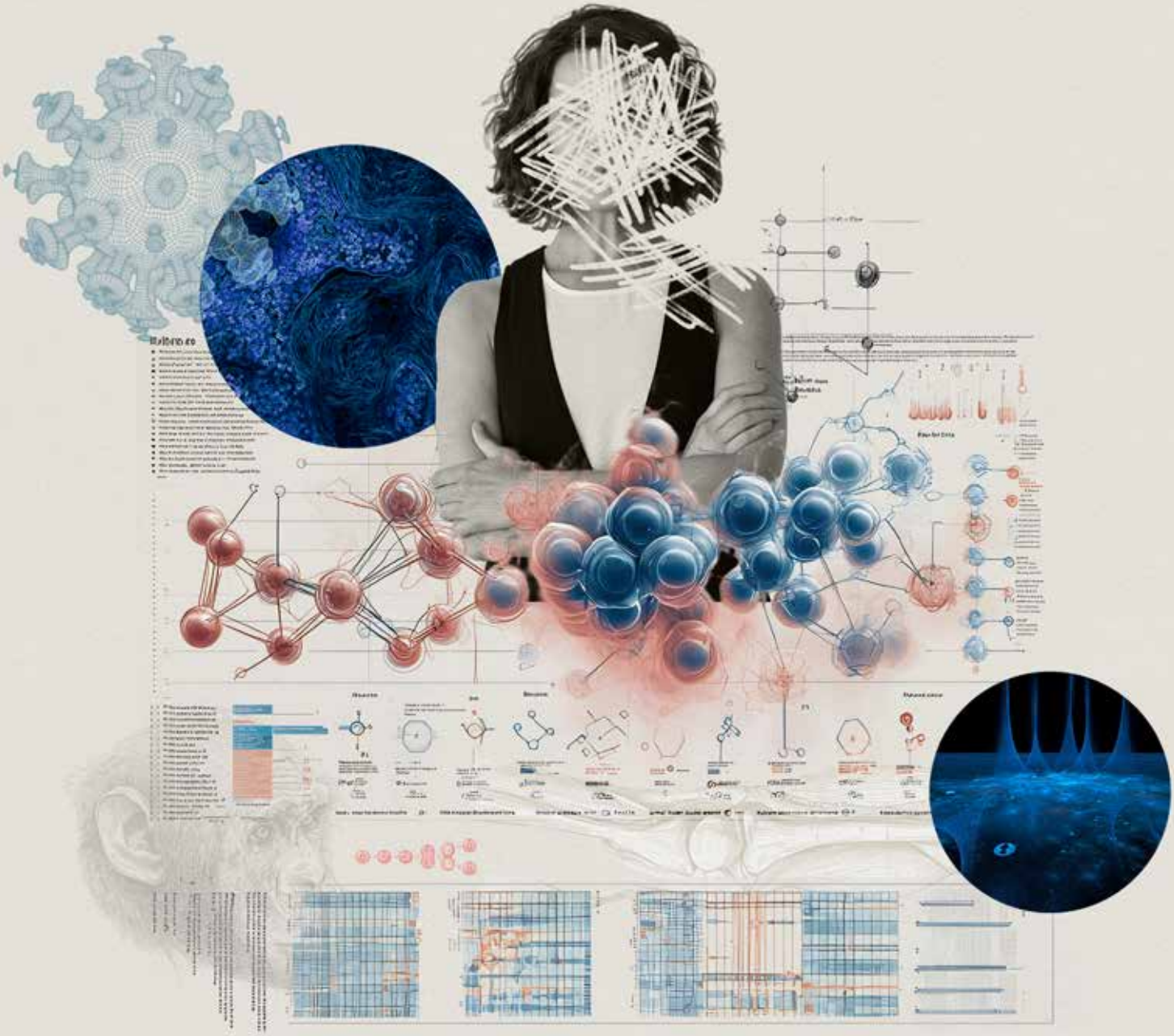
CSN

ALFA

Revista de seguridad nuclear y protección radiológica

Consejo de Seguridad Nuclear

Número 61
Marzo 2025



Ciencia con nombre de mujer

Impacto del *machine learning*: claves, aplicaciones y retos de futuro

IRRS, herramienta para la excelencia en seguridad nuclear y radiológica

Ciencia y lenguaje: ¿Qué son los descubrimientos si no se transmiten?

CSN CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

TRABAJA CON NOSOTROS

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

Más información en www.csn.es

Este número de *Alfa*, que el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) pone de nuevo en sus manos, pretende rendir tributo a la nómina interminable de mujeres científicias que contribuyeron al avance de todos los campos del saber, pese a los numerosos obstáculos que dificultaron su trayectoria. No hay que olvidar que el acceso a estudios superiores ha estado vetado a la inmensa mayoría de las mujeres hasta épocas recientes, en especial los que no están relacionados con los cuidados o que dirigen al ejercicio de una profesión liberal. Por ello, es más relevante, si cabe, el tesón de perfiles femeninos tan brillantes. Invisibilizadas, menospreciadas y, en algunos casos, excluidas del ambiente investigador y científico de la época, han dejado huellas imborrables, sin las que sería posible explicar el mundo, tal como lo conocemos. Desde la suma sacerdotisa Enheduanna, primera escritora de la que se tiene noticia, a Sara García Alonso, bióloga molecular y candidata a astronauta española, el número de ejemplos inspiradores con nombre de mujer no ha dejado de crecer. Sirva este reconocimiento para alentar el talentoso trabajo de cuantas investigadoras se afanan en mejorar la historia.

Elvira Moya de Guerra, una de las primeras mujeres en desempeñar un papel prominente en la física nuclear española, ilustra, con su testimonio en estas páginas, la impecable trayectoria de quien ha abierto el camino «no solo a compañeras, sino también a compañeros», en la difícil tarea de la investigación científica.

En esta era de cambios capitaneada por la transformación digital, el aprendizaje automático está redefiniendo el panorama tecnológico y científico a nivel global. Este número explora sus aplicaciones, desafíos y el impacto que genera en sectores clave como la medicina, la seguridad o la industria de todo tipo. El *machine learning* facilita a las máquinas aprender de los datos y realizar predicciones o tareas sin necesidad de ser programadas explícitamente. Gracias a algoritmos capaces de reconocer patrones en grandes volúmenes de información, se entrenan sistemas para tomar decisiones o realizar tareas de manera autónoma. No obstante, esta potente tecnología plantea interrogantes éticos y desafíos a los reguladores que deben abordarse con responsabilidad. *Alfa* ayuda a comprender qué es, cómo funciona y cuál es su impacto en la vida diaria.

La seguridad nuclear es un proceso en constante evolución. En este sentido, las IRRS (Integrated Regulatory Review Service) se consolidan como una herramienta esencial para evaluar y fortalecer las infraestructuras reguladoras de cada país. Este número profundiza en cómo España ha participado en estas revisiones internacionales para mejorar los estándares de seguridad y cumplir con los requisitos del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), donde el CSN se reafirma como actor principal en todo el mundo.

La parte más técnica se dedica en esta ocasión a analizar las novedades que presenta el Real Decreto 1217/2024, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas, y otras actividades relacionadas con la exposición a las radiaciones ionizantes. Y también a arrojar luz sobre una figura introducida en el seno del CSN desde 2019, definida como «comunidades del conocimiento» y entendida como agrupaciones de personas interesadas en una materia técnica específica que buscan la creación de un espacio para compartir y evolucionar el conocimiento.

¿Y qué sería de los avances científicos sin su difusión? La comunicación es el puente que permite que el conocimiento traspase los muros de los laboratorios y llegue a la sociedad. Este ejemplar aborda también el papel esencial del lenguaje en la divulgación de descubrimientos científicos y la necesidad de desarrollar estrategias efectivas para conectar la ciencia con el público. Porque solo a través de la información accesible y bien estructurada podremos construir una ciudadanía informada y consciente de los desafíos que enfrenta el mundo actual. ■

alfa

Revista de seguridad nuclear y protección radiológica
Editada por el CSN

Número 61
Marzo 2025

MIXTO
Papel procedente de fuentes responsables
FSC® C125445

Comité Editorial
Juan Carlos Lentijo Lentijo
Pilar Lucio Carrasco
Francisco Castejón Magaña
Elvira Romera Gutiérrez
Teresa Vázquez Mateos
Javier Zarzuela Jiménez
Ignacio Martín Granados
J. Pedro Marfil Medina
Manuel Luis 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, CNA, Envato, Freepick, istockphoto

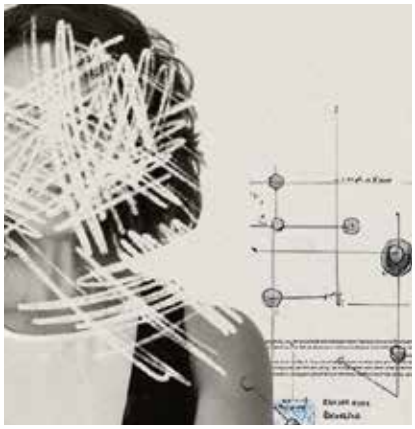
Impresión
Editorial MIC
Pol. Ind. Trobajo del Camino
24010 León

Ilustración de portada
Carmina Canseco

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 **Ciencia con nombre de mujer**

Homenaje a las mujeres invisibilizadas, menospreciadas o excluidas que han logrado cambiar el mundo

REPORTAJES

14 **Impacto del *machine learning*: claves, aplicaciones y retos de futuro**

¿Qué es exactamente el *machine learning*?, ¿cómo funciona?, y ¿qué impacto tiene en la vida diaria?

20 **IRRS, herramienta para la excelencia en seguridad nuclear y radiológica**

ENTREVISTA

26 **Elvira Moya de Guerra Valgañón**

"Solo las personas que no conocían mi trabajo tendían a no identificarme como científica y, a veces, a minusvalorarme"

ARTÍCULOS TÉCNICOS

30 **Novedades del Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas, y otras actividades relacionadas con la exposición a las radiaciones ionizantes (RINR)**

39 **Análisis de incertidumbre y sensibilidad: una comunidad de conocimiento en el Consejo de Seguridad Nuclear**

CIENCIA Y LENGUAJE

46 **¿Qué son los descubrimientos si no se transmiten?**

Sin la capacidad humana de comunicarse, la ciencia estaría aislada, reducida a cada cosmos individual

RADIOGRAFÍA

52 **La nueva vigencia de las licencias de operador y supervisor de instalaciones radiactivas distintas de las del ciclo del combustible nuclear a partir del Real Decreto 1217/2024**

CSN I+D

54 **Desarrollo de una metodología para la evaluación del impacto radiológico ambiental**

ENTIDADES

56 **Centro Nacional de Aceleradores**

Investigación de vanguardia con impacto social

CIENCIA CON NOMBRE PROPIO

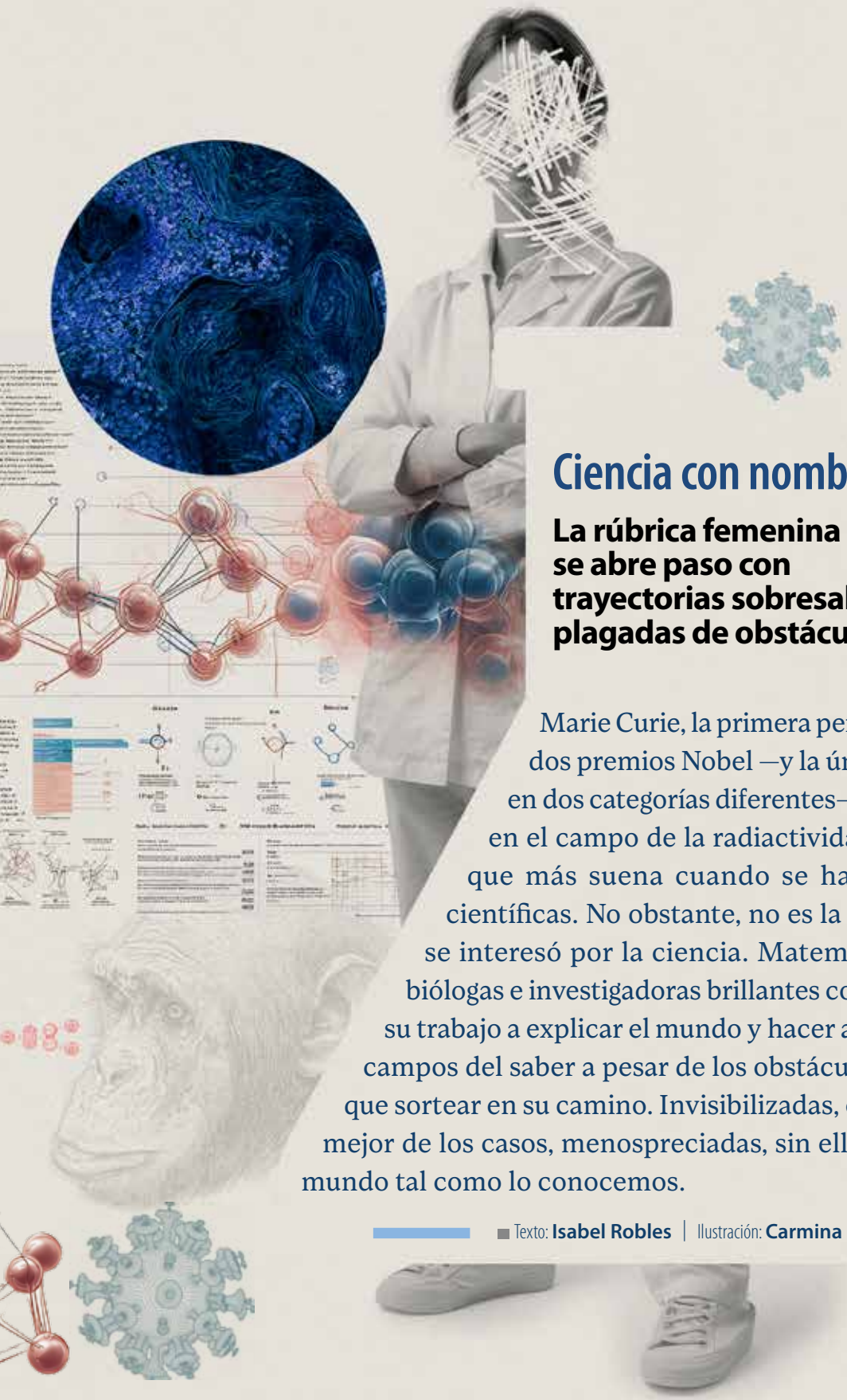
60 **María Goeppert-Mayer y sus números mágicos: un desafío de género**

Piedra angular de la física moderna y artífice del modelo de capas nucleares

65 **Reacción en cadena**

68 **Panorama**

70 **Últimas publicaciones**

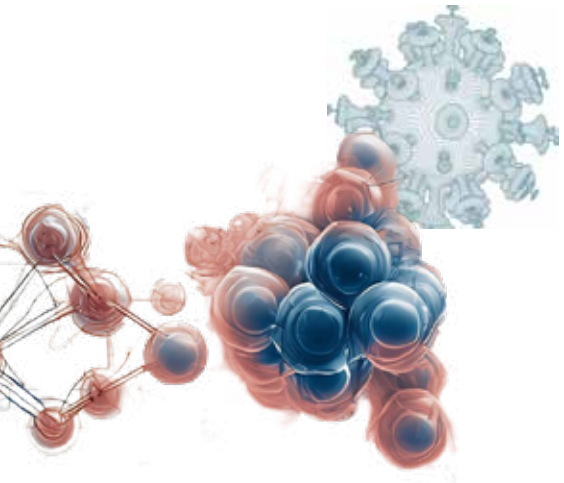


Ciencia con nombre de mujer

La rúbrica femenina se abre paso con trayectorias sobresalientes plagadas de obstáculos

Marie Curie, la primera persona que obtuvo dos premios Nobel —y la única galardonada en dos categorías diferentes— por sus trabajos en el campo de la radiactividad, es el nombre que más suena cuando se habla de mujeres científicas. No obstante, no es la única mujer que se interesó por la ciencia. Matemáticas, médicas, biólogas e investigadoras brillantes contribuyeron con su trabajo a explicar el mundo y hacer avanzar todos los campos del saber a pesar de los obstáculos que tuvieron que sortear en su camino. Invisibilizadas, excluidas y, en el mejor de los casos, menospreciadas, sin ellas no existiría el mundo tal como lo conocemos.

Texto: **Isabel Robles** | Ilustración: **Carmina Canseco**



El acceso a estudios superiores, en especial a los no relacionados con los cuidados o que conducían al ejerciciode una profesión liberal, ha estado vetado a la inmensa mayoría de las mujeres hasta épocas recientes

Cuando hace más de cuatro mil años la sacerdotisa Enheduanna observaba las estrellas que brillaban en el cielo nocturno de Mesopotamia, no podía imaginar que su nombre sería el primero de una lista que, desde entonces, no ha dejado de crecer.

La suma sacerdotisa de Ur e hija de Sargón de Acadia dejó su nombre en más de treinta tablillas de escritura cuneiforme repletas de poesías que han llegado hasta nuestros días. Sin embargo, también destacaba por sus habilidades administrativas y astronómicas. Fue la encargada de crear el calendario basándose en los ciclos de la luna, con todos los astrónomos de la corte a su cargo, por lo que ha sido reconocida como la primera científica y escritora de la historia. Siglos más tarde, la escuela de los pitagóricos, que aceptaba mujeres como alumnas, dejó otro nombre para la posteridad: Teano de Crotona, discípula de Pitágoras y maestra de su escuela que escribió tratados sobre matemáticas, física y medicina. Estudió, entre otras materias, la proporción áurea, los poliedros regulares y la cosmología.

No fue la única. Aglaonike de Tesalia –denostada en escritos de autores clásicos, como Virgilio, que no concebían que las mujeres pudieran tener conocimientos matemáticos– era capaz de predecir eclipses, e Hipatia de Alejandría, la más famosa de las científicas de la Antigüedad, estudió álgebra y creó instrumentos científicos, como un astrolabio plano o un higrómetro.

Trotula de Salerno

En busca del conocimiento

La caída de Roma en el siglo V y los cambios en la sociedad de Europa Occidental provocaron que, en el mundo cristiano, el saber se desarrollara fundamentalmente en centros religiosos, como los monasterios. En 1098, diez años después de la creación de la Universidad de Bolonia –uno de los centros de estudios superiores más antiguos del mundo, aunque superado por la Universidad de Al Qarawiyyin fundada por Fatima Al-Fihri en Fez–, nacía Hildegard von Bingen. Monja desde muy joven, su trabajo científico se centró en describir las propiedades curativas de las plantas y su efecto en el ser humano, reflejado en sus obras, *Physica* y *Causae et Curae*.

A partir de la Edad Moderna, emergen nombres como el de María Gaetana Agnesi, Caroline Herschel o Marie Lavoisier

Es precisamente en el siglo XI, cuando el conocimiento sale del ámbito la Iglesia y se funda en Salerno la primera escuela médica laica, que admitía mujeres. En ella se formó Trotula, cuyo tratado de medicina, *Passionibus Mulierum Curandorum,* se estudió en las universidades hasta el siglo XVI. Considerado «demasiado avanzado» para haber sido escrito por una mujer, fue atribuido a su marido.

A partir de la Edad Moderna, emergen nombres como el de María Gaetana Agnesi, que ocupó la cátedra de Matemáticas en la Universidad de Bolonia en pleno siglo XVIII; Caroline Herschel, la primera científica mujer que descubrió un comenta, o Marie Lavoisier, que junto con su marido sentó las bases de la química moderna en la Francia revolucionaria. No obstante, fue en el siglo XIX

Marie-Anne Pierrette Paulze-Lavoisier, madre de la química moderna

CIENTÍFICAS CON NOBEL

Marie Curie

1903

Nobel de Química
Nobel de Física
Por su investigación sobre la radiación

1911

1935

Irène Joliot-Curie

Nobel de Química
Por la síntesis de nuevos elementos radiactivos

Gerty T. Cori

Nobel de Fisiología y Medicina
Por descubrir el proceso de la conversión catalítica del glucógeno

1947

Marie Curie, en su laboratorio en 1912

Stephanie Kwolek, inventora del poliparafenileno tereftalamida, conocido como Kevlar

cuando las contribuciones femeninas a la ciencia comenzaron a ganar reconocimiento. Figuras como la matemática Mary Somerville y su discípula Ada Lovelace, Sophie Germain o Sofía Kovalévskaya empezaron a brillar en diferentes ámbitos científicos y anticiparon un mundo en el que el conocimiento con nombre de mujer ocupara posiciones más igualitarias.

Del siglo XX a la actualidad

El descubrimiento del polonio y el radio, el planteamiento del teorema de Noether, la creación de lenguajes de programación basados en comandos de palabras y el desarrollo de la amplificación de pulso gorjeado tienen sello de mujer. Marie

> *Las mujeres tituladas se encontraban con la resistencia de gran parte de la sociedad, lo que provocaba que se tuvieran que embarcar en largos procesos legales para cambiar las leyes vigentes*

1963

Maria Goeppert-Mayer

Nobel de Física

Por su modelo de capas nuclear

1964

Dorothy Hodgkin

Nobel de Química

Por estudiar la estructura de sustancias bioquímicas mediante la cristalografía de rayos X

1977

Rosalyn Yalow

Nobel de Fisiología y Medicina

Por el desarrollo de radioinmunoanálisis de la hormona peptídica

1983

Barbara McClintock

Nobel de Fisiología y Medicina

Por descubrir la transposición genética

El número de españolas que ponen a disposición de la ciencia su tiempo y su conocimiento no ha dejado de crecer. Entre ellas, químicas, físicas, matemáticas o bioquímicas, como Dorotea Barnés, Josefa Molera o Marta Bruix

Curie, Emmy Noether, Grace Hopper y Donna Strickland son algunas celebridades que han pasado a la historia de la humanidad por sus aportes al progreso. Aunque no lo tuvieron fácil.

El acceso a estudios superiores ha estado vetado a la inmensa mayoría de las mujeres hasta épocas recientes (el siglo XIX les abrió con timidez las puertas de las universidades estadounidenses para estudios en medicina, pero las restricciones continuaron a lo largo del XX), en especial, a los considerados más arduos, aquellos no relacionados con los cuidados o que conducían al ejercicio de una profesión liberal. Las mujeres tituladas se encontraban con la resistencia y la oposición de gran parte de la sociedad, lo que provocaba que se tuvieran que embarcar en largos procesos legales para cambiar las leyes vigentes, algo que, en ocasiones, no se hizo hasta después de la Segunda Guerra Mundial. Aparecieron químicas, físicas, biólogas, botánicas, matemáticas y microbiólogas, entre otras, con aportes tan destacados como el descubrimiento de nuevos elementos –polonio y radio por Marie y Pierre Curie, renio por Ida y Walter Noddack, y francio por Marguerite Perey–, la radiactividad artificial –Irène Joliot-Curie–, las propiedades terapéuticas de las sulfonamidas –Thérèse Tréfouël– o el procedimiento mediante el cual el glucógeno se convierte en ácido láctico –Gerty Cori–.

También destacan el desarrollo de la cristalografía de proteínas –Dorothy Hodgkin– y el del modelo de capas nucleares –Maria Goeppert-Mayer–. En el ámbito de la física, la descripción de la primera fisión nuclear la hizo Lise Meitner; el radioinmunoensayo de péptidos pequeños para medir hormonas como la insulina en la sangre lo desarrolló Rosalyn Yalow, y la preparación de la primera muestra pura de uranio-235 en un laboratorio fue obra de Elda Emma Anderson. Tampoco faltan ejemplos de mujeres sobresalientes que registraron las patentes de los resultados de su trabajo: es el caso de Stephanie Kwolek, que inventó el poliparafenileno tereftalamida; Edith Clarke, que creó un calculador gráfico para solucionar los problemas de líneas de transmisión de energía, o Hedy Lamarr, quien, además de ser una extraordinaria actriz, inventó un sistema de comunicación secreta que utilizaba cambios de frecuencia de ondas de radio y fue el precursor de la tecnología Bluetooth actual.

Científicas españolas

Casandro Mamés de la Marca y Araioa es el anagrama con el que la zaragozana María Andresa Casamayor de La Coma firmó su *Tyrocinio Arithmetico* en 1738, destinado a enseñar las cuatro operaciones matemáticas básicas. Tras su publicación, el número de españolas que ponen a disposición de la ciencia su tiempo y su conocimiento no ha dejado de crecer. Entre ellas, aparecen químicas, físicas, matemáticas o bioquímicas, como Dorotea Barnés, experta en la aplicación de la espectroscopia para estudiar moléculas biológicas; Josefa Molera, que construyó el primer cromatógrafo de gases de España, y Marta Bruix, que estudió las interacciones inter-

1986
Rita Levi-Montalcini

Nobel de Fisiología y Medicina
Por haber descubierto el factor de crecimiento nervioso

1988
Gertrude Elion

Nobel de Fisiología y Medicina
Por sus descubrimientos en el tratamiento de diversas enfermedades

1995
Christiane Nüsslein-Volhard

Nobel de Fisiología y Medicina
Por sus investigaciones sobre el control genético del desarrollo temprano del embrión

2004
Linda B. Buck

Nobel de Fisiología y Medicina
Por sus trabajos sobre los receptores olfativos

Margarita Salas en el laboratorio / Foto: Gorka Lejarcegi

moleculares por resonancia magnética nuclear.

Entre tan destacada nómina, emerge con fuerza Margarita Salas. Bioquímica, miembro de la Real Academia de Ciencias Exactas y primera mujer española que formó parte de la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos, sus aportaciones más importantes a la ciencia son la determinación de la direccionalidad durante el proceso de replicación del ADN y, sobre todo, el descubrimiento de la ADN polimerasa del fago ϕ29, que en la actualidad constituye una de las formas más útiles para amplificar ADN de forma rápida y sencilla. Entre sus discípulas se encuentra Marisol Soengas, investigadora especializada en los melanomas, galardonada con múltiples premios.

Entre tan destacada nómina, emerge con fuerza Margarita Salas, primera mujer española que formó parte de la Academia Nacional de Ciencias de EE. UU.

2008

Françoise Barré-Sinoussi

Nobel de Fisiología y Medicina

Por el descubrimiento del VIH

2009

Elizabeth Blackburn y Carol Greider

Nobel de Fisiología y Medicina

Por descubrir la telomerasa

Ada Yonath

Nobel de Química

Por sus investigaciones sobre la estructura de los ribosomas

2009

May-Britt Moser

Nobel de Fisiología y Medicina

Por descubrir las células que permiten determinar la posición de un organismo en el espacio

2014

Las científicas españolas están presentes de manera activa en proyectos e investigaciones internacionales

Las científicas españolas también han estado presentes de manera activa en proyectos e investigaciones internacionales, como el que dio lugar al descubrimiento del bosón de Higgs en el CERN, en el que participaron Teresa Rodrigo y Alicia Calderón, o la clasificación de superálgebras de Jordan simples finito dimensionales en característica prima, llevada a cabo por Consuelo Martínez López en colaboración con Efim Zelmanov. En los últimos años, la calibración del instrumento MIRI en telescopio infrarrojo James Webb, realizada por Macarena García Marín, o el diseño de una nueva generación de metalofármacos con actividad antitumoral y antibacteriana, realizado por Sandra García Gallego, son proyectos que también llevan rúbrica española.

