excepcional en su ejecución, en comparación con los demás, parece no dejar dudas. En el caso albanés, ayudó a atribuir el lienzo a los hermanos Çetiri.

Las tablillas de Nínive, talladas durante la época romana de Assurbanipal (entre el 668 y el 631 antes de nuestra era), son un auténtico tratado de vidriería. En ella podemos entender por qué en estos materiales antiguos abundan elementos como el sodio y el potasio. El problema es que los componentes ligeros, por debajo del aluminio, son imperceptibles con la fluorescencia de rayos X. "Para estudiar los vidrios se utilizan técnicas en aceleradores llamada Emisión de Rayos X Inducidos por Partículas (PIXE) y el Emisión de Rayos Gamma Inducidos por Partículas (PIGE), entre otras, que permiten conocer la estructura de la pieza a nivel atómico", explica Respaldiza.

También con PIXE, junto con otras técnicas que utilizan aceleradores, como la espectrometría de masas, fue cómo técnicos del OIEA consiguieron ayudar a resolver un misterio que preocupó a los arqueólogos durante décadas. En 1996, un buzo encontró un antiquísimo Apoxiómeno en bronce a 45 metros de profundidad en el Adriático, cerca de las costas croatas. Poco se sabía de esta escultura de un atleta desnudo rascándose el sudor y el polvo de su cuerpo, quién la esculpió o su procedencia, hasta que, en 2009, se aplicaron estas técnicas nucleares, que concluyeron que se trataba de una copia romana de entre el 100 a. C. y el 250 d. C, a partir de otra mucho más antigua, del siglo IV antes de nuestra era.

Los investigadores, además, radiografiaron a la estatua como si fuera un



OIEA

Estatua de Apoxiómeno hallada en el Adriático y estudiada con técnicas radiactivas.



Barca romana sometida a radiaciones para solidificar el pegamento que la mantiene estable.

paciente humano y descubrieron maravillados las sofisticadas técnicas de fundición y unión empleadas para las extremidades y otras incrustaciones. Las radiografías, tomografías (TAC), la reflectografía infrarroja y la luz ultravioleta son ampliamente utilizadas para la restauración de patrimonio como técnicas de imagen y no para obtener información sobre la composición. El equipo de Respaldiza las utilizó para restaurar muchas esculturas de madera de Juan Martínez Montañés (1568–1649) que se encontraban en mal estado en el palacio arzobispal de Sevilla. En este caso, los restauradores necesitaban saber cómo estaba hecho el ensamblaje de las distintas piezas que componían las estatuas. "La propia calidad del trabajo y la perfección de los entronques, como si el que los hizo tuviera ya en mente la talla que iba a hacer, hizo sospechar que quizás fuera obra del propio Montañés y no de un carpintero de esos a los que normalmente se les encargaba", recuerda el físico. De nuevo, el maestro y no el discípulo.

## Ver para actuar

Otro gran aliado para ver donde los ojos a simple vista no llegan es la luz ultravioleta que permite localizar zonas de repintes. Los elementos orgánicos de los aglutinantes que contienen los barnices van polimerizando con los años, de manera que aquellas zonas originales, que son más viejas y por las que han transcurrido siglos, muestran unas fluorescencias muy fuertes. Mientras, las pinceladas de una restauración posterior aparecen oscuras porque no ha habido tiempo para que se produzca esa degradación. "De esta manera el restaurador puede tener información de qué capas de pintura puede retirar o no, porque sea original del cuadro", puntualiza Respaldiza.

La primera vez que se utilizaron las radiaciones ionizantes para limpiar patrimonio antiguo fue en la década de los 70 del siglo pasado, para la desinfección de la momia de Ramses II. Otro hito fue cuando, en 2010, se utilizaron para neutralizar los gérmenes que estaban afectando a los tejidos blandos de Khoma, el mamut que permaneció 50 000 años congelado en el permafrost en Siberia (Rusia).

El secreto del éxito, como en casi todo, está en la mesura de la dosis. La radiación pretende alterar el ADN de los parásitos sin afectar a la obra de arte. En general, cuanto más compleja es la estructura cromosómica, más sensible es los rayos X y mayor riesgo hay de ser dañada. Por eso, para combatir insectos se necesitan niveles más bajos que con los mohos.

En otra intervención en la que participó el OIEA se utilizó radiación para solidificar el pegamento que mantiene estable una barca romana de roble del siglo I de 31 metros de eslora. Fue encontrada enterrada bajo los lodos del río Ródano en Francia y la sola exposición con el aire la desintegraba. "Como si secaran pegamento con un secador de pelo, los restauradores utilizaron la radiación para solidificar la resina radiocurable y mantener unida la estructura fibrosa de la madera", explicó entonces Bum Soo Han, radioquímico del organismo internacional.

