

Laboratorio Subterráneo de Canfranc

Experimentos de biología en un entorno de bajo fondo radiactivo

Exposición a la radiación
cósmica del personal
de tripulación
de aeronaves

Pilar Paneque, directora
de ANECA: «Hemos vivido
en situación de urgencia,
pero hemos cumplido»

Cambios en la IS-10
para definir los criterios
objetivos de notificación
de sucesos nucleares

¡Conecta con nosotros!



https://twitter.com/CSN_es



[https://www.youtube.com/c/
ConsejoSeguridadNuclear](https://www.youtube.com/c/ConsejoSeguridadNuclear)



[https://www.linkedin.com/company/
consejo-de-seguridad-nuclear/](https://www.linkedin.com/company/consejo-de-seguridad-nuclear/)



<http://www.csn.es>

TRANSPARENCIA > COMUNICACIÓN > DIVULGACIÓN

Fiel al espíritu de promover el conocimiento científico y tecnológico de forma accesible y sencilla sale a la luz un nuevo número de ALFA.

Dedica su portada al Laboratorio Subterráneo de Canfranc, dirigido por Carlos Peña Garay y con Juan José Gómez-Cadenas como responsable de uno de sus principales experimentos. Situado a gran profundidad, juega un papel esencial en la búsqueda de fenómenos nucleares y subnucleares extremadamente inusuales, como la oscilación de neutrinos, la materia oscura y otros acontecimientos que precisan nula actividad para ser observados.

Le siguen dos interesantes reportajes sobre el “atlas del cerebro” y la ciberseguridad. El primero, analiza con los investigadores Javier DeFelipe y Juan Lerma la idea que persigue este singular mapa: comprender cómo funciona un cerebro en condiciones normales y cómo sus alteraciones dan lugar, por ejemplo, a enfermedades cerebrales devastadoras como la ELA o el alzhéimer.

El segundo, con la inestimable aportación de Jorge Ordás, director de Operaciones del Instituto Nacional de Ciberseguridad de España, repasa la situación actual

del cibercrimen en España, concediendo especial importancia a un sector tan crucial como es el energético, por la creciente digitalización, la conectividad de las infraestructuras y la dependencia que genera en otros servicios esenciales.

Pilar Paneque, directora de la Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación, responde a las preguntas de ALFA que pretenden explicar el nuevo sistema de acreditación estatal para el profesorado universitario.

La sección técnica llega de la mano de Victoria Aceña Moreno, que realiza un análisis de las dosis recibidas por el público, debido a las actividades de transporte de material radiactivo en España, e Ignacio Calavia e Isabel Villanueva, que estudian la exposición a la radiación cósmica del personal de tripulación de aeronaves.

La doctora Alicia Pelegrina es la fuente principal de otro reportaje dedicado a significar un problema global y en ascenso: la contaminación lumínica, un agente que merece atención por su capacidad para propagarse en todas las direcciones y la alta velocidad que alcanza: 300 000 kilómetros por segundo.

Los cambios en la Instrucción de Seguridad IS-10 para definir los criterios objetivos por los que las centrales nucleares españolas deben notificar ciertos sucesos ocupan, de forma gráfica, la sección de Radiografía.

Este número dedica también un espacio al Organismo Internacional de Energía Atómica, con el propósito de conocer mejor el objetivo de una entidad que trabaja en favor del uso pacífico de la tecnología nuclear para garantizar la paz y la seguridad internacional. Sus principales funciones se centran en establecer normas de seguridad nuclear y protección ambiental, ayudar a los países miembro mediante actividades de cooperación técnica, intercambio de información científica y técnica sobre la energía nuclear o normas básicas de seguridad para la protección contra radiaciones.

Por último, ALFA rinde homenaje a Marietta Blau, excepcional investigadora nominada dos veces al Nobel, cuyas aportaciones permitieron entender mejor las reacciones nucleares y distinguir las huellas que producen los protones y las partículas α en emulsiones fotográficas adaptadas para ello. ■

alfa

Revista de seguridad nuclear y protección radiológica
Editada por el CSN

Número 58
Junio 2024



Comité Editorial

Juan Carlos Lentijo
Pilar Lucio Carrasco
Francisco Castejón Magaña
Elvira Romera Gutiérrez
Teresa Vázquez Mateos
Javier Zarzuela Jiménez
Ignacio Martín Granados
J. Pedro Marfil Medina
Manuel Lozano Leyva

Comité de Redacción

J. Pedro Marfil Medina
Natalia Muñoz Martínez
Vanessa Lorenzo López

Adriana Scialdone García
Arturo Fernández García
Verónica Crespo Val
Manuel Luis Lozano Leyva
Ana Martínez Fernández

Edición y distribución

Consejo de Seguridad Nuclear
C/ Pedro Justo Dorado
Dellmans, 11 · 28040 Madrid
Tel. 91 346 01 00
peticiones@csn.es
www.csn.es

Coordinación editorial

Editorial MIC · 987272727
www.editorialmic.com

Fotografías

CSN, Editorial MIC, OIEA, LSC,
Fundación Starlight, Envato.

Impresión

Advantia Comunicación Gráfica SA
Formación, 16.
Pol. Ind. Los Olivos
28906 Getafe. MADRID

Fotografía de portada

Experimento de la Plataforma
BIO del Laboratorio Subterráneo
de Canfranc

D.L.: 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.



EN PORTADA

6 **Laboratorio Subterráneo de Canfranc**

El LSC juega un papel esencial en la búsqueda de fenómenos nucleares y subnucleares extremadamente inusuales, como la oscilación de neutrinos



REPORTAJES

12 **El atlas del cerebro**

El mapa del cerebro persigue conocer la composición celular de las diferentes áreas, averiguar cuál es su función y saber por qué se comportan de una manera y no de otra

18 **Cibercrimen de guante blanco**

Jorge Ordás, director de Operaciones del INCIBE, explica la importancia de la ciberseguridad en el sector de la energía por la creciente conectividad de las infraestructuras y la dependencia que genera en otros servicios esenciales



ENTREVISTA

24 **Pilar Paneque, directora de ANECA**

«Hemos vivido en situación de urgencia y estado de tensión permanente, pero hemos cumplido»

ARTÍCULOS TÉCNICOS

30 **Análisis de las dosis recibidas por el público debido a las actividades de transporte de material radiactivo en España**

Reglamento para el transporte seguro de material radiactivo del OIEA

38 **Exposición a la radiación cósmica del personal de tripulación de aeronaves**

La intensidad de esos llamados rayos cósmicos la modula el campo magnético terrestre que varía a lo largo de cada ciclo de actividad solar, cuya duración es de unos once años



REPORTAJE

- 46 **La Tierra es una estrella**
Contaminación lumínica:
un problema global y creciente

RADIOGRAFÍA

- 52 **Cambios en la IS-10**
Desarrollo de la Instrucción de Seguridad IS-10
para definir los criterios objetivos por los que
las centrales nucleares españolas deben
notificar ciertos sucesos

CSN I+D

- 54 **Campaña de Intercomparación de radón**
Iniciativa subvencionada por el CSN en
el Laboratorio de Radiación Natural (LRN)
de Saelices el Chico (Salamanca).

ENTIDADES

- 56 **Organismo Internacional de Energía
Atómica**
Promoviendo el uso pacífico de la energía nuclear

CIENCIA CON NOMBRE PROPIO

- 60 **Marietta Blau y las emulsiones nucleares**
Sus aportaciones permitieron entender mejor
las reacciones nucleares y distinguir las huellas
que producen los protones y las partículas α en
emulsiones fotográficas adaptadas para ello

- 65 **Reacción en cadena**

- 68 **Panorama**

- 70 **Últimas publicaciones**





Laboratorio Subterráneo de Canfranc

El incesante viaje de los neutrinos

El Laboratorio Subterráneo de Canfranc juega un papel esencial en la búsqueda de fenómenos nucleares y subnucleares extremadamente inusuales, como la oscilación de neutrinos. Casi indetectables y con masas extremadamente pequeñas, son partículas que se mueven a velocidades cercanas a la de la luz y resultan fundamentales para entender el universo. Estas partículas elementales desafían la comprensión convencional de la materia y la energía.

■ Texto: Gerard O. Blanco | Fotos: LSC

Uno de los fenómenos más fascinantes relacionados con los neutrinos es su capacidad para cambiar de tipo mientras viajan a través del espacio, proceso conocido como oscilación de neutrinos. Cam-

bian de un sabor (de familia) a otro a medida que viajan por el espacio. Un neutrino asociado a uno de los tres leptones, (electrón, muón y tau) puede ser detectado como un tipo diferente. Identificados como partículas

subnucleares, tienen una masa tan pequeña que durante mucho tiempo se consideró nula. Esta característica les permite viajar casi a la velocidad de la luz, sin perder energía significativa en el camino.

Apuntes de historia del LSC

El Laboratorio Subterráneo de Canfranc (LSC) está situado a gran profundidad y ha sido diseñado para la investigación en física de neutrinos, materia oscura y otros fenómenos inusuales en la naturaleza que requieren muy baja radiactividad ambiental para ser observados. Se encuentra a 800 m bajo tierra y está excavado entre el túnel carretero de Somport y el antiguo paso ferroviario de 8 km en la frontera España-Francia. Actualmente, el LSC es el segundo laboratorio a gran profundidad más grande de Europa, en estrecha colaboración con los laboratorios subterráneos más importantes en el contexto internacional: LNGS (Italia), SNOLab (Canadá) y Kamioka (Japón).

La historia del laboratorio comienza en 1986, con el trabajo pionero en España del equipo de la Universidad de Zaragoza liderado por Ángel Morales. Hoy, es una instalación científica y técnica singular (ICTS) multidisciplinar, regulada como consorcio formado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, el Gobierno de Aragón y la Universidad de Zaragoza, con 1600 m² de superficie y un volumen de más de 10 000 m³ en el laboratorio subterráneo equipado con un número destacado de instalaciones. La infraestructura principal subterránea –denominada LAB2400– se divide en Hall A –área experimental de mayor superficie con 600 m²–, Hall B y C y área de servicios. El resto de las infraestructuras subterráneas anexas se denominan LAB2500 y LAB780 respectivamente, según su distancia a la boca española del túnel ferroviario. En el LSC, 22 colaboraciones nacionales e internacionales, con 300 científicos e ingenieros, llevan a cabo sus investigaciones en la frontera entre la física de astropartículas, la geodinámica y la biología.



Túnel ferroviario

Experimento NEXT-100, buque insignia del LSC: una cámara de proyección temporal basada en xenón gas a alta presión y que permite reconstruir la energía y trayectoria de los electrones producidos en la desintegración

Los neutrinos se originan en diversos procesos astrofísicos, como la fusión nuclear en el Sol o las explosiones de supernovas, y son esenciales para comprender los acontecimientos más extremos y energéticos en el universo. El estudio de su oscilación tiene amplias implicaciones en la física de partículas y la astrofísica. Por un lado, proporciona información crucial sobre sus propiedades fundamentales y, por otro, la detección de neutrinos oscilantes puede revelar pistas sobre procesos cósmicos extremos, como la formación de agujeros negros o la producción de elementos pesados en supernovas.

Experimentos de neutrinos, como Super-Kamiokande en Japón e IceCube en la Antártida,



Experimento NEXT del LSC



han desempeñado un papel crucial en la detección y caracterización de la oscilación de neutrinos. Estos experimentos utilizan detectores masivos ubicados bajo tierra o en el hielo para capturar los neutrinos que interactúan con la materia circundante, proporcionando datos valiosos para entender este fenómeno esquivo.

Objetivos del LSC

Entre los objetivos fundamentales del LSC figura la búsqueda de fenómenos nucleares y subnucleares extremadamente inusuales, como la oscilación de neutrinos. Para ello, precisan un ambiente de muy bajo fondo radiactivo. El ruido de fondo irreducible originado por los protones es debido a los rayos cósmicos y

otros núcleos, al golpear los núcleos de nitrógeno u oxígeno en la capa alta de la atmósfera. La interacción de los protones provoca una cascada de partículas, siendo muones y neutrinos las más penetrantes. Los muones alcanzan la superficie de la Tierra con un flujo de unos 2 muones/cm²/segundo. A 800 m de profundidad, bajo el Monte Tobazo, el flujo de rayos cósmicos se reduce en un factor de sesenta mil, lo que permite la búsqueda de procesos muy poco probables.

Infraestructuras subterráneas, como el LSC, alojan experimentos que proporcionan información científica complementaria a la obtenida por otros laboratorios con aceleradores. De hecho, los primeros elementos de la física,

más allá del modelo estándar, se obtuvieron mediante experimentos subterráneos. Sirva como ejemplo el descubrimiento de las oscilaciones de neutrinos debidas a su cambio de sabor, entre producción y detección debido a sus diferentes masas.

El interés por la ciencia que se está llevando a cabo en laboratorios subterráneos sigue creciendo en todo el mundo. Existe gran competencia a nivel internacional con nuevas propuestas de infraestructuras subterráneas. Entre ellas, las más relevantes en el contexto de ultra-baja radiactividad son la búsqueda de materia oscura, la búsqueda de la desintegración doble beta sin neutrinos, cuyo descubrimiento permitiría explicar la supremacía



Fotomultiplicadores ArDM



Plataforma de reducción de radón

Experimentos nucleares del LSC

BabylAXO. El experimento BabylAXO, liderado por la Universidad de Zaragoza, producirá física relevante mientras prepara el terreno para la infraestructura completa de IAXO (International Axion Observatory), que se trata de un helioscopio de axiones de nueva generación cuyo principal objetivo es detectar axiones (u otras partículas similares) potencialmente emitidos por el núcleo del Sol en grandes cantidades.

JASC. La espectroscopía γ de bajo fondo con detectores de germanio (HPGe) se ha convertido en una herramienta esencial para la detección de materiales en experimentos de física de eventos raros, que exigen los niveles más bajos de radiactividad, como neutrinos solares, desintegración beta doble sin neutrinos y materia oscura. Respecto a otros métodos, espectrometría de masas o activación de neutrones, proporciona un método integral no destructivo sin un tratamiento complejo de la muestra. Los radioisótopos primordiales ^{232}Th , ^{238}U y ^{40}K son las principales fuentes de contaminación en materiales comunes. Con respecto a los dos primeros isótopos, la espectroscopía con HPGe puede verificar el equilibrio secular, ya que es capaz de medir la concentración de sus progenies cerca del final de sus respectivas cadenas de descomposición, en particular ^{208}Tl y ^{214}Bi .

HENSA (High Efficiency Neutron-Spectrometry Array). Es un sistema de detección de energía en la espectrometría de neutrones basado en el principio de las esferas de Bonner [THO02].

de la materia sobre la antimateria en las primeras fases de la formación del universo conocido, y la exploración de las condiciones de vida en bajo fondo radiactivo.

En el marco del desarrollo de experimentos gigantes en laboratorios subterráneos, el LSC coordina la contribución española a la construcción del proyecto internacional Hyper-Kamiokande en Japón, versión colosal de los exitosos y premiados Kamiokande y Super-Kamiokande, que se convertirá en el experimento líder en la exploración de propiedades fundamentales de los neutrinos, simetrías en el MS y la exploración de los procesos nucleares en la evolución de las estrellas a partir de 2027.

Investigadores de las instituciones participantes en el consorcio español –Centro Internacional de Física de Donostia, universidades de Girona, Oviedo, Politécnica de Valencia y Santiago de Compostela (USC)– y el LSC son responsables del diseño y producción de 20 400 cubiertas de grandes tubos fotomultiplicadores (20”), de los sistemas de ventilación y de compensación geomagnética, de los módulos electrónicos de procesamiento de datos y de las fuentes de radiación para calibración.

Estos proyectos han sido posibles gracias a fondos de investigación que se enmarcan en el Mecanismo Europeo de Recuperación y Resiliencia, el acuerdo del LSC con el ICRR de la

Universidad de Tokio (UTokio) y el memorando de entendimiento firmado por el Ministerio de Ciencia e Innovación (MCIN) de España, la Organización de Investigación de Aceleradores de Alta Energía (KEK) y UTokio en agosto de 2022.

El LSC, con instalaciones y tecnologías singulares en un entorno excepcional, ha creado un programa de atracción de personal científico y técnico de otras instituciones, residentes de larga duración en el LSC, y compete por atraer talento para aumentar la capacidad del LSC en los grandes proyectos, técnicas de bajo fondo radiactivo y las nuevas líneas estratégicas de la década.

OTROS EXPERIMENTOS DEL LSC

El trabajo acumulado en la última década por el LSC ha permitido la producción de importantes resultados científicos



ANAIS. Experimento de detección de partículas diseñado para la detección de materia oscura. El proyecto DAMA/LIBRA es el único que ha proporcionado resultados científicos positivos. Está considerado como el programa más avanzado en la validación o refutación de este importante resultado experimental con más de seis años de datos acumulados.

DArTinArDM. El gran criostato de ArDM se ha adaptado para alojar DArT, detector de trazas de argón-39. Forma parte de la constelación de experimentos de la colaboración global de búsqueda de materia oscura con argón.

TREX-DM. Otros experimentos y expresiones de interés son TREX-DM, DAMIC y Baby-IAXO, que han dedicado sus esfuerzos a la preparación de experimentos y tecnologías de detección de materia oscura en el intervalo de masas cercano al protón.

NEXT. En desintegración doble beta, la colaboración NEXT está tomando datos con el experimento NEXT-100, buque insignia del LSC: una cámara de proyección temporal basada en xenón gas a alta presión y que permite reconstruir la energía y trayectoria de los electrones producidos en la desintegración. Marca el inicio de la preparación de las instalaciones en el LSC para alojar y apoyar la construcción de un detector de una tonelada de xenón enriquecido en Xenon 136, basado en la técnica de NEXT.



CROSS. Este experimento ha completado la primera fase de medidas de caracterización de los componentes necesarios para reducir el fondo radiactivo en el experimento.

El LSC ha iniciado un novedoso programa con instalaciones en **CRIOGENIA** (alrededor de 10 mK) para alojar experimentos que permitan entender el impacto de los rayos cósmicos y la radiactividad natural en los circuitos superconductores, tanto en qubits, unidades básicas de la computación cuántica, como en LEKIDs. Los proyectos **ICRQ** y **CADEx**, de los que el LSC forma parte, prometen importantes resultados en el estudio del impacto de la radiación sobre los circuitos superconductores y la búsqueda de materia oscura.

El éxito de los experimentos actuales y en fase de diseño dependen de la caracterización de los materiales que se utilizan en su fabricación. El LSC ha desarrollado la instrumentación existente para liderar las técnicas de detección de trazas. En el marco de las medidas de radiación gamma de los materiales, el LSC, junto a la Universidad Jaguelónica, aloja el detector gamma con récord mundial en sensibilidad a la radiopureza ($\mu\text{Bq/kg}$). Por otra parte, el nuevo espectrómetro de masas en la sala blanca del subterráneo permite alcanzar medidas de contaminación de uranio con sensibilidades extremas (ppq). A estos éxitos pronto se unirán otros desarrollos en el liderazgo de las medidas de trazas de componentes radiactivos. ■



»» CROSS



»» SUPERCOMPUTACIÓN



El LSC ha creado la **PLATAFORMA DE BIOLOGÍA** para alojar experimentos en bajo fondo cósmico que permitan desentrañar los mecanismos celulares de adaptación a la radiación cósmica en la superficie de la Tierra. Se ha observado que la importante reducción de la radiación cósmica en el LSC induce estrés oxidativo y la supresión de mecanismos de reparación del ADN. También se ha asignado tiempo de laboratorio a siete experimentos en las instalaciones del LSC, que utilizan diversos modelos biológicos y plantean variadas preguntas científicas sobre la influencia del silencio cósmico en la infección viral, el envejecimiento o la emergencia de la multicelularidad. ■



Carlos Peña Garay es director del LSC y coordina la contribución española a la construcción del experimento internacional HyperKamiokande.

Juan José Gómez Cadenas es coinventor de la tecnología de TPC de gas xenon a presión e investigador principal de la colaboración NEXT.



El atlas del cerebro

Los mapas permiten conocer el territorio. También facilitan el reconocimiento de infraestructuras y puntos claves que son útiles para la vida cotidiana. Esencialmente, esta es la idea que persigue el mapa del cerebro: conocer la composición celular de las diferentes áreas, averiguar cuál es su función y saber por qué se comportan de una manera y no de otra.

■ Texto: **MJ Prieto** | Fotos: **Envato**

En 2023 la revista *Science*¹ publicó una serie de artículos sobre el retrato de familia de las neuronas. Los trabajos partieron de la Brain Initiative Cell Census Network (BICCN), un proyecto lanzado en 2017 por los Institutos Nacionales de Salud de EE. UU. (NIH). Los datos obtenidos fueron muy reveladores porque venían a confirmar algunos aspectos que ya se conocían sobre

el funcionamiento del cerebro, pero sobre los que no había un consenso científico.

Javier DeFelipe, profesor de Investigación del CSIC y director del Laboratorio Cajal de Circuitos Corticales UPM/CSIC, es uno de los neurocientíficos españoles que mejor conocen el cerebro. «Hay 100 000 millones de neuronas, que tienen una gran diversidad funcional, morfológica, genética, química,

etc. La existencia de una clasificación es fundamental para la comunicación entre científicos. El cerebro alberga células que comparten estructuras, morfologías o neurotransmisores. Por ejemplo, el GABA, un tipo de neurotransmisor, se encuentra en diversos tipos morfológicos y funcionales de neuronas, lo que genera una enorme variabilidad. En definitiva, y desde el punto de vista práctico, el mapa sirve



Por qué somos humanos



■ Javier DeFelipe ■

En su libro *De Laetoli a la Luna. El insólito viaje del cerebro humano*², el profesor de Investigación en el Instituto Cajal (CSIC), Javier DeFelipe, desgrana la esencia de la humanidad. Con una narración muy cautivadora, recoge citas de artistas y escritores para acercarnos a esa área del cerebro que nos convierte en humanos.

DeFelipe está considerado el neuroanatomista más destacado que ha seguido los pasos de Santiago Ramón y Cajal mediante la utilización y desarrollo de nuevas tecnologías. Sus estudios han ayudado a comprender la microorganización de la corteza cerebral. Ha participado, entre otros proyectos, en el Neurolab de la NASA como investigador principal del equipo científico español, y en el Blue Brain, cuyo origen se remonta al año 2005, liderado por el profesor Henry Markram. Este proyecto es una iniciativa internacional dirigida en España por el investigador a través del Cajal Blue Brain.

como herramienta para que los científicos comprendan cómo clasificamos las células y a qué nos referimos cuando las mencionamos», explica.

Este macroproyecto, que involucra a cientos de investigadores, proporcionará una referencia completa de los diversos tipos de células del cerebro humano, del ratón y de los primates. Una red integrada por centros y laboratorios, entre los que se incluyen centros de generación de datos Uo1, RF1 y U19, archivos R24 y un Centro de Datos de Células Cerebrales (BCDC) U24, trabaja de manera colaborativa para generar, mapear y compartir estos datos con la comunidad científica.

Juan Lerma, director del grupo de Fisiología Sináptica del Instituto de Neurociencias de Alicante, ha conseguido una gran

repercusión en el ámbito internacional por su trabajo sobre los mecanismos que gobiernan la comunicación neuronal. Sus investigaciones acerca de los procesos de la neurotransmisión han abierto nuevos caminos en la neurociencia moderna. «Este mapa tiene dos ventajas. La primera es que se analiza el cerebro humano en desarrollo. Conviene señalar que obtener cerebros de humanos en buenas condiciones para este tipo de estudios no es fácil. El ma-

terial se ha conseguido a través de procesos supervisados por comités de ética y, por tanto, es de buena calidad. La segunda ventaja es que se emplean técnicas de transcriptómica de última generación, lo que permite cartografiar desde el punto de vista molecular neurona a neurona para saber cuáles son las características propias de cada una de ellas. El mapa ha puesto de manifiesto aspectos muy novedosos, pero también ha confirmado otros muchos

Las diferencias entre el cerebro de los primates y el de los humanos son prácticamente mínimas, salvo a nivel molecular y en muy pequeñas variaciones



La cartografía es necesaria para comprender cómo funciona un cerebro en condiciones normales y cómo sus alteraciones dan lugar a enfermedades cerebrales devastadoras como la ELA o el alzhéimer

que ya se conocían, lo que demuestra que el conocimiento era sólido», señala.

