CSN
alfa

Revista de seguridad nuclear y protección radiológica
Consejo de Seguridad Nuclear
Número 43
Junio 2020

Alianza entre medicina e inteligencia artificial

Francisco Castejón, consejero del Pleno del CSN: 'Lo que se espera del Consejo es rigor, neutralidad y transparencia

La batalla contra la desinformación científica en el mundo digital

Las revisiones temáticas de seguridad y la gestión del envejecimiento en instalaciones nucleares

Súmate a los 135.000

Desde su inauguración en 1998, los 135.000 visitantes del Centro de Información del Consejo de Seguridad Nuclear han tenido ocasión de aproximarse al conocimiento sobre las radiaciones ionizantes, sus usos, sus riesgos y los controles y la protección que son necesarios para garantizar su utilización fiable, en la cual el CSN –como organismo encargado de la seguridad nuclear y la protección radiológica– juega un papel muy importante.

En la vida diaria utilizamos las radiaciones con una enorme frecuencia, tanto en relación con la salud y la medicina –en diagnóstico y en terapia– como también en la industria y en la investigación. A través de un recorrido guiado por los 29 módulos, se pueden conocer con detalle estos aspectos relacionados con las radiaciones. Consigue más información en www.csn.es/index.php/es/centro-informacion o pide cita en centroinformacion@csn.es Súmate a los 135.000.

CSN CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

Doce años informando

Llega un nuevo número de *Alfa* a tus manos en este verano al que tratamos de mirar con ojos de nueva normalidad. Este ejemplar que comienzas a leer supone un pequeño hito en la historia de la revista pues ha alcanzado el mismo número de publicaciones que su antecesora: *Seguridad Nuclear*. Desde el primer trimestre de 2008, *Alfa* aborda los asuntos de mayor relevancia y actualidad en el ámbito de la protección radiológica y la seguridad nuclear, trufando esos contenidos con reportajes sobre otras materias científicas que consideramos pueden ser de interés para nuestros lectores.

En esta línea, abrimos este número 43 abordando la creciente penetración que la inteligencia artificial tiene en el ámbito sanitario. Sistemas expertos capaces de aprender de su propia experiencia igualan, e incluso superan ya, a los médicos en la realización de diagnósticos y otros empiezan a ser utilizados para el diseño de fármacos y la simulación de ensayos clínicos. La presencia de la tecnología revoluciona también otros ámbitos, como el de la comunicación, permitiendo que sepamos lo que ocurre en cualquier lugar del mundo de forma casi instantánea. Pero no solo importa la rapidez sino también la veracidad de los datos y contenidos. Los bulos y desinformación sobre ciencia y salud inundan las redes sociales y su cantidad y difusión se han multiplicado de forma especialmente intensa durante la pandemia de la covid-19. Desde *Alfa* queremos romper una lanza por la veracidad de los hechos y el rigor en los datos trayendo este asunto a nuestras páginas.

Otro de los reportajes rescata la historia desvelada recientemente de un grupo de criptógrafos españoles, encabezados por Antonio Camazón, que contribuyeron a descifrar la famosa máquina Enigma con la que los nazis enviaban sus mensajes encriptados, contribuyendo así al desenlace de la II Guerra Mundial. Otro texto de carácter también histórico nos acerca a la primera mitad del siglo XX, cuando la radiactividad tenía una cierta aureola mágica y proliferaron productos de alto consumo que aseguraban contener radio para atraer compradores. Por último, incluimos el tema del uso de las radiaciones ionizantes para tratar alimentos, tanto para prevenir infecciones como para mejorar algunas características, como su caducidad y el control de su maduración.

> *La primera revisión temática de seguridad nuclear ha abordado la gestión del envejecimiento de las instalaciones nucleares europeas*

El consejero del CSN Francisco Castejón es el protagonista de la entrevista de este número, en la que nos ofrece su visión personal de su paso por este organismo regulador. Investigador del Ciemat en el ámbito de la fusión nuclear, también hace un repaso del estado actual de esta tecnología, que promete un futuro con amplia y económica disponibilidad energética.

El apartado de artículos técnicos informa de las revisiones temáticas de seguridad nuclear (TPR), puestas en marcha por las instituciones europeas, y de la primera de ellas, llevada a cabo entre 2017 y 2018, que ha abordado la gestión del envejecimiento de las instalaciones nucleares. El otro artículo está dedicado a la obtención de la primera patente que registra el CSN, de forma conjunta con la Universidad de Extremadura, por un sistema de filtración mediante arena verde de manganeso para eliminar el contenido de radio de las aguas.

Confiamos que todo ello resulte de vuestro interés y os adelantamos que el próximo número, que aparecerá ya después del verano, estará dedicado al 40º aniversario de la creación del Consejo de Seguridad Nuclear. Hasta entonces.

alfa

Revista de seguridad nuclear y protección radiológica
Editada por el CSN
Número 43
Junio 2020

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

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

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

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

Fotografías
CSN, Divulga, OIEA, DepositPhotos.

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

Fotografías de portada
DepositPhotos.

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

© Consejo de Seguridad Nuclear

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

REPORTAJES

6 Alianza entre medicina e inteligencia artificial

Tras haber invadido los quirófanos, las máquinas amenazan con sustituir a los profesionales médicos. Sistemas expertos igualan e incluso superan ya a los especialistas en la realización de diagnósticos y otras tecnologías *inteligentes* empiezan a ser utilizadas para el diseño de fármacos y la simulación de ensayos clínicos.

20 Alimentos irradiados, la protección desconocida

El uso de las radiaciones para mantener la frescura de nuestra despensa y evitar intoxicaciones ha estado lastrado por la desconfianza que suscita en los consumidores, pero las ventajas que ofrece frente a otras alternativas hacen que empiece a ganar presencia en los mercados internacionales.

36 La panacea radiactiva

Durante la primera mitad del siglo pasado se produjo una eclosión de productos que contenían, o decían contener radio, como un reclamo para incrementar sus ventas. Cremas, medicinas, inhaladores, bombones, supositorios y muchos otros productos aprovechaban las expectativas que suscitó el descubrimiento de la radiactividad.

41 La batalla contra la desinformación científica en el mundo digital

Los bulos sobre ciencia y salud inundan las redes sociales y su número y difusión se han multiplicado de forma especialmente intensa durante la pandemia de la covid-19. Nuestra forma de pensar y nuestros sesgos nos dificultan la defensa ante este fenómeno que tanto la psicología como el periodismo tratan de entender y combatir.

48 El criptógrafo español que ayudó a descifrar la máquina Enigma de los nazis

Un grupo de españoles, capitaneados por Antonio Camazón, colaboró decisivamente en el descifrado de la máquina que los nazis desarrollaron para mandar sus mensajes encriptados. Su historia se ha desvelado, tras casi medio siglo de olvido, gracias al esfuerzo de varios investigadores y un documental que narra su hazaña.

RADIOGRAFÍA

26 **Tecnología nuclear para detectar la covid-19**

Cómo funciona el principal test para detectar la presencia del virus SARS-CoV-2, causante de la pandemia que está asolando el mundo este año. Se trata de la RT-PCR en tiempo real, que detecta la presencia de material genético específico del virus.

ENTREVISTA

28 **Francisco Castejón Magaña, consejero del CSN**

"Lo que se espera del Consejo es simplemente rigor, neutralidad y transparencia"

ARTÍCULOS TÉCNICOS

12 **Las revisiones temáticas de seguridad y la gestión del envejecimiento en instalaciones nucleares**

Las autoridades reguladoras de la seguridad nuclear en los países de la UE con instalaciones nucleares han llevado a cabo, entre 2017 y 2018, la primera revisión temática de la seguridad nuclear (TPR), al amparo de la Directiva de seguridad nuclear, dedicada a la gestión del envejecimiento en las instalaciones nucleares.

55 **El CSN en su papel de inventor**

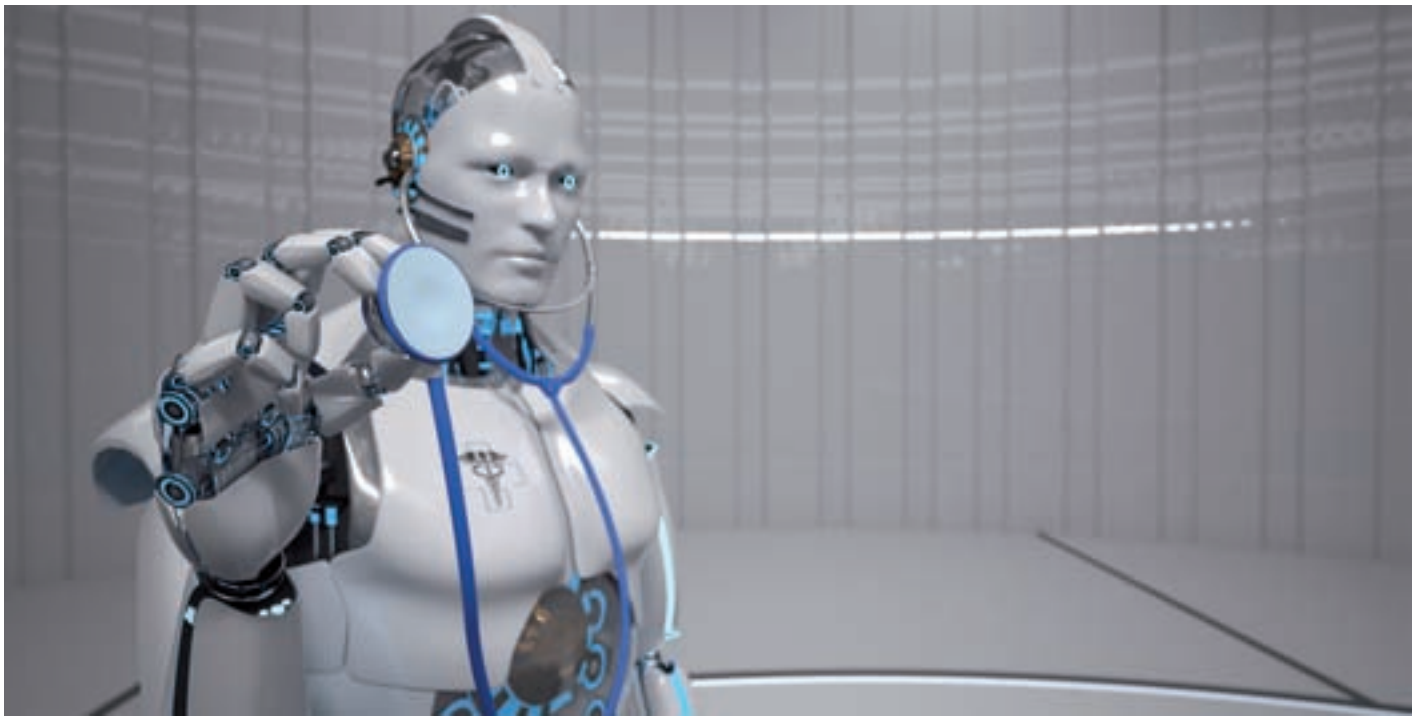
Una investigación, financiada por el Consejo de Seguridad Nuclear y desarrollada por la Universidad de Extremadura, ha dado lugar a un sistema de filtración que utiliza arena verde de manganeso para eliminar el radio del agua. El descubrimiento ha generado una patente compartida por el CSN y la universidad extremeña.

60 **Reacción en cadena**

64 **Panorama**

68 **Acuerdos del Pleno**

70 **Publicaciones**



DEPOSITPHOTOS

Los sistemas de inteligencia artificial tienen una participación creciente y relevante en las instituciones sanitarias.

Las máquinas igualan e incluso superan a los especialistas en la realización de diagnósticos y empiezan a ser utilizadas para el diseño de fármacos y la simulación de ensayos clínicos

Alianza entre medicina e inteligencia artificial

Las máquinas llevan siglos sustituyendo a los humanos en todo tipo de trabajos. Algunas mujeres que aún están entre nosotros recuerdan cómo la llegada de las lavadoras les dejó tiempo libre para leer o escuchar la radio. No han faltado también las reacciones airadas contra las máquinas por llegar a robar empleos y el consiguiente sustento. Aquella tendencia, sin embargo, solía afectar más a las personas menos cualificadas, porque hasta ahora eran sus tareas las más fáciles de automatizar. La llegada de la inteligencia artificial, sin embargo, puede amenazar trabajos reservados tradicionalmente para la élite profesional.

■ Texto: **Daniel Mediavilla** | Periodista científico ■

Aunque los primeros empleos que está destruyendo la robotización son los que implican tareas repetitivas y no requieren creatividad, es posible que, en un futuro no muy lejano, muchos de los afectados por este proceso no sean los habituales. Las probabilidades de que un trabajo se automatice no dependen tanto de que sea repetitivo, como de que sea predecible. Si lo es, es probable que en un futuro no muy lejano una máquina sea capaz de hacerlo mejor.

Sistemas como Watson, de IBM, ya han logrado ganar a seres humanos en juegos donde es necesario ir más allá de la computación de cantidades ingentes de datos, como sucedía con las míticas partidas de ajedrez de Deep Blue contra el campeón ruso Gary Kasparov. La máquina también ha vencido en un juego como Jeopardy en el que es importante entender dobles sentidos o emplear razonamientos creativos. Este logro es un ejemplo de los efectos completamente nuevos que puede tener esta nueva fase de la automatización. Watson ya ha sido entrenado para realizar diagnósticos médicos a partir del análisis de imágenes médicas, infinidad de datos diagnósticos y la interpretación de la experiencia del pasado. Si ahora se piensa en una doctora y un enfermero, es muy posible que en las próximas décadas la primera tenga más posibilidades de verse sustituida por una máquina que el segundo.

El progreso de las máquinas para realizar diagnósticos médicos es relativamen-

te reciente, y algunas revisiones han mostrado que, pese a los avances, los humanos con formación médica aún son imprescindibles. Pero ha habido casos que anuncian un futuro lleno de posibilidades. En agosto de 2018, el Hospital Oftalmológico Moorfields del Reino Unido presentó un trabajo realizado en colaboración con Deep Mind, un laboratorio londinense dependiente de Google especializado en inteligencia artificial. Esta colaboración entre médicos y expertos en la enseñanza de máquinas mostró cómo había sido capaz de entrenar un sistema de inteligencia artificial para identificar más de 50 enfermedades de los ojos a partir de imágenes con un grado de acierto similar al de médicos especialistas.

Meses después, en mayo de 2019, la revista Nature Medicine publicó los resultados de otro equipo mixto en el que Google colaboró con una institución académica, en este caso la Universidad del Noroeste en Illinois (EE UU). Su objetivo era mejorar los sistemas de cribado que permiten descubrir el cáncer de pulmón en estadios de desarrollo temprano. Estas tecnologías, que emplean dosis bajas de radiación, producen falsos positivos y negativos que reducen su fiabilidad.

Investigadores e ingenieros, empleando imágenes de tumores que habían sido confirmados o descartados utilizando biopsias, entrenaron un sistema de inteligencia artificial que empleaba imágenes de tomografía presentes y pasadas de pacientes para predecir su riesgo de desarrollar cáncer de pulmón. Después de analizar 8.000 casos, y comparando sus resultados con los de seis radiólogos, la máquina les venció a la hora de evaluar el riesgo de cáncer cuando solo se contaba con una imagen actual de los pacientes. En esos casos, redujo en un 11% el número de falsos positivos y en un 5% el de falsos negativos. Cuando sí había imágenes previas, máquinas y humanos obtenían resultados similares.

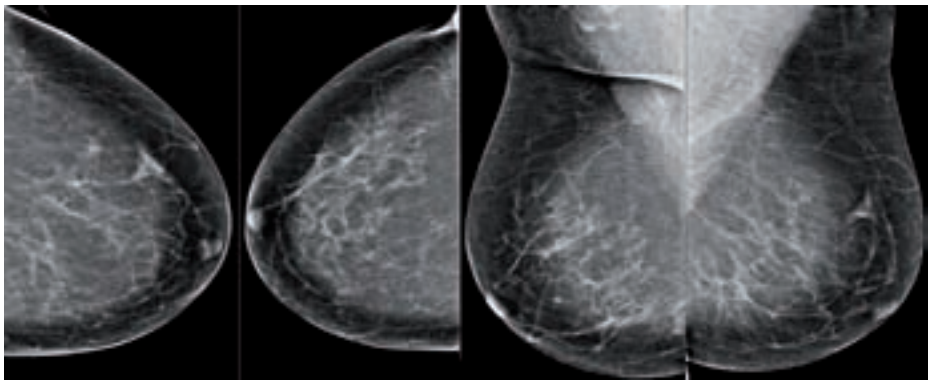
Según explicó entonces Mozziyar Etemadi, investigador de la Universidad del Noroeste y coautor del trabajo, la ventaja de la máquina residía en que gracias a un sistema de aprendizaje automático veía los pulmones en tres dimensiones. Los humanos, sin embargo, tienen que juzgar si los tumores son peligrosos a partir de imágenes en dos dimensiones. Etemadi reconocía que, al menos de momento, este sistema no es fácil de llevar a la práctica clínica habitual, porque para sus análisis necesita una capacidad de computación descomunal, solo disponible para gigantes como Google.

DEEPMIND

DeepMind, la IA de Google, ya reconoce 50 enfermedades oculares con asombrosa precisión.

Por último, un análisis más reciente sobre esta competencia entre humanos y robots en el diagnóstico de enfermedades ofrecía resultados mixtos. En un trabajo publicado en septiembre de 2019 en Lancet Digital Health, Alastair Denniston y Xiaoxuan Liu, de los Hospitales Universitarios de Birmingham (Reino Unido), tomaron 20.000 estudios que desde 2012 habían comparado el grado de acierto diagnóstico de máquinas y humanos. De ellos, solo 14 artículos tenían datos de buena calidad y habían puesto a prueba los sistemas de aprendizaje de las máquinas evaluando su criterio con imágenes diferentes de las que se habían empleado para su enseñanza.

La conclusión era, en primer lugar, que gran parte de los estudios publicados en este campo no cumplen unos estándares de calidad suficiente. Entre los que sí los cumplían, las máquinas identificaron las enfermedades en un 87% de los casos, frente al 86% de los humanos. Cuando no había dolencia que detectar, las máquinas acertaron que el paciente estaba sano en



Arriba, radiografía de cáncer de mama. A la izquierda, cálculo de la edad de una persona a partir de una radiografía, realizada por un sistema de inteligencia artificial. A la derecha, Demis Hassabis, fundador de Deepmind.

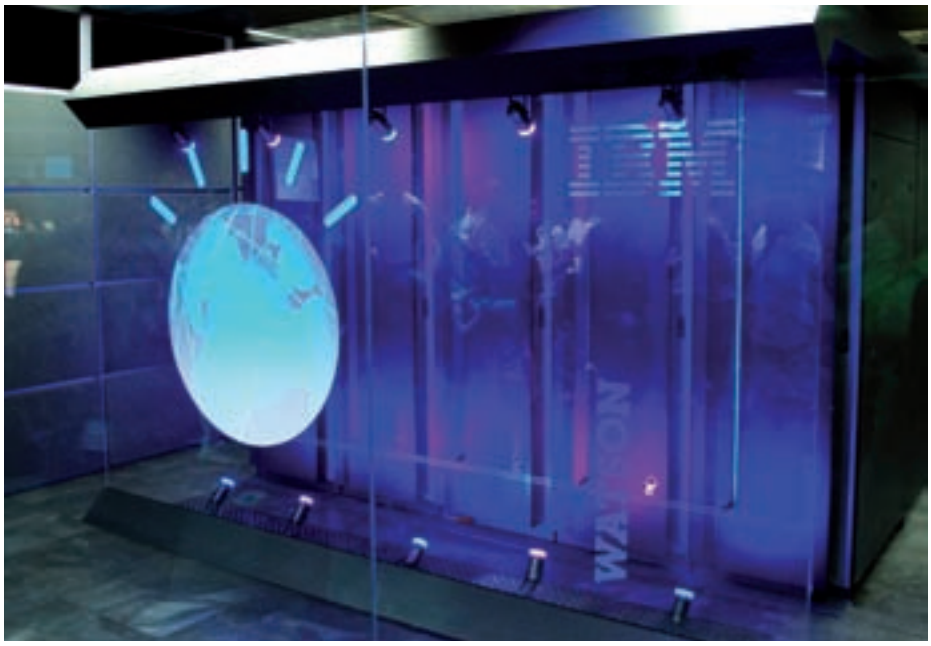
un 93% de los casos frente al 91% de los médicos. Aunque hay una ventaja para la inteligencia artificial, es muy leve.

Recientemente, la revista *Journal of the National Cancer Institute* ha publicado otro trabajo en el que una máquina igualaba a los humanos en la evaluación de tumores. Un equipo de los Institutos Nacionales de Salud de EE. UU. desarrolló un algoritmo para analizar imágenes del cuello del útero de mujeres en busca de lesiones precancerosas que podrían necesitar atención médica. Este tipo de tecnología podría servir para que las personas en lugares con pocos recursos pudiesen acceder a un sistema diagnóstico muy barato, porque se podría aplicar solo con un teléfono móvil. Esta capacidad para mejorar el acceso es uno de los puntos que los expertos consideran interesante de los métodos diagnósticos automatizados.

Joan Seoane, director de Medicina Traslacional del Instituto de Oncología del Vall d'Hebron en Barcelona, señala que el "análisis en detalle de los tumores ha producido una cantidad de datos espectacular. Queremos entender qué es relevante de esos datos e intentar asociarlos con experiencias previas, con el resultado de muchos ensayos clínicos —continúa—. En esa línea, aunque yo creo que todavía estamos un poquito lejos, está lo que puede aportar la inteligencia artificial". En general, profesionales como Seoane consideran que, cada vez más, el análisis de pacientes y de la información que se obtiene de los ensayos clínicos requiere de equipos multidisciplinares en los que se incluyan matemáticos o bioinformáticos, pero creen que la visión humana sigue siendo imprescindible.

A diferencia de lo que sucede con los programas informáticos tradicionales, en los que la máquina sigue unas reglas estrictas escritas por humanos, los algoritmos de inteligencia artificial pueden tomar grandes cantidades de datos y aprender de ellos. En muchas ocasiones son capaces de descubrir pautas dentro de esos datos que a un humano se le habrían escapado. Sin embargo, como explica Seoane, si están solas, las máquinas pueden cometer errores estúpidos.

Richard Caruana, un ingeniero de Microsoft Research, ofreció el año pasado en la revista *Engineering and Technology* un ejemplo clásico de este tipo de



Superordenador Watson, de IBM, utilizado en aplicaciones de inteligencia artificial.

errores. En los 90, Caruana trabajó con unos sistemas incipientes de aprendizaje automático para predecir si la neumonía de un paciente era de alto o de bajo riesgo. Entonces, el modelo informático no fue capaz de interpretar que personas con asma, debido a sus dificultades respiratorias, debían considerarse más proclives a sufrir una neumonía grave. Un médico nunca habría cometido este error de principiante. Y algo parecido sucede con casos infrecuentes o que no coinciden con la información que ha servido a los sistemas de inteligencia artificial para aprender qué está bien y qué está mal.

Los sistemas de diagnóstico han mejorado mucho desde los tiempos que rememora Caruana, pero aún se encuentran lejos de la perfección. Por un lado, reflejan los prejuicios de los datos que se utilizan para entrenarlos y, en esos casos, pueden perpetuar defectos habituales en la profesión médica. Además, como se observó con Tay, el robot de conversación creado para Twitter por Microsoft, a la inteligencia artificial se la puede manipular para que acabe considerando bueno lo malo. En este caso, Tay acabó haciendo declaraciones sexistas y racistas pocas horas después de ponerse a interactuar con otros usuarios que le sirvieron como campo de aprendizaje y le contaminaron con sus malos hábitos.

Uno de los aspectos que se tendrán que mejorar para acercar la inteligencia artificial a la medicina diaria es el tipo de entrenamiento al que se debe someter a las máquinas. En un estudio publicado en *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering,* un equipo de la Universidad del Sur de California (EE. UU.) analizó las diferencias en el nivel de acierto que podía proporcionar un algoritmo dependiendo del tipo de imágenes con las que hubiese aprendido. El algoritmo del equipo estadounidense, liderado por Assad Oberai, fue entrenado con 12.000 imágenes sintéticas debido a que las imágenes de pacientes reales son escasas. Cuando se le volvían a mostrar imágenes sintéticas, el porcentaje de acierto era del 100%, pero descendía cuando se trataba de diagnosticar con imágenes reales. Se le enseñaron al algoritmo diez escáneres, la mitad de lesiones malignas y la otra mitad benignas. En este caso, el grado de acierto llegó al 80%, un resultado moderadamente bueno, pero muy mejorable. Oberai y su equipo creen que con acceso a más imágenes de pacientes reales podrán mejorar la precisión de su algoritmo.

Assa Oberai, investigador de la Universidad de Sur de California.

Mientras se consiguen esas mejoras, algunos defensores de la inteligencia artificial plantean que, aunque por ahora no sea capaz de mejorar los resultados en el diagnóstico logrados por los mejores profesionales en cada especialidad, servirán para mejorar los tratamientos de personas que no tienen acceso a la mejor sanidad y reducir en parte los costes sanitarios. En un artículo publicado en Quarz, se estimó que en algunos hospitales de grandes ciudades chinas se pueden diagnosticar hasta 10.000 pacientes diarios, algo casi inasumible para los médicos humanos que deben soportar esa carga de trabajo. Para ellos, aunque fuese imperfecta, este tipo de tecnología podría suponer un apoyo

Revolución robótica y empleo

Un reciente informe de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) situaba a España, Austria y Alemania como los países que resultarán más afectados por la revolución robótica. En concreto, la cuarta revolución industrial obligará a sustituir hasta un 12% de los empleados en estos tres países, frente a una media del 9% en la OCDE. Según las estimaciones del servicio de estudios de CaixaBank, un 43% de los puestos de trabajo actualmente existentes en España tiene un riesgo elevado (con una probabilidad superior al 66%) de poder ser automatizado a medio plazo, mientras que el resto de los puestos de trabajo quedan repartidos a partes iguales entre el grupo de riesgo medio (entre el 33% y el 66%) y bajo (inferior al 33%). A nivel mundial, se estima que el 8% de los puestos de trabajo actuales están ya ocupados por robots. En pocos años este porcentaje se elevará al 26%.

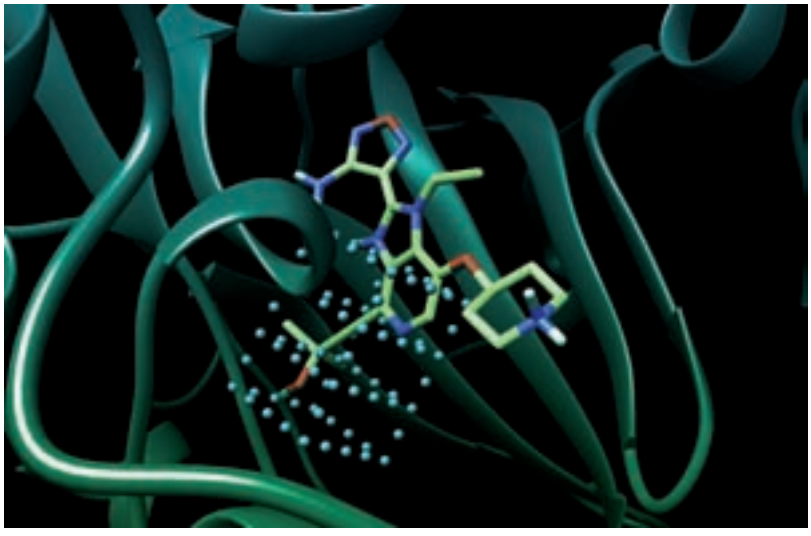
crítico para mejorar los tratamientos y reducir los errores.

Sin embargo, también existen voces que llaman a la cautela a la hora de llevar la inteligencia artificial a la práctica clínica habitual. Junto a los sesgos y limitaciones que por su propio entrenamiento puedan tener las máquinas, se deberá tener cuidado con lo que este tipo de tecnologías significan para la privacidad de las personas. Además, como sucede con otro tipo de avances técnicos, tiene el potencial para mejorar la vida de la mayor parte de la gente, pero también de incrementar las brechas que existen entre quienes tienen recursos y conocimiento para aprovechar sus posibilidades y los que no.