A pesar de estos ejemplos inspiradores, sigue existiendo menor presencia femenina en el ámbito STEM

Sara García, bióloga molecular y candidata a astronauta española / Foto: Emeterio Suárez

2015

Tu Youyou

Nobel de Fisiología y Medicina

Por su descubrimiento de la artemisinina como cura de la malaria

2018

Frances H. Arnold

Nobel de Química

Por sus métodos de evolución dirigida para crear sistemas biológicos útiles

Donna Strickland

Nobel de Física

Por su método para generar pulsos ópticos muy cortos de alta intensidad

2018

Andrea M. Ghez

Nobel de Física

Por descubrir un objeto compacto supermasivo en el centro de la galaxia

2020

Premios para las físicas

Anne-LHuillier, precursora de la 'ciencia de los attosegundos'

En la actualidad, la física es un campo en constante desarrollo, al que las científicas se han sumado a pesar de encontrar obstáculos en su trayectoria. Su papel ha sido reconocido con premios diversos. Entre los más reconocidos, destacan el Nobel, como el recibido por Anne l'Huillier por su método para estudiar los neutrones, o el L'Oréal-UNESCO, que en 2023 condecoró a las físicas Lidia Morawska por sus investigaciones sobre partículas atmosféricas y Anamaría Font por sus contribuciones a la teoría de cuerdas. En el ámbito español, el Premio Nacional de Investigación Leonardo Torres Quevedo, otorgado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, fue concedido en 2019 a Susana Marcos Celestino por sus contribuciones a la ingeniería óptica y fotónica.

(Science, Technology, Engineering y Mathematics) en España. Ya durante el bachillerato, el porcentaje de mujeres que optan por la rama científico-técnica es menor que el de sus compañeros varones y, una vez superada la prueba de acceso a la universidad, las mujeres que eligen grados STEM no alcanza el 50 % de las personas matriculadas en casi ningún caso. Esta presencia es particularmente baja en grados como Matemáticas (36 %), Física (27 %), Telecomunicaciones (23 %) e Informática (13 %). Transferido al ámbito laboral, solo el 5,5 % de las mujeres ocupadas trabajan en el ámbito STEM, frente al 13 % de los hombres.

Este panorama precisa fomentar la participación de las niñas y adolescentes en actividades STEM, donde se den a conocer referentes femeninos actuales y sus trabajos, en especial, el de las jóvenes investigadoras. Nombres como el de Sara García, bióloga molecular especializada en fármacos contra algunos tipos de cáncer y primera española seleccionada por la Agencia Espacial Europea para sumarse a su programa espacial; Nerea Luis, experta en inteligencia artificial y divulgadora científica, o Cintia Folgueira, ganadora de varios premios por su investigación sobre la obesidad y la diabetes tipo 2, representan un futuro esperanzador para la ciencia española.

2020

Jennifer A. Doudna y Emmanuelle Charpentier

Nobel de Química

Por sus trabajos en la edición genética

2023

Katalin Karikó

Nobel de Fisiología y Medicina

Por sus avances en el campo del ARN mensajero

Carolyn Bertozzi

Nobel de Química

Por sus trabajos en la edición genética

2022

Anne l'Huillier

Nobel de Física

Por su método para generar pulsos de luz de attosegundos para el estudio de las dinámicas de neutrones en la materia

2023

En la era de la transformación digital, el aprendizaje automático ha emergido como una tecnología clave para redefinir procesos, potenciar innovaciones y abrir nuevas fronteras en la inteligencia artificial. Pero ¿qué es exactamente?, ¿cómo funciona?, y ¿qué impacto tiene en la vida diaria?

Impacto del *machine learning*: claves, aplicaciones y retos de futuro

Texto: **Ana Seoane** | **Gerard Olivares**

Presente en aplicaciones que posibilitan desde el reconocimiento facial en los aeropuertos hasta la mejor comprensión del plegamiento de las proteínas, el *machine learning* es una rama de la inteligencia artificial que facilita a las máquinas aprender de los datos y realizar predicciones o tareas sin necesidad de ser programadas explícitamente. Gracias a algoritmos capaces de reconocer patrones en grandes volúmenes de información, se pretende entrenar un sistema para que, a través del análisis continuo de datos, logre tomar decisiones o realizar tareas de manera autónoma.

Como resultado, las máquinas pueden identificar tendencias, realizar predicciones y ejecutar acciones cada vez más precisas, optimizando procesos en diversos ámbitos. Desde su conceptualización en los años cincuenta, el *machine learning* ha evolucionado rápidamente gracias al aumento en la capacidad de procesamiento y el crecimiento exponencial de los datos disponibles.

El poder de los datos

El proceso de *machine learning* comienza con la recopilación de datos. Estructurados o no, se utilizan para entrenar un modelo algorítmico que, a través de pruebas y ajustes, aprende a interpretar patrones y a hacer predicciones. Existen varios tipos de aprendizaje, que se adecúan a diferentes contextos:

- *Aprendizaje supervisado:* está basado en datos etiquetados, gracias a los que el algoritmo

aprende a predecir resultados a partir de ejemplos previos. Un caso clásico es el filtrado de correos *spam*: el modelo ordena los *emails* entrantes según una serie de decisiones o características aprendidas. Este sistema es ideal para clasificar imágenes o predecir ventas futuras.

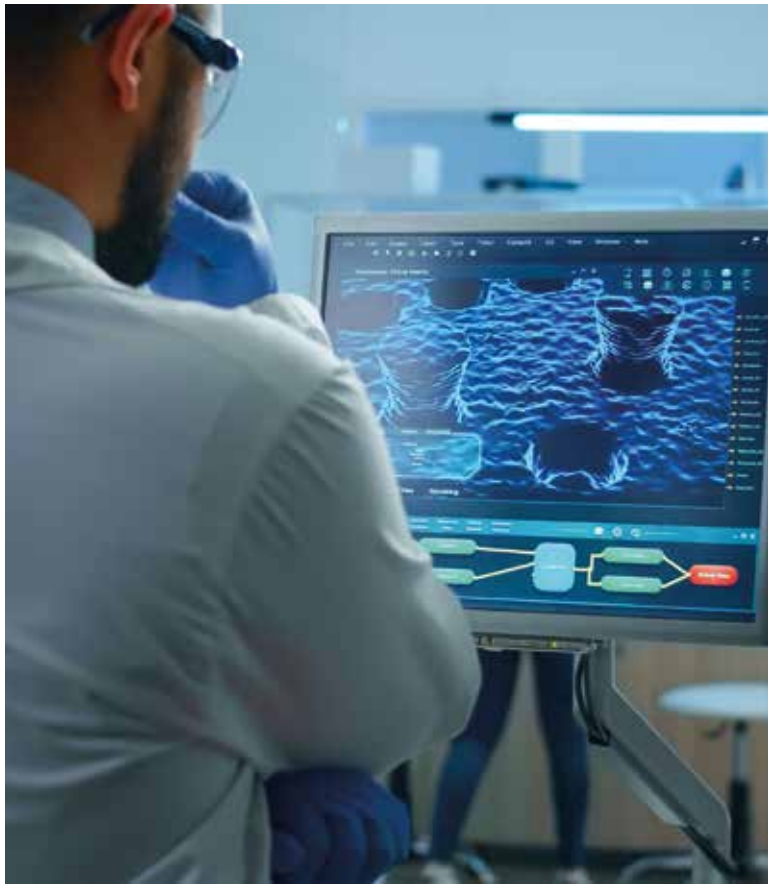
- *Aprendizaje no supervisado:* se centra en datos no etiquetados, identificando patrones o agrupaciones. Es utilizado, por ejemplo, para segmentar clientes en campañas de *marketing* o detectar anomalías en transacciones financieras.
- *Aprendizaje semisupervisado*: combina datos etiquetados y no etiquetados, optimizando el uso de recursos cuando etiquetar grandes volúmenes de datos es costoso o complejo. Muy valioso en aplicaciones como el análisis médico, donde solo una parte de los datos puede ser clasificada manualmente.
- *Aprendizaje por refuerzo:* el algoritmo aprende mediante prueba y error, recibiendo recompensas por acciones correctas y penalizaciones por errores. Este método se aplica en robótica, desarrollo de videojuegos y control de sistemas autónomos como drones.

En España, cada vez son más numerosos los proyectos que se benefician del potencial que promete el *machine learning* en sectores clave como la medicina, la ciencia y la empresa. En el ámbito de la salud, destacan iniciativas como la liderada por el Instituto de Investigación Sanitaria de las Islas Baleares: un proyecto pionero para analizar las causas genéticas del ictus en niños basado en aprendizaje automático y que permite predecir el daño neuronal y desarrollar terapias personalizadas. Según la doctora Iciar Martí-

Aplicaciones prácticas

El *machine learning* forma parte de la vida diaria, aunque muchas veces pase desapercibido. Entre los usos más destacados se incluyen:

- **Motores de recomendación:** plataformas como Spotify, Netflix y YouTube utilizan algoritmos para sugerir contenido basado en preferencias del usuario. No solo mejoran la experiencia del cliente, sino que también maximizan la fidelización y el tiempo de uso.
- **Asistentes virtuales:** Alexa, Siri y Google Assistant emplean procesamiento de lenguaje natural para interpretar comandos, traducir idiomas y analizar sentimientos. Estos asistentes responden preguntas y automatizan tareas del hogar y del trabajo.
- **Ciberseguridad**: sistemas de detección de *malware* y antivirus utilizan *machine learning* para identificar amenazas y anomalías en tiempo real, lo que reduce significativamente los riesgos de ataques cibernéticos.
- **Medicina**: el *machine learning* ayuda a detectar enfermedades de manera precoz, aumentando las posibilidades de tratamiento. Además, se utiliza para analizar imágenes médicas y predecir resultados clínicos.
- **Vehículos autónomos:** los coches inteligentes usan aprendizaje automático para analizar su entorno y tomar decisiones en tiempo real, desde la detección de peatones hasta el ajuste de la velocidad según las condiciones del tráfico.
- **Análisis predictivo:** muy utilizado por las empresas, sirve para prever tendencias del mercado, optimizar la producción, reducir riesgos o anticipar necesidades futuras de los consumidores.



nez, coordinadora de la Unidad de Genética, el estudio se centrará en menores de muy corta edad, incluso fetos, «para analizar la secuencia genética y predecir el daño neuronal, con técnicas de aprendizaje automático que ayuden a crear pequeños órganos cerebrales a partir de células de pacientes para tratar de encontrar posibles terapias».

También el proyecto IMPaCT (Infraestructura de Medicina de Precisión asociada a la Ciencia y la Tecnología), coordinado por el Instituto de Salud Carlos III, busca consolidar la medicina personalizada en España y se centra en medicina predictiva, ciencia de datos y medicina genómica, utilizando *machine learning* para analizar grandes volúmenes de datos clínicos y genéticos. El director del programa, Ángel Carracedo, incide en que «el trabajo a corto plazo pretende «ampliar la secuenciación de pacientes, el alcance de los procesos diagnósticos, la mejora de análisis funcionales y el impulso a la integración de datos genómicos en la práctica clínica».

De forma más específica, la *startup* Sycai Medical trabaja en el desarrollo de un dispositivo médico para detectar de manera temprana el cáncer y las lesiones premalignas en el abdomen a partir de imágenes médicas, sin necesidad de procedimientos invasivos. «Mientras que la mayoría de las aplicaciones de imagen médica se desarrollan para que confirmen un diagnóstico específico, Sycai Medical es la única plataforma que explora las lesiones y patologías, incluso cuando nadie las busca», explica Sara Toledano, CEO y cofundadora de Sycai Medical.

Asimismo, ubicado en el campus de Cantoblanco de la Universidad Autónoma de Madrid, el Centro Nacional de Neurotecnología, diseñado por el científico Rafael Yuste, trabaja en la integración de neurociencias, inteligencia artificial y ética. Entre otros objetivos, aspira a desarrollar herramientas tecnológicas basadas en el cerebro humano para abordar enfermedades como el párkinson y el autismo.

Otra de las iniciativas en este campo es la liderada por la química Noelia Ferruz: el proyecto Athena. Financiado por el Consejo Europeo de Investigación, desarrolla inteligencia artificial pública y explicativa para el diseño de nuevas moléculas, como enzimas que faciliten la creación de fármacos o neutralicen sustancias tóxicas.

SYCAI MEDICAL

SARA TOLEDANO
CEO Y COFUNDADORA DE SYCAI MEDICAL

«Mientras que la mayoría de las aplicaciones de imagen médica se desarrollan para que confirmen un diagnóstico específico, el uso de machine learning *permite explorar lesiones y patologías, incluso cuando nadie las busca»*

A nivel empresarial, España albergará una de las siete primeras fábricas de IA que la Comisión Europea establecerá en la Unión Europea. Ubicada en Barcelona, su objetivo es impulsar la innovación creando un ecosistema europeo para entrenar modelos avanzados y desarrollar soluciones mediante superordenadores de alto rendimiento. También Angels, sociedad de inversión liderada por Juan Roig, planea duplicar su cartera de *startups* en los próximos tres años y poner el foco en proyectos que integren tecnología transformadora e inteligencia artificial. Entre otras, ha invertido en empresas como FitnessKPI e Inversiva, que aplican *machine learning* en sus modelos de negocio. Los ejemplos citados son solo algunos de una lista de iniciativas esperanzadoras que no dejan de crecer.

La efectividad de los algoritmos depende de la calidad y diversidad de los datos utilizados: si están sesgados pueden conducir a resultados incorrectos o discriminatorios, y afectar a la toma de decisiones

Avanzando hacia el futuro

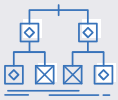
El aprendizaje automático ofrece una amplia gama de posibilidades, tanto para individuos como para organizaciones. Entre ellas se destacan la optimización de procesos automatizando tareas repetitivas, lo que mejora la eficiencia, reduce errores y permite a los recursos humanos concentrarse en actividades más estratégicas; la toma de decisiones más informada gracias al análisis de grandes volúmenes de datos para identificar oportunidades, anticipar riesgos y adaptar estrategias; la atención personalizada, que mejora la experiencia del cliente a través de recomendaciones y servicios adaptados a sus preferencias; la innovación tecnológica, que impulsa la creación de nuevas soluciones y modelos de negocio para fomentar la competitividad y el crecimiento, y la mejora en seguridad al identificar amenazas y vulnerabilidades con mayor rapidez, minimizando riesgos potenciales en áreas como finanzas y protección de datos.

Desafíos y ética del *machine learning*

A pesar de sus beneficios, el *machine learning* se enfrenta a retos técnicos y éticos significativos. La efectividad de los algoritmos depende de la calidad y diversidad de los datos utilizados: si están sesgados pueden conducir a resultados incorrectos o discriminatorios, lo que afecta a la toma de decisiones.

GLOSARIO

Términos imprescindibles para entender el *machine learning*



ÁRBOL DE DECISIÓN: modelo para tomar decisiones o hacer predicciones siguiendo un camino basado en preguntas o condiciones. Tienen un nodo raíz, que constituye el punto de partida y donde tiene lugar la primera división o decisión basada en una de las características de los datos; ramas, que conectan un nodo con otro, y hojas, que son los nodos finales una vez que los datos han pasado por todas las decisiones del árbol. También se pueden «podar» para eliminar los nodos o ramas que no aportan mucho valor al modelo y evitar el sobreajuste.

BIG DATA: conjuntos de datos tan grandes y complejos que no pueden gestionarse ni analizarse con herramientas tradicionales de procesamiento de datos debido a su volumen, velocidad y variedad. Cuando los datos se almacenan en grandes cantidades sin procesar y sin determinar su finalidad se crea un lago de datos (data lake), mientras que si están estructurados y han sido procesados con un objetivo definido se forma un almacén de datos (data warehouse).

CLASIFICACIÓN: técnica de machine learning supervisado, utilizada para predecir a qué categoría o clase pertenece una nueva observación basándose en un conjunto de datos de entrenamiento.

***CLUSTERING*:** técnica de aprendizaje no supervisado cuyo objetivo es agrupar datos en conjuntos, según su similitud, sin necesidad de que tengan etiquetas o categorías conocidas, ya que se basa en sus características.

DEEP LEARNING: subcampo del *machine learning* que utiliza redes neuronales profundas compuestas por múltiples capas para procesar y analizar grandes volúmenes de datos, en especial no estructurados. Para entrenar las redes se utiliza la *backpropagation*, que permite ajustar los pesos de los nodos para minimizar los errores en el proceso de aprendizaje. Este algoritmo analiza los errores desde la capa de salida hacia las capas anteriores, determinando la responsabilidad de cada nodo en los errores y permitiendo aplicar las correcciones necesarias.

FUNCIÓN DE ACTIVACIÓN: componente clave de las redes neuronales que define la forma en que una neurona se activa cuando se produce una entrada. Su principal objetivo es introducir no linealidad en el modelo, permitiendo que la red neuronal aprenda relaciones complejas en los datos.

FUNCIÓN DE PÉRDIDA: métrica matemática que mide el error entre las predicciones de un modelo y los valores reales. Su objetivo es cuantificar cómo está funcionando el modelo en una tarea específica. Cuanto más pequeña sea la función de pérdida, mejor funciona el modelo.

***OVERFITTING* Y *UNDERFITTING*:** sobreajuste que se produce cuando un modelo se ajusta demasiado a sus datos de entrenamiento, de modo que no puede hacer predicciones precisas con otros datos; el subajuste se da cuando el modelo no es capaz de entender de forma precisa la relación entre las variables de entrada y salida, lo que da lugar a un alto índice de errores.

REDES NEURONALES: modelos inspirados en el funcionamiento del cerebro humano y formados por nodos interconectados (llamados neuronas). Cada neurona recibe señales (datos de entrada), las procesa y las transmite a otras neuronas. Las señales viajan desde la capa de entrada, pasan por una o más capas ocultas y terminan en la capa de salida, que genera el resultado final del modelo.

REGRESIÓN: método supervisado utilizado para predecir valores continuos en función de una o más variables de entrada (características). ■

> *El aprendizaje automático ofrece la optimización de procesos y tareas repetitivas, lo que mejora la eficiencia, reduce errores y permite a los recursos humanos concentrarse en actividades más estratégicas*

El uso masivo de datos plantea también preocupaciones sobre la protección de la información personal y la vigilancia. Legislaciones como el Reglamento General de Protección de Datos buscan acotar estas cuestiones con la implicación proactiva de las empresas. En el ámbito laboral, aunque crea nuevas oportunidades, también genera incertidumbre sobre el futuro de determinados empleos, por lo que la transición hacia funciones adaptadas a la era digital será clave. Por otra parte, cuestiones como determinar quién es responsable de las decisiones tomadas por sistemas autónomos como los vehículos inteligentes sigue siendo un debate abierto.

Sin duda, el *machine learning* está revolucionando la forma de interactuar con la tecnología y resolver problemas, a pesar de que plantea retos éticos y técnicos que deben ser abordados con responsabilidad. A medida que la disciplina siga evolucionando, será crucial fomentar un equilibrio entre innovación y ética garantizando su fiabilidad como herramienta necesaria para el progreso humano. El verdadero potencial de esta tecnología dependerá de cómo se logre integrar en la sociedad de manera justa, segura y eficiente. ■

IRRS, herramienta para la excelencia en seguridad nuclear y radiológica

Texto: **Pura C. Roy** | Fotos: **CSN**

El Consejo de Seguridad Nuclear está implicado en la seguridad de las instalaciones radiactivas propiciando la mejora continua. Por ello, cumple con las obligaciones que emanan de las distintas directivas y se adecúa a los estándares de seguridad del Organismo Internacional de Energía Atómica. Las misiones IRRS son un buen aliado.

Entre las herramientas disponibles para adecuarse con los estándares requeridos están las llamadas misiones IRRS (Integrated Regulatory Review Service), realizadas al sistema regulador español en energía nuclear. Las misiones IRRS están diseñadas para fortalecer la eficacia de las infraestructuras reguladoras nacionales, mediante la aplicación de los estándares de seguridad del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y de las buenas prácticas internacionales, respetando al mismo tiempo la autoridad y competencia de cada país en materia de seguridad nuclear y protección radiológica.

Juan Carlos Lentijo, presidente del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), ha destacado recientemente la importancia de esta evaluación internacional: «Este proceso es una herramienta de gran valor para trabajar en sistemas de seguridad robustos y preparados para el futuro, donde la excelencia siga siendo la máxima prioridad».

La organización y desarrollo de estas misiones de revisión interpares suponen un reto significativo para los Estados miembros que acogen la misión a distintos niveles: por el alcance de la misma, la autoevaluación que debe llevar a cabo el país anfitrión de su infraestructura reguladora, y la coordinación y colaboración entre los diferentes organismos

Central nuclear Cofrentes (València) / Foto: Emilio Sánchez Hernández

nacionales involucrados en la preparación y desarrollo de las mismas.

En el caso de España, los principales organismos involucrados en la preparación y desarrollo de las misiones IRRS son el Consejo de Seguridad Nuclear –como organismo regulador principal–, el Ministerio para la Transición Ecológica, el Ministerio de Asuntos Exteriores y de Cooperación y la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos. Adicionalmente, se propicia la participación de otras entidades, como el Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar Social, dada la existencia de temas que son competencia de varias instituciones.

Las misiones interpares comienzan con una solicitud formal del Gobierno español y la preparación de la documentación oportuna después de una autoevaluación, que incluye un plan de acción que se completa tras la misión. Más tarde se realiza una misión de seguimiento para comprobar las acciones implantadas.

La primera verificación del sistema regulador solicitada por España se hizo efectiva en 2008, y tuvo continuidad en la misión de seguimiento (*follow up*) que se llevó a cabo en el año 2011. «La misión se acoge voluntariamente tras consultar al OIEA el año adecuado para desarrollarla y, en función de su calendario, se definen las fechas y se acepta ponerla en marcha», explica Fernando Fran-

España es el segundo país que se ha sometido a un segundo ciclo de misiones IRRS con alcance completo

co, técnico del CSN y miembro del equipo de Internacional en el Gabinete Técnico de la Presidencia.

España es el segundo país, después de Francia, que se ha sometido a un segundo ciclo de misiones IRRS con alcance completo. En junio de 2016, a instancias del Consejo de Seguridad Nuclear y de la Dirección General de Política Energética y Minas, la Representación Permanente de España ante los Organismos Internacionales con sede en Viena solicitó al OIEA la realización en suelo español de una misión IRRS, de revisión del marco regulador en materia de seguridad nuclear, junto con una misión ARTEMIS, de revisión del marco relativo a la gestión de los residuos radiactivos y del combustible gastado, proporcionando así una evaluación independiente del programa de gestión de residuos radiactivos de España.

El CSN es el principal actor en el entramado de la regulación en seguridad nuclear y radiológica. El nivel de compromiso que se exige es enorme

La misión combinada IRRS y ARTEMIS tuvo lugar en 2018. Un reto, ya que supuso recibir simultáneamente dos de las inspecciones regulares de seguridad nuclear más relevantes en el ámbito internacional: por un aparte, la que permite verificar el marco normativo nuclear nacional y la seguridad de instalaciones, transporte de materiales y otros aspectos conexos con la producción y el uso de la energía nuclear (IRRS); por otro, la que se refiere al tratamiento de los residuos nucleares, los combustibles y demás elementos relacionados con el proceso de generación de energía nuclear, así como el marco normativo correspondiente (ARTEMIS).

Esta misión combinada obligó a identificar con claridad y detalle las interfaces y sinergias entre la parte IRRS y la parte ARTEMIS, estableciendo mecanismos de coordinación entre las instituciones responsables de cada una de las partes, para garantizar la coherencia y establecer un posicionamiento común. Esta fue la primera vez que el OIEA llevó a cabo una misión de este tipo. El proceso conllevó la creación de dieciocho grupos especializados, para reunirse y tratar los diferentes temas que se evaluaban.

En cumplimiento de las directivas europeas Euratom, también se ha dado respuesta al requisito de realizar este tipo de misiones cada diez años, conforme a las recomendaciones dirigidas a los Estados miembros de la Unión Europea.

«El Consejo de Seguridad Nuclear es el principal actor en el entramado de la regulación en seguridad nuclear y radiológica. El nivel de compromiso que se exige es enorme. Se trabaja con mucho tiempo de antelación, ya que hay que preparar una documentación muy detallada para que los revisores puedan concluir su trabajo. Hay que realizar una autoevaluación utilizando una metodolo-

La autoevaluación permite identificar fortalezas, debilidades, oportunidades de mejora y amenazas

gía y una herramienta informática desarrolladas por el OIEA (eSARIS)», explica Fernando Franco.

Para este técnico del CSN, que ha estado en Corea también de revisor, «el hecho de que venga gente de otros países siempre es una experiencia enriquecedora, por los posibles puntos de vista que pueden ofrecer, que siempre se acogen con gran voluntad de mejora. Los equipos españoles participantes siempre han tenido la voluntad de colaborar y aprender, tanto en España como en otros países».

En 2018, el equipo IRRS estuvo integrado por expertos de Alemania, Argentina, Australia, Bélgica, Brasil, Eslovenia, Estados Unidos, Finlandia, Francia, Japón, Pakistán, Reino Unido y Suecia. Además, cuatro expertos internacionales participaron como observadores de la misión combinada: uno por parte de la Comisión Europea, dos representantes de Alemania y uno de Bangladesh. De manera que, en total, se recibió la visita de treinta y seis expertos internacionales que mantuvieron las correspondientes entrevistas y conversaciones con el personal del CSN y los representantes de otras instituciones. El CSN participó con unos sesenta expertos.

«Estas misiones conllevan un gran trabajo de coordinación entre todas las instituciones involucradas, aunque afectan en un porcentaje altísimo –80 o 90 %– al CSN como organismo regulador. El trabajo involucra a toda la casa, las unidades deben responder a los requerimientos que se hagan de ellas. Es un trabajo muy intenso de coordinación. Así que, cuando sale bien, es un éxito colectivo», comenta Manuel Aparicio, miembro del equipo de Internacional en el Gabinete Técnico de la Presidencia de CSN.

Este técnico, que también ha sido revisor en los Países Bajos, explica que «los que optamos a ser revisores hemos tenido que seguir un curso muy especializado en el OIEA, que te acredita como experto revisor». Califica las entrevistas, tanto en un lado como en el otro, de muy absorbentes e intensas, «pero las misiones son un instrumento muy útil, ya que lo que se recomienda ayuda a obtener grandes mejoras. Estas evaluaciones se dan entre iguales, lo que permite un intercambio de experiencias reguladoras y una puesta en común de lecciones aprendidas y buenas prácticas. Además, contribuyen a la armonización de los planteamientos reguladores de los Estados miembros del OIEA».

Autoevaluación

La autoevaluación es una etapa previa necesaria para la realización de una misión IRRS. Permite identificar fortalezas, debilidades, oportunidades de mejora y amenazas, en un esquema análogo al de un análisis DAFO. La documentación preparada por España en 2018, con la antelación requerida por las guías del OIEA, sumó cerca de mil páginas.

«El proceso de autoevaluación requiere una alta dedicación del personal del CSN, tanto por la exhaustividad requerida como por la gran cantidad de expertos necesarios para cubrir diferentes materias», explica Fernando Franco. En una IRRS, participa casi todo el CSN. Obviamente, hay un representante para cada uno de los módulos, que cuenta con un revisor y una contraparte del Estado que acoge la mi-

sión. Todo se basa en entrevistas, pero el personal que participa debe estar preparado para dar respuesta a lo que se pregunta».

De hecho, uno de los mayores desafíos durante el desarrollo de la misión es la programación de las entrevistas diarias durante quince días, con los componentes del equipo revisor. En ocasiones, los mismos expertos del CSN estaban involucrados en más de un módulo. Además, los revisores realizan visitas técnicas para inspeccionar instalaciones nucleares como las centrales.

«Cuando te están revisando, el trabajar con colegas permite un diálogo, una "discusión" de tipo técnico sobre cómo se hacen las cosas en otros países, que suele ser muy enriquecedora para quien asume el rol español de contraparte. Todos aprendemos de todos. Estas misiones nos ponen al día sobre dónde estamos. Si tenemos deficiencias, nos imponen deberes: esto lo lleváis atrasado, esto tenéis que mejorarlo... Todos tendemos a mirarnos el ombligo, así que cuando viene alguien de fuera que no tiene nada que ver con nuestras organizaciones es como abrir las ventanas; es muy refrescante y muy útil», opina Javier Zarzuela, director técnico de Protección Radiológica del CSN, contraparte en la misión de 2018 y *team leader* de tres misiones IRRS (Kenia, 2016; Chile, 2018; y Argentina, 2022).

Garantizar los usos de la tecnología nuclear

España utiliza tecnologías nucleares y de radiación para la producción de energía, aplicaciones médicas, industria e investigación. Existen siete reactores nucleares en cinco centrales. Tres centrales nucleares están en parada permanente y se encuentran en diferentes etapas de desmantelamiento y cierre. La mayoría de los emplazamientos de los reactores cuentan con instalaciones de almacenamiento provisional de combustible gastado, y España tiene una instalación de eliminación de residuos de actividad radiactiva muy baja, baja y media.

«En estos momentos, todo está muy rodado. En la misión de 2018, no habíamos terminado de transponer una directiva europea estándar de Euratom sobre protección radiológica. Ahora, en la revisión, han dictaminado que todo está conforme, no han encontrado ninguna pega. Así que estamos muy satisfechos», comenta Javier Zarzuela.

La misión combinada IRRS-ARTEMIS contempló todas las instalaciones y actividades nucleares reguladas, así como el marco y programa nacional para la gestión de todo tipo de residuos radiactivos y combustible gastado en España. La misión IRRS abordó la regulación de las fuentes radiactivas con un módulo específico.

> *Cuando viene alguien de fuera que no tiene nada que ver con nuestra organización es como abrir las ventanas; es muy refrescante y muy útil*

«Existen instalaciones radiactivas médicas, industriales y de investigación, lógicamente todas ellas están autorizadas por el Ejecutivo, estatal o autonómico. Nosotros, cuando alguien solicita una instalación, debemos evaluarla para saber si cumple los estándares de seguridad radiológica y, con base en nuestro informe, el Ejecutivo las autoriza. Además, cualquier modificación debe ser informada para llevar un control. Los controles de protección radiológica se aplican no solo a centrales nucleares, sino a todo el ciclo del combustible, incluida la minería, pues las antiguas minas deben estar vigiladas y mantenidas aunque no sean explotadas. También se incluyen las instalaciones que están en fase de desmantelamiento, como Garoña o José Cabrera», explica Javier Zarzuela.

Las IRSS conllevan un gran trabajo de coordinación entre todas las instituciones involucradas

Estas evaluaciones permiten un intercambio de experiencias reguladoras y una puesta en común de lecciones aprendidas y buenas prácticas

Medicina

En medicina, existen competencias compartidas entre el Ministerio de Sanidad y el CSN. Cuando hay instalaciones radiactivas, han de estar autorizadas de acuerdo con el Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas (Radioterapia, Medicina Nuclear) y registradas las instalaciones de Rayos X. Las autorizaciones se conceden por el Ejecutivo previo informe preceptivo y vinculante del CSN.

«En la parte médica, lo referido al tratamiento de los pacientes es un acto médico en el que el Consejo no tiene competencia legal. Si en un tratamiento se utilizan isótopos radiactivos, en las dosis a impartir tampoco intervenimos, pero sí en que los equipos funcionen correctamente y estén bien calibrados. También es de nuestra competencia que el personal que trabaja con ellos y el público esté protegido de las radiaciones», explica Javier Zarzuela.

En la misión de 2018, el equipo IRRS formuló una treintena de recomendaciones y sugerencias que han sido cerradas satisfactoriamente, según los expertos. Incluían aspectos como los acuerdos de cooperación con todas las autoridades nacionales, la realización de autoevaluaciones periódicas del sistema de gestión, el desarrollo de normativa específica para la preparación y respuesta ante emergencias, la relación fluida con el Gobierno para poder ajustar su estructura y la mejora de la formación a través de un enfoque más sistemático. ■

Elvira Moya de Guerra | Doctora en Ciencias Físicas

"Solo las personas que no conocían mi trabajo tendían a no identificarme como científica y, a veces, a minusvalorarme"

Elvira Moya de Guerra Valgañón (Albacete, 1947) ha sido una de las primeras mujeres en desempeñar un papel prominente en la física nuclear española, un campo donde la presencia femenina era prácticamente inexistente. Basta con revisar sus logros para advertir que la condición de pionera se ajusta como un guante a su trayectoria. Doctora en Ciencias Físicas por la Universidad de Zaragoza, fue la primera mujer catedrática de Física Atómica y Nuclear en la Universidad Complutense de Madrid (UCM) y la primera física teórica contratada en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT).

Texto: **Luis Tejedor**

Con más de doscientos trabajos publicados y la Medalla de la Real Sociedad Española de Física en su haber (RSEF), Elvira Moya sigue defendiendo la investigación rigurosa y el aprecio al talento sin distinciones: «A las mujeres que hacen un trabajo serio cada vez se las respeta y se las reconoce más».

Obtuvo el título de doctora en 1974 por la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza. ¿Qué motivó su vocación hacia la física nuclear?

La física nuclear me interesó a raíz de algunas lecturas casuales en libros de texto, divulgación, etc., desde que estudiaba el bachillerato. Fue a partir de los últimos cursos de la carrera de Física cuando empecé a decantarme por la física cuántica y, más particularmente, por la física nuclear y de partículas, así como por la teoría cuántica de campos, que explicaban los profesores Ángel Morales y Miguel A. Goñi. Con el profesor Morales hice mi tesis doctoral en un tema a caballo entre la física nuclear y la física de partículas (violación de paridad e inversión temporal en procesos nucleares). Más tarde, cuando decidí ir al MIT (EE. UU.) para hacer la formación postdoctoral, el profesor Alberto Galindo, director científico de nuestro Grupo Interuniversitario de Física Teórica (GIFT), me aconsejó investigar en temas más centrados en física nuclear teórica, porque en España había ya bastantes científicos con formación en física de partículas.

De modo que, en el MIT, empecé a profundizar en temas como teorías microscópicas de los modos colectivos de los núcleos –vibraciones, rotaciones, fusión, fisión–, núcleos deformados, factores de forma electromagnéticos y un largo etcétera.

¿Cómo era la universidad española en aquellos años?

Entre 1964 y 1974, cuando realicé mis estudios de licenciatura y doctorado, la universidad española era muy diferente a la actual. Sin entrar en otros aspectos, diré que, con raras excepciones –una de las cuales era nuestra área de Física Teórica–, había escasísima relación con universidades y centros de investigación fuera del país, así como muy poca actividad investigadora.

Entre 1974 y 1979, permaneció en el MIT, primero haciendo estudios de postdoctorado y luego como contratada. ¿Qué diferencias destacables encontró en Massachusetts respecto a lo que había conocido en España?

Acabaría antes si hablara de las similitudes, pero, como decía, la investigación científica en la universidad española era escasa y poco o nada contrastada con la ciencia que se hacía entonces en otros países. Por el contrario, el MIT era un foco mundial del conocimiento de la época, y lo sigue siendo.

Me entusiasmó la relación científica tan directa que pude establecer con los profesores del *Center for Theoretical Physics* del MIT, muy especialmente con el profesor F. Villars, de origen suizo, y lo mucho que pude aprender de ellos. Cuando estás en el MIT, sientes que la ciencia y sus novedades entran por todos los poros

“En mi área, he abierto camino no solo a compañeras, sino también a compañeros”

Me emocionó que un grupo de niñas en edad escolar me considerara un referente como mujer científica

de tu cuerpo. Esto era totalmente nuevo para mí y muy motivador.

Usted ha sido la primera mujer catedrática de Física en España, miembro directivo del European Center for Theoretical Nuclear Physics (ECT), del Expert Committee de la European Science Foundation (NuPECC), del comité editorial de *Nuclear Physics News*... ¿Esta labor pionera fue algo buscado o, simplemente, le tocó a usted el papel de precursora de otras compañeras?

Lo que verdaderamente busqué fue poder dedicarme a la investigación en física nuclear y tratar de que esta área se desarrollara con un buen nivel en nuestro país y, creo que, en buena medida, lo conseguí. Todo lo demás fue consecuencia del esfuerzo y la dedicación que puse en ello.

Los reconocimientos, tanto fuera como dentro de nuestro país, vinieron sin que yo los esperara. Llegué a ellos siendo mujer y nunca he tratado de imaginar qué hubiese pasado si yo fuera hombre.

A las mujeres que hacen un trabajo serio cada vez se las respeta y se las reconoce más

¿La mujer debe esforzarse más para lograr las mismas metas que sus homólogos masculinos?

Evidentemente, es difícil para una mujer abrirse camino en un mundo de hombres, como lo era el de la física nuclear teórica, pero, al menos en mi área, cuando los demás conocen tu trabajo y les interesa, no hacen distingos. De hecho, sin falsa humildad, puedo decir que en mi área he abierto camino no solo a compañeras, sino también a compañeros.

Con el prestigio cosechado a lo largo de los años, ¿considera que los investigadores españoles han de triunfar fuera para ser reconocidos en España?

Sí, creo que, por regla general, esto es así.

¿Por qué ha tenido interés en la figura de Marie Curie? ¿Qué otros referentes femeninos ha tenido presentes en su carrera?

La figura de Marie Curie me parece gigantesca como científica, como mujer y como persona. La descubrí en mi infancia en la letra pequeña de algún libro de texto, cuando todavía no alcanzaba a comprender la grandeza de sus descubrimientos científicos ni de su personalidad y, cuanto más he sabido de ella, más me ha interesado.

¿Se considera un ejemplo para nuevas generaciones de físicas?

No suelo pensar en estas cosas, pero me emocionó que un grupo de niñas en edad escolar me considerara un referente como mujer científica. Ha habido gestos que han sido un acicate en mi vida. Mis compañeras físicas me propusieron para la Medalla de Oro de la RSEF, honor que me fue otorgado en 2008 con el apoyo incondicional de dos grupos especializados de la entidad: el Grupo de Mujeres y el Grupo de Física Nuclear.

Las mujeres representan ya el 42 % del personal investigador; sin embargo, existe un cierto retroceso en el alumnado de las enseñanzas superiores de Ingeniería y Tecnología (12,2 % en 2023 respecto al 18,7 % de 2016). ¿A qué cree que se debe?

Es difícil saber a qué se debe, pero, en todo caso, para interpretarlo habría que ver hasta qué punto esta disminución del porcentaje es un fenómeno local o se mantiene en el tiempo. También habría que saber cómo están calculadas estas cifras, qué universidades y centros de investigación públicos y privados se han tenido en cuenta, etc. Son cosas que yo desconozco.

Solo un 8 % de las adolescentes de secundaria se inclina por alguna carrera del universo STEM. En su opinión, ¿qué medidas son necesarias para fomentar la querencia de las jóvenes hacia estas disciplinas?

No lo sé. Creo que hace unos veinte años se hizo una «campaña» de difusión de la física por parte de la RSEF con ayuda del Ministerio de Educación y Ciencia, que tuvo muy buena acogida y obtuvo resultados positivos en ese sentido. En todo caso, lo que creo que ayudaría es que fuésemos capaces de crear una sociedad menos superficial que la actual.

¿Ha sufrido algún tipo de discriminación por cuestión de género a lo largo de su carrera?

Mi experiencia es que solo las personas que no conocían mi trabajo tendían a no identificarme como científica y, a veces, a minusvalorarme. De modo que me temo que la respuesta es afirmativa.

Catedrática en la Universidad de Extremadura (1983-1986) y en la UCM desde 2005, además de profesora de investigación en el CSIC... ¿Cree que ha disminuido el talento y el esfuerzo de los jóvenes universitarios?

Creo que siempre ha habido y habrá buenos y malos estudiantes. Actualmente, algunas universidades en España están muy masificadas, lo que no favorece la motivación de los estudiantes. En particular, en las facultades de Física hay muchos buenos estudiantes y algunos de ellos son

Las grandes revoluciones científicas vendrán, por una parte, de la mano de la cosmología, la astrofísica y la geofísica, y por otra, de las investigaciones sobre el cerebro humano

La figura de Marie Curie me parece gigantesca como científica, como mujer y como persona

extraordinariamente buenos. El talento espero que no haya disminuido, pero ahora se manifiesta de acuerdo con las necesidades y herramientas actuales, que son diferentes a las que había cuando yo era estudiante. ¡Hace ya sesenta años que entré en la universidad!

En 2002, junto con otras mujeres científicas, realizó el estudio *Mujeres en Ciencia y Tecnologías Físicas del CSIC*, en el que afirmaba que «la situación de la mujer en el CSIC y particularmente en nuestra área nos parece un reflejo de la sociedad en la que vivimos». ¿Aprecia progresos desde la publicación de dicho estudio?

Creo que en estos veintitrés años han cambiado mucho las cosas, tanto en el CSIC como en la sociedad. A las mujeres que hacen un trabajo serio cada vez se las respeta y se las reconoce más.

Para terminar, ¿qué descubrimientos o avances considera que podrían transformar el mundo desde el ámbito de la física en los próximos años?

Decía el gran Hans Bethe que, si él supiese qué grandes descubrimientos se iban a hacer, eso significaría que no habría ningún gran descubrimiento. Me acojo a esa afirmación. Sin embargo, es de suponer que las grandes revoluciones científicas vendrán de la mano de la cosmología, la astrofísica y la geofísica, por una parte, y, por otra, de las investigaciones sobre el cerebro humano en sus distintas facetas. ■

NOVEDADES DEL REGLAMENTO SOBRE INSTALACIONES NUCLEARES Y RADIACTIVAS, Y OTRAS ACTIVIDADES RELACIONADAS CON LA EXPOSICIÓN A LAS RADIACIONES IONIZANTES (RINR)

REAL DECRETO 1217/2024 DE 3 DE DICIEMBRE

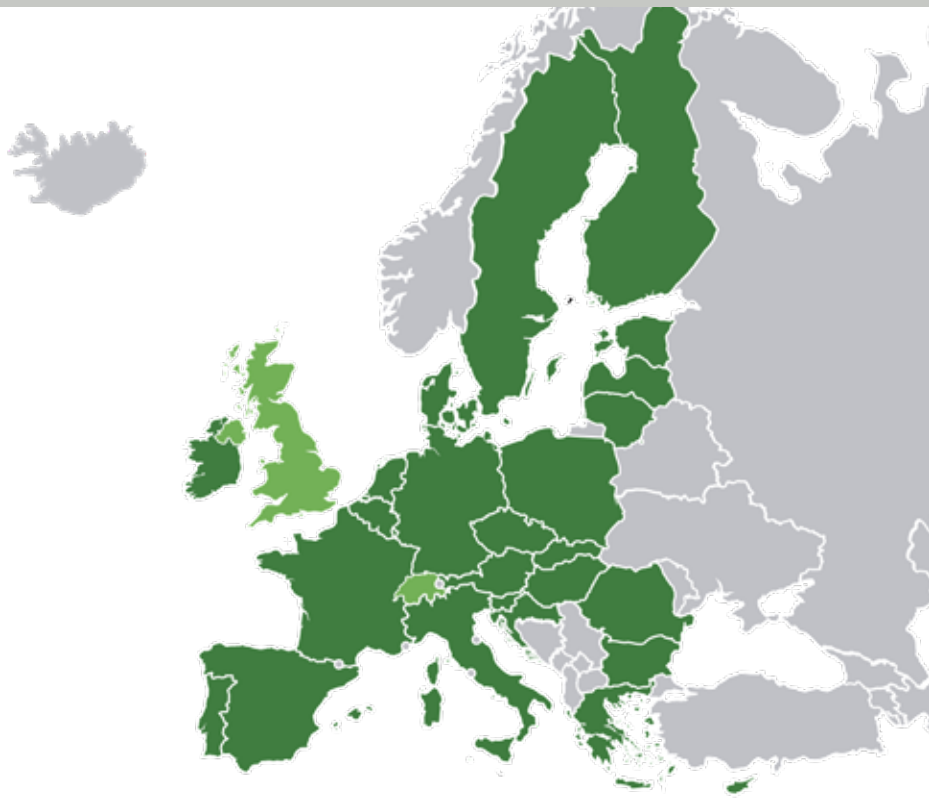
CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR
Ana María Hernández Álvarez (Dirección Técnica de Protección Radiológica)
Santiago Aleza Enciso (Dirección Técnica de Seguridad Nuclear)

Con fecha de 4 de diciembre de 2024 se publicó en el *BOE* (n.º 292) el Real Decreto 1217/2024, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas, y otras actividades relacionadas con la exposición a las radiaciones ionizantes. Este reglamento sustituye al Real Decreto 1836/1999 y responde a la necesidad de armonizar la normativa nacional con las directivas de la Unión Europea, así como incorporar al mismo modificaciones derivadas de la experiencia adquirida en la aplicación del anterior Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas, aprobado por el Real Decreto 1836/1999, de 3 de diciembre. Cabe destacar el enfoque integral de este nuevo Reglamento, que incluye no solo lo referente a las instalaciones, sino también toda aquella actividad que implique la exposición a las radiaciones ionizantes.

Uno de los principales objetivos del Real Decreto 1217/2024, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas, y otras actividades relacionadas con la exposición a las radiaciones ionizantes (en adelante, RINR) es la armonización de la normativa española con los principios y directrices de organismos internacionales como el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y la Comisión Europea.

Así, con la publicación del nuevo RINR se completaría de forma coherente el marco reglamentario relacionado con la energía nuclear, mediante lo siguiente:

- Transposición en este nuevo texto de los aspectos de la Directiva 2013/59/Euratom, de 5 de diciembre, por la que se establecen las normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes, que afectan a su



ámbito de aplicación (incluye la incorporación de las normas equivalentes del OIEA).

- Armonización de su contenido con lo dispuesto en el Reglamento sobre seguridad nuclear en instalaciones nucleares, por el Real Decreto 1400/2018, de 23 de noviembre y que transpone a la legislación española la Directiva 2014/87/Euratom del Consejo, de 8 de julio de 2014, por la que se establece un marco comunitario para la seguridad nuclear de las instalaciones nucleares
- Incorporación de modificaciones derivadas de la experiencia adquirida en la aplicación del anterior RINR (RD 1836/1999, de 8 de marzo).

El ámbito de aplicación del nuevo RINR se amplía respecto al anteriormente vigente, en coherencia con el contenido de la Directiva 2013/59/Euratom, incluyendo en su articulado aspectos que afectan, no solo a las instalaciones nucleares y radiactivas, sino también a todas aquellas actividades relacionadas con la exposición a las radiaciones ionizantes, entre ellas las que conlleven la presencia de fuentes naturales de radiación que ocasionen un incremento significativo de la exposición de los trabajadores o de los miembros del público.

PRINCIPALES NOVEDADES RESPECTO AL ANTERIOR REGLAMENTO

DISPOSICIONES GENERALES (Título I)

El nuevo reglamento supone una revisión del Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas (RD 1836/1999, de 3 de diciembre), el cual queda derogado, e incluye el régimen del control reglamentario de todas las «prácticas», en el sentido establecido por la Directiva 2013/59/Euratom del Consejo, de 5 de diciembre de 2013, mediante autorización, declaración, inscripción e inspecciones, así como las exenciones de dicho control.

ESTRUCTURA Y CONTENIDO DEL NUEVO RINR

Título del RINR	Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas, y otras actividades relacionadas con la exposición a las radiaciones ionizantes
Disposición adicional única	Referencias al Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas y otras actividades relacionadas con la exposición a las radiaciones ionizantes
Disposición derogatoria única	
7 Disposiciones finales	
Título I (16)	Disposiciones generales.
Título II (27)	Instalaciones nucleares.
Título III (10)	Instalaciones radiactivas.
Título IV (3)	Fuentes encapsuladas de alta actividad.
Título V (5)	Diario de operación, archivos e informes.
Título VI (20)	Personal de las instalaciones nucleares y radiactivas.
Título VII (15)	Servicios y Unidades Técnicas de Protección Radiológica y Servicios de dosimetría personal.
Título VIII (1)	Empresas externas que prestan servicio en una instalación con riesgo de exposición a las radiaciones ionizantes.
Título IX (9)	Actividades laborales con especial exposición a la radiación natural.
Título X (14)	Otras actividades reguladas.
Título XI (5)	Inspección.
9 anexos, 6 disposiciones adicionales y 9 disposiciones transitorias	

Definición de «práctica» (Directiva 2013/59): «actividad humana que puede aumentar la exposición de las personas a las radiaciones procedentes de una fuente de radiación y que se gestiona como situación de exposición planificada».

En consecuencia, se incluye dentro de este reglamento lo relativo al control reglamentario de instalaciones nucleares y radiactivas, transporte de materiales radiactivos, contenedores de almacenamiento temporal de combustible nuclear gastado, uso de fuentes radiactivas encapsuladas de alta actividad, actividades de exposición a radiaciones para la obtención de imágenes no médicas, actividades que conlleven exposición a radiación natural, fabricación, comercialización y asistencia técnica de equipos emisores de radiaciones ionizantes e introducción en el mercado español de productos de consumo que puedan aumentar la exposición de las personas a las radiaciones ionizantes.

Asimismo, se enfatiza el hecho de que todas las prácticas que impliquen exposición a radiaciones ionizantes deben estar justificadas, de conformidad con lo establecido en el Reglamento sobre protección de la salud contra los riesgos derivados de la exposición a las radiaciones ionizantes (RPSI), aprobado por RD 1029/2022, de 20 de diciembre, demostrando un beneficio claro para la sociedad que compense los riesgos.

Otro aspecto a destacar, como novedad, es la inclusión de una serie de artículos procedimentales (véase, artículo 6 «presentación de solicitudes» o artículo 9, «documentación adicional y otros informes») referidos a las autorizaciones, licencias o apreciaciones favorables del CSN.

En lo que se refiere a la «comunicación de deficiencias» (artículo 13) se modifica lo reflejado en el anterior reglamento a fin de hacerlo coherente con las disposiciones

NOVEDADES EN LOS ARTÍCULOS 21, 22 Y 24 DEL RINR

Artículo 21 PREVIA

- Más detalle en memoria descriptiva.
- Se añade Plan de Garantía de calidad.

Artículo 22 CONSTRUCCIÓN

- El Estudio Preliminar de Seguridad incluirá los "Criterios de aceptación del combustible nuclear gastado y residuos radiactivos" para instalaciones de almacenamiento definitivo.
- Se añaden: Plan Preliminar de Desmantelamiento; Plan Preliminar de Cierre (para instalaciones de almacenamiento definitivo), Plan Preliminar de Gestión de Vida (solo centrales nucleares).
- Se separan del Estudio Preliminar de Seguridad: Plan Preliminar de Riesgos de acuerdo con el artículo 12.3 del Reglamento de Seguridad Nuclear y Estudio Analítico Radiológico.

Artículo 24 EXPLOTACIÓN

- Manual de Cálculo de Dosis en el Exterior.
- Plan de Control de Materiales Desclasificables.
- Plan Preliminar de Desmantelamiento.
- Para instalaciones de almacenamiento definitivo: Plan Preliminar de Cierre y Criterios de aceptación del Combustible Gastado y Residuos Radiactivos.
- Evaluación de riesgos de la instalación de acuerdo con el artículo 12.3 del Reglamento de Seguridad Nuclear.
- Programa de vigilancia y seguimiento del emplazamiento y sucesos externos.
- Plan Preliminar de Gestión de Vida (solo centrales nucleares).

previstas en la Ley 2/2023, de 20 de febrero, reguladora de la protección de las personas que informen sobre infracciones normativas y de lucha contra la corrupción.

Por último, cabe señalar la importancia de la incorporación de un apartado de «Definiciones».

INSTALACIONES NUCLEARES (Título II)

La publicación del nuevo RINR no supone un cambio en la definición de instalaciones nucleares (artículo 17) ni en los tipos de autorizaciones (artículo 18) asociadas.

En lo que se refiere a las autorizaciones previa, de construcción y de explotación de las instalaciones nucleares, se incorporan una serie de novedades en la documentación que se ha de presentar en las diferentes solicitudes.

Así, por ejemplo, en el estudio de seguridad que acompañe a la solicitud de autorización de explotación se documentará la evaluación de seguridad realizada en los términos previstos en el Reglamento sobre seguridad nuclear en instalaciones nucleares, aprobado por RD 1400/2018, de 23 de noviembre, para las instalaciones incluidas en el ámbito de aplicación del mismo, o de acuerdo con las instrucciones que establezca el Consejo de Seguridad Nuclear, para el resto de instalaciones nucleares.

Por otro lado, en este nuevo reglamento, los comités locales de información que se celebran en los ayuntamientos de los municipios en los que están situadas las centrales nucleares con el fin de informar a la población del entorno, se hacen extensivos a las instalaciones de almacenamiento de sustancias nucleares.

En el caso de centrales nucleares, la fase de explotación desemboca en la situación de cese de la instalación, como etapa intermedia antes del desmantelamiento. Según el artículo 29 del nuevo RINR, durante la situación de cese el titular de la autorización de explotación deberá acondicionar los residuos radiactivos, o haber establecido los acuerdos con el futuro titular de desmantelamiento, y descargar el combustible nuclear del reactor y de las piscinas de almacenamiento. La novedad introducida en el RINR consiste en establecer el carácter excepcional de no haber descargado todo el combustible nuclear gastado de la piscina antes del paso a la fase de desmantelamiento. En este caso, se clarifica además que el solicitante de la autorización de desmantelamiento deberá presentar una solicitud específica, que será independiente de la solicitud de autorización desmantelamiento. En lo relativo a las modificaciones de la instalación se mantienen la de modificación y la de ejecución y montaje. Por lo que se refiere a la autorización de ejecución y montaje de la modificación, se deberá solicitar en caso de que la modificación sea de gran alcance, ya sea porque implique obras de construcción o montaje significativas o cambios de diseño relevantes. La necesidad de esta autorización será determinada por el Consejo de Seguridad Nuclear, lo cual es una modificación respecto del anterior RINR, en el que se atribuía tal función a la Dirección General de Energía. Adicionalmente, en el nuevo RINR se introducen algunos cambios en la documentación que el titular de la autorización debe aportar.

Autorización de desmantelamiento y autorización de clausura

Se incorpora como novedad el que la solicitud de desmantelamiento vaya acompañada, entre otros documentos, del plan de desmantelamiento (el anterior reglamento incluía el Proyecto general de desmantelamiento como parte del Estudio de Seguridad-ES). Dicho plan:

- Expondrá la estrategia a seguir, la planificación y el desarrollo previsto del proyecto general del desmantelamiento, que deberá contener el alcance de cada fase del proyecto de desmantelamiento propuesto, si hubiera varias, así como la descripción del estado previsto de la instalación durante y después del desarrollo de las mismas.
- Especificará, para la fase para la que se solicita autorización, las actividades y obras que pudieran suponer alteraciones de las condiciones de seguridad nuclear o protección radiológica.

Asimismo, el nuevo RINR establece que será el titular de la autorización de desmantelamiento quien solicite en su momento la «declaración de clausura» al Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (Miterd). Con anterioridad podrá haber solicitado al citado Ministerio la liberación del control regulador de parte del emplazamiento, aportando como documentación soporte el Informe radiológico final.

Por otra parte, el nuevo RINR contempla el hecho de que, en el emplazamiento de una central nuclear, tras el desmantelamiento de la misma, esté previsto que vaya a permanecer una instalación de almacenamiento temporal de combustible nuclear gastado o residuos radiactivos de alta actividad. En su artículo 38, se indica que en estos casos el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, previo informe del Consejo de Seguridad Nuclear, concederá la correspondiente autorización de explotación.

Autorización de desmantelamiento y cierre y declaración de cierre

El nuevo reglamento también introduce un enfoque más robusto para las instalaciones de almacenamiento definitivo de residuos radiactivos. En este contexto, se exige una caracterización detallada de los emplazamientos, incluyendo estudios del comportamiento a largo plazo y análisis de la seguridad postclausura.

a) Autorización de desmantelamiento y cierre: entre otros documentos, en la solicitud se debe incluir el Plan de desmantelamiento y un Plan de cierre (para la zona de almacenamiento).

b) Declaración de cierre: a solicitar por el titular una vez que se haya verificado el cumplimiento de las previsiones del Plan de restauración del emplazamiento, así como las demás condiciones técnicas establecidas en el plan de cierre:

- Donde se establecen los límites y condiciones a cumplir durante la ulterior etapa de control y vigilancia.
- Entre otros, la declaración identificará la entidad pública titular de los residuos radiactivos almacenados.

INSTALACIONES RADIACTIVAS (Título III)

Instalaciones radiactivas del ciclo de combustible

En el artículo 46 del RINR se acepta lo establecido en la Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética.

La entrada en vigor de dicha ley, ha hecho necesaria una revisión del régimen de concesión de las autorizaciones administrativas de las instalaciones radiactivas del ciclo del combustible nuclear, al objeto de no admitir nuevas solicitudes de autorización de estas instalaciones, conforme a lo establecido por dicha ley en su artículo 10.2.

- Artículo 10.1 Ley 7/2021: no se admitirán nuevas solicitudes ni prórrogas para el otorgamiento de permisos de exploración, permisos de investigación o concesiones directas de explotación, ni sus prórrogas (Ley 22/1973, de 21 de julio, de minas, de minerales radiactivos).
- Artículo 10.2 Ley 7/2021: no se admitirán nuevas solicitudes de autorización de instalaciones radiactivas del ciclo del combustible nuclear para el procesamiento de dichos minerales radiactivos (RINR).

Instalaciones radiactivas distintas de las anteriores (médicas, industriales, etc.)

Se ha llevado a cabo una revisión del trámite administrativo de estas instalaciones tomando como base la aplicación del enfoque graduado en función del riesgo.

Las modificaciones menores como bajas de dependencias o delegación autorizada, altas y bajas de fuentes de calibración, etc. (artículo 51) ya no requerirán autorización, basta con comunicarlas al Miterd y al CSN con sesenta días de antelación a su implementación.

FUENTES ENCAPSULADAS DE ALTA ACTIVIDAD (Título IV)

El nuevo RINR incluye los requisitos del RD 229/2006, de 24 de febrero, sobre el control de fuentes radiactivas encapsuladas de alta actividad y fuentes huérfanas, en lo que corresponde a fuentes de alta actividad. Asimismo, en este reglamento se armonizan los niveles de actividad por encima de los cuales una fuente radiactiva encapsulada se considera como de alta actividad, con lo establecido en el anexo III de la Directiva 59/2013 y por el Organismo Internacional de Energía Atómica.

Mediante las disposiciones contempladas en este reglamento se trata de conseguir un estricto control de las fuentes radiactivas encapsuladas de alta actividad durante todo su periodo de vida, desde su fabricación hasta su correcta gestión al final de su vida útil, con el fin de evitar la exposición de los trabajadores y de los miembros del público a las radiaciones ionizantes como consecuencia de un control inadecuado de dichas fuentes.

DIARIO DE OPERACIÓN (Título V)

El nuevo RINR introduce en este Título V, como novedad más relevante, la posibilidad de que el diario de operación pueda estar en formato electrónico, indicando que este se atendrá a los términos que determine el CSN.

LICENCIAS DE PERSONAL DE LAS INSTALACIONES NUCLEARES Y RADIACTIVAS (Título VI)

En la Sección dedicada al personal de las instalaciones nucleares y radiactivas del ciclo de combustible nuclear, se clarifican las licencias de personal de operación de las instalaciones nucleares, que se ajustarán a los riesgos de la instalación. En el artículo 62 se establecen requisitos sobre las licencias del personal de las centrales nucleares (con autorización de explotación y de desmantelamiento) así como para otras instalaciones nucleares y radiactivas del ciclo de combustible nuclear.

En el artículo 66 se introduce la obligación de que entre el titular de la licencia y el titular de la autorización haya una relación laboral, aunque, de manera excepcional y en el caso de instalaciones en desmantelamiento, el CSN podrá conceder licencias que no cumplan este requisito.

En el caso de las licencias de operador y supervisor de instalaciones radiactivas se amplía el periodo de validez de las mismas que pasa a ser de cinco a 10 años.

SERVICIOS Y UNIDADES TÉCNICAS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA Y DE LOS SERVICIOS DE DOSIMETRÍA PERSONAL (Título VII)

Las actividades de los Servicios y Unidades Técnicas de Protección Radiológica (UTPR), así como de los Servicios de dosimetría personal, se ajustan a lo establecido en el RD 1029/2022, de 20 de diciembre, por el que se aprueba el RPSI (artículos 25 al 30) y en el nue-

vo RINR (RD 1217/2024) en sus artículos del 83 al 91.

Concretamente, en este último se establecen aquellas instalaciones que deberán disponer de un Servicio de Protección Radiológica (instalaciones nucleares y radiactivas del ciclo de combustible nuclear), así como disposiciones relativas a reglamentación aplicable, autorización, obligaciones, actividades, requisitos del personal, etc. completando lo establecido en el RD 1029/2022 (RPSI).

EMPRESAS EXTERNAS QUE PRESTAN SERVICIO EN UNA INSTALACIÓN CON RIESGO DE EXPOSICIÓN A LAS RADIACIONES IONIZANTES (Título VIII)

En el RD 1029/2022 (RPSI) se establecen las obligaciones de las empresas externas, del titular de la instalación, del trabajador externo, así como lo relativo a la utilización del carné radiológico (artículos del 55 al 58).

En el nuevo RINR se establece que las empresas externas deberán presentar la declaración para su inclusión en el «Registro de Empresas Externas» existente en el Consejo de Seguridad Nuclear. Se especifica la información que se deberá aportar por la empresa para cumplir con este procedimiento.

ACTIVIDADES LABORALES CON ESPECIAL EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN NATURAL (Título IX)

El nuevo reglamento incorpora medidas específicas para las actividades industriales que involucran materiales radiactivos de origen natural. Estas actividades, denominadas NORM (Naturally Occurring Radioactive Material), requieren evaluaciones radiológicas y, en algunos casos, medidas de control adicionales para mitigar riesgos.

Así mismo, se regulan la exposición a radón en lugares de trabajo y la exposición a radiación cósmica en tripulaciones de aeronaves.

Actividades laborales en las que se generen, procesen o gestionen materiales radiactivos de origen natural (NORM)

En estos casos, se aplica el mismo marco regulador que para el resto de prácticas según requiere la Directiva 2013/59/Euratom del Consejo, de 5 de diciembre de 2013, estando sometido a un procedimiento de declaración y debiendo realizarse un estudio radiológico para determinar si la actividad laboral puede dar lugar a un incremento significativo de la exposición a las radiaciones ionizantes de los trabajadores o del público. El reglamento incluye en su anexo VII un listado de sectores que pueden conllevar exposición a material radiactivo de origen natural.

La realización del estudio radiológico deberá encomendarse por el titular a una UTPR o a su Servicio de protección radiológica (SPR) –si la instalación cuenta con uno– que deberán contar con la autorización del CSN para el ámbito de la radiación natural

- En el caso de que los resultados del estudio radiológico cumplan con los criterios de exención definidos en el propio RINR, no se requerirá la declaración.
- Si, por el contrario, se concluye que el impacto radiológico es significativo, el titular deberá presentar una declaración sobre esta situación en el órgano competente de la comunidad autónoma donde esté ubicada, y quedará en consecuencia incluida en el «Registro de actividades laborales con exposición a la radiación natural» que mantiene el Miterd. Así mismo, deberá encomendar a una UTPR (o SPR) la elaboración de un Programa de protección radiológica, a fin de garantizar el cumplimiento del RPSI.

Por último, se establece que será el CSN quien determine aquellos casos en los que podría ser necesario disponer, en la instalación en la que se lleva a cabo una actividad laboral no exenta, de un técnico en protección radiológica en el ámbito de la radiación natural.

Exposición a radón en lugares de trabajo

Al igual que en el caso de anterior, se establecen aquellas circunstancias en las que se deberá presentar una declaración de las actividades laborales con exposición a la radiación natural.

- Si la estimación del promedio anual de la concentración de radón en aire es inferior al nivel de referencia establecido en el RPSI (300 Bq/m^3): no es necesaria la declaración.
- Si la estimación del promedio anual de la concentración de ra-

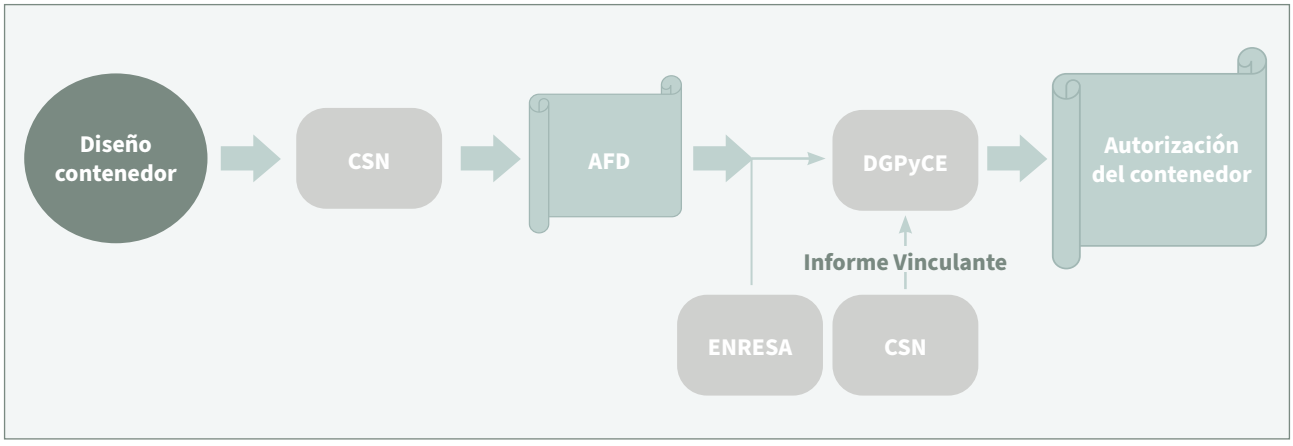


Figura 1. *Proceso de autorización del contenedor de almacenamiento temporal de combustible gastado.*

dón en aire es superior al nivel de referencia establecido en el RPSI (300 Bq/m³), el titular deberá presentar una declaración sobre esta situación en el órgano competente de la comunidad autónoma donde esté ubicada, y quedará en consecuencia incluida en el «Registro de actividades laborales con exposición a la radiación natural» que mantiene el Miterd.

- Si la estimación del promedio anual de la concentración de radón en aire es superior 1000 Bq/m³:
  - Presentar declaración en el plazo máximo de un mes.
  - Encomendar a una UTPR o SPR el diseño e implantación de medidas correctoras para reducir la concentración de radón y estimación de dosis a los trabajadores.
- Si persisten condiciones en las que las dosis efectivas de los trabajadores pudieran superar 6 mSv/año, se elaborará un Programa de vigilancia de las dosis, se informará al CSN semestralmente y se comunicaran las dosis para su incorporación al Banco Dosimétrico Nacional.

Exposición a la radiación cósmica de tripulaciones aéreas

El reglamento reconoce la exposición a radiación cósmica como un riesgo ocupacional para las tripulaciones aéreas. Las aerolíneas deben implementar programas de protección radiológica, incluyendo la capacitación del personal y el monitoreo de las dosis acumuladas durante los vuelos.

OTRAS ACTIVIDADES REGULADAS (Título X)

Capítulo I. Autorización de otras actividades reguladas

Contenedores de almacenamiento temporal de combustible gastado

En el nuevo RINR se usa la expresión «autorización del contenedor», que se deberá obtener con carácter previo al uso de dicho contenedor, en lugar del término «aprobación del diseño» del anterior RINR.

Se establece que Enresa es el único titular de las autorizaciones de los contenedores y se especifica la documentación a acompañar a la solicitud de autorización del contenedor (apreciación favorable del diseño –AFD– del contenedor emitida por el CSN o de su convalidación; estudio de seguridad del contenedor; y programa de gestión de la calidad).

En la figura 1 se muestra de manera gráfica el proceso de autorización del contenedor de almacenamiento temporal de combustible gastado.

Otra novedad relevante es que se establece el régimen aplicable a las modificaciones de diseño que afectan a los contenedores.

En relación con estos artículos se incluyen, además, las disposiciones transitorias 4.ª (para la transformación automática de las «aprobaciones de diseño» obtenidas según el artículo 80 del anterior RINR en «autorizaciones de contenedores» según el artículo 112 del nuevo RINR), 5.ª (para la transferencia de titularidad de las «autorizaciones de contenedores» que no sean titularidad de Enresa) y 9.ª (para los procedimientos iniciados según el artículo 80 del anterior RINR).

Transporte

En relación con los transportistas de material radiactivo, una de las novedades que incorpora este reglamento es la exigencia de disponer de un Programa de protección radiológica aplicable al transporte de material radiactivo.

Se incluyen los valores de exención para el transporte del material radiactivo en la tabla B del Anexo IV, de acuerdo con lo dispuesto en la Directiva 2013/59/Euratom del Consejo, de 5 de diciembre de 2013.

También se introducen, tanto en el artículo 109 (transportes) como en el 110 (registro de transportistas de materiales radiactivos), otras novedades derivadas de la experiencia del CSN en la aplicación del RINR anterior.

Capítulo III. Desclasificación de materiales residuales con contenido radiactivo

Los materiales residuales sólidos con contenido radiactivo generados en las prácticas autorizadas podrán ser desclasificados para su gestión por las vías convencionales mediante su eliminación, reciclado o reutilización. Dicha desclasificación estará sujeta a autorización de la Dirección General de Política Energética y Minas, previo informe del Consejo de Seguridad Nuclear.

Se adoptan los valores de concentración de actividad establecidos en la Directiva 2013/59/Euratom, de 5 de diciembre de 2013, incorporando así los valores recomendados por el Organismo Internacional de Energía Atómica:

- Para la exención de prácticas del control reglamentario, es decir, para quedar exoneradas de los requisitos de autorización o declaración establecidos en este reglamento
- Para la desclasificación de materiales de las prácticas autorizadas, es decir, para la retirada del control regulador de material radiactivo previamente autorizado o declarado.

Capítulo IV: Restauración de emplazamientos mineros de minerales radiactivos

Los permisos de investigación y las concesiones de explotación de las minas de uranio, así como los planes de restauración incluidos en el proyecto definitivo de cierre y clausura y las autorizaciones de clausura definitiva, requerirán con carácter previo a la resolución de la autoridad minera, un informe preceptivo y vinculante del Consejo de Seguridad Nuclear en materia de protección radiológica.

Dicho informe determinará, en su caso, las restricciones de uso de los terrenos que ocupan las minas, una vez restauradas, que deberán ser incluidos en el «inventario de suelos o terrenos contaminados radiológicamente y de suelos o terrenos con restricciones de uso», gestionado por el Miterd, así como las medidas de control y vigilancia radiológica ambiental necesarias.

Capítulo V. Exposición para la obtención de imágenes no médicas

En este reglamento también se establece el régimen regulador de las exposiciones a radiaciones ionizantes para la obtención de imágenes no médicas, actividades entre las que se incluyen los exámenes radiológicos para el conocimiento de la edad o la utilización de radiaciones ionizantes para detectar objetos ocultos en el cuerpo humano. requiriéndose una autorización para todas las prácticas que impliquen exposición deliberada de personas para la obtención de imágenes no médicas.

INSPECCIÓN (Título XI)

En el nuevo RINR se establece que la inspección del CSN tendrá la condición de autoridad pública, lo que refuerza significativamente su autoridad en el ejercicio de la función inspectora (artículo 122).

Se añaden otras novedades, tanto en los artículos dedicados a los inspectores como a las obligaciones del titular y de las actas de inspección, como por ejemplo su publicación de acuerdo con lo establecido en el Estatuto del CSN, previa eliminación de cualquier dato personal u otra información según la normativa vigente.

ACCIONES NECESARIAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LO ESTABLECIDO EN EL RINR

La publicación del RD 1217/2024, vigente desde el momento de su publicación en el *BOE*, requiere un plan de actuación para su completa implantación. Entre tales acciones, las más importantes son el desarrollo de normativa de menor rango, como instrucciones y desarrollo de guías de seguridad del Consejo de Seguridad Nuclear. Por último, es necesario establecer un plan de información y difusión del nuevo RINR a las distintas partes afectadas que incluye la remisión de circulares y la difusión de información a instituciones y el público. ■

ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE Y SENSIBILIDAD: UNA COMUNIDAD DE CONOCIMIENTO EN EL CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

Autores
R. Mendizábal Sanz, C. J. Díez de la Obra, M. García Llorente, M. Sánchez Perea, M. A. Montero Sánchez (Consejo de Seguridad Nuclear) **C. Merino Moreno** (ICA2)

La unidad de I+D y gestión del conocimiento (IDGC) del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) introdujo, en 2019, la figura de «comunidades del conocimiento», que pueden entenderse como agrupaciones de personas interesadas en una materia técnica específica que buscan la creación de un espacio para compartir y evolucionar el conocimiento. La materia en cuestión debe tener carácter transversal e interdisciplinar dentro del trabajo técnico que se realiza en el CSN, porque para abordar temas específicos existe ya la estructura técnica del órgano regulador, que puede incluir grupos de trabajo creados *ad hoc*. Ese carácter transversal genera un punto de encuentro de muchas unidades del CSN y evita un sesgo asociado a un área o unidad concreta de la organización que se considere responsable de ese ámbito funcional.

Las comunidades del conocimiento (CC), por tanto, están pensadas para desarrollar y potenciar temas que son de interés para todo el organismo, fomentando sinergias y colaboraciones. Implementan, además, un marco de actuación que refuerza la cultura de seguridad, eje fundamental del CSN, dada la representatividad del conocimiento en la generación de competencias críticas y singulares de la organización.

En ese contexto, en noviembre de 2021, un grupo de técnicos del CSN creó la Comunidad del Conocimiento de Análisis de Incertidumbre y Sensibilidad (CCIS), que viene desarrollando su actividad desde principios de 2022. En este artículo se describe y desarrolla el concepto de comunidad del conocimiento y su implantación en el CSN. A continuación, tras una breve introducción al análisis de incertidumbre y sensibilidad (AI&S) en seguridad nuclear y protección radiológica, se describe la creación y los objetivos de la CCIS, y se ofrece un resumen de su trayectoria de actividades.

COMUNIDADES DEL CONOCIMIENTO EN EL CSN

La gestión del conocimiento (GC) se conforma cada vez más como una vía de agregación de valor y generación de impactos positivos en las organizaciones. El conocimiento, que se va generando y acumulando a partir del dominio de la práctica y el desarrollo de experiencias, debe gestionarse eficientemente para asegurar su trazabilidad y su impronta. La asimilación y transferencia de conocimiento y el desarrollo continuado de las capacidades y aptitudes de las personas contribuyen decisivamente al buen funcionamiento de las instituciones.

La estructuración, socialización e intercambio del saber experto representan un eje estratégico relacionado con el aprendizaje organizativo que, entre otras cuestiones, minimiza los efectos negativos de la desvinculación de personas de la organización (por rotaciones, bajas voluntarias, excedencias o jubilaciones).

La existencia de grupos de discusión, reflexión y avance sobre materias de interés es, probablemente, tan antigua como la sociedad humana, y ha tenido una presencia constante en la evolución del conocimiento. Sin embargo, la formalización de la idea de comunidad del conocimiento es bastante reciente. En 1991, coincidieron la publicación del libro *Situated learning. Legitimate peripheral participation*, de Jean Lave y Étienne Wenger, y del artículo (en la revista *Organization Science*) «Organizational learning and communities of practice», de John Seely Brown y Paul Duguid. Surgió ahí la idea de las comunidades de conocimiento (CC), llamadas habitualmente «comunidades de práctica», que Wenger define como «grupo de personas que comparten un interés o una pasión por algo que hacen, y aprenden a hacerlo mejor al interaccionar regularmente» [1].

Las CC surgen de la convergencia de la GC y la teoría de intercambio social, y pueden contemplarse como instrumentos para conseguir cambios e innovación en las organizaciones en las que se constituyen. La citada convergencia se inserta en

la denominada «espiral del conocimiento», presentada por Nonaka y Takeuchi en 1995 [2], en la que se exponen cuatro grandes dinámicas para la generación de conocimiento, a saber: la internalización (paso de conocimiento explícito a tácito), la externalización (paso de tácito a explícito), la combinación (mezcla de conocimientos explícitos) y la socialización (paso de tácito a tácito). Es en esta última opción donde se impone el intercambio social de conocimiento, la transferencia de aprendizajes relevantes en un entorno colaborativo de confianza, donde pares (personas con alto nivel de dominio en una materia) encuentran un lugar de mantenimiento y evolución de su saber hacer.

Naturalmente, las CC deben respetar el conocimiento, la reflexión y la práctica individuales, sirviendo para que el conocimiento adquirido, procesado y refinado por los individuos se comparta, difunda y discuta. Puede aumentar así la motivación y la satisfacción individual. En todo caso, se está ante una dinámica que pretende potenciar la reciprocidad existente entre el conocimiento individual y conocimiento organizativo.

Las CC generan un microsistema de GC que adquiere todos los potenciales de un modelo: atender retos, articular procesos, establecer soportes organizativos (políticas, tecnología, etc.) y configurar esquemas de control y seguimiento para confirmar sus impactos. Por tanto, se constituyen como un instrumento muy interesante para organizaciones donde los modelos de GC «corporativos» van a encontrar muchas resistencias, dado que crean estructuras transversales sobre prácticas críticas que cohesionan la organización y potencian los flujos de aprendizaje y mejora. Las CC no solo pueden acelerar el desarrollo profesional de toda la organización, sino contribuir a la eliminación de los llamados «silos organizativos» [3].

Las CC se conciben como estructuras de trabajo colaborativo que facilitan el intercambio y generación de conocimiento alrededor de temáticas claves en la llamada «cadena de valor» de una organización, a través de:

1) *Inteligencia organizativa o vigilancia tecnológica:* buscar información externa útil para la organización. Sirven de «antena organizativa».

2) *Gestión de contenidos:* documentar y consolidar una base de conocimiento explícito vinculado a su dominio de conocimiento.

3) *Formación y comunicación:* desarrollar rutinas de socialización e intercambio de conocimiento, favoreciendo su transferencia y consolidación.

4) *Innovación:* proponer ideas y retos que conduzcan a desarrollo de nuevas tecnologías, métodos o competencias útiles para la organización.

Combinando estos procesos, se pueden generar planes de trabajo que maximicen el aprovechamiento de las comunidades.

Por otra parte, como se ha comentado, el desarrollo de este tipo de estructuras colaborativas puede jugar un papel fundamental como microestructura de GC, en la que, con los cuatro puntos anteriores, se atienden los múltiples enfoques propios de un modelo general de GC. Es importante destacar que:

- En las comunidades no existen jerarquías (el conocimiento fluye por necesidad, oportunidad y ámbito).
- Una persona puede pertenecer a varias estructuras de colaboración.
- Las relaciones ocurren por el interés y el desarrollo del «dominio de conocimiento» específico (temática o práctica).
- En un ecosistema de comunidades de conocimiento se busca optimizar el flujo del conocimiento.
- Las comunidades no tienen vencimiento, salvo que la práctica crítica que atienden deje de estar en vigor en la organización o pierda su criticidad e interés.

No obstante, el plano colaborativo no puede dejarse abierto, sino que requiere la identificación de una serie de retos, relativos a la práctica crítica seleccionada con el fin de orientar un plan de trabajo, esfuerzos e impactos. Así, la organización formula retos a las comunidades para buscar soluciones viables, eficientes y replicables. Es importante reconocer a las CC como «referentes» de un dominio de conocimiento, y recurrir a ellas ante necesidades que ayuden a optimizar la toma de decisiones.

Cuanto mayor es la comprensión de los retornos que producen las CC, más terreno le ganan al organigrama; y se requiere cierta proactividad e, incluso, productividad para plantear y clarificar el rol del coordinador o líder de cada comunidad. Ese terreno tiene que ver no con su institucionalidad dentro del diseño organizativo, sino con su protagonismo a la hora de influir sobre decisiones internas de ajustes, mejoras, reducción de incidencias, etc.

Para que las CC «fluyan» se debe actuar con eficiencia, disponiendo de espacios que facilitan el acceso a las fuentes de conocimiento relevante (personas, documentos, etc.), la creación y renovación de prácticas y el aprovechamiento de estas para estimular procesos de mejora e innovación. Desde este punto de vista, las comunidades tienen diversas dimensiones de actuación (citadas en los anteriores cuatro puntos de la «cadena de valor»), y en cada una de ellas se generan impactos que serán relevantes para la organización en aspectos de sostenibilidad, mejora e innovación.

Obviamente, los resultados de una CC no pueden ser sostenibles si se percibe que la organización en general es la única parte beneficiada. Un ecosistema organizativo enriquecido por CC puede y debe aportar beneficios a tres niveles: organización, áreas funcionales y personas, considerando retornos asociados a los retos estratégicos, objetivos operativos y reconocimientos personales.

El motor de las CC se centra en la disposición de una «cultura de compartir», es decir, una actitud y compor-

tamiento favorables al intercambio de conocimiento, ya sean casos de aprendizaje derivados de lecciones aprendidas o buenas prácticas. Así, el éxito de las CC se basa inicialmente en el nivel de participación de las personas que integran la comunidad, interaccionando con otros miembros, consolidando las bases de contenidos (organizados y catalogados), difundiendo nuevas aportaciones de conocimiento (mediante boletines o informes de actividad, jornadas específicas, funcionalidades tecnológicas, etc.) e incorporando contacto con expertos como capital relacional que permita aprovechar el conocimiento disponible.

Néstor González (2022) [4] señala que las CC sirven de espacio para mejorar una práctica o parcela de conocimiento, en la medida en que sus miembros comparten y aprenden juntos. Se crean en relación con prácticas clave para la organización a la que pertenecen, pero existe el riesgo de que no se definan bien en cuanto al plan de trabajo o contenido se refiere. Es precisamente la combinación adecuada de espacio de conocimiento y plan de trabajo la que contribuye a la asimilación, sostenibilidad y utilidad de estas comunidades.

La figura 1 (tomada de [5]) resume la estructura y los distintos roles en una comunidad de conocimiento.

Implantación de comunidades de conocimiento en el CSN

La misión del CSN requiere gestionar conocimientos muy particulares del sector nuclear y radiológico. La caracterización general de los tipos de conocimiento en torno a los ejes «difusión» y «estructuración» establece categorías de saber, que destacan por su carácter interno y tácito, interno y documentado, público y tácito y, finalmente, público y documentado, estableciendo un foco prioritario en la parte de conocimiento interno (singular) y que además no está documentado. Si algo caracteriza al CSN es que atesora un gran conocimiento interno singular, escaso en el marco del mercado laboral y, por tanto, su cultura de seguridad requiere soluciones que permitan su socialización, transferencia y mejor consolidación organizativa. De esta forma, el CSN necesita soluciones para aprovechar este acervo de conocimiento, en términos de formación, colaboración, preservación, etc. El Parlamento español ha destacado esta necesidad en varias resoluciones dirigidas al CSN, en relación con la gestión del conocimiento y los recursos humanos [9].

En este contexto, han surgido en el CSN las comunidades del conocimiento como estructuras que integran procesos colaborativos de socialización y transferencia de experiencias de trabajo, y como depositarias de una base ordenada de recursos y productos. Su objetivo último es la mejora e innovación en las prácticas de actuación de las áreas del CSN, buscando temáticas integradoras (transversales), y promoviendo dinámicas de comunicación no habituales que favorezcan

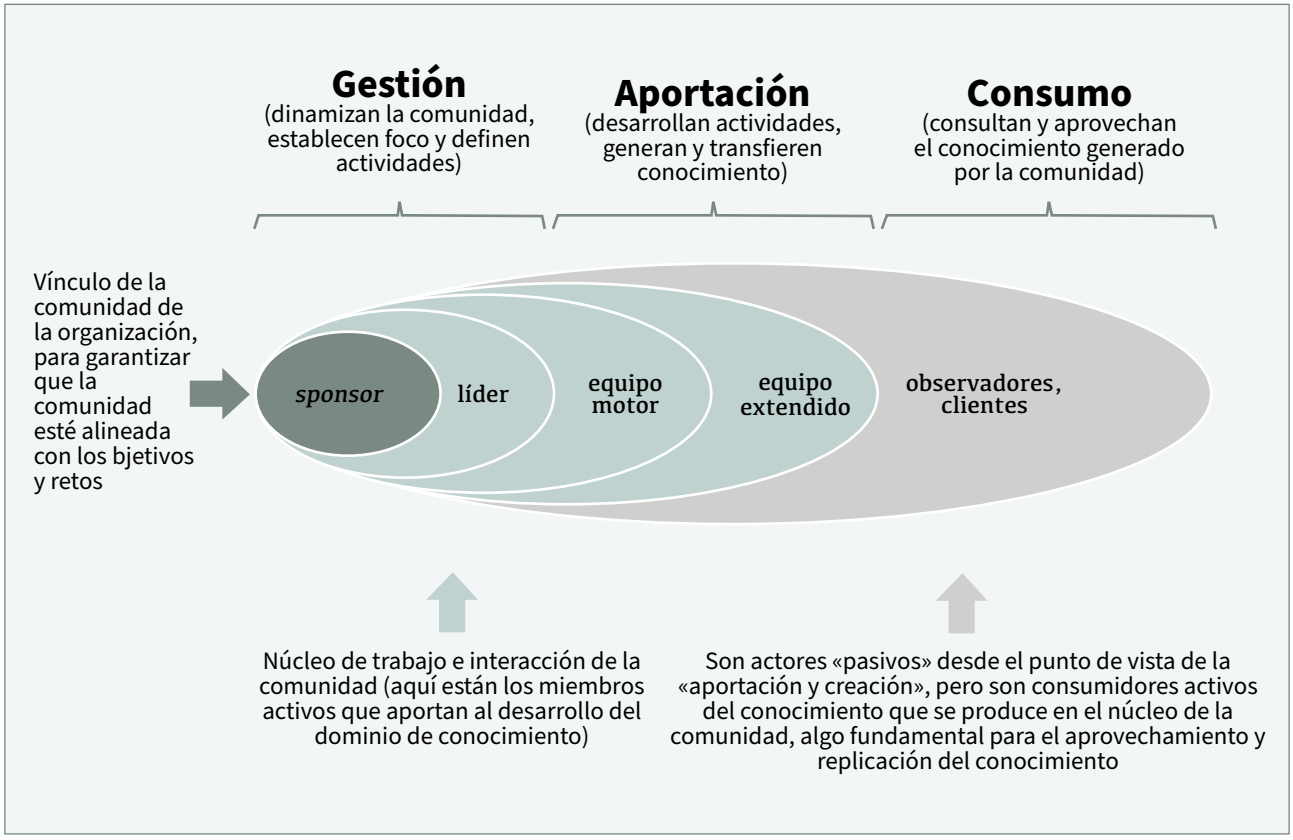


Figura 1. Estructura y roles de las comunidades del conocimiento. *Fuente: Manual de creación (y gestión) de comunidades de conocimiento en el CSN.*

la cohesión de distintas áreas, subdirecciones y direcciones.

La idea de establecer las CC en el CSN partió de la Unidad de Investigación y Desarrollo y Gestión del Conocimiento (IDGC), en conjunción con la empresa ICA2, que desde mayo de 2016 venía colaborando con el CSN en el campo de la gestión de conocimiento. El concepto de CC ya lo había implantado ICA2 previamente, cuando trabajó para el grupo de las centrales nucleares Almaraz-Trillo (CNAT) y en el contexto de UNESA (Asociación de Empresas de Energía Eléctrica, actualmente AELEC).

La sesión donde se presentó al CSN el concepto de CC tuvo lugar el 9 de mayo de 2019, y quedó registrada en un vídeo que se encuentra en los archivos del organismo. Buscando aplicaciones específicas del concepto, la unidad IDGC, en colaboración con subdirectores y jefes de área del CSN, hizo una selección de temas para crear posibles CC. En el momento en que se redacta este artículo existen tres:

1) *Bases de datos de grupos NEA*, en las que el CSN participa de manera sistemática (por ejemplo, CODAP, FIRE, ICDE, IRS).

2) *Hallazgos*, cuyo dominio de conocimiento es la inspección, supervisión y control de instalaciones y actividades (normativa, responsabilidades, procedimientos, categorización y gestión de hallazgos).

3) *Análisis de incertidumbres y sensibilidad*, que no surgió del proceso de selección citado, sino de la iniciativa de varios técnicos del CSN, y es el objeto del resto de este artículo.

Hasta la fecha, no se han materializado otros posibles temas para formar CC dentro del CSN, y se centra el foco en tratar de consolidar estas iniciativas desde la óptica de incrementar su nivel de madurez y el impacto de su labor.

En su manual [5], ICA2 establece lo siguiente respecto a las CC en el CSN:

- Se interpretan como instrumentos principales para desarrollar el «eje de colaboración» dentro del modelo de gestión del conocimiento del CSN, siendo fundamental la disposición de una cultura de compartir, en la que las personas consideren motivante el papel de multiplicador de conocimiento.
- Se interpretan como estructuras a través de las cuales se conecta a las personas del CSN vinculadas a un dominio de conocimiento o práctica específica, pudiendo no estar en las mismas unidades organizativas, dado que los conceptos o prácticas que atienden se seleccionan como puntos de encuentro de conocimiento transversal.
- Deben ser referencia organizativa en ese dominio de conocimiento y tener como propósito mantener el estado del arte de la práctica (consolidar lecciones aprendidas, formular y renovar buenas prácticas, conducir mejoras, etc.).
- Deben ser espacios para la creación y renovación de conocimiento clave, con el fin de impactar los procesos misionales del CSN y la optimización de los procesos, servicios y canales vinculados con su desarrollo.

COMUNIDAD DE CONOCIMIENTO DE ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE Y SENSIBILIDAD

Breve introducción al análisis de incertidumbre y sensibilidad en el ámbito de la seguridad nuclear y radiológica

La consideración de la incertidumbre es esencial en los análisis de seguridad de instalaciones nucleares y radiactivas. Como toda actividad científico-técnica, la seguridad nuclear (SN) y la protección radiológica (PR) se sustentan en teorías, experimentos y cálculos. Las teorías se crean para explicar los datos reales (fundamentalmente experimentales) y predecir su extrapolación a situaciones reales. Los experimentos sirven para desarrollar y validar o refutar teorías. Los cálculos sirven para obtener predicciones de la teoría y compararlas con los datos reales (provenientes de experimentos y de instalaciones reales).

Los tres elementos están afectados por la incertidumbre. Esta refleja la imperfección en el conocimiento de magnitudes físicas, tanto la asociada a las propias magnitudes como al nivel de conocimiento de quien las observa o utiliza. Los datos experimentales tienen incertidumbre de medida; además, si intentamos sacar conclusiones a partir de tales datos, puede ocurrir que estos no sean directamente aplicables a la situación de interés. En tal caso, hay un error de extrapolación que, en general, solo se conoce de manera aproximada, y que, por tanto, es una fuente de incertidumbre. Por su parte, los cálculos dan lugar a predicciones que tienen incertidumbre, surgida de dos fuentes: la propia incertidumbre de los valores de entrada a los cálculos y la imperfección de los modelos matemáticos, que son versiones aproximadas de la realidad.

Cualquier cálculo de seguridad debe ir acompañado de un análisis de incertidumbre de sus resultados. Incluso los llamados cálculos conservadores, en los que algunas variables y modelos predictivos se eligen con criterio pesimista (es decir, con el objetivo de mayorar la severidad de los resultados), llevan implícito un análisis de incertidumbre. En efecto, para saber cuáles son los valores conservadores de una variable es necesario conocer su incertidumbre o, al menos, acotarla.

Las incertidumbres de las variables de entrada se «propagan» a través de un cálculo y dan lugar a incertidumbres de los resultados del cálculo (figura 2). Existen diversas técnicas para realizar la modelación de la incertidumbre y su propagación a través de cálculos. Se utilizan, por ejemplo, en las llamadas «metodologías BEPU» (*Best Estimate Plus Uncertainty*),

que cada vez se aplican más en los análisis deterministas de seguridad de plantas nucleares [8].

Por otra parte, la toma de decisiones reguladoras necesita también la consideración y el análisis de la incertidumbre.

Un compañero inseparable del análisis de incertidumbre, especialmente el aplicado a cálculos, es el análisis de sensibilidad; el primero calcula la incertidumbre de una cantidad física, y el segundo indica cómo se reparte esa incertidumbre entre sus distintas fuentes. Por ejemplo, una vez estimada la incertidumbre de una cantidad calculada, el análisis de sensibilidad estima qué proporción de esa incertidumbre se debe a la propagación desde cada parámetro incierto. Con respecto a su conexión con el análisis de incertidumbre, pueden considerarse dos formas de análisis de sensibilidad:

- *A priori*: cuando sirve para seleccionar aquellos parámetros (de entrada y de modelos) que más contribuyen a la incertidumbre de los resultados de seguridad, y focalizar en ellos el análisis de incertidumbre. Se puede describir como un «análisis de importancia» de los parámetros.
- *A posteriori:* tras el análisis de incertidumbre, se pueden utilizar sus resultados para hacer un análisis de sensibilidad, cuyo primer objetivo es validar los resultados del análisis de importancia *a priori*. Además, este proceso suele ser más complejo, detallado y preciso que el análisis *a priori*.

Los análisis de incertidumbre y sensibilidad (AI&S) son omnipresentes y fundamentales en la SN y PR. Este carácter transversal justifica la existencia en el CSN de una comunidad del conocimiento al respecto.

Comunidad del conocimiento de análisis de incertidumbre y sensibilidad en el CSN

La comunidad del conocimiento de análisis de incertidumbre y sensibilidad (CCIS) del CSN fue creada en noviembre de 2021 por un grupo de técnicos del propio organismo, con la intención de aprovechar el establecimiento y fomento de las CC por parte de la unidad IDGC. La comunidad se creó con la «configuración mínima» prevista en el *Manual de creación (y gestión) de comunidades de conocimiento en el CSN* [5], que comprende las figuras de espónsor, líder y equipo motor (formado en este caso por tres personas). El CSN autorizó el funcionamiento de la CCIS, organizó una sesión telemática para su presentación y le proporcionó un espacio de red para almacenamiento de información.

Desde su creación, la CCIS tiene las siguientes características (algunas de las cuales podrá compartir con

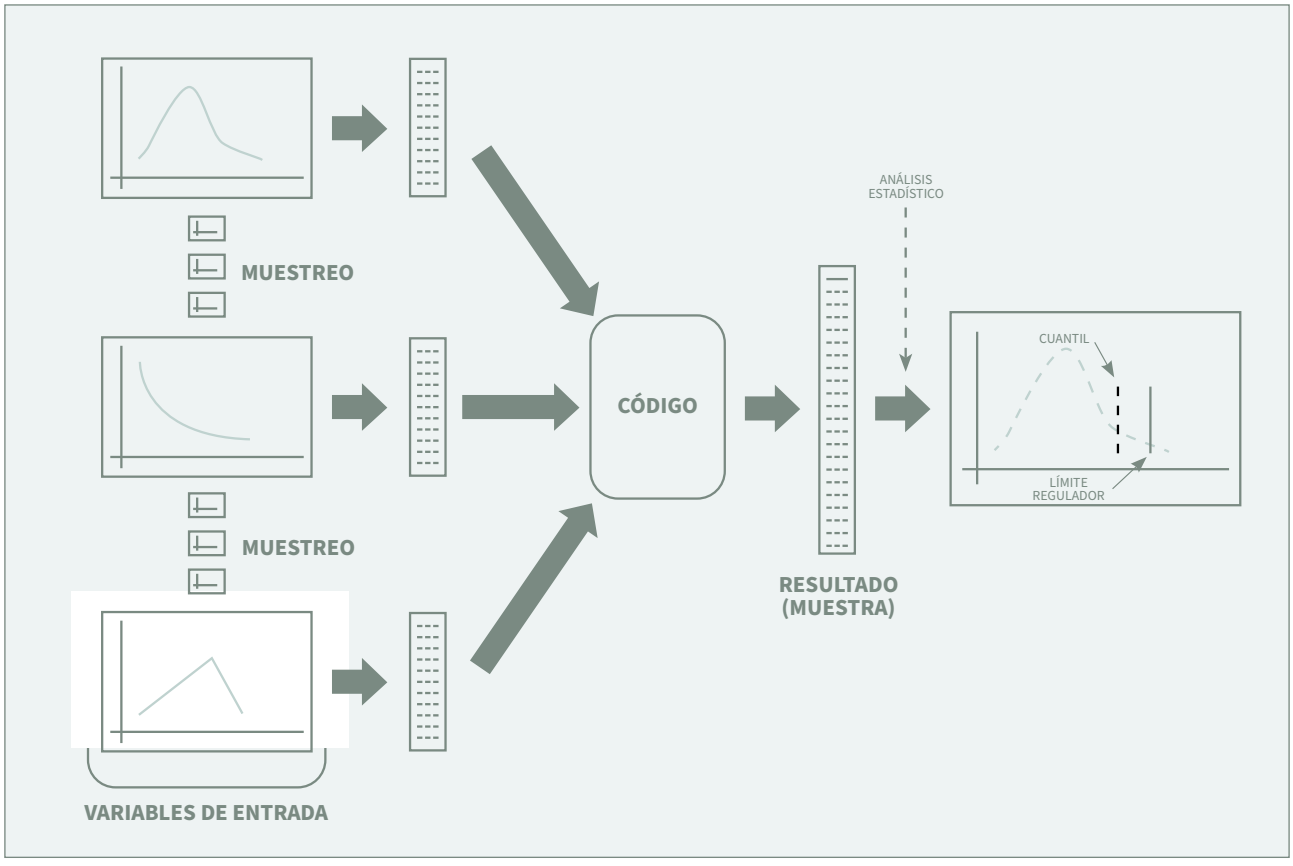


Figura 2. Propagación de incertidumbre en un análisis BEPU. *Fuente:* R. Mendizábal (2023). *Alfa, 56*. Consejo de Seguridad Nuclear.

Tabla 1. **Diferencias entre comunidad del conocimiento y grupo de trabajo**

	GRUPO DE TRABAJO	COMUNIDAD DEL CONOCIMIENTO
Duración	Limitada	Indefinida
Temática	Específica	Transversal
Pertenencia	Seleccionada	Abierta/Voluntaria
Creación	Desde arriba	Desde abajo

otras comunidades, dentro o fuera del CSN):

- Es un grupo dedicado a una disciplina transversal en SN y PR; es decir, está presente en todos los campos de estas ciencias.
- Es un grupo estable, de duración indefinida.
- La pertenencia a la comunidad y la colaboración con ella son completamente voluntarias y están completamente abiertas a cualquier técnico del CSN. Esto le confiere una caracterización de nivel de madurez inicial, dado que las comunidades que más se acercan al papel de producción de resultados se suelen establecer con una membresía predefinida a la que se puede solicitar entrada, pero con un nivel muy alto de dominio de la temática específica.
- Se ha diseñado con una mínima estructura jerárquica por motivos de organización, pero la jerarquía real la establece el conocimiento. De hecho, y dentro de la estructura del CSN, la comunidad se ha creado «desde abajo», y no «desde arriba».
- Los productos de la comunidad deben ser accesibles a todos los técnicos del CSN y (salvo por motivos de confidencialidad y protección de datos) a organizaciones externas interesadas.

Es patente la diferencia (ilustrada en la tabla 1) entre la CC y los grupos de trabajo habituales en el CSN y otros organismos.

Para su desempeño, la CCIS se configuró atendiendo a atributos de espíritu cooperativo, buscando mejorar procesos, estimulando el desarrollo de competencias de los miembros o interesados, creando lazos y agendas compartidas para promover la transferencia de conocimiento y, en lo posible, interaccionando con otras CC. Con todo, la CCIS se ha marcado dos objetivos generales:

- Mejorar el conocimiento, aplicación y manejo de las técnicas de análisis de incertidumbre y sensibilidad (AI&S) en el CSN, como tema transversal que afecta a todas sus áreas.
- Establecer en el CSN un grupo estable de estudio, discusión e intercambio sobre métodos AI&S en seguridad nuclear y protección radiológica, especialmente en el terreno regulador.

A partir de ahí, se definen sus objetivos específicos:

- Conocer el estado del arte de las técnicas de AI&S en seguridad nuclear y protección radiológica
- Dentro del CSN:
  - Identificar el conocimiento, uso e implantación de las técnicas AI&S.
  - Identificar necesidades de formación, mejora e innovación.
  - Identificar nuevas líneas de estudio para su posible aplicación.
  - Organizar jornadas, cursos y otros eventos sobre la materia.
  - Poner en valor trabajos ya realizados sobre la materia, así como la formación de los técnicos en ese campo previa a su trabajo en el CSN.
  - Valorar y fomentar la presencia del AI&S en las líneas de investigación que se abordan en los convenios y las subvenciones del CSN.
- Establecer contactos con grupos de trabajo y grupos homólogos en otros organismos e instituciones.
- Establecer un consenso sobre aplicaciones informáticas para el trabajo en AI&S.
- Desarrollar documentos divulgativos alineados con el cumplimiento de las obligaciones del CSN en materia de información al público.

Este catálogo de objetivos específicos da idea del importante frente de actuación que puede tener una CC, evidenciando el potencial de conocimiento que puede movilizarse y el efecto en las competencias individuales y organizativas del CSN. Desde que comenzó su actividad, a comienzos de 2022, los trabajos de la CCIS se han desarrollado en tres categorías:

- Consolidación y puesta en funcionamiento del grupo.
- Entrevistas con técnicos que trabajan en el CSN y, eventualmente, con otros externos al CSN.
- Participación y presentación de ponencias en congresos, jornadas y reuniones.

Entrevistas con técnicos del CSN y externos

La herramienta básica que está empleando la CCIS para alcanzar sus objetivos específicos (en especial los cuatro primeros) es la entrevista con técnicos del CSN. Los entrevistados se han seleccionado de acuerdo con varios criterios:

- Pertenencia a áreas en las que el AI&S es especialmente importante, o en las que se están haciendo trabajos de especial relevancia en este campo.

- Conocimientos del técnico en el campo de AI&S.
- Predisposición del técnico a ser entrevistado (voluntariamente) y a hablar sobre su trabajo, y sobre la aplicación de técnicas AI&S (incluyendo posibles líneas de mejora).

La CCIS ha realizado entrevistas (presenciales y telemáticas) a técnicos de varias áreas del CSN. También ha llevado a cabo una entrevista a un investigador universitario no perteneciente al CSN, con experiencia en técnicas de AI&S, expresando así la vocación de la comunidad en mantener contactos con grupos de trabajo y comunidades homólogas de otras instituciones.

Las entrevistas son voluntarias, y abiertas a quien quiera realizarlas, algo que se considera esencial en la CCIS. Sus resultados han sido muy satisfactorios, evidenciando que son un instrumento adecuado en la tarea de conocer las técnicas de AI&S en el dominio de la seguridad nuclear y protección radiológica, y en la exploración de posibles asesoramientos y colaboraciones, algo que puede contribuir a la mejora de los trabajos del organismo regulador. En algunos casos, las personas entrevistadas han solicitado algún asesoramiento por parte de la CCIS.

Participación en congresos, jornadas y reuniones

Un objetivo importante de la CCIS es mantener un contacto exterior frecuente. Eso significa, como ya se ha dicho, el establecimiento de relaciones con grupos relacionados u homólogos. Pero también significa la asistencia a eventos, como son reuniones y jornadas técnicas, congresos, etc., y la divulgación en ellos de sus trabajos y resultados.

En noviembre de 2022, la CCIS presentó una ponencia en un congreso internacional sobre métodos probabilistas, focalizado en (pero no limitado a) los métodos existentes en el ámbito nuclear. El término «análisis probabilista» es casi sinónimo de «análisis de incertidumbre», porque, en el campo de la seguridad nuclear y protección radiológica, la modelación de la incertidumbre es típicamente probabilista. Para preparar su ponencia, la comunidad recabó información de varias áreas del CSN en las que se evalúan o utilizan métodos probabilistas. La ponencia se presentó en el marco de un «panel regulador» organizado como parte del congreso, y en el que participaron representantes de las autoridades reguladoras de EE. UU., Reino Unido, Canadá, Japón, Corea y España [6].

En octubre de 2023, la CCIS presentó una ponencia en la 48.ª Reunión Anual de la Sociedad Nuclear Española (SNE), con una descripción del establecimiento y los objetivos de la comunidad y de los trabajos realizados [7].

La CCIS continuará asistiendo a este tipo de foros, con el objetivo de divulgar su trabajo y plantear posibles colaboraciones.

Epílogo

Las comunidades de conocimiento son una formalización reciente de una idea muy antigua en la historia del conocimiento humano. Surgen de la convergencia entre la gestión del conocimiento y el intercambio social. Como otras organizaciones, el CSN ha introducido recientemente en su estructura la figura de las CC, y está promoviendo su establecimiento y desarrollo. La CC de análisis de Incertidumbre y Sensibilidad (CCIS) existe en el CSN desde noviembre de 2021, y se concibe como un grupo estable de estudio, discusión e intercambio sobre métodos de análisis de incertidumbre y sensibilidad (AI&S) en seguridad nuclear y protección radiológica, especialmente en el terreno regulador.

La experiencia de funcionamiento de la CCIS está confirmando la utilidad que las CC pueden tener para el CSN y para otras organizaciones. ■

BIBLIOGRAFÍA

1) Wenger-Trayner, E. y B. (2015, junio). *Introduction to communities of practice. A brief overview of the concept and its uses.* Disponible en: https://www.wenger-trayner.com/introduction-to-communities-of-practice/
2) Nonaka, y Takeuchi, H. (1995). *The knowledge creating company.* New York: Oxford University Press.
3) Penas Rial (2023). «Desarrollando el conocimiento a través de comunidades de práctica ágiles». *Linkedin.* Disponible en: https://www.linkedin.com/pulse/desarrollando-el-conocimiento-través-de-comunidades-arturo-penas-rial/l
4) González, Néstor (2022). «Comunidades de práctica. Colaboración en Acción». *ICA2*. Disponible en: https://www.ica2.com/es/blog/comunidades-de-practica
5) ICA2 Innovación y Tecnología y CSN (2019, febrero). *Manual de creación (y gestión) de comunidades de conocimiento en el CSN.*
6) Mendizábal, R.; García, M.; Jiménez, A.; Meléndez, E. y Sánchez, M. (2022). «The evolving perception of probabilistic applications in the nuclear regulatory environment. (Probabilistic analyses in nuclear safety in Spain)». *Regulatory Panel in 4th International Symposium on Probabilistic Methodologies for Nuclear Applications.* Leicester, UK. November 1-3.
7) Mendizábal Sanz, R. *et al.* (2023). «Análisis de incertidumbre y sensibilidad: una comunidad de conocimiento en el Consejo de Seguridad Nuclear». *48.ª Reunión Anual de la Sociedad Nuclear Española.* Toledo, 4-6 de octubre de 2023.
8) Mendizábal, R. (2023). «Una descripción de las metodologías BEPU de análisis de accidentes». *Alfa,* 56, diciembre. Consejo de Seguridad Nuclear. Disponible en: https://www.csn.es/csn/revista-alfa/56/-/asset_publisher/a75f/content/una-descripcion-de-las-metodologias-bepu-best-estimate-plus-uncertainty-de-analisis-de-accidentes
9) Comisión de Energía, Turismo y Agenda Digital (2017). *Resoluciones al Informe del Consejo de Seguridad Nuclear.* Años 2014 y 2015, 28 de junio. Disponible en: https://www.csn.es/documents/10182/27673/TABLA.+Resoluciones+de+la+Comisión+de+Industria+del+Congreso+de+los+Diputados+al+Informe+del+CSN.+Año+2014-2015 ■

¿Qué son los descubrimientos si no se transmiten?

El papel de la divulgación en la ciencia

Texto: **Isabel Alonso**

Sin la capacidad humana de comunicarse, la ciencia estaría aislada, reducida a cada cosmos individual. Sin embargo, el ser humano no es homogéneo y su lenguaje tampoco. Los sonidos cambian, los conceptos varían y los idiomas influyen en la comprensión particular de la realidad.

El Museo de la Evolución Humana, en Burgos, muestra restos hallados en la Sima de los Huesos de Atapuerca con una característica muy particular: corresponden a individuos que no podrían haber sobrevivido en un medio como el de la sierra burgalesa, hace más de 400 000 años, debido a las enfermedades que les aquejaban. Y sin embargo, lo hicieron. ¿Gracias a qué? A que el resto de los componentes del grupo cuidó de ellos.

Este ejercicio de solidaridad constituye, según la antropóloga estadounidense Margaret Mead, el primer signo de civilización de la humanidad, y diferenció a los homínidos del resto de los animales. A partir de aquel momento, una fractura ósea o un avanzado desgaste dental dejaron de ser sentencias de muerte y las sociedades prehistóricas comenzaron a volverse más complejas. Fue entonces cuando surgió el elemento que marcaría el punto de inflexión en el desarrollo humano: el lenguaje. Desde una forma primitiva de comunicación, basada en gestos y gruñidos, evolucionó hasta formar las primeras palabras —monosílabas— que permitieron transmitir el conocimiento de generación en generación y que, según el estudio del arqueólogo británico Steven Mithen, *The Language Puzzle* (2024), es posible que surgieran ocho veces antes de lo que se creía, en torno a 1,5 millones de años en África.

La evolución lingüística hizo que los primeros humanos tuvieran mayor capacidad de planificación, coordinación y pensamiento complejo, por lo que desarrollaron herramientas más sofisticadas y conceptos abstractos, como los asociados a los ritos funerarios que todavía se pueden intuir en los enterramientos; acababan de convertirse en una sociedad humana, tal como hoy se concibe.

Sin embargo, no era un lenguaje universal ni homogéneo: los fac-

tores ambientales condicionaron, en cierto modo, la producción de los sonidos. Es aquí donde aparece el concepto de adaptación acústica. Esta hipótesis, en un primer momento utilizada para estudiar el canto de las aves, plantea que, dependiendo de las características físicas y climáticas del entorno, determinadas frecuencias de onda son más eficaces para la transmisión de sonidos que otras.

Ian Maddieson, investigadora de la Universidad de Nuevo México, concluye que aquellos idiomas que se originaron en selvas, con densidad arbórea importante, tienden a utilizar más sonidos de baja frecuencia y vocales, mientras que los que surgieron en zonas más abiertas, donde las ondas pueden propagarse con más facilidad, utilizan sonidos más agudos y consonantes. También otros factores ambientales, como la altura, influyen en la frecuencia consonántica y su agrupación en sílabas. De este modo, idiomas como el hawaiano, desarrollado en un clima tropical, es pródigo en vocales, mientras que el georgiano, hablado en zonas montañosas, es rico en consonantes.

Otros elementos a tener en cuenta son la temperatura y la humedad. Las características físicas del aire influyen en la transmisión de las ondas sonoras, provocando que en determinados climas unos sonidos se produzcan y escuchen mejor que otros. En 2023, el equipo de lingüistas liderado por Søren Wichmann afirmó que la sequedad del aire frío dificulta la pronunciación de sonidos sonoros, que requieren la vibración de las cuerdas vocales. De forma inversa, el aire caliente tiende a limitar la pronunciación de sonidos sordos. Esto hace que la sonoridad de los idiomas varíe y los índices más altos se den en las lenguas de Oceanía y África, con algunas excepciones que sugieren que los cambios en la sonoridad son muy lentos.

El lenguaje satisfizo la necesidad de comunciación de los primeros grupos humanos y les permitió evolucionar hacia sociedades más complejas

En la Antigua Grecia no existía el término azul, pese a vivir de cara al Mediterráneo

> *Dependiendo del idioma en el que una persona configure la realidad, cambia su percepción del mundo"*

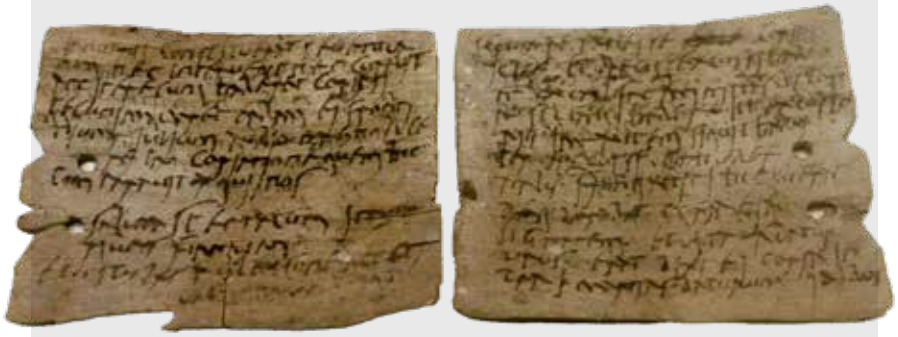
Palabras que dan forma a la realidad

Desde que nacen, las personas están rodeadas de conceptos y palabras que influyen en la forma de concebir el mundo. Tal como afirma la investigadora en ciencia cognitiva Lera Boroditsky, «recibimos fotones a través de los ojos, ondas de presión a través de los oídos, moléculas a través de la lengua y la nariz [...]; pero de esos simples estímulos físicos pasamos a reflexionar sobre ideas como la justicia, la verdad, el amor y todo ese conjunto de conceptos complejos. [...] el lenguaje [es] esta habilidad para crear sistemas de comunicación complejos, que también son sistemas para el propio pensamiento». De hecho, dependiendo del idioma en el que una persona configure la realidad, su percepción del mundo cambia.

Hace más de dos mil quinientos años, en las costas añiles del Egeo, las musas inspiraron a Homero para narrar la cólera del pélida Aquiles ante las murallas de Troya con una particularidad: su percepción del color no era la misma que se transmite con los principales idiomas que existen en el mundo en la actualidad. Aunque las naves eran negras, el mar era «vino oscuro» y el azul, que tanta importancia cobró en los siglos posteriores –basta citar el precio del azul egipcio en la Antigua Roma o del ultramarino antes de que se pudiera hacer de forma sintética–, no aparece ni una sola vez en la *Ilíada* o en la *Odisea*. Como no tenían una palabra específica para definir esa tonalidad, no la diferenciaban de otros colores y solían incluirla dentro del negro. En el caso opuesto está el ruso, que distingue el azul claro del oscuro con dos palabras diferenciadas, lo que provoca que los perciban como colores independientes y tengan mucho más claro dónde acaba uno y comienza el otro.

La capacidad del lenguaje para influir sobre la concepción que cada persona tiene del mundo también afecta a conceptos abstractos, como el «tiempo». En la mayoría de los idiomas europeos, el tiempo se representa de forma lineal, de izquierda a derecha, con puntos que marcan hechos importantes. El pasado es lo que queda atrás y el futuro lo que vendrá. No obstante, eso no es universal. Para los aymaras, una población andina, el

Tablillas de Vindolanda. Desde la invención de la escritura, el lenguaje se ha plasmado en soportes de todo tipo. Tablillas de barro, inscripciones en piedra, pergaminos, placas de metal, hojas de papiro o papel son algunos de los materiales que han permitido conservar el conocimiento, pero también perderlo: si el soporte es orgánico, el tiempo acaba por destruirlo. Por eso, cuando se encontraron unas tablillas de madera del siglo I en el fuerte romano de Vindolanda (Reino Unido), cubiertas de letras perfectamente legibles, la sorpresa fue mayúscula. En la más famosa, Claudia Severa invita a Sulpicia Lepidina, esposa del comandante de una de las cohortes, a su fiesta de cumpleaños.



Papiros de Herculano. Mil setecientos son los rollos de papiro que se conservan de la villa de los papiros, en Herculano. Carbonizados en la erupción del Vesubio que arrasó Pompeya y los asentamientos cercanos, conservan en su interior parte del saber perdido de la Antigüedad. Gracias al uso de un sincrotón para generar rayos X de altísima energía que atraviesen el papiro sin dañarlo, los investigadores del Vesuvius Challenge han obtenido imágenes de alta resolución que, analizadas mediante inteligencia artificial, han devuelto a la luz palabras ocultas desde hace casi dos mil años.

futuro es lo que «queda detrás», ya que, como no pueden verlo, consideran que está a su espalda; para los griegos, el tiempo es tridimensional, como una forma que puede llenarse o vaciarse, de modo que sus reuniones no son «breves», sino «pequeñas».

Sin embargo, ¿puede influir el concepto lineal del tiempo en la forma de entender la física? Para Daniel Casasanto, neurocientífico cognitivo, la respuesta es quizá. Los hablantes de inglés, alemán y francés fueron fundamentales en la creación de la física del tiempo, de manera que lo concebían como una flecha que va desde el pasado al futuro, pero las teorías modernas difieren en esta cuestión. La teoría

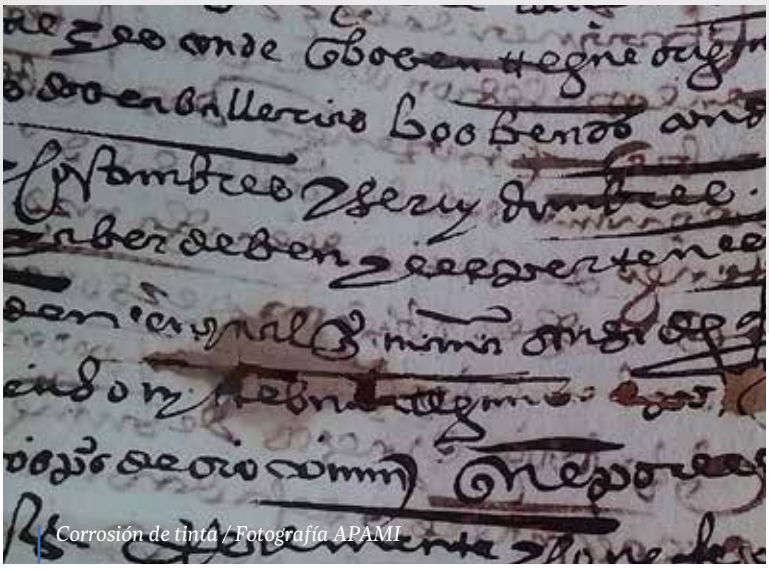
Carlos Linneo

Nomenclatura binominal

Durante muchos siglos, el idioma de la ciencia y la educación en Europa fue el latín. En los textos científicos, cada elemento de la naturaleza recibía un nombre para distinguirlo de los demás. Sin embargo, con el avance del conocimiento, las exploraciones y los descubrimientos, las nomenclaturas que se utilizaban comenzaron a volverse un caos, de modo que podían existir dos o tres nombres en latín para una misma planta.

Por eso, en 1753, Carlos Linneo, botánico y zoólogo sueco, publicó el primer volumen de Species plantarum, donde recogía todas las especies de plantas que se conocían en aquella época y proponía un nuevo sistema para nombrarlas: la nomenclatura binomial. Compuesta por dos nombres donde el primero identifica al género y el segundo a la especie, supuso el establecimiento de un sistema universal que transformó el mundo de la ciencia.

La tinta ferrogálica. Hierro, agallas de roble y goma arábiga son los ingredientes básicos de la tinta más utilizada en Europa, del siglo III d. C. al XIX. El hierro, al reaccionar con el resultado de la maceración de las agallas, ricas en taninos, crea un líquido espeso y oscuro, que se fija al soporte sobre el que se pretenda escribir gracias a la goma arábiga, aunque con el tiempo acaba también dañándolo. Las recetas para elaborar esta tinta han ido variando para adaptarla al soporte final (añadiendo aditivos para espesarla, proporcionarle más brillo o fijar mejor el color) o para evitar que se enmoheciera (con alumbre o vinagre).



Corrosión de tinta / Fotografía APAMI

Manuscrito Voynich. El lenguaje no solo se utilizó para difundir el conocimiento. También para ocultarlo y hacerlo accesible para unos pocos elegidos. Manuscritos, documentos y textos encriptados, que revelan sus secretos una vez descubierto su código, hay muchos a lo largo de la historia, pero pocos tan fascinantes como el de Voynich, escrito en el siglo XV. Conservado en la sección de libros raros de la Universidad de Yale, sus 232 páginas contienen dibujos de plantas, astros y símbolos alquímicos rodeados de palabras en un idioma que nadie ha conseguido todavía descifrar.

© The Lazarus Project and The Chester F. Carlson Center for Imaging Science at Rochester Institute of Technology

Los descubrimientos no pueden considerarse como tales si no se transmiten

de la relatividad de Einstein hizo que el concepto perdiera la rigidez que le dan estos idiomas y creó un problema que todavía no tiene solución. Tal vez, como aventura Casasanto, «el tiempo como metáfora de la línea ha sido, y sigue siendo, un freno a la física».

Cuando la lengua habla de ciencia

Los descubrimientos no pueden considerarse como tales si no se transmiten, por lo que los procesos comunicativos tienen un papel fundamental para la ciencia. Con el desarrollo científico y tecnológico se hizo evidente la necesidad de contar con una forma de comunicación que permitiera transmitir el conocimiento de manera efectiva: los lenguajes de especialidad. Cada uno de ellos, que en realidad son variantes pragmáticas de la lengua, se refieren a una parte específica del conocimiento. Aunque posean una estructura y cierta información compartida con la legua general, utilizan términos especializados de valor monosémico para evitar la ambigüedad. No obstante, esto no es una garantía total contra la polisemia, ya que en la práctica existen tecnicismos que se aplican a varios campos de especialidad con significados diferentes.

Toda esta complejidad hace que sea difícil comunicar la ciencia si no se atiende a un aspecto clave: su finalidad. No es lo mismo dirigirse a un experto que a alguien ajeno a la materia, por lo que hay que tener en cuenta el contexto comunicativo y elegir el nivel de complejidad que se utilizará según las necesidades de cada situación.

Entender la ciencia es esencial para apreciarla, protegerla y fomentarla, y el lenguaje es el puente que permite que el conocimiento científico

> *"Entender la ciencia es esencial para apreciarla, protegerla y fomentarla, y el lenguaje es el puente que permite que el conocimiento científico llegue a todo el mundo"*

llegue a todo el mundo. Por eso, la divulgación cobra especial importancia al permitir que la ciencia no quede restringida a una parte de la población, sino que pase a formar parte del conocimiento humano.

Bibliografía

Boroditsky, L. (S. f.). La importancia de elegir la palabra adecuada. *BBVA*. Disponible en: https://aprendemosjuntos.bbva.com/especial/espacio-y-tiempo-una-cuestion-de-lengua-lera-boroditsky/

Connor, S. (2015). Human languages could have evolved to suit natural habitats in which they were originally spoken, says study. *Independent*. Disponible en: https://www.independent.co.uk/news/science/human-languages-could-have-evolved-to-suit-natural-habitats-in-which-they-were-originally-spoken-says-study-a6721241.html

Frankel, M. y Warren, M. (2022). The weird way language affects our sense of time and space. *BBC*. Disponible en: https://www.bbc.com/future/article/20221103-how-language-warps-the-way-you-perceive-time-and-space

Gaya-Sancho, B y Fernández, P. (2023). Cuidar a los demás nos hizo humanos. *The Conversation*. Disponible en: https://theconversation.com/cuidar-a-los-demas-nos-hizo-humanos-217464

https://www.researchgate.net/publication/283241694_Human_spoken_language_diversity_and_the_acoustic_adaptation_hypothesis

Keys, D. (2024). Nuevo estudio arroja luz sobre los misterios del origen del lenguaje [en línea]. *Independent*. Disponible en: https://www.independentespanol.com/noticias/ciencia/lenguaje-humano-estudio-origenes-hablar-b2515040.html

Llácer, E. y Ballesteros, F. (2012). El lenguaje científico, la divulgación de la ciencia y el riesgo de las pseudociencias. *Quaderns de Filologia. Estudis lingüístics* Disponible en: https://www.uv.es/ferbaro/papers/lenguaje.pdf

Maddieson, I, y Coupé, C. (2015). Human spoken language diversity and the acoustic adaptation hypothesis. *Proceedings of Meetings on Acoustics*, vol. 25. Disponible en:

Maddieson, I. (2018). Language Adapts to Environment: Sonority and Temperature. *Frontiers*, 3. Disponible en: https://www.frontiersin.org/journals/communication/articles/10.3389/fcomm.2018.00028/full

Ventura. D. (2016). ¿Por qué muchas civilizaciones antiguas no reconocían el color azul? *BBC Mundo*. Disponible en: https://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/02/160217_griegos_color_azul_finde_dv

Wichmann, S. *et al.* (2023). Temperature shapes language sonority: Revalidation from a large dataset. *PNAS Nexus*, 2(12). Disponible en: https://academic.oup.com/pnasnexus/article/2/12/pgad384/7457938?login=false

LA NUEVA VIGENCIA DE LAS LICENCIAS DE OPERADOR Y SUPERVISOR DE INSTALACIONES RADIACTIVAS

DISTINTAS DE LAS DEL CICLO DEL COMBUSTIBLE NUCLEAR A PARTIR DEL REAL DECRETO 1217/2024

Texto: **María J. Pinos Cabezas** - Jefa de Área de Licencias y Formación
Subdirección de Protección Radiológica Operacional

El Real Decreto 1217/2024, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas, y otras actividades relacionadas con la exposición a las radiaciones ionizantes, modifica la vigencia de las licencias de operador y supervisor de instalaciones radiactivas distintas de las del ciclo de combustible nuclear.

Desde la entrada en vigor del citado Real Decreto, estas licencias tendrán un plazo de validez de diez años (cf. art. 69) y se renovarán por periodos de diez años, como máximo (cf. art. 74), en lugar de los cinco años que establecía la anterior normativa.

Además, el referido Real Decreto introduce por vía de derecho transitorio una renovación automática de estas licencias. En efecto, la Disposición Transitoria Segunda prevé que las licencias de operador y supervisor que se encuentren vigentes el día 5 de diciembre de 2024 (fecha de entrada en vigor del R.D. 1217/2024) quedarán renovadas hasta cumplir diez años desde la fecha de su emisión o de su última renovación.

Dado el carácter automático de la renovación de la licencia que prevé la Disposición Transitoria Segunda del citado Real Decreto, conviene recordar la posibilidad, en su caso, de cesación de la vigencia de la licencia «por renuncia del titular» de la misma (cf. art. 75-*d*).

CUESTIONES CONCRETAS A PROPÓSITO DE LA NUEVA VIGENCIA DE LAS LICENCIAS

Determinación de la nueva fecha de caducidad de las licencias beneficiadas por la renovación prevista en la D.T. 2.ª del Real Decreto 1217/2024.

- Caducará la licencia el día en que se cumplan diez años desde la fecha de su emisión o de su última renovación.

Validez de las licencias de operador y supervisor que expresan fechas ya caducadas, en función de lo previsto en la D.T. 2.ª del Real Decreto 1217/2024.

- El CSN no remite a las personas en posesión de licencia de supervisor u operador de instalaciones radiactivas una nueva licencia expresando su nueva fecha de caducidad.
- Se podrá demostrar la vigencia de la licencia en casos de requerimiento de agentes de la autoridad u otras instancias, aportación documental para oposiciones y concursos, bolsas de trabajo, etc., adjuntando a la licencia la Circular n.º 1/25 relativa al periodo de vigencia de las licencias de operador y supervisor de instalaciones radiactivas, publicada por el CSN en su web institucional.

Base de datos de registro de licencias del CSN

En la base de datos de registro de licencias de operador y supervisor concedidas por campo de aplicación y la instalación a la que se aplican, que mantiene el CSN, constan ya las nuevas fechas de caducidad de las respectivas licencias, en función de la renovación prevista en la D.T. 2ª del Real Decreto 1217/2024. Esto ha supuesto la modificación de la vigencia de casi diecisiete mil licencias.

Solicitud de renovación de la licencia de supervisor u operador

Los interesados solicitarán la renovación con dos meses de antelación a la fecha de caducidad de su licencia en vigor. A tal efecto, deberá considerarse el nuevo periodo de vigencia introducido por la D.T. 2.ª del Real Decreto 1217/2024.

Características de las licencias de supervisor u operador

Estas licencias mantienen su carácter personal e intransferible y específicas por campo de aplicación. El Consejo de Seguridad Nuclear establecerá los campos de aplicación en que deben encuadrarse las actividades del personal con licencia, sobre la base de los diversos tipos de instalación según su finalidad.

Devolución de la tasa a titulares de las licencias renovadas al amparo de la D.T. 2.ª del R.D. 1217/2024

Solo los solicitantes de renovación de licencia cursada con anterioridad a la fecha de entrada en vigor del R.D. 1217/2024 (5 de diciembre de 2024), que resulten renovadas en virtud de lo previsto en su D.T. 2.ª, tendrán derecho a la devolución del importe de la tasa.

La Subdirección de Protección Radiológica Operacional del CSN ha publicado en la web institucional del organismo contestaciones a PREGUNTAS FRECUENTES en relación con la vigencia de las licencias tras la publicación del Real Decreto 1217/2024.

Desarrollo de una metodología para evaluación del impacto radiológico ambiental

Almudena Real[1], Alicia Escribano[1], Javier Guillén[2]
[1]Unidad de Protección radiológica del público y del medio ambiente. ▪ Departamento de Medio Ambiente. CIEMAT
[2]Laboratorio de Radiactividad Ambiental ▪ Universidad de Extremadura (LARUEX)

A raíz de la publicación de las Recomendaciones de 2007 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), se produjo un cambio de paradigma en la evaluación del impacto radiológico en el medioambiente. Se pasó de considerar que, si el ser humano está adecuadamente protegido, el medioambiente también lo estará, a abordar la protección del medioambiente *per se*. Para una adecuada estimación y cuantificación del impacto radiológico, la ICRP introdujo el concepto de «Animales y Plantas de Referencia» (RAP, por sus siglas en inglés), definidos a nivel taxonómico de familia, con propiedades anatómicas, fisiológicas y de ciclo vital establecidas. Estos RAP se emplean habitualmente para estimar la dosis de radiación y su relación con posibles efectos adversos a nivel poblacional.

El proyecto «Regulación de la Evaluación del Impacto Radiológico Ambiental», financiado por el CSN en la convocatoria de I+D+i de 2021, tuvo como objetivo general desarrollar una metodología para la evaluación del impacto radiológico en el medioambiente. En el marco de este proyecto, se llevó a cabo una exhaustiva revisión bibliográfica de la legislación vigente y de las distintas herramientas informáticas de reconocido prestigio utilizadas para la estimación de cocientes de riesgo y tasas de dosis en la biota. Entre todas ellas, se seleccionó la herramienta ERICA como base para el desarrollo de la metodología, debido a su capacidad para incluir una gran variedad de radionucleidos potencialmente emitidos por las distintas instalaciones nucleares del país, su amplio repertorio de organismos de referencia y su enfoque gradual para la evaluación del impacto, con distintos niveles que implican diferentes grados de conservadurismo.

Además, ERICA ofrece una gran capacidad de adaptación, ya que incorpora el uso de modelos de dispersión basados en la publicación SRS-19 de la OIEA y permite la incorporación de nuevos organismos. A lo largo del proyecto, se realizaron numerosas evaluaciones del impacto radiológico ambiental, utilizando datos procedentes de distintas fuentes, como los valores reportados periódicamente en los Planes de Vigilancia Radiológica Ambiental (PVRA) de las instalaciones y los efluentes liberados por estas, considerando los diferentes tipos de ecosistemas (terrestre, acuático de agua dulce y marino).

Otro aspecto clave en la evaluación del impacto radiológico ambiental es el uso de parámetros de transferencia. Sin embargo, los datos disponibles en compilaciones internacionales, como los Technical Report Series 472 y 479 de la OIEA, presentan un significativo sesgo geográfico, con una notable ausencia de información relativa a ecosistemas de clima mediterráneo. Para abordar, al menos parcialmente, esta carencia, durante este proyecto de investigación se llevó a cabo una toma de muestras destinadas a la determinación de parámetros de transferencia en ecosistemas acuáticos de agua dulce.

La metodología desarrollada se basa en un enfoque gradual e iterativo, lo que permite optimizar el uso de recursos y aprovechar al máximo los datos disponibles para el escenario en el que se realizará la evaluación del impacto radiológico ambiental. Los diferentes niveles de evaluación presentan distintos grados de conservadurismo y requieren diferentes cantidades de datos específicos del escenario considerado (figura 1).

En cada nivel de evaluación del riesgo radiológico para la biota se llevan a cabo tres pasos básicos:

- **Paso 1.** Contexto de la evaluación: común a todos los niveles de evaluación.
- **Paso 2.** Análisis de la exposición: específico del nivel de evaluación utilizado.
- **Paso 3**. Caracterización del riesgo: específico del nivel de evaluación utilizado.

El **Paso 1** es común a todos los niveles de evaluación y consiste en definir con mayor detalle el escenario o caso de estudio a evaluar, incluyendo los siguientes elementos que conforman el contexto de la evaluación:

Figura 1. *Esquema simplificado de la metodología desarrollada para la evaluación del impacto radiológico ambiental.*

- Instalación.
- Objetivo de la evaluación.
- Ecosistema en el que se realiza la evaluación.
- Organismos presentes en el escenario: se detallan los grupos de animales y plantas que habitan en el ecosistema y que pueden estar potencialmente expuestos a las radiaciones ionizantes, prestando atención a la presencia de especies protegidas o en peligro de extinción.
- Término fuente: identificación de los radionucleidos y los tipos de radiación presentes en el escenario evaluado; determinación de sus concentraciones en los distintos compartimentos del ecosistema, especificando si corresponden a valores medidos o a estimaciones basadas en modelos de dispersión de efluentes líquidos y gaseosos.
- Vías de exposición: identificación de los mecanismos que pueden conducir a la exposición radiactiva de la biota en el escenario seleccionado.
- Fondo radiactivo: existencia de niveles significativos de radiación natural o artificial en el entorno de la instalación.
- Implicación de partes interesadas.

El **Nivel 1** (o Nivel de Cribado) de la evaluación es una fase inicial que permite determinar si, en el escenario objeto de estudio, el riesgo radiológico para la biota es despreciable o no, requiriendo una inversión mínima de recursos (económicos y de personal). Para ello, se consideran todos los radionucleidos reportados en el inventario de la instalación evaluada, los valores de los factores de transferencia (CR y K_d) y los factores de ocupación genéricos proporcionados por ERICA. Las concentraciones de actividad utilizadas en este nivel corresponden a los valores máximos medidos o, en su defecto, a las estimaciones obtenidas mediante modelos basados en los datos de los efluentes líquidos o gaseosos, como los de las SRS-19. En este nivel, se estiman los cocientes de riesgo conservador (RQ_{cons}) para cada organismo considerado, comparando las tasas de dosis totales recibidas con la tasa de dosis de referencia recomendada por OIEA/UNSCEAR/USDOE, establecida en 40 µGy/h para animales terrestres, aves, anfibios y reptiles, y 400 µGy/h para plantas y otros organismos acuáticos. De este modo, si el valor de $RQ_{cons} \leq 1$, se puede considerar que el riesgo radiológico para la biota es despreciable. En caso contrario, si se obtienen valores de $RQ_{cons} > 1$, antes de proceder al siguiente nivel de evaluación, se recomienda restar el fondo radiactivo del escenario considerado, realizar un análisis crítico de las concentraciones de actividad para determinar si la concentración máxima utilizada en la evaluación es representativa del emplazamiento o si, por el contrario, puede considerarse un dato espurio, y analizar los efectos biológicos que podrían producir las tasas de dosis estimadas en los distintos organismos de referencia categorizados en ERICA en cinco niveles: sin efecto, efecto menor, efecto moderado, efecto mayor y efecto severo. En el caso que RQ_{cons} sea superior a la unidad y los efectos se clasifiquen como moderados, mayores o severos, se pasaría al Nivel 2 de la evaluación. En cualquier caso, tanto si la evaluación finaliza en el Nivel 1 como si se avanza a niveles superiores, es fundamental la justificación de las decisiones alcanzadas, siendo este paso final de documentación esencial para garantizar la trazabilidad del proceso.