Otra de las cualidades del mapeo es que aportará una cantidad ingente de datos que «serán analizados por diferentes grupos de investigadores, es decir, será información que podrá revisar toda la comunidad científica. La cartografía cerebral ha abierto un campo de análisis que va a seguir creciendo», apunta el investigador del Instituto de Neurociencias de Alicante.

Por cien genes no somos chimpancés

Una de las revelaciones del proyecto es que las diferencias entre el cerebro de los primates y el de los humanos son prácticamente mínimas, salvo a nivel molecular y en muy pequeñas variaciones. El artículo de *Science*³ firmado por Nikolas Jorstad, del Instituto Allen, junto a otros investigadores, analiza los genes de las células que componen el giro temporal medio, una región clave para la



comprensión del lenguaje en humanos, chimpancés, gorilas, macacos y monos tití.

La trascendencia de este estudio revela que los primates conservan los mismos tipos de células desde su aparición como especie y que tan solo unas pocas son distintas en los humanos.

«Cuando se compara a primates de distintas especies, incluido el humano, te preguntas ¿cuáles son los genes que otorgan la capacidad de conciencia, de

Abordar la salud cerebral de una vez por todas



■ Juan Lerma ■

Juan Lerma es vicepresidente del comité ejecutivo del Consejo Europeo del Cerebro. Trabaja para que la salud cerebral, un término holístico que incluye aspectos neurológicos y psiquiátricos, se aborde de manera prioritaria. «Las enfermedades mentales no solo destrozan el alma del paciente, destrozan a la familia. Suponen un gasto emocional y un sufrimiento que los Estados tienen que abordar de una vez por todas», apunta.

En 2018, el investigador y su equipo del Instituto de Neurociencias UMH-CSIC demostraron cómo pequeños cambios en la intensidad de la transmisión sináptica pueden tener un impacto significativo en el comportamiento, manifestándose de manera distinta según qué área del cerebro se vea afectada. Cuando estos cambios ocurren en la amígdala, están vinculados al procesamiento emocional y pueden alterar las respuestas de miedo o ansiedad. Por otro lado, si se producen en la corteza prefrontal, pueden dar lugar a problemas en las relaciones personales o a un aumento de la agresividad. Un estudio más reciente del grupo de Fisiología Neuronal reveló que un desequilibrio similar en el hipocampo provoca alteraciones relacionadas con la memoria espacial, lo que se traduce en los problemas de orientación experimentados por las personas con síndrome de Down.

El investigador señala que para mantener una función cerebral adecuada es esencial una buena regulación de la comunicación entre las neuronas, que puede ser tanto excitatoria como inhibitoria. La liberación adecuada de neurotransmisores de uno u otro tipo en las sinapsis es fundamental para el correcto funcionamiento de los circuitos neuronales. Cuando este equilibrio se rompe surge una variedad de patologías aparentemente diferentes, como la ansiedad, depresión, esquizofrenia, trastorno bipolar o del espectro autista.



Tenemos tecnologías increíbles capaces de hacer estudios a nivel nanoscópico y sináptico que aportan una precisión antes impensable

análisis, de predicción? En fin, ¿qué es lo que nos hace humanos? Y la conclusión es que solo nos separan de los primates no-humanos poco más de cien diferencias moleculares y celulares», admite Lerma.

Uno de los aspectos más complejos de la neurociencia es tratar de comprender cómo se especializa cada área del cerebro. «Desde los descubrimientos de Ramón y Cajal ya se sabe que la composición celular varía en las distintas zonas cerebrales. La citoarquitectura demuestra que, aunque hay células comunes en cada área, unas abundan más que otras», señala Javier DeFelipe. Se puede decir que, en el cerebro, la cantidad importa.

La Edad de Piedra del conocimiento cerebral

La cartografía es necesaria para comprender no solo cómo funciona un cerebro en condiciones normales, sino también cómo sus alteraciones dan lugar a enfermedades cerebrales devastadoras como la ELA o el alzhéimer. Hasta la fecha se han catalogado más de 3000 tipos de células humanas, ca-

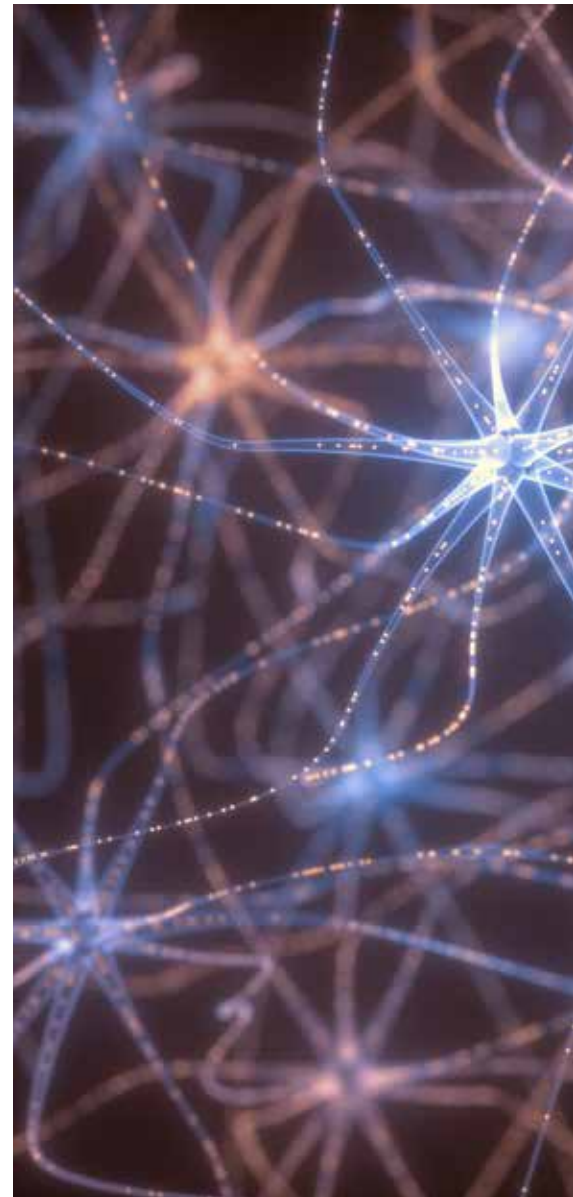
racterizadas una a una por su expresión genética, morfología y otros rasgos. Las neuronas ya mapeadas permitirán identificar cuáles son más propensas a mutaciones específicas que causan enfermedades neurológicas.

Entre los principales retos de la neurociencia está saber cómo puede desencadenarse una enfermedad mental. «Estamos en la Edad de Piedra del conocimiento del cerebro. Hay otros campos, como el cáncer, que están muy avanzados, pero el estudio del sistema nervioso va muy por detrás. Y esto no es comprensible porque somos lo que es nuestro cerebro. Si la máquina que pone en marcha toda nuestra existencia está alterada, no podremos relacionarnos con el entorno, de ahí la importancia de entender su funcionamiento. Hoy por hoy, el cerebro continúa siendo un gran misterio», apunta Juan Lerma, autor –junto al biólogo José Luis Rozas– del libro *El cerebro y las enfermedades del alma*⁴, en el que se acercan a las dolencias mentales que destruyen la propia esencia de la persona.

La enfermedad mental: un enigma para la neurociencia

La Organización Mundial de la Salud estima que en el año 2030 los problemas de salud mental serán la principal causa de discapacidad en el mundo. Aunque se están logrando avances, las enfermedades mentales son uno de los grandes enigmas de la neurociencia. «Todavía desconocemos cómo se originan patologías como la depresión. Se sabe que hay depresiones exógenas, derivadas de una

causa externa, como una tragedia personal, que desaparecen cuando se asimila la causa que las originó, y endógenas, que surgen sin un motivo aparente. Se sabe vagamente que los mecanismos cerebrales que llevan a la depresión están relacionados con la neurotransmisión, pero no sabemos por qué. En mi opinión, el desequilibrio en los circuitos cerebrales hace que el cerebro no produzca los estímulos que tiene que producir. Tampoco entendemos bien por qué funcionan los antidepresivos,



pero sí hacen que los pacientes mejoren. La salud mental es un campo tremendo que hay que abordar y entender», admite Juan Lerma.

Para Javier DeFelipe, «una de las claves es saber cómo se especializa cada área del cerebro. Por ejemplo, si enfermedades como el párkinson o alzhéimer empiezan en una determinada zona, habría que averiguar por qué hay células que tienen más afectación que otras».

Las variaciones genéticas tienen efectos sobre la probabilidad de desarrollar patologías. «En el caso del autismo se cree que pueden estar involucrados unos 400 genes. Al tratarse de un espectro, hay un abanico de síntomas muy amplio. Por ejemplo, hay casos que acusan un retraso mental y otros que no, de ahí que en el cerebro la mayor o menor expresión de un gen es importante y ese hecho puede desencadenar el desequilibrio», aclara Juan Lerma.

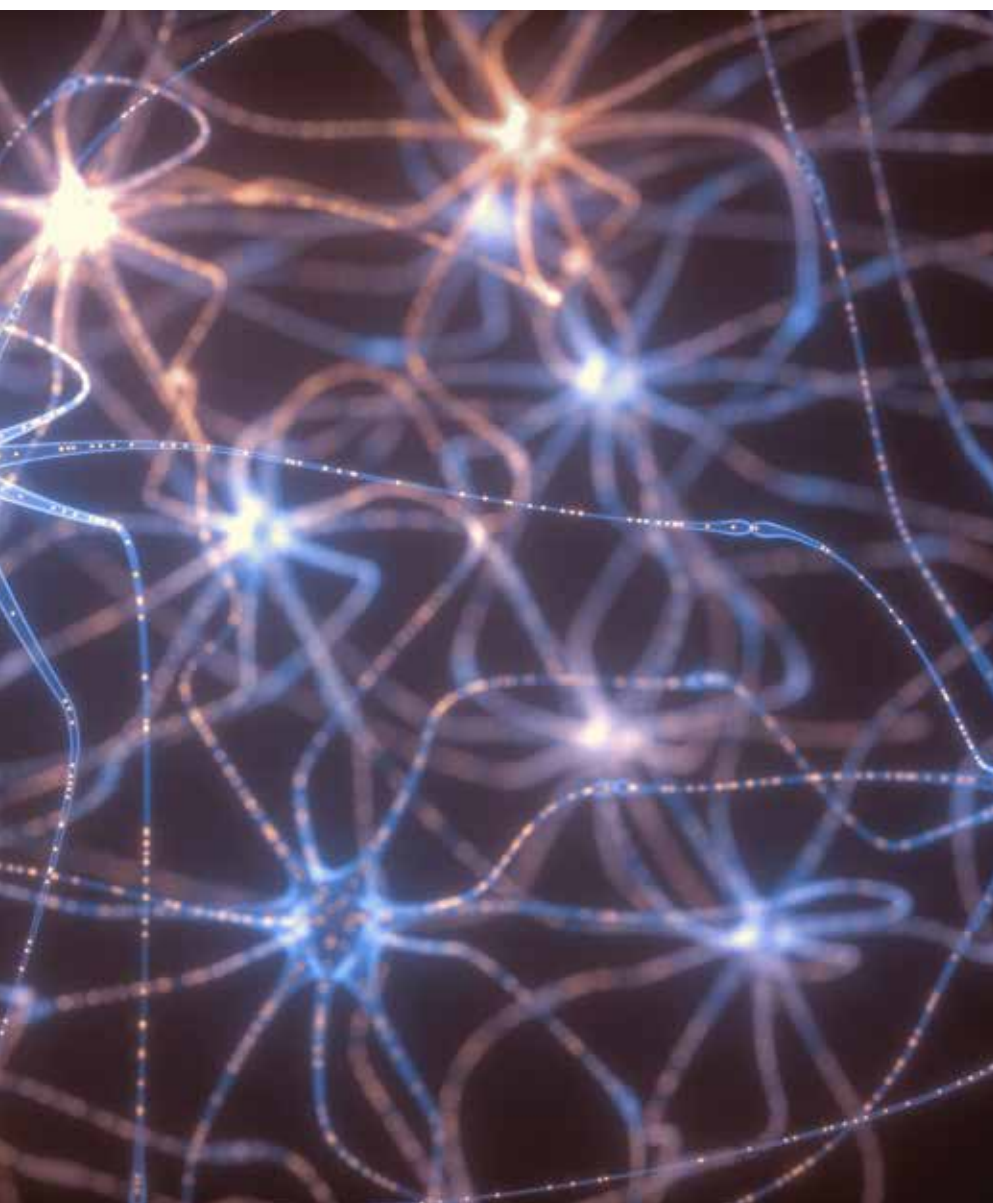
Conclusiones

El mapa es un instrumento fundamental para desentrañar la complejidad del funcionamiento cerebral. Juan Lerma destaca que «la cartografía viene a indicarnos que hay más tipos celulares de los que se pensaban. Por ejemplo, ya sabíamos desde hace tiempo que hay neuronas inhibitorias y neuronas excitatorias. Eso se sigue manteniendo, pero se demuestra que hay una gran variedad dentro de estos dos tipos de células; además, que la diversidad molecular es más grande de lo que se esperaba y esto se traduce en que la diversidad funcional es también mayor».

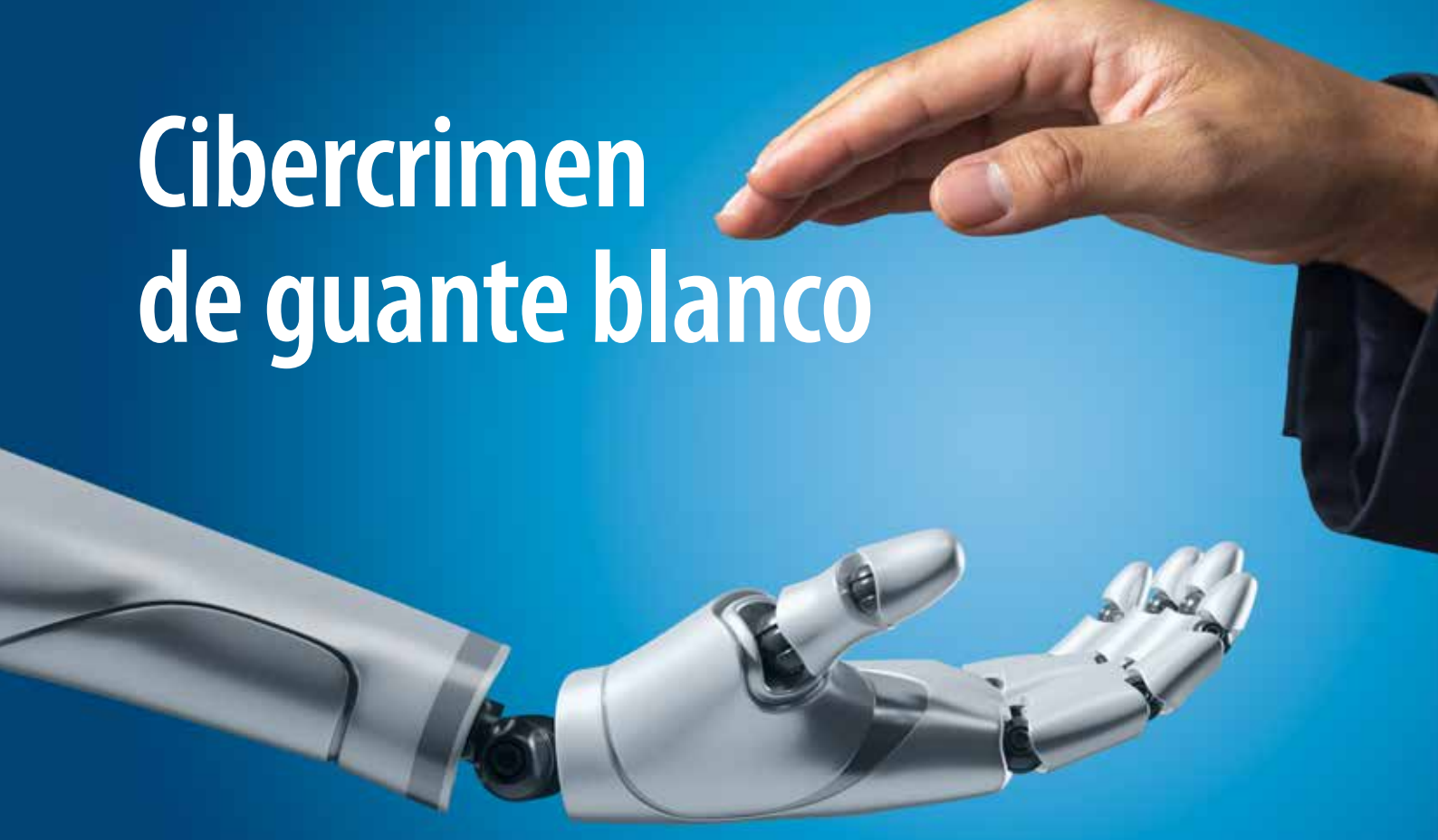
El uso de la tecnología para el procesamiento en tiempo real de grandes volúmenes de datos neuronales es crucial. «Tenemos tecnologías increíbles capaces de hacer estudios a nivel nanoscópico y sináptico que aportan una precisión antes impensable. En ese aspecto, la neurociencia está avanzando rápido y en los próximos años obtendremos datos muy detallados y reveladores», señala DeFelipe. ■

Bibliografía

1. Weninger A. y Arlotta P. (2023). «A family portrait of human brain cells. A cell census provides information on the source of human brain specialization». *Science*, vol. 382, issue 6667, pp. 168-169. DOI: 10.1126/science.adk4857
2. DeFelipe J. (2022). *De Laetoli a la Luna. El insólito viaje del cerebro humano*. Editorial Crítica.
3. Jorstad N. et al. (2023). «Transcriptomic cytoarchitecture reveals principles of human neocortex organization». *Science*, vol. 382, issue 6667. DOI: 10.1126/science.adf6812
4. Lerma J. y Rozas J. L. *El cerebro y las enfermedades del alma*. Espasa



Cibercrimen de guante blanco



La ciberseguridad es crucial para el sector de la energía debido a la creciente digitalización y conectividad de las infraestructuras y a la dependencia que genera en otros servicios esenciales. Según Jorge Ordás, director de Operaciones del INCIBE, el 22 % de los ciberincidentes que tuvieron como objetivo un operador crítico se centraron en el sector energético durante 2023.

■ Texto: Cecilia Ordás | Fotos: Envato

Los cibercriminales han evolucionado y son capaces de desplegar ataques de *ransomware* (secuestro) en menos de tres días, mientras que el tiempo medio de las empresas es de siete meses para detectarlo y dos meses para reaccionar. El crimen va siempre tres pasos por delante; pero, en el ciberespacio, la ventaja no se mide solo en pasos. Más bien son zancadas.

Jorge Ordás, director de Operaciones del Instituto Nacional de Ciberseguridad de España (INCIBE), señala que «la capacidad anual de gestión y respuesta de

INCIBE supera los 80 000 incidentes. Sin ir más lejos, en 2023, el centro de respuesta de INCIBE gestionó 83 517 incidentes de ciberseguridad. Más de 28 000 corresponden a casos de fraude y 26 000 están relacionados con dispositivos electrónicos dañados por *software* malicioso. Las suplantaciones de empresas o personas de confianza –*phishing*– sumaron 14 000. Adicionalmente –aspecto relevante por el enorme esfuerzo que el INCIBE realiza en el ámbito preventivo–, se han detectado más de 180 000 activos vulnerables en redes y sistemas

españoles, y notificado a las entidades responsables, para que sean corregidos y securizados».

En España, uno de cada cinco delitos se comete en la red. En 2022, las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad del Estado contabilizaron 375 506 infracciones penales, un 72 % más que antes de la pandemia. En 2023, la inmensa mayoría de los ciberdelitos fueron fraudes o estafas informáticas.

«En los últimos meses, en la línea de Ayuda 017 –teléfono gratuito del INCIBE para consultas sobre ciberseguridad–, hemos obser-

“

Quien piense que está totalmente protegido se equivoca, aunque debemos reconocer el gran esfuerzo que realizan las empresas españolas para alcanzar estándares altos de protección



Jorge Ordás, director de Operaciones del INCIBE

vado un incremento de llamadas relacionadas con algún tipo de suplantación de identidad digital. Además, tres de cada diez usuarios han recibido algún intento de *phishing* y un número elevado de ciudadanos ha necesitado asesoramiento por compras fraudulentas en Internet. La evolución más significativa se produce en los ataques contra la disponibilidad de servicios, que se han multiplicado por cuatro en el último año. También los robos de información y los códigos maliciosos, que han crecido un 77 %», explica el director de Operaciones del INCIBE.

Riesgo empresarial

En España, la creciente implantación de la tecnología en los procesos empresariales ha incrementado la necesidad de protección, pero ha elevado al cubo el apetito de los piratas informáticos.

«Quien piense que está totalmente protegido se equivoca, aunque

debemos reconocer el esfuerzo que realizan las empresas españolas para alcanzar estándares altos de protección. El INCIBE brinda apoyo para que continúe avanzando. Debemos sentirnos orgullosos. España ocupa el cuarto puesto mundial en el Índice Global de Ciberseguridad 2020, elaborado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones de Naciones Unidas, por detrás de EE. UU., Reino Unido, Arabia Saudí y Estonia, e igualada con Corea del Sur y Singapur», apunta Ordás.

«Nuestro país ha obtenido un total de 98,52 puntos sobre 100, con la puntuación máxima en los pilares de legalidad, desarrollo de capacidades y cooperación. Dentro de la Unión Europea, España se sitúa en segundo lugar, solo superada por Estonia. Además, es el segundo país del mundo –por detrás de EE. UU.– con más equipos de respuesta a incidentes públicos y privados en la principal

asociación que los aglutina a nivel mundial, FIRST.org, síntoma inequívoco de que la ciberseguridad está en el discurso de nuestras empresas. Contamos con un amplio marco jurídico, desde normas vinculadas con infraestructuras críticas hasta las relativas al incremento del nivel de seguridad del país (NIS). Esto no impide seguir reforzando mecanismos y servicios que, tanto el INCIBE, como la propia industria de ciberseguridad, prestan a empresas y ciudadanos, para impulsar la adopción de herramientas que elevan la seguridad en todos los aspectos posibles», destaca el director de Operaciones del instituto.

Ciberdelito a la carta

La *dark web* es, como su nombre indica, una red oscura. Todo es posible en ese siniestro universo donde los ciberdelincuentes campan a sus anchas. En el último año, a la variante de secuestro de datos, *ransomware*, se ha su-

mado el *Raas ransomware-as-a-Service*, un servicio que prolifera en la *dark web* y permite a los delincuentes más torpes servirse de la pericia de ciberdelincuentes avezados. Para esto la investigación en ciberseguridad es crucial.

«Un aspecto esencial para un país es dotarse de medios y autonomía suficientes para hacer frente a las ciberamenazas. España cuenta con numerosas empresas y universidades punteras en el campo de la ciberseguridad e INCIBE está realizando una gran apuesta con programas a los que ha destinado más de 500 millones de euros del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia. Así, cofinancia más de 150 proyectos de compra pública innovadora relacionados con retos de interés para la ciberseguridad, colabora con todas las comunidades autónomas por medio del proyecto RETECH CIBER y apoya a las universidades en el campo de la investigación y el conocimiento por medio de la financiación de proyectos estratégicos y cátedras», admite Ordás.

Sectores críticos

Una infraestructura crítica es aquella sobre la que descansa la

actividad de los servicios esenciales, cuyo funcionamiento es indispensable para el país. Además, un fallo, ya sea en las instalaciones, redes, sistemas y equipos físicos y tecnologías de la información, supondría un grave impacto sobre los servicios a los que da soporte.