El potencial de las máquinas como sustitutos o apoyo de los profesionales de la medicina y la investigación se puede medir también por el interés que ya está despertando en las grandes empresas del sector. La farmacéutica Bayer ya colabora con compañías tecnológicas para desarrollar programas con los que facilitar el diagnóstico de enfermedades raras o especialmente complejas y ayudar también en la creación de fármacos con los que tratarlas. En un discurso común en este tipo de empresas, los responsables de la compañía afirman que no tratan de sustituir a los profesionales humanos o de dejar completamente en manos de máquinas las decisiones médicas. Más bien, se trataría de que fuesen un apoyo y ofreciesen opciones para facilitar el acierto humano. Según informaba Forbes recientemente, existen ya 148 pequeñas compañías empleando la inteligencia artificial para el descubrimiento de nuevos fármacos.

Una de estas *startups* es Atomwise, compañía que acaba de realizar un acuerdo por 1.500 millones de dólares con el grupo farmacéutico chino Jiangsu Hansoh para producir nuevos fármacos contra el cáncer. En ese consorcio, Atomwise proporcionaría su tecnología de inteligencia artificial y la farmacéutica su capacidad para fabricar medicamentos. El objetivo es realizar parte de los ensayos clínicos sin necesidad de pacientes. Para ello tratará de predecir cómo puede unirse una molécula a una proteína para detener el progreso del cáncer. Por el momento, no hay fármacos o tratamientos accesibles para el público general que se hayan creado con sistemas de inteligencia artificial, pero los expertos calculan que es algo que no tardará demasiado en llegar.

ATOMWISE



La inteligencia artificial permite acelerar el desarrollo de nuevos fármacos, desde el diseño de moléculas hasta algunas fases de los estudios clínicos.

ADAM R. SHANKS/CREATIVE COMMONS

Sistema de diagnóstico mediante inteligencia artificial para la detección de melanoma, de la Fuerza Aérea de EE UU.

La revolución robótica en la medicina es solo una parte de un terremoto que puede transformar nuestras vidas, probablemente para bien, pero que si no se dirige con sabiduría también puede tener efectos negativos profundos. Los logros de la inteligencia artificial a la hora de recopilar gran cantidad de datos y darles sentido van a acabar con la necesidad de muchos trabajos fuera del ámbito industrial. La elaboración de informes, por ejemplo, pasará pronto a ser una labor que realicen mejor las máquinas. Ya hay ejemplos también de empresas, como Narrative Sciences, que han demostrado que un algoritmo puede recopilar la información de un evento deportivo o de una presentación de datos económicos y ordenarla en forma de relato, sin que el resultado sea fácilmente distinguible del de un periodista profesional. Una empresa española, Narrativa, en colaboración con la Universidad de Alcalá de Henares, también está desarrollando algo similar. Con un software llamado GabrieleAI, utiliza la inteligencia artificial para escribir, a partir de conjuntos de datos, textos breves y rápidos especialmente pensados para redes sociales y para posicionarse en los buscadores de internet.

En un caso que puede parecer más extremo, hace ya cinco años, una empresa de capital riesgo colocó en su consejo de dirección un algoritmo. El programa, llamado Vital, puede votar en las decisiones sobre invertir en una compañía o no. Las recomendaciones de Vital, que se centran en el sector farmacéutico, llegan a partir del análisis de grandes cantidades de información, desde datos financieros a ensayos clínicos de fármacos particulares, y conocimiento sobre la propiedad intelectual de la empresa en la que se estudia invertir.

El criterio humano, tanto en el ámbito médico como en todos los demás, será fundamental para que el ascenso de las máquinas sea beneficioso para la mayoría.

Las revisiones temáticas de seguridad y la gestión del envejecimiento en instalaciones nucleares

Las instituciones comunitarias y los Estados miembros de la Unión Europea (UE) pretenden liderar la seguridad nuclear mundial, con el objetivo compartido de su mejora continua. Para ello cuentan con mecanismos legales (Directivas y Reglamentos) pero también prácticos, gracias a la coordinación de los organismos reguladores encargados de supervisar la seguridad nuclear y la armonización de sus prácticas reguladoras, que permiten conjugar la soberanía nacional con una acción común en el ámbito comunitario. Las autoridades reguladoras responsables de la seguridad nuclear en los países de la UE con instalaciones nucleares han desarrollado y llevado a cabo entre 2017 y 2018 la primera revisión temática de la seguridad nuclear (TPR, por sus siglas en inglés) al amparo de la Directiva de Seguridad Nuclear, que se ha dedicado en esta ocasión a la gestión del envejecimiento de las instalaciones nucleares.

Texto: **Carlos Mendoza Gómez**[*], **José Manuel Fernández-Cernuda Migoya**[**], **Jaime Nasarre Muro de Zaro**[***], **Patricia Fernández Andújar**[***], **Carlos Anta Redondo**[****], **Fernando Franco Matilla**[*****] | CSN

La Directiva Europea de Seguridad Nuclear[1], modificada en 2014 a la luz de las lecciones aprendidas del accidente de la central nuclear Fukushima Dai-ichi, introduce en su Artículo 8e la obligación de celebrar revisiones temáticas por homólogos, centradas en un tema específico relacionado con la seguridad nuclear. Estas revisiones temáticas de seguridad, conocidas como TPR por sus siglas en inglés (*Topical Peer Reviews*), deben celebrarse cada 6 años a partir de 2017.

Estas revisiones se suman a las revisiones por homólogos de los marcos reguladores nacionales a las que, en este caso cada 10 años, deben someterse los Estados miembros según la misma directiva. Estos dos tipos de revisión complementarios facilitan un control y seguimiento supranacional tanto de la infraestructura reguladora nacional como de las prácticas específicas en temas de interés compartido en el ámbito de la seguridad nuclear.

Ejercicios anteriores

La UE ha acumulado una vasta experiencia en la celebración de ejercicios de autoevaluación y su posterior intercomparación y revisión entre pares a raíz de la definición y aplicación armonizada de los niveles de referencia de seguridad nuclear de la asociación WENRA y, más recientemente, a raíz de las llamadas pruebas de resistencia, puestas en marcha como respuesta coordinada al accidente de Fukushima. Gracias a esta última experiencia, que exigió la dedicación de importantes recursos por parte de los organismos reguladores de la seguridad y de los titulares de las instalaciones, se puso en práctica un método de revisión cuyos elementos organizativos sirvieron de gran ayuda en la definición de una

[*] Jefe de Área de Gestión de Vida y Mantenimiento, [**] consejero técnico, Área de Gestión de Vida y Mantenimiento, [***] Área de Gestión de Vida y Mantenimiento, [****] Área de Ingeniería Mecánica y Estructural, [*****] Área de Relaciones Internacionales.

WENRA y ENSREG

La Asociación de Reguladores Nucleares Europeos (WENRA) y el Grupo de Reguladores Europeos de Seguridad Nuclear (ENSREG) cooperan y cuentan con elementos y objetivos comunes, si bien se trata de grupos bien diferenciados y complementarios. Además de a los reguladores nacionales, ENSREG da cabida entre sus miembros a la Comisión Europea y a los Gobiernos, incluso los de países sin instalaciones nucleares, mientras que los miembros de WENRA son los reguladores de países con centrales nucleares de la región europea; aunque en las reuniones pueden participar reguladores de países no nucleares, lo hacen en calidad de observadores. Se podría decir que WENRA tiene una orientación más técnica que ENSREG, que contempla además aspectos de carácter político, estratégico y organizativo, lo cual se refleja claramente en el programa de trabajo de los grupos, que resultan complementarios.

Exterior de la central nuclear de Almaraz.

metodología para la primera revisión temática de seguridad.

En junio de 2015, el grupo de reguladores europeos ENSREG, compuesto por los organismos reguladores nucleares de la UE y la Comisión Europea, acordó dedicar la primera revisión temática a la gestión del envejecimiento de las centrales nucleares, dada la edad media del parque nuclear europeo. En el alcance para la revisión se incluyeron posteriormente, asimismo, los reactores de investigación de potencia mayor a 1MWt.

Una vez definida la temática del TPR, se encargó a la asociación de reguladores europeos WENRA y al grupo de trabajo de seguridad nuclear (WG1) de ENSREG la elaboración, respectivamente, de las especificaciones técnicas y la definición de los términos de referencia para el proceso de revisión. Una vez aprobados ambos documentos, se transfirió el liderazgo del ejercicio de revisión a un panel de expertos propuestos por los

Alcance de la Especificación Técnica de WENRA

La especificación técnica de WENRA define el alcance de las estructuras, sistemas y componentes que debían ser analizadas en el contexto de la revisión entre pares.

De acuerdo con su definición, deben considerarse todas aquellas centrales nucleares y reactores nucleares de investigación (estos últimos con una potencia térmica de al menos 1 MWt) que se encontraran en operación o en construcción a 31 de diciembre de 2017.

El alcance se centra tanto en los planes generales de gestión de vida como en los programas de gestión del envejecimiento de las siguientes estructuras y componentes:

- Cables eléctricos
- Tuberías enterradas o de acceso restringido
- Vasija a presión del reactor
- Calandria (no existente en las centrales españolas)
- Estructuras de contención de hormigón
- Vasija de hormigón pretensado (no existente en las centrales españolas)

Es importante resaltar que se consideraron sólo los planes de envejecimiento físico, es decir, la obsolescencia quedó fuera del alcance de la revisión del TPR.

Estados miembros, el denominado *Board* del TPR.

Desarrollo de la Fase 0

Con carácter previo, en la denominada fase 0 se trabajó en la definición de los términos de referencia y las especificaciones técnicas del TPR. El afán expansivo en la acción de la Comisión Europea y la resistencia de los países a la hora de ceder sus competencias exclusivas en materia de regulación nuclear obligan a una negociación continua entre los reguladores, los Gobiernos nacionales y la Comisión Europea a la hora de definir la hoja de ruta para la revisión, la metodología empleada y el seguimiento de los hallazgos que eventualmente se identifiquen durante el proceso. El trabajo de redacción y negociación de unos términos de referencia, que fue liderado por los representantes del CSN en el grupo de trabajo de seguridad nuclear (WG1) de ENSREG, presidido por el entonces Director de Seguridad Nuclear del CSN, Antonio Munuera, comenzó a mediados de 2015 y finalizó con su aprobación a nivel de ENSREG en junio de 2016.

Por su parte, WENRA, a través de su grupo de trabajo dedicado a la seguridad nuclear (el grupo de armonización de reactores o RHWG, por sus siglas en inglés), preparó las especificaciones técnicas, desarrollando el alcance y las expectativas en cuanto a la información técnica que deberían aportar los países en la información nacional que sometiesen al escrutinio de otros revisores.

Ambos documentos se publicaron y sometieron a un proceso de consulta pública, habiéndose resuelto las sugerencias y últimos comentarios recibidos a finales de 2016. En la fase de consulta pública intervinieron asociaciones multilaterales, representantes de la industria nuclear y de otras partes interesadas. ENSREG aprobó y publicó la versión final de los términos de referencia a principios de 2017.

Definición de hallazgos en el contexto del TPR

Uno de los objetivos del TPR, de acuerdo con lo estipulado en los términos de referencia, era la identificación de buenas prácticas y áreas de mejora para los planes de gestión del envejecimiento. También se señalaba que el informe final debía incluir retos comunes a los que el parque nuclear europeo debe enfrentarse en el futuro próximo. Por tanto, el *Board* decidió que, para facilitar el proceso de revisión, debían concretarse estos términos.

- Buena práctica: Es un aspecto de los planes de gestión de vida que se considera que va más allá de lo requerido por la normativa aplicable.
- Nivel de seguridad aceptable: Es el nivel requerido por la normativa aplicable que asegura una gestión del envejecimiento aceptable y consistente a nivel europeo. Si no se alcanza este nivel esperado, se considera que existe un área de mejora.
- Reto: Se trata de áreas de actuación comunes a varios países, en los que una acción conjunta a nivel europeo podría elevar el estado del arte o producir mejoras sustanciales en los planes de gestión del envejecimiento.

Con la aprobación de los términos de referencia y las especificaciones técnicas comenzaron formalmente varias acciones: la designación de expertos y la elección de oficiales que liderasen los distintos módulos del TPR, así como la recopilación y redacción de la información necesaria por parte de los países participantes, que debían publicar sus informes nacionales de evaluación en diciembre de 2017.

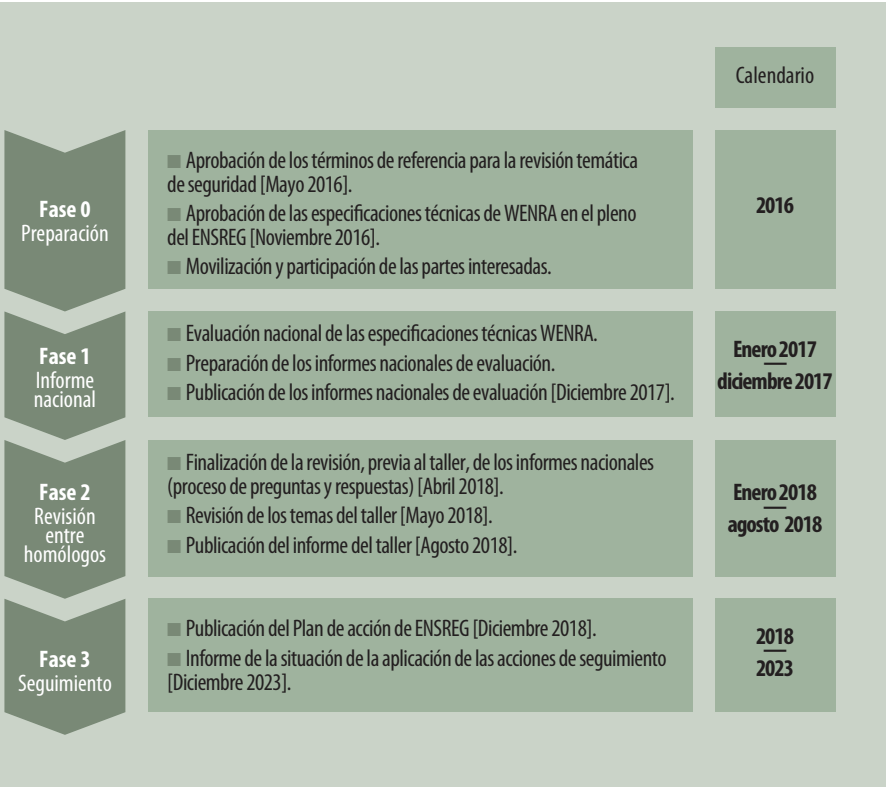


Figura 1. Calendario del proceso de revisión del primer TPR.

Grupo de revisión por países	
Jefe de proyecto 1	UJD (Eslovaquia)
Vicepresidente	ASN (Francia)
Coordinador	ASN (Francia)
Relator 1	FANC (Bélgica)
Relator 2	ANS (Francia)
Relator 3	UJD (Eslovaquia)
Relator 4	ANVS (Países Bajos)
Expertos (x8)	
RPV Y Calandria	
Jefe de proyecto 2	ANS (Francia)
Relator	FACN (Bélgica)
Expertos (x9)	
Cables	
Jefe de proyecto 3	BMLFUW (Austria)
Relator	ANS (Francia)
Expertos (x10)	
Contención de hormigón y PCPCVs	
Jefe de proyecto 4	CSN (España)
Relator	UJD (Eslovaquia)
Expertos (x9)	
Tuberías enterradas	
Jefe de proyecto 5	ONR (Reino Unido)
Relator	ANVS (Países Bajos)
Expertos (x7)	

Figura 2. Composición esquemática del Board del TPR.

El calendario aprobado para el proceso de revisión fue el incluido en la figura 1.

Los términos de referencia, por su parte, incluían los objetivos y fases del proceso de revisión; la metodología a emplear; una propuesta de programa para el taller que concluiría el proceso de revisión, celebrado en la primavera de 2018; un esquema procedimental básico para el seguimiento de las acciones que se derivaran eventualmente de las conclusiones del ejercicio; y los requisitos para la participación del público a lo largo de todo el proceso de revisión.

Desde el punto de vista organizativo, en julio de 2017 el WG1 de ENSREG cedió el testigo de la coordinación del proceso de revisión al *Board* del TPR, una vez completadas las nominaciones y aprobada la designación de sus miembros y sus responsabilidades respectivas. El *Board* del TPR, presidido por el director general del regulador finlandés (STUK), Petteri Tiippana, contó con jefes de proyecto, relatores y expertos designados para cada uno de los grupos que abordaron las diversas temáticas identificadas en las especificaciones técnicas, de acuerdo con la organización que se muestra en la figura 2. España, por su parte, designó un jefe de proyecto y varios expertos, que desarrollaron funciones de coordinación y revisión en los grupos que les fueron asignados.

Fase 1: Preparación del Informe Nacional

El primer contacto con los titulares de las centrales nucleares españolas fue mediante una carta de la Dirección de Seguridad Nuclear el día 26 de noviembre de 2016. En ella se informaba acerca de la necesaria cooperación entre el sector y el CSN para poder elaborar el informe nacional que debía entregarse a finales de 2017.

El 19 de enero de 2017, personal de la Dirección de Seguridad Nuclear (DSN) y responsables de gestión del envejecimiento de las centrales nucleares españolas se reunieron en las oficinas del CSN, realizándose una presentación sobre los objetivos generales del proyecto del TPR y el alcance de la citada especificación, así como del contenido esperado del informe nacional.

A lo largo de dos reuniones más se desarrollaron y homogeneizaron los borradores de los informes de las centrales nucleares con el fin de preparar el informe nacional. Debido a que el parque nuclear español está formado por diversas tecnologías con diseños diferentes[2], en el informe nacional se optó por una descripción global de los programas de gestión de envejecimiento, pero haciendo notar las diferencias que existen en su tratamiento entre los titulares.

El informe nacional fue revisado por la DSN y aprobado por el Pleno en su reunión del 21 de diciembre de 2017. Posteriormente fue enviado a ENSREG y se encuentra disponible para el público a través de la página web de ENSREG[3] y la del CSN.

La presencia española en el proyecto del TPR, además de la elaboración del informe nacional en la que han participado miembros de las áreas GEMA e IMES, ha consistido en los siguientes perfiles:

- Un jefe de proyecto en el capítulo de contención de hormigón y vasijas a presión de hormigón pretensado.
- Un experto en el capítulo de cables.

Central nuclear de Trillo.

- Un experto en el capítulo de vasijas a presión y *calandria*.

Fase 2: Revisión entre homólogos y workshop

Para la fase de revisión entre homólogos se estableció que, dentro de cada área temática, los informes nacionales de los países participantes fueran revisados por al menos dos expertos del grupo. Esta revisión estaba enfocada, tal y como se había establecido en los términos de referencia, en la identificación de temas de interés a tratar durante el taller y que pudiesen alcanzar la categoría hallazgos tras su debate y discusión en el mismo. El *Board* estableció qué se entendía por hallazgo en el contexto del TPR y clasificó éstos en tres categorías: buenas prácticas, áreas de mejora y retos. Estos hallazgos debían tener un interés genérico, esto es, tener relevancia para la seguridad de las instalaciones nucleares de todos, o al menos la mayoría, de los participantes.

Asistentes al taller sobre TPR celebrado en 2018.

Figura 3. Número de preguntas recibidas por país.

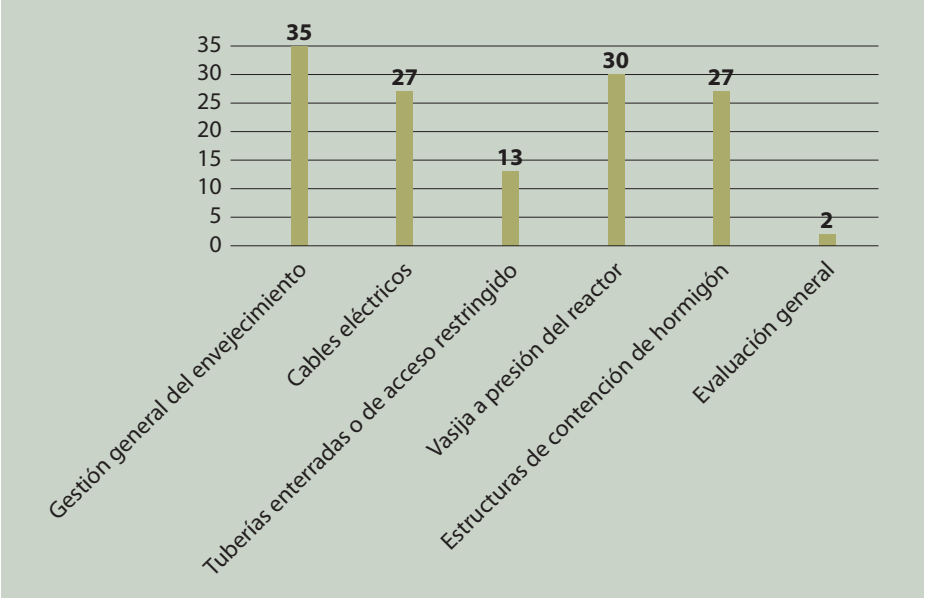


Figura 4. Número de preguntas que recibió España en cada área temática.

El primer contacto entre los integrantes de los grupos temáticos (jefes de proyecto, relator y expertos) tuvo lugar durante el mes de enero de 2018, cuando se hizo la asignación definitiva por parte de ENSREG y los informes nacionales estaban ya publicados. Posteriormente los jefes de proyecto repartieron el trabajo de revisión entre los recursos disponibles en cada grupo. Durante esta primera toma de contacto los expertos realizaron los primeros comentarios a los informes que, posteriormente, los jefes de proyecto recopilaron y elevaron a ENSREG para su distribución.

Entre enero y febrero, los informes nacionales, que tenían carácter público, fueron sometidos al periodo de preguntas por parte de los expertos de los grupos, de otros reguladores y del público en general. En total, ENSREG recibió en torno a 2.300 preguntas, que fueron respondidas por los países participantes y publicadas para su consulta el 25 de abril de 2018 (figuras 3 y 4).

Con las respuestas de los países y tras el primer análisis realizado, los expertos de los grupos temáticos elaboraron la evaluación final, identificando los potenciales hallazgos encontrados en esta fase previa al taller.

Una vez identificados estos candidatos a hallazgos, cada jefe de proyecto, con el apoyo de los expertos, hizo una criba, en base a su importancia para la seguridad, con objeto de seleccionar los más relevantes. Cada uno de estos temas de interés fue presentado durante la semana del taller por un experto del grupo, para su discusión en las sesiones temáticas. Durante los días anteriores al evento, estos expertos se habían encargado de recopilar las características comunes, a partir de los informes nacionales de los países y las respuestas a las preguntas, y lideraron las discusiones durante el taller.

El día 3 de mayo ENSREG organizó, tal y como estaba previsto en los términos de referencia, un evento público en Bruselas, al que acudieron representantes de la industria, otros reguladores y miembros de la sociedad civil. Los integrantes del *Board* expusieron el estado de avance del proyecto y los temas de interés que se debatirían dos

semanas más tarde en el taller, que tuvo lugar en la ciudad de Luxemburgo durante los días 14 a 18 de mayo de 2018. La delegación española estuvo formada por cinco técnicos del CSN y otros técnicos de apoyo de las centrales nucleares españolas.

El primer día del taller se dedicó a la presentación por cada uno de los 19 países participantes en este primer TPR de su programa general de gestión de vida aplicable a sus instalaciones nucleares (centrales nucleares o reactores de investigación), presentando los aspectos más relevantes de sus informes nacionales y de los resultados de la autoevaluación. El segundo día se discutieron los hallazgos identificados para esta área temática, añadiéndose algún aspecto de relevancia surgido durante las presentaciones del día anterior.

El tercer y cuarto día se dedicaron a las áreas específicas de vasijas de presión del reactor, cables, tuberías enterradas o de acceso restringido y estructuras de contención. En esta ocasión, cada área temática se trató de manera separada, siguiendo la misma dinámica que con el programa general de gestión de vida.

Finalmente, el último día del workshop se presentaron los resultados preliminares sobre la valoración de cada país en referencia a cada uno de los hallazgos identificados en base a las definiciones dadas anteriormente.

Cabe destacar que, para el caso del área temática sobre cables, dada la amplia dispersión de tipologías de cables en el parque nuclear europeo, no se calificó a cada país de manera individual, sino que fueron definidos de manera general, tal y como se indica a continuación:

- **Buena práctica**
  Caracterización de la degradación de cables envejecidos en la propia central (depósitos de cables).
- **Nivel de seguridad aceptable**

a. Mejora de la documentación del programa de gestión de envejecimiento de cables.
b. Gestión de las actividades asociadas a los programas de gestión de envejecimiento de cables. Uso de base de datos.
c. Identificación sistemática de efectos-mecanismos en cables.
d. Prevención y detección de *water Treeing*.
e. Incertidumbres de los procesos iniciales de calificación.
f. Determinar la capacidad de los cables para funcionar bajo las condiciones más severas (más allá de condiciones LOCA).
g. Determinar, basándose en la experiencia internacional, las técnicas apropiadas para detectar la degradación de cables inaccesibles.

Para garantizar la transparencia de todo el proceso, todas las sesiones fueron retransmitidas en directo por internet.

Para la finalización de esta fase 2, se abrió un proceso de presentación de alegaciones sobre los resultados preliminares presentados el último día del workshop.

El día 22 de noviembre de 2018 tuvo lugar el segundo evento público, tal y como estaba previsto en los términos de referencia. Durante este día los miembros del *Board* presentaron el informe final del TPR y el listado de hallazgos con su asignación.

Posteriormente, ENSREG elaboró un documento en el que analizaba, para cada hallazgo, el nivel de seguridad aceptable a nivel europeo, de modo que cada país pueda plantear las mejoras de manera armonizada.

Vista panorámica del exterior de la central nuclear Vandellós II.

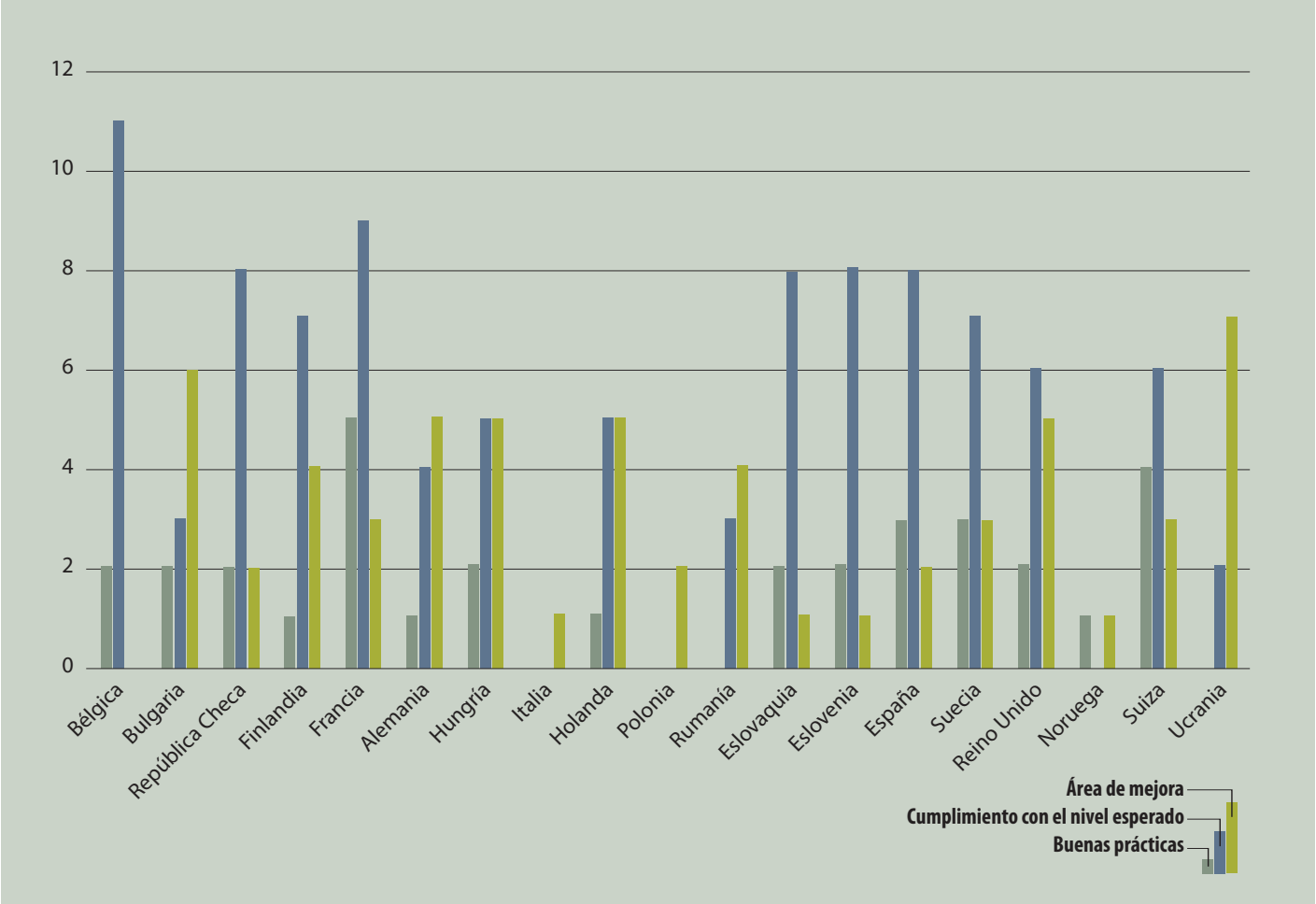


Figura 5. Número de hallazgos asignados a cada país.