Soo Han participa en Átomos para el Patrimonio, una iniciativa promovida por la institución nuclear y sus estados miembros, puesta en marcha en 2018 para promover el uso de las tecnologías de irradiación en el campo de la conservación del patrimonio cultural. Una labor sin la que los vestigios de nuestra cultura acabarían muriendo.

# Reacción en cadena

NOTICIAS

## Un propulsor español mantiene en órbita nanosatélites



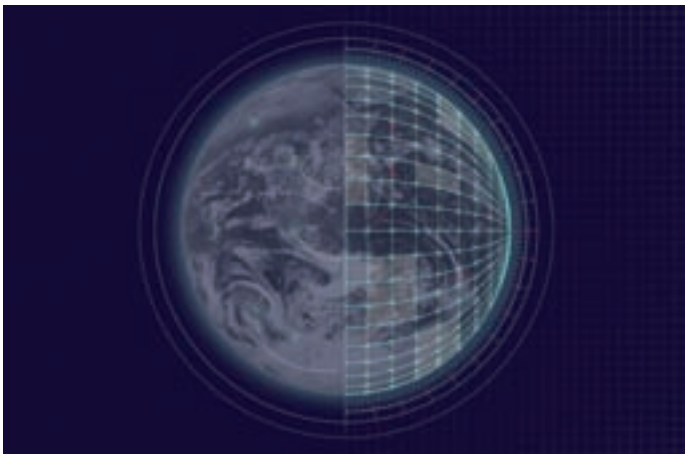
España lanzó con éxito, en enero de 2023, un propulsor eléctrico, movido por un motor iónico, que permite mantener nanosatélites en órbita y evitar que caigan a tierra por la fricción que sufren con la tenue atmósfera en que se mueven. Ha sido desarrollado conjuntamente por la empresa madrileña Ienai Space y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Se trataba de una prueba para demostrar su eficacia en el entorno espacial, tras haber realizado numerosas pruebas en laboratorio. El desarrollo de sistemas de propulsión iónica para mejorar la movilidad de los satélites está en plena expansión, ya que se trata de una solución ligera y económica en un campo en pleno desarrollo. "Estos motores ofrecen al mercado espacial un propulsor muy compacto y de baja potencia, pero altamente eficiente, capaz de integrarse en satélites de pequeño tamaño. Hasta ahora se intentaba miniaturizar sin éxito otras tecnologías tradicionales, de ahí la necesidad de desarrollar una tecnología completamente nueva", dice Daniel Pérez, CEO de la empresa Ienai Space. Por parte del CSIC ha participado el Instituto de Microelectrónica de Barcelona (IMB), que ha realizado la transferencia de tecnología y conocimientos en una colaboración que comenzó a finales de 2019 y que "consistió en la fabricación de las matrices de emisores con forma cónica y una altura de cientos de micras y, por otro lado, en demostrar la posibilidad de la nanoestructuración de esta superficie realizada mediante nanolitografía coloidal", dice el investigador del IMB Borja Sepúlveda. En el proyecto ha colaborado también el Instituto de Nanociencia y Nanotecnología.

## Una sustancia que descontamina el aire sin luz solar

Coches e industrias y centrales eléctricas son los responsables de la contaminación por óxidos de nitrógeno que envenena el aire de las ciudades. Existen sustancias capaces de reaccionar para eliminar estos gases tóxicos, que funcionan usando la radiación solar como catalizador y que, por tanto, solo trabajan de día. Ahora, un grupo de investigación de la Universidad de Córdoba, liderado por los investigadores Ivana Pavlovic y Luis Sánchez y adscrito al Instituto Universitario de Química para la Energía y el Medioambiente, ha desarrollado un compuesto capaz de degradar los óxidos de nitrógeno sin necesidad de contar con la luz solar, lo que permite ampliar su actividad hasta dos horas más tras la puesta de sol. Se trata un compuesto basado en hidróxidos dobles laminares (HDL) a los que se añaden nanopartículas de grafeno, lo que permite almacenar energía química mientras descontamina con la luz solar y liberar esa energía almacenada para seguir realizando su labor en unas horas de intenso tráfico urbano.