Una central energética, un aeropuerto, un hospital o un sistema de suministro de agua son infraestructuras críticas. Están en todos los sectores: administración, TIC, químico, nuclear... aunque es el sector financiero el que se lleva la palma a la hora de padecer el cibercrimen. «En muchas ocasiones, los ciberataques son producidos por grupos organizados cuyos objetivos trascienden más allá de lo puramente económico. En España, el sector bancario es uno de los más preparados para hacer frente a estas amenazas y, aunque el riesgo cero no existe, la probabilidad de un colapso bancario es remota, debido a las medidas de seguridad implementadas en el sector. Es destacable el mérito de los profesionales de ciberseguridad del sector financiero y tributario que, pese a acaparar el 25 % de los incidentes de infraestructuras críticas en España, han conseguido desplegar un sistema robusto con unos altos estándares de ciberresiliencia. Hay más sectores que están elevando su capacidad de resistencia frente a estos ciberataques, como el TIC, transporte, energía, etc. INCIBE ayuda a todas las entidades, sobre todo, a las que prestan algún servicio esencial, a través de instrumentos de capacitación y entrenamiento como los ciber-ejercicios CyberEx España o la medición anual de ciberresiliencia», destaca Jorge Ordás.

«No obstante, hay ciberamenazas que urgen la necesidad de re-



forzar cualquier mecanismo de protección, defensa, respuesta y recuperación, así como la detección y prevención, por ejemplo, el uso de campañas de desinformación, que se han convertido en el principal riesgo para los ciudadanos y empresas, según el Informe Anual de Seguridad Nacional correspondiente a 2023», resalta.

En el marco de la Defensa

En el año 2010 un misterioso gusano informático, de nombre impronunciable –Stuxnet– se dedicó a sabotear las centrifugadoras de la planta de Natanz y puso en jaque el programa nuclear iraní. Mayo de 2021: la empresa Colonial Pipeline tuvo que interrumpir la actividad en uno de sus oleoductos por un ciberataque. La compañía tejana se vio obli-



El sector bancario es uno de los más preparados para hacer frente a estas amenazas y, aunque el riesgo cero no existe, la probabilidad de un colapso bancario es remota



EL SECTOR ENERGÉTICO, CLAVE

La ciberseguridad es de vital importancia en el sector de la energía debido a la creciente digitalización y conectividad de las infraestructuras, y a la dependencia que muchos otros servicios esenciales pueden tener de este sector. Cabe recordar que, en 2023, el 22 % de los incidentes que tuvieron como objetivo un operador crítico se centraron en el sector energético. Es también un sector con alta dependencia tecnológica, tanto IT como OT, y con varios subsectores. Los sistemas de generación, transmisión y distribución de la energía están cada vez más interconectados y controlados por redes informáticas, que los hacen susceptibles a ataques cibernéticos.

En este ámbito destaca la electricidad como principal fuente, junto a todas sus formas de generación, pero sin dejar de lado el gas, el petróleo y las crecientes energías renovables. La protección de toda la tecnología subyacente es fundamental, no solo la propia red inteligente, sino también sus contadores, los diferentes componentes de cada infraestructura, las plantas de generación, las subestaciones etc. Muchos de ellos ya están conectados a Internet y, por tanto, expuestos a diferentes amenazas. El reporte de ciberincidentes para compartir inteligencia de amenazas es clave para anticiparse a los actores maliciosos, y la nueva directiva europea NIS2, que entrará en vigor a finales de año, pone el foco en los operadores esenciales e importantes, incluidos los del sector energético, obligando a seguir estrictas políticas de seguridad, de análisis de riesgos y de gestión de incidentes.

gada a pagar cinco millones de dólares en bitcoin para recobrar los datos robados. Parte de esta cantidad fue recuperada por el FBI. En 2024, tres multinacionales españolas –Banco Santander, Telefónica e Iberdrola– han sido víctimas del cibercrimen.

Los ataques, cada vez más sofisticados, ponen en evidencia la necesidad de proteger las infraestructuras críticas de un país. Sectores estratégicos como la Defensa requieren también de una protección especial. «Es fundamental invertir en investigación. INCIBE ha sido recientemente seleccionado por la OTAN, junto con la Universidad Politécnica de Madrid, como el centro de investigación español para formar parte de su programa acelerador de innovación. Su actividad se centrará

en el emprendimiento en campos como inteligencia artificial, computación cuántica, biotecnología, materiales novedosos y ciberseguridad. También en crear un ecosistema en el ámbito del Atlántico Norte con vínculos crecientes entre empresas e investigadores. Resulta evidente que, como cualquier sector, la Defensa depende de sus proveedores y fabricantes, desde el transporte y la energía, hasta las telecomunicaciones y otras infraestructuras, por lo que disponer de un inventario de estas entidades es fundamental. Para ello se podrán apoyar en el INCI-BE-CERT o en el Mando Conjunto del Ciberespacio», destaca Ordás.

IA, aliada contra el cibercrimen

El *Informe del Índice de Inteligencia Artificial 2024*, publicado por

la Universidad de Stanford, señala que la IA es mucho más eficiente en clasificación de imágenes y razonamiento visual que la inteligencia humana. La teoría de que llegue a superarnos y, por ende, controlarnos, sobrevuela desde el inicio de su creación. Sin embargo, su uso puede ser beneficioso para controlar el cibercrimen.

«Con el rápido avance de la IA, la sociedad se encuentra inmersa en un mundo cada vez más conectado y automatizado que, si bien ofrece numerosas ventajas, también plantea preocupaciones significativas en términos de privacidad y seguridad para los ciudadanos. En el campo de la ciberseguridad, va a ser clave al permitir detectar patrones, prevenir situaciones y orientar la toma de decisiones para anticiparse a

los ciberdelincuentes. INCIBE ya está aplicando la IA en elementos como la monitorización, detección, vigilancia digital, fundamentales en el tratamiento de posibles incidentes y ciberamenazas, pero también en la explotación de toda la información que dispone el CERT para la mejora de sus servicios, tiempos de respuesta, notificaciones a terceros, etc.», apunta el experto del INCIBE.

«Por otro lado, INCIBE ha hecho un esfuerzo enorme a través de la iniciativa de Compra Pública Innovadora, con numerosos retos y proyectos dirigidos a la aplicación de la IA en todos los ámbitos posibles. Dentro de dos años, tendremos de nuevas herramientas, productos y soluciones apoyados en la IA que aumentarán las capacidades de España frente a los ciberataques», matiza Ordás.

El 17 de mayo, el Consejo de Europa aprobó un marco regulatorio para el uso de la IA que entrará en vigor el 5 de septiembre. En España, el 4 de mayo, el Consejo de Ministros aprobó la Estrategia de Inteligencia Artificial (IA) 2024. El director de Operaciones del INCIBE señala que «el marco legal

se está adaptando a la transformación digital constantemente. Aunque ya se ha citado el Convenio de Budapest –reflejado en las diferentes modificaciones que en los últimos años han sufrido el Código Penal y la Ley de Enjuiciamiento Criminal en España–, el Gobierno ha anunciado este año una nueva ley integral de ciberseguridad, con la que se pretende reducir los ciberataques, mejorar la respuesta a los mismos, elevar el nivel de ciberseguridad del país y adaptarse a la regulación europea. Además, el nuevo Esquema Nacional de Seguridad de redes y servicios 5G y la Estrategia de Inteligencia Artificial, donde España es pionera, ponen de manifiesto que el refuerzo de capacidades en el ámbito de las nuevas tecnologías es un hecho. La aprobación de otros reglamentos europeos más específicos, como la Cyberresilience Act, la Cybersolidarity Act y la Digital Service Act, en las que INCIBE tiene un papel esencial, permitirá conformar un panorama completo de ciberseguridad, desde la fabricación de los productos y componentes electrónicos, hasta los servicios gestionados».

Ciberdelitos versus delincuencia convencional

Actualmente, los ciberdelincuentes están ganando el pulso a los delincuentes convencionales. «Según un estudio de Cybersecurity Ventures se estima que, en 2025, el negocio del cibercrimen alcanzará los 10 billones de dólares. Para que nos hagamos una idea, supone la suma de economías tan grandes como Japón, Alemania y Suiza. A nivel mundial, ya supera al narcotráfico como fuente de ingresos de las

redes criminales, por lo que se puede afirmar que sí, supera ya a la delincuencia convencional. Pero países como España, que ya ratificó el Convenio de Budapest en 2010 y lo confirmó hace muy poco, han dado pasos muy importantes en la lucha contra el cibercrimen, y ha dotado sus capacidades de respuesta hasta niveles muy importantes, a través de la red de CERTs, o en el caso de las FCSE, con cuerpos y unidades muy potentes. Por ejemplo, según datos del Informe de



“
Se estima que, en 2025, el negocio del cibercrimen alcanzará los 10 billones de dólares, lo que supone la suma de economías tan grandes como Japón, Alemania y Suiza



En el campo de la ciberseguridad, la IA va a ser clave al permitir detectar patrones, prever situaciones y orientar la toma de decisiones para anticiparse a los ciberdelincuentes



Cibercriminalidad del Ministerio del Interior, las diferentes FCSE españolas han dado respuesta a más de 374 000 ciberdelitos en 2022. El 90 % está relacionado con fraudes electrónicos y estafas digitales de toda índole. Adicionalmente, muestra de la fructífera colaboración entre organismos públicos, el CERT de INCIBE tiene integrado personal del Ministerio del Interior, a través de la Oficina de Coordinación de Ciberseguridad, para la coordinación de incidentes relacionados con ciberdelitos», señala Ordás. «En todo caso –añade–, los últimos datos oficiales del *Informe sobre cibercriminalidad en España* establecen que la criminalidad sobre el total de infracciones penales se situó en un 16,1 % en 2022, el doble que en 2018, lo que

permite prever el incremento en los próximos años».

Computación cuántica

No es una novedad que la computación cuántica es un riesgo para los métodos de encriptación que se utilizan actualmente. En 1994, Peter Shor, matemático del Instituto de Tecnología de Massachusetts, demostró que un ordenador cuántico podría resolver el problema de la factorización –descomposición de una expresión algebraica– de manera eficiente, dejando al descubierto la vulnerabilidad del sistema digital actual.

«Aunque esta tecnología se encuentra en las primeras fases, sabemos que tiene el potencial de ser mucho más segura que la criptografía convencional. No

solo ganaremos terreno en este ámbito sino también en inteligencia artificial, aprendizaje automático y otras disciplinas científicas como la medicina, la química, etc., donde se ganará eficiencia y rapidez para resolver problemas actuales. Se ha demostrado físicamente que, si se dispone de una gran capacidad de computación y algoritmos criptográficos cuánticos, hará que resulte muy complicado vulnerarlos, incluso usando capacidades cuánticas. Por otro lado, además de la computación, la cuántica supondrá una revolución en el campo de las comunicaciones, que es otro aspecto que INCIBE tendrá ocasión de explorar», matiza el director de Operaciones del instituto.

Formación y concienciación

El cibercrimen es un desafío global para el que la sociedad debe estar preparada. Ordás argumenta que «es fundamental concienciar a la ciudadanía. Conocer los riesgos, identificar las amenazas, aplicar buenas prácticas para proteger dispositivos, instalar las actualizaciones pertinentes, utilizar contraseñas seguras... son solo algunas claves para conseguir empoderamiento digital y capacitar a las personas para el control de su seguridad. INCIBE tiene por objetivo fomentar la confianza digital en España promoviendo una cultura de ciberseguridad, mediante formación y concienciación. En los próximos meses se publicará una serie de cursos de especialización para profesionales de la ciberseguridad teniendo como foco los distintos perfiles definidos por ENISA. Esto nos permitirá formar a 10 260 nuevos profesionales que pasen a formar parte de nuestra industria». ■

«Hemos vivido en situación de urgencia y estado de tensión permanente, pero hemos cumplido»

■ Texto: Luis Tejedor | Fotos: Aneca

Apenas sin tiempo para tomar el pulso a su nuevo cargo como directora de la Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación, Pilar Paneque tuvo que enfrentar el reto de poner en marcha un nuevo sistema de acreditación estatal para el profesorado universitario. Todo ello, con la dificultad añadida de no detener, en pleno cambio, el proceso de evaluaciones. El resultado, a pesar de la adversidad, ha satisfecho a la comunidad científica y universitaria.

Tras poco más de un año al frente de ANECA, ¿qué balance puede hacer de su experiencia?

Está siendo muy positiva, aunque es cierto también que nada fácil. Mi nombramiento se produjo el 28 de febrero y, desde entonces, hemos tenido que enfrentar la entrada en vigor de la ley orgánica del sistema universitario, el 12 de abril, así como el mandato de poner en marcha un nuevo sistema de acreditación estatal del profesorado universitario, el 18 de julio.

Ha sido la primera vez que ANECA ha asumido un reto de esta magnitud y felizmente hemos logrado responder. Al mismo tiempo, trabajamos en la mejora del resto de los programas de evaluación (sexenios, titulacio-

nes, acreditación institucional de centros universitarios, evaluación de la docencia, sellos profesionales, homologaciones, etc.) y en la propia reestructuración interna de la Agencia y su proyección exterior.

A este nuevo marco legislativo y normativo se ha sumado el hecho de que, en 2023, viviéramos el adelanto de las elecciones generales, un Gobierno en funciones, un cambio de adscripción de Ministerio –al pasar de Universidades a Ciencia, Innovación y Universidades–, una prórroga de presupuestos, etc. Todo esto ha convertido el primer año en la dirección de ANECA en un ejercicio especialmente complejo desde el punto de vista de la gestión.

Por tanto, el esfuerzo ha sido improbable y no exento de dificultades, pero al mismo tiempo está siendo apasionante dirigir ANECA en un momento tan crucial para el sistema universitario. La limitación de recursos con la que contamos y la exigencia de los plazos para la puesta en marcha del nuevo sistema de acreditación estatal se ha compensado con la profesionalidad y entrega de las poco más de ochenta personas que trabajan en ANECA y con la determinación, el compromiso y la dedicación del nuevo equipo directivo.

¿Cuáles han sido las necesidades más urgentes?

Las mayores urgencias, sin duda, han sido las impuestas por la entrada en vigor del RD 678/2023,



La mayor parte de la comunidad universitaria y científica respalda los cambios implementados

que regula la acreditación estatal para el acceso a los cuerpos docentes universitarios, aprobado en Consejo de Ministros el 18 de julio y publicado en el *BOE* el 6 de septiembre.

A partir de esa fecha hemos tenido que forzar la máquina para cumplir con todas las tareas y los plazos establecidos hasta llegar al 1 de abril, fecha de inicio de la presentación de solicitudes de acreditación. Hubo que crear treinta nuevas comisiones de acreditación (*BOE*, 22 de noviembre) y diseñar un nuevo procedimiento para la selección de sus miembros; nombrar a más de seiscientos vocales e incluir, en cada comisión, especialistas en evaluación inter y multidisciplinar y en perspectiva de género; constituir las comisiones antes del 31 de diciembre; aprobar un nuevo código ético antes de tres meses desde la entrada en vigor del Real Decreto (*BOE*, 29 de diciembre); diseñar y publicar en enero un nuevo procedimiento para la obtención de la acreditación –con cambios muy profundos respecto al anterior, de 2007–; conceptualizar y aprobar en febrero una nueva resolución de criterios para garantizar



Es evidente que actuar conlleva riesgos y una exposición máxima a todo tipo de opiniones, pero desde luego la inacción no era una opción

que la igualdad, la conciliación y la inclusión sean efectivas en la evaluación; diseñar y gestionar un trámite de participación sobre los nuevos criterios de evaluación que hemos querido extender a toda la comunidad universitaria y científica; aprobar y publicar los criterios de evaluación definitivos; adaptar la norma CVN para facilitar un modelo CVA-ANECA; y diseñar una nueva aplicación informática, más ágil y simplificada, para tramitar las solicitudes. Todo esto en siete meses. Verdaderamente hemos vivido en situación de urgencia y estado de tensión permanente, pero hemos cumplido.

¿Alguna dificultad especial añadida al proceso?

El reto añadido ha sido hacer todo al mismo tiempo que manteníamos en funcionamiento el sistema de acreditación anterior. Es importante recordar que, en enero de 2016, las evaluaciones se pararon durante más de un año sin que hubiera un cambio de sistema, simplemente porque se estaban revisando los criterios de evaluación. En esta ocasión, con el cambio de sistema por medio, la maquinaria no se ha parado

en ningún momento. Esto era la mayor prioridad para no repetir la situación de 2016, que generó gran frustración en miles de solicitantes.

¿Cómo ha percibido la comunidad científica y universitaria los cambios implementados?

Me atrevo a decir que la mayor parte respalda y agradece todos los cambios. No obstante, somos muy conscientes de la incertidumbre que genera cualquier cambio de sistema de evaluación, porque nuestro contacto con distintos agentes del sistema es constante. Además, hablamos de una comunidad muy diversa. Habrá sectores más reacios o que no compartan plenamente nuestra visión sobre cómo debe evaluarse al profesorado universitario y al personal investigador. Tampoco puede perderse de vista que estamos hablando de un sistema de evaluación masivo (unos 45 000 expedientes al año entre sexenios y acreditaciones) y, por tanto, de las dificultades intrínsecas al diseño de un estándar que aplique de forma justa a todos los solicitantes.

¿Por qué han considerado tan urgente la modificación del sistema de acreditación vigente?

La modificación era un clamor, tanto por la enorme carga burocrática que conllevaba como por reducirse a la contabilidad de méritos o por los inasumibles plazos de resolución. ANECA tenía que posicionarse en el debate ya iniciado hace muchos años sobre la necesidad de reformar la evaluación de la investigación para evitar el uso inapropiado de indicadores cuantitativos, avanzar en el reconocimiento de la interdisciplinariedad y de una mayor



diversidad de perfiles académicos y científicos, así como en materia de ciencia abierta y ciencia ciudadana. Es evidente que actuar conlleva riesgos y una exposición máxima a todo tipo de opiniones, pero desde luego la inacción no era una opción.

¿El funcionamiento del nuevo sistema ha respondido a sus expectativas? ¿Cuáles son, a su juicio, las principales mejoras?

Nunca agradeceremos lo suficiente al Ministerio de Universidades que lograra aprobar este nuevo real decreto. Es el instrumento que ANECA necesitaba para dar todos los pasos y para que, desde el 1 de abril, contemos con un nuevo sistema de acreditación estatal simplificado, ágil, que nos permite trabajar con el principio de veracidad y de confianza, se adapta a



El anterior sistema de acreditación era increíblemente tedioso y complejo –lo digo por experiencia propia– y se terminó entendiendo como el principal escollo a salvar

Agencia decidimos no restringirlo solo a los tradicionales –con los que por supuesto también nos hemos reunido–, sino articular una herramienta colaborativa que facilitara la participación y el debate de cualquier miembro de la comunidad universitaria y científica (<https://participa.aneca.es/>).

Durante tres semanas se registraron en la plataforma más de 2800 personas, que realizaron más de 2100 propuestas y casi 3300 comentarios. El análisis pormenorizado de todas las aportaciones por parte del equipo directivo ha sido uno de los ejercicios más enriquecedores y retadores desde nuestra llegada. Ya en el período de información y consulta de los nuevos criterios de sexenios de investigación –noviembre de 2023– recibimos más de 600 aportaciones.

¿Os sorprendió la alta participación?

No, porque ya habíamos detectado las ganas de implicación de toda la comunidad. Es la primera vez que ANECA hace estas consultas y todos han podido comprobar que no se ha tratado de una mera formalidad. Al

la primera etapa de la carrera universitaria (ahora de seis años desde la lectura de la tesis doctoral), reequilibra los méritos de docencia e investigación, evalúa calidad y no cantidad y avanza de forma decidida en materia de igualdad, conciliación e inclusión.

Necesitamos tiempo para hacer una valoración más completa sobre su funcionamiento, pero creo sinceramente que las mejoras son espectaculares. Destacaré la forma en que va a destensar a los solicitantes y al conjunto del sistema y, de forma muy especial, los efectos que tendrá en la estabilización del profesorado. El hecho de que las acreditaciones a profesor/a titular de Universidad se estuvieran obteniendo a los 40-45 años era absolutamente inasumible y ha expulsado del

sistema a mucha gente joven y a mucho talento.

¿La rebaja de requisitos para ser profesor universitario contó con el visto bueno de la comunidad científica?

Me permito matizar que los requisitos en absoluto se rebajan. Se avanza hacia un sistema en el que se evalúa un número limitado de contribuciones, porque lo que nos interesa conocer es la calidad y el impacto del trabajo realizado. Esto no significa que se rebajen los requisitos o que se reduzca el rigor de la evaluación, todo lo contrario.

El RD 678/2023 exigía que ANECA abriera un «trámite de participación no vinculante con los actores interesados» para revisar los criterios de acreditación. En la



La acreditación es una evaluación de mínimos, no de excelencia

contrario, se ha escuchado con atención y recogido la mayor parte de las sugerencias recibidas. La participación real y efectiva es lo que más ha legitimado los cambios realizados tanto en sexenios como en acreditaciones. Por supuesto, mantendremos esta forma de operar en todos los programas de evaluación que afectan al profesorado, como ocurrirá este año con el de evaluación de la docencia (programa DOCENTIA).

¿Qué criterios garantizan que el rigor de la acreditación no sea inferior?

No podemos olvidar que la acreditación es una evaluación de mínimos, que garantiza que todas las personas que participen en un concurso de acceso cumplan unos requisitos determinados. Algunos países europeos con mayores problemas de endogamia mantienen este sistema doble en el que, primero, una agencia externa certifica el cumplimiento de esos mínimos y, después, la universidad establece los criterios del concurso de acuerdo con su contexto y necesidades específicas.

El rigor lo otorga la autonomía de la Agencia, el diseño del procedimiento y la profesionalidad de sus comisiones de evaluación, que trabajan por pares y de forma colegiada. Ahora, igual que antes, los candidatos tendrán que demostrar la solidez de su trayectoria docente e investiga-

dora y, si procede, de liderazgo y de experiencia profesional. La diferencia es que no necesitamos pedir, por ejemplo, 120 artículos indexados en JCR Q1 para otorgar una acreditación (que con 119 se podría denegar), sino que con solo 15 artículos se debe valorar la calidad y el impacto de la investigación realizada. Es un cambio de enfoque importante que nos asemeja más a otros sistemas europeos. Nunca diríamos que son menos rigurosos.

¿Ha existido una idea errónea sobre la acreditación de la excelencia?

Diría que sí. La acreditación es una evaluación de mínimos, no de excelencia, igual que ocurre con los sexenios de investigación, donde las tasas de éxito superan el 95 %. Estaremos de acuerdo en que esto es claramente distinto a convocatorias como las del Consejo Europeo de Investigación (ERC), donde las tasas de éxito son mínimas.

Por esta razón, el nuevo RD 678/2023 deja claro que lo que debe alcanzarse en cada uno de los bloques evaluados es la «suficiencia». Es en la siguiente fase –concursos de acceso que convocan las universidades– cuando, de forma acorde a las necesidades de cada departamento o centro, se podrá establecer un sistema de excelencia si así se decide. Habrá departamentos que quieran hacerlo y otros que no, pero esta no es la labor de las agencias de acreditación.

Otra cosa distinta es que, por supuesto, se reconozca la excelencia. De hecho, ahora se establecen medidas para facilitar la concurrencia de profesorado que ha realizado su carrera en el ex-

terior y se fomenta la excelencia a través del reconocimiento automático de programas estatales como I3 o R3, o internacionales como los financiados por el ERC.

El anterior sistema de acreditación era increíblemente tedioso y complejo –lo digo por experiencia propia– y se terminó entendiendo como el principal escollo a salvar, restando centralidad a lo que de verdad debe tenerla como es la política de acceso, estabilización y promoción de profesorado que diseñan cada universidad.

¿Supone un reto para ANECA la expansión de las universidades privadas?

Por supuesto, el incremento de universidades privadas que han promovido las comunidades autónomas supone también un aumento evidente de la carga de trabajo que la Agencia debe asumir, y que debiera ir acompañado de un refuerzo de nuestros recursos que no se ha dado. En cualquier caso, estos expedientes se tramitan siempre con el máximo rigor, de acuerdo con la normativa vigente, independientemente de la naturaleza de la universidad que solicita la implantación de un nuevo título de grado, máster o doctorado.

Para poder calibrar mejor lo que ha supuesto para ANECA la expansión de las universidades privadas, comparto unos datos muy ilustrativos: en los diez últimos años, las siete universidades que más títulos han presentado a verificación son privadas; en los cuatro últimos años, tres de cada cuatro solicitudes de verificación de títulos fueron remitidas por universidades privadas; y algunas presentan un promedio de hasta

veinticinco títulos al año frente a los dos o tres que, de media, pueden llegar a presentar las públicas.