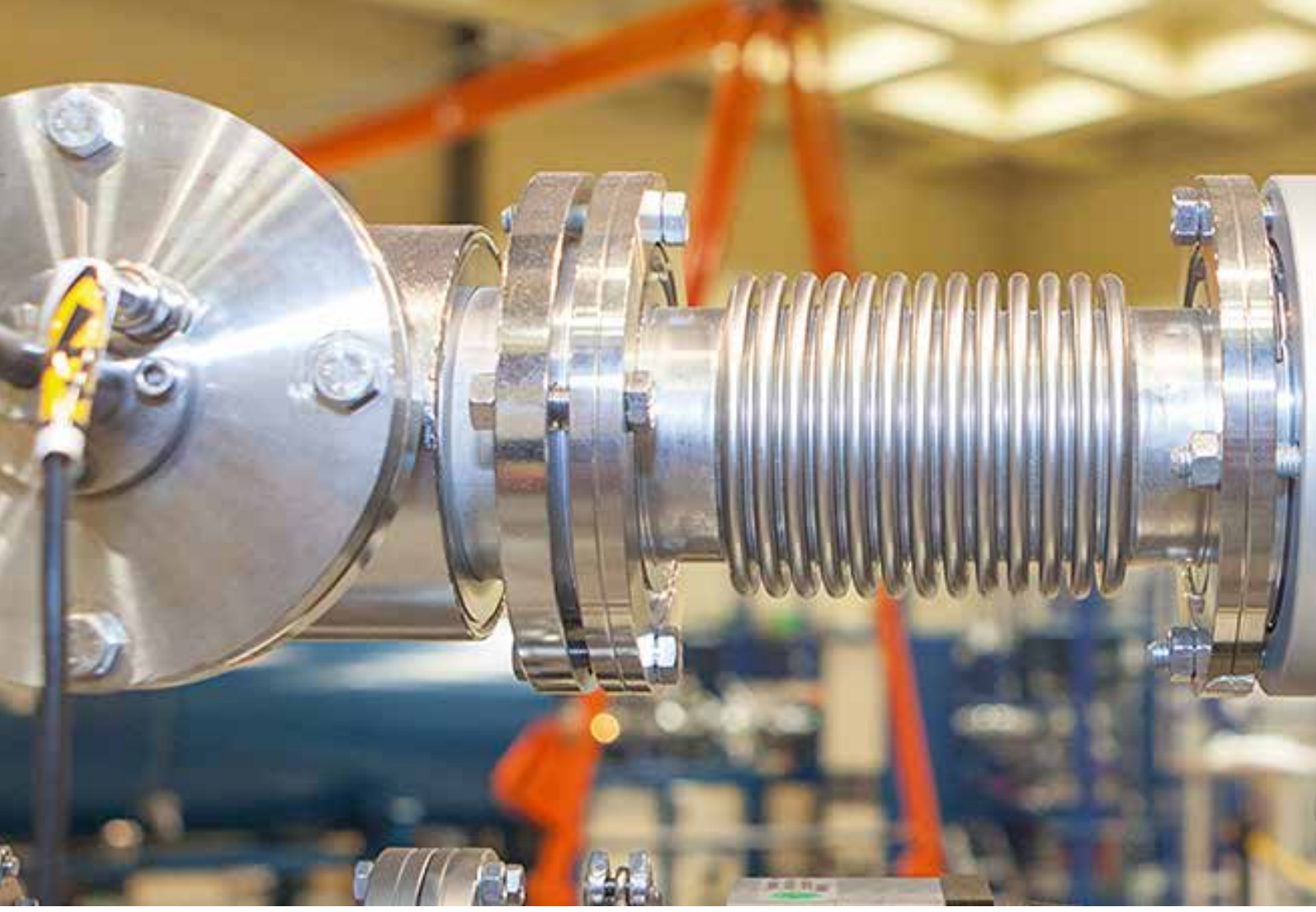
En el **Nivel 2**, se mantienen los mismos radionucleidos y organismos considerados en el Nivel 1. También se sigue el mismo criterio utilizado en el Nivel 1 para determinar las concentraciones de actividad, ya sean valores medidos o calculados a partir de los vertidos líquidos o gaseosos. Asimismo, se reduce el grado de conservadurismo, recomendando el uso de parámetros de transferencia específicos del escenario evaluado o de zonas con características climáticas similares. En cuanto a los factores de ocupación de los organismos presentes en el escenario de estudio, se recomienda verificar si los valores proporcionados por ERICA reflejan adecuadamente los hábitos de vida de dichos organismos. En caso de que se modifiquen estos factores, la justificación correspondiente debe ser documentada. Si la evaluación de Nivel 2 arroja valores de $RQ_{cons} > 1$ al utilizar los modelos de la SRS-19 para estimar las concentraciones de actividad, se puede refinar el análisis empleando modelos más avanzados con parámetros específicos de la instalación. Si, aun así, el RQ_{cons} sigue siendo superior a la unidad, se procederá al análisis de los efectos biológicos que podrían causar las tasas de dosis estimadas y, en caso de que estos se clasifiquen como moderados, mayores o severos, se recomienda realizar una evaluación de Nivel 3.

La evaluación de **Nivel 3** es altamente específica del escenario considerado, por lo que requiere gran cantidad de datos específicos tanto del lugar como de los organismos presentes. En este nivel, resulta difícil establecer recomendaciones generales sobre los pasos a seguir en la evaluación, ya que, como se ha mencionado, depende en gran medida de las particularidades del escenario estudiado. Las evaluaciones de Nivel 3 se llevan a cabo utilizando el Tier 3 de la herramienta ERICA.

Si no se dispone de datos específicos del escenario a evaluar, es necesario elaborar un plan de muestreo en las zonas que potencialmente puedan presentar un mayor impacto radiológico, con el fin de determinar las concentraciones de actividad en el medio y en los organismos, así como los parámetros de transferencia específicos para dicha área.

A diferencia de los niveles anteriores, en este es posible realizar un análisis probabilístico, utilizando tanto el valor de concentración de actividad en el medio como en los organismos, entendida esta última como la correspondiente al cuerpo entero. En el Nivel 3, ERICA estima la tasa de dosis total como la suma de la tasa de dosis externa e interna que reciben los organismos seleccionados.

Si se emplea la función probabilística, no se obtiene un único valor, sino una función de distribución de la tasa de dosis, caracterizada por un valor medio y un rango, normalmente considerando los percentiles 5-95. Estos resultados deben compararse con los valores de tasa de dosis de referencia seleccionados (debidamente justificada su selección) y revisarse la información disponible en la base de datos FREDERICA sobre los efectos biológicos radioinducidos en los organismos considerados, dentro de los rangos de tasas de dosis estimados, con el fin de determinar los posibles riesgos y su magnitud.



Centro Nacional de Aceleradores

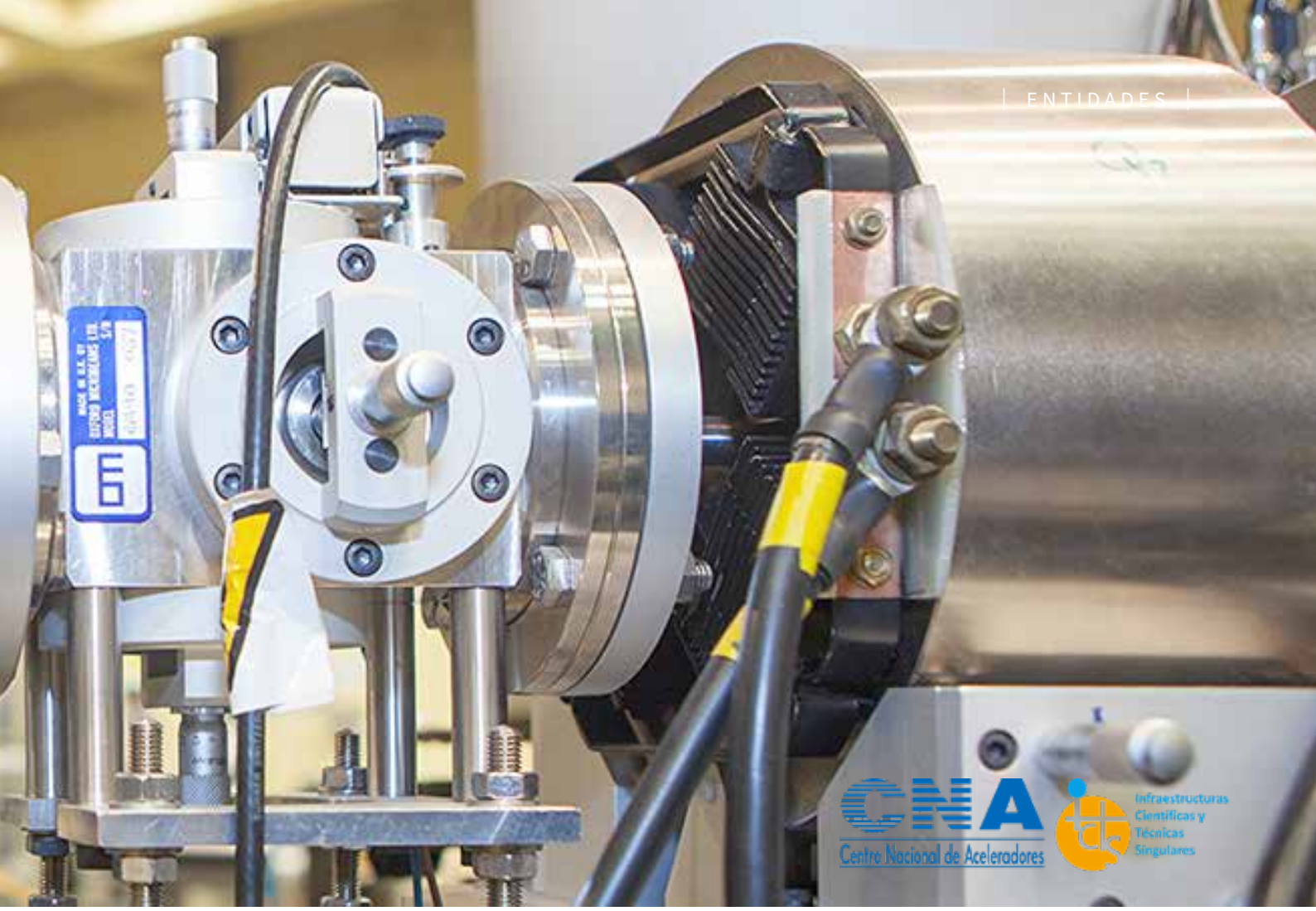
Investigación de vanguardia con impacto social

Texto: **Diego Álvarez** | Fotos: **CNA**

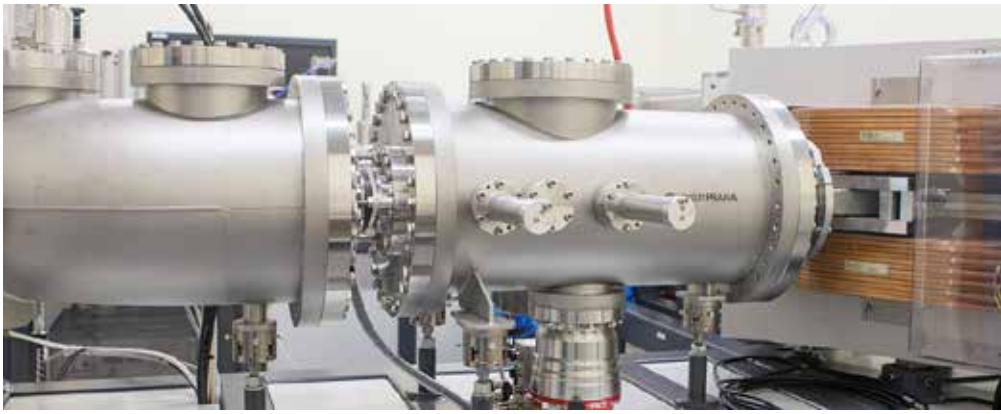
Ubicado en la capital hispalense, el Centro Nacional de Aceleradores (CNA) es un centro mixto de investigación de la Universidad de Sevilla, la Junta de Andalucía y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Su principal objetivo es el estudio interdisciplinar y el desarrollo de tecnologías basadas en aceleradores de partículas y sus aplicaciones múltiples.

Reconocido como Instalación Científico-Técnica Singular (ICTS), el CNA es la primera entidad española dedicada al estudio con aceleradores de partículas. Su misión es promover la investigación, desarrollar tecnología, capacitar científicos y técnicos, y prestar servicios en el campo de los aceleradores de partículas y sus aplicaciones.

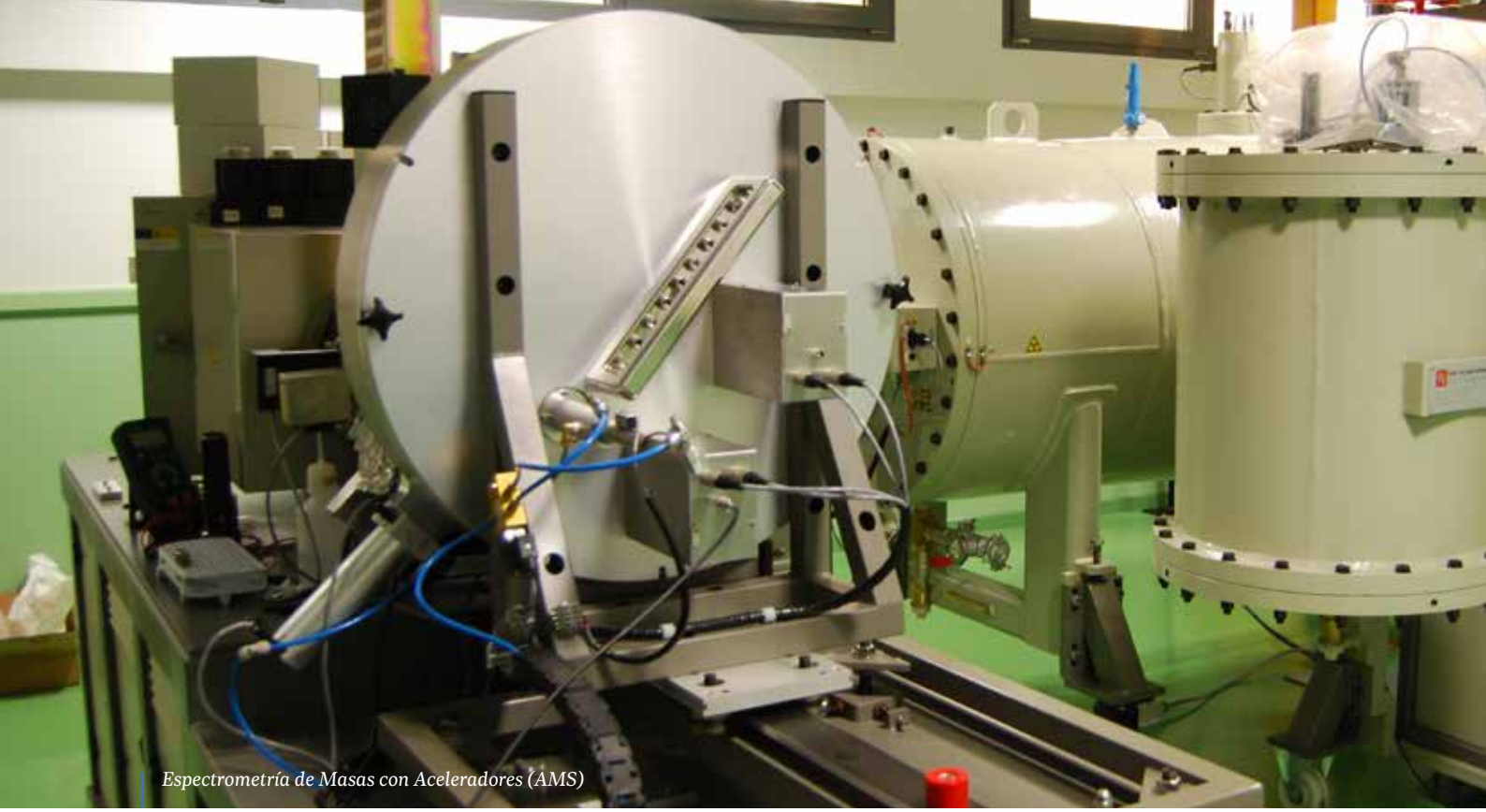
El CNA está abierto a investigadores de todo el mundo, de forma que puedan aprovechar sus infraestructuras avanzadas. Desde su creación en 1998, se ha nutrido de equipos tecnológicos de vanguardia, entre los que destacan: un acelerador Tandem Van de Graaff de 3 MV, clave en el estudio de materiales e instrumentación nuclear; un ciclotrón



que proporciona protones de 18 MeV y deuterones de 9 MeV, produce radiofármacos y se usa para irradiaciones; un acelerador tipo Tándem Cockcroft-Walton de 1 MV, para espectrometría de masas por aceleradores (AMS, por sus siglas en inglés), que permite detectar radionucleidos en el medioambiente en cantidades minúsculas; un nuevo sistema de datación por radiocarbono denominado MICaDaS; un irradiador de ^{60}Co, que emite fotones para ensayos en componentes aeroespaciales, y un escáner PET-CT, usado junto con el ciclotrón para diagnósticos médicos, especialmente en oncología. También dispone de un tomógrafo PET y TAC para pequeños animales.



Las infraestructuras y tecnologías disponibles en el centro permiten a los científicos titulares, y a la comunidad científica en general, cubrir campos tan diversos como el estudio de materiales con técnicas de análisis y modificación con ha-



Espectrometría de Masas con Aceleradores (AMS)

ces de iones, las aplicaciones de la espectrometría de masas por aceleradores en estudios medioambientales, la física nuclear y de partículas, la instrumentación nuclear, el tratamiento de imágenes médicas, la investigación biomédica e imagen molecular preclínica o datación, el diagnóstico por imagen médica en pacientes, la datación por carbono 14 o la irradiación en muestras de interés tecnológico y biológico.

Además, el centro cuenta con diversos laboratorios y un equipo técnico especializado que garantiza el mejor rendimiento de sus instalaciones. Gracias a esta infraestructura, el CNA es un referente en el uso de aceleradores para la ciencia y la tecnología. Ofrece servicios a demanda, enfocados a investigadores, empresas y particulares, que pueden enviar muestras para su análisis y recibir informes avalados con certificaciones de calidad, y servicios de uso directo de los aceleradores. Así, los investigadores pueden solicitar acceso para realizar experimentos con las herramientas tecnológicas disponibles, previa solicitud que debe ser aprobada por un comité, y con el compromiso de desarrollar el trabajo en colaboración con técnicos propios del CNA.

Principales líneas de investigación

El CNA desarrolla proyectos propios en distintas áreas:

- **Ciencia de materiales:** estudio sobre composición de muestras y relación con sus propiedades físicas mediante diversas técnicas analíticas.
- **Haces de neutrones pulsados:** instalación de la línea *Hispanos* para generar haces de neutrones, abriendo nuevas oportunidades de investigación.
- **Física nuclear:** desarrollo de detectores, estudio de núcleos exóticos e investigación de la terapia por captura neutrónica, utilizando principalmente el acelerador Tándem de 3 MV y el ciclotrón.
- **Ensayos en ambientes de radiación extrema:** pruebas de materiales y dispositivos para su uso en el espacio o en experimentos de alta energía. También se irradian materiales biológicos para aplicaciones en agricultura.
- **Patrimonio histórico:** aplicación de técnicas IBA para analizar la presencia de boro en vidrios antiguos, ayudando a determinar cuándo se comenzó a usar bórax en la fabricación de estos materiales.
- **Espectrometría de masas con aceleradores (AMS):** colaboración con el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) en el análisis de isótopos radiactivos en el medioambiente y en estudios sobre residuos nucleares.
- **Datación por carbono 14:** análisis geológicos y arqueológicos con el acelerador MICaDaS. Además, el centro colabora en la lucha contra el tráfico ilegal de marfil en el marco *Plan Tifies*.
- **Radiofarmacia:** producción de radiofármacos PET para investigación clínica, incluyendo compuestos usados en el diagnóstico y tratamiento del cáncer.
- **Diagnóstico por imagen:** colaboración con el Servicio Andaluz de Salud, por la que más de 3500 pacientes al año se benefician de estudios PET-TAC para diagnóstico oncológico.

Tomógrafo de diagnóstico por imagen PET-TAC

Ciclotrón

SABER MÁS

¿Qué es un acelerador de partículas?

Un instrumento que, mediante campos eléctricos (electricidad) y campos magnéticos (imanes), acelera partículas cargadas (iones) a grandes velocidades.

¿Para qué se aceleran partículas?

Para que, al chocar con átomos de otras sustancias a gran velocidad, puedan dar información sobre las propiedades y componentes de esa sustancia.

¿A qué ramas de la ciencia pueden beneficiar su uso?

La investigación con aceleradores sirve de gran ayuda en ámbitos muy diversos, como el medioambiente, la medicina, la ingeniería, las ciencias de materiales, el arte y la arqueometría, etc.

¿Cuáles son sus aplicaciones prácticas?

Como resultado de la investigación con aceleradores se pueden encontrar estudios sobre calidad del aire, enfermedades como el parkinson o osteoporosis, transformación de las propiedades eléctricas y magnéticas de semiconductores, detección de defectos en cristales, identificación de obras falsas, antigüedad de muestras, estudio de la procedencia de esculturas, etc.

Más información en **www.cna.us.es**

Maria Goeppert-Mayer y sus números mágicos: un desafío de género

La historia está llena de científicas trascendentales de reconocimiento tardío. Maria Goeppert-Mayer, piedra angular de la física moderna y artífice del modelo de capas nucleares, es un claro ejemplo. A pesar de su brillantez, la academia la relegó durante años al rol de «ama de casa» hasta que, en 1963, el Nobel reconoció su legado. Su vida y obra son testimonio de talento, perseverancia y lucha contra los prejuicios de género. La contribución de Goeppert-Mayer revolucionó la comprensión de la estructura del núcleo atómico y dejó una huella imborrable en la física nuclear.

Texto: **Desiré Alija** | Fotos: **Archivo**

Maria Goeppert-Mayer nació el 28 de junio de 1906, en Kattowiz (entonces parte del Imperio alemán y hoy Katowice, Polonia), y fue la única hija de Friedrich Goeppert y Maria Wolff. A los cuatro años, la familia se trasladó a Göttingen, donde Goeppert obtuvo la cátedra de Pediatría. Tanto la situación académica de su padre como Göttingen –uno de los epicentros de la mecánica cuántica– ejercieron una profunda influencia en su trayectoria.

Creció en un entorno académico privilegiado, pero que concebía la educación superior como un derecho casi exclusivo de hombres. De ahí que su padre, conocedor de sus aptitudes, inculcara en ella una temprana pasión por el conocimiento. La

Goeppert-Mayer en su despacho, donde sus ideas revolucionaron la física nuclear

Goeppert-Mayer junto a su mentor Max Born, que dejó una huella indeleble en su formación científica

Georg-August-Universität, más conocida como Gotinga, era uno de los principales centros del pensamiento matemático y físico del siglo XX. Durante su infancia y adolescencia, Maria Goeppert-Mayer estuvo rodeada de algunas de las mentes más brillantes de la época. De hecho, un vecino y amigo de la familia era el destacado matemático David Hilbert. También conoció y absorbió la influencia de Max Born, que llegó a Gotinga en 1921, y James Franck, que se unió poco después. Por tanto, no es de extrañar que desde una temprana edad se sintiera atraída por las matemáticas y soñara con ir a la universidad.

Como Göttingen no contaba con una institución pública que ofreciera educación para niñas con aspiraciones académicas avanzadas, en 1921 ingresó en la *Frauenstudium*, una escuela privada que preparaba a las jóvenes para el examen de ingreso universitario. Sin embargo, cerró sus puertas antes de que Goeppert-Mayer pudiera completar el programa de tres años. Aun así, gracias a su extraordinaria capacidad académica, decidió presentarse al examen de ingreso y fue admitida como estudiante de Matemáticas en la primavera de 1924. Entre sus profesores y mentores estaban nombres fundamentales de la física cuántica, como Werner Heisenberg, John von Neumann, Paul Dirac y Pascual Jordan. Sin duda, se hallaba en el lugar y momento exactos en los que se gestaban las teorías que revolucionarían la comprensión del mundo subatómico.

Talento no remunerado

En 1930, con tan solo veinticuatro años, finalizó su doctorado con una tesis sobre la absorción de dos fotones, un fenómeno que no se verificaría experimentalmente hasta la década de los sesenta, cuando se desarrolló la tecnología láser. Su pionero trabajo en este campo fue reconocido mucho después y confirmó una constante en su carrera: la tardía apreciación de sus contribuciones.

Ese mismo año, se casó con el químico estadounidense Joseph Mayer, y se trasladó a Estados Unidos, pero las estrictas reglas de las universidades le cerraron las puertas a un puesto remunerado. En la Universidad Johns Hopkins, donde trabajaba su esposo, Goeppert-Mayer colaboró con varios físicos y químicos y publicó numerosos artículos científicos, aunque sin salario ni título oficial. Esta condición de «profesora voluntaria» la acompañó durante décadas y la obligó a trabajar sin reconocimiento institucional.

Entre 1935 y 1945, colaboró con destacados científicos en el desarrollo de la teoría de estructuras moleculares, aplicando principios de mecánica cuántica para explicar la estructura y estabilidad de compuestos químicos complejos. Además, pasó

Maria Goeppert-Mayer, única mujer en el Laboratorio Nacional Argonne en Illinois

veranos en Alemania trabajando con Max Born, hasta que el ascenso del nazismo le obligó a emigrar a Reino Unido en 1933. A lo largo de estos años, contribuyó con más de veinte publicaciones científicas en distintos campos de la física teórica, estableciendo la base de su posterior incursión en la física nuclear.

Durante la Segunda Guerra Mundial, Goeppert-Mayer colaboró en investigaciones vinculadas al Proyecto Manhattan, programa estadounidense para desarrollar la bomba atómica. Trabajó en la separación de isótopos de uranio y el estudio de las propiedades del hexafluoruro de uranio, sin la consideración que recibían sus colegas varones. No obstante, la experiencia le permitió ampliar sus conocimientos en física nuclear, campo en el que desarrolló su mayor contribución.

En el Laboratorio Nacional Argonne profundizó en la estabilidad de los núcleos atómicos y surgió su interés por la distribución de protones y neutrones en el núcleo y por las configuraciones que conferían una estabilidad inusual a ciertos isótopos.

El modelo de capas nucleares

A finales de los años cuarenta, Edward Teller, uno de los físicos más influyentes de la época, animó a Goeppert-Mayer a investigar la distribución de los elementos en la naturaleza. Durante su análisis, la científica identificó un patrón recurrente: ciertos números de protones y neutrones dentro del núcleo parecían conferir estabilidad a los átomos. Estos valores (2, 8, 20, 28, 50, 82 y 126), denominados «números mágicos», aparecían con mayor frecuencia en la abundancia natural de los elementos, y no por mera coincidencia.

El hallazgo no fue del todo inesperado. El físico francés Walter M. Elsasser ya había sugerido en 1933 la posible existencia de estructuras discretas dentro del núcleo, aunque carecía de datos para respaldar su hipótesis. Goeppert-Mayer, en cambio, disponía de mucha información experimental que le permitió consolidar su teoría. A pesar del escepticismo inicial por parte de la comunidad científica, decidió profundizar en el estudio de los «números mágicos» para entender su origen.

Hasta ese momento, se pensaba que los protones y neutrones en el núcleo se movían colectivamente, interactuando de manera compleja con sus vecinos. Los resultados de Goeppert-Mayer evidenciaban, por el contrario, un comportamiento diferente: los nucleones parecían organizarse en capas discretas, de manera similar a los electrones en la estructura electrónica de los átomos. La diferencia crucial radicaba en la naturaleza de la fuerza nuclear, mucho más intensa y de corto alcance que la fuerza electromagnética.

Para validar su hipótesis, Goeppert-Mayer recurrió a los principios de la mecánica cuántica. Aplicó la ecuación de Schrödinger al problema nuclear y distribuyó los nucleones en niveles energéticos de acuerdo con el principio de exclusión de Pauli. Sus cálculos ini-

El rey Gustavo VI Adolfo de Suecia, acompañando a Maria Goeppert-Mayer en la ceremonia del Premio Nobel, donde la historia le hizo justicia. A la derecha, recibiendo el galardón.

ciales no coincidían completamente con los valores experimentales de los «números mágicos» superiores a veinte y la clave para resolver la discrepancia llegó de manera fortuita, gracias a una conversación con Enrico Fermi. Mientras debatían sobre su trabajo, Fermi le planteó una pregunta de apariencia sencilla: «¿Ha considerado el efecto del acoplamiento espín-órbita?». La científica comprendió de inmediato la importancia de esta interacción, que describía la relación entre el momento angular de un nucleón y su espín. Al incluir este término en sus ecuaciones, corrigió los valores obtenidos y los alineó perfectamente con los números mágicos observados en la naturaleza.

La confirmación de su teoría no tardó en llegar. Mientras preparaba su artículo para la revista *Physical Review*, descubrió que los físicos alemanes, Otto Haxel, J. Hans D. Jensen y Hans E. Suess, habían alcanzado una conclusión similar de manera independiente. Haciendo gala de su excepcional personalidad, Goeppert-Mayer solicitó que su artículo fuera publicado al mismo tiempo que el de sus colegas, pero por cuestiones editoriales su trabajo apareció en un número posterior. Esta desavenencia fortuita sirvió, sin embargo, para estrechar su colaboración con Jensen, que culminó en 1955 con la publicación conjunta del libro *Elementary Theory of Nuclear Shell Structure*.

Nobel: reconocimiento tardío

El impacto del modelo de capas nucleares fue inmediato y transformador. No solo proporcionó una explicación clara para la estabilidad de ciertos núcleos, sino que también abrió la puerta a nuevas investigaciones en física nuclear y astrofísica. En reconocimiento a su extraordinaria contribución, Goeppert-Mayer y Jensen recibieron el Premio Nobel de Física en 1963. Así se convirtió en la segunda mujer en la historia que recibía este galardón en física, sesenta años después de Marie Curie. El reconocimiento llegó tarde: hasta 1960 no obtuvo su primer trabajo estable y remunerado.

> *Becaria, voluntaria o investigadora asociada fueron algunos de los títulos que Goeppert-Mayer recibió a lo largo de treinta años de investigaciones científicas que la llevarían a ganar el Nobel en 1963. Trabajó sin remuneración la mayor parte de su carrera, «solo por el placer de hacer física», indica en su biografía publicada por los premios Nobel.*

Maria Goeppert-Mayer con su hija Maria Ann.
A la derecha, con su esposo Joseph Mayer, con el que compartió pasión por la ciencia y el conocimiento

En un encuentro de intelectos excepcionales en la Universidad de Michigan, junto a su esposo y el físico Paul Ehrenfest

munerado, como profesora de Física en la Universidad de California, en San Diego, ya con cincuenta y cuatro años.

Su legado se extendió a la educación, alentando a más mujeres a optar por carreras científicas en una época en la que la presencia femenina en el ámbito de la física era mínima. En 1966, publicó una actualización de su modelo en la revista *Physical Review*, que reafirmaba la teoría de capas nucleares. Su esfuerzo por hacer de la física una materia accesible y su voluntad para inspirar a jóvenes científicas fueron determinantes para la inclusión de mujeres en la academia. Poco después, sufrió un derrame cerebral que deterioró su salud, pero siguió enseñando y participando en la investigación científica hasta su muerte, el 20 de febrero de 1972.

Décadas después de su fallecimiento, su ejemplo demuestra que la ciencia no es una cuestión de género, sino de perseverancia, pasión por el conocimiento y talento. Su estela es honrada con premios, becas y un elemento químico que lleva su nombre. Es, sin duda, una de las figuras más influyentes del siglo XX. ■

Edward Teller, sobre el modelo desarrollado por María Goeppert-Mayer:

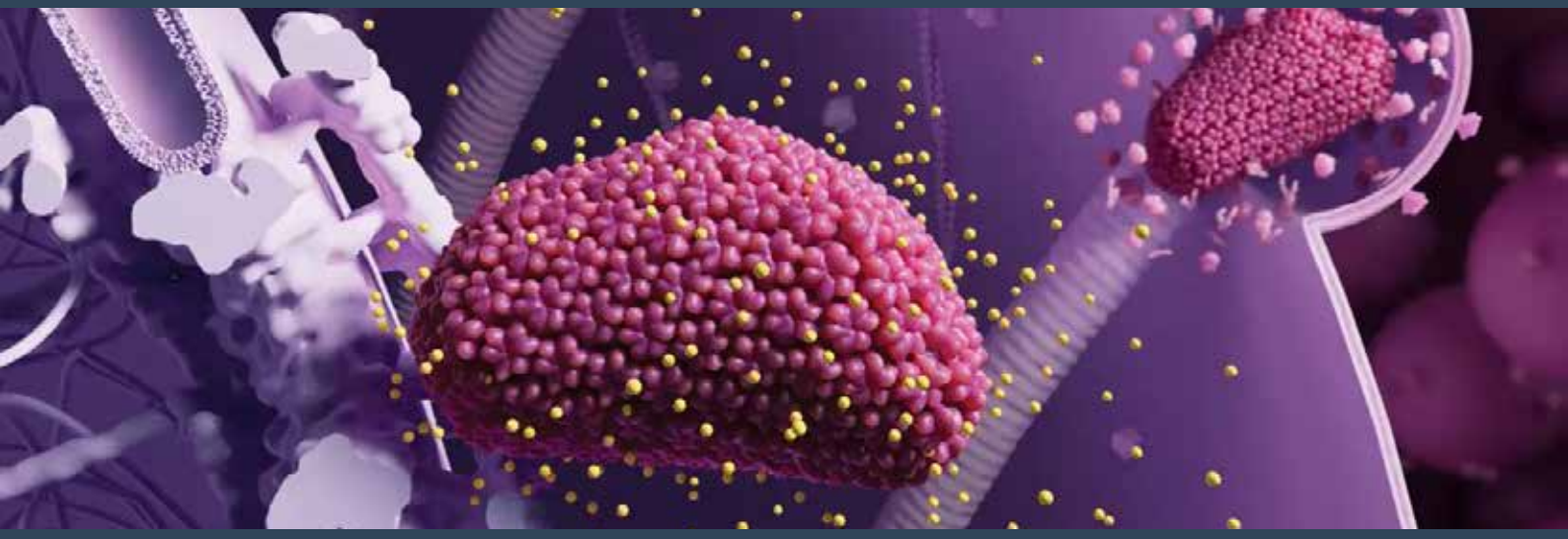
Se le ocurrió la idea absurda de oponerse al modelo del núcleo atómico de Bohr. Fui rotundo en mi crítica. Pero resultó ser que María tenía razón y, merecidamente, recibió el premio Nobel

Goeppert-Mayer, en la entrega del Premio Nobel:

Mi padre me decía: 'Cuando crezcas, no te conviertas en una mujer', en el sentido de ama de casa

Louise Giansante, física, para *BBC Mundo*:

Es una de esas mujeres que pelearon por sus objetivos cuando la sociedad exigía que se quedaran en casa



Lenacapavir, la revolución en la lucha contra el VIH

El fármaco lenacapavir, reconocido como el Avance Científico del Año 2024 por la revista *Science*, ha marcado un hito en la prevención del VIH gracias a su innovador mecanismo de acción y su efectividad sin precedentes. Este tratamiento, administrado mediante una única inyección cada seis meses como profilaxis preexposición (PrEP), elimina barreras críticas como la adherencia diaria y el estigma social, especialmente en regiones con altas tasas de infección. Lenacapavir actúa sobre las proteínas de la cápside del VIH, una estructura que durante años fue considerada un objetivo inalcanzable. Gracias al trabajo de los investigadores de Gilead Sciences, este compuesto estabiliza y rigidiza la cápside viral, bloqueando su entrada al núcleo de las células humanas y previniendo la replicación del virus. Los resultados clínicos son espectaculares: un ensayo realizado en junio de 2024 demostró que este fármaco redujo a cero las infecciones entre adolescentes y mujeres jóvenes en África. Sin embargo, su implementación global enfrenta desafíos relacionados con la regulación, el coste y las capacidades de los sistemas de salud. Aunque Gilead ha establecido acuerdos para producir versiones genéricas en 120 países en desarrollo, los países de ingresos medios podrían quedar excluidos de estos beneficios, subrayando las desigualdades en el acceso a este prometedor tratamiento. ■

2066 marcará la recuperación de la capa de ozono

Según las proyecciones de la NASA y la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), la capa de ozono alcanzará su plena recuperación en 2066, tras décadas de avances en la mitigación de compuestos químicos nocivos, particularmente los clorofluorocarbonos (CFC). En 2024, el agujero anual sobre la Antártida alcanzó una extensión máxima de 22,4 millones de kilómetros cuadrados, posicionándose como el séptimo más reducido desde 1992, año en que comenzaron a evidenciarse mejoras vinculadas a la implementación del histórico Protocolo de Montreal, suscrito en 1987 para erradicar gradualmente los CFC. Este progreso se erige como testimonio del éxito de los esfuerzos internacionales, complementados por fenómenos naturales, como el transporte de corrientes de aire enriquecidas en ozono desde latitudes septentrionales de la Antártida. No obstante, aunque las mejoras observadas subrayan la trascendencia de la cooperación global en la preservación ambiental y la mitigación de riesgos climáticos, la capa de ozono todavía enfrenta desafíos, ya que los CFC liberados en el pasado persistirán en la atmósfera durante décadas. ■

EFEMÉRIDES

Año Internacional de la Ciencia y la Tecnología Cuántica

2025 ha sido proclamado por la Organización de las Naciones Unidas como el Año Internacional de la Ciencia y la Tecnología Cuántica, una iniciativa que subraya la relevancia de esta disciplina en la configuración del futuro científico y tecnológico global. Este reconocimiento busca fomentar la cooperación internacional en el desarrollo de tecnologías cuánticas, cuyos avances prometen transformar áreas como la computación, las comunicaciones seguras, la simulación de sistemas complejos y la metrología. Además, se pretende sensibilizar a la sociedad sobre el impacto de estas tecnologías en sectores estratégicos y promover su inclusión en políticas públicas, educación e innovación. En España, destacan iniciativas como jornadas sobre computación cuántica, talleres educativos o el desarrollo de un complejo tecnológico dedicado a la tecnología cuántica en el campus de la Universidad del País Vasco en Leioa, Bizkaia. Impulsado por la Diputación de Bizkaia y con la colaboración de empresas como Telefónica, Amazon, IBM, Microsoft y Fujitsu, este proyecto, denominado Bizkaia Quantum Advanced Industries (Biqain), busca consolidar un ecosistema de innovación tecnológica en el ámbito cuántico. Este marco ofrece una oportunidad única para reflexionar sobre los límites del conocimiento humano y el potencial transformador de la física cuántica en nuestra comprensión del universo. ■

LIBROS

Órbitas, invitación a la introspección, la curiosidad y la resiliencia

En *Órbitas*, Sara García Alonso, primera astronauta española de la Agencia Espacial Europea, invita a un viaje literario que combina ensayo, ficción y autobiografía. A través de seis capítulos u «órbitas», la autora reflexiona con profundidad y sensibilidad sobre los desafíos universales que se enfrentan al perseguir los sueños, explorando temas como la búsqueda de la identidad, la libertad de elección, la valentía para desafiar lo establecido, la expansión de los límites físicos y mentales, y el peso de las tradiciones. Con un estilo cargado de anécdotas personales y una mirada crítica e irónica hacia los convencionalismos, García Alonso no propone fórmulas infalibles, sino una inspiradora invitación a la introspección y al coraje de vivir desde la curiosidad y la resiliencia. Nacida en León en 1989, es doctora en Biología Molecular y ha liderado proyectos pioneros en oncología en el Centro Nacional de Investigaciones Oncológicas. Su selección para la reserva de astronautas de la ESA en 2022 marcó un hito en la historia española, consolidándola como un referente en ciencia y superación personal. ■

García Alonso, S. (2025)
Órbitas, Ediciones B, 288 pp.

EN RED

Gliese 12 b: puerta a un nuevo mundo

En el marco de la investigación exoplanetaria, 2025 destaca por el reciente descubrimiento de *Gliese 12 b*, un exoplaneta templado, en tránsito y con un tamaño similar al de la Tierra, localizado a tan solo doce pársecs (cuarenta años luz) del sistema solar. Este hallazgo, liderado por un equipo internacional de científicos y publicado en *The Astrophysical Journal Letters*, se realizó gracias a la colaboración entre la misión TESS de la NASA y el telescopio Subaru. Orbitando una enana roja fría con características significativamente distintas a nuestro Sol, *Gliese 12 b* ofrece condiciones ideales para la espectroscopia de transmisión atmosférica, una técnica crucial para desentrañar las composiciones químicas de planetas extrasolares. Con un radio de 0,96 ± 0,05 radios terrestres y una temperatura de equilibrio de 315 K, este planeta se perfila como un candidato clave para el estudio

detallado de atmósferas terrestres templadas mediante el telescopio espacial James Webb (JWST). El equipo científico, mediante técnicas avanzadas de fotometría multicolor y mediciones de velocidad radial, ha validado la existencia de este mundo, que destaca entre los pocos exoplanetas en tránsito con baja insolación detectados hasta la fecha. ■

Más información: https://iopscience.iop.org/article/10.3847/2041-8213/ad3642

Enigma: el origen de los dinosaurios

Un reciente estudio publicado en *Current Biology* arroja nueva luz sobre el enigma del origen de los dinosaurios. Según esta investigación, liderada por paleontólogos del University College de Londres, los primeros dinosaurios habrían surgido hace más de 230 millones de años en las cálidas regiones ecuatoriales del supercontinente Gondwana, que abarcaba áreas hoy pertenecientes al Congo, el Amazonas y el Sáhara. Sin embargo, los fósiles descubiertos hasta la fecha corresponden a especies ya muy evolucionadas, lo que sugiere que los primeros dinosaurios aún permanecen ocultos en yacimientos inexplorados. El análisis de lagunas en el registro fósil y la reconstrucción de árboles evolutivos indican que estos primeros dinosaurios eran pequeños, bípedos y omnívoros, coexistiendo con otros reptiles como los pterosaurios y los pseudosuquios. Además, los resultados del estudio revelan que los saurópodos, uno de los grupos principales, conservaron su preferencia por climas cálidos, mientras que los terópodos y ornitisquios habrían desarrollado la capacidad de generar calor corporal, permitiéndoles adaptarse a climas más fríos durante el Jurásico. Este hallazgo no solo profundiza en el conocimiento del origen de los dinosaurios, sino que redefine teorías sobre su evolución y distribución global, en los albores de su reinado de más de 135 millones de años. ■

REDES

@CienciaClip

Concurso de vídeos divulgativos sobre ciencia dirigido a estudiantes de Secundaria, cuyo objetivo es despertar el interés por la ciencia y la tecnología, al tiempo que fomenta la creatividad y las habilidades comunicativas de los jóvenes a través de herramientas digitales. Impulsado por la Cátedra de Cultura Científica de la UPV/EHU y la Diputación Foral de Bizkaia, con la colaboración de Naukas y el grupo Big Van, ofrece a los participantes una plataforma para explorar y compartir su pasión por la ciencia de manera innovadora.

Ciencia, Astronomía y Afines

El grupo se ha consolidado como espacio de referencia para los apasionados del cosmos y la ciencia. Con más de medio millón de miembros en menos de un año, este foro digital genera cientos de publicaciones diarias sobre astronomía, el universo y disciplinas científicas relacionadas. Su éxito radica en la interacción constante de sus participantes, que comparten desde descubrimientos recientes hasta reflexiones sobre los misterios del cosmos, generando un vibrante aprendizaje colectivo.

@drmiguelmarcos

El Dr. Miguel Marcos, médico internista y profesor en la Universidad de Salamanca, es un divulgador destacado en X por combatir bulos. Además, comparte investigaciones y promueve educación médica con rigor y claridad.

@farmacia.centralprat

Mireia y Layla, farmacéuticas especializadas en dermofarmacia, comparten conocimientos profundos sobre dermocosmética y cuidado integral. A través de su cuenta, ofrecen explicaciones claras y rigurosas sobre el cuidado de la piel y el cabello y brindan asesoramiento especializado en etapas como la menopausia, desde una perspectiva profesional y accesible.

Compromiso con la seguridad nuclear y la protección radiológica

El Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) finalizó la misión de seguimiento del Sistema Integrado de Revisión Reguladora (IRRS) en España y confirmó el compromiso del país con los más altos estándares de seguridad nuclear y protección radiológica. Durante ocho días, un equipo de expertos internacionales evaluó la implementación de las recomendaciones emitidas en 2018 y concluyó que todas han sido cumplidas de manera satisfactoria. Entre las mejoras alcanzadas desde la anterior IRRS se incluyen el desarrollo de un Plan de Recursos Humanos, la cultura de seguridad del organismo, el Plan Nacional contra el Radón y la colaboración del CSN con las comunidades autónomas. Además, el equipo ha identificado dos buenas prácticas en España: la implementación del carné radiológico digital, que facilita a los usuarios datos de dosis en tiempo real, y el sistema de dosimetría digital centralizado, que permite el seguimiento en tiempo real de las dosis de radiación y evita que las tasas de exposición sobrepasen los niveles de referencia. ■

Sucesos en centrales nucleares en 2024

Durante 2024, las centrales nucleares españolas notificaron treinta y ocho sucesos al Consejo de Seguridad Nuclear. Estos sucesos, clasificados mediante la escala internacional de sucesos nucleares y radiológicos en función del riesgo que representan, se incluyeron en el nivel 0, de modo que no tienen significación para la seguridad. La notificación y el análisis de los sucesos forman parte del proceso de supervisión y control efectuado por el CSN, que publica en su página web la información relativa a cada uno de ellos y un boletín donde se recogen los datos anuales. ■

Nivel	Escala Internacional de Sucesos Nucleares y Radiológicos (INES)	Nº de sucesos
7	Accidente grave	-
6	Accidente importante	-
5	Accidente con consecuencias de mayor alcance	-
4	Accidente con consecuencias de alcance local	-
3	Incidente importante	-
2	Incidente	-
1	Anomalía	-
0	Por debajo de la escala SIN SIGNIFICACIÓN PARA LA SEGURIDAD	37
-	SIN APLICACIÓN ESCALA INES	-
	TOTAL	37

Homenaje a la dedicación y el servicio público

El Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) reconoció al personal con veinticinco y cuarenta años de servicio en la Administración pública y al menos cinco años en el organismo. El homenaje premia desde 1997 la dedicación y el compromiso de los trabajadores para contribuir al prestigio del CSN.

El presidente del CSN, Juan Carlos Lentijo, agradeció la dedicación del equipo y resaltó los logros alcanzados en 2024, como la renovación de la autorización de explotación de la central nuclear Trillo, la aprobación del Carné Radiológico Digital o la firma de un convenio con el Ministerio de Trabajo para reforzar la protección frente a los riesgos del gas radón en los centros de trabajo. Para 2025, el CSN afronta retos como la misión de seguimiento del IRRS del OIEA o la revisión de la misión ARTEMIS, entre otros, que refuerzan el compromiso del organismo con la seguridad nuclear y la protección radiológica en España. ■

Reunión conjunta entre el CSN y la Junta de Castilla y León

El presidente del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), Juan Carlos Lentijo, mantuvo un encuentro institucional con el presidente de la Junta de Castilla y León, Alfonso Fernández Mañueco, para reforzar la coordinación entre ambas instituciones, en particular en lo referente a la planificación, preparación y respuesta ante emergencias radiológicas, materia sobre la que el CSN y el Gobierno regional mantienen un convenio de colaboración, renovado en 2024 por un periodo de cuatro años. En este sentido, repasaron las actuaciones del CSN para la supervisión del proceso de desmantelamiento de la central nuclear Santa María de Garoña y el informe preceptivo para el licenciamiento del acelerador lineal del Hospital Santa Bárbara de Soria. En la reunión participaron también el director técnico de Protección Radiológica del regulador, Javier Zarzuela; el consejero de Economía y Hacienda, Carlos Fernández Carriedo, y el director general de Calidad e Infraestructuras Sanitarias de Castilla y León, Álvaro Muñoz Galindo.

ACUERDOS DEL PLENO DEL CSN

El CSN informa favorablemente con condiciones la ejecución y montaje del nuevo Almacén Temporal Individualizado para Cofrentes

El ATI-100 se ubicará junto al espacio de almacenamiento en seco ya disponible y alojará combustible gastado generado por el funcionamiento de la central.

El Pleno también informó favorablemente la revisión del certificado de aprobación del diseño de bulto para transporte de combustible gastado ENUN 52B.

El Consejo de Seguridad Nuclear informa favorablemente la autorización de ejecución y montaje de la plataforma sureste de El Cabril

El proyecto se llevará a cabo en distintas fases para disponer de nuevas celdas de almacenaje para residuos de baja y media actividad.

El Pleno también ha informado favorablemente las bases del proceso selectivo para formar parte de su cuerpo técnico y cubrir doce plazas.

Acceso a todas las actas

Transparencia y participación pública: pilares de la confianza ciudadana

El presidente del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), Juan Carlos Lentijo, en calidad de presidente del Grupo de Reguladores Europeos de Seguridad Nuclear (ENSREG), destacó, durante una mesa redonda sobre el Convenio de Aarhus en Luxemburgo, la importancia que la transparencia y la participación pública en el sector nuclear tienen para lograr la confianza de la ciudadanía en los organismos reguladores.

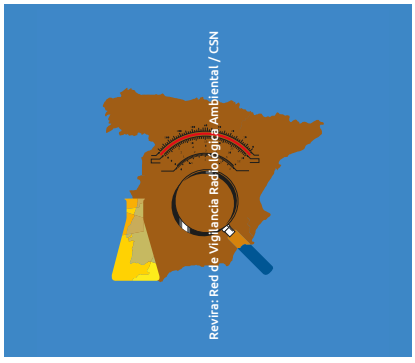
En este sentido, el ENSREG ha desarrollado herramientas para garantizar el acceso a la información sobre seguridad nuclear y fomentar la participación de la sociedad. Entre sus iniciativas destacan la guía para mejorar la transparencia en los reguladores europeos y la organización de conferencias periódicas para fomentar el diálogo. Además, ENSREG trabaja en mecanismos para mejorar la participación ciudadana en decisiones clave, como la operación a largo plazo de las centrales nucleares o su desmantelamiento.

El presidente del CSN también recordó la importancia de la colaboración internacional en seguridad nuclear y el compromiso de ENSREG con la protección ambiental y la seguridad nuclear, área en las que ENSREG tiene un papel clave promoviendo el intercambio de buenas prácticas y el desarrollo de estándares comunes.

ÚLTIMAS PUBLICACIONES

Revisión 1 de seis procedimientos de muestreo y preparación de muestras (suelos, aerosoles y radioyodos, sedimentos acuáticos, depósito total, tritio y aguas) de la serie Vigilancia Radiológica Ambiental publicados por primera vez entre los años 2002 y 2009. Colección Informes Técnicos. INT-04.07.

Edita: Consejo de Seguridad Nuclear.



Actualización del folleto de la serie divulgativa Revira

Red de Vigilancia Radiológica Ambiental. SDB-04.08

Edita: Consejo de Seguridad Nuclear.

28 páginas

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 > Women are making their way with outstanding careers full of obstacles

A tribute to the invisible, undervalued or excluded women who have managed to change the world

REPORTS

14 > Impact of Machine Learning: Key Aspects, Applications, and Future Challenges

What is Machine Learning? How does it work? And What impact does it have on daily life?

20 > IRRS, a tool for nuclear and radiological safety excellence

INTERVIEW

26 > Elvira Moya de Guerra

"Only those who did not know my work tended not to identify me as a scientist and, sometimes, to underestimate me"

TECHNICAL ARTICLES

30 > News from regulation on nuclear and radioactive facilities and other activities related to the exposure to ionising radiation (RINR)

39 > Uncertainty and Sensitivity Analysis: a knowledge community at the Nuclear Safety Council

SCIENCE AND LANGUAGE

46 > What are discoveries if they are not disseminated?

Without the human ability to communicate, science would be isolated, reduced to each individual cosmos

RADIOGRAPHY

52 > The new validity of operator and supervisor licences for radioactive facilities other than those in the nuclear fuel cycle, as established on Royal Decree 1217/2024

CSN I+D

54 > Development of a methodology for radiological environmental impact assessment

ENTITIES

56 > Centro Nacional de Aceleradores

Cutting-edge research with social impact

NAMES IN SCIENCE

60 > María Goeppert-Mayer and her magic numbers: a gender challenge

Cornerstone of modern physics and author of the nuclear shell model

CSN CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

¡Conecta con nosotros!

https://twitter.com/CSN_es

https://www.youtube.com/c/ConsejoSeguridadNuclear

https://www.linkedin.com/company/consejo-de-seguridad-nuclear/

http://www.csn.es

TRANSPARENCIA › COMUNICACIÓN › DIVULGACIÓN