El resultado final de todo este proceso se resume en el gráfico mostrado como figura 5. Como se puede observar, los resultados de España se pueden considerar satisfactorios.

Fase 3: Elaboración del plan de acción nacional

Tras el taller de mayo de 2018 y la fase de alegaciones, la siguiente fase del TPR ha consistido en la elaboración por parte de cada país de un plan de acción, que en el caso de España fue remitido por el CSN a finales de septiembre de 2019 de acuerdo con las premisas de ENSREG. En este plan se plantean las acciones previstas para cumplir con el nivel de seguridad definido en el TPR. En el caso concreto de España, se da respuesta a los dos hallazgos categorizados como áreas de mejora en el ámbito temático de la vasija del reactor, los hallazgos genéricos de cables y se difunde también información sobre aquellos hallazgos categorizados como buena práctica. En lo referente a la vasija del reactor, los hallazgos se corresponden con la inspección del material base y de las penetraciones de instrumentación del fondo de la vasija.

Conclusiones

Este proceso, realizado a nivel europeo, ha permitido compartir información y comparar metodologías y prácticas en la Unión Europea sobre la gestión del envejecimiento en centrales nucleares para poder valorar los programas aplicados actualmente en este ámbito. De acuerdo con las gráficas mostradas, con las preguntas recibidas y los hallazgos que se han asignado a España, se puede considerar que nuestro país se encuentra a un nivel muy aceptable para poder abordar con garantías razonables la entrada de las centrales en operación a largo plazo.

[1] Directiva 2014/87/Euratom, de 8 de julio, por la que se modifica la Directiva 2009/71/Euratom y se establece un marco comunitario para la seguridad nuclear de las instalaciones nucleares.

[2] La central nuclear de Santa María de Garoña no entró en el alcance del TPR al encontrarse en cese de operación a 31 de diciembre de 2017, la fecha considerada en la especificación técnica preparada por WENRA.

[3] http://www.ensreg.eu/country-specific-reports/EU-Member-States.

Un sistema de preservación en auge a pesar del miedo que suscitan las radiaciones

Alimentos irradiados, la protección desconocida

Entre las tecnologías existentes para conseguir la mayor seguridad sanitaria y mantener la frescura de los alimentos se encuentra la irradiación, propuesta hace más de un siglo y desarrollada a partir de los años cuarenta, cuya implantación se ha visto tradicionalmente frenada por la desconfianza que provoca en los consumidores todo cuando tenga que ver con las radiaciones. Sin embargo, aunque lentamente, su utilización va ganando presencia en los mercados internacionales debido a las ventajas que ofrece frente a otras alternativas.

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

Hubo un tiempo en el que los alimentos irradiados se consumían, sobre todo, fuera de nuestro planeta. Desde las primeras misiones del programa espacial, raciones de vacuno, cerdo, pavo ahumado y *corned beef* sometidas a irradiación formaron parte de la dieta de los astronautas. Los acompañaron en las cinco misiones a la Luna; se compartieron con los cosmonautas en la misión conjunta Apolo-Soyuz. Y todavía hoy, con una variedad de sabores e ingredientes cada vez más amplia, forman parte de la dieta cotidiana en las lanzaderas y en la Estación Espacial Internacional.

La selección de estos alimentos para la dieta en el espacio no fue fruto del capricho ni de un deseo de experimentar sus efectos en el organismo de los astronautas. Todo lo contrario: una operación de tan alto riesgo como las primeras misiones a la Luna no podía incrementar sus posibilidades de fracaso introduciendo

comida que pudiera dar lugar a problemas de salud en sus consumidores; algo tan trivial en Tierra como una descomposición estomacal puede convertirse en una seria complicación en el confinamiento de una cápsula espacial. Los alimentos irradiados se eligieron, precisamente, porque ofrecían la mayor garantía contra la presencia de cualquier agente patógeno.

La comida que consumen los astronautas en el espacio ha sido irradiada para evitar intoxicaciones.

Esta es la paradoja: mientras que su consumo en el espacio lleva décadas siendo aceptado con pleno consenso, en la superficie de la Tierra se siguen contemplando con una combinación de sospecha y desconocimiento. Su grado de autorización depende de la legislación alimentaria de cada país —Estados Unidos encabeza los índices de permisividad—, y muchos potenciales consumidores se echan para atrás cuando ven la palabra radiación asociada a estos productos. Hay objeciones sobre posibles perjuicios para la salud, algunas con una base más racional que otras. La exigencia de un etiquetado que establezca claramente cuándo un alimento ha sido irradiado es casi universal, pero la dinámica del comercio internacional ha originado casos de importación a algunos países —España entre ellos— sin la etiquetación correspondiente, con el consiguiente alarmismo que en la opinión pública puede causar la inquietud de haber ingerido de forma involuntaria comida sometida a radiaciones.

Y, sin embargo, se sigue irradiando comida. Cada vez más, y con distintos propósitos. 700.000 toneladas en 2013 de acuerdo con estimaciones de la división mixta de Técnicas Nucleares en la Alimentación y la Agricultura FAO/OIEA, en un mercado cuyo crecimiento anual se sitúa, sacando la media de diversos informes, en un 4 %. Casi parecería que el volumen de irradiación de los alimentos es inversamente proporcional al interés por poner al alcance de los ciudadanos información exacta y contrastable sobre en qué consisten exactamente unos productos que ganan en ubicuidad año tras año, y a los que será progresivamente más difícil mantener lejos de la estantería del supermercado.

Y sería de agradecer ese esfuerzo, aunque sólo fuera para extender la información de que la conveniencia de la comida irradiada se apoya en una sólida base científica y legislativa. En 2017, el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), con 171 estados miembros, publicó su Manual de Buenas Prácticas para la Irradiación de Alimentos, dirigido principalmente a la industria, pero con pistas de interés para el consumidor: la irradiación queda definida en sus páginas como "una de las pocas tecnologías alimentarias capaces de mantener la calidad de los alimentos y resolver los problemas de inocuidad y seguridad sin afectar significativamente a sus características organolépticas o nutricionales". El OIEA también recuerda, como hacen otros muchos organismos internacionales, que este procedimiento es el mismo que se emplea en hospitales para esterilizar tanto el equipamiento

La irradiación protege los condimentos y los frutos secos alargando su tiempo de conservación en perfectas condiciones.

médico como los elementos desechables y suministros sanitarios que el personal utiliza en su rutina diaria, de forma que su posterior recogida y tratamiento no lleve consigo la aparición de agentes infecciosos.

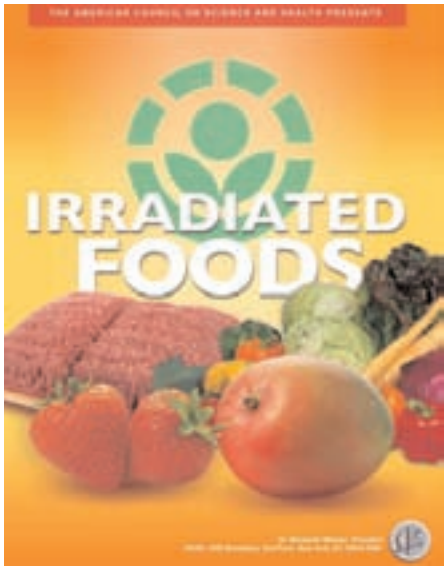
Pero son necesarias algunas precisiones: no toda la irradiación de alimentos sigue el mismo procedimiento ni se lleva a cabo con la misma intensidad. La cantidad de radiación aplicada se mide en kilograys. El gray es la unidad que define la absorción de un julio de energía de radiación ionizante por kilogramo de materia. Existen tres rangos de intensidad de radiación, cada uno con un propósito definido. El más bajo va de 100 grays a un kilogray, y entre sus objetivos está inhibir la germinación en patatas, cebollas y ajos, retrasar la maduración en bananas y papayas, incapacitar la reproducción de los insectos en los productos frescos y eliminarlos en el pescado fresco, las frutas desecadas y las legumbres, e inactivar a los parásitos en productos cárnicos, frutas y hortalizas frescas. En el rango de 1 a 10 kilograys se busca reducir el número de organismos que generan la descomposición en las fresas; prolongar el periodo de conservación en carnes y pescados refrigerados y comidas preparadas; inactivar microorganismos en carnes, pescados y mariscos refrigerados o congelados y en frutas y hortalizas precortadas; y reducir la contaminación microbiológica en especias e ingredientes de alimentos desecados. La categoría superior, con valores por encima de 10 kilograys, se reserva para los casos en los que se requiere esterilidad completa, como la dieta hospitalaria y los ya citados alimentos para astronautas.

Normativa internacional

En cuanto a los tipos de radiación que se utilizan, están determinados por la norma general del Codex Alimentarius, una compilación de normas creada por la FAO y la OMS para garantizar la inocuidad, la calidad y la equidad en el comercio internacional de alimentos. Son básicamente tres tipos: rayos gamma procedentes de los radionucleidos ^{137}Cs y ^{60}Co, electrones acelerados (formando haces de electrones), con una energía máxima de 10 MeV (millón de electronvoltios), y rayos X, con una energía máxima de 5 MeV (en Estados Unidos este nivel está autorizado hasta 7,5 MeV). La efectividad del sistema depende del tipo e intensidad de la radiación utilizada, y de la resistencia del organismo a la misma. Cuanto más complejo sea éste, más sensible será a la irradiación, ya que su actividad es más vulnerable a las alteraciones. No hay que olvidar que los virus, que son la forma de vida más sencilla que existe (hasta el punto de que no se consideran seres vivos propiamente), son también la más difícil de destruir.

Adentrándonos en la historia de esta técnica, sorprende descubrir que sus antecedentes tienen más de un siglo de antigüedad y que en 1895, el mismo año en que Henri Becquerel descubrió la radiactividad, una revista médica alemana ya publicaba un artículo considerando el uso de radiaciones ionizantes para destruir microorganismos patógenos en la comida. En 1905 se registraron las primeras patentes estadounidenses y británicas con este fin, y entre las ventajas enumeradas en el proceso se incluía que haría innecesario el uso de aditivos químicos. La idea no fue mucho más allá debido a los enormes costes que implicaba el proyecto, y a la escasez de radio, por aquel entonces la única fuente conocida de radiaciones ionizantes. Quedó arrumbada, pero no olvidada.

Aunque suele hacerse coincidir en el tiempo la recuperación del interés por los alimentos irradiados con lo que podrían llamarse los años dorados de la era atómica —coincidiendo con el inicio de la década de 1950—, ya en los años posteriores a la Segunda Guerra Mundial se estaban dando los primeros pasos. El largo conflicto había vuelto a poner sobre el tapete la necesidad de mejorar la eficacia de aspectos concernientes a la logística militar, entre ellos la antigua máxima de Napoleón según la cual los ejércitos marchan sobre sus estómagos; la lucha contra el nazismo había propiciado escenarios suficientes que



A la izquierda, portada de la revista *Newsweek* dedicada a las intoxicaciones alimentarias. Arriba, informe que realizó el American Council on Science and Health sobre la irradiación de alimentos. A la derecha, los alimentos que se consumen crudos, como las ensaladas, pueden ser una fuente de intoxicación evitable mediante su irradiación.

mostraban la conveniencia de asegurar la alimentación de las tropas en escenarios de batalla alejados, cuando no completamente aislados, de los cuarteles y centros de abastecimiento. La comida enlatada, y a veces congelada, eran los recursos más habituales. Pero el resultado de investigaciones recientes indicaba que la carne y otros alimentos podían ser esterilizados por el uso de altas energías, un proceso que además aumentaba su tiempo de conservación. En 1950, el tema había despertado el suficiente interés como para que la Comisión de Energía Atómica de Estados Unidos (USAEC por sus siglas en inglés) iniciara un programa coordinado de trabajo sobre el uso de radiaciones ionizantes con este fin. Para entonces se contaba ya con un acceso más sencillo a las fuentes de radiación ionizante y la

Restricciones para una práctica eficaz

Considerando los avances de la sanidad y seguridad alimentaria en las últimas décadas, podría pensarse que incorporar a los procesos ya existentes la irradiación es algo superfluo, que aporta más suspicacias que beneficios. De hecho, la legislación europea establece claramente que la irradiación sólo se admitirá cuando "esté justificada y sea necesaria desde el punto de vista tecnológico; no presente peligro para la salud; sea beneficiosa para el consumidor; y no se utilice como sustituto de medidas de higiene y medidas sanitarias ni de procedimientos de fabricación o agrícolas correctos".

Sin embargo, al tiempo que crecen las medidas sanitarias crece también el volumen de comida producida, así como su distribución internacional. La irradiación parece el procedimiento más eficaz para asegurar que las frutas y verduras no pierdan frescura en trayectos de miles de kilómetros; las rutas internacionales de alimentos irradiados incluyen ejemplos como envíos desde Asia hasta Australia y Estados Unidos. También se ha convertido en una eficaz medida para evitar la propagación de plagas —la mosca de la fruta es un buen ejemplo— que podrían extenderse rápidamente por varios países si se introducen en los cargamentos de comida, haciendo innecesario el uso de pesticidas y eliminando la necesidad de cuarentenas.

De acuerdo con la Organismo Internacional de Energía Atómica, este ha sido uno de los factores que más ha impulsado la entrada de alimentos irradiados en el mercado internacional. Y no sólo de alimentos: Sudáfrica, principal exportador de miel irradiada, somete a irradiación sus panales vacíos para proteger a las abejas de una enfermedad, la loque americana, una de las más frecuentes y destructivas de la apicultura.

USAEC facilitó a los investigadores barras de combustible nuclear gastado procedente de los reactores.

La buena marcha de los trabajos les fue confiriendo un carácter cada vez más oficial y amplio, hasta que en 1958 la autoridad sobre el proceso de irradiación de los alimentos pasó a manos de la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA por sus siglas en inglés). Cuando otros países, como Francia, Reino Unido, Canadá, Bélgica, Rusia y Alemania, emprendieron sus propias líneas de investigación, se hizo evidente la necesidad de un organismo internacional que unificara la información sobre los avances e hiciera frente a posibles preocupaciones y polémicas. En 1970 se constituyó el Proyecto Internacional sobre Irradiación de Alimentos (IFIP por sus siglas en inglés) con sede en Alemania, bajo el auspicio del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y la FAO, formado inicialmente por 19 países y con la Organización Mundial de la Salud como organismo asesor, que estaría activo hasta 1982.

Arriba, hamburguesa de carne irradiada. Abajo, tomates que han sido tratados para mejorar su conservación.

Lenta introducción

Mientras tanto, los primeros alimentos irradiados habían comenzado a llegar a los comercios a finales de los años 70, con una oferta inicial escasa y sin embargo variada: el mercado de especias y condimentos fue uno de los primeros en adoptar de forma masiva los procedimientos, pero también se vendían ancas de rana irradiadas en Francia y Bélgica, mariscos en Asia y cebollas y patatas en diversos países. En los años 80 comenzaron a venderse en Chicago fresas irradiadas procedentes de Florida; la respuesta de los consumidores fue altamente positiva, ya que las encontraban de mejor sabor. Estados Unidos parecía el mejor campo de pruebas, dada la gran distancia que algunas frutas frescas tenían que recorrer desde su fértil estado de origen hasta sus puntos de destino. Así llegaron otras iniciativas, como importar papayas irradiadas desde Hawai a Minnesota. El cambio de milenio fue el punto de inflexión a partir del cual la irradiación de alimentos comenzó a popularizarse, pero también lo hizo la desconfianza hacia sus efectos, y de ahí nacieron las exigencias de que llevaran una etiqueta que permitiera su identificación por el comprador.

No podía negarse lo legítimo de algunas de estas preocupaciones, entre las que destacaban el riesgo de que la

La intoxicación por consumo de marisco crudo es evitable si se somete a irradiación.

radiación provocara mutaciones que aumentaran la peligrosidad de los agentes patógenos, matara a las bacterias presentes en la putrefacción de la comida que nos advierten de cuando un alimento no está en buen estado, o afectara a los nutrientes. Las investigaciones realizadas por la FDA desestimaron todos estos casos: la radiación reduce la cantidad de microbios por debajo de los niveles detectables y se ha comprobado que los que sobreviven tienden a ser menos resistentes al calor, por lo que terminan de desaparecer durante el proceso de cocinado; también se demostró que el proceso no afectaba a la actividad de las bacterias de putrefacción. En cambio, sí se detectaron, en el caso del vacuno irradiado, descensos en el nivel de vitamina B1, pero la cantidad inicial de esta vitamina en la carne es tan reducida que este descenso no afecta a la salud del consumidor.

Etiquetado

En cuanto al etiquetado, éste debe figurar, según las normas establecidas por el Codex, cerca del nombre del alimento, advirtiendo de que ha sido tratado con radiación ionizante. El símbolo que lo indica se conoce como Radura y fue creado en los Países Bajos a finales de la década de 1960. Debe estar presente también al lado del nombre de todos los alimentos elaborados que contengan más de un 5 % de un ingrediente que haya sido irradiado, que además deberá figurar como tal en la lista de ingredientes.

El símbolo conocido como 'radura' indica que el alimento ha sido tratado con radiación ionizante.

Pero no veremos de momento demasiadas de esas etiquetas en los supermercados españoles. Por un lado, Europa es el continente que más tarde ha llegado a la irradiación, y sus cifras palidecen comparadas con las de países punteros, como Estados Unidos. Según el informe de la Comisión Europea sobre alimentos e ingredientes tratados con radiaciones ionizantes, de 2015 —el más reciente de que se dispone—, en Europa se irradiaron 5.685,9 toneladas, un 5,7 % de las cuales lo hicieron en las tres instalaciones autorizadas que hay en España. La producción española de alimentos irradiados se limitó a hierbas aromáticas, especias y condimentos vegetales secos. Estos son los únicos productos que están autorizados a nivel de la Unión Europea, aunque cada país puede ampliar la lista con los que considere más oportunos. Por ejemplo, Bélgica, el país más activo en irradiación, con un 68,8 % del total europeo, incluye también gambas congeladas, peladas o decapitadas; aves de corral y las inevitables ancas de rana, que por su parte acaparan la totalidad de la comida irradiada en Francia. Por su parte, la FDA ha aprobado en Estados Unidos la irradiación de carne de vacuno y cerdo, mariscos y moluscos, frutas y verduras frescas, aves de corral y huevos con cáscara.

Que la comida irradiada ha llegado para quedarse es una evidencia; queda por ver si los países europeos intensificarán su participación en este mercado hasta ponerse a la altura de los más permisivos. Y, considerando los casos, pocos pero llamativos, de alimentos irradiados que se han vendido en España sin la debida etiquetación, queda por asegurar que no vuelvan a producirse excepciones. La irradiación de alimentos es segura, no es perjudicial y se va haciendo cada vez más necesaria, pero, con todo, de acuerdo con los expertos, siempre debe prevalecer el derecho del consumidor a saber con exactitud lo que tiene en su plato.

Tecnología nuclear para detectar la covid-19

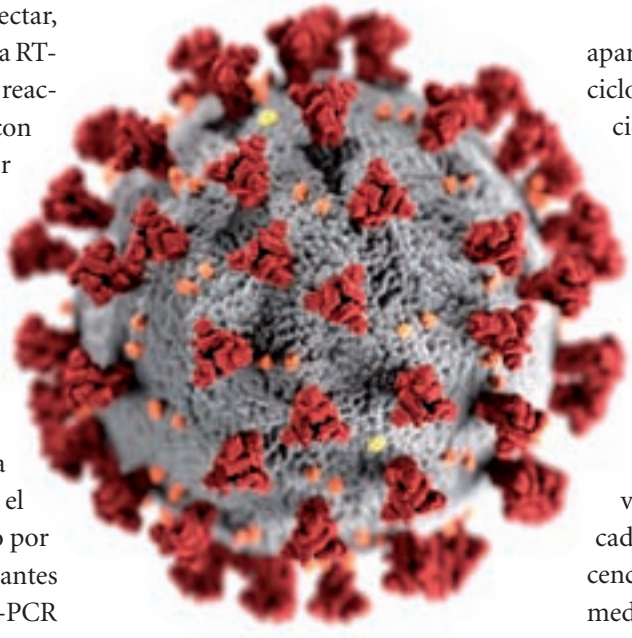
Texto: **Ignacio Martín Granados |** Área de Comunicación del CSN

La pandemia que este año se ha extendido por todo el mundo, con su con su conocido impacto a nivel global se denomina covid-19, acrónimo del inglés *Coronavirus disease-2019*, y está causada por el virus SARS-CoV-2. Para su detección, control y tratamiento está siendo fundamental el uso de diferentes pruebas de diagnóstico.

Uno de los métodos de referencia, por ser de los más exactos para detectar, seguir y estudiar el coronavirus, es la RT-PCR en tiempo real. Se trata de la reacción en cadena de la polimerasa con transcriptasa inversa (RT-PCR por sus siglas en inglés), que detecta la presencia de material genético específico de los patógenos, como los virus.

Inicialmente el método utilizaba marcadores de isótopos radiactivos para detectar secuencias genéticas específicas, pero, tras la introducción de mejoras técnicas, el marcado isotópico se ha sustituido por marcadores especiales, como colorantes fluorescentes. A diferencia de la RT-PCR convencional, que solo arroja los resultados al final del proceso, esta técnica permite observar los resultados de manera casi inmediata mientras se produce la reacción.

Se trata de una técnica muy sensible y precisa que puede ofrecer un diagnóstico fiable en apenas seis horas de trabajo de laboratorio. En comparación con otros métodos de aislamiento de virus es bastante más rápida y tiene menos posibilidades de contaminación o error, ya que todo el proceso puede llevarse a cabo en tubos cerrados. Sin embargo, no nos indica lo contagioso que pueda ser un paciente ni sirve para saber si alguien estuvo infectado por el virus, por lo que, para detectar infecciones ya superadas o que hayan cursado de manera asintomática, se precisan otros métodos.



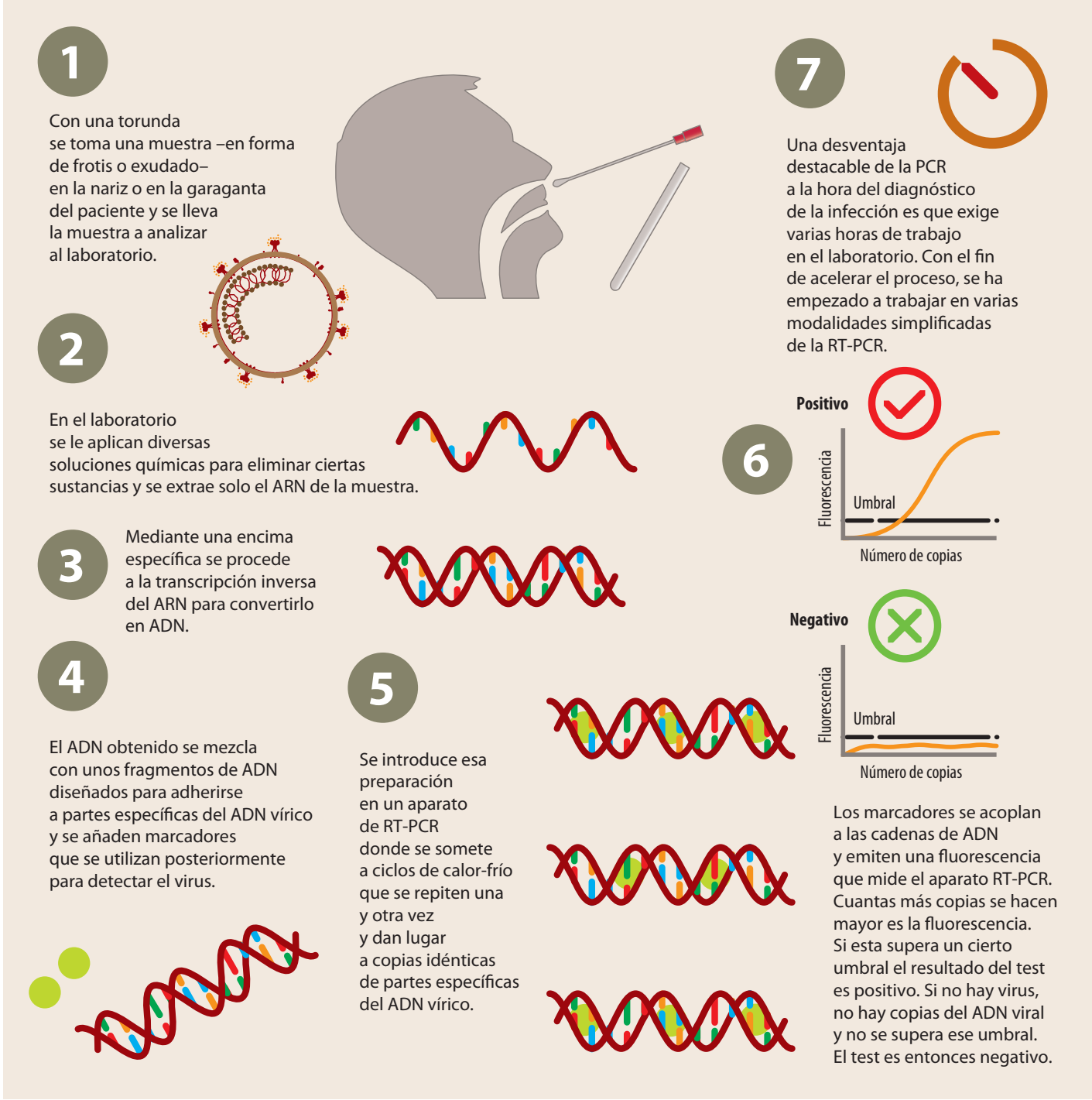
Para realizar este test, se toma una muestra, en forma de frotis o exudado y se le aplican diversas soluciones químicas para eliminar sustancias como las proteínas y las grasas, y extraer solo el ARN de la muestra, que es una mezcla de material genético de la persona y del coronavirus. Después, se procede a la transcripción inversa del ARN para convertirlo en ADN mediante una enzima específica. Luego se añaden pequeños fragmentos adicionales de ADN que complementan ciertas partes del ADN vírico transcrito. Esos fragmentos se adhieren a partes específicas del ADN vírico y algunos de ellos sirven para crear la cadena de ADN durante la amplificación, y otros para producir ADN y añadir marcadores a las cadenas, que se utilizan posteriormente para detectar el virus.

Se introduce esa combinación en un aparato de RT-PCR, donde se someten a ciclos de calor-frío para provocar reacciones químicas que dan lugar a nuevas copias idénticas de partes específicas del ADN vírico. En cada ciclo se duplican las partes específicas del ADN vírico, y se realizan unos 35 ciclos, de manera que al final se habrán creado unos 35.000 millones de copias.