Como Agencia, damos servicio a todas las universidades, pero creo necesario abrir un debate sobre las implicaciones que este modelo tan expansivo tiene también para las agencias de calidad, de las que a veces nos olvidamos, y sobre las exigencias en materia de investigación, transferencia e intercambio de conocimiento, que quizás habría que reforzar.

No existe universidad sin docencia, pero tampoco debería existir universidad sin investigación e innovación.

Tras la pandemia se disparó el atasco en la resolución de equivalencias de títulos universitarios y homologaciones de estudios en el extranjero. ¿Cuál es la situación actual?

El incremento de solicitudes no se ha visto acompañado de un

incremento de los recursos de la Agencia. No obstante, el plazo en el que realizamos los informes de los expedientes que nos remite el Ministerio no supera en ningún caso los seis meses y casi un 80 % se hace en menos de tres.

Este último año, la nueva dirección de ANECA ha modificado los procesos para agilizar decisivamente los plazos. Así, ha establecido un protocolo de evaluación con base en precedentes, que permite al Ministerio informar favorablemente sobre las solicitudes de declaración de equivalencias que cuenten con, al menos, un precedente informado favorablemente, en el que el país de origen, la universidad y la titulación coincidieran con los de la solicitud recibida. Esta medida ha tenido un gran efecto. Tras su aplicación, se ha reducido en más de un 80 % el número de expedientes de equivalencias.

Respecto a los expedientes de homologación –cuya situación nos preocupa extremadamente por las implicaciones personales y profesionales que tiene para todos los solicitantes–, estamos trabajando para dotar a los informes de mayor transparencia. Se han establecido requisitos de evaluación aplicables para la homologación de títulos extranjeros a los títulos universitarios oficiales españoles que habilitan para el ejercicio de las profesiones de psicología general sanitaria y enfermería. Actualmente trabajamos en requisitos de evaluación aplicables a la homologación del resto de las profesiones contempladas en la normativa vigente. Por primera vez, estos requisitos han sido publicados, lo que permite dotar de una mayor claridad y transparencia al proceso de evaluación. ■

 *Algunas universidades privadas presentan un promedio de hasta veinticinco títulos al año frente a los dos o tres que, de media, pueden llegar a presentar las públicas*



ANÁLISIS DE LAS DOSIS RECIBIDAS POR EL PÚBLICO DEBIDO A LAS ACTIVIDADES DE TRANSPORTE DE MATERIAL RADIATIVO EN ESPAÑA

De conformidad con el párrafo 308 del Reglamento para transporte seguro de material radiactivo del OIEA, la autoridad competente debe realizar evaluaciones periódicas de las dosis recibidas por las personas debido al transporte de material radiactivo.

Victoria Aceña Moreno, técnico del Área de Transporte de Material Radiactivo del CSN

En España, esta evaluación se estaba realizando para los trabajadores clasificados como expuestos, pero no de forma particular para los miembros del público, considerando que el cumplimiento de los límites reglamentarios de tasa de dosis asociados al transporte garantiza que las dosis finales al público sean inferiores a los límites establecidos. Esta aproximación estaba corroborada con los resultados obtenidos en estudios internacionales.

Una de las conclusiones de la Misión del Servicio Integrado de Examen de la Situación Reglamentaria (IRRS) realizada en España por el OIEA en 2018 fue la recomendación de que se elabore, con un enfoque graduado, una estimación de las dosis recibidas por los miembros del público como consecuencia de las actividades de transporte de material radiactivo.

Este artículo presenta un resumen del análisis llevado a cabo

en el CSN para dar respuesta a dicha recomendación, sobre la base de la información recibida de los operadores más relevantes en aquellos sectores del transporte de material radiactivo más representativos en el impacto radiológico a los miembros del público, siguiendo una metodología basada en la cantidad de transportes de cada sector y sus riesgos. El estudio se centró en el transporte por carretera y en la vía aérea (carga, descarga y manejo y carreteo en las terminales de carga).

El material radiactivo es utilizado extensamente por la sociedad actual con fines médicos, industriales o de investigación, así como en las instalaciones relacionadas con el ciclo del combustible nuclear para la producción de energía. Como consecuencia de estas aplicaciones, cada año se trans-

portan en el mundo decenas de millones de bultos que contienen material radiactivo, a través de cuatro modalidades: carretera, ferrocarril, aire y mar.

El CSN, de acuerdo con su Ley de Creación¹, es la autoridad competente responsable de controlar las medidas de protección radiológica de los trabajadores

clasificados como expuestos, del público y del medioambiente.

La reglamentación de transporte de mercancías peligrosas para todos los modos de transporte está basada, para la materia radiactiva, en el Reglamento para el transporte seguro de materiales radiactivos del OIEA². En el párrafo 308 del



Tabla 1. Tasas máximas de radiación en bultos y vehículos

BULTOS	
En la superficie de un bulto exceptuado	5 μ Sv/h
En la superficie de otros tipos de bultos	2 mSv/h (no en <i>Uso Exclusivo</i>) 10 mSv/h (en <i>Uso Exclusivo</i>)
Índice de Transporte (IT) máximo	No en <i>Uso Exclusivo</i> : 10 (100 μ Sv/h) En <i>Uso Exclusivo</i> : sin límite
VEHÍCULOS	
En la superficie	2 mSv/h
A 2 m de la superficie	0,1 mSv/h

Reglamento se establece que la autoridad competente debe adoptar disposiciones para que se efectúen evaluaciones periódicas de las dosis de radiación recibidas por las personas a causa del transporte de materiales radiactivos, a fin de asegurarse de que el sistema de protección y seguridad cumpla con lo previsto en la publicación GSR (Normas Básicas de Seguridad)³.

En España, esta evaluación se estaba realizando para trabajadores clasificados como expuestos, pero no de forma particular para los miembros del público, considerando que el cumplimiento de los límites reglamentarios de tasa de dosis asociados al transporte garantiza que las dosis finales al público sean inferiores a los límites establecidos (ver tabla 1). Esta aproximación estaba corroborada con

los resultados obtenidos en estudios internacionales^{4,5}.

En la misión IRRS⁶ llevada a cabo en España en octubre de 2018 por el OIEA, en relación con el cumplimiento del párrafo 308, se concluyó que «mientras que el CSN realiza evaluaciones de dosis para los trabajadores del transporte según lo requerido, no se han realizado evaluaciones de dosis para los miembros del público».

Sobre la base de esta conclusión, el informe de la misión recoge la siguiente recomendación:

«Recomendación R9. De acuerdo con un enfoque graduado, el CSN debería disponer de evaluaciones de la dosis de radiación a los miembros del público asociadas al transporte de material radiactivo para asegurar que el sistema de protección y seguridad cumple con las Normas Básicas de Seguridad».

Metodología

El alcance del análisis llevado a cabo para dar cumplimiento a la recomendación R9 ha cubierto:

- Los sectores del transporte de material radiactivo más representativos en el impacto radiológico a los miembros del público.
- El transporte por carretera y por vía aérea (actividades de

carga, descarga y manipulación en las terminales de carga aeroportuarias), que son los modos de transporte a través de los que se realizan más envíos de material radiactivo y cuyos escenarios podrían implicar dosis más significativas a los miembros del público.

La metodología se ha basado en la obtención de la información necesaria para la evaluación de las dosis al público de aquellas entidades (operadores de transporte) que realizan las actividades más relevantes en los sectores y modos de transporte cubiertos por el alcance del análisis, así como en la utilización de la información ya disponible en el CSN. En la figura 1 se muestran las principales etapas del proceso del análisis.

En primer lugar se identificaron los sectores de transporte más representativos desde el punto

de vista de la protección radiológica, considerando el impacto radiológico ya conocido en los trabajadores del transporte y el potencial impacto en los miembros del público.

En segundo lugar, se llevó a cabo la selección de los operadores de transporte, en cada uno de los sectores, a los que sería necesario solicitar información, teniendo en cuenta el volumen y tipo de actividades realizadas en los sectores identificados.

De acuerdo con criterios previamente transmitidos desde el CSN y basados en la consideración de hipótesis de partida conservadoras, se solicitó a los operadores que identificaran los escenarios potencialmente más críticos desde el punto de vista del impacto radiológico sobre el público dentro de sus operaciones de transporte.

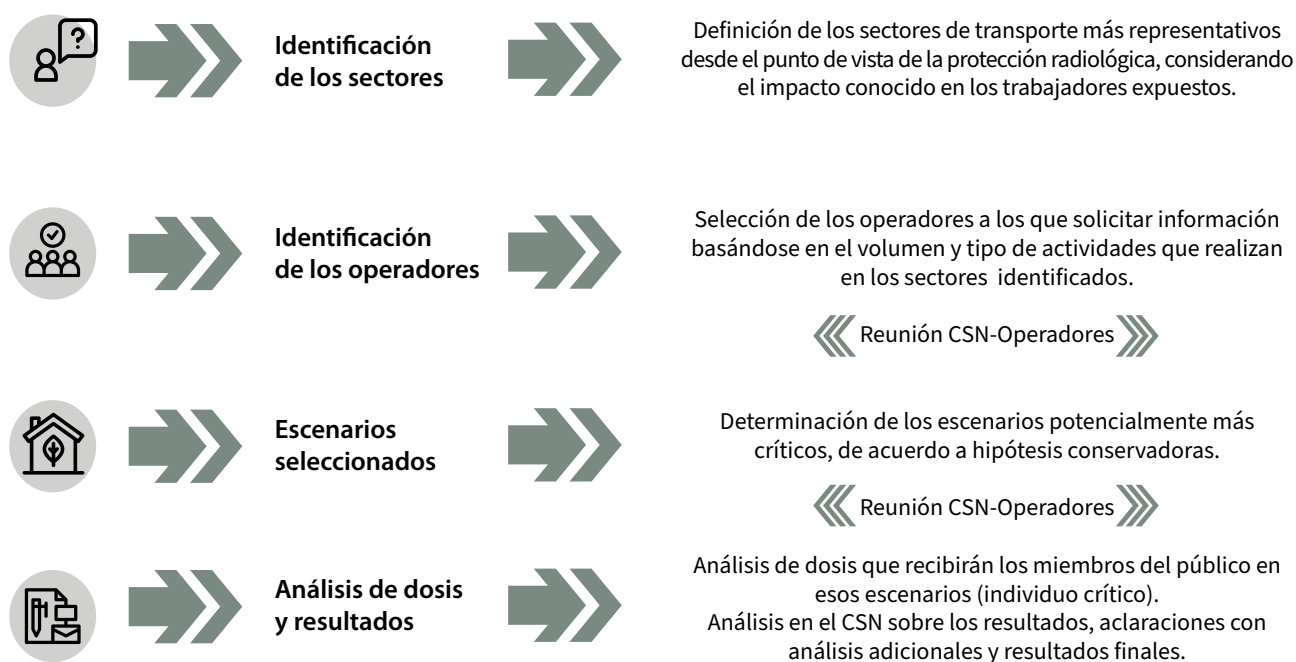


Figura 1. Metodología aplicada.

Tabla 2. Sectores del transporte de material radiactivo en España

Sector	Actividad		Orden de magnitud (envíos/año)	Modos de transporte
Sector 1	Medicina, investigación e industria (control de procesos industriales)		~100.000 (La mayoría con destino a medicina nuclear)	Carretera y multimodal aéreo/carretera
	Radioterapia		Decenas	
Sector 2	Residuos radiactivos	Desde II. RR	~50	Carretera y multimodal marítimo/carretera desde las islas
		Desde II. NN.	~200	
Sector 3	Industrial	MDHS	Decenas de miles	Carretera y multimodal carretera/aéreo
		Gammagrafía	~10.000	
		Fuentes de alta actividad	~5	Marítimo (tránsitos en puertos sin descargas)
Nuclear	Concentrados de Uranio y UF ₆		~10	Marítimo y tránsitos en puertos
	Óxido de Uranio hasta la fábrica y EE. CC. frescos desde la fábrica		~70	Multimodal marítimo/carretera

Una vez recibida la información, en el CSN se analizaron los escenarios propuestos, se pidieron las modificaciones que se consideraron oportunas y se solicitó a los operadores que llevaran a cabo el análisis de las dosis que recibirían los miembros del público en dichos escenarios.

Finalmente, toda la información aportada por los operadores seleccionados fue analizada en el CSN, discutida con los operadores y, sobre la base de los datos aportados, se llevaron a cabo los análisis adicionales que se consideraron oportunos dentro del marco de los escenarios previamente seleccionados.

Sectores de transporte seleccionados

En la tabla 2 se recoge el resumen de los diferentes sectores donde se transporta actualmente material radiactivo en España.

De todos los sectores recogidos en la tabla 2, sobre la base de la experiencia del CSN en el seguimiento y control de sus transportes y tomando como referencia el volumen de transportes de esos sectores, las tasas de dosis en el exterior de los bultos y las dosis recibidas por los trabajadores del transporte clasificados como expuestos, se concluyó que eran de interés, para el análisis de dosis, los siguientes sectores:

- **Sector 1:** el transporte de material radiactivo hacia el sector médico (medicina nuclear), que implica decenas de miles de envíos de bultos cada año, muchos de ellos de categoría II-Amarilla y III-Amarilla. En este tipo de transportes se dan las dosis más altas en los trabajadores del transporte.
- **Sector 2:** el transporte de residuos radiactivos, en especial desde las instalaciones nucleares,

que suponen alrededor de 200 envíos anuales, algunos de ellos con índices de transporte(IT) totales por vehículos altos.

- **Sector 3:** el transporte de equipos móviles de gammagrafía industrial, en el que se dan miles de movimientos al año de bultos de categoría II-Amarilla y III-Amarilla.

El resto de sectores quedan al margen del análisis, ya que su impacto radiológico en el público es muy poco significativo por las siguientes razones:

- En el transporte de **equipos móviles medidores de densidad de suelos**, tanto las dosis en el exterior de los bultos como las dosis anuales recibidas por los trabajadores de transporte son muy bajas.
- Los movimientos de **fuentes radiactivas de alta actividad**

con destino a irradiadores industriales son esporádicos.

- En el transporte de **concentrados de uranio y de hexafluoruro de uranio** solo se dan tránsitos portuarios sin descarga y con una frecuencia muy baja.
- Los **transportes de óxido de uranio y de elementos combustibles nucleares** (sector nuclear) implican pocos transportes anuales, se realizan implementando medidas de control de acceso a los vehículos (protección física) y tanto las tasas de dosis en el exterior de los bultos como las dosis anuales recibidas por los trabajadores del transporte son bajas.
- Los transportes de **residuos desde instalaciones radiactivas** tienen una frecuencia baja y las tasas de dosis en el exterior de los bultos y las dosis anuales recibidas por los trabajadores del transporte son muy bajas.

Operadores de transporte seleccionados

Para recopilar los datos necesarios para el estudio dentro del alcance definido, se seleccionaron los operadores de transporte que realizan las actividades más relevantes dentro de los sectores del transporte de material radiactivo identificados como de mayor interés para el análisis.

Así, en el transporte por carretera se seleccionaron:

- La empresa transportista **ETSA GLOBAL LOGISTICS S.A.U., S.M.E (ETSA)**, que lleva a cabo la mayor parte de los transportes de material radiactivo de aplicación médica, industrial y de investigación por sí misma

o subcontratando a otras empresas de transporte. Además, realiza la mayoría de los transportes por carretera dentro del sector nuclear, así como todos los transportes de residuos radiactivos procedentes de instalaciones nucleares.

- La **Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, SA (Enresa)** como único expedidor y receptor de residuos radiactivos procedentes de las instalaciones nucleares y radiactivas.
- En el transporte de material radiactivo por carretera de equipos móviles de gammagrafía industrial se han elegido como más representativas, por el volumen de expediciones que realizan y por el tipo de transportes, **Servicios de Control e Inspección (SCI) y SGS TECNOS (SGS)**.

En cuanto al transporte aéreo, para la estimación de las dosis al público se han considerado los operadores aeroportuarios que manejan más bultos de material radiactivo, la mayoría de ellos con destino al sector médico e industrial. En concreto, European Air Transport e Iberia.

En este caso no ha sido necesario solicitar información para la estimación de las dosis al público, pues se ha considerado suficiente tomar como referencia las evaluaciones de dosis de los trabajadores recogidas en los Programas de Protección Radiológica (PPR) disponibles en el CSN.

Selección de los escenarios y condiciones para el análisis y resultados

Las operaciones y actividades de transporte fueron analizadas por los operadores seleccionados para determinar los escenarios

potencialmente más críticos para su posterior estimación de las dosis al público. Esta estimación se basó siempre en hipótesis iniciales muy conservadoras.

Operador: ETSA / Sector: transportes de radiofármacos – medicina nuclear

Se consideraron las diferentes tareas de las operaciones de transporte: carga/descarga, transporte (incluyendo las paradas intermedias) para los distintos tipos de actividades en este sector.

Para determinar los escenarios críticos, ETSA se basó en aquellas operaciones donde sus conductores reciben mayores dosis y en los estudios realizados para analizar las dosis operacionales recibidas por sus trabajadores. Para determinar el riesgo en cada actividad se tuvo en cuenta el máximo tiempo en el que un miembro del público se podría encontrar próximo a la mercancía radiactiva (aplicando criterios conservadores).

Tras la información y el análisis reportado por ETSA, la evaluación del CSN se realizó sobre tres escenarios considerados críticos (1 al 3):

- **Escenario 1:** operaciones en tránsito relacionadas con la logística de medicina nuclear en el aeropuerto de Madrid. Para el análisis se consideraron medidas reales de la tasa de dosis a 2 metros de la parte del vehículo donde se midieron los valores más altos y el individuo crítico se definió como un miembro del público situado a 2 metros del vehículo ya cargado durante cinco minutos, una vez por semana, las 52 semanas del año.

▪ **Escenario 2:** parada de descanso durante el transporte por carretera de radiofármacos procedentes de Francia. Para el análisis se consideraron valores reales de tasa de dosis a 2 metros de la parte del vehículo donde se midieron los valores más altos. El individuo crítico se definió como un miembro del público situado a 2 metros del vehículo durante 30 minutos, dos veces al año, durante la parada del conductor para descanso.

▪ **Escenario 3:** entrega de material radiactivo de uso médico en los servicios de medicina nuclear de los hospitales. Para estimar las dosis se identificaron los centros médicos (20) en los que se realizan entregas de material radiactivo (más de 3000) en presencia de trabajadores no clasificados como expuestos y con mayor IT total por entrega en el periodo anual 2020. Del análisis de los escenarios, se seleccionó un hospital y el individuo crítico un trabajador del hospital (clasificado como público) que acompaña al conductor por la instalación hasta la entrega del material radiactivo, durante 5 minutos a 1,5 metros de distancia en cada una de las entregas (más de 300) llevadas a cabo en un año.

Operador: ENRESA / Sector: transporte de residuos radiactivos

Se han considerado las diferentes tareas de las operaciones de transporte: carga, transporte hasta el almacén de residuos radiactivos de baja y media actividad de El Cabril (considerando las paradas intermedias) derivadas de la recogida de resi-

duos radiactivos en instalaciones nucleares y posibles almacenamientos en tránsito.

Tras la información y el análisis reportado por Enresa, la evaluación del CSN se realizó sobre dos escenarios considerados críticos (4 al 5).

▪ **Escenario 4:** las paradas de descanso en el transporte. Se analizaron los transportes desde las cinco centrales nucleares existentes en España. Teniendo en cuenta la frecuencia y la duración de las paradas, se definió como escenario crítico la parada de mayor tiempo de estacionamiento (una hora) de los transportes con los rangos más altos de tasa de dosis en el exterior del vehículo.

En la determinación del individuo crítico, se ha considerado el conductor de un vehículo aparcado en paralelo al vehículo de transporte de residuos radiactivos y el personal de la Guardia Civil que permanece en la proximidad del vehículo de transporte realizando el control de acceso. En el análisis se consideraron tiempos y distancias conservadoras y se realizaron medidas reales en tres de las expediciones de los transportes con los rangos más altos de tasa de dosis, teniendo en cuenta los parámetros anteriormente citados.

▪ **Escenario 5:** los tránsitos urbanos de los transportes. Teniendo en cuenta todas las rutas utilizadas en 2020 se identificaron 14 poblaciones de tránsito. Sobre la base de la frecuencia de paso por las poblaciones y la duración del tránsito se determinó la población más relevante en este escenario, una población próxima a la instalación de

destino, por la que pasan todas las expediciones de residuos y que precisa el mayor tiempo de tránsito.

El análisis se realizó a partir de la media de las tasas de dosis a 1 y 2 m del vehículo en todas las expediciones de 2020 que pasaron por la población elegida, en total 229. Para la definición del tiempo de exposición se consideraron tres posibles tipos de individuos críticos: miembro del público que circula tras el vehículo, ciclista que transita junto al vehículo y miembro del público que está parado en los semáforos o atascos que pudieran ocurrir. Finalmente, en la evaluación se consideró que la persona del público estaba situada a 2 metros del transporte y el tiempo de exposición total al año era de 60 minutos.

Operador: SGS y SCI / Sector: transportes relacionados con la gammagrafía industrial

Se han considerado en el análisis las diferentes operaciones de transporte: carga/descarga y transporte (considerando las paradas intermedias).

Tras la información y el análisis reportado por los operadores, la evaluación del CSN se realizó sobre tres escenarios considerados críticos (6 al 8):

▪ **Escenario 6:** transportes de equipos para la realización de trabajos de gammagrafía industrial. Se ha considerado como individuo crítico a un miembro del público situado a una distancia media de 3 metros de los bultos durante 10 minutos en los controles de acceso a una obra. La tasa de exposición se obtiene a partir del IT medio del conjunto de las expedicio-

Tabla 3. Dosis al público debido al transporte de material radiactivo por carretera

Escenario	Dosis anual (mSv)	Comparación (%) frente a límite: 1mSv/año
Transporte de radiofármacos		
Escenario 1: operaciones en tránsito de medicina nuclear ejecutadas en el aeropuerto de Madrid.	0,098	9,8%
Escenario 2: parada durante el transporte terrestre de material radiofarmacéutico desde Francia.	0,082	8,2%
Escenario 3: entrega de material radiactivo de uso médico en los servicios de medicina nuclear de los centros hospitalarios.	0,100	10%
Transporte de residuos radiactivos		
Escenario 1: parada durante el transporte de residuos radiactivos procedente de una central nuclear.	0,015	1,5%
Escenario 2: tránsito en la población de Fuente Obejuna.	0,010	1%
Transportes relacionados con la gammagrafía industrial		
Escenario 1: traslados diarios de equipos como consecuencia de desplazamientos para la realización de trabajos de gammagrafía industrial.	0,001	0,1%
Escenario 2: transporte como consecuencia de traslados para cargas/ descargas de equipos tanto propios como de clientes.	0,001	0,1%
Escenario 3: transporte de equipos cargados para su revisión.	0,001	0,1%

nes. Se considera que un mismo miembro del público podría coincidir con el transporte unas 10 veces en la obra.

- **Escenario 7:** transporte de equipos para cargas/descargas de sus fuentes radiactivas, tanto propios como de clientes. Se ha considerado el individuo crítico como un miembro del público que pueda estar situado a 2 m del vehículo durante 30 minutos, dos veces al año, durante la parada del conductor para descanso. La tasa de exposición a 2 metros del bulto fue obtenida a partir del IT medio del conjunto de expediciones.
- **Escenario 8:** transporte de equipos cargados para rea-

lizar su revisión periódica. Se consideró el escenario de transporte más desfavorable, un trayecto de 600 km de 8 horas de duración y con dos paradas de descanso del conductor de 30 minutos, y como individuo crítico una persona del público que pueda estar situada a 2 m del vehículo durante 30 minutos, dos veces al año.

Para la selección del término fuente se ha tomado como referencia los datos reales de los índices de transporte de los envíos en los que fue más alta la dosis recibida por los conductores de los transportes, desde enero a mayo de 2021.