## Una Tierra virtual para combatir el cambio climático



La Unión Europea ha puesto en marcha el proyecto Destination Earth para desarrollar gemelos digitales de la Tierra que permitan encontrar soluciones a la crisis del cambio climático mediante una doble transición ecológica y digital. El supercomputador español MareNostrum participa activamente en esta iniciativa mediante la modelización de los dos primeros gemelos, que permitirán monitorizar y predecir el estado de salud de nuestro planeta teniendo en cuenta los efectos del cambio climático y la evolución de los sistemas naturales: océanos, atmósfera y bosques. También servirá para evaluar la eficacia e impacto de las políticas ambientales. Los gemelos digitales proporcionarán además diferentes escenarios sobre cómo podría ser el futuro, teniendo en cuenta diferentes grados de calentamiento del planeta y sus correspondientes subidas del nivel del mar. La idea es crear un sistema escalable, que permita introducir cada vez más datos y ofrecer un servicio a usuarios tanto del sector público como privado. El proyecto cuenta con una inversión inicial de 150 millones de euros del Programa Europa Digital y concluirá en un plazo de entre siete y diez años con una réplica digital completa de la Tierra.

**EFEMÉRIDES ► HACE 100 AÑOS...**

## Se descubre que las partículas también son ondas

Albert Einstein asombró al mundo en 1905 al afirmar que la luz era a un mismo tiempo onda y partícula para explicar el efecto fotoeléctrico y la propuesta de Max Plack del cuanto de energía. En 1923 esta intuición se amplió al conjunto de todas las partículas. El francés Louis-Victor de Broglie propuso que el fenómeno era aplicable también a la materia y que toda partícula tenía asociada una onda y manifestaba propiedades ondulatorias, lo que se demostró años después. En 1929 recibió el premio Nobel por su hallazgo. Por su parte, ese mismo año, Arthur Holly Compton demostró que los rayos X dispersados por su impacto con la materia alargaban sus ondas asociadas. Su propuesta afirmaba que cuando un cuanto de rayos X incidía sobre un electrón, este adquiría parte de la energía y aquél aumentaba su longitud de onda. Es lo que se conoce hoy como efecto Compton. Por este trabajo recibió el premio Nobel de Física de 1927. Compton fue, además, el que dio nombre a los cuantos de luz al llamarlos fotones.



Arthur Holly Compton.



Louis-Victor de Broglie.

## EN RED



### La naturaleza en directo

La Sociedad Española de Ornitología, asociada a la internacional BirdLife, (SEO/Birdlife), es la decana de las organizaciones de defensa ambiental en España y en su actividad combina investigación, protección, divulgación y defensa de las aves, que son su centro de atención. Hace ya tiempo que inició una actividad de cámaras en vivo, situadas en determinadas localizaciones estratégicas, que permiten seguir en directo la actividad de algunas especies, como el buitre negro, el cernícalo primilla, el halcón peregrino y la cigüeña blanca y espacios más emblemáticos de nuestro país, como el Parque Nacional de Doñana. Además de satisfacer la curiosidad de los aficionados a la contemplación de aves, SEO/Birdlife invita a quien lo desee a participar en la recogida de datos sobre "el comportamiento reproductivo de las especies (tiempo de incubación, número de huevos, número y tamaño de las presas, frecuencia de alimentación, tiempo de desarrollo de los pollos, etc…)", mediante la vigilancia a través de estas cámaras. Un buen ejemplo de lo que se conoce como ciencia ciudadana.

https://seo.org/camaras/

### Todo lo que siempre quiso saber sobre la Antártida

El Programa Antártico de Estados Unidos tiene una parte destacada de su página web dedicada a la divulgación sobre el continente más remoto, frío y seco del planeta. Además de una amplia descripción de las peculiares características generales de la Antártida y el tratado internacional que la rige, ofrece la posibilidad de observar la actividad en sus tres bases, la McMurdo, situada en la isla de Ross, la Palmer, en la península antártica y la Amundsen-Scott, sobre el mismísimo polo sur. También se puede acceder a videoclips, mapas, fotografías y grabaciones de pódcast. Dispone también de abundante material docente para que puedan utilizarlo profesores de diferentes etapas educativas, incluyendo posters, webinarios, vídeos y sugerencias de actividades, en ámbitos como el clima, el medio ambiente, la investigación ecológica, los glaciares, la astronomía y con la fauna antártica como principal atractivo, especialmente los pingüinos y las ballenas, además de otras aves y mamíferos marinos.




https://www.usap.gov/aboutthecontinent/

## REDES

**@CNTravelerSpain**

La revista de viajes Condé Nast Traveller, una de las más vistosas de su sector, ofrece ideas de lugares a visitar de todo el mundo y lo hace mediante espectaculares fotografías.

**Doctorfisión**

3,8 millones de seguidores avalan el estilo de este divulgador, que afronta la actualidad científica con desparpajo y de manera enfática a diario y en vídeos de menos de un minuto.

**Museu Nacional de la Ciència i la Tècnica de Catalunya**

Además de mostrar sus fondos: objetos representativos del patrimonio científico y tecnológico de Cataluña, su página de Facebook ofrece diariamente curiosidades científicas de la vida cotidiana.

**Agencia Espacial Europea**

El canal de la ESA en YouTube ofrece vídeos de sus misiones, de la superficie terrestre, la vida de los astronautas en la Estación Espacial Internacional y de divulgación del espacio.

**@pepcarrio**

Pep Carrio, uno de los grandes diseñadores e ilustradores españoles actuales ofrece un amplio muestrario de su trabajo, en su página de Instagram.

AGENDA

## Somos agua

Fundación Canal
**Paseo de la Castellana 214. Madrid**
Del 17 de diciembre de 2022 al 30 de junio de 2023
www.fundacioncanal.com/somosagua



El agua, ese elemento que ocupa dos tercios de la superficie terrestre y que es esencial para la vida y para todo tipo de actividades, es el tema de esta ambiciosa exposición, que permite, entre otras cosas, descubrir la huella hídrica de numerosos productos de uso cotidiano, incluidos alimentos y ropa y conocer el creciente problema de la escasez de agua por la contaminación y el exceso de consumo y la disminución de su disponibilidad por el cambio climático. Además de concienciar, ofrece consejos y alternativas para reducir nuestro gasto directo e indirecto de agua. También aborda los aspectos más gratos, como la belleza de los paisajes acuáticos, los glaciares y la vida que albergan ríos (recorrer el Duero o el Ganges, por ejemplo) y océanos, incluidas especies tan llamativas como hipopótamos y cocodrilos, sumergiendo al visitante en un mar virtual con el túnel de luces LED más largo de Europa. También permite descubrir toda la infraestructura que permite llevar el agua a los hogares madrileños, con más de 17 000 km de canalizaciones, que conectan presas, embalses, laboratorios, depósitos y edificios, con un mapa de Madrid por el que se puede andar. Se trata de una experiencia multisensorial, con espectaculares imágenes y módulos sonoros que permiten una inmersión completa en el agua, además de visualizar el papel del agua en nuestro propio organismo. Se exhiben más de 80 audiovisuales en diferentes pantallas de gran formato (86 pulgadas) y es muy adecuada para visitas familiares, con muchos módulos adaptados para los más pequeños y talleres. Todo ello en un espacio expositivo de 2 500 metros cuadrados.

LIBRO

***Escrito en los huesos***
**Sue Black**
Editorial Capitan Swing, 2022. 336 páginas.

Este fascinante libro nos descubre que los huesos son testigos silenciosos pero fidedignos de nuestra forma de vida y de nuestra historia. Sue Black, antropóloga forense y anatomista famosa por haber identificado miles de casos de víctimas de crímenes de guerra y de desastres naturales, plasma en esta obra todo lo que su experiencia investigadora y detectivesca le ha enseñado. El libro es un recorrido completo por el esqueleto humano, desde el cráneo hasta los dedos del pie, pasando por la cara, la columna vertebral, los brazos, las manos, la pelvis y las piernas, para descubrir como nos cuentan lo que comemos o lo que nos movemos y los golpes físicos o emocionales que jalonan nuestra existencia. Algunos de estos rastros son sencillos de ver, otros requieren el concurso de la ciencia y de complejas tecnologías, y en conjunto conforman un retrato personal mucho más completo de lo que sospechamos. Los ejemplos de casos en los que participó añaden color a un libro que se lee como una novela del género policiaco.



# Panorama

## La Salem recibe la condecoración al Mérito de la Protección Civil



La Sala de Emergencias del CSN (Salem) recibió el pasado 10 de febrero la condecoración de bronce con distintivo azul al Mérito de la Protección Civil por su colaboración con el Centro Nacional de Seguimiento y Coordinación de Emergencias de Protección Civil. Estos reconocimientos se entregan una vez al año en un acto presidido por el ministro del Interior y su objetivo es distinguir comportamientos y trayectorias destacadas en este ámbito. En el caso del CSN se valoró que se trata de uno de los organismos de más larga trayectoria de colaboración con el ministerio del Interior en materia de prevención y respuesta al riesgo nuclear y radiológico.

El acto se celebró en la sede de la Escuela Nacional de Protección Civil, y recogió la condecoración de manos del ministro del Interior, Fernando Grande–Marlaska, una representación formada por el presidente del CSN, Juan Carlos Lentijo; el secretario general, Pablo Martín; el director técnico de Protección Radiológica, Javier Zarzuela; y personal de la Subdirección de Emergencias, pertenecientes a la SALEM. También se entregó la medalla de oro con distintivo rojo al Servicio de Emergencias Estatal de Ucrania y al Centro de Coordinación de Respuesta a Emergencias, del Mecanismo Europeo de Protección Civil, por su desempeño durante la guerra de Ucrania, en la que la Protección Civil europea está viviendo su mayor despliegue.

## El CSN supervisa los avances en el proyecto IFMIF-DONES en Granada

El 20 de diciembre de 2022 se reunió el comité de enlace del consorcio IFMIF-DONES, en el que participan el CSN, el Ciemat y la Universidad de Granada y que preside la consejera del CSN Elvira Romera, para analizar los avances realizados en los últimos meses. Se presentaron los sistemas de gestión de residuos radiactivos líquidos y gaseosos en operación normal y en condiciones de accidente con que deberá contar el proyecto. También se abordaron los requisitos de seguridad de alto nivel de la instalación y el estado de las licitaciones relativas a la construcción de edificios de oficinas y almacén. El papel del CSN es clave y permitirá poner de manifiesto la capacidad española para licenciar esta instalación única en el mundo, en cuanto a seguridad nuclear y protección radiológica.



Esta instalación científica se ubicará en el municipio granadino de Escúzar y su construcción se inició en 2022. Dispondrá de un acelerador de partículas capaz de generar neutrones muy energéticos para estudiar materiales que puedan utilizarse en los futuros reactores de fusión nuclear que trabajen en modo continuo y que logren producir electricidad. Se trata de un proyecto internacional y en diciembre de 2017 la organización Fusion for Energy evaluó positivamente la propuesta conjunta de España y Croacia para ubicar el IFMIF-DONES en Granada. Está previsto que inicie su funcionamiento en 2030, y poder obtener los primeros resultados en 2035.

## *In Memoriam* Antonio Baeza Espasa

El pasado 23 de noviembre falleció nuestro compañero y amigo Antonio Baeza Espasa, a la edad de 67 años, después de una larga lucha con la enfermedad, que, sin embargo, no ha logrado apartarle de su trabajo ni borrarle la sonrisa.



Antonio se Doctoró en Ciencias Físicas en 1983 y ha desarrollado toda su carrera en la universidad, llegando a ser Catedrático de Física Aplicada y desarrollando su actividad en la Facultad de Veterinaria de la Universidad de Extremadura. Además, era Director del Laboratorio de Radiactividad Ambiental de dicha universidad en Cáceres (LARUEX), donde ha llevado a cabo una labor pionera en el desarrollo de la protección radiológica ambiental en España. No menos importante ha sido su aportación a la protección radiológica en emergencias nucleares y radiológicas, a través de la creación del Centro de Redes Automáticas de Alerta Temprana y de Vigilancia Radiológica Ambiental, ALERTA2, entre otros.

A sus espaldas descansan más de 70 proyectos de investigación de financiación pública tanto nacional como internacional, más de 200 publicaciones científico-técnicas, patentes y tesis dirigidas. Cinco sexenios de investigación avalan su participación en numerosos proyectos de I+D promovidos por el CSN en los que ha colaborado estrechamente tanto con la Subdirección de Protección Radiológica Ambiental como con la Subdirección de Emergencias y Protección Física.

Al margen de su recorrido profesional, todos los que han tenido ocasión de tratar con él recordarán su entusiasmo, dedicación, generosidad, profesionalidad y capacidad de colaboración, que convirtieron en habitual su presencia en las diferentes actividades relacionadas con la protección radiológica que se han desarrollado en este país, en un amplio abanico de ámbitos de trabajo, pero especialmente en los campos de la vigilancia radiológica ambiental y las emergencias radiológicas.

Desde el CSN queremos transmitir nuestro profundo pesar y nuestro más sentido pésame a su mujer y a sus hijos por su pérdida. Se ha ido uno de los grandes. Descanse en Paz.

## Jornada anual de I+D+i

El 2 de febrero se celebró en el Consejo de Seguridad Nuclear la jornada anual sobre los proyectos de investigación financiados por su programa de I+D+i, que en 2022 contó con un presupuesto de 2.730.000 euros. Durante el acto se repasaron las principales actividades de I+D+i que el regulador llevó a cabo a lo largo del último año y se presentaron nueve proyectos de investigación nuevos, relacionados con la seguridad nuclear y la protección radiológica. En total, el CSN cuenta con 74 proyectos en marcha a través de 44 convenios y 30 subvenciones contemplados en el Plan de I+D para el periodo 2021-2025. En el acto de clausura, los consejeros Javier Dies, Francisco Castejón y Elvira Romera destacaron la importancia de la colaboración con las universidades, las plataformas especializadas del sector, como PEPRI y CEIDEN, y otras entidades como la Agencia de Energía Nuclear de la OCDE.



## Nuevo acuerdo de colaboración con el Ministerio del Interior

El presidente del CSN, Juan Carlos Lentijo, y el ministro del Interior, Fernando Grande-Marlaska, firmaron el 18 de enero un convenio de colaboración para fomentar el intercambio información, experiencia y conocimientos en el desempeño de sus respectivas funciones y competencias relativas a la protección física de las instalaciones, los materiales y las actividades nucleares y radiactivas.

El acuerdo tiene una duración de cuatro años y contempla que las actividades que se realicen no generen gasto específico directo para ninguna de las dos instituciones. El compromiso involucra específicamente a la Secretaría de Estado de Seguridad en cuanto responsable de la misión de proteger el libre ejercicio de los derechos y libertades y garantizar la seguridad ciudadana. Para el desarrollo y aplicación de este acuerdo, ambas instituciones constituirán una comisión de seguimiento que se reunirá tantas veces como sea necesario y, al menos, una vez al año.

# Principales acuerdos del Pleno

### Séptimo Plan General de Residuos Radiactivos

El Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), en su reunión del 21 de diciembre, emitió el informe preceptivo no vinculante, solicitado por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD), sobre el VII Plan General de Residuos Radiactivos (PGRR). El acuerdo contó con un voto particular del consejero Javier Dies. El Plan prevé la construcción de almacenes temporales descentralizados (ATD) en las centrales nucleares para la gestión del combustible gastado y los residuos de alta actividad, hasta su traslado definitivo al Almacén Geológico Profundo previsto para 2073. Actualmente, parte del combustible gastado y los residuos de alta actividad se gestionan en almacenes temporales individualizados (ATI) situados en el propio emplazamiento de las centrales. El PGRR plantea la creación o adaptación de estas instalaciones en los ATD, previo licenciamiento que deberá ser informado por el CSN de acuerdo con la reglamentación vigente.

### Nueva línea de luz en el Sincrotrón CELLS

El 7 de diciembre, el Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear emitió informe favorable sobre la modificación de la instalación radiactiva de primera categoría del Sincrotrón CELLS, situado en Cerdanyola del Vallès (Barcelona), para la instalación de una nueva línea de luz de rayos X denominada BL25-MINERVA, diseñada para apoyar el desarrollo del Advanced Telescope for High Energy Astrophysics (ATHENA) de la Agencia Espacial Europea (ESA por sus siglas en inglés). La línea de luz proporcionará las capacidades de metrología necesarias para fabricar y caracterizar en serie los módulos elementales de la óptica del telescopio.

### El CSN aprueba su primer Plan de Igualdad

El Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear aprobó, en su reunión del 11 de enero, su primer Plan de Igualdad, con los objetivos de fortalecer su compromiso con la promoción de la igualdad de oportunidades entre mujeres y hombres y dar cumplimiento a lo establecido en la legislación y en su propio Estatuto y Plan Estratégico 2020-2025. Se pretende implementar este plan de forma real y efectiva como elemento central y transversal en la gestión de la organización. El plan se sustenta en cinco áreas de actuación: medidas instrumentales para la transformación organizativa; sensibilización, formación y capacitación; condiciones de trabajo y desarrollo profesional; corresponsabilidad y conciliación de la vida personal, familiar y laboral; y violencia de género.

### Aprobado el plan anual normativo del CSN

El 1 de febrero el Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear aprobó el plan anual normativo del organismo, que prevé la elaboración de seis Instrucciones de seguridad (IS), cuatro nuevas y dos revisiones de instrucciones vigentes, la IS-20, sobre requisitos de seguridad relativos a contenedores de almacenamiento de combustible gastado, y la IS-10, sobre criterios de notificación de sucesos por las centrales nucleares. Las nuevas instrucciones abordarán la seguridad de experiencia operativa, la caracterización y evaluación del emplazamiento de instalaciones nucleares, los requisitos de seguridad física en el transporte de materiales nucleares y fuentes radiactivas y aspectos relacionados con el nuevo Reglamento sobre Protección de la Salud contra los Riesgos Derivados de las Radiaciones Ionizantes.

### Modificación de diseño del ATI de Trillo

El Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), en su reunión del 25 de enero, informó favorablemente, con condiciones, la solicitud presentada por el titular de la central nuclear Trillo (Guadalajara) sobre la modificación de diseño del almacén temporal individualizado (ATI) para su adaptación a la séptima revisión del estudio de seguridad de almacenamiento del contenedor ENUN 32P, empleado para albergar los elementos combustibles gastados de esta central. Se pretende así incorporar los cambios que ENSA ha realizado en su contenedor. El cambio modifica también las especificaciones técnicas de funcionamiento y el estudio de seguridad de la central.

### Plan de emergencia interior de Ascó

El 8 de febrero, el Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) informó favorablemente la propuesta de cambio del Plan de Emergencia Interior presentado por el titular de la central nuclear Ascó (Tarragona) en el que se plantea actualizar los medios de comunicación. El plan detalla las actuaciones, medidas y responsabilidades de preparación y respuesta ante accidentes, para mitigar sus consecuencias, proteger al personal de la instalación y notificar a las autoridades competentes, incluyendo la evaluación inicial de las consecuencias potenciales de la emergencia. Los planes de emergencia interior son responsabilidad del titular de la instalación y forman parte de los documentos oficiales de explotación.

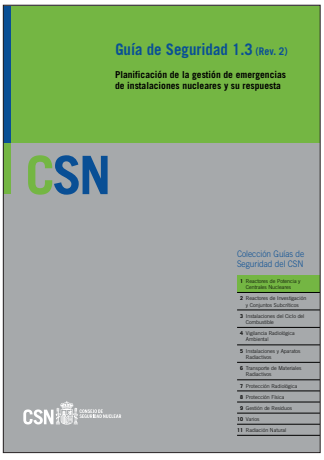
# Publicaciones



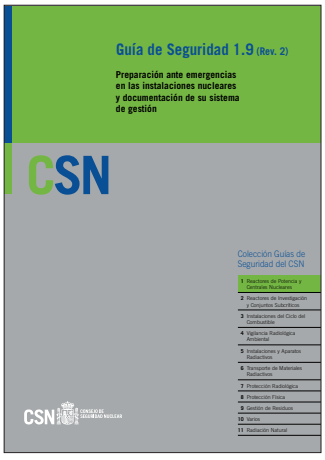

**Estrategia de relaciones internacionales** 2020-2025




**Strategy for International Relations**
2020-2025




**Guía de Seguridad 1.3 (Rev. 2)**
Planificación de la gestión de emergencias de instalaciones nucleares y su respuesta




**Guía de Seguridad 1.9 (Rev. 2)**
Planificación ante emergencias en las instalaciones nucleares y documentación de su sistema de gestión


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 A star is born

In December 2022, the US National Ignition Laboratory achieved the very first nuclear fusion reaction with energy gain. This historic milestone was reached by means of the inertial confinement method, using 192 laser rays that impinged on a target of deuterium and tritium, generating the conditions required for the fusion of their nuclei.

### 13 Renewal of the Council's Information Centre

The CSN Information Centre was set up in 1998 with a view to providing trustworthy information to society on the uses of ionising radiations, their risks and the work performed by the Council to guarantee the protection of the public and the environment. Now, almost 25 years later, the Centre has undergone a refurbishment to update its contents and enhance its facilities.

### 31 The invisible friend

The United Nations declared 2022 the International Year of Glass, the aim being to remind us of the qualities of this material, whose transparency makes it almost imperceptible, despite which it is used in all types of areas and even in the application of the most advanced technologies, such as the fibre optics that connect us to the internet.

### 38 Objects that surf the network

The term internet of things is used to refer to all types of digital interconnection mechanisms and objects that allow for the remote control of and direct communications between all types of systems. Its applications are growing exponentially in areas as diverse as agriculture, autonomous vehicles, domotics and energy management.

### 52 The Nuclear Safety Council approves its first Equality Plan

In March 2022, Spain made it obligatory for companies and institutions having more than 50 workers to put in place a plan guaranteeing equal treatment of and opportunities for men and women. The CSN approved its plan at the beginning of this year, although the first moves were made in 2010.

### 57 Rays that light up history

Technological progress has opened up a new space without frontiers: the metaverse, a territory that goes beyond the internet by integrating three dimensions. Apart from video games and entertainment, virtual immersion opens up new business opportunities in simulation, design, engineering and teaching, among other areas.

## RADIOGRAPHY

### 24 The CSN's resident nuclear power plant Inspectors

One of the most important figures when it comes to overseeing the correct operation of a nuclear power plant is the resident CSN inspector, who carries out his tasks on site at the facility. These inspectors are considered to be agents of the authority in the exercising of their functions and are entitled to freely access all areas of the plant without prior warning.

## INTERVIEW

### 26 Rosa Montero, journalist and writer

"You don't write a novel to teach anything but to learn something."

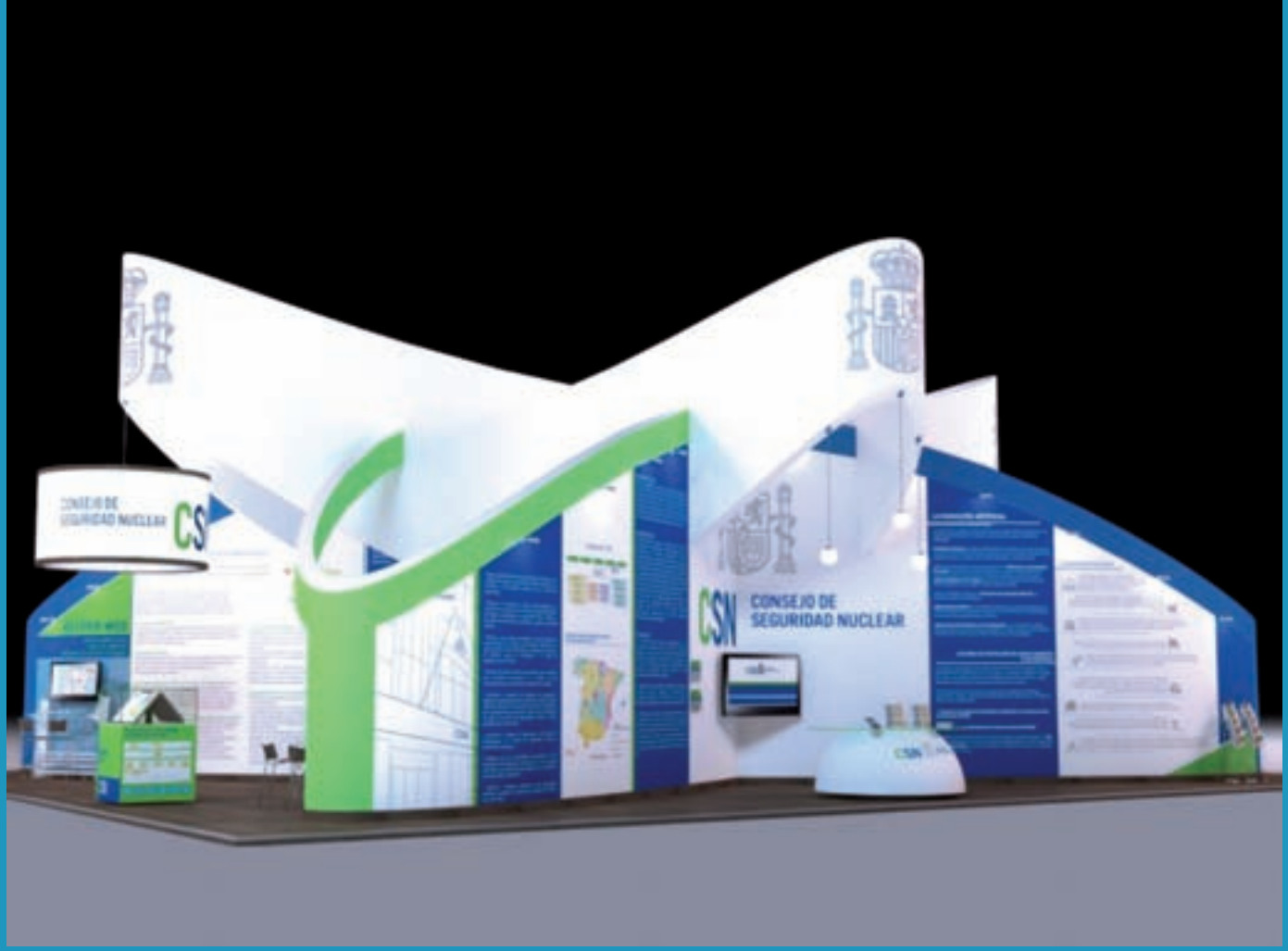
## TECHNICAL ARTICLES

### 17 Analysis of events occurring in the transport of radioactive materials in Spain from 2000 to 2020

The analysis of events occurring in the transport of radioactive materials is an essential tool to reduce the risk inherent to such activities, since it may allow lessons to be learned and actions to be taken to reduce the probability of similar events taking place.

### 44 New Regulations on the protection of health against the risk of ionising radiations

Royal Decree 1029/2022 was approved last December, transposing much of Directive 2013/59/Euratom to the Spanish legal system, including the basic standards for protection against the risks posed by ionising radiations. Among other things, the Decree contemplates three types of exposure: scheduled, emergency and existing..




# 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