A medida que se producen nuevas copias de las partes del ADN vírico, los marcadores se acoplan a las cadenas de ADN y emiten una fluorescencia, que la computadora del aparato medirá y presentará en tiempo real en la pantalla. La computadora hace un seguimiento de la magnitud de la fluorescencia de la muestra tras cada ciclo. Cuando esta supera un determinado nivel, se confirma la presencia del virus. Los científicos supervisan también el número de ciclos que se tarda en alcanzar ese nivel para determinar así la gravedad de la infección: mientas menor sea el número de ciclos necesarios, más grave será la infección vírica.

Una desventaja destacable de la PCR a la hora del diagnóstico de la infección es que exige varias horas de trabajo en el laboratorio. Con el fin de acelerar el proceso, se ha empezado a trabajar en varias modalidades simplificadas de la RT-PCR, denominadas pruebas de cartucho, en las que la tira con la muestra se introduce en un cartucho que contiene todos los componentes reactivos necesarios y es procesado automáticamente por una máquina analizadora. Si bien este método resulta más rápido que el proceso manual en el laboratorio, la capacidad de los analizadores suele ser limitada.

Sea como fuere, todas las pruebas disponibles actualmente exigen la utilización de instrumental especializado de laboratorio, por lo que los expertos buscan una prueba realmente rápida y sencilla cuyo resultado esté listo en pocos minutos, tanto en el hospital como en la consulta del médico.



Durante muchos años ha sido el portavoz de Ecologistas en Acción en el ámbito de la energía y de los temas nucleares. Tras ser nombrado miembro del Consejo de Seguridad Nuclear abandonó, obviamente, todos sus cargos en la organización ecologista, pero no renunció a sus puntos de vista. Con todo, asegura que en su nueva responsabilidad se guía por los criterios técnicos y por su sentido institucional. Y esos criterios, junto con su preocupación por la relación del CSN con la sociedad, sobrevuelan la casi hora y media de entrevista, realizada el 18 de mayo a través de una plataforma de videcomunicación, como exigía el confinamiento en que vivíamos en esa fecha. Por su otra faceta de investigador, se muestra entusiasmado por las posibilidades que proporciona la actividad del Consejo en ese ámbito.

Francisco Castejón, consejero del Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear

"Lo que se espera del Consejo es simplemente rigor, neutralidad y transparencia"

■ **Ignacio Fernández Bayo** | Periodista científico ■

PREGUNTA: *¿Cómo se pasa de la reivindicación a la asunción de responsabilidades?*

RESPUESTA: En mi anterior etapa siempre fui muy cuidadoso y decía que el papel del Consejo era la neutralidad y que nuestra postura tenía que ser defendible en cualquier situación. En ese sentido no he tenido que cambiar. De hecho, mi figura en el mundo ecologista ha sido controvertida y he tenido detractores, pero creo que el rigor y la sensatez nos ha permitido llegar muy lejos. Y una ventaja es que puedo ocupar este puesto sin ninguna contradicción. Cuando Carmen Martínez Ten fue nombrada presidenta del CSN me llamó y tuvimos una entrevista. Me preguntó que esperábamos del Consejo y yo le dije que simplemente rigor, neutralidad y transparencia. Y eso es exactamente lo que sigo pensando.

P: *Pero dado su activismo anterior algunos vieron extraño su nombramiento.*

R: Creo que todos los miembros del Pleno tienen sus propias ideas, opiniones formadas sobre el uso de la energía nuclear de fisión para producir electricidad. Yo también las tengo, pero eso no impide en modo alguno que actúe como regulador, que me sitúe en la objetividad, que evalúe los informes técnicos y que obre con unas altas exigencias. Lógicamente mi punto de vista no es el mismo que antes; aquí tengo muchísima información, me encuentro con profesionales que hacen su trabajo de forma muy digna e intento actuar de acuerdo con mi responsabilidad.

P: *Entonces, ¿se siente cómodo en el Pleno del Consejo?*

R: Sí, me siento cómodo, creo que estoy apropiadamente formado para este trabajo, me gusta mucho la parte técnica, el ver con detalle los informes, examinar las exigencias de los técnicos en todos los campos... Es un trabajo duro, a veces hay que echarle muchas horas, debatir mucho con los otros miembros del Pleno, pero eso es algo que se adapta bien a lo que a mí me gusta. Echo de menos un poco la investigación, quizás.

P: *En esos debates ¿se consigue fácilmente la unanimidad?*

R: No. Hay que discutir mucho y todos ponemos, creo, de nuestra parte para entendernos y para convencernos. De hecho, me parece que es uno de los ejercicios más interesantes que hacemos. Una vez que tienes tu postura tomada ser capaz de argumentarla para convencer al resto del Pleno o ver en qué aspectos puedes ceder para llegar a un consenso. Se consigue, pero cuesta. Ha habido algunos temas en los que no se ha llegado a la unanimidad, pero creo que en los asuntos más importantes este Pleno ha conseguido consensos interesantes.

P: *Usted ya conocía el Consejo como miembro de su Comité Asesor. ¿Ha cambiado su perspectiva?*

R: Pues tuve la suerte de ser miembro de ese Comité desde su fundación, desde su puesta en marcha hasta mi

nombramiento como consejero y ha cambiado mi perspectiva, pero no del todo. Hay que intentar que el CSN sea una institución próxima a la sociedad, lo más abierta posible, para poder atender las solicitudes de información y para que seamos permeables a las preocupaciones ambientales de los ciudadanos. El Consejo Asesor es una buena idea, pero creo que no se le está sacando todo el provecho que podría tener. Y desde mi nuevo papel sigo trabajando en ello.

P: *El CSN tiene una intensa actividad internacional en la que usted está ahora participando, ¿cómo ve esas relaciones internacionales?*

R: Antes tenías ciertas nociones de esa actividad, pero ahora la vivo en directo, diversas convenciones, reuniones en el OIEA... y algo muy interesante, las relaciones bilaterales con otros organismos reguladores. Tengo la fortuna de encargarme de esas relaciones con la ASN, el regulador francés, y ver qué interesantes políticas de comunicación tienen. En ese sentido creo que nos viene bien incorporar algunas ideas. También a nivel de intercambio de experiencias reguladoras, resulta esclarecedor ver cómo ellos han atacado algunos problemas como, por ejemplo, accidentes en aceleradores de hospitales, que nosotros también hemos tenido.

P: *La investigación ha sido siempre un elemento clave para el CSN con el objetivo de mantener su nivel técnico al día. ¿Cómo está actualmente el Plan de I+D del CSN?*

R: Yo creo que estas actividades dependen en mucha medida del interés de cada Pleno; hay algunos que le dan más valor que otros. En este caso creo, y el Pleno actual también, que es una actividad muy importante porque nos enfrentamos cotidianamente a nuevos desafíos. Por ejemplo, hay nuevas instalaciones radiactivas y nucleares que nos obligan a aprender. Tres ejemplos de ello son el Centro de láseres pulsados ultracortos de Salamanca; las instalaciones de protonterapia para tratar el cáncer, de las que ya hay licenciadas dos; y la instalación IFMIF-Dones, que esperemos que se construya en Granada, con financiación europea y que procede de un proyecto impulsado por el Ciemat. Todas estas instalaciones plantean problemas radicalmente nuevos y necesitamos investigar para dominarlos. La I+D es vital si queremos mantener al organismo en primera línea.

P: *¿Cómo va el proyecto IFMIF?*

R: Es una instalación dedicada a resolver uno de los problemas que nos separan de la fusión, que es encontrar materiales que soporten las condiciones extremas que hay en un reactor de fusión nuclear, el flujo enorme de energía que llega del plasma más el flujo de los neutrones más energéticos que hay en la naturaleza. Además va a tener un sobrante de neutrones que permitirá investigaciones diversas también para otros materiales. Existe una posibilidad de separar el haz del acelerador para hacer otras pruebas, incluso médicas. Será un elemento muy importante para la Universidad de Granada.

P: *¿Está ya decidido que se haga en Granada?*

R: Bueno, la UE ha dicho que sí, que el candidato europeo es Granada, tras competir con otros países. Allí estará IFMIF-Dones, que es un primer paso para el futuro IFMIF, que será 2,5 veces más grande, pero al ser un proyecto modular, lógicamente donde se instale IFMIF-Dones se instalará IFMIF. Es un proyecto de mucha envergadura, ya que supone como una quinta parte del ITER. Su consecución ha sido un hito importantísimo y una clave para la elección ha sido la existencia de un organismo regulador como el CSN, que ha demostrado su capacidad para licenciar este tipo de instalaciones.

P: *¿Cuáles considera que son actualmente las fortalezas y las debilidades del CSN?*

R: Bueno, yo creo que la principal fortaleza es su personal, tiene un buen equipo técnico, capaz de afrontar los desafíos, como está demostrando. En cuando a las debilidades, creo que habría que mejorar mucho en organización, que la gente sepa mejor lo que tiene que hacer, mejorar los debates técnicos y cómo se resuelven. Y debe mejorar la

Francisco Castejón visita el Centro de Láseres Pulsados de Salamanca en septiembre del año pasado.

relación de la institución con la sociedad, que muestre lo que hace y reciba las inquietudes de la sociedad en general y no solo de sus grupos de interés. A mí me parece que son los desafíos que debe afrontar y creo que hay *room for improvement*, sitio para mejorar.

Francisco Castejón trabajando durante el periodo de confinamiento.

P: *Sobre la relación con la sociedad, usted quiere poner en marcha un proyecto de ciencia ciudadana. ¿En qué consiste?*

R: A los que nos gusta la ciencia nos gusta divulgarla, pero también dar un paso más allá y conseguir que la sociedad *haga* ciencia. Y tiene que ser ciencia, algo riguroso, que aporte conocimiento. Las experiencias que he tenido de ciencia ciudadana muestran que los ciudadanos pueden aportar; por ejemplo, con sistemas de medida y que luego un grupo de especialistas las interprete. En nuestro campo, una posibilidad obvia tiene que ver con la radiactividad ambiental, además existen tantos miedos que acercar a los ciudadanos a este fenómeno ayuda a que vean que no es algo misterioso, que se puede controlar. El proyecto que estamos impulsando, tiene dos partes. Una es hacer un *hackaton* para intentar desarrollar un sistema de medida que pueda instalarse en el móvil. Ya hay aplicaciones que pueden hacerlo, pero como no tenemos confianza en su rigor vamos a tratar de validarlas o desarrollar otras nuevas fiables. La segunda parte sería extender el uso de esas aplicaciones entre diferentes cohortes de ciudadanos colaboradores, y que aprendan lo que es la radiactividad, la protección radiológica, etc.

> *"Es necesario que el CSN muestre lo que hace y que reciba las inquietudes de la sociedad en general"*

P: *Los centros de enseñanza serían un posible canal.*

R: Absolutamente; serían "el canal", tanto a nivel universitario como de enseñanza media. Y se podría conseguir implicar también a los ayuntamientos, a la Fecyt (Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología) y a otras instituciones. A partir de ahí no sabemos qué evolución podría tener el proyecto. Nos interesa que sea fiable, con rigor científico, y a la vez que sirva para divulgar entre estas comunidades. Evitaríamos así *outsiders*, malintencionados y otros por el estilo, que siempre existen.

P: *¿En qué momento está el proyecto?*

R: Bueno, estamos en la fase de definición y si no fuera por la covid-19 ya estaríamos en marcha. Esto del *hackaton* aquí en España puede parecer excéntrico, pero hay muchos ejemplos de que se ha hecho en otros sitios con mucho éxito. Por ejemplo, la NASA, o la ESA con el CanSat (satélite en una lata), que consigue que los participantes lancen instrumentos caseros a 1 km de altura. Muchos centros de alto nivel, como el MIT, los han puesto en marcha para abrirse a la sociedad y conseguir el interés de los ciudadanos en sus actividades.

P: *Otro de sus proyectos es el hacking ético. ¿En qué consiste?*

R: Es otra práctica de apertura a la sociedad. Internet nació en el CERN y muchísimos informáticos se han formado en el entorno del CERN. Por eso es hoy el centro que más ataques de *hackers* recibe de todo el mundo, por simple diversión o entrenamiento. Por eso, algunos profesores han pensado que se puede aprovechar para fines benéficos esa afición de sus estudiantes por atacar todo tipo de instalaciones. Han llegado a acuerdos con instituciones para permitir que esos estudiantes ataquen sus sistemas, encuentren sus debilidades y finalmente se las comuniquen para mejorar su seguridad, que aprenda de sus debilidades cibernéticas. Hay muchas instituciones que lo hacen, aunque no todas se pueden decir abiertamente, porque son confidenciales, pero creo que al CSN nos puede ayudar.

P: *Por ejemplo, una central nuclear...*

R: Una central nuclear para empezar está aislada computacionalmente, así que no cabrían ese tipo de ataques.

P: *Uno de los temas candentes para el CSN es la extensión de vida de las centrales. ¿Qué opina del proceso de renovación de licencias actualmente en marcha y que permite superar el plazo de vida útil de las centrales previsto inicialmente?*

R: Sobre el tiempo que una central nuclear debería funcionar yo tengo mi opinión, pero eso no cuenta ni debe contar. Lo que nos compete a todos los miembros del Pleno es analizar los informes de evaluación de los técnicos y conseguir que los requisitos de seguridad sean los más altos posible. En definitiva, garantizar que la probabilidad de accidente durante el tiempo que se extienda el funcionamiento de la central sea despreciable.

P: *Ahora se acumulan las renovaciones de licencias. ¿Está siendo sencillo?*

R: Mi primer ejercicio en este aspecto ha sido la autorización de Almaraz I y II que ha sido una evaluación compleja porque entra ya en operación a largo plazo. Ha habido que hacer una revisión periódica de seguridad, que correspondía a los 10 años y, además, ha habido que evaluar otros elementos, como la protección contra incendios. Y hemos tenido que hacerlo en estos tiempos, mediante teletrabajo e impactados por la situación que estamos viviendo. Y creo que lo hemos hecho bien, con un resultado satisfactorio y en plazo. Creo que el Consejo está capacitado para afrontar lo que le viene por delante. Nos quedan cinco reactores más que habrá que ir evaluando.

> *"La evaluación de la renovación de Almaraz ha sido compleja pero el resultado ha sido satisfactorio"*

P: *El próximo será Vandellós II y en poco tiempo ¿no?*

R: Su permiso termina el 26 de julio, así que debemos terminar la evaluación de la solicitud un mes antes, pero tenemos la ventaja de lo aprendido en Almaraz, que nos va a ser muy útil.

P: *De acuerdo con el calendario previsto, en 15 años se habrán cerrado todas las centrales nucleares españolas. ¿Está preparado el Consejo para la intensa actividad que supondrá el desmantelamiento de todas ellas en muy pocos años?*

R: Absolutamente sí. Tenemos la ventaja de que hemos licenciado el desmantelamiento de una central refrigerada por gas y moderada por grafito, Vandellós I, y una de reactor de agua a presión, José Cabrera, aunque era pequeña, y ahora nos vamos a enfrentar al de Garoña, que es un reactor de agua en ebullición. Así que esta institución, junto con Enresa, que es la empresa que lleva a cabo los desmantelamientos y la gestión de los residuos, se habrá enfrentado a tres tecnologías bien diferentes, con un rango de aprendizaje que pocas instituciones en el mundo tienen ni tendrán. Creo que si somos capaces de extraer lecciones de estos tres casos podremos hacerlos valer en los siguientes procesos que nos vengan, y también a nivel

"La fusión es la energía del futuro y ahora sabemos ya el camino para llegar allí"

P: *Usted procede del mundo de la investigación en fusión nuclear. ¿Cómo va la puesta en marcha del gran reactor que deberá probar su viabilidad, el ITER?*

R: Se está construyendo a un ritmo más lento del que nos gustaría, porque depende básicamente de la financiación. El proyecto está bien definido y los fines, tanto científicos como técnicos, están claros, pero avanza al ritmo que permite la financiación. Hay un problema adicional y es que los siete socios participan en especie en lugar de dar dinero, que sería más sencillo de gestionar, porque quieren aprovechar el ITER como un motor de su desarrollo tecnológico.

P: *¿Cuándo podría empezar a funcionar?*

R: Muchas veces se han dicho fechas y luego no se han cumplido. Se ha dicho que habrá un primer plasma en 2024. No sé si es realista, pero en ese horizonte, quizá en poco más de un lustro, tendríamos el primer plasma y en un plazo de un par de años más empezaríamos con deuterio y tritio.

P: *Los retrasos son algo habitual en fusión.*

R: Yo suelo decir un chiste: que la fusión es la energía del futuro y siempre lo será. Pero ahora hay algo nuevo que antes no existía, y es una hoja de ruta, elaborada por la UE. Yo he tenido la fortuna de participar en ella y en su primera revisión. Ahí está puesto claramente lo que queda por hacer y, con la financiación apropiada, el tiempo que costaría hacerlo. Eso es algo nuevo. Ahora sabemos cómo llegar a la fusión comercial, qué medios hacen falta y los problemas a resolver, que son fundamentalmente dos: los materiales, que es lo que intentará resolver IFMIF, y conseguir domesticar el plasma, que plantea problemas complejos, que están fuera del equilibrio termodinámico, pero también sabemos ya cómo

internacional, donde este aprendizaje nos colocará en una excelente posición.

P: *Usted está en el comité de enlace con Enresa para el desmantelamiento de José Cabrera. ¿Cómo está el proceso?*

R: Está prácticamente terminado. Queda muy poco y la gente de protección radiológica dirá cuándo se puede liberar el emplazamiento y devolverlo a sus titulares para otras actividades, lo que será un ejemplo. Lo que tenemos es un grupo de trabajo para extraer las lecciones aprendidas del proceso.

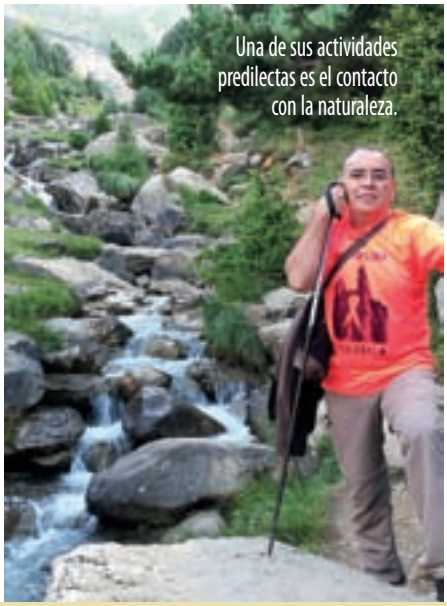
P: *¿Y qué lecciones han sido?*

R: El desmantelamiento de José Cabrera ha sido modélico desde muchos puntos de vista, entre ellos el técnico: se ha avanzado mucho en la reducción de residuos a gestionar, en cómo se hicieron los cortes de los internos de la vasija, etc. Muchos aprendizajes de primera línea. Y se trata de que todo lo que hemos aprendido se pueda utilizar en el futuro e incluso mejorar, porque siempre se puede mejorar.

P: *¿La reducción de la cantidad de residuos ha sido por una redefinición de la clasificación de materiales?*

R: Siempre cuando se intenta reducir hay que moverse con cuidado. Yo creo que entra dentro de la normalidad. Hay unos límites y mínimos de exención. Y una cosa no quita la otra, que el esfuerzo por reducir está bien y cuando ya no se puede reducir más, pues no se puede.

P: *El combustible y otros residuos de alta actividad están actualmente en un Almacén Temporal Individualizado (ATI) en el emplazamiento. ¿Tienen ya un destino previsto?*



Una de sus actividades predilectas es el contacto con la naturaleza.

R: Esta es la pregunta del millón de dólares. Según el borrador del VII Plan General de Residuos su destino es un ATC (Almacén Temporal Centralizado); es decir, todo el combustible gastado más los internos de las vasijas de las centrales nucleares, que hoy se están depositando en los ATI se llevarían a un ATC. Y según ese mismo borrador, finalmente el destino sería un AGP (Almacenamiento Geológico Profundo), que se pondría en marcha hacia finales de este siglo. En cualquier caso, las decisiones sobre este destino no le competen al Consejo sino al Gobierno. De momento están en el ATI. Están seguros, y el papel del Consejo es vigilar que sigan seguros hasta que se tome una decisión sobre su destino final. ENRESA abre ahora la posibilidad de instalar ATD (Almacenes Temporales Descentralizados) en lugar del ATC.

P: *¿Todas las centrales tienen ya un ATI?*

R: Bueno, todas no, pero por la fuerza de los acontecimientos la mayor parte sí, con la excepción Vandellós II.

hacerlo. La fusión es la energía del futuro, pero ahora sabemos cómo llegar a ese futuro.

P: *Entre las diferentes tecnologías están los stellarator, como el TJ-II español. ¿Sigue siendo una opción?*

R: Es la opción. Algunos de los problemas que plantean los *tokamaks* los tienen resueltos los *stellarator* por su propia naturaleza. Funciona de forma continua, no es pulsado; no precisa esas gigantescas instalaciones que necesitan los *tokamaks*, es estable, y el único problema que tiene es su complejidad, pero con las nuevas tecnologías y la capacidad de simulación de los superordenadores esa complejidad ya no es un problema. El *stellarator* W-7X, en el norte de Alemania, con unas curvaturas increíbles, retorcidas, ha sido construido con unas precisiones que hace 20 años no soñábamos siquiera.

P: *Pero ITER es un tokamak.*

R: Claro, porque cuando se diseñó, todavía los *stellarator* no estaban lo suficientemente maduros como para ser candidatos a un reactor de fusión experimental, pero hoy la discusión sería otra. Hoy podemos asegurar que en poco tiempo estarán ya maduros y podrán ser considerados candidatos. Y buena parte de lo que aprendamos en ITER, como el control del tritio, los materiales, y otras cosas, se podrán aprovechar para dar el salto directo a *stellarator*.

P: *Además de estas opciones existe una tecnología muy diferente, la inercial. ¿Dónde queda en esta hoja de ruta?*

R: Esta es una pregunta muy delicada. El problema de la fusión inercial hoy ya no es la física del plasma sino de desarrollo de láseres. Irá avanzando en la medida en que haya láseres lo suficientemente potentes para conseguir la fusión. Hubo un experimento hace unos años en el NIF (National Ignition Facility, en EE UU) que solo llegó al 40% de la ignición, mientras que en el JET, que es un *tokamak* magnético, se llegó al 60% en los años 90. No han vuelto a hacer más intentos, o al menos no los han hecho públicos. La fusión inercial presenta muchos desafíos tecnológicos. Veo más cercana la magnética, quizás porque es de donde yo vengo.

Imagen tomada durante la entrevista a través de videollamada.

En busca de la fusión nuclear

Francisco Castejón Magaña. (Munébrega, Zaragoza, 1961) se licenció en 1984 en Ciencias Físicas por la Universidad de Zaragoza y se doctoró por la Complutense de Madrid en 1989. Su vida profesional se ha desarrollado desde 1986 en el Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas (Ciemat) como investigador en el ámbito de la fusión nuclear por confinamiento magnético. Realizó estancias de investigación en Francia y en Ucrania. Entre sus líneas de estudio se encuentran la física del plasma y el estudio de los *stellerators*, de reactores de fusión nuclear magnética, junto a los *tokamak*. Es autor de 170 artículos en revistas científicas y más de 200 presentaciones en congresos internacionales, incluidas ocho conferencias invitadas. Ha sido evaluador de proyectos nacionales e internacionales y revisor de diferentes revistas científicas. También ha realizado actividades de divulgación científica con artículos, conferencias, participación en programas de televisión y documentales. Desde 2019 es consejero del CSN. En el momento de su designación era director de la Unidad de Teoría del Laboratorio Nacional de Fusión y Líder del proyecto europeo *Stellarator Optimization: theory, development and Engineering*.

Las demás o tienen ya uno en funcionamiento o tienen un proyecto para construirlo. Creo que el problema viene de que el VI Plan de Residuos preveía disponer de un ATC para 2010 y no se consiguió, por lo que las centrales han tenido que almacenar su combustible gastado mediante esta alternativa.

P: *La existencia de esos almacenes temporales en las propias centrales ¿no es un indicio de que no se va a hacer un ATC?*

R: Bueno, no me corresponde a mí decirlo, pero de momento el problema que hay en la gestión de los residuos es que los acontecimientos nos van atropellando. Creo que haría falta una clara definición política sobre la cuestión.

P: *Y mientras no haya un ATC se mantiene el problema de los residuos de Vandellós I, que siguen en Francia, y por los que se sigue pagando un alto precio.*

R: Efectivamente, tenemos unos residuos que se enviaron a reprocesar a Francia y que a Enresa le supone pagar una fianza diaria, pero después, cuando ese combustible vuelva a España, se devolvería. Lógicamente, estaría bien disponer de una instalación para que ese combustible pudiera venir. Pero no creo que esto sea un elemento definitorio de la política de gestión de los residuos, creo que es mucho más relevante ver la duración del parque nuclear y qué se va a hacer con los residuos de cada una de las centrales.

P: *Usted personalmente, objetivamente, ¿qué opción le parece la mejor?*

R: Mi opinión personal, sin valorar los argumentos técnicos, sería ir directamente a un AGP, sin pasar por el ATC. La opción de los ATD facilitaría este proceso, pero hace falta mucho trabajo técnico para tomar esa decisión.

P: *El AGP originalmente era un destino cerrado, pero luego empezaron a surgir modelos de AGP recuperables. ¿Ese sería el modelo adecuado?*

R: Creo que es obligado. Desde el punto de vista técnico y también ético. Los residuos deberían poder ser recuperables. Yo creo que ya es posible tecnológicamente, no hay obstáculos insalvables. Si nuestros conocimientos sobre radiactividad, resistencia de materiales, transmutación etc. han aumentado muchísimo en un siglo, quien sabe si a la vuelta de unos años seremos capaces de neutralizar esas sustancias e incluso reutilizarlas.

P: *Usted está en un grupo de trabajo que pretende modificar la Instrucción de Seguridad IS-10, sobre la notificación de sucesos. ¿En qué consiste la propuesta?*

R: La notificación de sucesos creo que es importantísima en todo lo que tiene que ver con la transparencia y la comunicación con la sociedad. Tiene que ser un valor claro. Estamos trabajando en deshacer cambios que se introdujeron en el pasado y para mejorarla en su conjunto, incluyendo actualizaciones de las notificaciones, no solo sobre seguridad nuclear sino también sobre protección radiológica.

P: *Actualmente hay incidentes que no son notificables.*

R: Exacto. Y hay que conseguir que los que tengan cierta relevancia lo sean. Un trabajo que también hicimos fue deshacer un cambio en la clasificación de la escala INES por el que se recortaba la comunicación al público. Hemos adecuado nuestro sistema de clasificación a lo que se recomienda internacionalmente. Este trabajo ya se ha hecho y creo que ha sido positivo para el Consejo porque la clasificación ahora es más mucho más justa y certera de lo que era.

P: *¿Había que definir claramente qué correspondía a cada peldaño de la escala?*

R: En particular había algunos sucesos sin iniciador que directamente se clasificaban como Nivel 0, cuando la guía de la OIEA los encuadra en nivel 1. Si ha habido un fallo hay que clasificarlo y el público tiene derecho a saberlo.

P: *¿Cómo van a quedar las notificaciones tras los cambios?*

R: Ahora son de una hora, de 24 horas y de un mes. En las notificaciones a un mes, el proceso es demasiado largo, llegan tarde y no se ponen en marcha todos los mecanismos adecuados. Esas son las cosas que vamos a cambiar, que las notificaciones no puedan aplazarse, que se notifique lo que se tenga que notificar.

Vamos a revisar las notificaciones de una hora, que pensamos que es un plazo muy exigente y vamos a proponer extenderlo a cuatro horas. Quedarían pues notificaciones a cuatro horas, a un día y a un mes. Pero lo importante es que quede claro lo que corresponde a cada uno, que los mecanismos que se deben poner en marcha, como la búsqueda de las causas raíces, se activen en su momento y que el público pueda saberlo.

P: *El Parlamento encargó la revisión de algunos procedimientos del CSN. ¿Cuáles son y qué se está haciendo?*

R: Uno era éste de las notificaciones, otro el que regula las revisiones periódicas de seguridad, que es muy relevante ante la actual renovación de los permisos de explotación, y otro el procedimiento para dirimir discrepancias técnicas dentro del Consejo. En este caso hemos lanzado unos criterios generales, que permiten hacer la trazabilidad del problema, saber quién discrepa de quién y hasta donde. Y por otro lado hemos puesto en marcha una comisión de garantías donde las dos partes intenten llegar a un consenso y, si no lo alcanzan, la comisión puede tomar partido por uno de los discrepantes.