Transporte aéreo: operadores aeroportuarios (compañías de handling)

Los operadores aeroportuarios realizan operaciones de traslado desde las aeronaves hacia las terminales de carga o viceversa (operaciones de rampa) y actividades relacionadas con el almacenamiento en tránsito en dichas terminales.

Los bultos radiactivos generalmente se manipulan paletizados, se descargan del avión por el personal de rampa y se conducen por medios mecánicos hasta las terminales de carga donde los recogen los transportistas terrestres «importaciones» o bien siguen el camino

contrario en el caso de las «exportaciones» (hacia aeropuertos extranjeros o españoles).

De acuerdo con el seguimiento y control realizado por el CSN, sobre la base de las estimaciones de las dosis recibidas por los trabajadores que realizan las actividades antes citadas, estos no precisan ser clasificados como trabajadores expuestos; es decir, aplicando los criterios de la reglamentación sobre protección radiológica son considerados miembros del público.

Para la realización de este análisis no se ha considerado necesario solicitar información a los operadores aeroportuarios, ya que en el CSN se dispone de la información de los resultados de las evaluaciones de las dosis de sus trabajadores (clasificados como público), recogidas en sus Programas de Protección Radiológica (PPR), documento requerido por la reglamentación de transporte de mercancías peligrosas por vía aérea.

De acuerdo con las estimaciones o medidas directas de las dosis anuales recogidas en los PPR de estos operadores, las dosis recibidas por sus trabajadores están muy por debajo del límite anual de dosis para los miembros del público: 1 mSv/año.

Resultados del análisis de dosis realizado

Como última fase del análisis, e independientemente de las estimaciones realizadas por los propios operadores de transporte, la información aportada por estos fue analizada en el CSN y, sobre los datos aportados en ella, se realizó una estimación de las dosis que pudieran recibir

los miembros del público a causa del transporte de materiales radiactivos en los distintos sectores seleccionados.

Los resultados de las estimaciones realizadas en el CSN sobre la base de la documentación recibida y su comparación con el límite de dosis anual para miembros del público establecido en la normativa de protección radiológica, se presentan en la tabla 3.

Conclusiones

Del análisis realizado se puede concluir lo siguiente:

- En las actividades de transporte de material radiactivo actualmente desarrolladas en España las dosis recibidas por miembros del público están claramente por debajo del límite de dosis anual vigente: 1 mSv.
- En la mayoría de los escenarios críticos analizados, la dosis anual que recibiría un miembro del público está por debajo de 0,1 mSv/año (10% del límite).
- Los valores de dosis se han estimado sobre la base de hipótesis de cálculo muy conservadoras, lo que supone que las dosis reales recibidas por los miembros del público debido a las actividades de transporte estarán claramente por debajo de los valores calculados y, por tanto, serán muy inferiores al límite anual de dosis.

Es muy destacable que las conclusiones alcanzadas confirman la validez de los límites de tasa de dosis establecidos en la reglamentación de transporte de material radiactivo para el exterior de los bultos y vehículos

de transporte, definidos con el objetivo de prevenir que no se superen los límites de dosis de los trabajadores y del público y que las dosis que estos reciban sean tan bajas como razonablemente sea posible.

A la vista de estas conclusiones, no se estima necesario definir acciones específicas, más allá de mantener el seguimiento de las actividades de transporte que actualmente realiza el CSN a través de sus actividades de inspección y control. Este seguimiento permitirá visualizar que el escenario global considerado en el análisis se mantiene y en consecuencia las dosis estimadas.

Referencias

- 1 Ley 15/1980, de 22 de abril, de creación del Consejo de Seguridad Nuclear.
- 2 Reglamento para el transporte seguro de materiales Radiactivos del OIEA. SSR-6 Edición de 2018 (Rev.1).
- 3 Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3, IAEA, Vienna (2014).
- 4 Survey into the radiological impact of the normal transport of radioactive material in the UK by road and rail. Public Health England. 2017.
- 5 Statistics on the transport of radioactive materials and statistical analyses. NRPB, GRS, ANPA, NRG, IRSN, CEPN. 2003.
- 6 Servicio integrado de revisión reguladora (IRRS) y Servicio integrado de revisión para programas de gestión de residuos radiactivos y combustible gastado, de clausura y de restauración (ARTEMIS), misión combinada a España. 14 a 26 de octubre de 2018. Departamento de Seguridad y Protección Nucleares y Departamento de Energía Nuclear. OIEA. ■

EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN CÓSMICA DEL PERSONAL DE TRIPULACIÓN DE AERONAVES

La radiación cósmica es la que recibe la Tierra desde el exterior. Tiene dos componentes: una galáctica continua y otra solar esporádica. La generan fundamentalmente protones y, en menor proporción, iones de helio. En menor escala también contribuyen a ella electrones y iones pesados. La intensidad de esos llamados rayos cósmicos la modula el campo magnético terrestre que varía a lo largo de cada ciclo de actividad solar, cuya duración es de unos once años.

Ignacio Calavia, Isabel Villanueva, Subdirección de Protección Radiológica Operacional (SRO)

La atmósfera de la Tierra genera una enorme protección contra la radiación cósmica, que es mínima en la superficie y aumenta con la altitud y la latitud. Debido a los procesos competitivos

de producción y absorción de las partículas secundarias, la intensidad del campo de radiación cósmica y, por tanto, la tasa de dosis, se incrementa al aumentar la altitud –alcanza su máximo a una altitud de 20

km–. Por otro lado, el campo magnético de la Tierra es más débil en los polos, por lo que consecuentemente los niveles de radiación son más altos en las regiones polares y disminuyen a medida que se aproximan al Ecuador. De forma genérica, la tasa de dosis en la zona de los polos de la Tierra, con actividad solar normal, es de 3 a 5 veces más alta que en las latitudes ecuatoriales.

Un factor a tener en cuenta son las tormentas o llamaradas solares. En esta situación, el sol expulsa una masa de su corona emitiendo una gran cantidad de partículas al espacio y acelera los protones que proceden del espacio incrementando significativamente su energía. Durante estas tormentas solares se produce un aumento muy importante de la cantidad de radiación que se recibe en la Tierra, lo que puede provocar

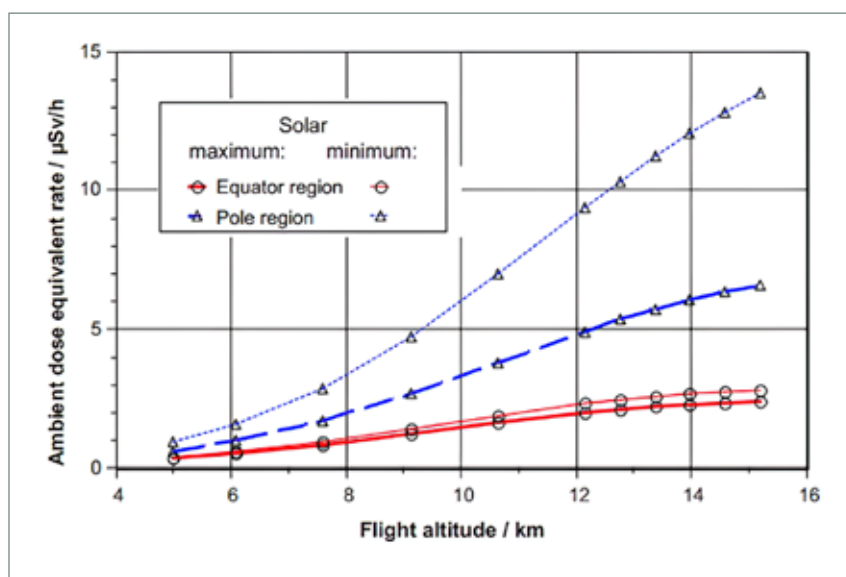


Figura 1. Representación de tasa de dosis equivalente ambiental frente a altitud y latitud

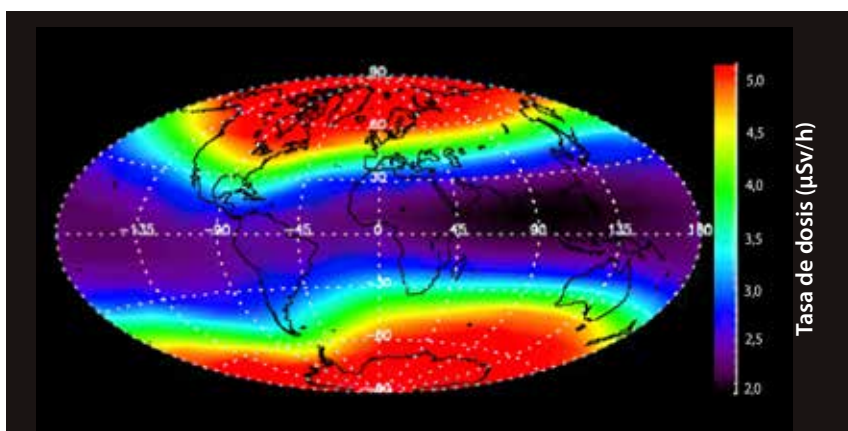


Figura 2. Fondo de tasa de dosis de radiación típico

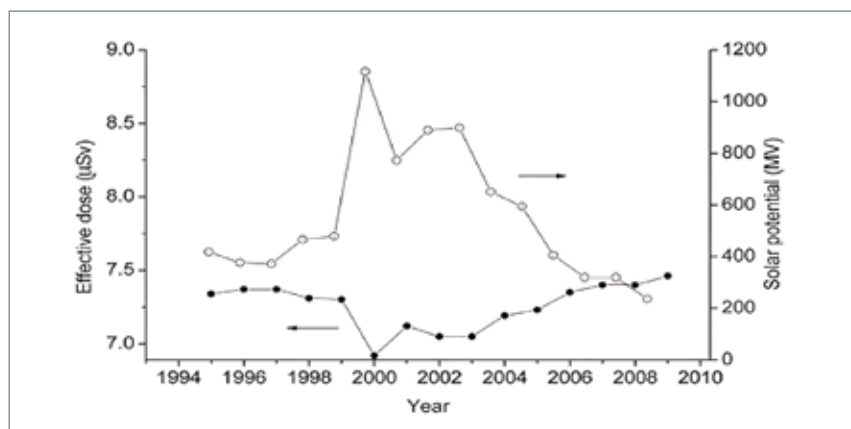


Figura 3. Progresión del ciclo solar

incrementos importantes en la tasa de dosis en un periodo de tiempo corto (por ejemplo, en julio de 2000, la tasa de dosis estimada fue de aproximadamente $200\mu\text{Sv/h}$). Por tanto, esta situación podría influir en la dosis recibida en un trayecto o vuelo que sería más elevada de lo habitual pero no influiría de forma significativa en el cómputo de dosis anual para los componentes de las tripulaciones aéreas.

Normativa de aplicación en la materia

La Comisión Internacional de Protección Radiológica

La primera vez que la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) trató aspectos de protección radiológica asociados a exposiciones resultantes de fuentes de radiación natural fue en su publicación número 60, de 1991.

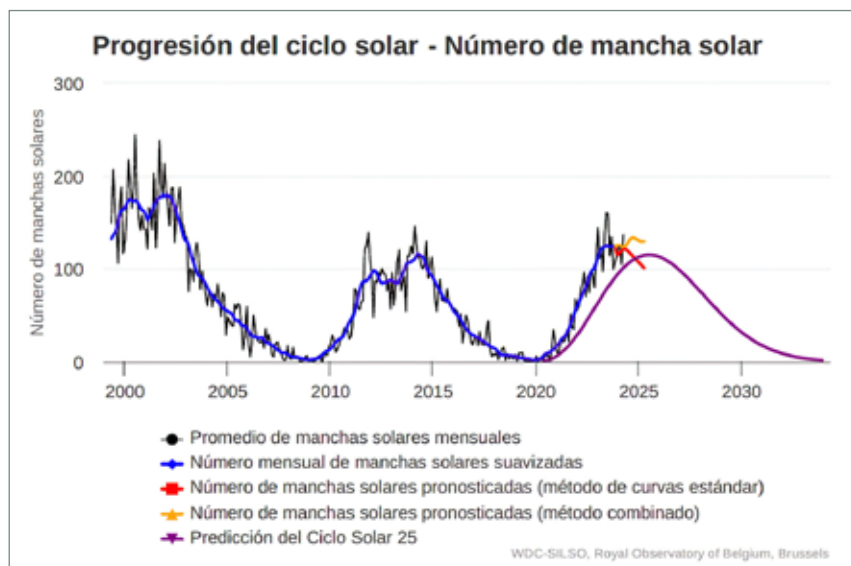


Figura 3. Representación de ciclo de actividad solar

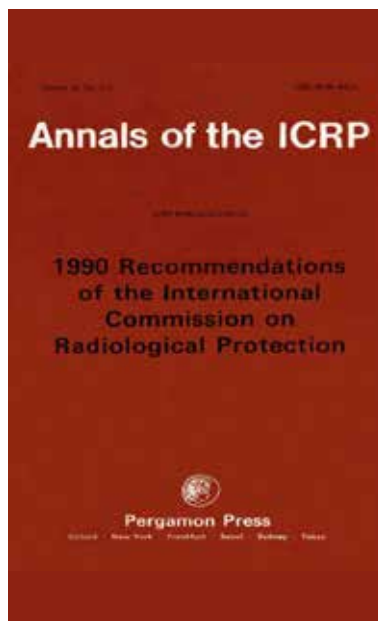
En el apartado 5.1.1. sobre exposiciones ocupacionales de esta publicación se indica:

(136) "...the Comission recommends that there should be a requirement to include exposures to natural sources as part of occupational exposure only in the following cases":

- (a) ... radon ...
- (b) ... natural radionuclides
- (c) Operation of jet aircraft,
- (d) Space flight.

"Case (c) will relate principally to the aircraft crew, but attention should also be paid to groups such as couriers who fly more often than other passengers".

"Case (d) relates to very few individuals and will not be discussed further here".



Posteriormente, en la publicación número 103, aprobada por la Comisión Internacional de protección radiológica en 2007, se incluye en el apartado 5.4.1. sobre *Trabajadores*, en relación a las exposiciones debidas a radiación cósmica, lo siguiente:

«Exposiciones en la aeronavegación y en el espacio

(189) En la Publicación 60 (ICRP, 1991b), la Comisión recomendó que las exposiciones a rayos cósmicos en la operación de aeronaves a reacción comerciales y en los vuelos espaciales sean parte de la exposición ocupacional. La Comisión aclaró su recomendación posteriormente en la Publicación 75 (ICRP, 1997a), indicando que

con propósitos de control no es necesario considerar como ocupacional la exposición de los pasajeros que viajan frecuentemente. Por lo tanto, solo las tripulaciones aéreas deberían considerarse ocupacionalmente expuestas. Ya en aquel tiempo, la Comisión hizo notar que las únicas medidas reguladoras prácticas consistían en el control de la exposición individual mediante el control de las horas de vuelo y la selección de las rutas. La Comisión mantiene dicho punto de vista».

Directivas de EURATOM

En el año 1996 se publicó la Directiva 96/29 Euratom del Consejo, por la que se establecían las normas básicas relativas a la protección sanitaria de los trabajadores y de la población contra los riesgos de las radiaciones ionizantes. En el artículo 42 de dicha directiva se incluye por primera vez un conjunto de medidas relativas a la protección del personal de tripulación de aviones.

«Protección del personal de tripulación de aviones

Cada Estado miembro adoptará las disposiciones necesarias para que las compañías aéreas tomen en consideración la exposición a los rayos cósmicos del personal de tripulación de aviones que pueda estar expuesto a más de 1 mSv al año. Las empresas tomarán las medidas oportunas; en particular:

- evaluarán la exposición del personal de que se trate;
- tendrán en cuenta la exposición evaluada al organizar los planes de trabajo a fin de reducir la exposición en el caso del personal de tripulación más expuesto;

- informarán a los trabajadores de que se trate sobre los riesgos para la salud que entraña su trabajo;
- aplicarán el artículo 10 al personal femenino de tripulación aérea».

Esta Directiva fue derogada tras la publicación de la Directiva 2013/59/Euratom del Consejo, de 5 de diciembre de 2013, por la que se establecen normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de las exposiciones ionizantes, actualmente en vigor. En esta Directiva se establece que la exposición del personal de tripulación a la radiación cósmica debe gestionarse *como una situación de exposición planificada*. Asimismo se dispone que *no es de aplicación a la exposición de miembros de la población, o de trabajadores que no sean miembros de la tripulación de aeronaves, a la radiación cósmica durante el vuelo*. En cuanto a las disposiciones o requerimientos que impone esta norma a las empresas que exploten aeronaves se establece que:

«Los Estados miembros garantizarán que, cuando la dosis efectiva para la tripulación pueda superar 1 mSv por año, la autoridad competente exija a la empresa que tome medidas adecuadas, en particular:

- a) para evaluar la exposición de la tripulación afectada, b) para tener en cuenta la exposición evaluada al organizar los planes de trabajo a fin de reducir la dosis en el caso de la tripulación más expuesta, c) para informar a los trabajadores afectados sobre los riesgos para la salud que entraña su trabajo y su dosis individual, d) para aplicar el artículo 10, apartado 1, a las muje-

res embarazadas pertenecientes a la tripulación aérea».

Normativa a nivel nacional

El Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, por el que se aprobaba el Reglamento sobre protección sanitaria contra las radiaciones ionizantes, ya incluía el artículo 64 dedicado a tripulación de aviones, donde se requería, en coherencia con lo establecido en la Directiva 96/29 Euratom, lo siguiente:

«Artículo 64. Tripulación de aviones.

Las compañías aéreas tendrán que considerar un programa de protección radiológica cuando las exposiciones a la radiación cósmica del personal de tripulación de aviones puedan resultar en una dosis superior a 1 mSv por año oficial. Este programa contemplará, en particular:

- a) Evaluación de la exposición del personal implicado.
- b) Organización de los planes de trabajo a fin de reducir la exposición en el caso del personal de tripulación más expuesto.
- c) Información a los trabajadores implicados sobre los riesgos radiológicos asociados a su trabajo.
- d) Aplicación del artículo 10 al personal femenino de tripulación aérea».

Esta norma ha sido derogada tras la publicación del vigente 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. Este real decreto transpone al marco legislativo nacional la Directiva 2013/59/Euratom, incluyendo

las siguientes disposiciones reglamentarias en relación con la exposición de tripulación de aeronaves:

- Considera este tipo de exposición como una situación de exposición existente que se gestiona como situación de exposición planificada.
- Clarifica que el citado reglamento solo es de exposición para las tripulaciones de aeronaves, no siendo de aplicación a los miembros de público, o trabajadores que no formen parte de la tripulación de aeronaves, la estimación de la exposición a radiación cósmica durante el vuelo.
- En el artículo 81 del citado real decreto se establecen las obligaciones de las compañías aéreas, que son las siguientes:
 - Las compañías aéreas establecerán un programa de protección radiológica cuando las exposiciones a la radiación cósmica del personal de tripulación de aeronaves puedan resultar en una dosis superior a 1 mSv por año oficial. Este programa contemplará, en particular:
 - a) Evaluación de la exposición del personal implicado mediante la utilización de códigos apropiados que permitan modelizar el campo de radiación cósmica.
 - b) Organización de los planes de trabajo a fin de reducir la exposición en el caso del personal de tripulación más expuesto.
 - c) Información a los trabajadores implicados sobre

los riesgos radiológicos asociados a su trabajo.

d) Aplicación del artículo 12 al personal femenino de tripulación aérea.

- Por otro lado, la disposición adicional séptima establece «que las actividades laborales que impliquen exposición a la radiación cósmica durante la operación de aeronaves no requieren declaración de la actividad puesto que esta se considera realizada en el momento en que una compañía aérea solicita autorización a la Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AESA), que en este ámbito es la autoridad competente». En ese sentido, impone a la Agencia Estatal de Seguridad Aérea el deber de mantener informado al CSN del censo de las compañías aéreas autorizadas para desarrollar actividades comerciales en España.

Actuaciones del CSN

Tras la publicación del Real Decreto 1029/2022 en diciembre de 2022, el Consejo de Seguridad Nuclear inició un proceso destinado a facilitar la implementación práctica de las disposiciones incluidas en este instrumento normativo.

Con el objetivo de conocer el estado del arte en cuanto a la existencia e implementación práctica de programas de protección radiológica para las tripulaciones de aeronaves en España, se realizó una consulta electrónica a las compañías aéreas autorizadas para desarrollar actividades comerciales en España, conforme al censo proporcionado por AESA al CSN a través de las reuniones y relaciones bilate-

rales mantenidas entre los dos organismos. Para ello fueron seleccionadas aquellas que operaban en altitudes de vuelo por encima de 8000 metros, puesto que la exposición a radiación cósmica por debajo de dicha altitud es tan baja que no requiere medidas especiales destinadas a investigar o limitar la exposición a radiación cósmica.

Respecto a las respuestas obtenidas por la encuesta electrónica llevada a cabo por el CSN, la participación fue de un 57 % del total de compañías seleccionadas. El resultado sirvió para conocer el estado de la protección radiológica de las tripulaciones de aeronaves que realizan su actividad laboral en el sector aéreo comercial y, en consecuencia, permitió al CSN planificar una hoja de ruta y el desarrollo de una estrategia en cuanto a las actuaciones a llevar cabo. También posibilitó al CSN identificar como necesidad la celebración de una jornada monográfica sobre protección radiológica, con el objeto de formar e informar sobre el marco legal actual, presentar el resultado de la encuesta nacional llevada a cabo por el CSN sobre el estado del arte en España en cuanto a la aplicación de actuaciones de materia de protección radiológica en este sector y, por último, introducir los criterios técnicos recomendados por el CSN para el establecimiento de programas de protección radiológica en relación con la exposición a la radiación cósmica del personal de tripulación de aeronaves.

La jornada monográfica se celebró en la sede del CSN el 21 de noviembre de 2023. Asistieron 15 compañías aéreas de las 28

convocadas –más del 50 %– según el censo proporcionado por AESA. A partir de esta iniciativa, el CSN recibió múltiples preguntas formuladas por dichas entidades, que fueron contestadas y remitidas en marzo de 2024 a todas las compañías áreas afectadas por el Real Decreto 1029/2022, un informe a modo de *Frequent Answer and Questions*, con el fin de favorecer y asegurar el conocimiento por parte de este sector de los criterios técnicos recomendados por el CSN, que permita generar confianza mediante la creación de una posición única.

Posteriormente, el 11 de abril de 2024, el CSN publicó y remitió a todas las compañías aéreas incluidas en el censo elaborado por AESA la circular número 1/24 sobre programas de protección radiológica a implantar en relación con la exposición a la radiación cósmica del personal de tripulación de aeronaves.

Dicha circular tiene por objeto comunicar a los grupos de interés los criterios técnicos utilizados por la Dirección Técnica de Protección Radiológica del CSN para evaluar el cumplimiento de las disposiciones contenidas en el Real Decreto 1029/2022 sobre esta materia. El seguimiento por parte de las compañías aéreas concernidas favorecerá una mejora en la elaboración de programas de protección y asegurará un entendimiento común por todas las partes involucradas.

Los aspectos más destacados de dicha circular son los siguientes:

- Se identifican las compañías que realizan operaciones de vuelos civiles por encima de 8000 metros de altitud como

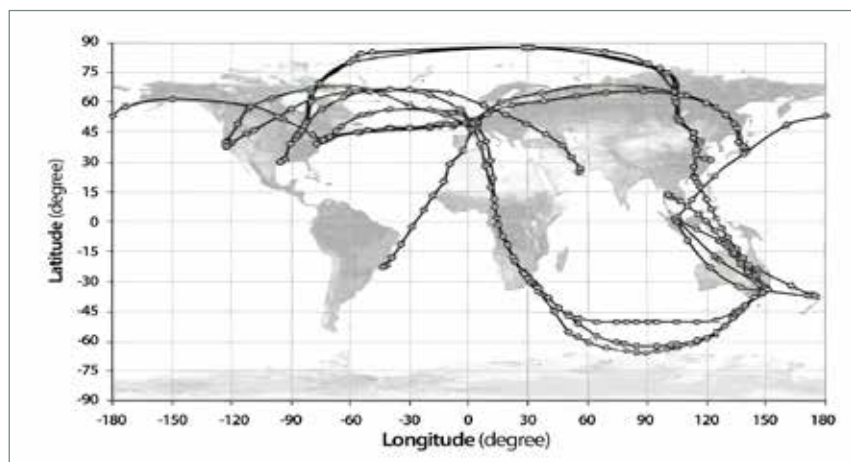


Figura 4. Rutas de vuelo donde los puntos grises dan información de la latitud, longitud, altitud y momento del vuelo (datos obtenidos de publicación Radiation Protection 173, de la Dirección General para la Energía de la Comisión Europea)

aquellas que deben supervisar las exposiciones de las tripulaciones de aeronaves a radiación cósmica, cuando puedan alcanzar una dosis efectiva anual superior a 1mSv.

- El CSN recomienda incluir como mínimo un programa de protección de vigilancia radiológica para personal de tripulación de aeronaves. Dicho programa debe recoger aspectos como:

- Análisis inicial identificando las rutas más comunes de vuelo y altitudes a las que operan cada una de ellas. Las compañías aéreas dispondrán de información que permita establecer rutas de vuelo como las que se muestran en la figura 4.

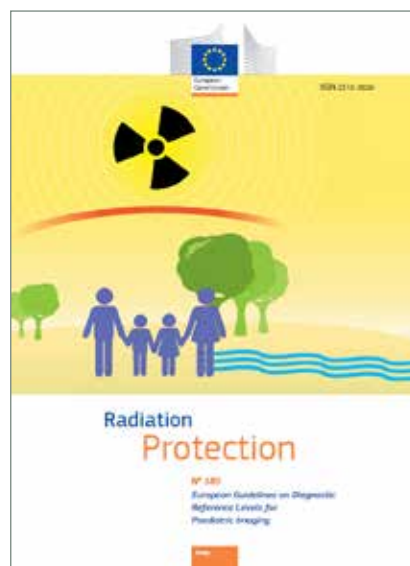
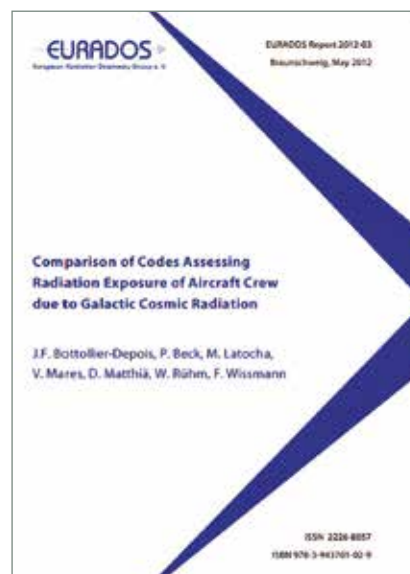
Aspectos relativos a la determinación de las dosis recibidas por el personal de las tripulaciones de aeronaves

En esta materia hay que indicar que la vigilancia de la exposición a radiación cósmica se realizará mediante la utilización de modelos de cálculo apropiados con probada fiabilidad certificada

con base en resultados de intercomparaciones internacionales sobre casos de estudio mediante aplicación de modelos de cálculo, o bien el reconocimiento, recomendación o requerimiento de utilización de un determinado modelo de cálculo por parte de organismos reguladores homólogos al CSN.

En este sentido, el CSN ha realizado un análisis de los modelos de cálculo para estimación de dosis debidas a exposición a radiación cósmica existentes a nivel internacional, tomando como base los estudios de intercomparación de códigos de cálculo llevados a cabo por EURADOS que se referencian a continuación:

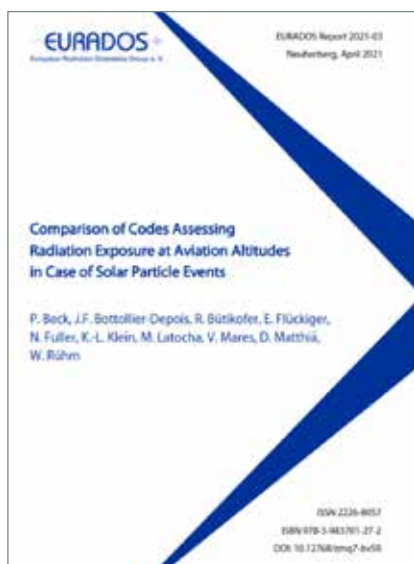
- En 2012, el Grupo WG11 de EURADOS publicó el informe *Comparación de códigos para la estimación de exposición a radiación de tripulaciones aéreas debida a radiación cósmica galáctica*. En este estudio se utilizaron las recomendaciones emitidas por ICRP 60 para el cálculo de dosis.
- En 2012, la Dirección General para Energía de la Comisión



Europea publicó el documento *Radiation Protection* n° 173. La publicación de la Comisión Europea resume los resultados del ejercicio de intercomparación llevado a cabo por la plataforma EURADOS enunciado anteriormente.

- En 2021, el Grupo WG11 de EURADOS publicó el informe *Comparación de códigos para la estimación de exposición a radiación en altitudes de aviación en caso de incidentes con partículas solares*. Este estudio

utilizó las recomendaciones emitidas por ICRP 103 para el cálculo de dosis.



Como conclusión se recogen en la circular emitida por el CSN y citada anteriormente las siguientes recomendaciones del Consejo, referidas a los programas de cálculo para la estimación de dosis:

- Deberían ser capaces de determinar las dosis de radiación cósmica.
- Deberían disponer de un manual de usuario y poder ser chequeados.
- Deberían proporcionar resultados en forma de dosis efectiva.
- Deberían disponer de una exactitud suficiente, con un nivel de confianza del 95 %, y los resultados no deberían desviarse más de un 33 % por debajo y un 50 % por encima del valor real.

Bajo estas hipótesis de partida básicas, los programas de cálculo recomendados por el CSN para estimación de exposición a

radiación cósmica de las tripulaciones aéreas son:

- CARI versión 7, desarrollado por el Instituto Médico Civil Aeroespacial FAA.



- EPCARD Net versión 5.4.3, desarrollado por el Helmholtz Zentrum Munchen y aprobado por la autoridad de aviación civil alemana (LBA) en abril de 2020, que incluye los coeficientes de conversión a dosis de ICRP 103.



Aspectos relativos a la información que debería ser proporcionada a las tripulaciones de aeronaves en relación con los riesgos derivados de su actividad laboral

Se recomienda a las compañías aéreas que, a través de sus servicios de prevención de riesgos laborales, con asesoramiento de personal cualificado en materia de protección radiológica, organicen e impartan cursos periódicamente para formar e informar al personal de sus tripulaciones de los riesgos derivados de su actividad laboral.

Aspectos relativos a la protección radiológica de las trabajadoras gestantes de las tripulaciones de aeronaves

La radioprotección de las trabajadoras gestantes se basará en el principio de protección al feto como miembro del público, conforme a lo establecido en el artículo 12 del RPSI. En lo referido a las condiciones de trabajo para la trabajadora en estado de gestación se dispone que la dosis equivalente al feto sea tan baja que no exceda de 1mSv, al menos desde la comunicación de su estado hasta el final del embarazo. Por tanto, el trabajo como tripulación aérea de las trabajadoras gestantes será organizado de forma que las dosis recibidas por el feto cumplan con los límites referidos anteriormente. Si la dosis efectiva recibida por la trabajadora gestante es inferior a 1mSv, entonces la dosis recibida por el feto será inferior a 1mSv.

Con el fin de poder llevar a cabo la planificación del trabajo de forma eficaz y eficiente para proteger al feto, las compañías aéreas deberían disponer de instrumentos para animar a sus trabajadoras a informar sobre su estado de gestación tan pronto como sea posible.

Conclusiones

El CSN, a través de la Subdirección de Protección Radiológica Operacional, ha realizado un análisis detallado de las obligaciones impuestas a las compañías aéreas en materia de protección radiológica mediante el Real Decreto 1029/2022, de 20 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección contra la salud contra los riesgos derivados de la exposición a las radiaciones ionizantes.



Como consecuencia de ese análisis se han propiciado jornadas formativas e informativas con las compañías aéreas con el objeto de incentivar la reflexión y búsqueda de las mejores prácticas reguladoras y la optimización de esta actividad laboral en materia de protección radiológica.

Asimismo, en 2024, el CSN ha publicado una circular con el objeto de comunicar a las compañías aéreas los criterios técnicos utilizados por la Dirección Técnica de protección radiológica para evaluar el cumplimiento de las disposiciones incluidas en el Real Decreto 1029/2022.

Para concluir, se pueden resaltar cuatro medidas de protección identificadas como prioritarias a nivel internacional en este campo:

- Estimación de las dosis recibidas por el personal de las

tripulaciones de aeronaves en el desarrollo de su actividad laboral mediante el uso de códigos de cálculo internacionalmente aceptados.

- Consideración por parte de las compañías aéreas de la exposición a radiación cósmica en el momento de organizar las agendas de trabajo, enfocando la planificación de dichas agendas a la reducción de dosis de radiación, sobre todo en el caso de personal de tripulación de aeronaves que presenten exposiciones significativas.
- Información a los trabajadores de tripulaciones de aeronaves de los riesgos radiológicos derivados de su trabajo.
- Atención especial a los aspectos relacionados con la protección radiológica de las

trabajadoras gestantes de las tripulaciones de aeronaves.

En resumen, las obligaciones que emanan de la Directiva 2013/59/Euratom, transpuestas al acervo normativo nacional mediante el Real Decreto 1029/2022 y relativas a los programas de protección radiológica a implantar por las compañías aéreas en relación con la exposición a la radiación cósmica del personal de tripulaciones aéreas requieren un elevado nivel de compromiso por parte de este sector. También precisan un trabajo cooperativo entre dicho sector y el organismo regulador nacional en materia de seguridad nuclear y protección radiológica –CSN–, con el fin de llevar a cabo un cambio de paradigma que fortalezca el conocimiento y la concienciación en materia de protección radiológica de todos los actores concernidos. ■

La Tierra es una estrella

CONTAMINACIÓN LUMÍNICA, UN PROBLEMA GLOBAL Y CRECIENTE

La contaminación lumínica tiene una característica que lo distingue de los demás problemas ambientales conocidos: nadie lo concibe como tal. La luz artificial se asocia a progreso, modernidad, seguridad o diversión. Sin embargo, es un agente contaminante muy peligroso por su capacidad para propagarse en todas las direcciones y la alta velocidad que alcanza: 300 000 kilómetros por segundo.

■ Texto: **Alicia Santiago** | Fotos: **Fundación Startlight**



La contaminación lumínica es un fenómeno progresivo. Cada año, la superficie mundial iluminada y la intensidad de brillo artificial del cielo nocturno crece en torno a un 2,2 %, aunque estudios recientes apuntan a que este porcentaje podría ser mayor. En 2021, el IAA-CSIC, a través de su Oficina de Calidad del Cielo, participó en un estudio que puso de manifiesto que la contaminación lumínica se ha incrementado en torno a un 50 % en los últimos veinticinco años. Otros trabajos que no utilizan información de satélites, sino que utilizan datos tomados desde tierra, apuntan a un crecimiento del 9,6 % anual.

Alicia Pelegrina es doctora en Ciencias Ambientales en el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC). Experta en temas de contaminación lumínica, trabaja desde 2016 en la Oficina de Calidad del Cielo del IAA. «Cuando hablamos de contaminación lumínica nos referimos a la alteración de los niveles naturales de luz que tenemos en nuestro entorno durante la noche. Alteración provocada por esa farola cuyo resplandor entra por nuestra ventana y no nos permite dormir, las luces que iluminan fachadas de monumentos apuntando hacia el cielo, la iluminación de carreteras desiertas en las que a las cinco de la madrugada parece ser de día, etc. La contaminación lumínica impacta fundamentalmente en cuatro ámbitos: el equilibrio de los ecosistemas, las observaciones astronómicas, el patrimonio cultural y nuestra salud», advierte.

La solución requiere un cambio de concepto en cuanto al uso

de la luz. La contaminación lumínica se produce a partir del mal uso de la luz artificial y las soluciones pasan por revisar la forma de utilizarla. «Mientras que, como sociedad, no reclamemos modelos de iluminación más sostenibles para nuestros pueblos y ciudades, las políticas y el desarrollo normativo frente a esta problemática serán insuficientes», mantiene.

El deterioro de la vida

Los ciclos de luz y oscuridad han marcado la historia de la vida en el planeta y son esenciales para los seres vivos. La luz natural es como «un árbitro que garantiza la buena marcha del partido, porque controla mecanismos y funciones biológicas como la reproducción, la búsqueda de alimento, la migración o la floración. La artificial rompe esos patrones cíclicos provocando el

desequilibrio de los ecosistemas. Las tortugas al nacer confunden las luces de los paseos marítimos de las zonas costeras con la luz de la luna sobre el mar. Al eclosionar los huevos, inician un rumbo equivocado y terminan siendo víctimas de predadores o de la deshidratación. Las luciérnagas están desapareciendo porque la sobreiluminación imposibilita el encuentro de los amantes: los machos son incapaces de reconocer la luz que emite la hembra –llamada bioluminiscencia– y cada vez nacen menos crías. Las aves migratorias ven alterada su hoja de ruta, están desorientadas por las luces de las grandes ciudades... Y así un largo etcétera de consecuencias negativas para nuestro entorno», alerta la experta del IAA.

Los insectos constituyen el grupo de seres vivos más abundan-

Mecanismos moleculares que regulan el ritmo circadiano

Nuestro reloj interno está en sintonía con la Tierra, con el día y la noche o las estaciones del año. Esta conclusión permitió a Jeffrey C. Hall, Michael Rosbash y Michael W. Young ser los ganadores del Premio Nobel de Medicina en 2017 tras descubrir los mecanismos moleculares que regulan el ritmo circadiano.

La secreción de cortisol –hormona que nos hace estar estresados y enfadados con todo el mundo– está regulada por este reloj interno y es mayor por la mañana que por la noche. La secreción de melatonina o la presión arterial también responden a estas fluctuaciones día-noche. Sin embargo, ¿cómo sabe este reloj si tiene que mandar la orden de producir más o menos cortisol? «Por las señales que recibe del medio a través de los ojos. Cuando es de noche y percibimos oscuridad, envía la orden de disminuir la secreción de cortisol. Sin embargo, la sociedad nunca duerme, es un sistema «24/7 non stop» que altera el ciclo natural luz-oscuridad debido al abuso de luz artificial durante la noche. De esta forma, el mencionado reloj se vuelve loco y envía señales por la noche propias de la mañana. Muchos estudios asocian este fenómeno con la aparición de enfermedades cardiovasculares, insomnio, falta de concentración, problemas de fertilidad, alteraciones alimenticias o envejecimiento prematuro», destaca Pelegrina.

te en el planeta y uno de los más vulnerables a la contaminación lumínica. Los nocturnos identifican la luz como una señal de seguridad y orientación. Eso explica que queden «cautivos» volando alrededor de una farola y mueran quemados por la bombilla caliente, por agotamiento debido al vuelo continuo, o depredados. Las luces artificiales se convierten así en un muro de contención en los movimientos migratorios de insectos y el desplazamiento de organismos que se alimentan de ellos.

Un problema de salud global

La presencia de luz artificial durante la noche tiene dos consecuencias directas e inmediatas en el ser humano: la alteración del reloj biológico y la supresión de la síntesis de melatonina. Nuestro organismo posee un reloj interno que regula una serie de procesos biológicos que no son constantes, varían en función de si es de día o de noche. Se conocen como ciclos circadianos (*circa diem*, alrededor de un día). La secreción de cortisol y melatonina o la presión arterial presentan un ciclo circadiano.



"Estudios epidemiológicos muestran una relación significativa entre cronodisrupción y aumento de alteraciones metabólicas, de enfermedades cardiovasculares, deterioro cognitivo, trastornos afectivos y envejecimiento acelerado"

«El principal sincronizador de nuestro reloj interno es la alternancia que se produce entre la luz natural y la oscuridad en un periodo de veinticuatro horas, por tanto, los niveles de luz insuficiente durante el día o la excesiva exposición a la luz artificial durante la noche alteran el funcionamiento de nuestro reloj interno porque impiden que se sincronice con el entorno; cuando esta sincronización no se produce, los ciclos circadianos se alteran y nuestro organismo entra en caos, lo que se conoce como cronodisrupción. Existen varios estudios epidemiológicos que muestran una relación estadísticamente significativa entre cronodisrupción y aumento de alteraciones metabólicas (que incrementan el riesgo de padecer hipertensión, diabetes u obesidad o el nivel de colesterol en sangre), de enfermedades cardiovasculares, deterioro cognitivo, trastornos afectivos y envejecimiento acelerado», explica Alicia.

Respecto a la melatonina, se trata de una hormona que desempeña importantes funciones en el organismo. Es la encargada de transmitir el mensaje del reloj interno al resto del organismo y un importante agente antioxidante que inhibe el crecimiento de células cancerígenas disminuyendo el riesgo de aparición de tumores. Pelegrina apunta hacia los radicales libres como los culpables de un efecto devastador: «aparecen como residuos de las reacciones de óxido-reducción, a través de las cuales nuestro organismo obtiene la mayor parte de energía que necesita, pueden dañar nuestras macromoléculas (lípidos, proteínas, hidratos de carbono y ácidos nucleicos). Estos daños pueden alterar procesos celulares cla-



Las luces artificiales se convierten en un muro de contención en los movimientos migratorios de insectos y el desplazamiento de organismos que se alimentan de ellos

ves, como la funcionalidad de las membranas, la producción de enzimas, la respiración celular, etc., dando lugar a enfermedades como la arterioesclerosis que es uno de los factores desencadenantes de un ictus, el envejecimiento prematuro, la hipertensión arterial y la demencia senil, entre otras. Muchas enfermedades debilitantes, como el alzhéimer o el párkinson, especialmente en ancianos, incluyen como parte de su proceso degenerativo la acumulación de daño oxidativo por radicales libres. Por eso es tan importante la capacidad antioxidante de la melatonina: para neutralizar estos radicales libres tan dañinos para nosotros».



Granada desde Sierra Nevada / José Antonio Ruiz Bueno



"Desde el punto de vista de la contaminación lumínica, el cambio a lámparas led blancas ha agravado el problema. Y desde el punto de vista de la eficiencia energética ha provocado un efecto rebote"

frente al despilfarro energético del alumbrado público. Y es cierto. Se fabricaron leds blancos que ahorran mucha energía en comparación con las lámparas de vapor de sodio que antes inundaban las calles. Sin embargo, la luz blanca es más contaminante, pues se dispersa con mayor facilidad en la atmósfera y afecta más al equilibrio de los ecosistemas y a la salud humana. Por esta razón se concluyó que no era la más adecuada. Había que buscar leds de un color más cálido. Hoy se ha comprobado que los LED ámbar, más anaranjados y cálidos, tienen prácticamente la misma eficiencia energética que las lámparas de vapor de sodio de alta y de baja presión anteriores», expone la experta del CSIC.

Energía basada en el ahorro

La pregunta es si ha servido para algo el cambio a una energía basada en el ahorro. «Desde el punto de vista de la contaminación lumínica, el cambio a lámparas led blancas ha agravado el problema. Y desde el punto de vista de la eficiencia energética ha provocado un efecto rebote. El

La melatonina solo se segrega durante la noche y requiere condiciones de oscuridad. Sin embargo, la luz le envía a nuestro reloj interno el mensaje erróneo de que es de día y suprime la síntesis de esta hormona. La capacidad que tiene la luz artificial de inhibir la producción de melatonina, teniendo en cuenta las funciones claves de esta hormona en el organismo, la convierte en un agente contaminante muy peligroso para la salud.

Situación de España

España es uno de los países de Europa con más contaminación lumínica. Los valores medios de consumo de electricidad por ha-

bitante y año se cifran en 116 kilovatios-hora (kWh), frente a los 43 que se consumen en Alemania o los 91 de Francia (datos de 2018).

Sin embargo, quedan algunos reductos donde es posible contemplar un cielo estrellado, como el Parque Nacional de la Caldera de Taburiente, en la isla de Palma; Montec, en Lleida; el Parque Natural del Alto Tajo o Sierra Morena, en Andalucía.

La tecnología LED ha supuesto un avance en cuanto a la reducción del gasto energético, pero triplica la contaminación lumínica. «Cuando aparecieron en el mercado, las lámparas tipo LED se vendieron como solución



Peña Trevinca (lago) / Manu Bermúdez

ahorro energético de esta tecnología ha llevado a los responsables del alumbrado público a instalar más puntos de luz o a mantener más tiempo encendidos los que ya existían. Si queremos evitar la contaminación lumínica hay que utilizar lámparas LED ámbar, para al menos poder beneficiarnos de las ventajas que tiene esta tecnología frente a las lámparas de vapor de sodio que se utilizaban antes».

Una de las ventajas que presentan las LED ámbar es que se puede escoger el color de luz que emi-

ten. «Esto permite diseñar espectros a la carta. Podríamos definir el más adecuado, por ejemplo, para un espacio natural protegido en el que haya una especie de ave migratoria específica, que tiene una sensibilidad especial a una longitud de onda X del espectro. Así disminuirían los impactos negativos de la luz en algunas especies», destaca la doctora del IAA.

La segunda ventaja es que al apagarse y encenderse alcanzan su actividad máxima muy rápido. «Existen otro tipo de lámparas que, desde el encendido hasta



Regla QCC

La concienciación social es el primer paso para lograr un modelo de iluminación sostenible basado en tres premisas que se recogen en la regla QCC:

1. **iluminar lo QUE** sea necesario: evitar la emisión de luz de forma directa al cielo, utilizar solo la cantidad de luz necesaria y dirigirla a lo que se necesita ver.
2. **CUANDO** sea necesario: limitar los horarios de iluminación en espacios públicos y utilizar sensores de presencia.
3. **COMO** sea necesario: utilizar lámparas con rangos espectrales visibles al ojo humano y evitar las de color blanco –más peligrosas para la salud y para los ecosistemas–, que se dispersa en la atmósfera, oculta las estrellas y dificulta la actividad astronómica.

que alcanzan un nivel adecuado de iluminación, requieren un tiempo. Esto nos permite utilizar otro tipo de sistemas complementarios como los sensores de presencia o los reguladores de intensidad, que hacen que las luces no tengan que estar permanentemente encendidas; pero, cuando se necesitan están a su máxima potencia».

Por último, la tercera ventaja del LED es que se puede regular su



Crepúsculo en Los Pedroches / Gabriel Pizarro



Gúdar-Javalambre (Teruel)



Parque Nacional de Monfragüe / J. Luis Quiñones

intensidad. «Podemos adaptar el sistema de iluminación a las diferentes horas del día y a la actividad que estemos haciendo, evitando así que las calles sin transeúntes estén iluminadas como si fueran las doce del mediodía».

Una responsabilidad compartida

La contaminación lumínica es una problemática ambiental con un alcance global que requiere

de una aproximación directa. «No vale con medidas indirectas derivadas de estrategias que hagan frente a otros retos. Por supuesto que todo suma, pero no nos podemos quedar aquí. Necesitamos trabajar y aunar esfuerzos en pro de una iluminación responsable que garantice un cielo suficientemente oscuro. Lo necesitamos tanto para preservar nuestra salud y la de nuestros ecosistemas, como para garantizar el desarrollo científico y del conocimiento. Debemos cuidar especialmente los cielos de los observatorios astronómicos, nuestras ventanas al universo. Y tampoco podemos olvidar que el cielo puede convertirse en motor de desarrollo sostenible en zonas rurales como activo turístico», argumenta Pelegrina.

La responsabilidad ante este reto ha de ser compartida. «Comunidad científica, políticos y agentes económicos y sociales deben asumir su parte de responsabilidad. El alumbrado exterior de pueblos y ciudades debe ayudar a caminar sin tropiezos, evitar posibles ac-

cidentes, garantizar la seguridad, favorecer la actividad económica en las horas sin sol o realzar la belleza de los edificios más emblemáticos, pero nunca debe alterar la actividad científica de los observatorios astronómicos, impedarnos disfrutar del espectáculo de un cielo estrellado, alterar nuestra salud o el equilibrio de los ecosistemas», señala. ■



ALICIA PELEGRINA LÓPEZ es autora del libro *La contaminación lumínica* de la colección «Qué sabemos de», editado por la editorial Catarata y el CSIC.