P: *¿Esas discrepancias son frecuentes?*

R: Lo cierto es que se han dado algunas, no me atrevo a decirte si son muchas o pocas. Pero lo que es importante es que se puedan resolver adecuadamente. Este procedimiento va en esa dirección y un poco más allá. Se pretende que el proceso para dirimir la discrepancia sea lo más objetivo posible y no tenga en cuenta los criterios jerárquicos sino el rigor técnico.

> *"La notificación de sucesos es importantísima, en seguridad nuclear y también en protección radiológica"*

P: *Usted pertenece a la comisión para el cumplimiento de la directiva 2014/87 de Euratom sobre protección radiológica. ¿Qué se está debatiendo?*

R: La trasposición de esta directiva tiene un retraso enorme, porque afecta a diferentes ámbitos y ministerios. Había un plazo de cinco años para trasponerla, que ya ha vencido, y la Unión Europea nos ha apercibido y podría imponernos una sanción. El Consejo lidera un esfuerzo para cumplir con ella, el problema es que al ser multidisciplinar afecta a diferentes reglamentos, como el de protección sanitaria y el de protección ambiental y es complejo.

P: *¿Nos van a multar o lo vamos a conseguir?*

R: Yo creo que lo vamos a conseguir, pero no solo depende del Consejo.

P: *Creo que también pretende revisar el control radiológico ambiental.*

R: Sí, el Plan de Vigilancia Radiológica Ambiental es otro de los elementos que nos gustaría abordar. Actualmente el impacto radiológico está muy centrado en las personas y en reducir las dosis que recibirían. Esto tiene cierta lógica, pero creo que podríamos dar un paso más allá y tener en cuenta también otros aspectos medioambientales , saber qué impacto tendrían ciertos niveles de radiactividad sobre la flora y la fauna. Tiene sentido para la protección de la biodiversidad, pero también desde la perspectiva económica, porque hay muchos ecosistemas y cultivos que pueden sufrir por estas exposiciones. El Pleno aprobó abrir una línea de investigación en este sentido.

P: *Pero la red REVIRA ya recoge estas mediciones ¿no?*

R: Sí, la red REVIRA mide. Es una excelente red y es modélica porque cualquiera puede consultar los datos en la web del Consejo. Pero esta red lo que mide es emisión, no mide dosis. Hay que pasar de medir unos niveles de radiactividad ambiental a determinar el impacto que estos niveles pueden tener sobre los seres humanos y también sobre los ecosistemas, la flora y la fauna. Estamos en condiciones de abordar esto.

P: *Por último, me gustaría saber qué espera aportar al CSN.*

R: Si después de mis seis años aquí contribuyo a que el Consejo sea más eficaz, transparente y más neutral creo que podremos estar satisfechos; habremos hecho un bien para el país.

La panacea radiactiva

Hoy, cuando recelamos de los reactores nucleares, las ondas magnéticas de los móviles, las emanaciones de radón y los cables de alta tensión, nos cuesta creer que alguna vez hubiera aficionados a los bombones y supositorios radiactivos, tuberculosos dispuestos a inhalar gases con radio, y mujeres dispuestas a rejuvenecer sus rostros con cremas elaboradas con torio. Por increíble que parezca, así ocurrió: hace un siglo, Occidente fue presa de una galopante pasión por la radiactividad. El descubrimiento del radio por los esposos Curie y las expectativas en su supuesto poder regenerador hicieron proliferar las pseudoterapias y los productos engañosos hasta que los estragos causados por su toxicidad salieron a la luz.

Texto: **Pablo Francescutti** | periodista científico

Baños con radón, jarras de agua con uranio, cremas faciales con torio, supositorios y chocolates con radio y cinturones afrodisíacos radiactivos eran algunos de los 80 productos *y* tratamientos que en los años 30 del pasado siglo prometían la cura o el alivio para la vejez, el cansancio, la impotencia, los dolores reumáticos y un sinfín de dolencias con un reclamo común: el poder regenerador de la radiactividad.

"La moda del radio comenzó poco después de su descubrimiento por los esposos Curie en 1898", explica Luis Campos, historiador de la ciencia de la Universidad de Nuevo México (Estados Unidos) en una entrevista para *Alfa*. Y añade que el furor "alcanzó su punto máximo en 1904, aunque los productos que supuestamente contenían radio siguieron vendiéndose durante años".

El misterioso elemento que brillaba en la oscuridad se sumó a los hallazgos de los rayos X, en 1895 por Wilhem Roentgen, y de las ondas hertzianas, en 1887. De repente, el éter y la materia aparecían surcados por fuerzas invisibles y todopoderosas: las radiaciones. Y sus poderes parecían beneficiosos. En 1899 la "terapia Curie" se estrenó como un "bisturí mágico" que eliminaba tumores de la piel. Los investigadores alentaban las expectativas en ese sentido: el mismo Frederik Soddy, Nobel de Química, sugirió que los tuberculosos podían mejorar si inhalaban gas radiactivo.

Baños de radón

En 1903, el descubrimiento del radón, el gas producido por la desintegración del uranio, realzó el interés por las fuentes termales radiactivas, y los "baños de radio" se pusieron de moda. La publicidad prometía curas milagrosas a quienes se sumergieran en las aguas irradiadas por el radón. Un recordatorio de aquellos años es el *Radium Palace*, un fastuoso *spa* construido en 1912 en Joachimsthal

(hoy República Checa), sobre un manantial próximo a unas minas de uranio. Quienes no pudieran costearse una estancia en esos lujosos balnearios disponían de botellas de "agua con radón" a un módico precio, aunque pronto trascendió que la vida media de dicho gas no pasaba de cuatro días, por lo que sus partículas ionizantes desaparecían antes de que las botellas llegasen al consumidor. El burdo timo no desalentó a los compradores de las "sales de radio" para las bañeras, aconsejadas para el tratamiento de la artritis, la gota o las neuralgias; ni a los usuarios de los dispensadores con un revestimiento interno de uranio, cuya agua irradiada calmaría los síntomas de la senilidad, la artritis y la flatulencia, según prometía el fabricante.

Mitologías de la luz

A esas alturas no faltaba información sobre los efectos nocivos de las radiaciones. Marie Curie había demostrado que una pizca de radio bastaba para matar a un ratón. Ya en 1911 se notificaron daños causados al personal sanitario por la exposición a rayos X, y en 1913 se aprobaron las primeras normas de protección radiológica en Alemania, seguida al año siguiente por Gran Bretaña.

Pero nada arredraba al público, cautivado por las curaciones de la radioterapia. Durante el primer tercio del siglo XX, la percepción dominante sobre las radiaciones era altamente positiva. En la década de 1930 se tomaban cientos de miles de placas al día, y cientos de miles de pacientes se sometían anualmente a tratamientos con rayos. Convencidos de su inocuidad, los futuros padres pedían radiografías de sus hijos en gestación como recuerdo sentimental.

Contribuía a esa percepción un poso mitológico sedimentado durante miles de años; creencias inmemoriales en el poder de la luz —símbolo de vida y energía—, en los rayos de los dioses y en las aureolas de los santos. En el siglo XVIII, esa constelación de nociones místicas hizo sinergias con el descubrimiento de la electricidad, que de inmediato fue considerada un principio vital. Los experimentos de Galvani con cadáveres hicieron soñar con que la corriente eléctrica podría resucitar a los muertos. Fluidos magnéticos, chispazos vitales e iluminaciones sagradas se mezclaron en un imaginario que modelaría las actitudes hacia la radiactividad.

En 1913, el citado Soddy y su colega Kasimir Fajans reforzaron las fantasías al anunciar la transmutación de ciertos elementos por medio de la desintegración atómica. La opinión pública lo conectó con el mito de la piedra filosofal, capaz de transmutar el plomo en oro. La fascinación radiactiva pegó otro salto en 1927 al saberse que el genetista Hermann Muller había mutado con rayos X el ADN de las moscas. Se insinuó así un nexo entre las radiaciones y la evolución natural, y en la conciencia colectiva la radiactividad reemplazó a la electricidad como principio vital.

Elixires letales

"La moda del radio fue un fenómeno generalizado en Estados Unidos, en países europeos como Francia e Italia, e incluso en Japón", prosigue Campos, que dedicó al episodio su libro *Radium and the Secret of Life*. Preso de un optimismo desaforado, el biólogo británico John Burdon Haldane

Arriba, publicidad de la crema Alpha Radium. Abajo, pomada de radio y torio de un tal Alfred Curie y publicidad de la misma.

Las chicas del radio

La luminiscencia del radio enseguida capturó la atención del público. En los casinos pintaron las ruletas y sus bolas con pinturas que contenían radio y los fabricantes de brújulas y relojes hicieron lo propio con los diales de sus artefactos. En la Primera Guerra Mundial el ejército estadounidense compró tales relojes para que sus tropas pudieran saber la hora en la oscuridad. Más de 4.000 mujeres fueron empleadas para pintar diales con pintura fluorescente. Sin protección alguna, manipulaban pinceles que chupaban para afinarlos, absorbiendo dosis letales de radio. Los primeros en advertir sus mortíferos efectos fueron sus dentistas: inexplicablemente, las mandíbulas de sus jóvenes pacientes se iban desintegrando. Una tras otra se moría sin que los odontólogos acertaran en el diagnóstico, pese a que en sus organismos se detectaban niveles de radiactividad mil veces superiores al máximo tolerable. Costó numerosas vidas que la noción del envenenamiento por radio se abriera paso y se estableciera una relación causal entre la pintura de los diales y los tumores de las trabajadoras, pese a los esfuerzos de los fabricantes y sus expertos por negar las evidencias y dilatar los juicios para evitar el pago de indemnizaciones.

El sacrificio de las operarias no fue en vano, pues impulsó la normativa en manipulación de sustancias radiactivas. Los primeros beneficiarios de este progreso en materia de seguridad industrial fueron las personas implicadas en el Proyecto Manhattan. "Después de la Segunda Guerra mundial", concluye Kate Moore, autora del libro *The Radio Girls,* que recoge su historia, "las autoridades de la Comisión de la Energía Atómica dijeron que el papel de las *chicas del radio* resultó ser enormemente valioso, ya que, de no haber sido por ellas, probablemente miles de trabajadores más hubieran muerto".

predijo que en cada esquina habría una consulta radiológica en donde se dispensarían recetas de radiaciones. Los más visionarios imaginaron ciudades alumbradas a base de radio, un aumento de la producción agrícola gracias a fertilizantes con radioisótopos, y la derrota del cáncer por los rayos X y gamma.

No pocos médicos participaban de esas ilusiones de buena fe. Algunos administraban altas dosis de radiación en el rostro de sus pacientes para quitarles verrugas o vello facial. Otros garantizaban el control de la natalidad mediante una esterilidad inducida con radiaciones. Los conferenciantes efectistas ofrecían un cóctel de sales radiactivas a voluntarios para, al cabo de unos minutos, pasarles un chirriante contador Geiger entre el aplauso de la audiencia.

"No todos los productos que afirmaban contener radio decían la verdad", observa Campos, pues un gramo costaba la friolera de 2.000 dólares. Desgraciadamente, algunos artículos sí lo contenían. Tal era el caso de *Radithor*, un costoso brebaje con radio diluido en agua destilada. Comercializado en Estados Unidos

por el estafador Skillman Bailey a partir de 1924, estaba indicado para la impotencia y dolencias conexas. Bailey patentó además el *Radiendocrinator*, un adminículo del tamaño de una tarjeta de crédito que contenía papel impregnado de 250 microcurios de radio. Colocado junto a los testículos, rezaba el prospecto, ionizaría las glándulas endocrinas del usuario con el efecto de reforzar su vigor sexual. A continuación, lanzó el *Adrenoiray*, un cinturón supuestamente cargado de sustancias radiactivas capaces de estimular la libido sexual más alicaída.

Caja de supositorios radioactivos. Abajo, publicidad sobre las propiedades milagrosas del radio.

El Laboratorio Bailey vendió centenares de miles de tales productos hasta que la verdad afloró trágicamente. En 1932, Eben Byers, un atlético industrial de la costa este, murió en la flor de la vida tras beberse más de mil frascos de *Radithor*. Los forenses encontraron que su cadáver estaba plagado de tumores (en 1965, cuando lo exhumaron con fines de estudio, todavía emitía radiación).

La conmoción suscitada por esa muerte prematura puso coto a esas pseudoterapias. La Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) estadounidnse prohibió el *Radiathor* y reguló los radiofármacos (Bailey se libró de la cárcel, aunque la autopsia después de su deceso por cáncer de vejiga reveló que su cuerpo estaba destruido por las radiaciones). En 1935, la Asociación Médica Americana declaró al radio no apto para el consumo humano. El drama de las "chicas del radio" (ver recuadro) erradicó cualquier duda sobre la peligrosidad del elemento descubierto por los Curie.

Dispositivo con mineral de radio Revigator.

Los escándalos no hicieron mella en la confianza del público, señala Stephen Weart en su clásica obra *Nuclear Fear*. Había problemas sanitarios más acuciantes: la silicosis de los mineros o los estragos de las infecciones. Y los éxitos de la medicina nuclear eclipsaban las ocasionales noticias sobre toxicidad radiactiva. Según el análisis de Weart de la actitud de la prensa estadounidense ante el radio, "desde 1900 hasta mediados de los años 20, encontré muy poco lenguaje negativo; los asuntos inquietantes recibían titulares neutrales o alentadores. A finales de los años 20 aparecieron noticias de envenenamiento por radio, pero los titulares positivos duplicaban a los negativos. A mediados de los años 30, los peligros del radio eran conocidos, pero las noticias optimistas aún triplicaban a los pesimistas, y a finales de la década casi no había titulares inquietantes".

De la radiomanía a la euforia nuclear

La visión positiva de las radiaciones se reforzó al término de la Segunda Guerra Mundial, al declararse una nueva fase histórica: la era nuclear. Y aunque la destrucción de Hiroshima y Nagasaki evidenció el poder destructivo de la bomba

Arriba, el Radium Palace. A la derecha y abajo, publicidad de un reloj luminoso y una pasta dentrífica radiactiva.

atómica, las secuelas de la radiactividad liberada por las explosiones tardaron años en ser advertidas. Entre tanto, se desató la euforia nuclear

El diseñador Louis Reard bautizó con el nombre de bikini a su bañador de dos piezas en alusión al atolón donde se detonaban las pruebas de los explosivos nucleares. El uranio se convirtió en la nueva panacea. Durante los años 50, en Estados Unidos funcionaron establecimientos *curativos* en donde los pacientes se sentaban en bancos sobre arenas moderadamente radiactivas, o se metían dentro de una caja con arenas ricas en mineral de uranio para la artritis, la bursitis y el reumatismo. En Japón no iban a la zaga: en los años 60, en el país del Sol Naciente se comercializó la *Nico Clean Tobacco Card*, una tarjeta impregnada con uranio para las cajetillas de cigarrillos de manera que su radiación redujese los niveles de alquitrán y nicotina. Finalmente, las consecuencias nefastas de estas prácticas salieron a la luz. Como había ocurrido con el radio, el término *uranio* se tornó sinónimo de veneno.

Actualmente, la manía radiactiva ha remitido casi por completo. Y aunque todavía hay quienes acuden a balnearios de aguas expuestas al radón, o portan pulseritas con imanes *curativos*, las radiaciones de todo tipo tienen mala prensa, a menudo injustificadamente. Con todo, Campos rescata de esas modas una enseñanza que suele pasar desapercibida: "además de reflejar la cultura de un momento particular, pueden tener un rol importante en el desarrollo de nuevos campos científicos. Cuando el público asoció el radio a la vida, algunos científicos diseñaron con dicho elemento un importante experimento sobre el origen de la vida. La misma idea motivó ensayos que probaron el impacto mutagénico de la radiación en las plantas y ayudaron a una mejor comprensión de las mutaciones e incluso de la estructura del gen".

Para este historiador de la ciencia "la moda del radio nos enseña que incluso las creencias falsas pueden ser un punto de partida de lo que desembocará en una ciencia rigurosa. Se puede sacar inspiración de fuentes inesperadas y someterlas a una evaluación cuidadosa. La buena ciencia se desarrolla en un contexto histórico más rico de lo que a veces sugieren los libros de texto".

Por qué se crean los bulos, qué nos hace tan vulnerables ante ellos y cómo combatirlos

La batalla contra la desinformación científica en el mundo digital

Los bulos sobre ciencia y salud inundan las redes sociales y las aplicaciones de mensajería. Su número y su difusión se han multiplicado de forma especialmente intensa durante la pandemia de la covid-19. Nuestra forma de pensar y nuestros sesgos nos dificultan la defensa ante este fenómeno que tanto la psicología como el periodismo tratan de entender y combatir. La regla más sencilla para evitar caer en las trampas que nos tienden es aplicar siempre el espíritu crítico y tratar de verificar la realidad de lo que nos llega a través de los canales digitales.

■ Texto: **Rocío Benavente** | Periodista científica. ■

"Hacer gárgaras con agua salada previene la infección por coronavirus. Las vacunas no son seguras ya que causan enfermedades muy graves, como el autismo. Las terapias alternativas, como la homeopatía o la hidroterapia de colón, funcionan. Beber una disolución de clorito de sodio, un tipo de blanqueante industrial, es una forma de prevenir y curar todo tipo de enfermedades, desde el sida hasta el ébola. Las estelas que se ven en el cielo son el rastro de fumigaciones secretas."

Todo esto son afirmaciones pseudocientíficas (o directamente acientíficas) que es fácil encontrar en internet y que podrían suponer un peligro para la salud de quien las crea. Algo que no es ni mucho menos imposible: para mucha gente, no está claro que noticias no son ciertas ni por qué. La desinformación es un riesgo social en un momento en el que cumplir con las recomendaciones científicas y sanitarias es más importante que nunca.

Aunque en teoría la enunció por primera vez unos meses antes, en mayo de 2014 fue cuando la (informalmente) llamada Ley de Brandolini cobró fama y fuerza en las redes. Esa ley, acuñada por el informático italiano Alberto Brandolini, asegura que "la cantidad de energía necesaria para refutar una estupidez es un orden de magnitud superior a la necesaria para producirla".

Cargada de humor, pero con mucha razón, esa es una buena descripción del trabajo que hacen los *factcheckers* (comprobadores de datos), periodistas especializados en la verificación de datos y el desmentido de la desinformación (un término preferible al popular *fake news*, que ha adquirido un tinte político y que, por ello, magnifica el problema), un trabajo que se ha hecho cada vez más relevante en los últimos años.

Alberto Brandolini.

Las dificultades del combate

Desinformación hay en todos los ámbitos, pero el trabajo de los comprobadores de datos sube un escalón más, en términos de dificultad, cuando lo que se trata es de verificar información científica y desmentir bulos relacionados con salud, enfermedades, alimentación,

medicamentos, estudios, ensayos clínicos… y también con otros temas complejos, como cambio climático, la generación de energía, la ingeniería genética, la clonación, las radiaciones y otras cuestiones.

Estos temas, cada vez más presentes no solo en la actualidad informativa sino también en las preocupaciones cotidianas de la ciudadanía, necesitan de una perspectiva científica que asegure que la información que se le transmite sea correcta y comprensible y sirva para tomar las mejores decisiones, contrarrestando esa corriente de desinformación que siempre ha existido pero que con la multitud de voces presentes en internet y las redes sociales ha cobrado virulencia y ganado seguidores.

Carolina Moreno, catedrática de periodismo en la U. de Valencia.

Carolina Moreno, catedrática de Periodismo de la Universidad de Valencia, que actualmente investiga la difusión de desinformación científica en el contexto de la pandemia actual, explica que "los bulos parece que han sido una constante a través de los siglos. El problema que existe en estos momentos es cómo se diseminan y, en ese sentido, son supersónicos. Sobreinformación, desinformación, falta de información, bulos, noticias falsas, montajes, falacias, todo ello se recibe diariamente a través de canales diversos y pueden tener consecuencias directas sobre la salud".

La actual pandemia de covid-19, causada por el virus SARS-CoV-2, es un ejemplo de este fenómeno, la tormenta perfecta de desconocimiento, miedo, incertidumbre y desinformación, a la que además se une otra característica que ha influido en este fenómeno, el hecho de que gran parte de la población haya permanecido o aún permanezca confinada en su casa y pegada a su smartphone. La difusión de bulos y mentiras a través de las redes sociales y aplicaciones de mensajería se ha disparado.

Maldita.es es un medio de comunicación dedicado a la verificación de información, con una sección específica para la desinformación científica. A través de su número de WhatsApp, los usuarios pueden enviar aquellos contenidos que reciban o se encuentren y cuya veracidad no puedan confirmar por sí mismos. Según declara su cofundador, Julio Montes, durante la pandemia de covid-19 han pasado de recibir unos 200-300 mensajes diarios a más de 1.500. En el momento de redactar este reportaje,

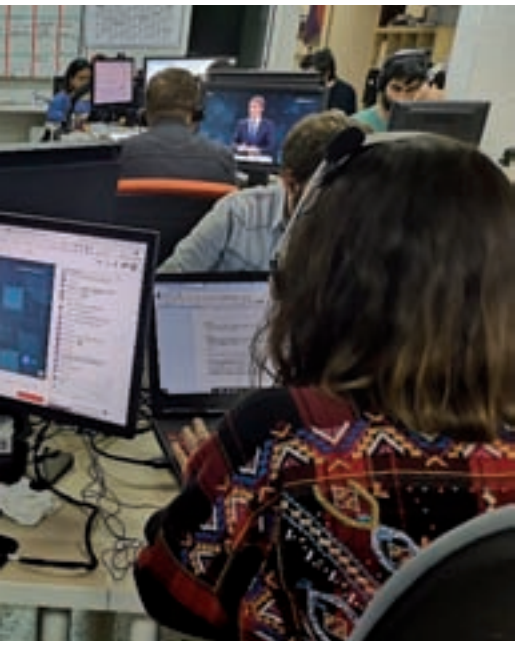
Dos imágenes de la redacción de Maldita, la web periodística dedicada a combatir la desinformación.

habían recopilado y desmentido, con cifras y fuentes reconocidas, más de 500 bulos y contenidos falsos relacionados con la epidemia.

El objetivo de los bulos

En algunos casos es muy sencillo intuir por qué alguien pone en circulación un bulo. Por ejemplo, cuando lo que se trata es de vender un remedio médico sin evidencias, o cuando se quieren conseguir determinados datos bancarios del receptor. También cuando se lanzan titulares engañosos que quieren atraer lectores a base de mentiras o medias verdades. En el ecosistema de los medios digitales, a menudo los clics de los lectores significan ingresos publicitarios. La búsqueda de beneficio económico está detrás de mucha desinformación.

Otras veces la desinformación trata de influir en una batalla ideológica concreta, ya sea política o de otros ámbitos: deportiva, con el enfrentamiento entre seguidores de distintos equipos; social, con argumentos a favor o en contra de la inmigración; o científica, cuando se toman posiciones en debates como los de la conveniencia o no de la vacunación o el uso de las llamadas terapias naturales.



MALDITA.ES+YODOCTOR.ES

Manual orientativo editado por Maldita.

Pero existe un tercer tipo de desinformación en base a su objetivo, y es el más difícil de entender: aquellos bulos que aparentemente no benefician a nadie, que mandan alertas falsas, tergiversan noticias en apariencia inocuas o recogen intrincadas teorías de la conspiración. Bulos que parece que solo buscan aumentar el caos y la confusión. Mentiras cuyo único resultado final es que ya no sepamos qué o a quién creer.

Son los bulos de este tercer grupo los que resultan más difíciles de combatir, precisamente porque si no entendemos por qué nos mienten nos cuesta más ponernos en alerta. Pero su objetivo es precisamente minar nuestra confianza en el entorno informativo, que no sepamos ya en quién podemos confiar, difuminar la línea entre lo que es verdad y lo que es mentira, de forma que ya todo sea ambas cosas y por tanto no importe

demasiado. Es lo que llamamos la era de la posverdad, y funciona: hay estudios, como el titulado "How exposure to conspiracy theories can reduce trust in goverment", realizado por Katherine Levine Einstein y David M. Glick, profesores de Ciencia Política en la Universidad de Boston, que demuestran que simplemente estar expuestos a este tipo de mensajes hace que perdamos confianza en las instituciones, en los medios de comunicación o en la ciencia.

¿Por qué somos tan crédulos?

No es esa la única razón por la que la desinformación científica arraiga con fuerza. Ramón Noguera es psicólogo y autor de *Por qué creemos en mierdas*, un libro en el que analiza precisamente eso, por qué asumimos creencias que muchas veces no tienen ninguna base sólida ni están apoyadas por la lógica. En su opinión, se trata de un conjunto de motivos lo que nos lleva a esta situación. "Procesamos la información de manera emocional y no objetiva, y aquellas cosas que son relevantes emocionalmente (especialmente las negativas) reciben una atención desproporcionada; porque somos muy susceptibles a la presión grupal; y porque llevamos muy mal la incertidumbre, el no saber, y tenemos que explicarnos el mundo y a nosotros mismos; somos más propensos a inventar y defender una creencia que a decir, simplemente, 'no lo sé'".

El problema además es que Brandolini tenía razón con su famosa ley: una vez que creemos en algo, por absurdo que pueda parecer desde fuera, el esfuerzo necesario para desmentirlo y que dejemos de creerlo es enorme, mucho mayor del que hizo falta para hacérnoslo creer en un principio.

Sesgo de confirmación. Viñeta reproducida por cesión gratuita del autor, Daniel Paz.

Noguera señala un fenómeno llamado disonancia cognitiva como la base de esta dificultad para convencernos de que lo que creemos es falso y absurdo: "esta disonancia es el malestar que experimentamos cuando mantenemos dos cogniciones que son incompatibles entre sí, por ejemplo, considerarnos inteligentes y tener evidencia de que creemos en algo falso. En esas situaciones, tendemos a intentar reducir o eliminar esa disonancia de diversas maneras, una de las cuales es tratar de encontrar maneras de mantener esa creencia". Y en esto participa otro truco que nuestro pensamiento se saca a menudo de la manga: el sesgo de confirmación, es decir, la tendencia a buscar y prestar más atención a la información que confirma lo que creemos que a la que lo desmiente. "Ese sesgo a menudo nos impide procesar la información contraria, que suele ser descartada".

Lo de creer en bulos, además, "no está relacionado con el nivel de formación que tenga una persona. De hecho, para muchos temas sobre pseudoterapias, las personas con mayor formación son las que muestran una mayor tendencia al uso de estos 'remedios alternativos'.

Un ejemplo de difusión de pseudoterapias a través de las redes sociales.

Ramón Noguera, psicólogo y autor del libro "Por qué creemos en mierdas".

Es decir, no está relacionado el conocimiento con la percepción de los bulos. Ocurre lo mismo con las teorías conspiranoicas, que no tienen un patrón sobre la formación educativa", añade Carolina Moreno.

La mejor forma de convencernos

La lucha contra la desinformación y los bulos se ha convertido en un tema de conversación habitual y polémico en la esfera pública y política: por un lado, está el innegable derecho de la ciudadanía a una información fiable; por otro, lo oportuno (o no) de que desde el poder ejecutivo y legislativo se intervenga en una materia que roza de forma delicada con otro derecho fundamental como es el de la libertad de expresión. ¿Se puede por ley perseguir la creación y difusión de bulos? Y en caso de poder hacerse, ¿se debería hacer? ¿Quién decide qué es un bulo y qué no lo es?

Mientras tanto, son otros los ámbitos que tratan de entender mejor y poner solución a este problema, principalmente la psicología, analizando qué hace falta para que dejemos de creer en la desinformación; y el periodismo, que busca formas más eficaces y útiles de informar y contrarrestar la desinformación. Ambos dan un mensaje algo desesperanzador: no hay una forma infalible y la tarea es complicada.

Desde ese primer ámbito, Noguera explica que vencer esa disonancia cognitiva no es sencillo y que a menudo ofrecer los datos correctos no es suficiente, así como que la beligerancia y el desprecio por los argumentos falsos no ayudan.

"Aborda la opinión del otro como si pudiera ser válida, sin atacarla, y en vez de presentar tú tus argumentos, trata de hacer que el otro tenga que explicar las inconsistencias en sus propias ideas. La fórmula «¿Si esto es como dices, entonces por qué/cómo es que…?» hace maravillas. Leon Festinger, el psicólogo social que describió y demostró el fenómeno de la disonancia cognitiva, ya señalaba que el mejor desmentido viene de señalar los propios errores en la argumentación del otro y dejar que su propia duda vaya haciendo el trabajo. La gente puede cambiar de idea y muchas veces es más fácil cuando sienten que han sido ellos quienes han llegado a esa nueva opinión. Es importante mostrar empatía y hacer ver que entiendes cómo tu interlocutor ha llegado a formar esa opinión."

Pampa García Molina, responsable de la agencia de noticias científicas SINC.

Moreno coincide con Noguera en que tomarse el tiempo necesario para dialogar con empatía es clave para desmontar creencias erróneas relacionadas con la salud y pone como ejemplo a los padres que prefieren no vacunar a sus hijos: "Hace poco leí en un estudio [...] que explicaba que si a todo el mundo se le argumentara que, por ejemplo, por cada millón de niños vacunados, solo hay uno que probablemente moriría y diez, que tendrían efectos secundarios graves, pero que los 999.989 restantes estarían perfectamente sanos y protegidos, y que además el hecho de que vacunen a sus hijos salvaría más vidas que si no lo hicieran; solo entonces se podría conseguir que algunos de esos padres realmente modificaran sus opiniones en base a una explicación basada en el diálogo y en la evidencia".

Sin embargo, reconoce, no siempre se tienen el tiempo o los conocimientos para resolver las dudas concretas de cada persona, y estas pueden terminar tomando decisiones basadas en esas creencias igualmente.

Contra la desinformación

En el caso del periodismo, Pampa García Molina, responsable de la agencia SINC, especializada en información

Cómo trabaja Maldita Ciencia

Maldita Ciencia es la sección de Maldita.es dedicada específicamente a la desinformación científica. Su trabajo tiene algunas particularidades frente al del resto de verificadores del equipo: la información científica raramente puede permitirse ser tajante y sus contenidos utilizan a menudo la fórmula "a día de hoy, estas son las evidencias".

Trabajan comprobando y desmintiendo bulos que detectan moviéndose por las redes sociales o que los usuarios les hacen llegar a través de su WhatsApp (655 198 538), que es público. A la hora de elegir cuál se desmiente y cuál no, tienen en cuenta factores como la viralidad o la peligrosidad que puedan suponer en caso de ser creídos. Como argumentos en sus desmentidos utilizan evidencias lo más sólidas posibles, desde metaanálisis de estudios científicos hasta posturas de organismos científicos nacionales e internacionales, dejando siempre claro que éstas pueden cambiar en base a nuevos descubrimientos.

La consulta con expertos de cada campo ayuda a interpretar esas evidencias y darles contexto, de forma que la información del desmentido sea comprensible y útil para los lectores. Maldita cuenta con una amplia comunidad de socios que, además de colaborar económicamente tienen la opción de prestar lo que esta organización llama *superpoderes*: poner a disposición de los periodistas sus conocimientos en áreas muy específicas, para ser consultados en caso de que sean necesarios para desmentir o explicar una cuestión relacionada.

Esa es una forma en la que la comunidad se implica en la lucha contra la desinformación. La otra tiene que ver con la difusión de los contenidos: si los bulos se hacen virales, el objetivo es que los desmentidos lo logren también, siendo compartidos por los usuarios tanto en las redes sociales como en las aplicaciones de mensajería.

científica, explica que desmentir creencias erróneas siempre ha sido parte del trabajo periodístico. "Uno de los artículos más leídos de nuestra historia se titulaba *Verdades y mentiras sobre el champú de caballo*, que puso a la venta una cadena de supermercados y se le atribuían todo tipo de propiedades maravillosas. Había que informar a la población de cuáles eran reales y cuáles no".

Dentro del periodismo, la especialización de los *fact-checkers* está orientada precisamente en esa dirección, en la de poner las herramientas clásicas de la profesión (la consulta de fuentes y la documentación original) y otras más novedosas (como el manejo de bases de datos o la visualización multimedia)

Laura Chaparro, periodista científica de la sección Maldita Ciencia.

al servicio de la comprobación y el desmentido de bulos.

"Lo que hacemos no es tan diferente del periodismo científico, digamos, convencional: llamamos a expertos, leemos artículos publicados en revistas científicas, buscamos lo que dice el consenso científico y las autoridades sanitarias y lo explicamos de la forma más útil y comprensible posible", explica Laura Chaparro, periodista científica de Maldita.es.

Esto no siempre es tan sencillo cuando hablamos de ciencia: las evidencias son provisionales, los consensos cambian y el conocimiento se construye paso a paso en un proceso que nunca está del todo cerrado. Lo que se sabe hoy puede cambiar mañana, como se ha demostrado durante los meses de la pandemia una y otra vez. Transmitir información fiable sin descartar la naturaleza cambiante de la misma es parte del esfuerzo por ser útiles e incluso pedagógicos, añade Chaparro.

El proceso de trabajo en este caso sí es diferente del que siguen otros periodistas: la verificación no parte de un hecho noticioso ligado a la actualidad, sino de la desinformación circulante, de datos confusos o afirmaciones falsas o descontextualizadas. A menudo se trata de verificar cosas que no son necesariamente novedosas, sino que están arraigadas en la tradición popular.

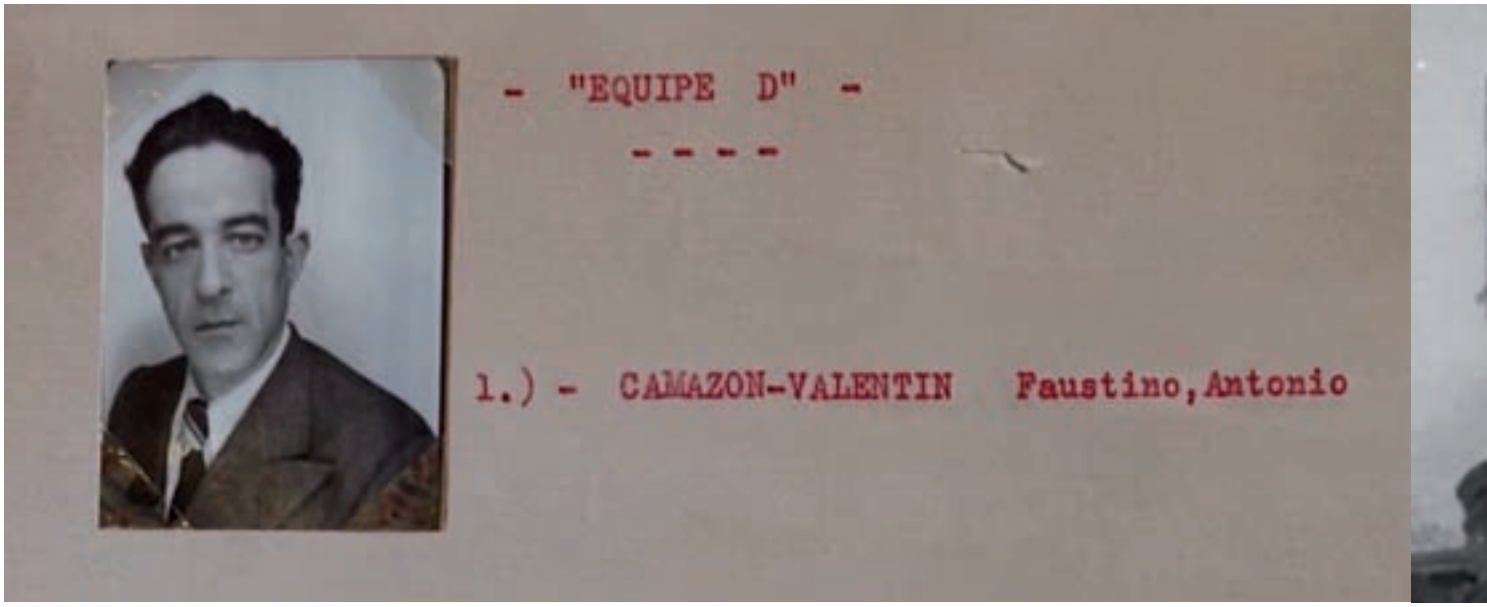
¿Desmentir todos los bulos?

Y aquí entra en juego un dilema común en esta tarea: ¿es necesario desmentir cada bulo, por pequeño que sea? ¿No será más dañino dedicar tiempo y atención a algunas desinformaciones si estas han pasado relativamente desapercibidas que entrar a desmentirlas y con eso darles una visibilidad que antes no tenían?

Julio Montes explica cómo se maneja esta cuestión en una redacción dedicada a la verificación: "Siempre hay que valorar y medir cuándo se desmiente. No entramos a verificar lo que no es viral a no ser que veamos que es algo que puede generar alarma o que es peligroso para la salud, pero sí sabemos que la rapidez es muy importante no solo para desmentir y parar el bulo sino para *inmunizar*: si un desmentido te llega antes que el bulo hace que la desinformación no la recibas igual. Ya estás preparado para ella".

Pero desmentir cada bulo, por pequeño que sea, tiene también otro beneficio: llenar el ecosistema informativo de datos fiables y contrastados. "El mundo de las percepciones es muy complejo, por ello, como mínimo hay que garantizar que circule y se disemine el mayor volumen posible de información que sea veraz, contrastada, y basada en el conocimiento científico y no en la casuística o evidencia anecdótica", concluye Moreno.

CORTESÍA DE PLAYMEDIA PRODUCCIONES



Ficha de Antonio Camazón como integrante del Equipo D procedente de documentos clasificados franceses (Imagen del documental Equipo D: los códigos olvidados).

40 años tras las huellas de Antonio Camazón y su grupo de analistas, que jugaron un papel clave en la II Guerra Mundial al romper el código de las comunicaciones encriptadas de la Alemania nazi

El criptógrafo español que ayudó a descifrar la máquina Enigma

En 1968, con casi 70 años, aquel hombre se instaló en Jaca tras el exilio que le tuvo alejado de España por ser republicano. Durante una década, los sábados por la tarde su sobrino Luis iba a buscarle en su seiscientos para recorrer juntos los pueblos del Pirineo. Y fue en esos largos paseos donde desveló los detalles de un secreto que ha permanecido oculto durante lustros: que él era Antonio Camazón, el jefe del grupo de criptoanalistas españoles que trabajó con Rejewski y Turing durante la Segunda Guerra Mundial para descifrar, entre otras, la máquina Enigma de la Alemania nazi. Pero, con su muerte, llegó el olvido. Hasta que un cúmulo de casualidades lo han rescatado para reivindicar el papel que tuvieron los españoles exiliados en el fin de la contienda europea.

■ Texto: **Elvira del Pozo** | Periodista científica ■

Nada se sabía de la participación de criptoanalistas españoles exiliados en el bando aliado durante la Segunda Guerra Mundial. Hasta 1973, cuando el jefe del servicio de información del ejército francés de aquel entonces, el general George Bertrand, publicó sus memorias (Plon, París, 1973). En ellas contaba que, en 1939, con el objetivo de interceptar los mensajes en clave que se intercambiaban los alemanes y las autoridades de los regímenes afines —los de Mussolini y Franco, principalmente—, captó a criptógrafos hispanos y polacos huidos de sus países. Los primeros formaron el *equipo D* y los segundos el *Z*.

Hubo que esperar una década más para saber que fueron exactamente siete los integrantes españoles y que su cabecilla era un tal "Camazone". Lo mencionaba el militar e historiador polaco Wladyslaw Kozaczuk en su libro *Enigma* (Arms and Armour Press, Londres, 1984), tras entrevistar a Rejewski, matemático de los Z. Además, aportaba una foto inédita de ambos equipos en el castillo de Fouzes, en Úzes (al sur de Francia),

CORTESÍA DE PLAYMEDIA PRODUCCIONES

Los alemanes utilizaron durante toda la Segunda Guerra Mundial Enigma para sus comunicaciones, sin saber que había sido descifrada.

donde fue su centro de operaciones durante parte la Guerra. De todos las personas que aparecían solo se detallaban los nombres de los espías polacos.

Durante otros 10 años, no hubo más pistas. Hasta que una mañana de 1995, como cada día, Luis Ballarín ojeaba el periódico en la biblioteca de su pueblo, Sabiñánigo (Huesca). Le llamó la atención un reportaje que se hacía eco de un libro polaco en el que hablaba de unos criptoanalistas españoles desconocidos. Sólo mencionaba un nombre: "Camazón". Y supo entonces que se trataba de su tío Antonio.

Ballarín recordó entonces cómo fraguó una profunda amistad con ese familiar desconocido del que antes de volver del exilio sólo sabía que vivía en París. "Cuando él regresó a España, en 1968, yo tenía 34 años y me acababa de comprar un seiscientos; a mí me fascinaba escuchar a un hombre tan extraordinario, con ese cerebro y esa vida tan fascinantes, así que cuando me decía los sábados por la tarde "Luís, vente y nos tomamos un café", cogía el coche y nos íbamos a conocer pueblos y monumentos de la zona", recuerda.

Fue en esos paseos donde le contó toda una historia que muy pocos conocían: que había sido jefe del grupo de siete criptoanalistas españoles republicanos que trabajaron con el matemático Marian Rejewski y el criptógrafo Alan Turing durante la Segunda Guerra Mundial para descifrar, entre otras, la máquina Enigma de la Alemania nazi. Y que lo consiguieron.

IMAGEN DEL LIBRO ENIGMA, DE WLADYSLAW KOZACZUK

Criptoanalistas españoles y polacos en en el castillo de Fouzes, en Úzes, su centro de operaciones. Camazón es el tercero por la derecha.

A la muerte de Camazón, en 1982, Ballarín intentó dar a conocer su figura, pero "no pareció interesarle a nadie ni la criptografía, ni Enigma ni la participación que tuvieron los españoles exiliados en el fin de la guerra europea", dice. Tuvo que esperar 14 años hasta encontrar a quien quisiese divulgar la hazaña: el profesor de física de la Universidad de Granada Arturo Quirantes, especializado en historia de la codificación.

"Arturo, conocedor de los libros de Bertrand y Kozaczuk, llevaba años editando la revista digital *Enigma*, en la que hablaba de Camazón, del que sólo sabía que fue el líder del equipo D, y pedía ayuda a través de la red para recabar más datos", cuenta Manuel Vázquez, matemático de la Universidad de Zaragoza (UZ), especializado en criptografía. Fue con esa publicación con la que se topó en internet un concejal de Sabiñánigo al que Ballarín le había contado la historia de su tío. La carambola acabó en 2006 con un encuentro en el pequeño pueblo oscense, al que el profesor

CORTESÍA DE LA FAMILIA CAMAZÓN

La biblioteca del espía

Luis Ballarín recuerda a su tío Antonio Camazón siempre con un libro abierto en las manos: "¡Le encantaba leer y nunca pisaba los bares!". Era una persona muy curiosa con una gran pasión, los idiomas. Sabía francés, inglés, alemán, árabe, chino y japonés, señala. Por eso, durante las casi tres plácidas décadas en las que vivió en París, se dedicó a comprar volúmenes en pequeñas librerías de la ciudad. En total, reunió 800 ejemplares en 150 lenguas distintas que, por supuesto, se llevó consigo a España cuando volvió del exilio, cuenta el matemático experto en criptografía de la Universidad de Zaragoza, Manuel Vázquez.

Cuatro años después de la muerte de Camazón, en 1982, su familia vendió la colección de diccionarios, gramáticas y métodos de aprendizaje —incluso de algunos dialectos en peligro de desaparición— a un anticuario. Éste casualmente conocía a un profesor de la Facultad de Filosofía y Letras de Zaragoza, Guillermo Redondo, quien finalmente los adquirió para la biblioteca de la universidad. Entre ellos, había algún ejemplar de criptografía por lo que se la conocía como la "biblioteca del espía", recuerda Vázquez. Para Redondo era un misterio

llevó la fotografía de los criptoanalistas del llamado Puesto de Control Cadix (PC Cadix) en el libro polaco. Ballarín señaló sin dudar al tercero por la derecha. Por fin se le ponía cara —y vida— al "tal Camazón", rememora el investigador.

La presentación en sociedad de nuestro aventurero fue en 2008 con dos reportajes, uno en el número 63 de la *Enigma* de Quirantes y otro en El Heraldo de Aragón, por Ramón J. Campo. Aunque la consagración como personaje de interés le llegó 11 años después al convertirse en el protagonista del documental *Equipo D: los códigos olvidados*, producido por Televisión Española y Playmedia Producciones. En él, además se desvela por primera vez el nombre de los otros seis acompañantes de Camazón. "Faltaba hacer justicia y reivindicar la parte del mérito que tuvimos los españoles en que se acabara la Segunda Guerra Mundial", explica su director, Jorge Laplace.

El policía políglota

A pesar de tanta investigación, se conoce poco de Faustino Antonio Camazón (Valladolid, 1901–Jaca, 1982). Se sabe que nació en la capital vallisoletana a principios del siglo pasado y que sus padres tenían una tienda de ultramarinos. Con tan solo 12 años se escapó de casa e intentó huir a Colombia como polizón en un barco, pero no debió conseguirlo porque se le sitúa años más tarde en Madrid, hasta donde se trasladó con su familia. "Se cree que se le daban bien los acertijos y que tal vez comenzó la carrera de matemáticas; que, en todo caso, no concluyó porque no he encontrado su expediente de licenciado en los archivos de la Universidad Central", explica Pedro J. Miana, matemático y divulgador de la Universidad de Zaragoza, que investigó los primeros años que Camazón pasó en Madrid antes de la Guerra Civil.

Desde su época de estudiante, se sintió muy atraído por los idiomas. Tenía facilidad para aprenderlos porque fue profesor de inglés y francés en la Casa de los Gatos, asociación cultural madrileña ya desaparecida. Además, también sabía alemán. "Era muy inquieto y curioso y asistía a las charlas que organizaba la agrupación con personalidades de alto nivel sobre literatura y ciencia", resalta el profesor Miana.

CORTESÍA DE JOSÉ RAMÓN SOLER

Fue comisario de policía en la España republicana y ahí es cuando entró en contacto con la criptografía, "que se convirtió, junto con el aprendizaje de lenguas, en la ilusión de su vida", recuerda Ballarín. De ahí pasó a los servicios secretos republicanos, aunque "nunca fue el típico criptoanalista que utilizara métodos matemáticos; lo que tenía era conocimiento porque leía mucho y era muy intuitivo: infería detalles a partir de la caligrafía y de

a quién había pertenecido y, de nuevo, sólo un nombre escrito a mano en uno de los libros aportaba una pista: "Camazón".

En 2010, una casualidad hizo que Vázquez y su compañera de departamento Paz Jiménez organizaran unos seminarios sobre criptografía en la Escuela, a los que acudió como oyente Redondo. En un momento de la charla, el ponente Arturo Quirantes, experto en historia de este campo durante la Guerra Civil, contó la historia de Antonio Camazón y Redondo entendió que por fin había desenmascarado a su espía.

CORTESÍA DE PEDRO J. MIANA

CORTESÍA DE PAZ JIMÉNEZ

Paz Jiménez y Manuel Vázquez junto con una máquina Enigma. En las imágenes de la izquierda, José Ramón Soler y Pedro J. Miana (Ambas fotografías han sido facilitadas por sus protagonistas).

la psicología de las personas", explica José Ramón Soler, uno de los mayores expertos en historia de la criptografía española. En esta época, algunas fuentes le sitúan durante las guerras coloniales en el norte de África, donde aprendió árabe.

Al estallar la Guerra Civil, fue nombrado jefe del servicio de inteligencia de la policía y empieza a familiarizarse con la máquina de codificación de mensajes Enigma, ya que Hitler le vendió a Franco algunas unidades. En esas fechas, también conoció y se casó con María Cadena, una enfermera aragonesa, con la que huyó en 1939 a Francia, donde fue recluido en uno de los campos de refugiados al sur del país.

¿Criptoanalista brillante o espía?

No se sabe con certeza cómo llegó a parar a los servicios secretos franceses. Algunos autores creen que conoció a Bertrand en África y que Camazón le hizo llegar un mensaje para que viniera a buscarle al campo. Una versión demasiado cinematográfica para Soler, quien recuerda que nuestro personaje era tan solo un mando intermedio de los servicios de inteligencia y que, por tanto, ve improbable tanto el encuentro africano con el general galo, como que hubiera acudido a su rescate ante una misiva de Camazón.

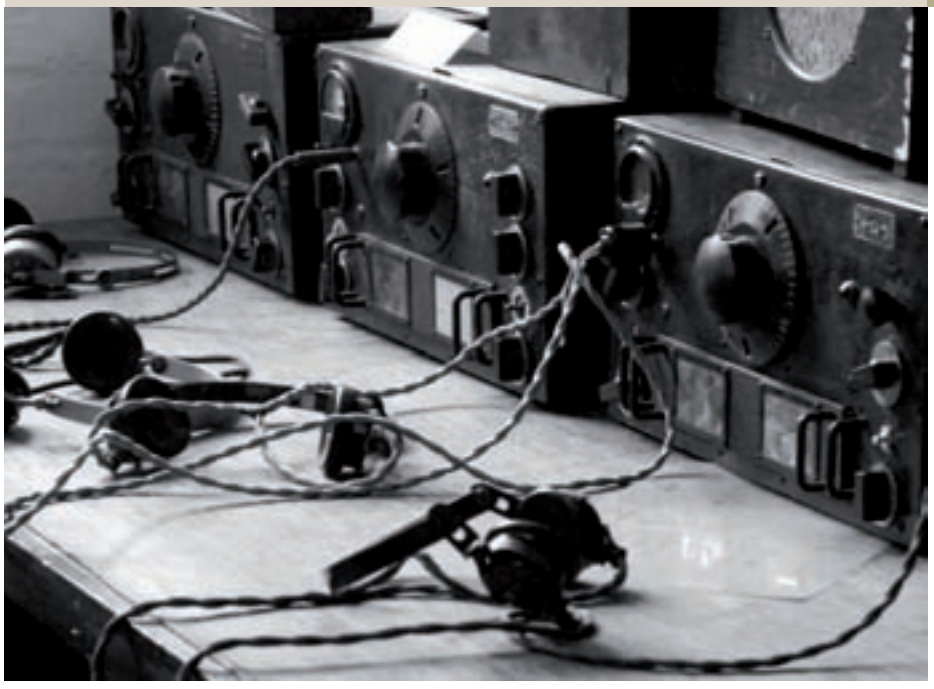
El servicio de información de la República y el cuerpo de criptoanálisis militar estaban encabezados respectivamente por los hermanos Estrada, Manuel y Carmelo. Así que es más probable que el general galo hubiera acudido a ellos en busca de los nombres de los candidatos para su equipo, así como de los campos

Todo un enigma

Antes de que Alemania adquiriera Enigma en 1928, el encriptado y desencriptado de sus mensajes se hacía manualmente, con tablas donde a cada letra del alfabeto se le asociaba tres números de dos cifras. Un trabajo penoso que el ingeniero alemán Arthur Scherbius convirtió en automático y rápido gracias a su ingeniosa máquina, mitad mecánica, mitad eléctrica: al pulsar cualquier letra, instantáneamente devolvía la clave cifrada y viceversa.

El temido artefacto parece una simple caja de zapatos de madera con asa (29 x 26 x 15 centímetros). Al abrirla, aparece un teclado de máquina de escribir con las letras ordenadas según el sistema QWERTZ —el que utilizan los alemanes— pero sin números, ni *espacio*. Encima hay las mismas tres filas de caracteres con una bombilla debajo de cada una; y más arriba están los rotores (de tres a cinco porque se fue complicando con el tiempo). Cada rueda tiene en su contorno letras que va mostrando a través de una ventana cuando se la gira, como si se tratara de una tragaperras. Las Enigma del ejército alemán (más sofisticadas), además, contaban con un clavijero justo debajo de las muñecas del que escribía el mensaje. Los 13 cables tienen una clavija que se inserta en un agujero, uno por cada letra.

Las dos personas que se comunicaban, la que redactaba y la que recibía el correo, tenían que tener una máquina Enigma cada uno, con las ruedas y las clavijas colocadas en la misma posición. Cuando el primero pulsaba un carácter, se encendía su equivalente en cifrado y lo iba apuntando en un papel. Ese conjunto de letras incomprensibles eran las que trasmitían por telégrafo o radio y, en el otro extremo, el receptor tecleaba el texto en otra Enigma que le iba indicando, destello a destello, el verdadero significado. Tan eficaz fue el sistema que el ejército nazi, España e Italia lo utilizaron durante toda la Segunda Guerra Mundial.



de concentración donde debía buscarlos. ¿Por qué no fue alguno de los Estrada el jefe del grupo de españoles reclutado? "Porque los dos emigraron a Méjico, así que Camazón, que hablaba francés —lo que facilitaba enormemente la comunicación—, ocupó el puesto", imagina Soler.

Otra posibilidad es que nuestro hombre fuera un espía francés. Él le contó a su sobrino que tenía un "muy buen amigo galo al que le pasaba información durante la Guerra Civil". Fue este alto cargo el que le convenció de exiliarse en el país vecino y al que tenía que avisar en cuanto cruzara la frontera. Y así hizo, según la versión de Ballarín: "ante la sospecha de que interceptarían su carta

dentro del campo de concentración, pidió a uno de sus compatriotas encargado de sacar la basura que se la echara en un buzón externo al recinto. Y a los pocos días, vinieron a buscarle". Esta posibilidad encajaría con la personalidad de Antonio, que "estaba muy bien relacionado y que sabía moverse, sobre todo en las altas esferas", señala Soler.

Enigma español y el alemán

"El Gobierno francés no tenía mucha fe en la inteligencia de cifras lo que da aún más valor al hecho de que Bertrand consiguiera crear el grupo de escucha PC Bruno, a las afueras de París; corría el mes de octubre de 1939 y los siete españoles republicanos fueron los primeros en llegar", cuenta Paz Jiménez, profesora en la Universidad de Zaragoza de teoría de las permutaciones, las matemáticas que se esconden tras la criptografía de Enigma. En total, eran cinco oficiales y dos policías, uno de ellos Camazón; a los que se les sumaron quince integrantes del servicio de criptoanalistas de Polonia, huidos tras la invasión nazi del país. También había nueve franceses y algún inglés.

El núcleo duro estaba formado por los matemáticos polacos Marian Rejewski, Jerzy Rózycki y Henryk Zygalski, que habían sido los primeros en romper el código de Enigma en 1933, mucho antes de la contienda europea. Polonia, por su posición geográfica —entre los dos polvorines de Rusia y Alemania— creía prioritario conocer las comunicaciones de estos dos países. Pero en 1938 los alemanes complicaron la máquina de encriptación al añadirle dos rotores más —en total cinco— y "aunque consiguieron descubrir las matemáticas detrás del cifrado, carecían de los recursos suficientes para construir réplicas capaces de descifrar los mensajes en un tiempo razonable", explica Jiménez. En la misma línea de opinión se encuentra Vázquez, quien considera que la única manera de poder seguir leyendo los mensajes del cada vez más amenazante Tercer Reich era cooperar con otros servicios de

inteligencia. Al final, eso se materializó al entrar en el PC Bruno.

Mientras, los de Camazón se dedicaron principalmente a romper códigos manuales de comunicaciones españolas e italianas, codificadas con la máquina Enigma comercial que les vendió Hitler y que era más sencilla que la versión militar alemana. "Muchas veces se obtiene información más valiosa interpretando mensajes menores", explica Soler. En concreto, por parte de España era "vital" conocer si finalmente se uniría a la guerra en el bando de Hitler, señala.

CORTESÍA DE JORGE LAPLACE

Jorge Laplace (primero por la derecha) durante el rodaje del documental

Así PC Bruno acabó convirtiéndose en la vanguardia de la inteligencia militar francesa durante la Guerra y consiguió descifrar, junto con la sede inglesa en Bletchley Park de Alan Turing, mensajes emitidos por las potencias del Eje (Alemania, Japón e Italia) y de países afines. Los dos centros de escucha, de uno y otro lado del canal de la Mancha, "estaban en contacto y se repartían el trabajo en un porcentaje de 80–20 entre ingleses y franceses", puntualiza Vázquez. En enero de 1940, el famoso matemático y criptoanalista inglés visitó a sus colegas en Francia. Se cree que fue en ese momento cuando debió conocer a Camazón.