CAMBIOS EN LA IS-10

■ Texto: José Antonio Rodríguez Díaz

JEFE DE ÁREA DE EXPERIENCIA OPERATIVA Y NORMATIVA DEL CSN

Las centrales nucleares españolas deben notificar ciertos sucesos que, por su interés, deben ser conocidos por el CSN y el resto de centrales. El objetivo es adoptar medidas para corregir las causas de estos incidentes, tanto en la central donde ha tenido lugar, como en las demás, para analizar lo ocurrido y evitar incidencias futuras.



El CSN desarrolló la Instrucción de Seguridad IS-10 para definir los criterios objetivos por los que las centrales nucleares españolas deben notificar ciertos sucesos. Recogen la normativa de Estados Unidos –contemplada en los documentos 10CFR50.72 y 73– y la experiencia propia acumulada tras años de operación de las centrales.

Existen **35** criterios de notificación agrupados en **8** bloques:



1

Registros

Se trata de un único criterio que pide una notificación si se pierde documentación importante de la central que debería ser conservada.



3

Vertidos y liberaciones de materiales o sustancias radiactivas

Siete criterios para conocer sucesos en los que hubieran podido producirse emisiones de material radiactivo, dentro y fuera la instalación a través de cualquier vía.



2

Salud y seguridad laboral

Son cuatro criterios relacionados con sucesos en los que alguna persona pudiera recibir dosis de radiación superiores a los límites de la legislación española.



4

Especificaciones Técnicas de Funcionamiento (ETF)

Seis criterios relacionados con el cumplimiento de las ETF, un documento que define en qué condiciones debe funcionar la central para que la operación sea segura frente a cualquier situación analizada.



5

Operación

Seis criterios sobre sucesos que suponen una incidencia en la operación de la planta cuando está a potencia o en situación de recarga.



6

Sistemas de seguridad

Siete criterios para notificar sucesos que afectan a los sistemas de seguridad, necesarios para llevar al reactor nuclear a una condición segura ante cualquier transitorio.



7

Otras situaciones de riesgo

Tres criterios relacionados con el descubrimiento de condiciones no analizadas, problemas de comunicación entre las centrales y el CSN y situaciones excepcionales.



8

Sucesos externos

Incluye un único criterio relacionado con fenómenos externos a la central, pero que pueden afectar a la operación segura.



MODIFICACIONES

En febrero de 2024 entró en vigor la revisión 2 de la IS-10, que actualizó varios criterios utilizados hasta el momento. Para llevarla a cabo se formó un grupo de expertos en distintas áreas de conocimiento relacionadas con los criterios de notificación. Fruto de su trabajo se realizaron las siguientes modificaciones:

- **Ampliación del plazo** –de una a cuatro horas– para notificar los sucesos más importantes y facilitar que el titular pueda incluir información relevante en el primer informe emitido.
- **Aclaración** de algunas definiciones y **eliminación** de aquellas consideradas innecesarias.
- **Modificación** de los siguientes criterios:
 - B2, D3, D4, D5, E5 y E6 para aclarar cuándo se debe notificar.
 - B4 y C1 a C5, para actualizar los límites de acuerdo a la normativa de protección radiológica vigente.
- **Eliminación** de los siguientes criterios:
 - B3, porque se engloba en el resto de criterios del bloque B.
 - E2, porque se determinó que estos sucesos serían notificados por otros criterios.
- **Creación** de dos nuevos criterios:
 - C7, para notificar deficiencias en planta que afecten a vertidos.
 - D6, en caso de descubrir ETF inadecuadas.

Fusión de los criterios F8 y F9 en uno solo (F8) para simplificar la notificación de este tipo de sucesos.

Los cambios realizados pretenden optimizar el tipo de sucesos notificados, de cara a la seguridad de la planta, de las personas y del medioambiente.

Campaña de Intercomparación de radón en el Laboratorio de Radiación Natural

La iniciativa, subvencionada por el Consejo de Seguridad Nuclear, tuvo lugar los pasados 20 a 23 de mayo en el Laboratorio de Radiación Natural (LRN), situado en las instalaciones de ENUSA Industrias Avanzadas, en Saelices el Chico (Salamanca).

■ Texto: Verónica F. Simón



La campaña, que forma parte del convenio suscrito entre la Universidad de Cantabria y el CSN, contó con la participación de 39 instituciones de España, Portugal, Italia, Croacia, Estonia, Suecia, Rumanía, Hungría y Brasil.

La variación de la concentración de radón depende, básicamente, de las condiciones ambientales del LRN y, a su vez, de las condiciones meteorológicas. En este sentido, se trata de un espacio único para realizar comparaciones en condiciones de

campo, muy diferentes a las que normalmente se llevan a cabo en laboratorios, donde los parámetros ambientales son estables. Además, se intercompararon dispositivos de medida de tasa de radiación gamma en los dos lugares de referencia certificados por el CIEMAT: «Green Ballesteros» y «Green Cosma».

El convenio entre la Universidad de Cantabria y el CSN da cumplimiento al Plan Nacional contra el radón, que insta a la organización de campañas de intercomparación de monitores y equipos

de medida de radón con una periodicidad de dos años. El plan incluye entre sus objetivos el fomento del desarrollo de «una infraestructura metrológica acorde con las necesidades del Plan Nacional contra el radón y con los requerimientos reglamentarios».

Problemas de salud

El Laboratorio de Radón de la Universidad de Cantabria (UC) es el primero de España en lograr la acreditación ENAC para calibrar equipos de medida del radón, un gas radiactivo presen-



El radón se introduce en los edificios por las grietas y los desagües de los cimientos o por los espacios en los suelos de madera. También puede evaporarse de los materiales de construcción o del agua de uso doméstico (infografía: A. Vargas/OIEA). Fuente: IAEA. Disponible en: <https://www.iaea.org/es/newscenter/news/que-es-el-radon>

te de forma natural en la corteza terrestre, que puede causar importantes problemas de salud. De hecho, es la segunda causa de cáncer de pulmón tras el tabaco.

En toda Europa hay solo cinco centros que trabajan con este nivel de especialización y con capacidad para certificar los equipos, cada vez más necesarios, pues el Código Técnico de la Edificación incuyó en 2019 la obligación de controlar la concentración de radón en viviendas de nueva construcción.

La exigencia se deriva de las recomendaciones expresadas en la directiva europea EURATOM 59/2013, que establece un nivel de referencia máximo en recintos cerrados de 300 bequerelios por metro cúbico (Bq/m^3). El bequerelio es la unidad que utilizan los físicos para medir la frecuen-

cia de desintegración de un núcleo radiactivo.

El catedrático de la Universidad de Cantabria, Luis Santiago Quindós, señala que mientras el uranio y el radio son elementos radiactivos sólidos y se quedan en el suelo, «el radón es un gas y sale al aire», donde tiene la capacidad de adherirse a las partículas de polvo y entrar en los pulmones sin que nos demos cuenta, al ser incoloro, inodoro e insípido. «Si se diluye no pasa nada, pero si construimos en bajos, sótanos y bajo sótanos, a 15 metros bajo el suelo, la probabilidad de que entre a través de grietas y fisuras es grande. Esto afecta a las casas apoyadas sobre el suelo y al primer piso como mucho», porque se desintegra antes de llegar a pisos superiores.

El gas radón (Rn-222) procede de la cadena de desintegración del

uranio-238. No suele presentarse en concentraciones altas al aire libre, pero tiende a acumularse en lugares cerrados y puede dar lugar a concentraciones elevadas, especialmente en zonas con suelos muy permeables o con un alto contenido en radio-226. Determinadas actividades laborales (como la minería subterránea o la explotación de las aguas termales) pueden conllevar también un riesgo significativo de exposición a este gas.

La cartografía del potencial de radón en España, desarrollada por el CSN, categoriza las zonas del territorio estatal en función de sus niveles de radón y, en particular, identifica aquellas en las que un porcentaje significativo de los edificios residenciales presenta concentraciones superiores a 300 Bq/m^3 . ■



Organismo Internacional de Energía Atómica

Promoviendo el uso pacífico de la energía nuclear

«[...] el propósito de mi país es ayudarnos a salir de la cámara oscura de los horrores hacia la luz, para encontrar un camino [...] en el que avanzar hacia la paz y la felicidad y el bienestar».

Eisenhower, ante la Asamblea General de las Naciones Unidas en 1953

■ Texto: **Diego Álvarez** | Fotos: **Envato**



En 2005, el OIEA y su director general, Mohamed el-Baradei, recibieron el Premio Nobel de la Paz por sus esfuerzos para prevenir el uso de la energía nuclear con fines militares

Las palabras del 34.º presidente de los Estados Unidos ante la Asamblea General de las Naciones Unidas, el 8 de diciembre de 1953, ilustran sobre la génesis y el propósito del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). El discurso de Eisenhower, titulado «Átomos para la paz», sirvió de base para diseñar los cimientos de la entidad, creada en 1957, como

respuesta a los profundos temores y las expectativas que infundían los descubrimientos y variados usos de la tecnología nuclear.

El OIEA trabaja en favor del uso pacífico de la tecnología nuclear con el deseo de garantizar la paz y la seguridad internacional. Sus principales funciones se centran en establecer normas de



Con sede en Viena, el OIEA se presenta como organización mundial intergubernamental de cooperación científica y técnica en la esfera nuclear

seguridad nuclear y protección ambiental, ayudar a los países miembro mediante actividades de cooperación técnica, alentar el intercambio de información científica y técnica sobre la energía nuclear y formular normas básicas de seguridad para la protección contra radiaciones. También presta apoyo a países en vías de desarrollo para madurar sus planes de energía atómica, de forma eficaz y segura, a través de apoyo técnico, formativo y práctico, siempre que sirvan a un propósito civil en pro de la ciencia el desarrollo humano y la mejora de la calidad de vida de los pueblos.

Con sede en Viena, el OIEA se presenta como organización mundial intergubernamental de cooperación científica y técnica en la esfera nuclear. Actualmente la componen 177 estados y, a lo largo de su historia, ha contado con siete presidentes. El argentino Rafael Grossi asumió el cargo en diciembre de 2019. El estatuto sobre el que se rige, aprobado en



octubre de 1956 y enmendado hasta en tres ocasiones, establece como objetivo principal «procurar acelerar y aumentar la contribución de la energía atómica a la paz, la salud y la prosperidad en el mundo entero. En la medida que le sea posible se asegurará que la asistencia que preste, o la que se preste a petición suya, o bajo su dirección o control, no sea utilizada de modo que contribuya a fines militares».

En vista de la creciente importancia de los sectores funda-

mentales en la esfera nuclear, el OIEA ha creado varios programas especializados que centran su atención en diferentes ramas de la ciencia, como por ejemplo en terapias contra el cáncer, la seguridad nuclear tecnológica y física o ciclos del combustible y reactores nucleares innovadores, como *Atoms4Food*, destinado a aumentar la seguridad alimentaria y afrontar el aumento del hambre, o *NUTEC Plastics*, que aborda estrategias frente a la contaminación por plásticos.

Estructura y funciones del Organismo Internacional de Energía Atómica



Vienna International Centre, en Wagramer Straße, Viena (Austria), sede del OIEA / Foto: Adam Kolmacka

La estructura del OIEA se basa en tres pilares fundamentales: la Conferencia General, la Junta de Gobernadores y la Secretaría. La Conferencia General, compuesta por representantes de todos los Estados miembros, se reúne anualmente para establecer políticas y aprobar el presupuesto. La Junta de Gobernadores, integrada por representantes de 35 Estados miembros elegidos, supervisa las actividades del organismo en las sesiones de la Conferencia General. Y finalmente, la Secretaría, dirigida por un director general, es el brazo ejecutivo del OIEA y se encarga de coordinar las actividades técnicas y de salvaguarda nuclear.

Las funciones del OIEA son múltiples y abarcan diversas áreas de importancia global. En primer lugar, el OIEA promueve la cooperación internacional en el uso de la tecnología nuclear para

beneficio humano. Esto implica facilitar el intercambio de conocimientos y recursos entre los Estados miembros para el desarrollo y aplicación segura de la energía nuclear en áreas como la medicina nuclear, la agricultura y la generación de energía.

Una segunda función crítica es garantizar la seguridad nuclear y la protección radiológica mediante el establecimiento de estándares internacionales de seguridad nuclear y la prestación de asistencia técnica a los Estados miembros para proteger la salud pública y el medio ambiente de posibles riesgos asociados a las radiaciones.

Otro aspecto fundamental es la implementación de salvaguardas con el objetivo de verificar y asegurar que los materiales nucleares no se desvíen hacia fines militares o de proliferación nuclear. El OIEA realiza inspec-

ciones regulares y verifica las declaraciones de los Estados miembros sobre sus actividades nucleares para garantizar el cumplimiento de los tratados internacionales de no proliferación.

Además, el OIEA proporciona asistencia técnica y capacitación especializada a sus miembros para el desarrollo y aplicación de tecnologías nucleares con fines pacíficos. Incluye proyectos para mejorar la seguridad y eficiencia de las centrales y el uso de tecnologías nucleares en la medicina para diagnóstico y tratamiento.

Finalmente, el OIEA promueve investigaciones y desarrollo científico para favorecer el conocimiento y la innovación en tecnologías nucleares y sus aplicaciones en beneficio de la humanidad.



Una organización abierta al mundo

Cualquier país que lo desee puede solicitar su integración en el OIEA. El proceso es relativamente sencillo. El Estado interesado debe notificar al director general su intención de adherirse, quien a su vez presentará dicha solicitud a consideración de la Junta. Si es positiva y la Conferencia General ratifica el ingreso, el solicitante deberá certificar la aceptación del Estatuto de la OIEA a los Estados Unidos, que actúa como Gobierno depositario del Estatuto del OIEA. El aspirante se considera miembro una vez depositada la carta de aceptación.

A continuación, Estados Unidos solicita al OIEA que notifique la adhesión al resto de Estados miembro. Sin embargo, la firma y ratificación del Tratado de No Proliferación Nuclear (TNP) no son condiciones previas para ser miembro del OIEA.



En la historia del Organismo Internacional de Energía Atómica, cuatro han sido los estados que se han retirado de la entidad: Corea del Norte, Nicaragua (reincorporado en 1957), Honduras (reincorporado en 2013) y Camboya (reincorporado en 2009)

En la historia de la organización, cuatro han sido los estados los que se han retirado del OIEA: Corea del Norte, Nicaragua (reincorporado en 1957), Honduras (reincorporado en 2013) y Camboya (reincorporado en 2009). La mayoría de los miembros pertenecen a las Naciones Unidas. Cabe señalar la incorporación de la Santa Sede y la aceptación de países como Cabo Verde, Tonga, Gambia, Guinea y Saint Kitts and Nevis para su futura membresía.

En conclusión, el OIEA desempeña un papel indispensable en el escenario internacional al promover y regular el uso seguro y pacífico de la energía nuclear. A través de sus diversas funciones, que incluyen la promoción de la cooperación técnica, la seguridad nuclear, las salvaguardas y la asistencia técnica, contribuye significativamente a la paz y al desarrollo sostenible, al mismo tiempo que garantiza la protección contra los riesgos asociados a la tecnología nuclear. ■



Marietta Blau en 1927 / Colección privada de Agnes Rodhe

Marietta Blau y las emulsiones nucleares

Einstein decía que era «una doctora en física de talento excepcional [...] No se trata de un caso común sino de una persona verdaderamente valiosa, capaz de promover vida científica en cualquier lugar con recursos modestos» y Schrödinger la nominó dos veces al premio Nobel. Sus aportaciones permitieron entender mejor las reacciones nucleares y distinguir las huellas que producen los protones y las partículas α en emulsiones fotográficas adaptadas para ello.

■ Texto: Isabel Robles | Fotos: Archivo

Marietta Blau nació el 29 de abril de 1894 en el seno de una familia judía acomodada de Viena. En la entonces capital del imperio austrohúngaro –uno de los centros culturales, financieros y científicos de Euro-

pa–, Marietta defendió en 1919 su tesis doctoral sobre la absorción de rayos gamma. En 1921 se trasladó a Berlín, donde comenzó a trabajar en una empresa que se dedicaba a la fabricación de tubos de rayos X. Sin embargo, renun-

ció a ese empleo en cuanto logró obtener un puesto de asistente en el Instituto para los Fundamentos Físicos de la Medicina de la Universidad de Fráncfort, donde tuvo la oportunidad de estudiar los efectos de los rayos X.



Aunque intentó acceder a una de las posiciones remuneradas de docente, un profesor aseguró que ser mujer y judía era demasiado disonante para la época, por lo que tuvo que conformarse con un papel periférico



Hans Pettersson en el Institut für Radiumforschung de Viena en torno a 1925. Debajo, Marietta Blau / Biblioteca Central de Física, Viena.



En 1923 su madre enfermó y Blau tuvo que regresar a Viena para cuidarla, lo que supuso abandonar un puesto con remuneración en Alemania por otro, sin sueldo, en el Institut für Radiumforschung. Aunque intentó acceder a una de las posiciones remuneradas de docente, un profesor aseguró que ser mujer y judía era demasiado disonante para la época, por lo que tuvo que conformarse con un papel periférico. Fue aquí donde conoció a Hans Pettersson, que se convertiría en su mentor y le sugirió utilizar emulsiones fotográficas expuestas a radiación ionizante para detectar partículas emitidas en las reacciones nucleares. Blau lo logró en 1925. Sin embargo, se dio cuenta de que para detectar las partículas más débiles tendría que mejorar tanto la emulsión como el procedimiento, por lo que a partir de 1932 aceptó a Hertha Wambacher como ayudante. Su trabajo le permitió obtener una beca internacional para estudiar en Gotinga y, en 1933, Marie Curie la invitó a utilizar en sus experimentos fuentes radiactivas como el plutonio en el Institut du Radium de París. En

1934, Blau volvió a Austria y se enfrentó a las críticas que científicos como H. J. Taylor hicieron sobre su método, que continuó mejorando, hasta que en 1937 recibiera el premio Ignaz L. Lieben, junto con Wambacher.

Los años de la guerra

Para entonces, el clima político de Europa era tenso. Las ideas del nazismo se extendieron por la sociedad austriaca y Wambacher se unió al movimiento. Cuando el 11 de marzo de 1938 los alemanes entraron en Viena, Blau estaba en un congreso en Oslo como invitada de Ellen Gleditsch. Con parte de su trabajo confiscado por los nazis, logró rescatar a su madre de Viena y, gracias a una recomendación de Einstein, que conocía su situación, fue contratada como profesora de estudios avanzados en el Instituto Politécnico Nacional de México, donde llegó en otoño del mismo año. Aunque emigrar la salvó de una Europa desgajada por la guerra y el antisemitismo, también hizo que su trabajo como investigadora quedara en un segundo plano. Sin las instalaciones adecuadas y con un contrato en el que se estipulaba



Institut für Radiumforschung de Viena. Derecha, Blau en la Universidad de Miami, 1957 / Biblioteca de la Universidad de Miami



Personal docente de la ESIME en 1941. Marietta Blau abajo a la izquierda. / IPN, Archivo Histórico de la ESIME

que debía impartir veinticuatro horas de clases a la semana, vio cómo se desvanecía la posibilidad de fundar y dirigir el laboratorio de física de la Universidad de Morelia. De hecho, en 1941, expresó la frustración de no poder

demostrar su talento en una carta remitida a Einstein.

Tras el fallecimiento de su madre, en 1943, decidió irse a Estados Unidos, donde trabajó en la Universidad de Columbia como investigadora hasta que la Comi-

sión de Energía Atómica decidió trasladarla al Laboratorio Nacional de Brookhaven en 1950. Allí pudo continuar sus investigaciones con las emulsiones y participar en el diseño de detectores de centelleo.



Emulsiones nucleares

Con el objetivo de detectar partículas atómicas, a principios del siglo XX, científicos como Marietta Blau comenzaron a utilizar emulsiones. Para que las películas fueran sensibles a partículas ionizadas, tuvieron que modificarlas y encontrar un proceso que permitiera analizar las trayectorias.

En 1932, Blau y Wambacher fueron capaces de ver los trazos dejados por las partículas α en las emulsiones fotográficas desensibilizadas con amarillo de pinacriptol. Además, durante su estancia con Marie Curie en París, Blau tuvo la oportunidad de detectar un rayo de neutrones que se produjo al colisionar berilio con partículas α y pudo confirmar que su método funcionaba. Sin embargo, también puso de relieve algunos problemas relacionados con la emulsión, ya que si el grano era demasiado fino la trayectoria no se distinguía en el microscopio.

A partir de 1934, el fabricante de películas fotográficas Ilford comenzó a hacer las emulsiones más espesas y consiguió que las trayectorias se detectaran mejor, pero eso dio lugar a nuevos problemas: era más difícil lograr un secado homogéneo y, a veces, las imágenes de las trayectorias de las partículas se oscurecían y desaparecían al contacto con los compuestos químicos que se utilizaban para el revelado.

A pesar de todo, Blau fue mejorando su técnica y demostrando que funcionaba. Cuando se vio obligada a huir de Europa, el británico Powell comenzó a trabajar con emulsiones nucleares en el punto que Blau lo había dejado. Con muchos más medios, su equipo mejoró la técnica sumergiendo las emulsiones en sales de uranio, mercurio y otros metales, lo que permitía que las imágenes de las trayectorias se pudieran observar mejor. Además, comenzaron a colaborar con fabricantes como Ilford o Kodak para mejorar las emulsiones y hacerlas más sensibles a las partículas que estaban estudiando.

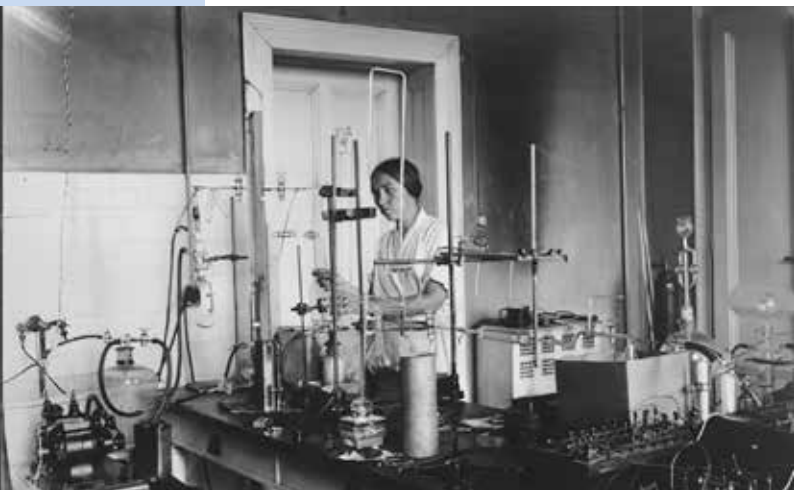
Las emulsiones nucleares sirvieron como base al desarrollo de la física de partículas en una Europa devastada tras la guerra y sin los medios disponibles en Estados Unidos. Con el tiempo se demostró la fiabilidad del método ideado por Blau —a quien la comunidad científica ignoró durante mucho tiempo— y mejorado por Powell.

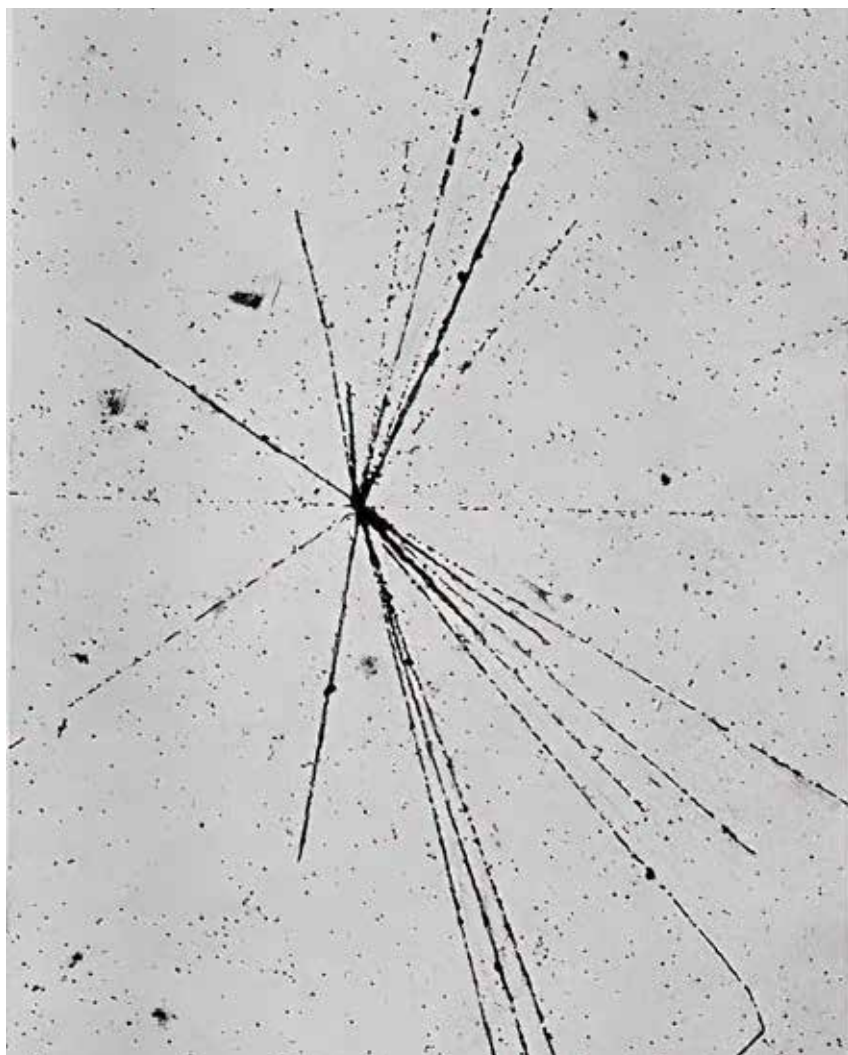
Gracias a una recomendación de Einstein, fue contratada como profesora de estudios avanzados en el Instituto Politécnico Nacional de México

Regreso a Viena

En 1960, necesitada de una operación de vista que no podía permitirse en Estados Unidos y tras varios problemas personales con otros miembros de Brookhaven, decidió regresar a Viena. A pesar de que recibió algunas distinciones, como el premio Schrödinger de la Academia de Ciencias, pudo comprobar que las cosas no habían cambiado demasiado en el Institut für Radiumforschung: aquellos que habían prosperado al amparo del nazismo eran catedráticos mientras que su puesto seguía sin tener remuneración. Con una serie de problemas de

✓ Izquierda, Blau en el Institut für Radiumforschung de Viena supervisando a un grupo de mujeres. Derecha, Wambacher / Biblioteca Central de Física, Viena





Estrellas de desintegración

Uno de los objetivos de Blau era detectar partículas de radiación cósmica con emulsiones fotográficas. Para ello, en 1937 se puso en contacto con Viktor Hess, profesor en la Universidad de Innsbruck que el año anterior había recibido el Nobel de Física junto a Anderson por los estudios sobre la radiación cósmica. Hess contaba con un observatorio a más de 2000 metros de altitud en una montaña cercana a Innsbruck. Blau y Wambacher colocaron allí sus emulsiones y las dejaron expuestas a la radiación cósmica durante cinco meses. Posteriormente, al analizarlas, descubrieron lo que denominaron «estrella de desintegración». Se trataba de los trazos dejados por una partícula, probablemente de bromo o plata, al desintegrarse por el efecto de los rayos cósmicos. Las nueve trayectorias que encontraron –una identificada como partícula α y el resto como protones– partían del mismo punto, lo que indicaba el centro de la desintegración –nunca visto hasta entonces– y le daba al conjunto la apariencia de una estrella.

salud causados por la exposición a la radiación durante sus experimentos, murió de cáncer en 1970, en Viena, sin haber recibido el reconocimiento que merecía una científica de su talla. ■

Bibliografía

- Baptista Lucio, P. (2017): El exilio de Marietta Blau en México [en línea]. *Revista BiCentenario*, 3, pp. 46-55. Disponible en: <http://revistabicentenario.com.mx/wp-content/uploads/2017/03/BiC-26-Marietta-Blau.pdf>
- Blau, M. (1938): Photographic Tracks from Cosmic Rays [en línea]. *Nature* 142, 613. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/142613a0>
- Blau, M. y Wambacher, H. (1937): Disintegration Processes by Cosmic Rays with the Simultaneous Emission of Several Heavy Particles [en línea]. *Nature* 140, 585. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/140585a0>
- Galison, P. (1997): *Image and Logic. A Material Culture of Microphysics* [en línea]. Chicago y Londres: The University of Chicago Press. Disponible en: https://worldpece.org/sites/default/files/artifacts/media/pdf/galison_-_1997_-_image_and_logic_a_material_culture_of_microphysic.pdf
- (1997). Marietta Blau: Between Nazis and Nuclei [en línea]. *Physics Today*, 50 (11). Disponible en: <https://galison.scholar.harvard.edu/sites/projects.iq.harvard.edu/files/andrewsmith/files/galison-blau.pdf>
- Halpern, L. (1999): *Interview of Leopold Halpern by Maria Rentetzi* [en línea]. American Institute of Physics. Disponible en: <https://www.aip.org/history-programs/niels-bohr-library/oral-histories/32406>
- Herz, A. J. y Lock, W. O. (1966): Les détecteurs de particules: les émulsions nucléaires [en línea]. *CERN Courier*, 6 (5), pp. 83-87. Disponible en: <https://cds.cern.ch/record/1736001>
- Perlmutter, A. (2000): *Marietta Blau's Work After World War II* [en línea]. Cornell University. Disponible en: <https://arxiv.org/pdf/physics/0110028>
- Rentetzi, M. (s. f.): Marietta Blau [en línea]. *The Shalvi/Hyman Encyclopedia of Jewish Women*. Disponible en: <https://jwa.org/encyclopedia/article/blau-marietta>

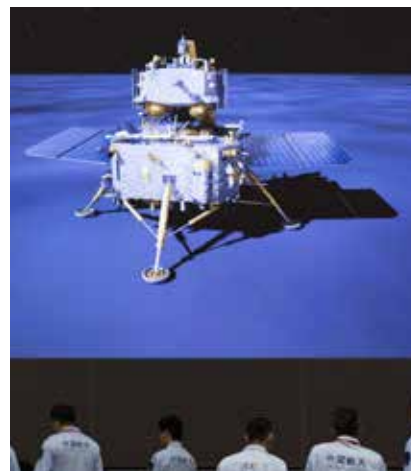
Segunda visita de China a la cara oculta de la Luna

El robot chino Chang'e-6 alunizó con éxito la madrugada del domingo 2 de junio en la cara oculta de la Luna. Misión: recolectar alrededor de dos kilogramos de muestras lunares y traerlas de vuelta a la Tierra. Esta es la segunda expedición de China, después de que el Chang'e 5 volviera con 1,73 kilos de material lunar.

Tras desprenderse del módulo de aterrizaje, el Chang'e 6 descendió sobre la Cuenca Aitken del polo sur, hasta alcanzar un enorme cráter que se cree que contiene agua helada. En el área seleccionada, el robot perforó el suelo y recogió rocas y polvo. Durante la maniobra de aterrizaje las comu-

nicaciones se realizaron a través del satélite Queqiao-2, que fue lanzado por China el pasado mes de marzo y que se encuentra actualmente en órbita lunar.

Está previsto que Chang'e 6 aterrice en paracaídas el 25 de junio en una zona de Mongolia interior. Las muestras que lleguen a la Tierra serán trasladadas a un laboratorio de Pekín, donde posteriormente los investigadores de otros países podrán solicitar su estudio, al igual que se hizo con el material obtenido por el Chang'e 5. Una de las respuestas que pretende responder la misión es saber cuánta agua helada puede albergar la cara oculta del



satélite. El gigante asiático ya ha anunciado que confía en lanzar su primera misión tripulada antes de 2030. ■

Híbridos: la lotería de la vida

Durante décadas, la piedra filosofal de la teoría de la evolución ha sido encontrar una especie animal que surgiera de dos especies parentales que combinaran sus genomas. Pues bien, el elixir mágico de la vida se ha encontrado en el Amazonas, en la especie de mariposa *Heliconius elevatus*, cuyo genoma es una mezcla de un 1 % de la especie *H. melpomene* y un 99 % de *H. pardalinus*. La comparación de los planos genéticos de estas mariposas fue dirigida por Neil Rosser, de la Universidad de Harvard (Estados Unidos) y fue publicada en la revista *Nature*¹.

Este hallazgo es crucial para demostrar que la hibridación puede impulsar la evolución de nuevas especies. De hecho, las dos especies parentales de *H. elevatus* fueron distintas durante dos millones de años, hasta que se produjo una mezcla de ADN hace unos 180 000 años, cuando la selva amazónica se convirtió en un refugio de biodiversidad durante una glaciación.

Tanto el híbrido como sus dos especies parentales conviven y son comunes en las selvas tropicales de Sudamérica. Su hallazgo demuestra que los híbridos se



encuentran en la naturaleza, una situación que siempre se había postulado, pero no se había demostrado. Se estima que existan más especies de mariposas híbridas en las selvas de África y Asia. ■



1. Rosser, N., Seixas, F., Queste, L.M. et al. Hybrid speciation driven by multilocus introgression of ecological traits. *Nature* 628, 811–817 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41586-024-07263-w>



EFEMÉRIDES

50 años del cubo de Rubik

El 19 de mayo de 1974 se creó el cubo de Rubik. El escultor y profesor de arquitectura Ernő Rubik buscaba un objeto mecánico manipulable que permitiera a su alumnado entender mejor la geometría tridimensional. ¡Eureka! No solo creó un cubo. Dio con la gallina de los huevos de oro. De repente, cientos, miles, millones de personas hablaban sobre cómo resolver, qué hacer y cómo ser más rápido con el cubo. Había llegado la rubikmanía. En 1982 empezaban a celebrarse competiciones oficiales de cubistas y quedaría oficialmente establecido el primer récord mundial: diecinueve segundos. Ese mismo año se estimó que uno de cada cinco individuos poseía su propio ejemplar de cubo. Impresiona.

El cubo de Rubik incumple todos los cánones del diseño. Es poco atractivo y no tiene una función clara. Es, a ojos de la mercadotecnia, un producto de deshecho que tiene los días contados en las estanterías. Un juguete absurdo que se muestra en uno de esos miles de cursos de marketing que se imparten a diestro y siniestro. Es evidente que los gurús de la mercadotecnia cometieron un error garrafal.



El cubo se compone de veintiséis piezas visibles, que en realidad son veintiuna porque los ejes centrales cuentan como una única pieza para lados opuestos. Y solo tiene un objetivo: ser resuelto. La primera intención de Ernő Rubik fue estudiar un mecanismo cuyas partes se movieran de sitio sin que la estructura básica resultara alterada.

La Hungría comunista de 1974-75 no era el mejor escenario posible para lanzarse a una aventura emprendedora. Rubik obtuvo la patente en 1975, pero pasó dificultades para encontrar una empresa húngara con los medios técnicos necesarios para fabricar una tirada de cubos de plástico. Terminó encontrando la empresa detrás del Telón de Acero. El artefacto se puso a la venta en 1977, primero en el país de origen. El éxito fue impactante. En 1979 obtuvo patentes en el extranjero y llegó al mercado internacional en 1980. Para los que han vivido con un cubo entre sus manos, el resto ya es historia. ■



LIBROS



Sánchez Ron J. M. (2024). *El canon oculto*. Barcelona: Crítica, 672 pp.

Cuando se habla de canon literario se incluye una excelsa lista de obras de literatura, con ocasionales textos de filosofía e historia. Tan solo *The Origin of Species* de Charles Darwin se ha ganado un hueco en el templo que alberga lo mejor que la humanidad ha producido a lo largo de la historia. El autor, académico de la RAE y Premio Nacional de Ensayo, José Manuel Sánchez Ron, aborda la belleza de la ciencia, el derecho a estar presente en esa lista de obras extraordinarias que conforman el patrimonio cultural de la humanidad. La lectura es un goce estético que puede contemplarse también en los textos de ciencias.

Cada uno de los cien capítulos que componen este *Canon oculto* se centra en uno de los libros capitales de Aristóteles, Galeno, Galileo, Newton, Euler, Lavoisier, Buffon, Darwin, Maxwell, Einstein, Fossey, Dawkins o Hawking, entre muchos otros. Explica su contexto e importancia y da detalles del autor. Hay también reproducciones de algún texto representativo de la obra reseñada. *El Canon oculto* reivindica a la ciencia como compañera inseparable de la literatura. ■



EN RED

Avances en la investigación celular del cáncer de páncreas



| Susana García-Silva / CNIO

Investigadores españoles han descubierto cómo las células más agresivas del cáncer de páncreas escapan al sistema inmunitario. Estas células madre del cáncer utilizan una proteína llamada PGLYRP1, comúnmente parte del sistema de defensa contra bacterias, para disfrazarse y evitar ser detectadas por las células defensivas del organismo. Este hallazgo es crucial, ya que el cáncer de páncreas se detecta general-

mente en etapas avanzadas y es muy resistente a la quimioterapia e inmunoterapia. La investigadora Susana García-Silva, del CNIO, destaca que el próximo desafío es bloquear esta proteína para evaluar si puede ser una terapia efectiva contra este tipo de cáncer, ya sea sola o en combinación con otros tratamientos. Este descubrimiento abre nuevas posibilidades para que las inmunoterapias, que son actualmente las más efectivas contra el cáncer en fases avanzadas, también funcionen en cáncer de páncreas. ■

Más información: <https://www.cnio.es/noticias/desvelada-una-estrategia-con-que-las-celulas-mas-agresivas-del-cancer-de-pancreas-escapan-a-las-defensas-del-organismo/>



Primer satélite de madera del mundo



Un equipo de científicos japoneses ha desarrollado el primer satélite de madera del mundo, LignoSat, un pequeño cubo de diez centímetros de arista que será lanzado al espacio en septiembre a bordo de un cohete de SpaceX. Este innovador artefacto, creado por investigadores de la Universidad de Kioto y la empresa Sumitomo Forestry, se espera que se queme por completo al reingresar a la atmósfera, lo que podría reducir la generación de resi-

duos metálicos. Los expertos señalan que los residuos metálicos de los satélites tradicionales pueden tener efectos negativos en el medio ambiente y las telecomunicaciones. Este satélite, hecho de madera de magnolia, será entregado a la agencia espacial japonesa JAXA para su lanzamiento hacia la Estación Espacial Internacional, donde se probará su resistencia y durabilidad. Los datos recopilados durante esta prueba ayudarán a evaluar la capacidad del satélite para soportar grandes cambios de temperatura y tensiones en el espacio. ■

Más información: <https://www.kyoto-u.ac.jp/en/research-news/2024-01-25-0>

REDES



@Schrodingergata

Canal dedicado a la divulgación científica con un enfoque escéptico y un toque de humor. Se encarga de desmentir mitos sobre tendencias modernas que, disfrazadas de consejos de salud, resultan ser meras invenciones.



CIENCIA CON MAYÚSCULA

Publicaciones sobre diversos temas del mundo científico, abarcando desde curiosidades del cuerpo humano y enfermedades, hasta los últimos avances en astronomía, explicado para todos los públicos.



@OperadorNuclear

Divulgación de información relevante sobre problemáticas actuales a nivel global y sus impactos en el medio ambiente. Trata desde los efectos del consumo individual hasta las consecuencias de los conflictos bélicos en el planeta.



la_ciencia_dice

Todo lo que nos rodea explicado por la ciencia, ya sea con un toque humorístico o de manera seria. Sube información complementaria y actualizada sobre nuevos temas en el canal de difusión de la plataforma.



@lahiperactina

Desglosa temas de biomedicina y su impacto en la salud, con explicaciones claras y contenido educativo. Explica desde las funciones básicas del cuerpo humano hasta cómo evitar contraer ciertas enfermedades.

Seminario de expertos europeos en protección radiológica en la sede del Consejo de Seguridad Nuclear



PARTICIPACIÓN



El foro sirvió para compartir enfoques, experiencias y aprendizajes desde la publicación de la Directiva 2013/59/EURATOM. Contó con la participación de representantes de países miembros de HERCA, Comisión Europea, Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), Agencia de Energía Nuclear (NEA), Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), Organización Mundial de la Salud y la Federación Europea de Sociedades de Física Médica (EFOMP), entre otros.

El Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) acogió un seminario internacional sobre la incorporación a los marcos normativos nacionales de la Directiva europea sobre normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes. Organizado en colaboración con la Asociación Europea de Autoridades Competentes en Protección Radiológica (HERCA), reunió a expertos en protección radiológica de toda Europa.

Juan Carlos Lentijo, animó a los reguladores a seguir trabajando

«para conseguir un marco jurídico de calidad» y, aseguró que las conclusiones del seminario son de gran valor para dictar las normas y guías de la normativa de transposición en los distintos países miembros de HERCA. «Esta labor de armonización y contribuye a robustecer el sistema regulador en el ámbito europeo, a mejorar su implementación y a garantizar una mayor adherencia al mismo», apuntó Lentijo.

Sesiones técnicas

Las distintas sesiones abordaron temas como la protección de los trabajadores en ambientes con

concentraciones elevadas de radón y en actividades de tratamiento de material con contenido radiactivo natural (NORM), la metodología para llevar a cabo la vigilancia de las dosis a las que se encuentran expuestos los trabajadores o el reconocimiento de la cualificación de los expertos en protección radiológica y física médica. Además, se debatieron otros temas importantes como la justificación de las exposiciones médicas y de la obtención de imágenes con fines no médicos, así como la utilización de nuevas tecnologías como la inteligencia artificial. ■

Encuentro sobre el papel de la mujer en la ciencia y la divulgación

El CSN celebró el primer aniversario de su Plan de Igualdad con una jornada que contó con la presencia de la ministra de igualdad, Ana Redondo, la bióloga molecular del Centro Nacional de Investigaciones Oncológicas y astronauta reservista, Sara García, y la periodista y divulgadora científica, Patricia Fernández de Lis. El encuentro abordó los desafíos en materia de igualdad de género y la importancia de incentivar las carreras científicas entre las jóvenes. Además, el regulador reafirmó su compromiso con la mejora continua y el objetivo de igualdad plena y efectiva. ■



El CSN participa en una misión de verificación en el marco del artículo 35 del Tratado Euratom de la CE



El Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), a través de la Dirección Técnica de Protección Radiológica, coordinó la recepción de una misión de verificación del cumplimiento con los artículos 35 y 36 del Tratado de Euratom. Las verificaciones fueron realizadas por una delegación de tres expertos de la Dirección General de Energía de la Comisión Europea (CE).

La misión tenía como alcance específico la Red de Vigilancia Radiológica Ambiental nacional en la ciudad de Madrid y sus alrededores. El objetivo era comprobar

el funcionamiento y la eficacia de las instalaciones destinadas a controlar de modo permanente el índice de radiactividad de la atmósfera, las aguas y el suelo, así como otras muestras biológicas como agua potable y alimentos. En esta ocasión, se prestó especial atención a las medidas de control de la radiactividad en caso de una emergencia radiológica en España y, de forma más específica, en la Comunidad de Madrid. Las actividades de verificación incluyeron visitas a los principales laboratorios responsables de los análisis que se realizan en este contexto. ■

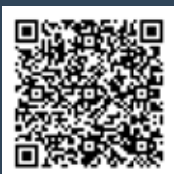
Jornada sobre el Plan Nacional contra el radón organizada por el Ministerio de Sanidad

El Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) participó en la jornada sobre el Plan Nacional contra el radón que, organizada por el Ministerio de Sanidad, sirvió para dar a conocer el alcance de este documento, aprobado para proteger la salud de la ciudadanía frente a los riesgos de la exposición a este gas radiactivo.

Una mesa redonda, moderada por el director técnico de Protección Radiológica, Javier Zarzuela, sirvió para abordar los avances científico-técnicos acerca del origen del radón y su presencia en España; los riesgos que conlleva para la salud y las tasas de mortalidad atribuibles a este gas; así como sobre las zonas de actuación prioritarias por la presencia de mayores concentraciones.

El evento contó con la participación de los principales actores en protección contra el radón y analizó el impacto del Plan en centros de trabajo y los cambios que conlleva para el Código Técnico de Edificación. ■

ACUERDOS DEL PLENO DEL CSN



Coeficientes disponibles en la página web del CSN

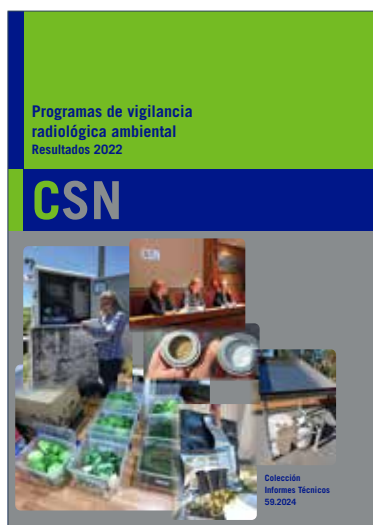
El CSN publica los coeficientes de dosis efectiva por exposición interna a radiaciones ionizantes

El pasado 3 de abril el Pleno del CSN aprobó la Resolución por la que se establecen los coeficientes de dosis efectiva por exposición interna. Esta resolución responde a lo establecido en el 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. ■

Más información: <https://www.csn.es/en/-/el-csn-publica-los-coeficientes-de-dosis-efectiva-por-exposicion-a-radiaciones-ionizantes>



ÚLTIMAS PUBLICACIONES



Programas de vigilancia radiológica ambiental Resultados 2002

Colección Informes Técnicos 12 -
2004 - Referencia INT-04.08

Autores: Ana González Calvo
Inmaculada Marugán Tovar
Carmen Rey del Castillo
Lucila M.ª Ramos Salvador
Rosario Salas Collantes
Agustina Sterling Carmona

Edita: Consejo de Seguridad Nuclear

180 páginas.



Trabaja con nosotros

Folleto explicativo de la nueva convocatoria de plazas del CSN para el cuerpo de Seguridad Nuclear y Protección Radiológica.

Más información en: www.csn.es



Catálogo de publicaciones

CSN

CSN CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

CONSULTA EL CATÁLOGO DE PUBLICACIONES DEL CSN.

Disponible en:

CSN **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: 913460558 / peticiones@csn.es

También puede suscribirse a la edición digital de la revista ALFA a través de este formulario online [<http://run.gob.es/xdjxkd>]

La información facilitada 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.

ON THE COVER

6 > Canfranc Underground Laboratory

This laboratory plays a main role in the search for extremely unusual nuclear and subnuclear phenomena such as neutrino oscillation.

REPORTS

12 > The atlas of the brain

This atlas aims to find out the cell composition of the different brain areas, discover what their functions are and understand why they react in the way they do.

18 > White-collar cybercrime

Jorge Ordás, Chief Operating Officer of the INCIBE, explains the importance of cybersecurity in energy sector due to the increasing connectivity of infrastructures and the dependence it creates in other essential services.

INTERVIEW

24 > Pilar Paneque, director of ANECA

“We have lived in a situation of emergency and permanent state of tension, but we have endured it”.

TECHNICAL ARTICLES

30 > Analysis of the doses received by the population due to the transport of radioactive material in Spain

Regulations for the safe transport of radioactive material by IAEA

38 > Cosmic radiation exposure of aircraft crews

The energy of the cosmic rays is modulated by the earth's magnetic field, which changes throughout each 11-year solar cycle.

REPORT

46 > The Earth is a star

Light pollution: an increasing global problem.

RADIOGRAPHY

52 > Changes in IS-10

Development of the Safety Instruction IS-10 to define the objective criteria for reporting events by the nuclear power plants of Spain.

CSN I+D

54 > Intercomparison of radon campaign

An initiative funded by CSN at the Laboratory of Natural Radiation (LRN) in Saelices el Chico (Salamanca).

ENTITIES

56 > International Atomic Energy Agency

Promoting the pacific use of nuclear energy.

NAMES IN SCIENCE

60 > Marietta Blau and nuclear emulsions

Her contributions made it possible to better understand nuclear reactions and to identify traces of protons and alpha particles in adapted photographic emulsions.



TRABAJA CON NOSOTROS

**El CSN convoca nuevas plazas
para el cuerpo de Seguridad Nuclear
y Protección Radiológica**



Más información en www.csn.es