Entre barcos de pescadores

Cuando Hitler entra en París en junio de 1940, el grupo de criptoanalistas fue evacuado a la zona no ocupada, al sur de Francia. El nuevo puesto, el PC Cadix, resistió dos años, hasta que en 1942 el territorio fue invadido finalmente por tropas italianas y alemanas. Los polacos se dispersaron y Bertrand trasladó a Argelia lo que quedaba del servicio de inteligencia aliado, entre los que estaban los españoles, con Camazón a la cabeza.

"En Argel se camuflaron en un almacén de pescadores y trabajaban entre los barcos", recuerda Ballarín. Su tío le contó que varias veces las tropas alemanas —que ya habían llegado también hasta el norte de África— registraron el lugar. "Nunca les cogieron porque les daban el chivatazo antes y salían sin ser vistos por una puerta que había en la parte trasera", cuenta.

En 1943, tras la victoria del ejército aliado en el Magreb, se cree que los criptoanalistas españoles volvieron a Europa junto con las tropas aliadas y se unieron a ellas hasta el fin de la guerra. Según su sobrino, esto le permitió a Camazón acompañar a los soldados que liberaron los campos de concentración nazis. "Entonces pudo ver el horror del exterminio judío que tantas veces había leído en los mensajes que interceptaban", recuerda.

Después de la guerra, el Gobierno galo le contrató como traductor en su Ministerio de Exteriores, en París, "aunque extraoficialmente siguió trabajando en el servicio de inteligencia francés 28 años más, hasta que se jubiló en 1966", cuenta Ballarín. Dos años más tarde, tras asegurarse de que su vida no correría peligro, volvió a España y se instaló en Jaca, el pueblo de la familia de su mujer, donde llevó una vida sencilla y discreta hasta su muerte, el 18 de octubre de 1982.

"Me puedo imaginar lo frustrante que debió ser haberse jugado la vida en dos guerras intentando restablecer los derechos humanos y regresar a la España franquista, que seguía igual, y tener que permanecer callado mientras los países de su alrededor despertaban", se imagina Jiménez. Naciones que reconocieron a sus compañeros polacos, franceses e ingleses, y los encuentras en los nombres de las calles y los museos. Como señala Soler, "Antonio Camazón debió ser un buen criptógrafo que ayudó a romper Enigma" y, sin embargo, "hasta hace bien poco no tenía ni una entrada en la Wikipedia", señala el cineasta Jorge Laplace, al que le resultó muy complicado encontrar información sobre los integrantes del Equipo D para su documental. "Frecuentemente se considera que España ha sido ahistórica en la Europa reciente, algo injusto que tenía que ser reparado y visibilizado."

Es cotitular de una patente sobre un sistema de filtración que elimina el radio contenido en el agua

El CSN en su papel de inventor

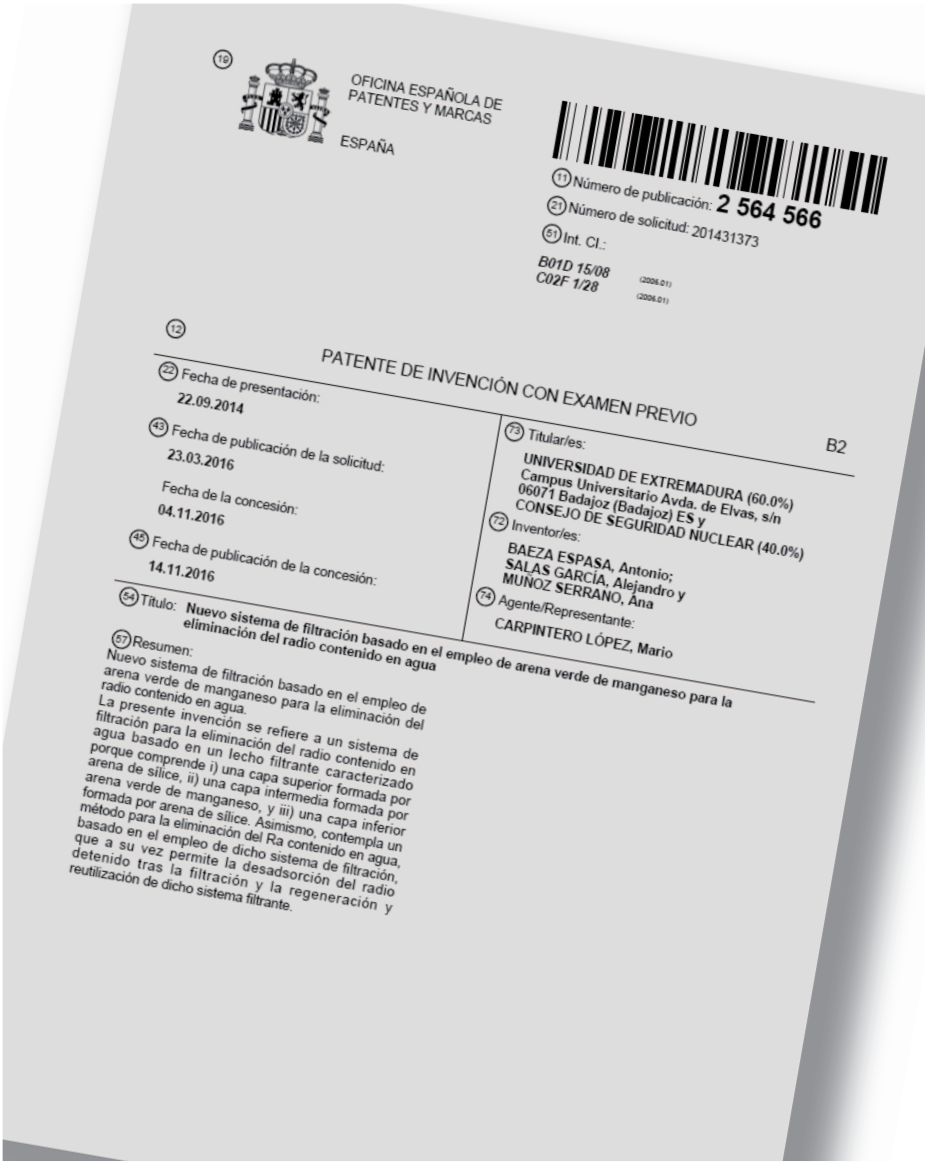
Por primera vez en su historia el CSN ha registrado una patente de invención, junto con la Universidad de Extremadura. Esta importante invención ha sido el resultado de una investigación conjunta cofinanciada y basada en una coordinación de expertos, científicos y jurídicos, y pionera, en el caso del CSN. Es un hecho que nos adentra en el apasionante mundo de la propiedad industrial y que reviste implicaciones de todo tipo, desde jurídicas hasta económicas. En este artículo abordaremos cómo se ha logrado un acomodo legal a esta actividad del CSN como inventor y cómo se ha incardinado en su régimen jurídico, tanto el específico como el general aplicable al régimen patrimonial de las entidades que conforman el sector público.

■ Texto: **David García López |** letrado de la Asesoría Jurídica del CSN ■

Invención patentada

El Consejo de Seguridad Nuclear es propietario, en régimen de cotitularidad con la Universidad de Extremadura, de una patente relativa a un "Nuevo sistema de filtración basado en el empleo de arena verde de manganeso para la eliminación del radio contenido en agua", concedida tras el preceptivo procedimiento ante la Oficina Española de Patentes y Marcas, y publicada el día 14 de noviembre de 2016 en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial.

Según se describe en el título de patente, la invención está dirigida al tratamiento de aguas destinadas al consumo humano, mediante un sistema de filtración para eliminar el radio del agua, basado en el empleo de la arena verde de manganeso, que aporta importantes ventajas respecto a otros métodos existentes, siendo mucho más eficiente que los basados en el uso de arena de sílice o carbón activo; tanto porque se produce una mayor eliminación del radio presente en el agua, como porque este se puede emplear durante mayor tiempo, debido a su más lenta saturación para este elemento químico. El sistema presenta una alta efectividad en la



(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA

(11) Número de publicación: 2 564 566
(21) Número de solicitud: 201431373
(51) Int. CI.:
B01D 15/08 (2006.01)
C02F 1/28 (2006.01)

(12) PATENTE DE INVENCIÓN CON EXAMEN PREVIO B2

(22) Fecha de presentación: 22.09.2014
(43) Fecha de publicación de la solicitud: 23.03.2016
Fecha de la concesión: 04.11.2016
(45) Fecha de publicación de la concesión: 14.11.2016
(73) Titular/es: UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA (60.0%) Campus Universitario Avda. de Elvas, s/n 06071 Badajoz (Badajoz) ES y CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR (40.0%)
(72) Inventor/es: BAEZA ESPASA, Antonio; SALAS GARCÍA, Alejandro y MUÑOZ SERRANO, Ana
(74) Agente/Representante: CARPINTERO LÓPEZ, Mario
(54) Título: **Nuevo sistema de filtración basado en el empleo de arena verde de manganeso para la eliminación del radio contenido en agua**
(57) Resumen:
Nuevo sistema de filtración basado en el empleo de arena verde de manganeso para la eliminación del radio contenido en agua.
La presente invención se refiere a un sistema de filtración para la eliminación del radio contenido en agua basado en un lecho filtrante caracterizado porque comprende i) una capa superior formada por arena de sílice, ii) una capa intermedia formada por arena verde de manganeso, y iii) una capa inferior formada por arena de sílice. Asimismo, contempla un método para la eliminación del Ra contenido en agua, basado en el empleo de dicho sistema de filtración, que a su vez permite la desadsorción del radio detenido tras la filtración y la regeneración y reutilización de dicho sistema filtrante.

eliminación del radio, es fácil de implementar en una Estación de Tratamientos de Aguas Potables o para uso doméstico, y proporciona un agua tratada que no se ve afectada en sus condiciones físico-químicas.

Una vez presentadas las características básicas de la invención citada, procede definir y encuadrar en nuestro sistema legal el mecanismo de protección de la misma a través de una patente. Una patente es un título de propiedad industrial que se otorga para la protección de las invenciones y que permite a su titular su comercialización o explotación en exclusiva o su cesión o licencia a terceros para este fin. Pertenece a la categoría de los llamados derechos sobre bienes inmateriales y tiene un contenido patrimonial, susceptible de valoración económica.

> *"Una patente permite a su titular su comercialización en exclusiva o su cesión a terceros"*

Sede de la Oficina Española de Patentes y Marcas en Madrid.

La Oficina Española de Patentes y Marcas

En España, el organismo encargado de conceder los títulos de patente es la Oficina Española de Patentes y Marcas, que es un organismo autónomo, dependiente del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo. Los títulos de propiedad industrial se otorgan a nivel nacional, para un determinado país, independientemente de que existan tratados internacionales que faciliten la tarea de obtener protección en muchos países con una única solicitud de patente.

Requisitos de toda invención para ser patentable

La invención reúne las características exigibles para ser patentada, esto es, novedad, actividad inventiva y susceptibilidad de aplicación industrial, tras un riguroso examen y procedimiento administrativo en el que se analiza si colisiona con cualquier documento o información del estado de la técnica a nivel mundial, es decir, el procedimiento de concesión denominado "con examen previo". En este examen se analiza no sólo que la invención sea novedosa, esto es, que no exista con anterioridad, sino que tenga una "actividad inventiva" o, dicho con otras palabras, que no fuese evidente a partir de lo ya conocido, lo cual requiere de un análisis técnico y

UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA

Detalle de dos de los instrumentos utilizados en los laboratorios de la Universidad de Extremadura donde se llevó a cabo la investigación.

UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA

un juicio de valor para determinar si la invención posee esta cualidad, lo que se ha denominado "altura inventiva", es decir, que la invención tiene que tener una cierta entidad.

El origen de todo: un proyecto de investigación conjunto

La colaboración citada es el resultado de un proyecto de investigación conjunto con la Universidad de Extremadura, materializado en el Acuerdo Específico de Colaboración entre el Consejo de Seguridad Nuclear y la Universidad de Extremadura (Cáceres), para delimitar el impacto de la potabilización radiológica del agua y probar la capacidad de materiales para la eliminación de radio de las aguas, firmado el 26 de enero de 2012. El Convenio ha sido la forma jurídica de instrumentar esta colaboración entre las dos entidades públicas, cuyas investigaciones han dado lugar finalmente a un invento y a la elaboración de la solicitud de patente. Un objetivo deseable de toda investigación es que sus resultados tengan una utilidad, una aportación a la sociedad, que sean novedosos y, por tanto, susceptibles de encontrar protección por el ordenamiento jurídico frente a una utilización o comercialización no autorizada por su titular.

Derechos que otorga la patente

Los derechos que otorga una patente son de dos tipos: en primer lugar, una vertiente positiva, como derecho exclusivo de utilización y explotación de la invención, así como el ejercicio de todos los derechos inherentes al derecho de propiedad, como su cesión o licencia; y, en segundo lugar, una vertiente negativa o *ius prohibendi*, que es el derecho a impedir a los demás la utilización no autorizada de la invención, de manera que se proteja de prácticas desleales. Una patente es una suerte de

Las entidades de derecho público, como el Consejo de Seguridad Nuclear, están legitimadas para solicitar una patente.

contrato del titular con la Administración Pública y con la sociedad en general: el titular divulga el contenido de la invención, de una manera amplia y suficiente según las exigencias legales, de modo que el folleto de patente concedida permita ejecutar la invención, bajo pena de nulidad de no cumplirse este extremo. A cambio el titular recibe protección jurídica de su invención durante un período de 20 años desde la solicitud.

La diferencia con el *know how,* o el secreto industrial, es que en este último caso la información no se divulga y se mantiene en secreto, por lo que el ordenamiento jurídico no puede protegerlo de igual manera, habiendo otros mecanismos en función del caso concreto en el campo de la regulación de la competencia desleal.

Una invención patentada, por su carácter novedoso y utilidad, es susceptible de una valoración económica, de operar en el mercado, pues al ofrecer una solución técnica a un problema existente (no resuelto, por tanto, con anterioridad o al menos no con ese alcance) puede ser objeto de ejecución y comercialización. Lo deseable es que se arbitren los mecanismos para poder

utilizar la invención y ponerla en práctica en los sectores en los que sea aplicable, por ejemplo, la industria, la agricultura o los servicios. Pero, para esa nueva vida de la invención en el tráfico jurídico, necesita de una adecuada protección, que es precisamente la que proporciona la patente de invención.

La *propiedad* del CSN y la propiedad industrial como motor de la innovación

Otro aspecto que se plantea de índole jurídica en este caso es la posibilidad de que el CSN sea propietario, aunque sea en régimen de cotitularidad, de una patente. No se trata de una función o de una atribución de las que podríamos llamar tradicionales o habituales del regulador atómico. Sin embargo, veremos que tiene acomodo en nuestro ordenamiento jurídico, porque la propia Ley 24/2015, de 24 de julio, de Patentes menciona expresamente, en su artículo 3, que las entidades de derecho público están legitimadas para solicitar una patente. Por otra parte, una de las funciones que el CSN tiene legalmente atribuidas es la de establecer y efectuar el seguimiento de planes de investigación en materia de seguridad nuclear y protección radiológica, según el artículo 2, letra p), de la Ley 15/1980, de 22 de abril, de creación del Consejo de Seguridad Nuclear. Dichas investigaciones pueden finalmente cristalizar en una invención patentable, por su carácter novedoso y útil, susceptible de protegerse mediante patente, de tal manera que los esfuerzos y recursos dedicados en la investigación se verían compensados por los ingresos recibidos de la comercialización o explotación del invento.

Este es el fundamento de la propiedad industrial como motor de la innovación, pues fomenta la investigación, dado que el ordenamiento jurídico protege los resultados obtenidos y el inventor o el titular obtiene, con posterioridad, un retorno o beneficio económico que compensa los gastos de la misma e incluso hace rentable dicho producto o procedimiento, permitiendo, en su caso, incluso la continuación de la investigación. A partir de ese momento, el bien jurídico protegido mediante patente puede operar en el mercado, y su titular puede explotarlo por sí mismo, enajenarlo, constituir una licencia de explotación o poseerlo simplemente con otros fines, por ejemplo, por motivos académicos, o por prestigio.

Para la obtención de la invención ha sido necesaria la aportación económica del CSN, existiendo una relación causal y directa entre la financiación de la línea de investigación y el resultado obtenido, generador de un derecho de carácter patrimonial y evaluable económicamente.

> *"Se trata de una actividad inusual o atípica en un organismo regulador nuclear, pero plenamente válida"*

Especial mención al régimen jurídico aplicable al CSN

El artículo 63 del Estatuto del Consejo de Seguridad Nuclear, aprobado por Real Decreto 1440/2010, de 5 de noviembre, establece que «el Consejo de Seguridad Nuclear podrá adquirir toda clase de bienes y derechos por cualquiera de los modos admitidos en derecho y de acuerdo con los procedimientos establecidos en la Ley 33/2003, de 3 de noviembre», siendo así que el título de patente tiene, a todos los efectos, la consideración de un bien integrado en el Patrimonio del Estado, de titularidad del CSN en la proporción correspondiente.

La gestión de la patente debe acogerse a las prescripciones de la citada Ley 33/2003 del Patrimonio de las Administraciones Públicas y a lo acordado por las partes en el Acuerdo de cotitularidad de patente entre la Universidad de Extremadura y el Consejo de Seguridad Nuclear de la invención titulada "Nuevo sistema de filtración basado en el empleo de Arena Verde de Manganeso para la eliminación del Radio contenido en agua", de 9 de septiembre de 2014, que regula aspectos como el alcance de la cotitularidad, la tramitación y gestión de la patente, la concesión de licencias, la negociación de cara a su explotación y el reparto de beneficios o el intercambio de información.

Conclusión

En conclusión, por vez primera el CSN participa de una invención como cotitular, en una actividad que podemos denominar inusual o atípica en un organismo regulador nuclear, pero plenamente válida y con el permiso del ordenamiento jurídico. Esto es, el CSN, a través de su participación en un convenio de investigación, puede adquirir un derecho de patente respecto de la invención resultante, en el régimen de cotitularidad que sea con la otra parte, en este caso con la Universidad de Extremadura. Dicho derecho tiene un carácter patrimonial, y como tal, está sometido a las prescripciones de la Ley 33/2003, de 3 de noviembre, del Patrimonio de las Administraciones Públicas, y tiene acomodo en la legislación sectorial propia aplicable al CSN, esto es, su Ley de Creación y su Estatuto.

Reacción en cadena

Texto: **Nuria Chamorro Díaz** | Periodista científica.

NOTICIAS

Comienza a funcionar la primera central nuclear flotante

La primera central nuclear flotante del mundo, la *Akadémik Lomonósov,* fue construida a prueba de tsunamis e impacto de icebergs entre los años 2007 y 2018, y comenzó el pasado mes de diciembre a generar energía en el puerto de Pevek, en el extremo oriente de Rusia. Ahora, tras recibir la aprobación de las autoridades, inicia la explotación comercial, informó la empresa Rosenergoatom.

La central consta de dos reactores de 35 megavatios cada uno y tiene capacidad suficiente para suministrar electricidad y energía a una ciudad de casi 100.000 habitantes. Desde el pasado mes de diciembre, ha generado más de 47.3 millones de kilovatios hora de electricidad, cubre el 20 % de la demanda energética de Chaún-Bilbinsk y, en el futuro, será la principal fuente de energía para la península de Chukota, uno de los cuatro distritos autónomos de Rusia. Sin embargo, organizaciones ecologistas, como Greenpeace y la noruega Bellona, han criticado el proyecto, que consideran un peligro para el ártico, atribuyéndole calificativos como "Chernóbil flotante"

y "el Titanic sobre hielo".

El inicio de la explotación formal de la planta ha sido posible después de que la central recibiera el estatus de "conformidad" del organismo regulador relevante. La aprobación de las autoridades "significa que la planta se adhiere plenamente a todas las normas y regulaciones, incluidas las sanitarias, epidemiológicas, de seguridad ante incendios, requisitos de construcción y estándares federales", incidió la compañía.

Más información en un reportaje publicado en el número 40 de *Alfa*.

Envases biodegradables para alargar la vida útil de los alimentos

La contaminación por plásticos de envases de un solo uso es un gran problema de sostenibilidad que necesita soluciones innovadoras. Este es el objetivo del proyecto YPACK, que ha desarrollado y patentado un material a partir de suero de queso y microcelulosa de cáscaras de almendras, como alternativa al envasado tradicional de alimentos. El nuevo envase, además, puede alargar la vida útil de carnes, pescados y verduras, y degradarse totalmente en un periodo máximo de 90 días.

Los expertos del proyecto, financiado por la Unión Europea (UE) y liderado por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), han creado un envase biodegradable y activo a partir un material conocido como poli(3-hidroxibutirato-co-3-hidroxivalerato) (PHBV) al que se incorporó óxido de zinc y aceite esencial de orégano. Estos dos compuestos presentan una buena actividad antimicrobiana contra dos bacterias que pueden causar intoxicación alimentaria: *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*. Los resultados en fase piloto muestran un aumento de la vida útil de los productos frescos, como carne, frutas, verduras y pasta fresca, de hasta 48 días.

"El paquete ideal implica huellas de carbono e hídricas más bajas, es biodegradable en el medio ambiente y compostable, hace uso de desechos o subproductos, está diseñado ecológicamente, es seguro y tiene las propiedades de conservación adecuadas para minimizar el desperdicio de alimentos", explica José María Lagarón, investigador del CSIC en el Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos (IATA-CSIC) y coordinador del proyecto.

EFEMÉRIDES ► HACE 200 AÑOS...

Se descubre el fenómeno del electromagnetismo.

Hasta 1820 los fenómenos eléctricos y los fenómenos magnéticos eran considerados como independientes. Sin embargo, presentan muchas semejanzas: en ambos casos poseen polos, de los cuales los opuestos se atraen y los semejantes se repelen. Además, esta fuerza de atracción o repulsión declina con el cuadrado de la distancia.

Estas semejanzas llevaron a muchos científicos a pensar que podría existir una relación entre los dos fenómenos y, en 1820, el físico danés Hans Christian Oersted (1777-1851) realizó un experimento que demostraba esta suposición. Oersted, colocó la aguja de una brújula cerca de un alambre a través del cual pasaba corriente y observó que la orientación de la aguja variaba. Esto llevó a otros científicos como André-Marie Ampère y François Arago a realizar más experimentos que concluyeron que la electricidad y el magnetismo son manifestaciones de un mismo fenómeno: las fuerzas magnéticas proceden de las fuerzas originadas entre cargas eléctricas en movimiento.

Todo esto fue el origen de lo que hoy conocemos como electromagnetismo, la base del funcionamiento de todos los motores y generadores eléctricos.

Cómo se forman los elementos pesados

El proceso de captura de neutrones rápidos, o proceso r, responsable de la creación de muchos de los elementos pesados del universo, es aún un misterio para la física nuclear. Ahora, un experimento llevado a cabo en el Centro Europeo de Investigaciones Nucleares (CERN), liderado por el Laboratorio Nacional Argonne de EE UU, ha aportado información crítica sobre la formación de núcleos exóticos, eventos estelares y el universo primitivo. El estudio se ha publicado en *Physical Review Letters.*

Se cree que el proceso r ocurre en condiciones estelares extremas, como las fusiones de estrellas de neutrones o las supernovas, ambientes ricos en neutrones, que pueden ser capturados rápidamente por los núcleos para producir elementos nuevos y más pesados, antes de que tengan la posibilidad de descomponerse. "Estos procesos son difíciles de investigar, ya que no podemos simplemente desenterrar una supernova de la tierra, así que tenemos que crear estos ambientes extremos y estudiar las reacciones que ocurren en ellos", apunta Benjamin Kay, científico principal del estudio. El experimento trataba de estudiar la estructura del mercurio-207 y se llevó a cabo en la instalación HIE-ISOLDE del CERN. Se disparó un haz de protones de alta energía contra un objetivo de plomo fundido, de forma que las colisiones resultantes produjeron cientos de isótopos exóticos y radiactivos. "Ninguna otra instalación puede generar haces de mercurio de esta masa y acelerarlos a estas energías", dijo Kay. "Esto, nos permitió observar por primera vez el espectro de estados excitados en dicho isótopo". Los datos obtenidos confirman las predicciones teóricas de los modelos nucleares actuales. El equipo planea ahora estudiar otros núcleos con estos mismos mecanismos.

Instalación HIE-ISOLDE del CERN.

AGENDA

Tour Virtual del Oceanogràfic de Valencia
Disponible indefinidamente
Oceanogràfic / Ciudad de las Artes y las Ciencias
https://www.oceanografic.org/

El Oceanogràfic de la Ciudad de las Artes y las Ciencias es el mayor acuario de Europa, y en él se representan los principales ecosistemas marinos del planeta. Gracias a la visita virtual disponible en la web https://www.oceanografic.org/, el usuario podrá realizar desde casa un recorrido completo por todas las instalaciones del acuario a través de fotografías en 360º. Además, estas fotografías vienen acompañadas de vídeos sobre la instalación que estamos visitando, textos descriptivos e imágenes estáticas de los animales que habiten en ellas.

Durante la visita virtual, y a lo largo del recorrido por las diferentes instalaciones, podremos observar los más de 45.000 ejemplares de 500 especies diferentes que alberga: delfines, belugas, morsas, leones marinos, focas, pingüinos, tortugas, tiburones, rayas, medusas, crustáceos de todo tipo, incluso aves típicas de las zonas húmedas. Además, se ha incorporado la información de toda la cartelería del parque, por lo que podremos conocer el comportamiento y la forma de vida de todos estos animales.

Aunque esta forma de visita comenzó con el confinamiento por la covid-19, ha tenido un gran éxito, por lo que estará disponible siempre en la web para todo aquel que quiera consultarla.

REDES

@usgs
Cuenta oficial de Instagram del Servicio Geológico de Estados Unidos, donde la entidad norteamericana difunde imágenes y vídeos relacionados con las ciencias de la Tierra y de otros lugares del cosmos.

@CCCientifica
Blog de la Cátedra de Cultura Científica de la UPV/EHU con materiales que ayudan a construir las bases de la cultura científica.

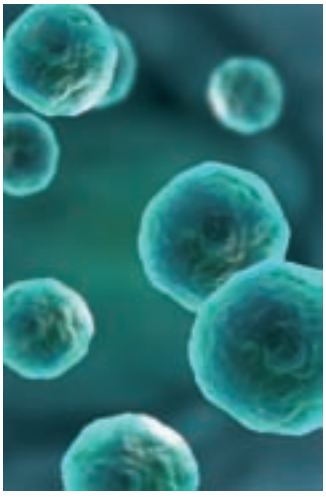
Muy Interesante
Noticias diarias de ciencia, historia, tecnología, psicología, innovación y curiosidades.

NASA
El departamento de comunicación de la Agencia Espacial de Estados Unidos comparte a través de esta plataforma vídeos relacionados con la exploración espacial y la astronomía.

EN RED

Un mapa de las células humanas

Los seres humanos estamos formados por millones de células que se organizan para formar tejidos y órganos, y todas ellas comparten el mismo material genético. Sin embargo, cada una tiene su propia función, ciclo de vida y reacciona de manera diferente con su entorno. Descubrir qué es lo que diferencia a una célula de otra y caracterizar cada uno de los tipos celulares de nuestro organismo es el objetivo del proyecto Human Cell Atlas, en el que colaboran



biólogos, clínicos, tecnólogos, físicos, ingenieros y matemáticos de todo el mundo. Se puede acceder a la información sobre este proyecto en la página web https://www.humancellatlas.org/

La iniciativa, fundada por el Wellcome Trust Sanger Institute del Reino Unido y el Broad Institute de la Universidad de Harvard, se puso en marcha en 2016 gracias al desarrollo de tecnologías de última generación, que permiten la secuenciación del material genético de una sola célula, analizando miles de células en un solo experimento. Bajo esta perspectiva, el proyecto busca definir las bases moleculares de los diferentes tipos celulares y sus localizaciones en el cuerpo humano, para así determinar cómo estas interactúan y se organizan y cómo se comunican los diferentes sistemas que conforman el organismo. Esto permitirá entender la relación entre los cambios presentes en dicha red y la presencia o ausencia de enfermedad, con el fin de mejorar las herramientas para el diagnóstico, monitoreo y tratamiento de estas. El proyecto Human Cell Atlas tiene el potencial de transformar nuestro enfoque de la biomedicina.

EN RED

Información testada científicamente

En el año 1946 se abría en Atlanta el Centro de Enfermedades Contagiosas (CDC, por sus siglas en ingles) con la importante misión de prevenir que el paludismo se propagara por Estados Unidos. A día de hoy, los CDC se han convertido en un referente mundial por sus estudios y trabajos de investigación para el control y la prevención de enfermedades y, uno de sus cometidos, es aplicar sus resultados para colaborar en la creación de información y herramientas para que las personas protejan su salud. Por ello, en su sitio web oficial se ofrece una gran cantidad de material avalado científicamente que cumple con este objetivo: https://www.cdc.gov/.

Entre los recursos que podemos encontrar en este sitio web, tanto para profesionales de la salud pública, como para público general, se encuentran: enlaces directos a temas de salud y seguridad, informes, artículos científicos, datos y estadísticas expuestos en tablas, gráficos y mapas, herramientas y recursos, y más de 900 temas de un índice alfabético de enfermedades llamado índice de la A a la Z. Además, muchas de sus publicaciones están disponibles para descargar de forma inmediata, poniendo a disposición del publico información específica y detallada de sus investigaciones.

Particularmente, debido a la situación sanitaria actual, los CDC ofrecen múltiples herramientas y consideraciones de salud para operar durante el covid-19: principales síntomas, qué hacer si estás enfermo, medidas que adoptar para protegerse, entre otras

LIBROS

Manual de supervivencia: Chernóbil, una guía para el futuro
Kate Brown
Traducido por David Muñoz
Editorial Capitán Swing Libros, 2020

La energía nuclear salvará el mundo
Alfredo García
Editorial Planeta, 2020

Desde el nacimiento de la energía nuclear existe una eterna disputa sobre su uso. Inicialmente, tuvo un gran apoyo y se planteó como la solución a cualquier problema energético, pero esta situación cambió rotundamente tras el accidente nuclear de Chernóbil, y se ha visto agravada tras el de Fukushima I en 2011. A partir de ese momento, se ha promovido el cierre paulatino

de las centrales nucleares y se han detenido los proyectos que había en marcha en muchos países. Sin embargo, muchos ven en la energía nuclear la alternativa más limpia y eficiente de producir energía eléctrica de forma independiente de los fenómenos meteorológicos y con mínimas emisiones de CO_2, en un mundo que se enfrenta a una demanda energética cada vez mayor. Estas dos posturas se ven representadas en los libros "Manual de supervivencia: Chernóbil, una guía para el futuro" y "La energía nuclear salvará el mundo", respectivamente.

La lectura de ambos pone a disposición del lector los pros y los contras del uso de la energía nuclear, fundamentándose en datos, estadísticas y evidencias, para que sea este el que forme su propia opinión.

Panorama

Extensión de la validez de las licencias de operación y trámites asociados durante el estado de alarma

Debido a la situación provocada por el estado de alarma ante la pandemia denominada covid-19, el pasado 31 de marzo, el Consejo de Seguridad Nuclear decidió la suspensión temporal, en determinados casos, del cumplimiento de algunos de los requisitos de seguridad nuclear y protección radiológica. Concretamente, el CSN precisó que la extensión de validez de algunas licencias de operación y trámites asociados, como las licencias de operador y supervisor de instalaciones radiactivas,

cuyo periodo de vigencia venciera durante el estado de alarma, quedaban automáticamente prorrogadas durante la vigencia de dicha situación y hasta 60 días después de su finalización. Asimismo, quedaron automáticamente prorrogados, hasta 90 días después de su finalización, todos los cursos homologados por el CSN y sus sucesivas renovaciones, y todos los carnés radiológicos sobre protección operacional de los trabajadores externos con riesgo de exposición a radiaciones ionizantes por intervención en zona controlada.

Rafael Cid, nuevo director técnico de Seguridad Nuclear del CSN

El pasado 20 de mayo, el Consejo de Ministros nombró, a propuesta del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a Rafael Cid Campo como responsable de la Dirección Técnica de Seguridad Nuclear del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN). Licenciado en Ciencias Físicas y diplomado en Energía Nuclear por la extinta Junta de Energía Nuclear (JEN), actual Ciemat, Rafael Cid se incorporó al organismo regulador en 1983. Desde 2008 desempeñaba el cargo de subdirector de Tecnología Nuclear y, desde noviembre de 2018, ocupaba el puesto de director técnico de Seguridad Nuclear en funciones. La Dirección Técnica de Seguridad Nuclear es la encargada de realizar, entre otras actividades, la evaluación, inspección y control de las instalaciones nucleares y los transportes de sustancias nucleares o materiales radiactivos, así como de elaborar las propuestas de apertura de expedientes sancionadores y de adopción de medidas coercitivas en las materias de su competencia.

Adenda al Acuerdo Específico con la Universidad de Málaga

El Pleno del CSN, en su reunión del 25 de marzo, aprobó incorporar una adenda al Acuerdo Específico de colaboración entre el organismo regulador y la Universidad de Málaga, para la realización de un estudio sobre la aplicación de los niveles de referencia de dosis en pacientes en los procedimientos de radiodiagnóstico médico utilizados en los centros sanitarios españoles, así como su contribución a las dosis recibidas por la población. Mediante esta adenda, el estudio, denominado DOPOES II y cuyo acuerdo fue suscrito en octubre de 2017, se prolongará durante ocho meses más.

Reunión del comité de enlace entre CSN y Enresa

El CSN celebró el pasado 21 de mayo, de manera telematica, una reunión del comité de enlace entre el organismo regulador y la Empresa Nacional de Residuos Radioactivos, Enresa. El encuentro estuvo presidido por la consejera Pilar Lucio y el consejero Francisco Castejón, y en él participaron los restantes miembros del Pleno, Josep Mª Serena i Sender, Javier Dies y Elvira Romera, además del secretario general del CSN, el director técnico de Seguridad Nuclear y la directora técnica de Protección Radiológica. Por parte de Enresa participaron su presidente, José Luis Navarro Ribera y el director técnico, entre otros.

Durante la reunión se revisó el estado de las acciones planificadas conjuntamente por ambas organizaciones, con especial énfasis en el avance del VII Plan General de Residuos Radiactivos (PGRR) y el estado de los procesos actuales de desmantelamiento de las centrales José Cabrera (Guadalajara) y Vandellós I (Tarragona). También se trató la situación de otras instalaciones, como El Cabril y la central nuclear Santa María de Garoña (Burgos), que actualmente se encuentra en situación de cese de explotación. Asimismo, se abordó el seguimiento de las acciones resultantes de la misión combinada IRRS-ARTEMIS, del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), y se analizaron las actividades de I+D en curso y en proceso de aprobación.

Fallece Carlos Aníbal Martín Marquínez, ex vicepresidente del CSN

El pasado 7 de abril falleció en Pozuelo de Alarcón (Madrid) Carlos Aníbal Martín Marquínez, exconsejero y ex vicepresidente del CSN, a los 78 años. Licenciado en Ingeniería Industrial, Martín Marquínez fue consejero del organismo regulador de noviembre de 1994 a septiembre de 1995, momento en el que pasó a ser nombrado vicepresidente del CSN hasta julio de 2001. Previamente fue gerente de la central nuclear de Valdecaballeros (Badajoz) y desarrolló su carrera profesional en Iberdrola. El Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear, encabezado por su presidente, Josep Maria Serena i Sender, y formado por los consejeros Javier Dies, Elvira Romera, Pilar Lucio y Francisco Castejón, emitió un comunicado de condolencia.

El CSN celebra 40 años de actividad

El pasado 22 de abril, el CSN cumplió 40 años al servicio de la ciudadanía. El organismo regulador inició su andadura en 1980, con el objetivo de proteger a los trabajadores de las instalaciones nucleares y radiactivas, a la población general y al medio ambiente. Para ello, se dotó desde sus inicios de un cuerpo técnico altamente cualificado, encargado de verificar el correcto funcionamiento de todas las instalaciones españolas que utilicen radiaciones ionizantes. Para conmemorar el aniversario, se han preparado diversos actos de celebración, entre los que destacan una jornada institucional en el Antiguo Salón de Sesiones del Senado, la organización de un evento internacional, un ciclo de conferencias y la edición de un video institucional y una publicación conmemorativa. El día del aniversario, el Pleno expresó su agradecimiento a los presidentes y consejeros anteriores, a los técnicos y al personal administrativo que han formado parte de la institución durante estos cuatro decenios su labor en favor de la seguridad nuclear y de la protección radiológica.

Reunión virtual del Foro Iberoamericano

El pasado 15 de mayo, el Plenario del Foro Iberoamericano de Organismos Radiológicos y Nucleares, conocido como el FORO, mantuvo una reunión virtual en la que participaron los representantes de los organismos reguladores de Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Cuba, España, Paraguay, Perú y Uruguay. La reunión, convocada por el presidente del FORO, Juan Pablo Parra Lozano, tuvo por objetivo principal decidir cómo proceder ante la imposibilidad de mantener las reuniones del Plenario y del CTE previstas para julio de 2020 en Bogotá, debido a las medidas sanitarias adoptadas para la contención de la covid-19. El Plenario aprobó posponer dicha reunión a noviembre de este año y mantener otra reunión virtual en julio. Otros temas importantes que fueron considerados fueron la solicitud de incorporación al FORO del organismo regulador de Bolivia, el seguimiento a los lineamientos estratégicos de la Asociación y la realización de reuniones virtuales más frecuentes. Se realizó un repaso al estado del programa técnico del FORO y se presentó una iniciativa del regulador argentino sobre la resiliencia en la operación segura de las centrales nucleares ante pandemias como la covid-19.

Reuniones de la Comisión Mixta de Seguimiento de los Acuerdos de Encomienda de Funciones

El CSN ha celebrado las reuniones anuales de la Comisión Mixta de Seguimiento de los Acuerdos de Encomienda de Funciones con las comunidades autónomas de Canarias, País Vasco, Valencia y Baleares. Estos acuerdos se refieren a las funciones de inspección y control de instalaciones radiactivas de segunda y tercera categoría, en los ámbitos de la investigación, el diagnóstico y/o los tratamientos médicos y los usos industriales de fuentes y equipos radiactivos, así como en las instalaciones que utilizan aparatos de rayos X, junto con la inspección de transportes de material radiactivo. Durante las sesiones,

se han analizado las principales actividades realizadas por estas comunidades autónomas en 2019, así como la planificación de las actividades para el presente año. En los cuatro casos, el organismo regulador ha destacado el adecuado cumplimiento del trabajo. El objetivo estos acuerdos es conseguir una mejor ejecución de las funciones propias del CSN, utilizando las capacidades de las comunidades autónomas, prestando un servicio más eficaz y eficiente, y aproximando los órganos administrativos a los ciudadanos.

Convenio para la realización de un ejercicio conjunto de ciberseguridad con la Universidad Complutense

El Consejo de Seguridad Nuclear y la Universidad Complutense de Madrid han firmado un convenio de colaboración, que tendrá una vigencia de 2 años prorrogables, para la realización de un ejercicio de ciberseguridad en los sistemas del regulador. Este ejercicio tiene un doble propósito. Por un lado, contribuir a la mejora de la seguridad de los sistemas de información del CSN, mediante la identificación de las vulnerabilidades y compromisos de seguridad que puedan ponerse de manifiesto durante su ejecución. Y, por otro, permitir a los estudiantes inscritos en el Grupo de Hacking Ético de la Facultad de Informática de la UCM realizar prácticas de formación como especialistas en dichas materias, de forma controlada, en un entorno real en producción. Ambas partes consideran aconsejable promover una cooperación entre ellas con la finalidad de que los estudiantes de la UCM puedan tener la oportunidad de obtener un aprendizaje sobre la seguridad de las Tecnologías de la Información de manera práctica, mejorando asimismo las capacidades de ciberseguridad del CSN y la eficacia de sus infraestructuras.

La gestión del CSN durante la covid-19*

Videoconferencias realizadas

Más de 2.600

Porcentaje del personal del CSN teletrabajando

85%

Reuniones con reguladores internacionales

25

Licencias de personal y homologaciones de cursos

438

Informes aprobados sobre instalaciones radiactivas

81

Informes aprobados sobre instalaciones nucleares

19

Licencias de operación de instalaciones nucleares

17 (en trámite)

Inspectores residentes

14

Solicitudes dictaminadas

594

Actualizaciones web

320

Publicaciones en redes sociales

126

Buzón de consultas

Más de 400

CSN CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

*Datos recopilados entre el 14 de marzo y el 12 de junio | **www.csn.es**

Principales acuerdos del Pleno

Renovación de la autorización de explotación de Almaraz

En su reunión del 7 de mayo, el Pleno del CSN acordó informar favorablemente la propuesta de dictamen técnico relativa a la solicitud de renovación de la autorización de la explotación de la central nuclear de Almaraz (Cáceres). De esta forma, se autoriza el funcionamiento de la unidad I hasta el 1 de noviembre de 2027 y hasta el 31 de octubre de 2028 a la unidad II, que iniciaron su funcionamiento en 1981 y 1983, respectivamente. La decisión se basa en la verificación del cumplimiento, por parte del titular, de las condiciones de la autorización vigente y las instrucciones técnicas asociadas. Además, tiene en cuenta los resultados de 44 informes técnicos especializados, así como los requisitos exigibles por el Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas (RINR), la información procedente de las inspecciones realizadas a la central durante la vigencia de la actual autorización por parte del CSN, así como los resultados de los procesos de licenciamiento, supervisión y control del CSN, en dicho periodo decenal.

El dictamen emitido por el CSN incluye 13 límites y condiciones a los que quedará sometido el funcionamiento de la instalación en este nuevo periodo, relativos a aspectos generales de todas las autorizaciones y aspectos específicos de esta autorización. Concretamente, estas condiciones hacen referencia a: revisiones del Estudio de Seguridad que incorporen las modificaciones incluidas en la central que no hayan requerido autorización; envío de informes sobre la experiencia operativa propia y ajena aplicable a la central, la nueva normativa, los resultados del programa de vigilancia radiológica ambiental, los controles dosimétricos del personal y las actividades del plan de gestión de residuos radioactivos y del combustible gastado; condiciones sobre la cesión de explotación de la central, y aquellas relacionadas con la Operación a Largo Plazo. Asimismo, estos límites se acompañan de 7 instrucciones técnicas complementarias (ITC), en las que se recogen los pormenores de las condiciones de la renovación de la autorización. Este informe será remitido al Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico para que adopte la decisión final.

Modificación capacidad piscina combustible gastado Vandellós II

En su reunión del 16 de abril, el Pleno del CSN informó favorablemente la solicitud de modificación de diseño presentada por el titular de la central nuclear Vandellós II (Tarragona), para ampliar la capacidad de almacenamiento de la piscina de combustible gastado y acomodar, de esa manera, las necesidades de almacenamiento de elementos combustibles que se presenten en los próximos ciclos de operación. La implantación de esta modificación deberá estar preparada antes de la parada por recarga de combustible prevista en la primavera de 2021.

Modificación de las curvas P-T de la central nuclear de Ascó

En su reunión del 30 de abril, el Pleno del CSN informó favorablemente la solicitud de la central nuclear de Ascó, por la que se modifican las curvas de las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento (ETF) que limitan las condiciones operativas en función de la presión (P) y la temperatura (T) del circuito primario, con el fin de proteger la integridad de los materiales constructivos. Este cambio resulta de los análisis efectuados por el titular para tener en cuenta futuras condiciones operativas de la operación a largo plazo, e implica la modificación de diversos documentos oficiales de explotación, que también se han valorado en esta reunión del Pleno, cada uno dentro de lo previsto en su correspondiente régimen de modificaciones.

Programa de vigilancia radiológica ambiental en el medio acuático

El Pleno del Consejo, en su reunión del 19 de marzo, aprobó el encargo a medio propio personificado (es decir, sin ceder la titularidad de sus competencias) por el CSN al CEDEX sobre un programa de Vigilancia Radiológica Ambiental en el medio acuático aplicando la red densa de la Red de Estaciones de Muestreo para el periodo 2020-2023. Para satisfacer los compromisos establecidos en la función del CSN de vigilancia radiológica ambiental, el regulador cuenta con una red de estaciones de muestreo, consistente en el establecimiento de en una Red Densa y una Red Espaciada.

Inicio del proyecto MASA-2

En su reunión del 20 de mayo, el Pleno del CSN aprobó la puesta en marcha del convenio, que tendrá una vigencia de cuatro años, entre el CSN y la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) para la realización del proyecto "Métodos avanzados de simulación y análisis en el campo de la seguridad nuclear - Fase 2 (MASA-2)", continuación del realizado durante 2014 y 2015 y que ahora se completa con el desarrollo y validación de una

metodología de análisis determinista de secuencias accidentales, en condiciones de extensión de diseño, y sin degradación significativa del combustible nuclear.

Convenio con varias universidades sobre el gas radón

El Pleno del Consejo, en su reunión del 20 de mayo, aprobó la firma de un convenio de dos años de duración con las universidades Autónoma de Barcelona, de Cantabria y la de Las Palmas de Gran Canaria, para la puesta en marcha del proyecto de I+D sobre generación y validación de un modelo numérico para la predicción de la entrada de radón en edificios, en base a una caracterización del terreno y a una definición tipológica de la construcción. Con este proyecto se busca desarrollar una herramienta informática válida para la simulación de procesos de generación, transporte, inmisión y acumulación de radón en edificios, así como para el análisis de eficacia de las técnicas de prevención y remedio de lugares afectados por este gas.

Nuevo plan de formación del CSN

El Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear, en su reunión del 6 de marzo, informó favorablemente del nuevo plan de formación del organismo regulador. Por un lado, la formación dirigida al personal técnico, comprende aquella en seguridad nuclear, en protección radiológica, en áreas de gestión transversales y en formación técnica inicial. Por otro, la formación general, dirigida a los 438 trabajadores del CSN, incluye programas referidos al desarrollo directivo, gestión administrativa y jurídica, prevención de riesgos laborales y salud, informática, idiomas y habilidades.

Participación en la instalación experimental RHBT

En su reunión del 20 de mayo, el CSN informó favorablemente de la propuesta de acuerdo con la Agencia de Energía Nuclear (NEA, por sus siglas en inglés) para participar en un proyecto, de dos años de duración, de comparación de resultados de códigos termohidráulicos aplicados a la fase de reinundación en escenarios de accidentes base de diseño de pérdida de refrigerante. Este programa se lleva a cabo a partir de ensayos experimentales en la instalación experimental RHBT, construida en 1998 por la Nuclear Regulatory Commission (NRC) estadounidense.

Evaluación de las medidas experimentales de la composición isotópica del combustible gastado

En su reunión del 20 de mayo, el Pleno del CSN informó favorablemente de la puesta en marcha de un convenio de cuatro años de duración, con la empresa Science Engineering Associates S.L. (SEA) para la evaluación de las medidas experimentales de la composición isotópica del combustible gastado. El objetivo de este proyecto es la determinación de las incertidumbres en los cálculos de composición isotópica mediante la comparación de datos calculados y medidos experimentalmente en muestras de combustible irradiado de reactores de agua en ebullición (BWR).

Instrucción del Consejo IS-30 sobre protección contra incendios en centrales nucleares

En su reunión del 12 de marzo, el Pleno del CSN abordó diversos informes técnicos. Entre ellos, el relacionado con una Instrucción Técnica Complementaria (ITC) relativa a los requisitos de aptitud física de los miembros de la brigada de protección contra incendios que es aplicable a todas las centrales. Esta ITC completa la Instrucción del Consejo IS-30 sobre protección contra incendios en centrales nucleares, que requiere el establecimiento de una brigada de protección contra incendios que esté debidamente equipada, formada y entrenada.

Procedimiento abierto para la contratación Oracle

El Pleno del Consejo aprobó, en su reunión del 23 de abril, el inicio de un procedimiento abierto para la contratación de un servicio de soporte técnico para la administración y mantenimiento de bases de datos Oracle, así como de servidores de aplicaciones de web y de gestión documental. La vigencia del contrato será de dos años, prorrogable hasta dos años más, por un importe máximo de 200.000 € (IVA 21 % incluido).

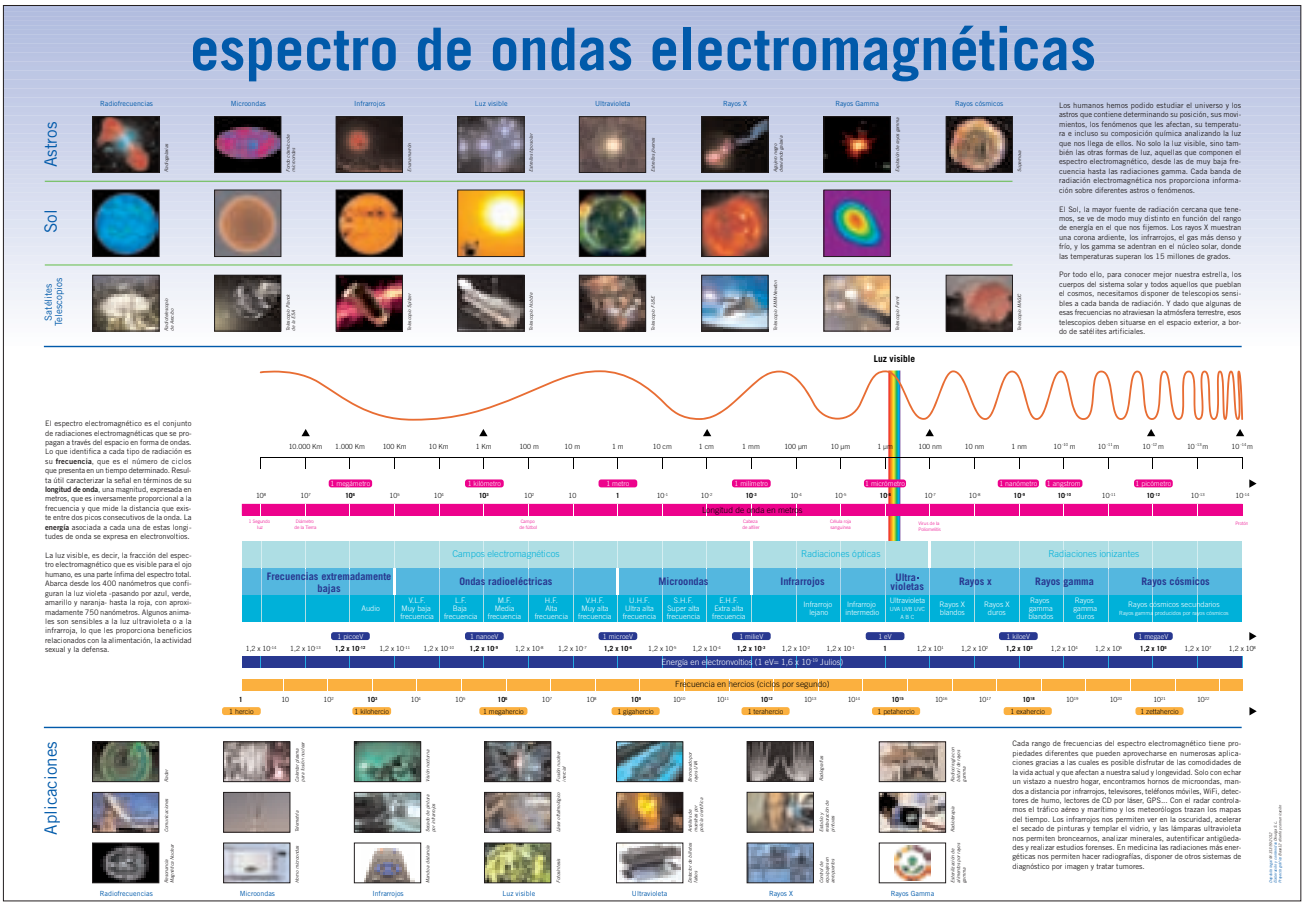
Aprobada la prórroga de contratación de soportes técnicos

En su reunión del 13 de mayo, el Pleno del Consejo aprobó la prórroga por dos años del contrato correspondiente a la prestación de un servicio de monitorización, mantenimiento y soporte técnico de redes y comunicaciones, sistemas y microinformática. Este contrato fue firmado con la empresa Sistemas Avanzados de Tecnología, S. A. (SATEC), en 2018 y ahora se ha aprobado su extensión por la misma cuantía (475.038,74 €) y en las mismas condiciones técnicas y económicas que lo rigen en la actualidad.

Nuevos funcionarios

En su reunión del 28 de mayo, el Pleno del CSN aprobó la asignación de puestos para el ingreso de los 22 nuevos funcionarios del Cuerpo de Seguridad Nuclear y Protección Radiológica y la consiguiente modificación de la Relación de Puestos de Trabajo (RPT) del organismo regulador. Además, aprobó la creación de la Jefatura de Proyecto de Instalaciones del Ciclo y Desmantelamiento por las exigencias de dedicación técnica al próximo proceso de desmantelamiento de la central nuclear Santa María de Garoña (Burgos).

Publicaciones



Conoce y descarga los posters del servicio de Publicaciones del CSN
en http://run.gob.es/ahndmx

aLFa Revista de seguridad nuclear y protección radiológica

Boletín de suscripción

Institución/Empresa

Nombre

Dirección

CP Localidad Provincia

Tel. Fax Correo electrónico

Fecha Firma

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

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

Abstracts

REPORTS

6 Alliance between medicine and artificial intelligence

Having already invaded operating theatres, machines are now threatening to replace our medical professionals. Expert systems equal or even surpass specialists in the performance of diagnostic processes and other intelligent technologies are beginning to be used for the design of drugs and the simulation of clinical tests.

20 Irradiated foodstuffs, the unknown protection

The use of radiations to keep the contents of our larders fresh and avoid intoxications has been held back by the mistrust aroused among consumers, but the advantages that such use offers compared to other alternatives are leading to its gaining a presence on the international markets.

36 The radioactive panacea

During the first half of the last century there was an explosion of products that contained, or claimed to contain, radium, as a lure to increase sales. Creams, medicines, inhalers, chocolates, suppositories and many other products hastened to cash in on the expectations that arose with the discovery of radioactivity.

41 The struggle against misleading scientific information in the digital world

Unfounded rumours in relation to science and health inundate the social media and their number and reach have increased in a particularly intense way during the covid-19 pandemic. Our way of thinking and biases make it difficult for us to protect ourselves against this phenomenon, which both psychology and journalism are trying to understand and combat.

48 The Spanish cryptographer who helped to decipher the Nazis' Enigma machine

A group of Spaniards, led by Antonio Camazón, collaborated decisively in the deciphering of the machine developed by the Nazis to send encrypted messages. Their story has emerged after almost half a century of obscurity thanks to the efforts of a team of researchers and a documentary that tells of their feat.

RADIOGRAPHY

26 Nuclear technology to detect covid-19

How does the main test used to detect the presence of the ARS-CoV-2 virus, the cause of the pandemic that is devastating the world this year, work? The method is real-time RT-PCR, which detects the presence of specific genetic material of the virus.

INTERVIEW

28 Francisco Castejón Magaña, CSN commissioner

"What is expected of the Council is simply rigour, neutrality and transparency".

TECHNICAL ARTICLES

12 Topical peer reviews and ageing management at nuclear facilities

Between 2017 and 2018 the nuclear safety regulatory authorities of the EU countries with nuclear facilities carried out the first topical peer review (TPR), pursuant to the nuclear safety directive on the management of nuclear facility ageing.

55 The CSN in its role as inventor

Research funded by the Nuclear Safety Council and undertaken by the University of Extremadura has given rise to a filtration system that uses green manganese sand to remove radium from water. The discovery has led to a patent shared by the CSN and the university.

Descubre la web del Consejo de Seguridad Nuclear. Los mejores contenidos, la mejor usabilidad y un diseño *responsive* que se adapta a todas las pantallas y a los nuevos terminales inteligentes.

Toda la información sobre seguridad nuclear y protección radiológica, de la mano del organismo regulador, a tu alcance.

www.csn.es

CSN CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR