

Agujeros negros, semillas del espacio-tiempo

La cadena de suministro
en centrales nucleares

El control de las fuentes
radiactivas huérfanas

María Blasco, directora
del CNIO: “Los enfermos
de covid con sintomatología
más severa tienen
los telómeros más cortos”

La ciencia también es cosa
de ellas: siete ejemplos
de investigadoras españolas
actuales en diferentes
disciplinas



El CSN en tu bolsillo

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

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



iOS



Android



Telómeros, retrovirus y especies en extinción

Retomamos la actividad de Alfa tras el verano con un nuevo número en el que entrevistamos a María Blasco, directora del Centro Nacional de Investigaciones Oncológicas (CNIO), para charlar sobre telómeros, las distintas investigaciones que se están llevando a cabo en el CNIO y la presencia de las mujeres en la ciencia. En este sentido, apoyamos la campaña #NoMoreMatildas y recogemos la experiencia de siete científicas españolas de diferentes generaciones y disciplinas que nos cuentan los retos y dificultades a los que se han enfrentado a lo largo de su carrera.

También incluimos una breve entrevista a Juan Carlos Lentijo, que acaba de dejar su puesto de director general adjunto y responsable de Seguridad Nuclear en el OIEA y nos traslada sus impresiones sobre el organismo.

Entre las páginas divulgativas de este número 47 hemos incluido un reportaje sobre el origen de la vida y la influencia que la molécula denominada ARN –muy de moda en los últimos meses– ha tenido en la evolución de los seres vivos.

Según la Plataforma Intergubernamental sobre la Biodiversidad y los Servicios de los Ecosistemas, impulsada por Naciones Unidas, una de cada ocho especies está en riesgo de des-

aparición en las próximas décadas y, con ellas, sus ecosistemas, esenciales también para el ser humano.

En 2019 pudimos ver, por primera vez, cómo son los agujeros negros gracias a una imagen obtenida por el telescopio EHT. En Alfa hacemos un hueco a estas materias espaciales que han pasado de ser una excentricidad matemática a ser las protagonistas del último Premio Nobel de Física.

Blockchain, la tecnología que está detrás del dinero digital, es una cadena donde los bloques se enlazan y protegen la seguridad y privacidad de la información

Cerramos la sección divulgativa de Alfa con dos contenidos curiosos. Por una parte, recogemos el fenómeno del turismo nuclear. Desde el estreno de la serie ‘Chernóbil’, el volumen de visitantes en la zona se ha incrementado un 40%. Algo similar ocurre con Fukushima, donde el Gobierno japonés ha abierto visitas guiadas a la zona

afectada por el tsunami y posterior accidente nuclear.

Además, nos acercamos al blockchain o cadena de bloques, una tecnología considerada con un gran potencial y que está detrás del dinero digital. Una especie de libro de cuentas donde los bloques (los registros) se enlazan como una cadena y protegen la seguridad y privacidad de la información.

La Radiografía está dedicada al nuevo expositor virtual del CSN que permite realizar una visita interactiva en formato de imágenes 360° en 3D, así como navegar desde diferentes dispositivos (como ordenadores, tabletas o móviles). El expositor alberga cuatro salas y en cada una de ellas se puede seleccionar el tipo de vista deseado (panorámica o vista interna).

En las páginas más técnicas de Alfa abordamos los procesos de la cadena de suministros de las centrales nucleares, pues tienen una gran trascendencia para su seguridad. Se debe asegurar que los elementos y componentes que se instalen cumplen con los requisitos para los que han sido diseñados.

Además, hacemos un repaso al control de las fuentes huérfanas en nuestro país. España dispone, desde hace décadas, de un riguroso sistema de control regulador para el uso y posesión de las fuentes radiactivas. 

ALFA

Revista de seguridad nuclear
y protección radiológica
Editada por el CSN
Número 47
Septiembre 2021



Comité Editorial

Josep Maria Serena i Sender
Pilar Lucio Carrasco
Francisco Castejón Magaña
Elvira Romera Gutiérrez
Rafael Cid Campo
M^a 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. Trabajo del Camino
24010 León

Fotografía de portada

Agujero negro, Gerd Altmann

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

© Consejo de Seguridad Nuclear

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

REPORTAJES

6 La ciencia también es cosa de ellas

Dentro del movimiento mundial que pretende visibilizar a las mujeres dedicadas a la ciencia, en España la Asociación de Mujeres Investigadoras y Tecnólogas (AMIT) ha lanzado la campaña #NoMoreMatildas. En este reportaje mostramos siete ejemplos de científicas que cuentan su experiencia, sus dificultades, sus éxitos y sus sueños.

13 ... Y la química se hizo vida

La eterna preguntas sobre el origen de la vida en la Tierra sigue sin tener una respuesta definitiva, pero es probable que se encuentre en una molécula, el ácido ribonucleico (ARN), puesta de moda con las vacunas anticovid. La hipótesis denominada *mundo ARN*, cobra fuerza como la etapa de transición hacia las primeras células.

33 Semillas del espacio-tiempo

Los agujeros negros han pasado de ser una excentricidad matemática a protagonizar el Premio Nobel de Física 2020 y se han convertido en un laboratorio de experimentación de la astrofísica actual, donde las leyes de la ciencia se alteran. Permean el espacio-tiempo de forma tan significativa que ciertas teorías sugieren que son las semillas que hicieron emerger el cosmos.

38 El escudo roto

Según IPBES, plataforma científica impulsada por Naciones Unidas, una de cada ocho especies está en riesgo de extinción en las próximas décadas. Esta pérdida nos afecta, porque la biodiversidad es un escudo que nos protege. Los científicos aseguran que estamos viviendo en directo la sexta extinción masiva en la historia del planeta.

51 'Blockchain', más allá del dinero digital

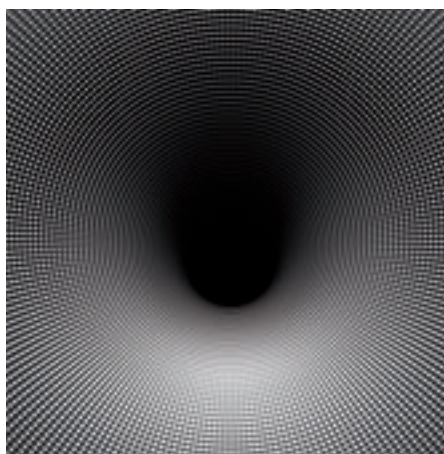
El *bitcoin*, la criptomoneda que no está respaldada por ningún Gobierno ni organismo multiplica su uso y su valor, sembrando dudas sobre su fiabilidad. Detrás se encuentra una tecnología, el *blockchain* o cadena de bloques, considerada incorruptible y cuyas aplicaciones empiezan a proliferar para garantizar la seguridad

56 'Turismo nuclear, los nuevos 'stalkers'

Algunos de los lugares asolados por desastres nucleares, como Hiroshima, Fukushima y Chernóbil, se han convertido en atractivos destinos turísticos, en algunos casos con parque de atracciones incluido, alentados por series televisivas como las dedicadas a la central ucraniana o la de Palomares, en España.



ISTOCKPHOTO



ISTOCKPHOTO



RADIOGRAFÍA

26 Expositor virtual del CSN

Las limitaciones impuestas por la pandemia han llevado al Consejo de Seguridad Nuclear a crear un stand virtual con el que el participa en las ferias que se celebran de forma telemática.

ENTREVISTAS

28 **María Blasco, directora del Central Nacional de Investigaciones Oncológicas**

“Los enfermos de covid con sintomatología más severa tienen los telómeros más cortos”.

64 **Juan Carlos Lentijo, exdirector de Seguridad Nuclear del OIEA**

“El mundo no aceptaría un nuevo accidente nuclear de envergadura”.

ARTÍCULOS TÉCNICOS

19 **La cadena de suministro en centrales nucleares**

Es preciso que los elementos y componentes que se renuevan en las instalaciones nucleares cumplan los adecuados requisitos de seguridad, por lo que la cadena de suministro debe vigilarse y evitar problemas observados en los últimos años, como componentes falsificados y fraudulentos, obsolescencia, utilización creciente de equipos digitales y empleo de equipos de uso comercial para funciones de seguridad.

44 **El control de las fuentes radiactivas huérfanas**

España dispone, desde hace décadas, de un riguroso sistema de control regulador para el uso y posesión de las fuentes radiactivas, que establece las normas básicas relativas a la protección sanitaria de los trabajadores y de la población contra los riesgos que resultan de las radiaciones ionizantes.



AMPAO GARRIDO



ENSA

60 **Reacción en cadena**

67 **Panorama**

69 **Acuerdos del Pleno**

70 **Publicaciones**

71 **Abstracts**



Ilustración de *Las mariposas. Su historia, forma de cazarlas y de conservarlas*, Amédée-Eugène Balland (1823).

La ciencia también es cosa de ellas

■ Texto: **Mar de Miguel** | Periodista científica ■

¿Qué hubiese sido de Darwin si su padre no le hubiera dejado embarcar en el HMS Beagle? ¿Le conoceríamos por su trabajo si no se hubieran financiado sus publicaciones o las hubieran firmado otros? ¿Habría descubierto Ramón y Cajal las neuronas si no le hubiesen dejado matricularse en la universidad o le hubieran prohibido la entrada a su laboratorio? ¿Qué sabríamos de Einstein si hubiese sido una mujer? Estas preguntas retóricas en realidad coinciden con dificultades reales sufridas por las mujeres a lo largo de la historia, sin acceso al conocimiento o vetadas en la ciencia.

En 1870, Matilda Joslyn Gage denunció en *La mujer como inventora* un fenó-

meno conocido como Efecto Matilda, acuñado en su honor por la historiadora Margaret Rossiter. Este describe cómo a las científicas, sus colegas hombres les robaron el mérito de su investigación o



cómo, a lo largo de la historia, se ha ocultado su contribución a la ciencia.

La campaña #NoMoreMatildas, de la Asociación de Mujeres Investigadoras

y Tecnólogas (AMIT), pone la atención en este efecto para reivindicar la figura de la mujer en la ciencia y desterrar el mito de que es cosa de hombres. “No sabemos hasta dónde habría llegado la ciencia si no se hubiese desperdiciado tanto talento y más mujeres hubieran dedicado su esfuerzo al avance del conocimiento”, destaca Carmen Fenoll, directora de AMIT.

La historia de la ciencia está plagada de ausencias femeninas, ya sea adrede o por el paso del tiempo y el desuso. “Entre 1800 y 1900 hubo centenares de miles de publicaciones científicas. En ellas solo aparecen 1.000 mujeres. Solo son el 1 % ¿pero qué queda de ellas?”, pregunta el escritor Xavier Sistach. “No han quedado ni las mejores, algo que no tiene que ver con que el trabajo fuera más relevante o no”, sostiene. Sistach desempolva en *Pasión por los insectos: Ilustradoras, aventureras y entomólogas* el legado de 52 naturalistas nacidas desde 1647 a 1912. Las pone en contexto y rescata del olvido nombres como el de las viajeras Lucy Cheesman e Ida Pfeiffer, la coleccionista Margaret Fountaine o las entomólogas Clara Ludlow y Miriam Rothschild.

De todas ellas, Sistach destaca a Fountaine mientras trabaja en la biografía de Pfeiffer, una gran exploradora que en el pasado ocupó páginas enteras de libros pero desaparece de ellos 30 años después. “La novedad mata el pasado”, se lamenta. “Con hombres también ocurre, pero con ellas es más marcado porque hay menos”. En ese sentido, achaca la existencia de pocas naturalistas ya no solo a que tuvieran prohibido o muy limitado el acceso a la universidad hasta principios del siglo XX sino a la imposibilidad de viajar, algo imprescindible en esta disciplina.

Los casos de las primeras mujeres doctoras de España, María Isidra de Guzman (doctora en filosofía por la Universidad de Alcalá en 1785) o María Pas-

cuala Caro Sureda (por la de Valencia pocos años después), son raras excepciones de nuestra historia. Estudiantes universitarias, las hubo en Salamanca y Alcalá desde el siglo XV, pero con permisos especiales y muchas limitaciones hasta 1882, año en el que se prohíbe la admisión de las mujeres a la enseñanza superior. En 1910 se autoriza definitivamente su matrícula. Las pioneras de la ciencia española, como Dolors Aleu (primera mujer licenciada en medicina, 1882) o Martina Castells (doctora en medicina, 1882) aparecen tarde por ley.

A día de hoy, en la universidad española se matricula un 59 % de mujeres. Y, aunque en Ciencias de la Salud un 70,3 % son alumnas, solo un 13 % de mujeres opta por carreras STEM. En in-

vestigación, el informe Mujeres Investigadoras del CSIC muestra un desequilibrio de género en todas sus Áreas Globales. Mientras que las científicas lideran el 33,4 % de los proyectos europeos del organismo, el porcentaje de contratadas predoctorales en 2020 fue el más bajo de los últimos años (50,5 %).

Con frecuencia, los estudios de género destacan la carencia de científicas en los libros de texto y la importancia de mostrar a la sociedad modelos actuales de referencia para niñas y mujeres. La élite de la ciencia española cuenta con un largo listado de nombres para tal propósito: Margarita Salas (bioquímica), Pilar Carbonero (agronoma), María Blasco (bióloga molecular), María Martínón (antropóloga), Mara Dierssen (neuro-

bióloga), Alicia Sintés (física), Carme Torras Genís (matemática), Laura Lechuga (química), Carolina Anher (Ingeniería nuclear), Susana Marcos (óptica), Celia Sánchez-Ramos (farmacia/óptica) o Montserrat Calleja Gómez (física), entre otras muchas.

Hoy, siete magníficas de la ciencia, Elvira Moya de Guerra (física nuclear), María Vallet (química), Angela Nieto (Biología del desarrollo), Margarita Yela (física de la Atmósfera), Elena García Armada (ingeniera robótica), Eva Miranda (matemática) y Selenia Giménez (ingeniera agrónoma), de diferentes generaciones y disciplinas, nos cuentan su experiencia en la carrera científica, sus dificultades, sus éxitos y sus sueños. **D**

INSTITUTO DE NEUROCIENCIAS DE ALICANTE-CSIC-UMH



Ángela Nieto, bióloga del desarrollo

Hola guapa, ¿dónde está tu jefe?

Cuando entró en la universidad, apenas se sabía qué genes actuaban en embriones humanos; hoy se sabe que son los genes snail los que hacen que las células se coloquen en el lugar correcto cuando se forman tejidos y órganos y que un fallo en esos genes conlleva enfermedades

como la fibrosis renal o las metástasis del cáncer. Gran parte de ese conocimiento lo ha aportado Ángela Nieto (Madrid, 1960), una de las mayores especialistas mundiales en biología del desarrollo.

Nieto es investigadora principal del Grupo de Plasticidad Celular en el

Desarrollo y la Enfermedad del Instituto de Neurociencias de Alicante-CSIC-UMH. Desde 2020, su nombre está entre los 42 hombres y las cinco mujeres de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de España. A la séptima medalla de esta institución han contribuido sus más de 120 publicaciones y 39.475 citas, el Premio Rey Jaime I de Investigación (2009) y el Premio Nacional de Investigación Santiago Ramón y Cajal (2019). Ella es la cuarta mujer en obtener este último, avanzando en la difícil escalada de las mujeres en la ciencia.

Aunque inicialmente interesada por la química, descubrió lo “fascinante” que es “entender la vida desde el punto de vista de las moléculas”, por su profesora de Biología de COU, lo que decidió su destino. Admira a Cajal, a Marie Curie y, dentro de su ámbito de la biología del desarrollo, a los pioneros Antonio García-Bellido, Ginés Morata y Juan Modolell. Durante su tesis en el Centro de Biología Molecular Severo Ochoa los tuvo cerca, pero el “camino desde la molécula a la célula y de ahí al individuo completo” lo

emprendió después. “Por eso Ginés siempre me dice que soy ‘un elemento de inducción tardía’. Sin duda, su inspiración está detrás de mi decisión”, cuenta.

Nieto estudia patologías en adultos, como el cáncer y la degeneración de órganos, causadas por la reactivación de esos genes embrionarios. Son estudios complejos que avanzan con la tecnología: cultivos celulares, organoides, secuenciación y CRISPR, la herramienta de edición genómica que abre paso a la repa-

ración de genes incluso antes de nacer... “Me gustaría ver escrito que el cáncer se ha convertido en una enfermedad crónica tratable, algo que ya es cierto para varios tumores”, desea, consciente de que “aún queda mucho por hacer”.

Afirma no haber sufrido mucha discriminación, pero recuerda una anécdota significativa: al adquirir un equipo para su laboratorio un comercial la saludó con un “hola guapa, ¿dónde está tu jefe?”. Denuncia la “distribución de roles entre

niños y niñas, que hace que estas últimas desarrollen un sentimiento de inferioridad cuando se trata de disciplinas científicas”. Ni colores, ni juguetes distintos contribuyen a que hombres y mujeres reciban la misma información desde jóvenes, por lo que aboga por la “igualdad de oportunidades incluso en nuestros sueños de futuro cuando estamos creciendo”. A los jóvenes investigadores les anima a “que no tiren la toalla”. A ellas: “adelante, que se puede”. ▮

Elvira Moya de Guerra, física nuclear

“No he tenido otro ídolo en mi vida que Marie Curie”

No podemos hablar de física nuclear sin mencionar a una de nuestras científicas más internacionales. Elvira Moya de Guerra (Albacete, 1947) conoce las dificultades de ser la primera: primera catedrática española en Física Nuclear Teórica; primera mujer contratada en dicha disciplina por el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT); primera fémina en obtener la Medalla de la Real Sociedad Española de Física.

De joven hizo caso a su madre y eligió una carrera científica. “Química me parecía como de andar por casa. Matemáticas me resultaba árido. Escogí física nuclear, que era lo más en ciencia en ese momento”, cuenta. Así, estudió y se doctoró en Físicas por la Universidad de Zaragoza. Ahora, es profesora emérita de la Complutense, donde consiguió su segunda cátedra tras lograrla en Extremadura e investigar en el CSIC. Fue jurado del Premio Nacional de Investigación Blas Cabrera y la invitaron a proponer nominaciones al Nobel de Física. Desde 2021 es miembro honorario de la Real Sociedad Española de Física. La de Estados Unidos la reconoció en 2005.

Esta gran científica es artífice de teorías sobre la estructura de los núcleos atómicos, procesos electrodébiles, núcleos deformados, efectos relativistas o la doble desintegración beta, esencial para estudiar la masa de los neutrinos. “He tenido la satisfacción de ver mis teorías llevadas a laboratorios internacionales siguiendo las pautas de lo que predije que se podía encontrar”, explica. Sus 300 publicaciones y 4.000 citas avalan el trabajo de una de las mentes más privilegiadas de nuestro país.

Está felizmente jubilada al sol alicantino, pero su bibliografía no deja de crecer. “Recientemente trato temas relacionados con



PROYECTO ¿POR QUÉ TAN POCAS? UCM

la materia oscura y las estrellas de neutrones, cercanos a cuestiones en las que tengo experiencia en física nuclear. Hago mis pinitos”, admite. Ha visto zanjar preguntas fascinantes. Las que se resisten las nombra al dictado: “el tratamiento mecanocuántico relativista del sistema de muchos cuerpos fuertemente ligados”. No resuelto. “La interacción fuerte entre nucleones”. Tampoco. “Reacciones nucleares sin explorar, como la producción de núcleos exóticos”. Las detectarán, concluye.

Su generación ha vivido la evolución del cálculo, el paso de ordenadores de tarjetas perforadas a ordenadores cuánticos, un avance tecnológico enorme. “Eso sí, los desarrollos teóricos de base no han sido, en comparación, tan sustanciales”, apunta. ¿Qué se necesita para eso? “Una mente privilegiada. Para cambios revolucionarios, hacen falta mentes revolucionarias. Y eso no ocurre a diario”. Científicos revolucionarios “se cuentan con los dedos de una mano: Einstein, Schrödinger”... afirma. Pero la ciencia está llena de héroes modestos, como Felix Villar, con quien trabajó en el MIT. “Tenía inteligencia y bondad, lo máximo a lo que alguien puede aspirar, independientemente de sus éxitos”. Lo recuerda con admiración, como al hablar de Marie Curie. “No he tenido otro ídolo en mi vida” ▮



Elena García Armada, ingeniera robótica

“Los proyectos liderados por mujeres reciben menos financiación”

un niño que anda por primera vez; su sonrisa; las lágrimas de sus padres; hace que todo esfuerzo merezca la pena”.

Es ingeniera industrial, doctora en robótica, científica titular del Centro de Automática y Robótica CSIC-UPM y fundadora de la empresa Marsi-Bionics. A pesar del impacto de sus proyectos, “la financiación siempre ha sido difícil”, por lo que a su investigación suma esa faceta emprendedora tan escasa en ciencia.

Sobre las mujeres en la ciencia, dice haberse topado en Marsi-Bionics con la cruda realidad. “Proyectos liderados por mujeres reciben menos financiación”, asegura. Romper el techo de cristal “es complejo y cultural, un cambio social que verá sus frutos en próximos años”. Mientras, receta “constancia y fe en una misma”.

García Armada idea desde rodillas inteligentes hasta exoesqueletos completos del tronco al pie. Ya tiene la autorización de la Agencia Española del Medicamento y está en fase de producción y comercialización. Su laboratorio acumula siete patentes y la satisfacción de ayudar a miles de niños. Su próxima meta será un exo-

esqueleto de adultos. “Los exoesqueletos son el futuro”, afirma. “Y no solo en rehabilitación neuromuscular, sino en la asistencia técnica a la marcha en personas mayores o con debilidad muscular”.

Ha recibido numerosos premios, como formar parte de la Selección Española de la Ciencia (2015) y la Medalla de Oro de Madrid (2018). Además, es jurado del Princesa de Asturias de Investigación Científica y Técnica. ¿Cómo se elige un Princesa de Asturias? “Nunca es una elección fácil. La competencia es excepcional”, sostiene. Se valora “la contribución de grandes científicos al progreso y el bienestar social de manera extraordinaria y ejemplar”.

Para García Armada, Margarita Salas y Ada Lovelace (pionera de informática) son ejemplos de virtud junto a dos personas que dejaron el listón bien alto en sus referencias, su madre Pilar Armada (doctora en Físicas) y su padre José Luis García (catedrático de Electromagnetismo). “Mi mayor referente lo he tenido en mi propia familia. Mi madre y mi padre nos enseñaron la pasión por la ciencia. Han sido ejemplares”.

Si crecer en una familia de científicos ya es un estímulo para la mente, devolverle los pasos a un niño es un privilegio ganado a pulso. Elena García Armada (Madrid, 1971) se formó con ambos retos. Desde niña, contó con esa “mirada especial” que otorga la ciencia. De mayor, se especializó en la disciplina “más apasionante”, la robótica. Con ella, construyó un exoesqueleto para que los pequeños que sufren tetraplejia o atrofia muscular espinal caminen. La robótica es “estimulante” porque aúna competencia técnica, cálculo y creatividad, explica. “Hablamos de inventar, de dar vida a algo inerte” para vencer obstáculos. “Ver la cara de

Margarita Yela, física de la Atmósfera

“La aportación de las mujeres a la física es más importante de lo que la gente cree”

Desde niña le interesó la ciencia, la astronomía, la astrofísica o la meteorología. En la universidad, se decantó por físicas, una vocación que la ha llevado a la Antártida, donde vivió las experiencias más gratificantes y las más duras. Margarita Yela (Guadalajara, 1962), doctora en Física de la Atmósfera, es jefa del Área de Investigación e Instrumentación Atmosférica del Instituto Nacional



FOTO CEDIDA POR EL PARQUE DE LAS CIENCIAS DE GRANADA

de Técnica Aeroespacial (INTA). A su cargo, tres laboratorios, una estación atmosférica y una veintena de personas.

Yela es una mujer que investiga y hace posible que otros lo hagan. “En mi carrera he tenido una faceta eminentemente científica y otra de gestión de I+D”. Entre 2007 y 2008 presidió el Comité español del Año Polar Internacional. “Fue un año muy especial. Se iniciaron y financiaron muchos proyectos de investigación, en la Antártida y en el Ártico”.

Llevar 21 proyectos, entre ellos el suyo, a 13.000 kilómetros de España no fue fácil. A su favor, contaba con la experiencia de otras misiones. “La primera vez que fui a la Antártida fue en 1994. Fue la más dura de todas las campañas que he hecho, tanto en la Antártida como en el Ártico”. A bordo de un rompehielos argentino, en un viaje de más de 3 meses, se preparaba para trabajar a 68 grados sur cuando sucedió lo inesperado. “Nos quedamos encerrados en el Mar de Weddell, sin podernos mover. Fue angustioso. Por un momento pensamos que pasaríamos el invierno allí”.

Aunque estresante, en realidad fue el primero de sus éxitos. Yela supervisa estudios sobre aerosoles atmosféricos y es la

investigadora principal del proyecto VHODCA sobre variaciones de halógenos para conocer la recuperación de la capa de ozono en la Antártida. El desarrollo de la tecnología permitió identificar este problema de escala global. Hoy se detectan gases en concentraciones cada vez más pequeñas, “algo impensable hace 20 años”. Con toda una vida dedicada a la atmósfera, su sueño está claro. “Me encantaría ver que se recupera la capa de ozono, que deja de destruirse en la Antártida o en el Ártico durante la primavera y que decrece el CO_2 en la atmósfera”.

En investigación, a Yela le entristecen las carencias de la ciencia española, la financiación y la inestabilidad del personal. Por el contrario, se entusiasma al hablar de Susan Solomon (quien dio respuesta al origen del agujero de ozono junto al Nobel Mario Molina), de Margarita Salas o de Rosalind Franklin (descubridora de la estructura del ADN a la sombra de su jefe). “Cuando se estudia la historia de la física del siglo XX, no hay mujeres. ¿Dónde están las mujeres? Cuando investigas, ves que están ahí. La aportación de las mujeres es más importante de lo que la gente cree”.

Eva Miranda, matemática

“Se fomenta la figura del hombre en la ciencia, el hombre ganador”

Un matemático no es un hombre ensimismado en sus cálculos. También lo representa una mujer divertida como Eva Miranda (Reus, 1973), doctora en matemáticas y profesora ICREA Academia de la Universidad Politécnica de Cataluña. De las ciencias exactas le atrae su universo creativo, “vivir en tu mundo interior resolviendo problemas”. Pero ese concepto evoluciona. El matemático actual no está encerrado en un despacho frente a una pizarra repleta de fórmulas. “Las matemáticas salen del armario”, dice. Son “colaborativas”, porque varias mentes resuelven más que una.

Su investigación en topología se centra en la teoría de singularidades en mecánica celeste, colisiones entre dos puntos o trayectorias de satélites hacia el infinito que, con Daniel Peralta (ICMAT), tras-

lada a la dinámica de fluidos. También trabaja en modelos que relacionan mecánica clásica y cuántica. Su labor la cuentan 90 artículos científicos y 1.200 citas. Los trenes le dan suerte. Viajando recibe buenas noticias: el Premio Academia ICREA o la cátedra de la Fundación de Matemáticas de París. “Releí los correos, me puse a saltar...” y a mayor velocidad, mayor fortuna. Ave Madrid-Barcelona. Twitter se hace eco de una pregunta lanzada por el prodigio de las matemáticas Terence Tao: un paso intermedio al problema del milenio de Navier-Stokes (cómo el flujo regular de un fluido pasa a ser turbulento). “Podíamos resolverlo con geometría de contacto”. Miranda y sus colegas lo lograron concluyendo que la turbulencia era “indecible” pero distinta a la teoría del caos. “Ahora me gus-



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA / E.M.

taría ver cómo Tao resuelve lo de Navier-Stokes”.

Con menos alegría atestigüa un paso atrás en nuestras universidades. “Cuando estudié, el número de hombres y mujeres en matemáticas era igual. Ya no”. Según

Miranda, la incorporación de la mujer al trabajo, en favor de la igualdad, se vio truncada por la crisis de 2008, que las afectó especialmente. Ahora, su ausencia es notable en investigación matemática. “Socialmente, se fomenta la figura del hombre en la ciencia, el hombre ganador”. La cuestión se agudiza al no acordarse de ellas para premios o congresos. “Cada vez que las propongo, los hombres las cuestionan”. En Europa, donde apenas hay matemáticas, frenan esta “discrimi-

nación inconsciente” reservándoles plazas, algo “impensable” aquí. Pero “cuántas obtienen una Ramón y Cajal”, pregunta. Según el Ministerio de Universidades, hay 200 plazas para 2.000 científicos, un embudo que en el último paso de estabilización de la mujer la deja fuera antes (se presenta un 40 %) y después (sólo se les concede el 36 %).

El problema se retroalimenta sin figuras femeninas que fomenten la investigación en mujeres, que no se ven

representadas en ponencias, reconocimientos o puestos. Mostramos a las niñas referentes del pasado como Sophie Germain (que se hacía pasar por un hombre). Seguro que preferirían “ser como Poincaré, un genio respetado”, ironiza Miranda en su lucha por visibilizar modelos actuales como María Blasco o “cualquier doctoranda de matemáticas”. Para ella, “la ciencia es el futuro” y “la diversidad” aporta soluciones desde múltiples ángulos. ▀

SELENA GIMÉNEZ / CENTRO NACIONAL DE BIOTECNOLOGÍA (CNB)



Selena Giménez, ingeniera agrónoma

“Para muchas mujeres, tener hijos supone dejar la ciencia”

La de Selena Giménez (Valencia, 1980) es una carrera de obstáculos que no han podido con ella. Es ingeniera agrónoma, doctora especializada en Biotecnología y Mejora Genética de plantas e investigadora del Centro Nacional de Biotecnología (CNB). La tesina en Países Bajos y la tesis en el Sainsbury Laboratory de Norwich (Gran Bretaña), su perfil es

un claro ejemplo de la fuga de cerebros de la ciencia española.

También es una de esas rarezas que consiguen volver y sobreviven a esta decisión. A una beca europea FEBS en el CNB, le siguió una Juan de la Cierva, una International Fellow in Life Science UNESCO-LÓREAL con la que regresó a Reino Unido, un Proyecto de Jóvenes

Investigadores de vuelta a España y por fin la ansiada Ramón y Cajal que la afianzó en nuestro país. “En algunos momentos pensaba que no iba a llegar, no por mis capacidades, sino por la poca financiación y pocas plazas de la última década. He visto cómo gente muy válida dejaba la ciencia”, señala Giménez recordando un duro camino que remata con 31 artículos científicos.

Siempre quiso hacer genética, motivada por una enfermedad genética degenerativa en la familia, cuya tradición agrícola determinó su senda. “Me decidí por la genética de la agricultura, por la biotecnología, la mejora vegetal y las enfermedades de los cultivos”, explica. Giménez desarrolla plantas modificadas genéticamente, resistentes a patógenos y plagas.

Para ella, irse al extranjero fue revelador. “El Programa Erasmus me abrió los ojos. Me di cuenta de que la ciencia de fuera era de primer nivel”, dice. Esa experiencia y la dificultad para adquirir una beca de doctorado la llevaron a marcharse. Según el Ministerio de Universidades, de 86.620 estudiantes de doctorado en España, solo 9.820 tienen una beca FPI/FPU o contrato predoctoral. El resto, 76.800, no obtienen remuneración por este trabajo.

Lo más angustioso, relata, es “la inestabilidad, mantenerse durante la crisis

o tener hijos”, un momento delicado que provoca un impacto negativo en nuestras científicas. “Si tienes hijos no produces al mismo nivel y la ciencia no para. Para muchas mujeres, tener hijos supone dejar la ciencia, por la poca financiación y la competencia. Si bajan tus resultados nadie

te pregunta si es porque has tenido un hijo”, afirma.

Giménez admira a David Baulcombe, pionero del silenciamiento génico. Como científica, se fija en Rosalind Franklin, “una mujer espectacular” a la que arrebataron el mérito del descubrimiento de la doble

cadena de ADN. A su vez, Selena Giménez es la heroína de un grupo de niñas valencianas, las ganadoras de un concurso de cómics inspirado en su vida. Para estas jóvenes, Giménez es una Marie Curie cercana, un referente alcanzable si algún día deciden dedicarse a la ciencia. ►

María Vallet, química

“Montar de nuevo mi equipo fue el periodo más duro de mi carrera científica”

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID.



dolencia, como las nanopartículas mesoporosas de sílice, con las que se han elaborado hasta 50 fármacos. “Ahora muchísimos grupos en el mundo trabajan en esto. Es una enorme satisfacción”.

El de Vallet es uno de los grandes nombres de la ciencia contemporánea y una de las pocas investigadoras reconocidas en nuestro país. En las 63 ediciones de la Medalla de Oro de la Real Sociedad Española de Química, solo tres han obtenido este galardón. Entre ella (en 2011) y su antecesora (Concepción Sánchez Pedreño, en 1978), se cuentan 33 años. De mantenerse este ritmo, aún tendremos que esperar a 2044 para conocer a la siguiente. Premio

Nacional de Investigación Leonardo Torres Quevedo y Premio Rey Jaime I de Investigación, Vallet es miembro de la Real Academia de Ingeniería de España y de la de Farmacia, instituciones que cuentan con cuatro académicas (de 77) y nueve (de 40) respectivamente.

La desigualdad no entra en el equipo científico de Vallet. De 20 personas, una

docena de mujeres contribuyen a una línea de investigación que cuenta con 800 publicaciones, 50.000 citas y 12 patentes. Dos millones y medio de euros de la Comunidad Europea la apoyan desde hace cuatro años. “Con ellos he contratado a mucha gente. Hemos obtenido avances importantes para combatir los problemas de los huesos, como el cáncer, la infección y la osteoporosis”, comenta Vallet.

Lo más gratificante de su profesión es “dar respuesta a un objetivo fijado”. Lo peor, “cuando las cosas no salen, o la financiación no llega”. También recuerda con pesar su paso de químicas a farmacia. “Dejé un grupo formado y pasé a un departamento en el que no se investigaba y no tenía personal para hacerlo. Fueron años difíciles hasta que monté un nuevo equipo. Posiblemente, sea el periodo más duro de mi carrera científica”. Siempre concentrada en su investigación, Vallet asegura no ser consciente de obstáculos en su camino como mujer de ciencia. “Si los hubo, no consiguieron su objetivo porque llegué a catedrática y a investigadora reconocida”.

Su referente es la Nobel Rita Levi-Montalcini, “una mujer extraordinaria, un ejemplo a seguir”, destaca. A las investigadoras jóvenes que se enfrentan a nuevos retos, Vallet las anima a “pelear por ellos”. A las que quieran alcanzar metas más altas, las alienta a que no paren. “No hay que frenarse uno mismo. Ya te frenarán los otros”, dice con una sonrisa. ©

Si el término nanomedicina nos resulta familiar, se lo debemos en gran parte a María Vallet-Regí (Las Palmas, 1946), catedrática de Química Inorgánica de la Universidad Complutense de Madrid y pionera en introducir medicamentos en partículas diminutas que hace llegar a tejidos enfermos. Es precursora en el descubrimiento de los materiales más adecuados para cada



Molécula de ARN.

La hipótesis del 'Mundo ARN' sitúa el origen de los seres vivos en esta molécula, anterior al ADN

...Y la química se hizo vida

La astrobiología es una ciencia nueva que hace las preguntas de siempre, pero aplicando el método científico desde el umbral de lo incognoscible: ¿cómo empezó la vida? ¿estamos solos? ¿de dónde venimos? A nivel molecular, la pregunta de cómo la materia inanimada, determinada por las leyes de la termodinámica y la cinética química, en algún momento hace miles de millones de años, se acabó convirtiendo en vida sigue sin tener una respuesta definitiva, pero es probable que gire en torno a una molécula que en la primera pandemia del siglo XXI ha cobrado una importancia fundamental: el ARN. En esta primera etapa de la vida, llamada *mundo ARN*, la ciencia también sitúa el origen de los primeros virus.

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

El ornitorrinco es un animal extraño. Su hocico tiene forma de pico de pato, la cola recuerda al castor y las patas a la nutria, como si la evolución no hubiera podido decidir qué hacer con él. Lo más inusual del ornitorrinco

no es, sin embargo, su aspecto indeciso, sino que es una de las cinco especies que perviven —junto a los equidnas, parecidos a los erizos— del orden de los monotremas: los mamíferos ponedores de huevos. Cuando llega su hora, las crías

de monotremas rompen las delicadas cáscaras que los protegen y se enganchan con urgencia a las mamas de sus madres. Sorben la leche preciada. El ornitorrinco puede ser hoy una rareza, pero es el descendiente de un mundo en el que los mamíferos eran ovíparos y compartían la Tierra con los dinosaurios, hace unos 160 millones de años. Su camino era poner huevos. Entonces, como tantas otras veces en la historia de la vida, hubo un encuentro decisivo.

Un encuentro con un organismo a la vez sencillo y extraño que la ciencia no sabe si situar en la vida o en la muerte: un virus, concretamente de la familia de los retrovirus —aquellos cuyo material genético está escrito en el lenguaje del ARN—. Estudios actuales en primates, roedores, conejos y ovejas muestran evidencias de que la placenta de los mamíferos se debió a cambios genómicos producidos por antiquísimas infecciones de retrovirus en aquellos primeros mamíferos ovíparos. De forma simple, los virus afectaron a las proteínas que creaban las

membranas del huevo que, con el tiempo, devinieron en placentas. Comenzó el desarrollo intrauterino: los mamíferos empezaron a crecer dentro de sus madres en lugar de fuera, lo que permitió gestaciones mucho más largas, mayor protección de las crías y, en el caso de los primates (especialmente los humanos), un crecimiento desmesurado del cerebro durante la fase de embrión y feto. Al tratarse de infecciones positivas, la evolución seleccionó estos retrovirus que desde entonces han mantenido sus genes embebidos en el ADN del huésped, vestigios de un mundo hace mucho desaparecido.

“La infección de un virus ha hecho que estemos aquí”. La voz de Carlos Briones suena entusiasta por teléfono en el principio de este segundo verano pandémico, lo que es del todo normal. Hasta un interlocutor despistado notaría el entusiasmo que este químico derrocha cuando habla sobre ciencia, incluso durante una pandemia que aún no ha terminado. Carlos Briones coordina el grupo de Evolución Molecular, Mundo ARN y Biosensores en el Centro de Astrobiología (CSIC-INTA). En el mes de septiembre publicó el libro “*¿Estamos solos? En busca de otras vidas en el cosmos*” que tenía que haber salido unos meses antes, en mayo. “Seguro que te resulta familiar el hecho de que el año pasado no saliera casi nada de lo previsto”, dice.

Con una fecha envuelta aún entre tinieblas, hace más o menos año y medio, un virus volvió a cruzarse en el camino del hombre, en este caso, con consecuencias terribles para unas sociedades que se replegaron en sus casas. Pero estos encuentros, como muestra el caso de la placenta en mamíferos, han sido una constante desde los inicios de los primeros organismos. “Nuestro propio genoma humano está lleno de vestigios de antiguas infecciones de virus: cuando se ha visto la secuencia del genoma humano se ha comprobado que más de la mitad tiene

que ver con secuencias de virus integradas del pasado, secuencias relacionadas con virus de alguna forma”, explica Briones.

Estas secuencias que compartimos virus y humanos nos hablan de una historia: nuestra especie, como todas las actuales, está aquí después de 3.500 millones de años de evolución en un proceso constante de entrada y salida de virus que ha resultado fundamental para la vida en nuestro planeta. Virus, humanos y el resto de especies, compartimos una historia luminosa y en ocasiones sombría que comenzó en un punto. Un punto de partida difuso que quizás nunca llegue a resolverse del todo. El momento en el que la materia inanimada desafió las leyes de la química y se convirtió en vida. El inicio de la vida molecular.

El mundo ARN

Viajemos 4.000 millones de años atrás. La Tierra es un enorme laboratorio de química. Su atmósfera primitiva está azotada por los rayos y es rica en gases como metano, sulfuro de hidrógeno o amoníaco supercalientes. Gran parte del agua de sus océanos se ha evaporado por las altas temperaturas, lo que impide el paso de

la luz solar. En este infierno, compuestos inorgánicos sencillos basados en los seis elementos cruciales para la vida en la Tierra —carbono, nitrógeno, hidrógeno, oxígeno, azufre y fósforo— empiezan a formar las primeras moléculas orgánicas precursoras de vida, como aminoácidos o azúcares. Es la llamada sopa o caldo prebiótico, que más tarde se recrearía en el laboratorio. Concretamente, en el premio Nobel Harold Urey en la Universidad de Chicago, en 1953. Se ha narrado muchas veces cómo uno de sus estudiantes, Stanley Miller, consiguió convencerle para que recrearan las hipotéticas condiciones de esa Tierra primitiva y comprobar si podrían haber conducido a la formación de moléculas orgánicas.

Miller diseñó un dispositivo de vidrio en el que introdujo agua esterilizada, que recreaba los océanos, por el que circulaba una mezcla de gases —metano, amoníaco e hidrógeno— que reproducían la composición que se pensaba tenía entonces esa atmósfera infantil. Durante una semana, Miller y Urey bombardearon su mezcla con descargas eléctricas para simular los rayos. Dos semanas después descubrieron que en el fondo del matraz



Los virus aparecieron en el Mundo ARN y son fundamentales para la vida en nuestro planeta. En la imagen, un grupo de virus de la gripe vistos con microscopio electrónico.

DEPOSITPHOTOS



Carlos Briones durante una expedición científica al glaciar San Rafael, en la Patagonia chilena.

se habían formado dos aminoácidos, alanina y glicina, y algunos azúcares. La conclusión era clara: los bloques orgánicos, precursores de las moléculas que darían lugar a la vida, podían generarse espontáneamente.



Portada del libro de Briones publicado en 2020.

Entre este punto y la aparición de vida hay, sin embargo, un gran vacío. La ciencia define que para que exista la vida se necesita ADN, el material que contiene los genes y que es capaz de sacar copias de sí mismo; proteínas, encargadas de ejecutar las reacciones químicas; y una membrana que separe este sistema del medio. ¿Cómo se llega ahí a partir de la sopa química?

En el centro de esta pregunta sobre el nublado origen de la vida molecular descansa una paradoja, versión última del dilema del huevo y la gallina: sin ADN no puede haber proteínas, y sin proteínas no se puede construir el ADN. ¿Quién vino entonces antes? Mientras que el ADN, el material genético, contiene las instrucciones para fabricar proteínas en los organismos, estas despliegan en ellos todo un repertorio de funciones: tensan las fibras musculares, como el colágeno; transportan oxígeno, como la hemoglobina; y, sobre todo, impulsan las reacciones químicas esen-

ciales para mantener la vida (son catalizadores o enzimas).

En la década de los 60, tres científicos, Leslie Orgel —químico británico—, Carl R. Woese —microbiólogo estadounidense— y Francis Crick —físico británico— propusieron en tres artículos independientes la idea de que en una etapa temprana de la vida podrían haber existido una molécula anterior al ADN y a las proteínas, y capaz de hacer las funciones de ambas: la molécula de ácido ribonucleico, o ARN. Es parecida al ácido desoxirribonucleico (ADN), pero en una versión más sencilla y versátil.

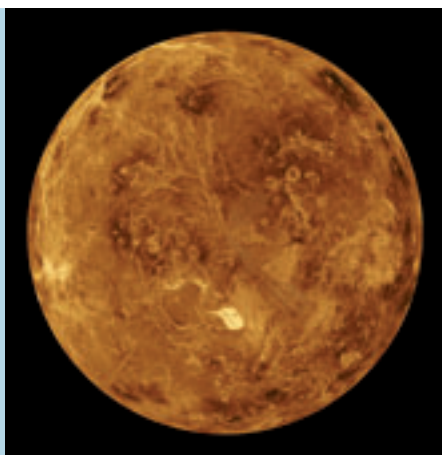
En teoría, el mundo ARN estaría poblado por primitivas moléculas de ARN autorreplicantes, capaces de transportar información genética y de mantenerse y de copiarse a sí mismas. El ARN habría sido así la precaria base molecular sobre la que se habría levantado la maquinaria de la vida: con el lento paso del tiempo, la evolución desarrolló estructuras celulares más complejas: el almacenamiento de información se especializó en el ADN, un archivo de información más estable, y las proteínas comenzaron a encargarse de catalizar las reacciones.

A pesar del atractivo de la idea, la realidad es que esta hipótesis del mundo ARN no tuvo demasiado éxito al principio. En aquel momento no existía ninguna evidencia experimental de que pudiera catalizar reacciones químicas; al contrario, se tenía información muy detallada de cómo las proteínas, las enzimas, se encargaban de este trabajo. Hubo que esperar veinte años a que los bioquímicos Thomas Cech, estadounidense, y Sidney Altman, canadiense, demostraran experimentalmente, en la década de los 80, que las moléculas de ARN sí podían catalizar, al menos, cierto tipo de reacciones químicas.

“Los laboratorios de Cech y Altman estaban trabajando en reacciones con

Vivir en las nubes

El pasado año se anunció el hallazgo de un gas que se considera indicio de vida, la fosfina, en las capas altas de la atmósfera de Venus. El descubrimiento, fruto de dos investigaciones publicadas en *Nature Astronomy* y en *Astrobiology*, despertó un enorme interés, pero pronto surgieron voces que matizaron sus conclusiones hasta dejarlas en meras conjeturas. En cualquier caso, el pasado mes de junio la NASA anunció dos nuevas misiones de exploración a Venus que se lanzarán entre 2028 y 2030: DAVINCI+ y VERITAS. Será la primera vez en 30 años que la agencia espacial visitará el planeta desde que en 1989 envió la sonda Magallanes para estudiar su geología, sin mucho éxito. El objetivo de las misiones es ambicioso: buscar esos posibles indicios de vida en el vecino planetario más cercano a la Tierra. Las misiones forman parte del programa Discovery de la NASA y pretenden comprender como Venus se convirtió en un mundo infernal cuando sus características podrían haber sido muy similares a las de la Tierra, con océanos y un clima parecido. Su gemelo planetario. ¿Podría haber sido Venus un mundo habitable?



NASA

“Estas dos misiones hermanas tienen como objetivo descubrir por qué Venus se convirtió en un planeta infernal y ofrecer a la comunidad la oportunidad de investigar un planeta en el que no hemos estado en tres décadas”, explicó el máximo responsable de la NASA, Bill Nelson. Mientras que DAVINCI+ investigará en profundidad la atmósfera del planeta, Veritas se centrará en su topografía, cartografiando su superficie con un

radar que orbitará a su alrededor para determinar su historia geológica y entender por qué se desarrolló de forma tan diferente a la Tierra.

Las primeras visitas a Venus mostraron la imagen de un planeta ardiente y sin agua, con una espesa atmósfera de dióxido de carbono (CO_2) que mantiene su superficie a una temperatura superior a los 400 grados; tan alta, que el plomo se fundiría. Sin embargo, a unos 50 kilómetros sobre su superficie, la temperatura disminuye a unos 20 grados y la presión es muy similar a la de la Tierra. Carl Sagan, astrónomo y divulgador, fue uno de los primeros en proponer que quizás estas nubes altas podrían albergar vida.

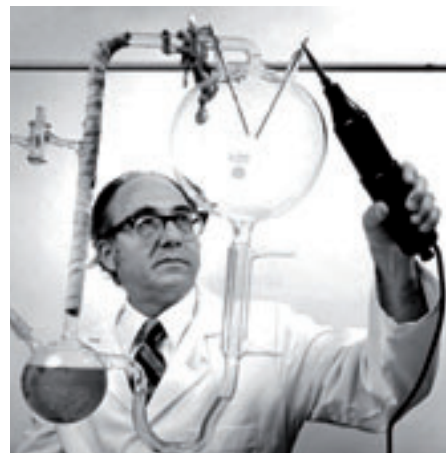
ribonucleoproteínas, que son agregados de ARN y proteínas. Se asumía que la parte catalítica la iban a hacer las proteínas, como siempre, pero estos dos investigadores descubrieron que, si les quitabas la parte proteica, seguían funcionando y eran capaces de catalizar sus propias reacciones. Habían encontrado el primer ARN catalítico, la primera ribozima”, explica Briones. Pocos años después, en 1989, Cech y Altman compartieron el premio Nobel de química por estos trabajos y la hipótesis del mundo ARN se convirtió la teoría más asentada sobre el origen de la vida.

“Desde entonces trabajamos sobre este modelo viendo qué capacidades catalíticas puede tener el ARN, cómo se puede plegar para reconocer a otras moléculas (es lo que llamamos un aptáme-

ro), cómo puede evolucionar in vitro...”, explica Briones. Por sus venas circula desde hace pocas semanas la vacuna contra la covid-19 basada precisamente en esta molécula, que ha sido el centro de su vida profesional desde que hizo la tesis estudiando un tipo de arquea, la *Haloferax mediterranei*, bajo el calor de las salinas de Santa Pola. Que haya recibido esta vacuna frente a otras tiene una suerte de justicia poética.

“Lo que sería la guinda, digamos, sería un ARN capaz de copiarse a sí mismo o, mejor dicho, copiar una molécula igual a él (topológicamente es imposible que tú te copies a ti mismo, sería como las manos de Escher). Imagínate que tienes dos cadenas iguales de ARN, una de ellas es el catalizador y otra es el molde: de una copia del molde el catalizador

hace dos copias de producto. Eso sería un ARN autocatalítico. Hay dos o tres laboratorios que se están acercando. El récord, digamos, está en una polimerasa capaz de copiar más o menos la mitad de su longitud, que no está nada mal, es



Stanley Miller y su experimento.



De izquierda a derecha: Leslie Orgel, Carl R. Woese y Francis Crick.

casi un ARN polimerasa. Ese es un trabajo *in vitro*, pero cuando se llegue a poder realmente tener un ARN capaz de copiarse a sí mismo, lo tendrías todo”. El primer latido de la vida, el linaje celular ancestral del que procederían todos los seres vivos y que bajo la ley de la evolución habría desembocado en LUCA, el llamado “último antepasado común universal”.

“Claro, no sabemos si fue así, pero sería una posibilidad: una membrana que encerrara una molécula capaz de copiarse a sí misma, con lo cual tendrías lo que llamamos genotipo y fenotipo en una misma molécula. El primero que encuentre una ARN polimerasa autocatalítica será un Nature seguro y tendrá un gran reconocimiento. Y antes o después se va a conseguir”, asegura.

De vuelta

En este primigenio mundo habitado por moléculas ARN capaces de reproducirse es probable que surgieran los primeros virus, que serían entonces tan antiguos como la propia vida, pero ¿cuál es su papel en ella? ¿Por qué surgieron entidades tan extrañas, sin una maquinaria para reproducirse salvo cuando infectan a otra entidad, en una estrategia propia de un caballo de Troya?

Para responder a esta pregunta la ciencia ha propuesto una respuesta que

tiene algo de inevitable. La ecología ha demostrado que cuando una red interacciona y es suficientemente compleja (que haya muchos nodos en la red) “acaban apareciendo parásitos, soluciones parciales, alternativas, que desvían recursos de la red para la propia replicación. Este es un resultado que incluso en física teórica hemos visto que ocurre. En el caso de la biología, en todos los lugares del planeta donde se han buscado virus se han encontrado. Se estima que puede haber diez veces más virus que células en el planeta. También sabemos que los virus son unos mediadores de información genética, de intercambio de información genética entre ramas del árbol, fabulosos”, explica Briónes. Probablemente, el famoso árbol de la vida sea en realidad un arbusto de la

vida, con muchas ramas entrelazadas intercambiándose información de un sentido a otro, en lo que se ha venido a llamar transferencia horizontal de genes, para diferenciarla de la transferencia vertical, la línea genealógica.

Los virus probablemente se originaron a la vez que las primeras entidades con genomas de ARN, como fragmentos también de ARN que se independizan un poco, y empiezan a moverse de una célula a otra, parasitando la maquinaria celular para su propia replicación. Desde entonces esta es una estrategia que la propia evolución ha ido fomentando, es decir: los virus se convierten en una forma de que las propias células, de vez en cuando, adquieran mucho mayor variabilidad, porque pueden integrar información que



Thomas Robert Cech y Sidney Altman.





La vida se abre camino en los escenarios más extremos, como en las fuentes termales de Yellowstone (izquierda) y las ácidas aguas del Río Tinto.

viene de otros sitios. En lugar de una mutación puntual que va a producir cambios pequeños, como las que se producen durante la replicación, lo que un virus permite es que se integre dentro del genoma un fragmento entero que puede venir de un origen muy distante y, por tanto, produce una variabilidad muy grande. Y se ha visto que esto ocurre en distintos linajes evolutivos, en distintas ramas del árbol. En todas las ramas del árbol.

Los virus son así agentes de la evolución. A pesar de los tiempos extraños que vivimos, la mayor parte de ellos no hacen nada a las especies que infectan porque si no entran en el sitio adecuado o no infectan con la suficiente, digamos, intensidad, no son seleccionados evolutivamente, se pierden. Otros hacen cambios que son beneficiosos y existen ejemplos en nuestra especie como el de la placenta. “No todos los virus son malos ni mucho menos; son una minoría, pero claro, cuando la arman la arman bien, y ahora lo estamos viendo. Nos sabemos los malos, la viruela, el sarampión, la gripe, la covid, el sida, el ébola, la hepatitis

C... nos sabemos los malos, pero los otros miles buenos o neutros no”, explica el investigador.

La vida es tozuda. Es tan tozuda que se ha encontrado en los lugares más insospechados y extremos de la Tierra: en las aguas termales del parque nacional de Yellowstone, calientes hasta casi la ebullición y llenas de azufre; bajo el hielo de la Antártida; en salinas, donde soportan altísimas concentraciones de sal; en ambientes tan ácidos como el río Tinto, donde toleran un pH cercano a cero... Esta tozudez hace preguntarse a los científicos si la vida es posible, o habría sido posible, en otro planeta.

Las preguntas sobre su origen a nivel molecular en la Tierra apuntan también a determinar si también es posible, o habría sido posible, en otro planeta. Cuando ha habido grandes crisis de biodiversidad, como en las extinciones masivas, se ha podido muestrear por fósiles que buena parte de los organismos pluricelulares, más sofisticados y complejos, han desaparecido, pero estos solo representan el 15 % de la vida. “De los microbios, los pobres, nadie habla

nunca en las extinciones, pero la vida no desaparece ni mucho menos. La vida es tan tozuda que se viene arriba, se sobrepone incluso a la caída del Chicxulub, el meteorito que acabó con la presencia de los dinosaurios en el planeta hace 66 millones de años, que sumió toda la Tierra en la oscuridad. Pero la vida continúa”, reflexiona Briones. “Por ejemplo, si hubo vida en Marte en el pasado, porque las condiciones eran habitables, por mucho que hayan cambiado esas condiciones, ¿se habrá extinguido toda la vida de Marte? ¿O una vez que hay vida en un planeta es imposible acabar con ella y se abre camino y se busca la vida, nunca mejor dicho, bajando al subsuelo? ¿O, en el caso de Venus, subiendo a las nubes? Quizás sea imposible acabar con la vida en un planeta una vez formada. A lo mejor puedes acabar con buena parte de las formas de vida, pero esa capacidad de reproducirse y evolucionar es tan tozuda, tan resistente, tan potente el mecanismo evolutivo que igual la vida se convierte en una estrategia ganadora, en conjunto, esté donde esté”. ©



Transporte de un generador de vapor fabricado por la empresa española Equipos Nucleares (ENSA).

La cadena de suministro en centrales nucleares

Los procesos de la cadena de suministros de las centrales nucleares tienen una gran transcendencia para la seguridad. Se debe asegurar que los elementos y componentes que se instalen en la planta cumplen con los requisitos para los que han sido diseñados. Además, la cadena de suministro nuclear ha sido impactada por diversos sucesos, lo que ha llevado a los propietarios a tomar medidas para reducir su

número y sus efectos. Las cuestiones más relevantes que han surgido en el ámbito de adquisición de equipos son el uso de componentes falsificados y fraudulentos, la obsolescencia, la utilización creciente de equipos digitales y el empleo de equipos de uso comercial para funciones de seguridad nuclear y protección radiológica.

■ Texto: **Santiago Arenzana Romeo** | Técnico del CSN ■

La garantía de calidad de las centrales debe garantizar que los equipos relacionados con la seguridad realizan sus funciones para mitigar los accidentes base de diseño. El panorama global de la industria nuclear difiere de unos estados a otros y, además, los requisitos de los componentes se generan en distintos niveles, lo que se denomina cascada de requerimientos. Podemos encontrar requerimientos en leyes, decretos y órdenes gubernamentales; regulaciones, licencias y autorizaciones de los cuerpos reguladores; y normas originadas por la industria.

La gestión de la cadena de suministro consiste en la planificación y gestión de las actividades relacionadas con la adquisición, tratamiento y logística de equipos. También comprende la coordinación y colaboración con los suministradores, intermediarios, proveedores de servicios de terceros y clientes.

Un fallo que impida el cumplimiento con los requerimientos puede ocasionar que un equipo relacionado con la seguridad falle o que no funcione durante el accidente base de diseño. Aunque la responsabilidad de la seguridad nuclear es de los propietarios de las

plantas nucleares, el regulador tiene el cometido de verificar que se logran los requisitos y se aplica el proverbio “trust but verify” (confía, pero verifica). Es decir, se presume que se realizan las actividades adecuadas para el cumplimiento de los requisitos, pero el regulador debe comprobar que los requerimientos se cumplen. En caso de que no existiera confianza en el regulador en el control de configuración de la planta podría ocurrir que se produjera una sanción o se tuvieran que sustituir gran cantidad de componentes relacionados con la seguridad.

Al mismo tiempo, la adquisición de equipos por las centrales nucleares es un proceso cada vez más delicado debido a las siguientes circunstancias:

- La dificultad para encontrar nuevos suministradores. En la actualidad no se construyen tantas centrales como anteriormente y antiguos proveedores abandonan el mercado nuclear.
- La presencia de nuevos suministradores. Esto exige un mayor esfuerzo para el cumplimiento de los requisitos de calidad. A su vez, se incrementa la posibilidad de cometer errores.
- La aparición de nueva normativa para los elementos relacionados con la seguridad.
- La llegada de nuevas tecnologías para centrales nucleares.
- Diferencias entre países. El proceso de licenciamiento, la normativa y los requerimientos varían entre los diferentes estados.
- Grandes dificultades para que los operadores nucleares encuentren componentes que cumplen con los requisitos originales de calidad y de diseño.
- A consecuencia de la globalización, los suministradores tienden a incrementar el número de sub-suministradores, lo que conlleva un seguimiento de los componentes y unas auditorías más difíciles.
- Exigencia de un mayor detalle para las actividades de abastecimiento de equipos relacionadas con el mantenimiento.
- Necesidad de controlar el inventario con el objetivo de que este no aumente demasiado conforme las centrales nucleares envejecen.

Como consecuencia de la complejidad para suministrar equipos, se necesita un control de la configuración y del diseño. Para ello, se han desarrollado las siguientes funciones relacionadas con la cadena de suministro:

- Auditorías de garantía de calidad de proveedores.
- Inspecciones en fábrica de suministradores.
- Inspecciones de recepción de equipos.
- Procesos de dedicación de equipos de grado comercial.
- Formación de grupos funcionales de ingeniería de aprovisionamiento.

Igualmente, la cadena de suministro en las instalaciones nucleares comprende los siguientes niveles:

- Nivel 1. Suministrador de la tecnología.
- Nivel 2. Integradores de sistemas.
- Nivel 3. Fabricantes de equipos.
- Nivel 4. Suministradores de sub-componentes y distribuidores.
- Nivel 5. Fabricantes y procesos.
- Nivel 6. Suministradores de materias primas y minería.

Además, el proceso de adquisición de equipos incluye todas las fases del ciclo de vida de una instalación nuclear (diseño inicial, construcción y puesta en marcha, operación y desmantelamiento). Por otra parte, las estructuras organizativas de los titulares son diferentes y afectan a las actividades de provisión de equipos.

Otro aspecto importante de la cadena de suministro es el cliente inteligente, definido como la capacidad de esa organización de entender claramente el producto o servicio suministrado. Este concepto fue introducido por el regulador del Reino Unido, la ONR (Office for Nuclear Regulation), y el OIEA ha tratado el asunto en sus publicaciones e incluye los siguientes aspectos:

- Conocimiento completo de la necesidad del producto adquirido o servicio externo contratado, así como entendimiento de lo que se requiere a ese producto o servicio.

- Comprensión de las especificaciones técnicas, el alcance, la normativa y los requerimientos.
- Conocimiento de los plazos de entrega aproximado de los suministros.
- Conocimiento de las características de la instalación y del emplazamiento.
- Capacidad para supervisar el trabajo, de acuerdo con los procedimientos del suministrador y con su sistema de gestión, y realizar inspecciones técnicas.
- Ser capaz de evaluar y aprobar el trabajo realizado por los suministradores.
- Entender los resultados obtenidos por los proveedores.
- Capacidad para asegurar una interacción regular con los suministradores.

Los procesos de adquisición de equipos se pueden separar entre relacionados y no relacionados con la seguridad. Se aplica un enfoque gradual para clasificar los equipos de la planta; es decir, los componentes pueden ser o bien de clase de seguridad 1, 2 o 3; o bien no relacionados con la seguridad. El sistema de calidad exigido a los equipos, sistemas y componentes relacionados con la seguridad es el indicado en la norma UNE 73401 Garantía de calidad en instalaciones nucleares. Según esta norma el propietario es el responsable de la implementación del sistema de garantía de calidad. Los apartados relacionados con la cadena de suministro son: control del diseño; control de documentos de compra; instrucciones, procedimientos y representaciones gráficas; control de documentos; control de equipos y servicios adquiridos; identificación y control de elementos; control de desviaciones; acciones correctoras; registros de garantía de calidad; y auditorías.

Los equipos relacionados con la seguridad son diseñados, fabricados, inspeccionados, instalados y probados de



Etapas de la cadena de suministro nuclear.

acuerdo con un programa de garantía de calidad. El nivel de detalle de las especificaciones y de la documentación de diseño varía en función de la clasificación de seguridad. Así mismo, tanto las inspecciones de fabricación y las auditorías a proveedores como las de la documentación y de los registros de calidad se ven afectados por la clase de seguridad del componente. Por otra parte, las centrales nucleares disponen de listas de calidad (Q-list) que muestran equipos relacionados con la seguridad de la instalación. De esta forma se pueden conocer los controles de calidad de cada componente y se facilita el proceso de adquisición de equipos. Igualmente, conviene subrayar que los equipos relacionados con la seguridad contienen tanto componentes relacionados con la seguridad como componentes no relacionados con la seguridad. Además, los elementos que estén destinados a usarse en varias posiciones de la instalación estarán sujetos a requerimientos más restrictivos.

Etapas de la cadena de suministro nuclear

1. Identificación del equipo que se necesita adquirir. Las solicitudes de elementos pueden venir de diferentes fuentes como cambios de diseño, repuestos de mantenimiento, componentes estratégicos o abastecimiento de almacén. En el caso de que el equipo que se desea obtener sea

costoso es posible que se necesite aprobación financiera por parte de la organización. Las centrales nucleares suelen elaborar un plan de adquisición de equipos que sirve para que los suministradores estén preparados con antelación y puedan planificar sus actividades.

2. Establecimiento de requisitos técnicos, de calidad y comerciales. Los requisitos técnicos se determinan para trasladar al suministrador los parámetros del equipo que son importantes. Estos requisitos incluyen una completa identificación del elemento o servicio a suministrar; la clasificación de seguridad del equipo; las normas aplicables; y otras características técnicas no necesarias para la seguridad, pero necesarias para el correcto diseño y funcionamiento del equipo. La propagación de los requisitos a los diferentes elementos de cada equipo requiere un esfuerzo de ingeniería sustancial. En la práctica se suelen utilizar listas de chequeo para que no se omita ningún requisito importante. La extensión de los requisitos depende de la complejidad del equipo y de su clasificación de seguridad. Además, se recomienda que los requisitos sean suficientemente amplios, para que los suministradores puedan ofrecer equipos y componentes que los cumplan; y claros, para que los proveedores los puedan entender.

Los requisitos de calidad son programas y actividades necesarias para asegurar que las propiedades de un elemento se cumplen. En equipos relacionados con la seguridad estos requisitos son coherentes con la norma UNE 73401. Algunos ejemplos son requerimientos del sistema de gestión; documentación, procedimientos y planos; almacenamiento y transporte; inspecciones y pruebas; cualificación del personal; y declaración de no conformidades.

Por último, los requisitos comerciales más comunes son el precio, las condiciones de financiación y modos de pago, el plazo de suministro, los incentivos y penalizaciones, y los seguros y garantías.

Junto con los requerimientos es preciso que el departamento de ingeniería establezca los criterios de aceptación para asegurar que estos se cumplen. Por otro lado, es conveniente que los requisitos de puedan verificar de forma objetiva. Así mismo, se acostumbra a establecer al menos un criterio de aceptación para cada función de seguridad del equipo. Es importante aclarar que las características críticas de un elemento son un subconjunto de las características del diseño, así como de las propiedades del elemento.

3. Cualificación de los suministradores. El proveedor debe superar unas auditorías o unas pruebas de cualificación del producto antes de la adjudicación del contrato. En el caso de que se identifiquen desviaciones o no conformidades se realiza un seguimiento de estas y la implantación de acciones correctivas por parte del suministrador. Finalmente, los proveedores que superan el proceso de cualificación forman parte de la lista de suministradores aprobados (LSA).

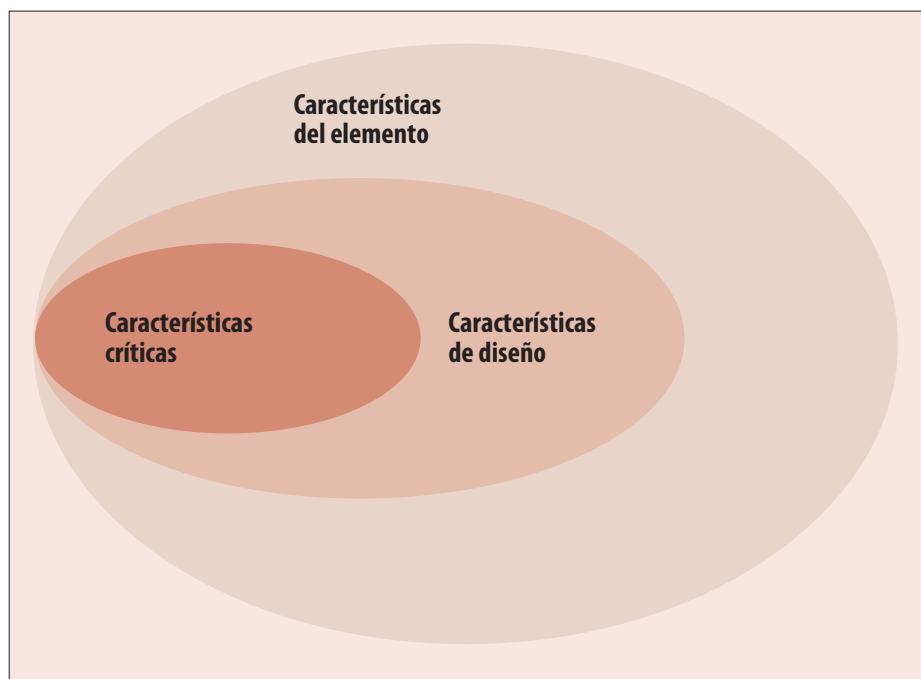
4. Preparación de la Oferta. Una vez que se han aprobado los suministradores y se han establecido los criterios de aceptación se realiza una invitación de oferta. Los mé-

todos para obtener la oferta pueden ser abiertos o cerrados. Posteriormente, los proveedores preparan sus ofertas y se las envían al cliente, que las recibe y las abre. Acto seguido, el cliente evalúa las ofertas y selecciona el suministrador de acuerdo con unos criterios establecidos tratando de que el proceso sea justo, transparente, objetivo y auditable.

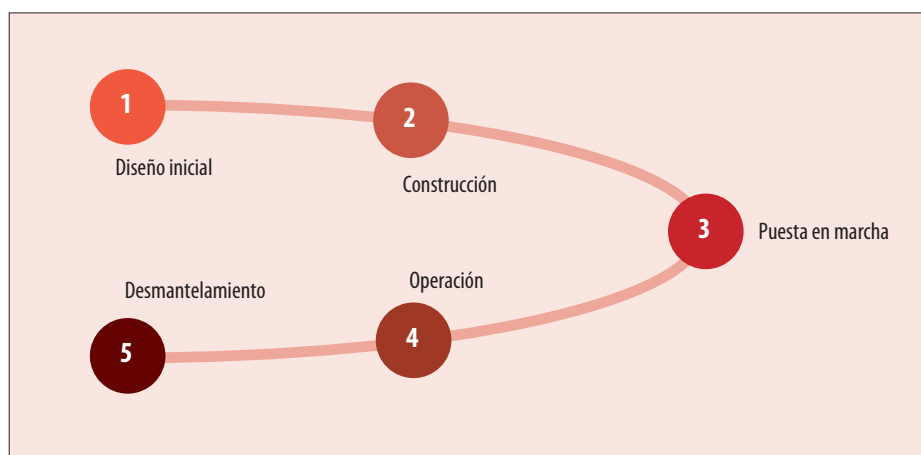
5. Preparación y envío de la orden de compra. En este paso los requerimientos técnicos y comerciales se plasman en una orden de compra y se envían al suministrador. La orden de compra suele contener los siguientes puntos:

- Alcance
- Requisitos técnicos
- Requerimientos de formación
- Requerimientos de inspección y pruebas
- Obligaciones del suministrador
- Acceso a las instalaciones del suministrador
- Normativa aplicable
- Documentos y registros
- Confidencialidad de la información
- Propiedad intelectual
- Condiciones y calendario de envíos
- Sucesos de causa mayor
- Leyes aplicables y jurisdicción
- Rescisión unilateral
- Condiciones de disolución de la orden de compra
- Suministro de equipos patentados
- Proceso de control de no conformidades
- Control de contratistas
- Precio
- Indemnizaciones
- Garantías, seguros
- Transporte
- Incentivos
- Penalizaciones

Seguidamente, es común efectuar un intercambio electrónico de datos donde se incorpora la orden de compra con los documentos relacionados y el pago y se



Relación entre las características críticas, características de diseño y características de un componente.



Ciclo de vida de una central nuclear.

adjudica el contrato al suministrador seleccionado. La documentación del contrato se coteja y finaliza antes del envío con los acuerdos y condiciones. El contrato se firma por duplicado por el titular de la instalación y por el proveedor.

6. Ejecución del contrato. Después de la orden de compra y la adjudicación del contrato comienzan las actividades de producción y las actividades de inspección.

Durante la fase de ejecución del contrato los suministradores pueden solicitar

cambios en el contrato y se hace seguimiento del mismo con el fin de llegar a acuerdos. Se recomienda que antes de empezar la ejecución del contrato se realice una reunión donde se revise el contrato firmado. Los puntos principales a tratar en esta reunión son:

- Organización y comunicaciones. Protocolos de comunicación
- Papeles y responsabilidades
- Calendario de trabajo y control
- Cambios de alcance
- Documentos entregables
- Disposición para empezar el trabajo

- Potenciales riesgos y dificultades
- Cláusulas del contrato
- Aspectos particulares del emplazamiento o lugar donde se ejecuta el proyecto (accesos, seguridad física)

Posteriormente se monitoriza el trabajo del proveedor con la ayuda de informes de estado de actividades, llamadas por videoconferencia, reuniones planificadas con el suministrador y auditorías de seguimiento.

En esta fase se comprueba que se cumplen los criterios de aceptación por los siguientes medios:

- Revisión de la documentación del suministrador con auditorías de ingeniería.
- Inspección en fábrica. Se realizan cuando es necesario revisar características del equipo que no se podrán verificar cuando ya esté fabricado. Suelen efectuarse cuando el sistema o equipo a suministrar tiene una cierta complejidad, permite identificar los defectos en una etapa temprana para establecer y tomar acciones correctivas a tiempo. Estas inspecciones se planifican con antelación y se documentan los resultados obtenidos.
- Puntos de espera. Son de verificación obligatoria, el trabajo no puede pro-

seguir sin la autorización de la persona designada, que verifica la calidad del trabajo realizado. Normalmente se establecen para comprobar aspectos críticos que no se pueden examinar más tarde. Se deben planificar los puntos oportunos, pero no en forma excesiva porque detienen la fabricación y aumentan los plazos y costes de producción.

- Los puntos de inspección. Son aquellos en los que una persona (puede ser un ingeniero, un consultor o un inspector externo) revisa o efectúa pruebas a un componente, método o proceso. El fabricante tiene la obligación de notificar al cliente y al inspector, pero no es necesario detener la producción.
- Las pruebas de aceptación en fábrica o pruebas FAT (*Factory Acceptance Test*) se realizan para comprobar que se cumplen los requisitos. Frecuentemente se llevan a cabo en presencia del cliente y a veces con una agencia de inspección. Las pruebas se efectúan siguiendo un procedimiento y los resultados se documentan. En el caso de encontrarse fallos, se deben documentar y tomar las acciones correctivas para resolverlos.

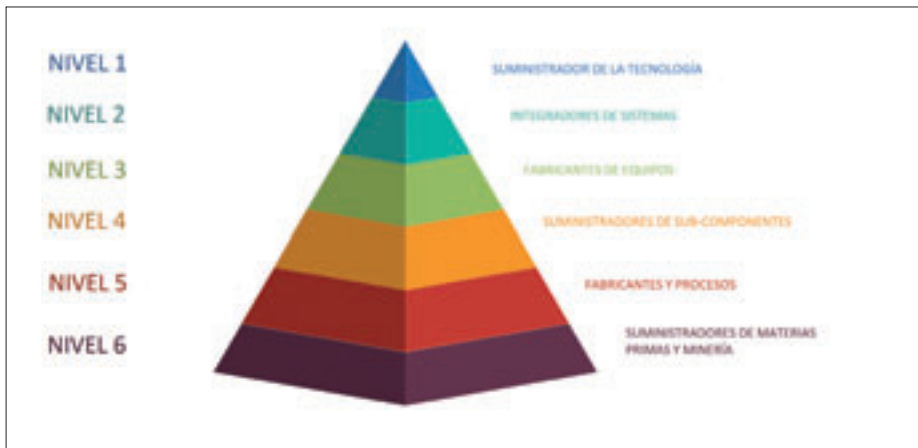
7. Empaquetado y transporte. El empaquetado y el transporte adecuado es crucial para evitar que los equipos sufran

daños. Tan pronto como se terminan las pruebas FAT y se chequea finalmente el producto, este se empaqueta y se envía al cliente. El empaquetado tendrá en cuenta el tipo de elemento suministrado, la duración del transporte, puntos de almacenamiento intermedios, los puntos de inspección en tránsito y las consecuencias que se originarían en caso de daño o pérdida del suministro. Para los grandes equipos puede ser necesario llevar a cabo un estudio de transporte. En esta línea, los subcontratistas que realicen maniobras de izado deberán demostrar que tienen experiencia en transporte de equipos pesados y realizar un estudio de cargas pesadas en la instalación para asegurar que no se dañarán otros equipos relacionados con la seguridad durante las maniobras. Con respecto al etiquetado de la mercancía, este contiene la información necesaria sobre la ubicación del bulto y se utiliza la localización GPS para conocer la situación geográfica del artículo.

8. Recepción del suministro. En esta etapa de la cadena de suministro se realiza una inspección de recepción al material entregado. Esta inspección se efectúa cuando el equipo se sirve en la instalación donde tiene que ponerse en servicio. En primer lugar, se verifica la identidad del producto suministrado, verificando su autenticidad y trazabilidad, y se comprueba que la cantidad suministrada es la correcta. En segundo lugar, se examina la documentación comprobando que se cumplen los requerimientos y verificación de las certificaciones del equipo.

En las inspecciones de equipos estándar simplemente se revisan los daños; sin embargo, para equipos de seguridad se realiza una inspección más detallada y se realizan pruebas como verificación de materiales y comprobaciones eléctricas. Los equipos que no superan los exámenes se separan de la línea de suministro para que no puedan ser utilizados en la instalación.

WANO



Niveles de la cadena de suministro.

Así mismo, se debe comprobar el etiquetado correcto especialmente en productos químicos y peligrosos. El personal que realiza la recepción estará entrenado en la detección de materiales fraudulentos. Después de la inspección de recepción, al equipo suministrado se le asigna un código y pasa a formar parte del sistema de la organización.

9. Almacenamiento. Tras la recepción del material se almacena el equipo hasta que vaya a ser utilizado. Los elementos relacionados con la seguridad deben guardarse adecuadamente. En las normas ANSI N45.2.2.2 (1978) y ASME NQA-1 (2008) se definen cuatro niveles o categorías de almacenamiento en función de las características físicas del equipo. Por otro lado, es esencial considerar los factores que pueden dañar los equipos durante esta etapa:

- Las condiciones ambientales de almacenamiento. Es decir, la humedad, temperatura, luz o radiación ultravioleta, contaminación ambiental, campos magnéticos, electricidad estática y gases inertes.
- Las maniobras de carga y descarga en almacén.
- La presencia de materiales inflamables o sustancias peligrosas.
- Las tareas de mantenimiento a realizar en almacén. Por ejemplo, lubricación, comprobación de niveles de aceite, activación de partes móviles, recarga de baterías y mantenimiento del secado de las baterías.

Algunos elementos se degradan durante el almacenamiento y únicamente pueden conservarse en almacén durante un periodo determinado, llamado tiempo en estantería. Los elementos susceptibles de degradación son: componentes no metálicos, elementos cualificados ambientalmente, elementos rotativos y algunos componentes electrónicos. Es preciso conocer

el tiempo de almacenamiento de estos elementos para asegurar que no se sobrepase el tiempo límite de almacenamiento.

Es necesario establecer un control de configuración de tal forma que se pueda conocer la cantidad de elementos de cada tipo disponibles en almacén y controlar el inventario. Hay que tener en cuenta que un excesivo stock tiene un coste importante para la organización. Por otra parte, si el stock es escaso podría haber problemas de desabastecimiento de equipos críticos.

Así pues, es beneficioso seguir una estrategia de optimización de inventario, segregar los elementos que presentan no conformidades, establecer medidas para prevenir el deterioro o la pérdida de elementos y disponer altos niveles de seguridad física del almacén. Cuando el material se va a utilizar es habitual ubicarlo en almacenes locales en la planta durante un espacio corto de tiempo. El material de embalaje que se introduce en la isla nuclear se limita con el fin de minimizar la cantidad de material radiactivo y el riesgo de incendios.

10. Instalación. En esta etapa se instala el equipo a través de una orden de trabajo. Es posible que haya que realizar pruebas posteriores a su instalación. Estas pruebas forman parte del proceso de puesta en marcha y sirven para comprobar aspectos que no se pueden verificar en fábrica o detectar daños ocurridos durante el transporte. También se realizan para asegurar que un sistema completo funciona según las especificaciones establecidas, no solamente el componente instalado. Es importante mencionar que el material excedente se devuelve a almacén.

11. Cierre. Una vez que se ha entregado toda la documentación acordada en el contrato se lleva a cabo un proceso formal de cierre y se efectúa el pago final. Para concluir, se evalúa la actuación del suministrador y se informa para que pueda

mejorar el proceso de provisión. Se valora la calidad, la puntualidad, el servicio, la cultura de seguridad y la comunicación.

Tratamiento de no conformidades

Las no conformidades tienen lugar cuando el producto no cumple con los requisitos y pueden ser identificadas durante la recepción, el montaje, la puesta en marcha o durante su uso. Una no conformidad se debe subsanar, determinar las causas, realizar la extensión de condición y tomar las acciones correctivas necesarias para corregir las causas. En una compañía con una cultura de seguridad sólida cualquier trabajador será capaz de transmitir con facilidad las no conformidades sin represalias.

Contenido digital no declarado

En las instalaciones nucleares se sustituyen componentes eléctricos por otros similares. La NRC publicó el RIS 2016-05 avisando que en varias centrales nucleares se habían reemplazado componentes eléctricos por otros análogos, pero con contenido digital que no había sido identificado por los titulares. Estos componentes son circuitos altamente integrados, como procesadores o dispositivos lógicos programables, que se alimentan de las instrucciones de una máquina para realizar su función. Además, al introducir este tipo de elementos se pueden generar nuevos modos de fallo no contemplados en el diseño original. En otras palabras, cuando se instala un componente cuyo contenido es desconocido no se realiza la evaluación que ingeniería tiene que realizar en estos casos ni se comprueba la funcionalidad del componente en las tareas de mantenimiento preventivo.

Obsolescencia

Un aspecto importante a tener en cuenta de la cadena de suministro es la obsolescencia, que puede causar numerosos problemas de seguridad, así como pérdidas económicas y recargas más largas. El alargamiento de vida de las centrales nucleares

provoca que se tengan que tratar problemas relacionados con la obsolescencia con más frecuencia. Para solucionar estos problemas es deseable ser proactivo y anticiparse a las dificultades. El proceso de gestión consiste en la detección, la priorización y la implementación de un plan de acción. Algunos métodos adoptados para solucionar los problemas de obsolescencia pueden ser la compra de grandes cantidades de componentes críticos, empleo de inventarios comunes en instalaciones similares, búsqueda de proveedores alternativos, ejecución de modificaciones de diseño o ingeniería inversa.

Proceso de dedicación comercial

El proceso de dedicación de grado comercial se utiliza para asegurar de forma razonable que un elemento fabricado según los estándares de la industria convencional puede realizar las funciones de seguridad para las que ha sido diseñado. La principal razón por la que se ha establecido el proceso de dedicación de grado comercial en la industria nuclear es la reducción del número de centrales nucleares en construcción. Esto ha originado que una gran cantidad de suministradores no mantengan los sistemas nucleares de gestión o los programas de garantía de calidad.

En primer lugar, el proceso de dedicación consiste en la identificación de las

funciones de seguridad del componente y la determinación de cómo podría fallar el componente para realizar sus funciones de seguridad. En segundo lugar, se elabora una lista de características críticas del elemento con sus criterios de aceptación. A continuación, se identifican los métodos de dedicación para la verificación de los criterios de aceptación. Por último, se llevan a cabo acciones de verificación para cada una de las características críticas mediante uno o más métodos de aceptación (realización de pruebas e inspecciones, entrevista a un proveedor comercial, verificación de las fuentes, registros de rendimiento del componente).

Componentes falsificados o fraudulentos

El uso de elementos falsificados o fraudulentos, llamados CFSI (*Counterfeit, Fraudulent and Suspect Items*), ha aumentado considerablemente en los últimos años y es un problema que tiene que afrontar el sector de la energía nuclear. Además, esta cuestión es una seria amenaza para la seguridad nuclear, la protección radiológica y la seguridad de los trabajadores. Para tratar esta complicación cada organización debería estar informada y asegurar que existen procesos efectivos para el mitigar el riesgo de CFSI. Estos procesos contienen me-

das de prevención, detección y control de elementos falsificados. Este asunto se extiende desde el equipo acopiado hasta las materias primas u otras sustancias empleadas en las instalaciones.

La terminología aplicada relacionada con los CFSI es la siguiente:

- Elemento genuino: es aquel elemento que ha sido producido y certifica sin el propósito de falsificar.
- Elemento no conforme: es aquel que no cumple los requisitos requeridos, pero que se suministra sin la intención de falsificar.
- Elemento sospechoso: es aquel en el que existe alguna indicación por inspección visual, inspección o pruebas de que no es genuino.
- Elemento fraudulento: se falsea intencionalmente con la intención de engañar, incluidos los elementos proporcionados con identificación y certificación falsificada o inexacta. También puede incluir artículos vendidos por entidades que tienen el derecho legal de fabricar una cantidad específica de un artículo, pero no de producir una cantidad mayor que la autorizada y venden el excedente como inventario legítimo.
- Elemento falsificado: artículo que se fabrica, reacondiciona o altera intencionalmente para imitar productos originales sin autorización para hacerse pasar por auténtico. ©

Referencias

- GS-R-3 - OIEA safety requirements. The management safety for facilities and activities
- UNE 73401:1995 Garantía de calidad en instalaciones nucleares
- IS-19 Requisitos del sistema de gestión de las instalaciones nucleares
- GS-10-3 Rev.1 Auditorías de garantía de calidad
- NRC Information Notice 2008-04 “Counterfeit parts supplied to Nuclear Power Plants”



Detalle de las barras de combustible fabricadas por ENUSA.

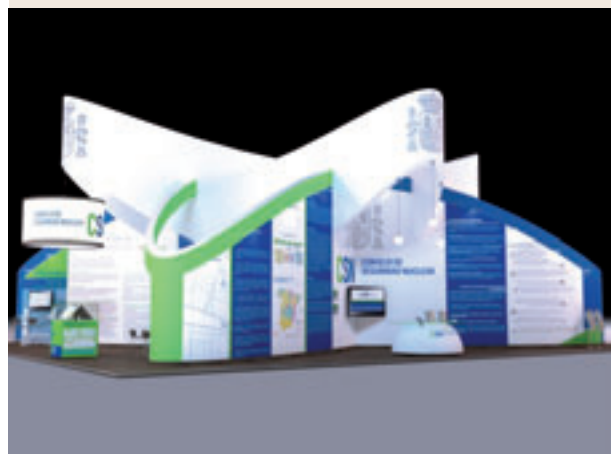
Expositor virtual del CSN

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

Desde hace unas semanas, el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) dispone de un expositor virtual para ferias y congresos *online*. El diseño de la planta de dicho *stand* tiene forma de átomo, con el logotipo del CSN en el núcleo, y cuatro salas diferenciadas.

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

Se puede acceder a través de la dirección <https://standvirtual.csn.es/>



Funcionamiento

Al comienzo de la visita se despliega una ventana inicial de bienvenida con instrucciones sobre:

- Modo de control del movimiento.
- Selección del tipo de visualización de la pantalla.
- Selección del tipo desplazamiento.
- Interactuaciones, zoom y vista panorámica.
- También se puede seleccionar el tipo de vista deseado (panorámica o vista interna).

Sala 1

Descarga
del catálogo
de publicaciones

Pantalla sobre el mostrador
donde visualizar el video
institucional del CSN

Descripción del CSN



Acceso directo a la
web www.csn.es

Sala 3

Puerta con botón interactivo
de acceso directo
a la visita virtual al
Centro de información

Paneles divulgativos dedicados a la
definición de las radiaciones ionizantes,
tipos de reacciones nucleares,
componentes del átomo
y modelos atómicos,
y tabla de isótopos



Pantalla con botón interactivo
para la visualización
de la visita guiada al
Centro de información del CSN

Sala 2

Cartel de radiación artificial

Cartel de radiación natural

Acceso a los datos de vigilancia radiológica ambiental (mapa interactivo Keeper-Web)

Estudio epidemiológico

La radiactividad en la chatarra con botón de visualización y descarga del póster

Mapa de radiación gamma natural en España con botón de descarga del folleto

Proyecto MARNA, mapa de zonificación por municipio de radón con botón de visualización y de descarga

Isla en medio con póster de la Sala de Emergencias (SALEM), con botón de descarga del folleto informativo

Sala 4

Esta sala está dedicada a los audiovisuales

La pantalla grande de la izquierda permite la visualización de una lista personalizable de videos
En la configuración actual, los videos institucionales del CSN

Las pantallas de la derecha están preparadas para la visualización o descarga de videos que se pueden personalizar.
En la configuración actual, video noticias del CSN.

Los vídeos se alimentan del canal de YouTube del CSN

La información que estaba disponible en lonetas del expositor físico se ha digitalizado y producido en forma de videos

Centro de juegos con enlaces a las aplicaciones móviles del CSN

Dos islas en la sala con los pósters del espectro de ondas electromagnéticas y la tabla periódica con botones de descarga de los posters

María Antonia Blasco Marhuenda (Alicante, 1965) cumple este año un decenio al frente de uno de los organismos de investigación más importantes de España, el Centro Nacional de Investigaciones Oncológicas (CNIO). Tras licenciarse en Bioquímica y Biología Molecular en la Universidad Autónoma de Madrid, en 1989, hizo la tesis doctoral con Margarita Salas sobre cómo se replican los extremos del ADN de un virus. En las células humanas esos extremos de los cromosomas se denominan telómeros y juegan un papel central en fenómenos tan importantes como el cáncer y el envejecimiento. Con cada reproducción, las células pierden una parte de sus telómeros y al cabo de cierto número de divisiones son tan cortos que la célula no puede volver a reproducirse. Es un síntoma del envejecimiento general del organismo y probable origen de muchas enfermedades asociadas a la edad. Sin embargo, hay una enzima capaz de reparar los telómeros, llamada telomerasa, que *rejuvenece* las células.

María Blasco trabajó con Carol Greider (premio Nobel de Medicina 2009), descubridora de esta enzima, en el Cold Spring Harbor y es hoy una de las máximas autoridades mundiales en telómeros y telomerasa. En 1997 regresó a España como jefa de un grupo investigador del Centro Nacional de Biotecnología y, en el 2003, saltó al Centro Nacional de Investigaciones Oncológicas (CNIO) como jefa del Grupo de Telómeros y Telomerasa y directora del Programa de Oncología Molecular. Desde junio de 2011 dirige este centro, que de acuerdo con índices internacionales se encuentra entre el 8º y 9º puesto del ranking mundial de centros de investigación oncológica. Blasco ha visto reconocida su labor científica con, entre otros galardones, el Premio Nacional de Investigación Santiago Ramón y Cajal 2010, el Premio Rei Jaume I de Investigación Básica 2007 y la Medalla de Oro de la EMBO 2004, lo que la convierte en el primer y único científico español que la ha obtenido de momento.

María Blasco, directora del Centro Nacional de Investigaciones Oncológicas

“Los enfermos de covid con sintomatología más severa tienen los telómeros más cortos”

■ Texto: **Ignacio Fernández Bayo** | Divulga ■ Fotografías: **Amparo Garrido** ■

PREGUNTA: *Imagino que la pandemia ha afectado a la investigación en general. ¿En qué manera lo ha hecho al CNIO?*

RESPUESTA: Pues la verdad es que nos ha afectado poco, hemos podido mantener las líneas de investigación más

o menos al mismo ritmo. En un centro como el CNIO es necesario el cuidado y mantenimiento de las actividades experimentales, cuidado de los laboratorios, instalaciones, animales... y todo eso se ha mantenido. Es cierto que las reuniones

se han hecho normalmente por videoconferencia, pero la investigación ha seguido su ritmo. Solo en algunos casos se produjo algún retraso.

P: *¿Y se ha recuperado ya la normalidad también en esos casos?*



R: Absolutamente. Además, hemos conseguido que nuestra actividad se considerase prioritaria y todo el personal está ya completamente vacunado.

P: Pero hay líneas de actividad del CNIO que se deben haber visto afectadas

por la situación, como es la traslacional.

R: Pues tampoco; se ha mantenido la colaboración con las empresas y el desarrollo de patentes igual que antes...

P: Me refería sobre todo a la traslacional clínica, con los hospitales.

R: Sí, ahí se ha producido lógicamente un retraso en nuestra consulta de cáncer familiar en el Hospital de Fuenlabrada. Allí vemos a un centenar de familias cada año y analizamos si tienen mutaciones de determinados genes que pre-

disponen a padecer cáncer, pero la situación hospitalaria de este año no ha permitido llevarlo a cabo.

P: *La saturación hospitalaria por la covid-19 ha supuesto además un grave problema para los pacientes de cáncer.*

R: Sí, eso queda fuera de nuestro ámbito de actuación, pero efectivamente se han reducido mucho los diagnósticos y los tratamientos han sido más complicados. Es un efecto colateral de la pandemia que afecta a muchos pacientes.

P: *¿El CNIO se está abriendo a un campo de actuación más amplio?*

R: Los centros de investigación básica tenemos ese potencial de aplicar nuestro conocimiento en otros ámbitos. Al fin y al cabo, los mecanismos moleculares son los mismos en muchas otras patologías. Por ejemplo, como se ha reflejado en los medios recientemente, Óscar Fernández Capetillo ha realizado un descubrimiento importante en esclerosis lateral amiotrófica. Y lo estamos haciendo también en el caso de la fibrosis pulmonar. Además, la pandemia nos ha abierto la posibilidad de estudiar ciertos aspectos de la covid.

P: *¿Qué están haciendo en este caso?*

R: En el CNIO hay varios grupos que estamos haciendo investigación covid. En nuestro grupo estamos usando ratones que se pueden infectar con el virus SARS-CoV-2, con los que queremos estudiar las secuelas de la enfermedad. Ahora mismo hay una deficiencia en la investigación de la covid, que es estudiar por qué en muchos casos deja secuelas importantes. Muchísimos pacientes que superan la enfermedad se quedan con fibrosis pulmonar, que son lesiones pulmonares muy graves y actualmente no hay tratamiento para su curación ni para evitar su progresión. Nuestra hipótesis es que la infección por covid-19 es más grave en pacientes que tengan los telómeros más cortos en el pulmón, que suelen ser los pacientes más mayores; porque

sabemos que el virus infecta células del pulmón que son las que generan la fibrosis pulmonar si tienen los telómeros cortos. El virus SARS-CoV-2 infecta estas células preferentemente y las mata, con lo cual las que quedan tienen que regenerar el pulmón y si tienen telómeros cortos es muy difícil la regeneración. Esa es nuestra hipótesis y estamos tratando de demostrarlo.

P: *¿Han encontrado una correlación entre telómeros cortos y los casos de mayor gravedad?*

R: También. Es una investigación que hicimos con la gente del Hospital de IFE-MA, durante la fase más grave de la pandemia, y hemos visto que la gente con



*“La metástasis
es ahora un tema
central de investigación
en el CNIO”*

covid-19 que tenía la sintomatología más severa tenía los telómeros más cortos.

P: *Dentro de ese mundo de la investigación oncológica internacional imagino que cada centro tiene algunas líneas en las que es más o menos el referente o el líder. ¿Cuáles son las del CNIO?*

R: Lo mejor del CNIO es que tenemos flexibilidad; vamos cambiando nuestras líneas de investigación, porque aquí no es importante la línea sino los investigadores, el talento que traemos. Como tenemos una tasa de renovación alta, tenemos grupos junior, somos cantera de investigadores en formación y ahí hay un tiempo máximo que pueden estar en el CNIO. Eso solo ocurre que yo sepa en

otro centro español, que es el CRG de Barcelona, y otro europeo, el EMBL. Y este límite de ocho años hace que podamos estar siempre al día en los temas de investigación, con lo cual hay una renovación de líneas de investigación y por ejemplo en los últimos años hemos contratado bastantes grupos trabajando en metástasis, que era un tema que no se había estudiado en el CNIO y ahora hay varios grupos trabajando en ello; en metabolismo del cáncer, que es un tema bastante importante; y últimamente también biología computacional, que me parece una nueva frontera de investigación en todas las patologías pero especialmente en el cáncer. El análisis de grandes cantidades de datos procedentes de la secuenciación de tumores nos está ofreciendo una manera no sesgada de entender la enfermedad y encontrar nuevas dianas terapéuticas.

P: *Ha mencionado la metástasis. ¿Por qué ha sido siempre el patito feo de la investigación oncológica, a pesar de que se dice que es lo que realmente mata?*

R: La metástasis es más compleja de estudiar que los tumores primarios. Por esa complejidad y por no tener buenos modelos en ratones se ha dejado de lado durante mucho tiempo, pero creo que ahora es un tema central de la investigación en oncología molecular y en el CNIO tenemos grupos muy buenos, como el de metástasis cerebral de Manuel Valiente, que está haciendo una investigación *top* para entender las metástasis cerebrales, que son de las peores, porque muchos fármacos no pueden cruzar la barrera hematoencefálica, con lo cual es un tema especialmente complejo.

P: *Llama la atención la rapidez con la que se han desarrollado las vacunas contra el SARS-CoV-2, ¿por qué no pasa lo mismo con el cáncer?*

R: La covid-19 es una pandemia que ha puesto en jaque mate a la sociedad, a las economías y el empleo; y eso afecta a

todos países a nivel global. Es una debacle. Y esto ha hecho que Europa y Estados Unidos hayan invertido directamente en el desarrollo de las vacunas, lo que ha permitido a las compañías farmacéuticas y biotecnológicas desarrollarlas de una forma rápida. Además, hay que recordar que ha sido posible porque son tecnologías que llevan investigándose desde hace décadas. Las vacunas de RNA son fruto del trabajo de investigadores de la Universidad de Pennsylvania, entre ellos Katalin Karikó, para tratamiento de enfermedades como alternativa a la terapia génica con DNA.

P: *Antes de la pandemia, tanto Karikó como las empresas BioNTech y Moderna estaban estudiando el uso del ARN para el tratamiento del cáncer.*

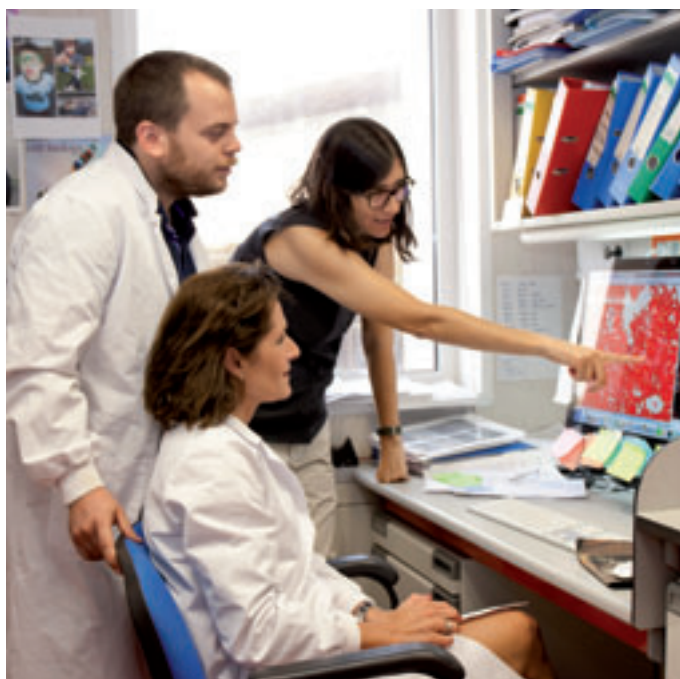
R: Biontech seguro, Moderna creo que algo. Sí, podría ser una alternativa, una especie de terapia génica para tratamiento personalizado del cáncer. Según el oncogén que tenga activado el paciente, se inyecta RNA que induzca anticuerpos contra ese oncogén y que la inmunoterapia pueda resolver el tumor.

P: *¿No se han planteado incorporar esa investigación con ARNm?*

R: De momento no. Los grupos que se están incorporando ahora al CNIO son grupos de inmunología y de biología computacional, pero no es algo que descartemos. De hecho, tenemos algunos laboratorios que están haciendo terapia génica y se podría considerar hacerlo con partículas de RNA. Parece una alternativa muy buena a la terapia génica con DNA. Es la diferencia que hay entre las vacunas de Moderna y Pfizer con la de Janssen.

P: *Tratamiento personalizado del cáncer. ¿Se ha avanzado en esa línea?*

R: Sí hay avances que ya están en la clínica en cánceres muy importantes, como los de mama, pulmón, colon y melanoma, por ejemplo. Se trata de ver qué oncogenes están alterados en un paciente e inhibirlos. Pero si hablamos de tratamientos super-personalizados, que consiste en secuenciar el tumor de cada paciente y darle la combinación de fármacos adecuada a cada caso, creo que va más despacio, porque exige que los hospitales tengan capacidad de aplicar técnicas muy sofisticadas, lo cual es muy difícil. Pero se está yendo hacia ahí y en



María Blasco con miembros de su grupo de investigación.

España hay estrategias importantes en ese sentido.

P: *¿Cómo avanza su investigación con los telómeros y la telomerasa?*

R: Bueno, no va tan rápido como lo que hablábamos de la covid, pero tenemos buenas noticias. Estamos muy contentos porque estamos probando una terapia génica con activación de telomerasa y este año se ha creado una compañía nueva en la que participn el CNIO y la Universidad de Barcelona. Se llama Telomere Therapeutics y su objetivo es

llevar a ensayos clínicos el tratamiento con vectores virales que llevan el gen de la telomerasa. Es algo semejante a la vacuna de AstraZeneca, pero en este caso no es para desarrollar anticuerpos contra la telomerasa sino para que la telomerasa se exprese y pueda corregir, en este caso, la fibrosis pulmonar.

P: *¿Están ya en fase clínica?*

R: No, está en la fase de desarrollo del medicamento y trabajando con ratones. El objetivo es llevar esto a la clínica en los próximos dos años, o sea que se va a ver pronto, si todo va bien, si puede

hacer un tratamiento para enfermedades asociadas al envejecimiento. En este caso en concreto para la fibrosis pulmonar. No en el caso de los telómeros solo sino en el campo del envejecimiento en general, que ahora es la frontera en la que se está invirtiendo muchísimo. Está empujando mucha gente, entre otros las grandes compañías de Silicon Valley, para encontrar tratamientos para enfermedades asociadas al envejecimiento que son la mayor parte de las enfermedades.

P: *En este ámbito hay un medicamento, la metformina, que dicen que alarga la vida. ¿Es cierto?*

R: Bueno, en ratones se ha visto que sí alarga la vida y en humanos hay un ensayo clínico en marcha en Estados Unidos. Yo sigo este estudio con interés, pero aún no hay datos. De todos modos, es posible que la metformina tenga algo de toxicidad, que no sea un medicamento completamente inocuo.

P: *Hay también alguna empresa que ofrece al público medir sus telómeros.*

R: Sí, casi se puede decir que eso es ya una cosa vieja.

P: *¿Y tiene sentido medirlos?*

R: Yo creo que tiene sentido sobre todo en investigación, para saber qué valor tiene como pronóstico, para la identificación de personas que están en riesgo de desarrollar de forma prematura alguna de estas enfermedades, incluido el cáncer. Y en este sentido creo que facilita esta investigación.

P: ¿Y para el que se hace la medición?

R: Yo creo que sí. Como decía Elizabeth Blackburn, sirve para saber si algo va muy mal. Sabemos por los trabajos con ratones que si los telómeros son muy cortos se van a desencadenar una serie de patologías de forma prematura, así que puede servir como alerta de que algo puede estar yendo mal. A partir de ahí se deben hacer chequeos médicos para detectar algún problema en el organismo. Es un biomarcador de envejecimiento y se ha visto que tiene valor pronóstico en enfermedad cardiovascular, cáncer y algunas otras patologías.

P: ¿Los telómeros se acortan igual en todas las células del organismo?

R: Es curioso, porque hay distintas velocidades en los diferentes órganos y tejidos del organismo, pero se compensa porque también tienen distinta capacidad para generar telomerasa. En la piel, por ejemplo, los telómeros se acortan más rápido que en el cerebro, pero las células *stem* de la piel, en el compartimento que se llama de amplificación, son capaces de activar la telomerasa y compensar este acortamiento más rápido. Al final ves cómo los telómeros en los diferentes órganos y tejidos van acortándose a la par. De alguna manera, que aún no entendemos, hay como una coordinación en esa velocidad de acortamiento. Además, esa velocidad puede verse alterada por factores externos. Por ejemplo, si fumas vas a estar dañando más rápido el pulmón que otros órganos y puede ser que sufras antes los efectos de ese acortamiento telomérico. Y si te expones mucho al sol, ya sabemos que la luz ultravioleta

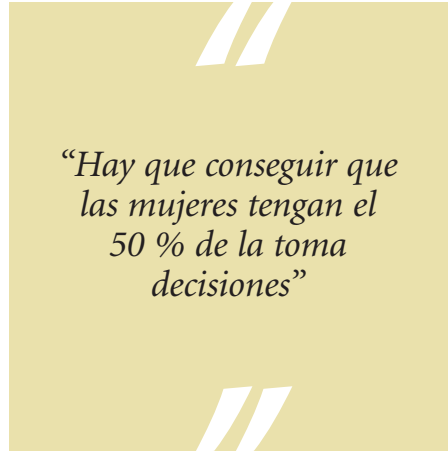
acorta muchísimo los telómeros, y es probable que tengas en la piel telómeros más cortos que en otros órganos.

P: *Mujer y ciencia es un tema de creciente importancia. ¿Cómo ve la situación?*

R: Me parece un tema sin resolver, el de que las mujeres todavía no tengan el 50 % de la toma decisiones.

P: *Usted ha conseguido llegar al puesto decisivo de su centro*

R: El que algunas lleguemos no quiere decir que haya todavía igualdad. Es importante que lleguemos porque desde arriba puedes cambiar más fácilmente las cosas que desde abajo. Si no, dependes de la buena voluntad de los que estén



“Hay que conseguir que las mujeres tengan el 50 % de la toma decisiones”

arriba. Creo que es importante facilitar que haya igualdad de oportunidades y eso lo puedes conseguir si estas en una posición de poder. Ese es el objetivo.

P: ¿Cómo lo consiguió?

R: En mi caso es que soy una persona muy cabezota y si me ofrecen algo digo que sí, pero a las mujeres en general muchas veces les cuesta asumir responsabilidades porque el del poder es un mundo que no está diseñado por las mujeres ni para las mujeres. Hay que intentar que ese mundo sea más amable para que las mujeres quieran asumir esas responsabilidades.

P: ¿Ha visto una evolución en esta situación?

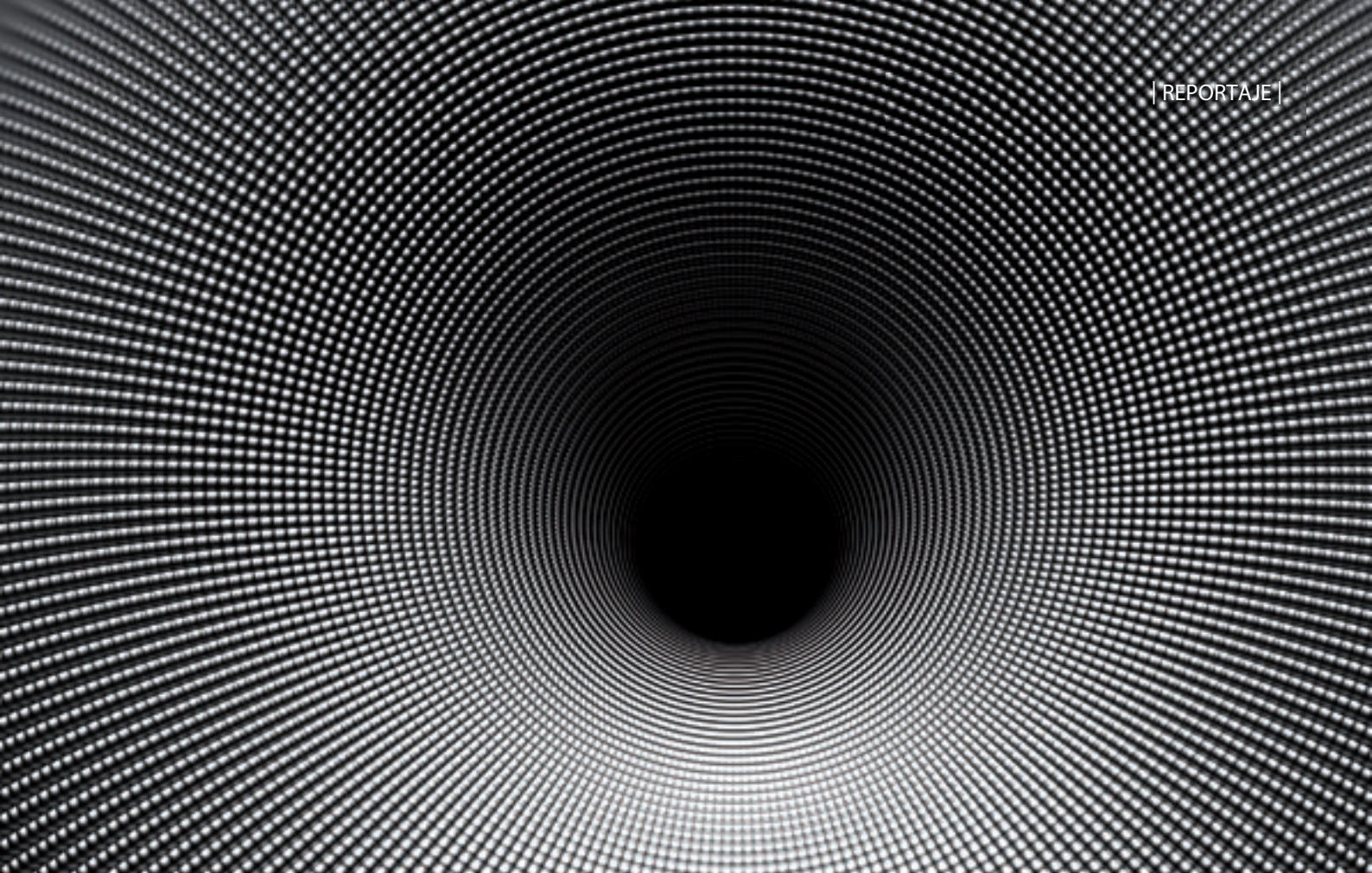
R: En general, no. Creo que ha habido algunos momentos en que ha mejorado, hasta hace un par de años, pero ahora ya no está en la agenda. Pero en el CNIO, que es lo que me preocupa de manera inmediata, sí ha habido un cambio que ha hecho que sea un centro ejemplar en esto.

P: ¿Qué cosas han cambiado cosas en el CNIO en esa dirección?

R: Muchísimas, diría yo. Incluso antes de la pandemia teníamos ya implantado el teletrabajo y aprobamos una jornada flexible. Flexibilizar los horarios es muy importante para facilitar la conciliación, tanto para hombres como para mujeres. Y todo esto ha cambiado de forma radical. Y ha cambiado la mentalidad; ahora la gente es más consciente de las cuestiones de género. Tenemos desde 2012 unos seminarios sobre el tema que son bastante reputados, a los que ha venido gente muy importante y que cada mes se refresca. Es una especie de mantra que ha servido para sensibilizar a los investigadores del CNIO y yo creo que ahora ya es parte de nuestra identidad. Al principio a la gente le parecía raro, muchos no venían a las conferencias y ahora son un éxito.

P: ¿Hay alguna fórmula para llevar a cabo ese cambio?

R: Sí. Incluso se ha publicado en Nature un artículo con todas las cosas que se pueden hacer en una institución, y que salían de sugerencias de las personas que trabajaban allí. Aquí hicimos un poco lo mismo, me reuní con todas las investigadoras que no son jefas pero que están en posiciones ya estables, y la crítica principal era que no les gustaba dar ese paso adelante para dirigir su propio grupo, porque no les gustaba cómo se vivía esa situación. Y eso es lo que hay que cambiar. Puede que a veces esa percepción sea errónea, pero también hay cosas que se pueden cambiar. ©



Los agujeros negros se han convertido en un laboratorio de experimentación de la física actual

Semillas del espacio-tiempo

Cien años después de que la teoría de la relatividad general de Einstein sentase las bases exactas de su naturaleza y doscientos años después de que un clérigo inglés fantasease con la existencia de unas “estrellas oscuras”, los agujeros negros siguen arrojando luz a cuestiones troncales y protagonistas de la física más exótica. Han pasado de ser una excentricidad matemática a protagonizar el último Premio Nobel de Física, de la mano de Sir Roger Penrose. En las inmediaciones de un agujero negro

las reglas de lo cotidiano cambian: se alteran y deforman superando, con mucho, los deseos de las mentes más creativas. El escritor Peter Nicholls dijo una vez refiriéndose a ellos: “La ciencia ficción no puede imaginar nada más extraño”. Extraños o no, permean el tejido del espacio-tiempo de una forma tan significativa que nuevas teorías sugieren que los agujeros negros son, en realidad, las semillas que hicieron emerger el cosmos.

■ Texto: **Lucía Casas** | Periodista de ciencia ■

“**A**l llegar por primera vez a un agujero negro, lo más probable es que te sorprenda lo total y completamente aburrido que es. En sí, el agujero negro es simplemente un orbe negro insondable que cuelga en algún lugar en

la distancia. En realidad no hacen nada más que ‘sentarse ahí’ y gravitar. De hecho, es muy sencillo pasarlos por alto: a menos que se estén alimentando activamente de materia o que, por coincidencia, doblen o bloqueen la vista de una estrella

en el fondo, no podrás verlos. Sin embargo, una vez sabes que hay uno, puedes comenzar a divertirte”.

El astrofísico Paul M. Sutter inicia así su epopeya sobre *Cómo sería tener por vecino a un agujero negro rompiendo*

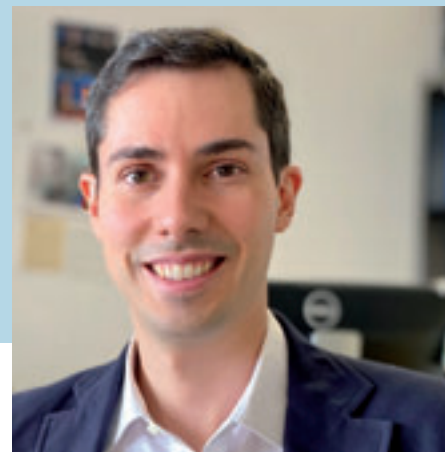
La desnudez de una singularidad

La teoría de la relatividad de Einstein introdujo un conjunto de diez ecuaciones para describir la interacción entre masa o energía y curvatura del espacio-tiempo. Cada solución a las ecuaciones de campo de Einstein describe un espacio-tiempo concreto, y algunas soluciones contienen lo que se conoce como singularidades. En un primer momento, tanto los agujeros negros como sus singularidades fueron consideradas como curiosidades o excentricidades matemáticas que solo podían cumplirse en el papel. Resultó ser mentira.

Para Alberto Enciso, físico y matemático investigador del Instituto de Ciencias Matemáticas (ICMAT), las singularidades pueden entenderse como una cierta incompletitud del espacio en cierto punto: “Las ecuaciones de Einstein nos dicen cómo evoluciona el espacio-tiempo a partir de una información inicial. Mientras ese espacio-tiempo esté bien comportado y los datos que tenemos sean suaves y no presenten puntos

problemáticos, nos dirán todo cuanto está sucediendo. Pero existen situaciones donde se pierden lo que llamaríamos las hipótesis de regularidad, toda esa información”. Ahí es cuando las ecuaciones deben enfrentarse a una situación dramática donde se han cambiado las reglas del juego.

Una manera sencilla de comprender esto es pensar en cómo funcionan las ecuaciones de Newton, aquellas que describen, por ejemplo, el movimiento entre dos planetas que se atraen. Según Enciso, las leyes de Newton nos dan información sobre todo lo que sucede entre dos planetas salvo en un caso; cuando esos dos planetas se atraen hasta chocar. “Las ecuaciones no te van a decir lo que



Alberto Enciso.

con el atávico empeño de la cultura popular por mostrarnos a estas regiones del espacio-tiempo como verdaderos monstruos. Los agujeros negros se han labrado una fama que no les representa. De hecho, lejos de ser destructores, su naturaleza atractiva podría ser la causa de que nuestro universo exista en el modo en que lo hace. Sin embargo, sí cumplen sobradamente con uno de los requisitos necesarios para la literatura fantástica, y esto es irreductible: son completamente fascinantes. Pese a ello, y aunque cualquier proceso que ocurra dentro de un agujero negro sea merecedor de tener su propia novela de ciencia ficción, estos fenómenos fruto de la gravedad más intensa nada tienen de inventiva; sabemos que han habitado el cosmos calladamente durante más tiempo del que podamos imaginar. Ahora, gracias a los avances tecnológicos, podemos medirlos mediante interferometría o capturar su eco en imágenes, revelando que, pese a ser vecinos silenciosos, no son ni invisibles ni mucho menos meras “curiosidades matemáticas”.

Actualmente la existencia de los agujeros negros es algo que apenas genera controversia dentro de la comunidad científica, pero esto no siempre fue así. En los tiempos de Newton se desconocía el comportamiento dual de la luz como onda y partícula. En su lugar, dos teorías completamente diferenciadas trataban de explicar la condición de la luz. Una de ellas entendía que estaba formada por ondas; la otra, preferencia de Sir Isaac, sugería que la luz estaba compuesta por pequeñas partículas de materia, es decir, corpúsculos.

El hecho de que la luz tuviera, tal como pensaba Newton, una naturaleza corpuscular quería decir que podía verse afectada por la fuerza de la gravedad del mismo modo que cualquier cuerpo con masa ejerce un tirón gravitatorio a su alrededor. Además, tal como había predicho el astrónomo Oel Roemer, la velocidad a la que se movían esas partículas no era infinita, lo cual abría la puerta a una posibilidad un tanto extraña: si la velocidad de la luz era una cifra concreta y finita, ¿podría existir

en el universo un cuerpo con una gravedad tan intensa que hiciese que la velocidad de escape necesaria para vencer su atracción fuera superior a la de la luz?

Esta genial idea inundó la cabeza del clérigo John Michell, quien incluso llegó a enviar una carta planteando esta posibilidad a Henry Cavendish, un buen amigo y físico de profesión: “Si hubiese cualquier estrella cuya densidad fuese lo bastante grande, toda luz emitida por ese cuerpo volvería hacia él por causa de su propia gravedad”. Era 1783, mucho antes de que Schwarzschild diera con la solución exacta a las ecuaciones de campo de Einstein en pleno frente de la Primera Guerra Mundial. Michell no lo sabía, pero aquellas “estrellas oscuras” acabarían siendo una suerte de centro de experimentación, prueba y error de muchas teorías de la física moderna.

va a pasar, porque las normas matemáticas se vuelven infinitas, la fuerza se vuelve infinita. No esperas que las leyes te den la información que necesitas en este caso, ya que el choque podría dar lugar a una rebote elástico entre los planetas, o estos podrían partirse en 500 trocitos... no puedes saber lo que pasará, y esta situación dramática es lo que llamamos singularidad”.

La singularidad que encontramos en el interior de un agujero negro es una región inimaginablemente pequeña. Como toda la materia que “cae” dentro acaba alcanzando este punto singular tarde o temprano, la densidad del mismo se vuelve infinita. Por suerte, estos puntos problemáticos del espacio-tiempo están ocultos tras un horizonte o apantallamiento, por lo que, comenta Enciso, “nunca tendríamos una experiencia directa con esa singularidad”. Sin embargo, hay singularidades que sí pueden suceder fuera de un agujero negro, las llamadas singularidades desnudas, como es el caso del Big Bang. Estos puntos del espacio se pueden construir a partir de las ecuaciones de Einstein, pero Enciso destaca:

“que las ecuaciones admitan estas singularidades y que realmente existan en el universo son cosas distintas”.

El matemático Roger Penrose demostró en 1965 la existencia de las singularidades, un trabajo por el cual se le otorgó el premio Nobel de Física junto a Guez y Reinhard en 2020. Además, Penrose asumía una hipótesis según la cual en nuestro universo las singularidades deberían estar revestidas de un cierto horizonte, impidiendo así que podamos acceder a ellas. “Lo que se espera —comenta Enciso— y esto es lo que dice la conjetura de Penrose, es que estas singularidades desnudas no suelen pasar. Esto es un refinamiento muy potente de la idea inicial de que no se esperaba que existiesen agujeros negros, ya que no se consideraban más que curiosidades matemáticas. Es el equivalente a decir que si tú tienes dos planetas moviéndose no esperas que colisionen. Solo hay una forma en la que puedan colisionar, que es una línea recta. Pueden chocar, pero no es lo que esperas. Es esencialmente imposible que choquen”.

Huellas de un gigante silencioso

¿Cómo es posible dar con un agujero negro en la propia negritud del espacio? Pese a ser complicado, un paciente observador sabrá que no es imposible trazar la silueta de estas regiones del espacio-tiempo. Se puede inferir su existencia de distintas maneras; una de ellas, observando a sus acompañantes. Fue así como en 1964 se identificó el primer candidato de agujero negro, Cygnus X-1. Se trataba de un sistema binario; una estrella supergigante que se movía velozmente alrededor de un cuerpo masivo que, pese a pasar desapercibido dentro del espectro visible, emitía una fuente de energía muy brillante en rayos X.

Ya en 2019, el Telescopio de Horizonte de Sucesos (EHT por sus siglas en inglés) fue capaz de capturar por primera vez la sombra de un agujero negro gracias a la luz emitida por una ingente cantidad de gas acelerándose a medida que se acercaba al mismo. El protagonista de este retrato, que habita en la galaxia M87, es un agujero negro supermasivo de seis mil millones de veces la masa del Sol.

Antxon Alberdi, director del Instituto de Astrofísica de Andalucía y miembro del proyecto del EHT dice sobre la relevancia de la captura: “Es una imagen

icónica, que formará parte de los libros de texto de física y astrofísica para siempre. [...] Ya desde principios del siglo XX, con el desarrollo de la teoría de la



Primera imagen de un agujero negro en el centro de la galaxia Messier, obtenida en 2019.

relatividad de Einstein todos los descubrimientos sugerían que la imagen de un agujero negro debería ser tal y como la que hemos encontrado. O sea, ¡no solo es un concepto matemático! El objetivo del EHT no es tan solo probar la existencia de los agujeros negros, sino también comprender la física de los agujeros negros y de las inmediaciones del horizonte de sucesos”.



Precesión de Schwarzschild predicha por las ecuaciones de campo de Einstein.

Un año después, Andrea Guez y Reinhard Genzel, junto a Roger Penrose, recibían el Nobel de Física por sus casi tres décadas de observaciones de un cuerpo masivo en el centro de nuestra galaxia. El trabajo de Guez y Genzel mostraba cómo la estrella S2 mantenía alrededor del centro de la galaxia una órbita predicha por la teoría de la relatividad de Einstein, la precesión de Schwarzschild. Esta trayectoria es el resultado de la distorsión del espacio-tiempo por obra del objeto masivo, cuya atracción gravitatoria hace que el espacio rote a su alrededor, “arrastrando” a cualquier objeto y alterando su trayectoria natural. En lugar de mantener una órbita elíptica cerrada, la estrella iba trazando una elipse tras

otra, dando como resultado una roseta alrededor del centro de la Vía Láctea.

Los agujeros negros también pueden ser vistos de forma indirecta gracias a su actividad frenética. Antes de alcanzar el horizonte de sucesos, el punto a partir del cual ya no es posible evitar caer en la singularidad del agujero, la materia orbita a su alrededor durante un lapso de tiempo. Parte de esta materia acaba

traspasando finalmente el horizonte, mientras otra se acelera y calienta, desprendiendo una energía que sí podemos observar y que desenmascara, al fin, al vecino silencioso.

Además de alertar sobre la presencia de un cuerpo masivo, esta energía podría estar dando forma a nuestro cosmos. Una investigación realizada recientemente por el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) ha estado observando la influencia de los agujeros negros en la formación de estrellas de galaxias satélite, que son las que se encuentran en las inmediaciones de la galaxia principal. Su movimiento y evolución se ven influenciados por todo aquello que ocurre en el pozo de po-

tencial gravitatorio común a ambas. Pese a no ser principales, pueden ser muy masivas y mantienen su propio centro de masas. El estudio analizó 124.163 de ellas, con el fin de establecer si existe relación entre el desprendimiento de energía de los agujeros negros supermasivos que suelen habitar el centro de las galaxias principales y la evolución de sus satélites. Los resultados



Ignacio Martín Navarro.

mostraron que las galaxias satélite con menor producción de estrellas eran menos comunes a lo largo del eje menor de la galaxia central, lo cual resultaba contradictorio, ya que los agujeros negros suelen expulsar materia y energía a través de este disco, el camino de menor resistencia y menor recorrido.

Sobre este proceso, Ignacio Martín Navarro, investigador principal del estudio, comenta: “Lo que creemos es que todo el material sale por el eje menor, como una especie de escoba que elimina el gas del entorno de la galaxia principal”. Si una galaxia satélite no sufre interferencias y mantiene su propio gas sigue formando estrellas; sin embargo, si se encuentra a lo largo del eje mayor, donde todavía hay gas en la galaxia anfitriona, este choca con la galaxia satélite e impide que se formen nuevas estrellas. “Lo que puede estar pasando —comenta Martín Navarro— es que esta presión

tenga un efecto parecido a lo que ocurre cuando soplas una vela y se apaga. Para formar estrellas la galaxia necesita gas. Si ese gas se elimina, la galaxia satélite se “apaga”. Incluso aunque no se elimine el gas, esta presión podría calentarlo, retrasando así la formación de nuevas estrellas”. De este modo, la posición de las galaxias satélite con respecto a la galaxia principal determinará su evolución y la producción de nuevas estrellas. Esta nueva concepción redefine a los agujeros negros como una especie de semillas galácticas que moldean el aspecto del espacio-tiempo. Resulta natural pensar



Pablo Bueno.

que, sin ellos, el universo tal y como lo estamos descubriendo no existiría.

Nuevas y viejas teorías

A menudo se asegura que precisamos de una nueva física para comprender todos los procesos que ocurren en el interior de un agujero negro. Las leyes de lo grande y lo pequeño se ven enfrentadas una vez alcanzamos el horizonte de sucesos. Tratar de explicar ciertos fenómenos mediante el marco de la mecánica cuántica puede hacernos entrar en contradicción con la relatividad y viceversa... O al menos eso se pensaba. Desde el punto de vista teórico existe un conflicto entre la mecánica cuántica y los agujeros negros que tiene que ver con el hecho de que en cuántica los procesos

deben ser, en principio, siempre unitarios. Pablo Bueno, físico teórico e investigador del Centro Atómico de Bariloche (Buenos Aires), explica: “En mecánica cuántica que un estado sea puro no quiere decir que yo sepa todo lo que me gustaría saber sobre un objeto. Simplemente decimos que tenemos toda la información que existe y que está disponible. Las reglas de la cuántica nos dicen que los estados puros evolucio-



Los agujeros negros plantean incógnitas que la física trata de resolver unificando gravedad y mecánica cuántica.

nan, por medio de la ecuación de Schrödinger, a otros estados que siguen siendo puros, de máxima información.”

Sin embargo, en los agujeros negros se presenta una paradoja, la llamada ‘pérdida de información’, según la cual el grueso de la información sobre el estado cuántico de un cuerpo se pierde cuando es introducido en el agujero negro. Como a un agujero negro solo le caracteriza su masa, su carga eléctrica y su momento angular, no podemos conocer el estado inicial de todo cuanto atravesó el horizonte de sucesos. “No sabes si un agujero negro de Schwarzschild —al cual solo le caracteriza su masa— ha aumentado porque se ha tragado gallinas, botellas o balones ya que, una vez estos cuerpos entran

en el agujero lo único que puedes conocer de ellos es su masa, es decir; has perdido una cantidad de información bestial, y esto según la cuántica no debería suceder”, dice Bueno. Parte de los esfuerzos de la física teórica están siendo dedicados en este momento a tratar de conciliar los fenómenos característicos de la cuántica con la intensa gravedad mediante la cual se forman los agujeros negros. “Saber qué

pasa cerca de una singularidad sigue siendo un problema grande, todavía no lo entendemos muy bien...”, añade. Al margen de eso, “hay teorías bastante sólidas que nos indican que la información de lo que ocurre dentro de un agujero negro no se pierde. En lugar de eso, estaría codificada de alguna forma y sería recuperable, al menos en la teoría”. Desde Stephen Hawking hasta Juan Maldacena, pasando por Gerard 't Hooft, los agujeros negros han sido el escenario ideal para comprender cómo funciona nuestro universo en condiciones extremas. El anhelo por alcanzar una teoría capaz de explicarlo todo permanece tras la sombra de estos extraños y sutiles demiurgos del espacio y el tiempo. ©

La agricultura intensiva tiene un importante impacto en el medio natural.

La pérdida de biodiversidad amenaza a una de cada ocho especies, incluida la nuestra

El escudo roto

Según la Plataforma Intergubernamental sobre la Biodiversidad y los Servicios de los Ecosistemas (IPBES), impulsada por Naciones Unidas, una de cada ocho especies está en riesgo de desaparecer en las próximas décadas. Lo peor es que con su pérdida se deterioran los ecosistemas de los que dependemos también nosotros, porque la biodiversidad es un escudo para nuestra especie. La comunidad científica asegura que estamos viviendo en directo la sexta

extinción masiva de la historia del planeta. La anterior, ocurrida hace 65 millones de años y provocada por la caída de un meteorito, se llevó por delante a los dinosaurios. Esta vez el meteorito somos nosotros y nuestras actividades. Pero quizás en nuestro pecado llevemos nuestra penitencia: ¿En qué lado estaremos los humanos, con los desaparecidos mamuts o con las supervivientes cucarachas?

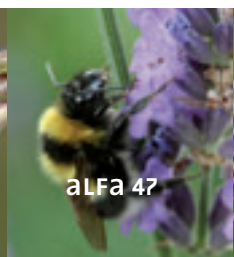
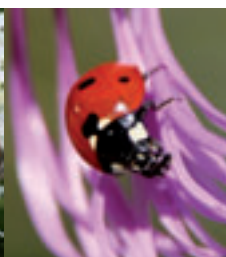
■ Texto: **Elvira del Pozo** | Periodista de ciencia ■

Rinoceronte de Java, tortuga laúd, gorila de montaña, tigre, mariposa monarca, panda gigante, pingüino de Magallanes, atún rojo. Son algunos de los protagonistas involuntarios de la Lista roja de la Unión Internacional para la

Conservación de la Naturaleza (UICN), que contiene las especies más amenazadas del planeta. Una lista cada vez más larga, porque una de cada ocho especies está en riesgo de extinguirse en las próximas décadas, alerta el último informe de la

Plataforma Intergubernamental sobre la Biodiversidad y los Servicios de los Ecosistemas (IPBES), organismo independiente impulsado por la ONU.

Hasta ahora, y en solo 50 años, se han perdido dos tercios de la fauna salvaje





Falk: “Las especies son como ladrillos en la construcción de un edificio. Podemos perder una o dos docenas de ladrillos sin que la casa se tambalee. Pero

ecosistemas. El término engloba también la diversidad genética de los individuos respecto a otros de su misma especie y con otras distintas. Y aun va más allá: la



Gema Rodríguez.

de la Tierra, avisa el “Informe Planeta Vivo 2020” de WWF. Se trata de un “declive grave y continuado” como lo califica el reciente informe sobre el estado sobre la biodiversidad Europea de la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA). Tal es la reducción de la biodiversidad que la comunidad científica ya habla de que estamos inmersos en la sexta extinción masiva de especies en la historia de la Tierra. Las anteriores, antes de la aparición del hombre, acabaron con entre el 60 y el 95 por ciento de todos los seres que existían.

La pérdida de especies es irreversible y su impacto va mucho más allá de acabar con un volumen único de una valiosa biblioteca, como ocurrió con los papiros de la biblioteca de Alejandría. Así lo denunciaba el ecólogo de la Universidad de Arizona (EE UU) Donald

si desaparece el 20 % de las especies, la estructura entera se desestabiliza y se derrumba”.

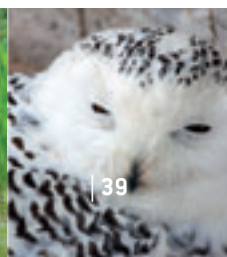
“La idea de biodiversidad es difícil de captar por la población en general, más allá de entender que especies concretas están en peligro, muchas de ellas carismáticas como el oso polar y el lince ibérico. Pero eso es solo una parte muy pequeña”, explica Unai Pascual, investigador del Centro Vasco sobre Cambio Climático y uno de los autores del Informe de la Evaluación Mundial sobre la Diversidad Biológica y los Servicios de los Ecosistemas de IPBES.

La biodiversidad engloba al conjunto de seres vivos que viven en un mismo lugar, entre los que se incluyen animales, plantas, hongos y microorganismos. Todos se relacionan entre ellos y con su entorno, y de manera conjunta forman los

biodiversidad no solo son seres sino también los procesos que se generan mediante su interacción.

“La reducción de biodiversidad afecta a la funcionalidad de ecosistemas, lo que no solo tiene impacto en la naturaleza sino en la sociedad a corto y largo plazo porque dependemos de ellos para nuestro bienestar e incluso nuestra supervivencia”, apunta Pascual. Se refiere a que producen muchos de los servicios que necesitamos como el aire limpio, el agua dulce, suelos fértiles, cultivos polinizados y mitigación de peligros naturales, entre otros muchos.

Las plantas transforman la energía solar en tejido, que es la base alimentaria del resto de formas de vida. Los microorganismos descomponen la materia orgánica en nutrientes que se incorporan al suelo donde son aprovechados por la vegetación



La biodiversidad es la vacuna

“La mejor manera de prevenir una pandemia es preservar la biodiversidad”, explica Unai Pascual, uno de los 22 expertos de todo el mundo que ha participado en el informe sobre biodiversidad y pandemias publicado recientemente por la plataforma IPBES.

Desde 1918, cuando se produjo la mal llamada peste española, ha habido unas seis pandemias, todas ellas relacionadas con mecanismos zoonóticos. Es decir, que microorganismos que vivían en aves y mamíferos han saltado al hombre. “Esos virus, que no afectan a esos animales, pero sí al humano, siempre han existido, pero como estamos afectando severamente los hábitats naturales en los que viven, que actúan de área *buffer*, se ha forzado a un acercamiento e interacción entre los humanos y las especies con reservorios de virus que pueden acabar generando pandemias como la covid-19”, cuenta el investigador.

Así que el riesgo de que nuevas enfermedades provenientes de fauna silvestre afecten a la humanidad no para de crecer, advierte el estudio de IPBES. Además, señala que entre 631.000 y 827.000 virus desconocidos acechan en el medio natural y podrían infectar a las personas. No obstante, Pascual subraya que “el problema no está en la fauna silves-

tre, sino en cómo maltratamos la naturaleza. Para prevenir nuevas pandemias de origen zoonótico, debemos de cambiar de raíz nuestra relación con la naturaleza y proteger la biodiversidad”, señala Pascual.

El informe sobre biodiversidad y pandemias de IPBES pronostica que habrá episodios de estos más frecuentes, mortales y costosos, a lo que contribuye también que vivimos en un mundo globalizado, con un movimiento constante de mercancías y personas. “Si no cambiamos radicalmente de rumbo estaremos generando las condiciones para que suceda otra tormenta perfecta con impactos desconocidos que pueden ser incluso peores que los de la covid-19. Deberíamos hacer caso al dicho que dice: es mejor prevenir que curar”, apunta Pascual.

Los impactos económicos actuales son cien veces más altos que el coste estimado de la prevención, calcula el informe. Y propone crear un Consejo Intergubernamental para la Prevención de Pandemias; y abordar los factores de riesgo, incluida la deforestación y el comercio de vida silvestre. Propone impuestos a las actividades de alto riesgo pandémico. ▶



Unai Pascual.

para crecer. Los insectos polinizadores son esenciales en su reproducción, lo que garantiza nuestra producción de alimentos. Las zonas verdes y los mares son grandes sumideros de carbono, que evitan el sobrecalentamiento de la Tierra. De ellos también depende el ciclo del agua.

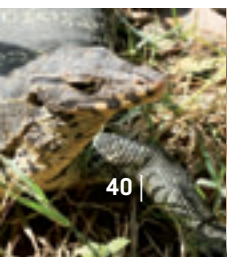
Somos la causa

“La evidencia científica es tan contundente, que está fuera de discusión: las actividades humanas son el impulsor de la

masiva pérdida de biodiversidad y, además, el modelo socio-económico actual está acelerándolo”, resume Pascual una de las principales conclusiones del informe de IPBES tras revisar décadas de investiga-

ciones en todo el mundo. A la misma idea llega la publicación científica de la organización ecologista WWF, que va por su decimotercera edición y cuenta con datos desde 1970.

“La principal causa directa es el deterioro del hábitat por cambios del uso del suelo debido a la construcción de infraestructuras, a la agricultura intensiva y a la sobreexplotación de recursos hídricos, entre otros muchos”, cuenta Gema Rodrí-



La sobreexplotación de los recursos pesqueros está llevando al borde de la extinción a muchas especies marinas.



SHUTTERSTOCK

y los cambios de usos del suelo”, apunta la activista.

Lo que no se ve

Detrás de estos cinco impulsores directos, que son fáciles de medir, están los indirectos, “que son los más importantes”, explica Pascual. Se trata de los sistemas económicos y de gobernanza, y por tanto de las normas, políticas, reglas que regulan los mercados nacionales e internacionales, la demografía... y, aun más profundo, subyacen los valores sociales, culturales y sobre salud, entre otros muchos, “que parecen invisibles, pero tienen un gran efecto sobre nuestro comportamiento y las acciones que impactan sobre la naturaleza”, puntualiza.

“Los valores que tenemos sobre la naturaleza, son múltiples y complejos y son los que realmente hacen que nuestra relación con ella sea de una forma u otra; interactúan con los impulsores indirectos y son los responsables últimos de llevar a la naturaleza a unos límites no sostenibles”, añade el investigador. Además, “los ritmos en la toma de decisiones a nivel político son demasiado cortoplacistas comparados con los más largos de la naturaleza, desde el clima hasta la regeneración de cualquier ecosistema”. Los ciclos electorales tienen una duración insignificante frente al inmenso tiempo que necesita un entorno para recomponerse tras ser degradado.

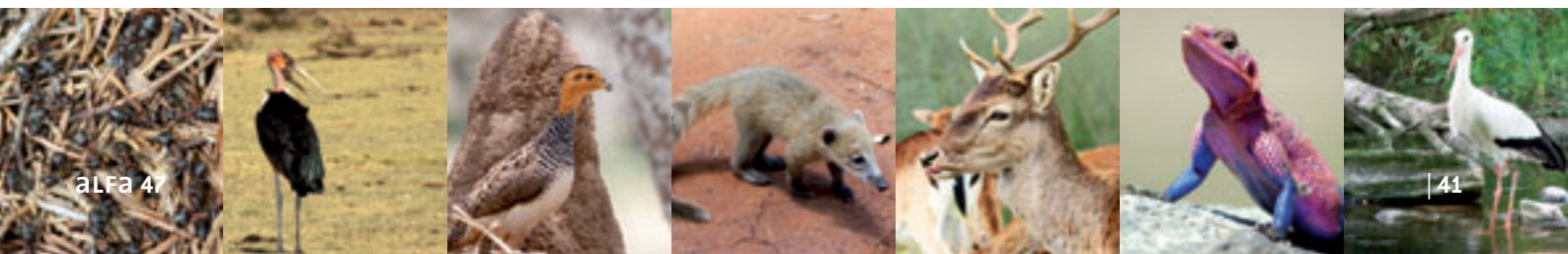
Pascual está actualmente dirigiendo a unos 300 expertos de todo el mundo para elaborar un nuevo informe de IPBES sobre los múltiples valores de la naturaleza, que ayude a entender estas pulsiones que mueven el mundo y así poder trabajar sobre ellas. Aunque los resultados verán la luz el año que viene, el investigador adelanta que “que la crisis climática y de biodiversidad son la punta del ice-

berg, responsable del programa de especies amenazadas de WWF España. Los estudios reflejan que el 75 % de la superficie terrestre libre de hielo ha sido gravemente modificada por los humanos; un tercio de ella por el sector agrario.

Además, está la sobreexplotación —pesca, caza, tráfico de especies— y la contaminación, principalmente de las aguas y por plásticos, señala el informe de WWF. También identifica otras dos causas que han ido adquiriendo prota-

gonismo en las últimas décadas. Por un lado, están las especies invasoras, que desplazan a las autóctonas y que “son responsables de la desaparición del 16 % de las especies en todo el mundo”, señala Rodríguez.

Por último, estaría el cambio climático, que “puede estar causando directamente la desaparición de especies, pero actúa principalmente como vector indirecto, exacerbando otras amenazas como son las enfermedades, las sequías



Una historia de amor y odio

El 21 de junio de 2021, se publicó el primer informe global conjunto de las Plataformas sobre Biodiversidad (IPBES) y sobre Cambio Climático (IPCC). Hasta ese momento, las comunidades científicas que integran cada organismo trabajaban de manera separada, cada cual centrada en su tema. Algo llamativo dado que “los principales impulsores de ambas crisis son los mismos y que para atajar el cambio climático hay que tener en cuenta la biodiversidad, y al contrario”, explica Unai Pascual, que es uno de los 50 investigadores que ha participado en la elaboración del estudio.

Involuntariamente, los cambios climáticos y de biodiversidad han competido por la atención de los políticos y los medios. Y el protagonismo en las pasadas décadas se lo llevó el clima. “Esto relegó al segundo plano a la crisis de biodiversidad que creo que en ciertos aspectos se puede entender como aún más grave”, señala el investigador. El informe ha equilibrado la atención en los dos temas, que no dejan de ser dos aspectos de la crisis ambiental global. ▶

berg de una crisis socioecológica estructural en la cual la degradación de la naturaleza está íntimamente ligada a una fe ciega en el crecimiento económico como base del desarrollo”.



La deforestación es una de las principales causas de pérdida de biodiversidad.

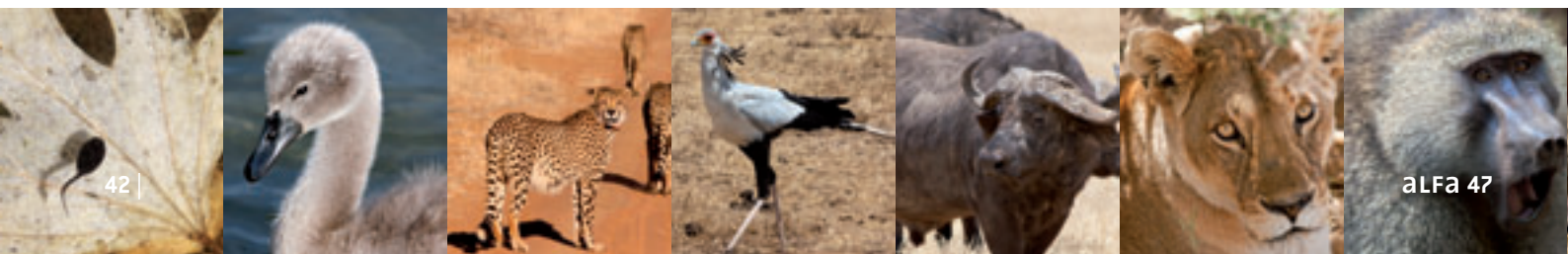
Cuidar la casa común

Rodríguez, de WWF, señala que “además de hacer un especial esfuerzo de conservación con las especies amenazadas, la solución pasa por incluir en cada planificación, a cualquier nivel, la variable de la biodiversidad. Que toda decisión política y económica respete los límites del planeta”. En Europa, esto es lo que pretende la Estrategia sobre Biodiversidad para 2030. Su cumplimiento es optativo por lo que la transición a estos modelos necesita de leyes o marcos legales específicos que integren esta manera de producir y consumir más sostenible.

Este es uno de los principales escollos en el actual debate europeo y nacional de la Política Agraria Común (PAC)

2023-2027. “Pedimos una PAC más verde para que los usos agrarios no contribuyan a la extinción de especies, que se usen menos pesticidas, y que la degradación de hábitats de especial valor ambiental no esté financiada con dinero público”, cuenta la activista.

Pero la eficacia de las medidas locales provoca a veces que se desplace el impacto a otro lado, apuntaba recientemente en un artículo de EFE Verde la ecóloga Sandra Díaz, Premio Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento 2021 en Ecología y Biología de la Conservación. Estudios publicados en las revistas científicas Nature y PNAS corroboran esta idea y aseguran que “la tercera parte de las amenazas a especies animales y alrededor del 40 %





Cada vez son más frecuentes los fenómenos meteorológicos extremos, como las inundaciones.

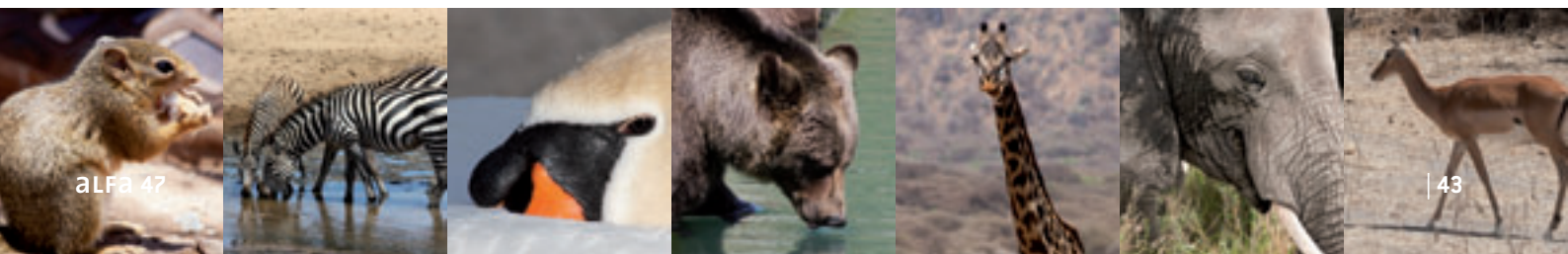
de la extracción de recursos naturales en el mundo están relacionadas con el comercio internacional; es decir, son propulsadas por consumidores en países distintos de aquel donde el factor de riesgo se manifiesta físicamente”.

Para enfrentar el problema a nivel global, el próximo octubre se celebrará en China la Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Diversidad Biológica, donde se decidirán los objetivos para los próximos 10 años sobre la conservación de la biodiversidad en todo el mundo. Se renovarán así las 20 metas para 2011-2020, que se firmaron durante la COP 10 sobre biodiversidad que se llevó a cabo en la provincia de Aichi, Japón, en 2010.

Díaz, que colabora frecuentemente con Pascual, insiste en que “sirve de poco actuar en sectores de manera aislada, requiere un esfuerzo integral y a todos los niveles, desde lo individual hasta lo intergubernamental”. En la misma línea opina el también premiado Rei Jaume I 2021 en la categoría de Protección del Medio Ambiente, Fernando Valladares. En una charla TED proclamaba que “evitar la colisión del humano contra sí mismo requiere una transformación real de la sociedad y de los modelos económicos; todo lo demás es poner parches con los que ni siquiera se gana tiempo. Entonces, el sacrificio no va a venir por el cambio de vida, sobre todo en los países que más recursos tienen y que tienen más capacidad de cambio, sino

de los impactos cada vez más frecuentes e intensos que vamos a experimentar”.

Pascual comparte esa visión de urgencia y oportunidad aunque considera que no se trata tanto de un sacrificio como de una inversión. “La biodiversidad es el seguro de vida más importante que tiene la humanidad e invertir en ella va a aportarnos muchos beneficios”, señala. “Tenemos las herramientas, tenemos el conocimiento, tenemos los recursos económicos; todo lo necesario para darle la vuelta a esta situación. Lo que necesitamos es que a nivel social y a nivel político exista un deseo genuino de querer cambiarlo; y hacerlo de manera coordinada, compartida y justa”, concluye.





Equipo de vigilancia radiológica de la chatarra en una instalación siderúrgica.

El control de las fuentes radiactivas huérfanas

España dispone, desde hace décadas, de un riguroso sistema de control regulador para el uso y posesión de las fuentes radiactivas, que se fundamenta en el Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas, aprobado por Real Decreto 1836/1999, de 3 de diciembre, y el Reglamento sobre Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes, aprobado por Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, por los que se llevó a cabo la trasposición de la Directiva 96/29/Euratom del Consejo, de 13 de mayo de 1996, que establece las normas básicas relativas a la protección sanitaria de los trabajadores y de la población contra los riesgos que resultan de las radiaciones ionizantes. Esta Directiva fue actualizada en el 2013 mediante la Directiva 2013/59/Euratom de 5 de diciembre.

■ Texto: **Juan Pedro García Cadierno** | Jefe de Área de Coordinación de Operaciones de Emergencia ■

Aunque la reglamentación vigente permite asegurar el control de fuentes radiactivas utilizadas en todo tipo de sectores y actividades, no puede descartarse la existencia de algunas fuentes que estén al margen del sistema de control, denominadas fuentes huérfanas, bien porque hayan sido utilizadas antes de la implantación de este, o porque proceden de otros países, mezcladas con otras mercancías, como puede ser el caso de materiales metálicos destinados al reciclaje.

La presencia de material radiactivo en las materias primas del reciclado de metales (chatarras férricas y no férricas) constituía a mediados de los años noventa una preocupación en este sector industrial español, conocedor de algunos incidentes de fusión de fuentes ocurridos en otros países, y sus clientes empezaban a requerir la certificación de que sus productos contenían niveles de radiactividad muy por debajo de los niveles de exención. Este hecho ha dado lugar a la implantación de una serie de iniciativas en los ámbitos nacional e internacional, con el fin de detectar y evitar tales acontecimientos, ya sean intencionados o accidentales.

En mayo de 1998, se fundió una fuente de Cs-137 en una acería en el sur de España que contaminó la instalación, ocasionó importantes gastos a su titular para la descontaminación de la acería y la paralización de una línea de producción durante tres meses. Además, tuvo una amplia repercusión mediática nacional e internacional.

Este incidente dio lugar a la creación del Protocolo de Colaboración para la Vigilancia Radiológica de los Materiales Metálicos, firmado en 1999 y conocido como *Protocolo de la chatarra* o, en el ámbito internacional, *Protocolo Español*. Junto con otras iniciativas, tanto nacionales como internacionales, ha dado lugar a la entrada en vigor del Real Decreto 451/2020 de 10 de marzo, sobre el control y recuperación de fuentes radiactivas huérfanas.

Pero desde la creación del Protocolo hasta la entrada en vigor del Real Decreto han sucedido una serie de hechos relevantes.

Del Protocolo al Real Decreto

En 1999 se firmó el *Protocolo de la chatarra*. Desde este año hasta la entrada en vigor del RD 451/2020 se han producido la secuencia de hechos esquematizada en la figura 1. A finales de ese mismo año, se publicó el Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas (RINR), una actualización del Decreto 2869/1972, que se realizó para incorporar las normas básicas de la Unión Europea, recogidas en la Directiva 96/29/Euratom. El RINR actualiza las actividades de radionucleidos exentas de control administrativo.

En el año 2001 se publicó el Reglamento de Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes (RPSCRI), revisión del RD 53/1992, que establece criterios de estimación de dosis considerados razonables para proteger a las personas, tanto en una actividad laboral como en otras situaciones de exposición a fuentes artificiales de radiación o a fuentes naturales de radiación que supongan incrementos significativos de dosis. Además, este reglamento traspone a la normativa nacional los aspectos de la Directiva 96/29/Euratom que no habían sido tratados en el RINR.

A principios del año 2002 se organizaron en Sevilla las Jornadas sobre Prevención de Riesgos Radiológicos en el Reciclaje de Metales, donde el entonces Ministerio de Economía, el CSN y Enresa compartieron su experiencia con los Estados miembros y con la Comisión Europea en el desarrollo del protocolo español. El objetivo era crear una iniciativa, dentro del marco comunitario, para minimizar los riesgos y la presencia de material radiactivo en los productos metálicos destinados al reciclaje. En mayo de ese año, se publicó una resolución del Consejo sobre la creación de sistemas na-



Figura 1. Cronología de hechos en relación con las fuentes radiactivas huérfanas.

cionales de vigilancia y control de la presencia de materiales radiactivos en el reciclaje de materiales metálicos (DOUE C119 de 22 de mayo de 2002), que invitaba a los Estados miembros a que examinaran las medidas necesarias para reducir al mínimo los riesgos radiológicos derivados de este problema, con vistas a completar, si procedía, sus normativas de aplicación de la legislación Euratom. Además, animaba a que se adoptasen medidas precisas para crear sistemas nacio-

nales para reducir el riesgo radiológico en el reciclaje de metales.

En el año 2003, se publicó la Directiva 2003/122/EURATOM sobre fuentes selladas de alta actividad, ya que “aunque los requisitos jurídicos de la legislación vigente en el ámbito nacional y comunitario garantizan una protección básica, las fuentes de actividad elevada encierran todavía considerables riesgos potenciales para la salud humana y el medio ambiente y, por lo tanto, deben estar sujetas

a un control estricto desde su fabricación hasta el momento en que se las pone en una instalación reconocida para ser almacenadas a largo plazo o eliminadas”. Además, se reconocía que la existencia de fuentes huérfanas exige que se tomen iniciativas específicas para devolver dichas fuentes al control regulador.

En 2003, se publicó la Guía de Seguridad GS-10.12 del CSN sobre Control radiológico de actividades de recuperación y reciclado de chatarras, con el objetivo de recomendar medidas de seguridad y protección radiológica encaminadas a la prevención de riesgos radiológicos en personas y en el medio ambiente derivadas de la presencia de elementos radiactivos en materiales metálicos.

En ese mismo año entró en vigor la Revisión 1 del *Protocolo de la chatarra* de 1999, que modificó el punto cuatro para quedar redactado así: “Celebrar consultas con periodicidad semestral, o cuando las partes lo consideren oportuno, para lo cual se constituye un grupo de trabajo denominado Comisión Técnica para el seguimiento del Protocolo de Colaboración para la Vigilancia Radiológica de los Materiales Metálicos, al objeto de analizar los resultados de la puesta en práctica de este Protocolo, interpretar el contenido de su Anexo Técnico y, en su caso, acordar e incorporar a este Anexo las posibles modificaciones que dicha puesta en práctica pudiera aconsejar”. Esta nueva revisión fue aprobada por otros organismos firmantes del protocolo que se adhirieron a este después de su firma inicial en 1999: Federación Minerometalúrgica de Comisiones Obreras; Federación Estatal del Metal, Construcción y Afines de la Unión General de Trabajadores; Asociación Española de Refinadores de Aluminio; Unión Nacional de Industrias del Cobre y Unión de Industrias del Plomo.

La directiva 2003/122/EURATOM fue trasladada al marco jurídico español mediante el Real Decreto 229/2006, de 24 de

febrero, sobre el control de fuentes radiactivas encapsuladas de alta actividad y fuentes huérfanas; cuyo objeto es evitar la exposición de los trabajadores y del público a las radiaciones ionizantes, como consecuencia de un control inadecuado de las fuentes radiactivas encapsuladas de alta actividad y de la posible existencia de fuentes huérfanas. En relación con estas, el real decreto contempla la existencia de acuerdos relativos a la vigilancia, control y procedimientos de actuación en las instalaciones, lugares o situaciones donde es más probable que aparezcan o se procesen este tipo de fuentes (artículo 11.2), con referencia implícita al protocolo.

En 2009, tuvo lugar la Conferencia Internacional sobre Control y Gestión del Material Radiactivo Inadvertidamente Incorporado a la Chatarra Metálica, organizada por el CSN en colaboración con el OIEA en Tarragona, entre los días 23 y 27 de febrero. Su objeto era compartir experiencias a nivel internacional y contribuir a la resolución de problemas provocados por la presencia inadvertida de material radiactivo en la chatarra. Entre las conclusiones y recomendaciones identificadas estaba que la experiencia española, con su protocolo, había demostrado el valor de un enfoque integral del problema y se animaba a todas las partes involucradas (Administración, empresas y sindicatos) a asumir que todas son parte de la solución.

En 2010, y como consecuencia de los atentados terroristas, se firmó el Protocolo de Actuación en caso de Detección de Movimiento Inadvertido o Tráfico Ilícito de Material Radiactivo en Puertos de Interés General (Protocolo Megaport). Los organismos involucrados fueron: la Agencia Estatal de Administración Tributaria, la Secretaría de Estado de Seguridad, la de Transportes, la de Energía, el CSN y Enresa. Su objeto era establecer las actuaciones a seguir en caso de detectarse un evento así en España, con el fin de reubicarlo y gestionarlo en las debidas condiciones de se-

guridad física y protección radiológica, así como facilitar la adopción de las medidas complementarias en cada situación por parte de las autoridades competentes y los diversos agentes identificados.

El OIEA publicó en el año 2012 una guía específica de seguridad SSG-17 sobre Control de Fuentes Huérfanas y Otros Materiales Radiactivos en las Industrias de Reciclado y Producción de Metales. Su objetivo primordial era formular recomendaciones para los gobiernos y las autoridades nacionales, incluidos los órganos reguladores, sobre la aplicación de los principios fundamentales de seguridad, mediante el cumplimiento de los requisitos adecuados. Adicionalmente se formulaban recomendaciones generales para las industrias de reciclado y producción de metales sobre las disposiciones que se deberían adoptar para proteger a los trabajadores, los miembros de la población y el medio ambiente.

A finales de 2013 se publicó la Directiva 2013/59/EURATOM de 5 de diciembre, por la que se establecen las normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes, y se derogan las Directivas 89/618/EURATOM, 90/641/EURATOM, 96/29/EURATOM, 97/43/EURATOM y 2003/122/EURATOM. Sobre el reciclado de materiales metálicos indica la necesidad de modificar la Directiva 2003/122/EURATOM a fin de ampliar algunos de los requisitos para incluir cualquier fuente radiactiva. Sigue habiendo problemas no resueltos en lo referente a las fuentes huérfanas y ha habido casos notables de metales contaminados importados de terceros países. Debe, por lo tanto, introducirse un requisito para la notificación de incidentes con fuentes huérfanas o la contaminación de metales. Además, indica la necesidad de adoptar medidas para prevenir la fundición accidental de fuentes huérfanas, así como para garantizar que los metales li-

Tabla 1 Cronología de hechos del Real Decreto 451/2020

■ Inicio (Oct/2016)
■ Elaboración del primer borrador. (Abr/2017)
■ Trámite de audiencia e información pública. (Ene/2018)
■ Evaluación de comentarios. (Jun/2018)
■ Elaboración del segundo borrador. (Jun/2018)
■ Envío del borrador al resto de las SGT de otros ministerios (Sep/2018)
■ Envío al CSN para aprobación por parte del Pleno. (May/2019)
■ Informe del Consejo de Estado (Nov/2019)
■ Aprobación del nuevo RD por el Consejo de Ministros (Mar/2020)
■ Publicación en el Boletín Oficial del Estado (Abr/2020)
■ Entrada en vigor del nuevo RD (Día siguiente a su publicación en BOE)

berados de las instalaciones nucleares, por ejemplo, durante las operaciones de desmontaje, cumplan los criterios de desclasificación. En el artículo 106 de dicha directiva se indica que los Estados miembros pondrán en vigor las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas para dar cumplimiento a lo establecido en ella.

Los artículos de la directiva relacionados con la gestión y control de los materiales metálicos son los siguientes:

- Art. 16: Información y formación de trabajadores potencialmente expuestos a fuentes huérfanas.
- Art 92: Detección de fuentes huérfanas.
- Art. 93: Contaminación de metales.
- Art. 94: Recuperación, gestión, control y almacenamiento definitivo de las fuentes huérfanas.
- Art. 95: Garantía financiera para las fuentes huérfanas.

Conviene señalar que estos artículos no eran nuevos, ya que se habían incluido en la Directiva 2003/122/EURATOM, a excepción de los artículos 92.1 y 93; de nueva creación.

Siendo el OIEA consciente de la brecha existente en el marco global de la seguridad radiológica, en el sentido de implementar disposiciones adecuadas para evitar la introducción de material radiactivo en los movimientos transfronterizos

de materiales metálicos; en el año 2014 se realizaron reuniones técnicas abiertas entre los países miembros para crear un código de conducta en el movimiento transfronterizo de los materiales metálicos en 2010, 2011, 2012 y 2013. Este código de conducta está inspirado en gran parte en el llamado Protocolo español, el cual es un acuerdo voluntario entre los sindicatos, la industria y el Gobierno. Este código de conducta se produce como consecuencia de las recomendaciones dadas en la Conferencia Internacional de Tarragona y en diferentes resoluciones de las Conferencias Generales anuales del OIEA, que tienen lugar en Viena.

En 2015 y como consecuencia de las diferentes reuniones de Comisión Técnica del protocolo, se decide dar una nueva revisión al Anexo Técnico del mismo. En dicha revisión se redacta una serie de requisitos mínimos que las empresas adscritas deben cumplir para poder proceder a la transferencia del material radiactivo a ENRESA. Además, se indican plazos para devolver el material radiactivo a su control regulador.

El Real Decreto 451/2020

En el año 2016, se creó un grupo de trabajo entre representantes del Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital (actual Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico) y el CSN,

para la trasposición de la Directiva 2013/59/EURATOM en lo relacionado con los materiales metálicos. Finalmente, en 2020 se publicó el Real Decreto 451/2020 de 10 de marzo, sobre control y recuperación de las fuentes radiactivas huérfanas (BOE nº 117, de 27 de abril de 2020). En la tabla 1 se puede ver la cronología de hechos asociados.

La estructura del Real Decreto consta de 4 capítulos con un total de 21 artículos, 2 disposiciones adicionales, 1 disposición derogatoria, y 6 disposiciones finales. El índice del real decreto se puede ver en la Tabla 2.

La Directiva 2013/59/Euratom del Consejo, de 5 de diciembre de 2013, por la que se dictaron normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes, y se derogaron las Directivas 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom y 2003/122/Euratom, establece el nuevo marco legal comunitario de, entre otras materias, las fuentes radiactivas huérfanas, a las que podemos definir como aquellas fuentes radiactivas que están fuera del control reglamentario y, por tanto, carecen de todo tipo de supervisión.

Con anterioridad a la aprobación de dicha directiva, el marco legal comunitario para las fuentes huérfanas estaba constituido por la Directiva 2003/122/Euratom, de 22 de diciembre de 2003, sobre el control de las fuentes radiactivas selladas de actividad elevada y de las fuentes huérfanas, que fue transpuesta al ordenamiento jurídico español por el Real Decreto 229/2006, de 24 de febrero, sobre el control de fuentes radiactivas encapsuladas de alta actividad y fuentes huérfanas. La necesidad de modificación de dicha directiva surgió de los problemas no resueltos referentes a las fuentes huérfanas, como la aparición de metales contaminados importados de terceros países.

El real decreto persigue la adopción de medidas que refuercen la protección radiológica de los trabajadores y de los miembros del público, además de la seguridad de las propias fuentes radiactivas huérfanas. Entre estas medidas, podemos citar el establecimiento de requisitos de vigilancia y control radiológico en las instalaciones donde es más probable que aparezcan fuentes huérfanas, como las instalaciones destinadas a la recuperación, almacenamiento o manipulación de materiales metálicos para su reciclado, y los lugares con un tránsito importante de personas o mercancías. Además, se establecen procedimientos de actuación claros y estructurados, que se deben adoptar en las instalaciones en caso de detección o procesamiento de fuentes, siendo prioritaria la protección de los trabajadores y de los miembros del público, así como la seguridad de la propia fuente.

Una de las principales novedades de este real decreto es la habilitación de un registro en el Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico, en el que se deben inscribir las instalaciones destinadas a la recuperación, almacenamiento o manipulación de materiales metálicos para su reciclado.

Además, se fijan unos requisitos de instrumentación que se deben cumplir en estas instalaciones, y que dependen del tipo de actividad que se lleve a cabo en las mismas y de la cantidad de materiales metálicos que procesen anualmente. En la tabla 3 se pueden ver cuáles son los requisitos de instrumentación que se encuentran indicados en el artículo 7 del real decreto. Como puede observarse, se introducen unos requisitos de instrumentación dependiendo de la actividad industrial y de la cantidad. En esta tabla se indica que aquellas plantas productivas que procesen menos de 1000 toneladas por año están exentas de poseer instrumentación radiológica, aunque se recomienda la adquisición de una instru-

Tabla 2 Índice del Real Decreto 451/2020

Cap I. Disposiciones generales
Artículo 1. Objeto y ámbito de aplicación.
Artículo 2. Definiciones.
Artículo 3. Autoridades competentes.
Cap II. Instalaciones destinadas a la recuperación, almacenamiento o manipulación de materiales metálicos para su reciclado
Artículo 4. Vigilancia y control radiológicos.
Artículo 5. Protocolo de colaboración.
Artículo 6. Registro de instalaciones.
Artículo 7. Requisitos de instrumentación por instalación.
Artículo 8. Actuaciones en caso de detección de material radiactivo.
Artículo 9. Actuaciones ante accidentes o emergencias radiológicas.
Artículo 10. Importaciones de metales.
Cap III. Lugares importantes de tránsito
Artículo 11. Puertos marítimos de interés general.
Artículo 12. Otros lugares importantes de tránsito de personas o mercancías.
Cap IV. Otras disposiciones
Artículo 13. Transferencia de material radiactivo sin titular.
Artículo 14. Información y formación de los trabajadores.
Artículo 15. Respuesta ante emergencias radiológicas.
Artículo 16. Programa de sensibilización general.
Artículo 17. Actuaciones en el caso de presencia de fuentes huérfanas.
Artículo 18. Campañas de recuperación de fuentes huérfanas.
Artículo 19. Recursos financieros para la gestión de fuentes huérfanas
Artículo 20. Inspecciones.
Artículo 21. Infracciones y sanciones.
Disposición adicional primera. Prevención de riesgos laborales.
Disposición adicional segunda. Protección de la salud.
Disposición derogatoria única. Derogación normativa.
Disposición final primera. Modificación del Real Decreto 229/2006.
Disposición final primera. Referencia del Real Decreto 229/2006 en la Ley 15/2012.
Disposición final tercera. Título competencial.
Disposición final cuarta. Incorporación de derecho comunitario de la Unión Europea.
Disposición final quinta. Habilitación para el desarrollo reglamentario y de aplicación.
Disposición final sexta. Entrada en vigor.

mentación portátil. Esta exención solo aplica a la posesión de instrumentación portátil, no así a su inscripción, que resulta de obligado cumplimiento.

Se contempla la existencia de otros acuerdos de carácter voluntario, como el Protocolo de Colaboración para la Vigilancia Radiológica de los Materiales Metálicos, y el Protocolo Español de Actuación en caso de Movimiento Inadvertido

o Tráfico Ilícito de Material Nuclear y Radiactivo en Puertos de Interés General.

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede decir que, gran parte de los objetivos que se persiguen con la modificación de la Directiva 2003/122/Euratom, ya habían sido adoptados por España con la adopción del referido protocolo, si bien, con la aprobación de este real decreto, algunos de los compromisos

Tabla 3 Instrumentación radiológica dependiendo del tipo de actividad de la empresa

	Pórtico de detección	Instrumentación portátil	Espectrómetro de proceso
Fundición que procesa chatarra de paquete de estampación y otros materiales metálicos directamente de fabricante		X	
Fundición que procesa al año más de 10.000 Tm de chatarra	X	X	X
Fundición que procesa al año 10.000 Tm de chatarra o menos		X	
Acería	X	X	X
Empresa con Fragmentadoras	X	X	
Empresa con prensas cizallas cuya fuerza de corte sea superior a 500.000 kg	X	X	
Instalación que procese al año más de 100.000 Tm de chatarra	X	X	
Instalación que procese al año 100.000 Tm de chatarra o menos		X	
Plantas productivas que procesen menos de 1000 Tm/año de chatarra	EXENTAS de instrumentación radiológica aunque se recomienda, al menos, instrumentación portátil		

asumidos de forma voluntaria por las partes firmantes del referido protocolo, adquieren la condición de obligatorios.

Adicionalmente, la Directiva 2013/59/Euratom, instaba a los Estados miembros a introducir mecanismos para evitar la adquisición de productos de metal contaminados de terceros países. Este mandato tuvo respuesta en el real decreto, a través del requerimiento a las empresas importadoras de metales de que exigieran a las empresas expendedoras un certificado en el que se acreditase que el material importado había pasado por un control radiológico. Los datos que debe tener dicho certificado son:

- Identificación de la instalación exportadora (nombre, dirección, número de teléfono, otros datos de identificación).
- Identificación de la instalación importadora (nombre, dirección, número de teléfono, otros datos de identificación).
- Tipo y cantidad de chatarra o materiales metálicos semiacabados del envío.
- Detalles de la vigilancia radiológica llevada a cabo, tales como instrumentos utilizados y lecturas obtenidas; distancia entre el equipo de vigilancia y el material objeto de inspección.

- Fondo y niveles de investigación utilizados.
- Nombre, firma y cargo de la persona debidamente capacitada que realizó la vigilancia.
- Declaración de que no se descubrió material radiactivo en el envío.
- Fecha y lugar de la vigilancia radiológica efectuada.

Otra novedad que introduce la Directiva 2013/59/Euratom, respecto a la 2003/122/Euratom es el mandato a los Estados miembros de velar por la adopción de disposiciones que mejoren la sensibilización general sobre la posible existencia de fuentes huérfanas y los peligros que entrañan.

Un aspecto importante que introduce el nuevo real decreto es el alcance de la formación e información que deben poseer los trabajadores de las instalaciones involucradas. En el artículo 14 se indica que el programa de formación debe cumplir, al menos, los siguientes aspectos:

- Información acerca de la posibilidad de encontrar una fuente.
- Conocimiento y formación sobre los métodos de detección visual de las fuentes, así como de sus contenedores.

- Nociones básicas sobre las radiaciones ionizantes, sus efectos y las medidas de protección contra ellas.
- Conocimiento y formación sobre las medidas que deben tomarse *in situ* en caso de detectarse o sospecharse la presencia de una fuente antes o después de su procesamiento en la instalación.
- Conocimiento y formación sobre la operación y el mantenimiento de la instrumentación de vigilancia y control radiológico disponible en la instalación.

Esta formación deberá ser impartida por los técnicos acreditados en protección radiológica de los propios titulares o de Unidades Técnicas de Protección Radiológica autorizadas por el CSN para prestar los servicios de asesoramiento en materia de recuperación de fuentes huérfanas.

Por ello, y de acuerdo con el artículo 23 del Real Decreto 783/2001, la Dirección de Protección Radiológica (DPR) del CSN remitió, en diciembre de 2019, una circular a todas las UTPR acerca del procedimiento de autorización de UTPR para prestar servicio de asesoramiento en materia de recuperación de fuentes huérfanas y otro material radiactivo fuera del control regulador. En dicha circular se indica cuál

debe ser el programa de formación para obtener la cualificación de técnico experto en protección radiológica de una UTPR en el ámbito que nos ocupa. Dicho programa puede verse en la tabla 4.

No obstante, con objeto de asegurar la inmediata entrada en vigor del RD 451/2020, la Dirección de Protección Radiológica del CSN emitió otra circular a las UTPR en septiembre de 2020, mediante la cual se publicaban las condiciones temporales previas que debían cumplir las UTPR para prestar los servicios de asesoramiento en materia del mencionado decreto. Se indica en dicha circular que podrán seguir prestando el servicio solicitado aquellas UTPR que, sin estar expresamente autorizadas en ese ámbito, acrediten cumplir las dos condiciones siguientes:

- 1) Haber realizado, antes del 10 de marzo de 2020, al menos dos tareas anuales de asesoramiento o apoyo técnico durante los anteriores cinco años, en el marco del Protocolo de Colaboración para la Vigilancia Radiológica de los Materiales Metálicos, suscrito en noviembre de 1999, o en el del Protocolo de Actuación en caso de Detección de Movimiento Inadvertido o Tráfico Ilícito de Material Radiactivo en Puertos de Interés General, suscrito en junio 2010.
- 2) Haber presentado ante el CSN la solicitud de autorización para la prestación de servicios en el ámbito de Real Decreto 451/2020.

Además, en febrero de 2021, la DPR emitió otra circular, en la que indicaba que la competencia para acreditar o reconocer los conocimientos en protección radiológica corresponde a la jefatura de las UTPR autorizadas por el CSN, o las UTPR que cumplan los requisitos de la circular de septiembre de 2020.

En el nuevo real decreto se introducen de manera explícita todas las actuaciones que deberán llevar a cabo cuando se detecten fuentes radiactivas huérfanas, tanto

Tabla 4 Programa de formación para técnico experto de acuerdo al RD 451/2020

Programa de formación teórica	
1	Problemática específica de presencia de material radiactivo en chatarra. Protocolo y resolución sobre actuaciones y compromisos.
2	Radiaciones ionizantes: radiación natural y artificial. El átomo: la tabla periódica.
3	Radiactividad: isótopos radiactivos. Magnitudes y unidades radiológicas.
4	Usos y aplicaciones de las radiaciones ionizantes: equipos, materiales y fuentes. Residuos Radiactivos. Riesgos radiológicos y efectos sobre la salud.
5	Principios básicos de protección radiológica.
6	Detección y medida de la radiación. Detectores y pórticos. Monitores de radiación y contaminación.
7	Actuación en caso de detección. Localización, segregación y acondicionamiento. Gestión final de los materiales.
Programa de formación práctica	
–	Uso de equipos de detección de la radiación ionizante. Medida de niveles de radiación y contaminación ambiental y superficial. Verificaciones previas y calibración. Interpretación de resultados. Criterios de selección de los equipos detectores en función del tipo, energía e intensidad de la radiación incidente.
–	Dosímetros personales: tipos y características. Dosímetros cuya lectura es realizada por centros debidamente autorizados por el CSN y dosímetros operacionales de lectura directa. Manejo y precauciones. Dosimetría interna.
–	Comprobación de la variación de la dosis producida por una fuente de radiación puntual en función de la distancia, tiempo de exposición y blindaje. Determinación de estos factores en casos prácticos en función a los niveles de radiación medidos o estimados.
–	Uso de sistemas de protección personal. Procedimientos de descontaminación aplicables a personas, materiales y equipos.
–	Gestión de residuos: clasificación, almacenamiento, etiquetado, registro.
–	Clasificación y señalización de zonas de trabajo.
El programa de formación de técnico experto no podrá ser inferior a 12 horas lectivas teóricas y prácticas.	

si es una instalación que posee una titularidad como si es en puerto marítimo de interés general, lugares importantes de tránsito de personas o mercancías, como en el caso de aparición de fuentes huérfanas en lugares públicos. Además, quedan encuadrados, en este nuevo real decreto, los protocolos voluntarios firmados en relación con la aparición de fuentes radiactivas huérfanas.

Las actuaciones de respuesta ante emergencias derivadas de la aparición de fuentes radiactivas huérfanas serán las establecidas en los planes de autoprotección de cada instalación y las establecidas en los planes de protección civil frente a emergencias radiológicas,

derivados de la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante Riesgo Radiológico.

El Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico, con el asesoramiento del CSN, tiene la potestad para realizar campañas de recuperación de fuentes huérfanas que procedan de actividades del pasado.

Se define un régimen de inspecciones, cuya competencia le corresponde al CSN, para verificar que las instalaciones cumplen con todo lo indicado en el real decreto; y se incluye un articulado sobre infracciones y sanciones de acuerdo con lo establecido en la Ley 25/1964 de 29 de abril, sobre energía nuclear.



Una tecnología incorruptible, estratégica, justa y con potencial ilimitado

‘Blockchain’, más allá del dinero digital

El *bitcoin*, la criptomoneda que no es respaldada por ningún Gobierno ni organismo y cuyo uso se extiende cada vez más, mientras su valor se multiplica, utiliza una tecnología con un gran potencial: el *blockchain* o cadena de bloques. Muchas monedas digitales más han aparecido, sembrando dudas sobre su fiabilidad, aunque los expertos aseguran que es una tecnología segura y justa. Sus aplicaciones, a caballo entre

la experimentación y la implantación general, empiezan a desbordar el mundo financiero y a utilizarse en muchos otros sectores. Se ha contemplado su uso en el pasaporte covid, para garantizar la identidad, e incluso se ha empleado en el mundo del arte y la cultura. Frente al escepticismo inicial, promete ser una de las tecnologías con las que se construirá el futuro.

■ Texto: **Patricia Ruiz Guevara** | Periodista científica ■

En 2020, la revista *Technology Review*, editada por el Massachusetts Institute of Technology, incluyó entre las diez tecnologías emergentes del año las monedas digitales. Sus expertos predijeron que iban a tener un impacto masivo en la privacidad financiera y colocaron a Facebook y al Banco Popular de China como protagonistas principales. Tenían razón: la red social lanzará a finales de 2021 su moneda digital diem, China ya se está probando el yuan digital, la Unión Europea explora el euro digital y hasta España busca ya su propio hueco. De momento, El Salvador ha sido el primer país en aprobar el uso de *bitcoin*, la primera y más famosa criptomoneda.

Detrás de todo este dinero digital se encuentra una tecnología llamada *blockchain* o cadena de bloques. Si buscamos en Google *bitcoin* encontraremos 895.000.000 resultados, un tercio más que si buscamos *artificial intelligence*. Y es que 2021 está siendo un año pletórico para esta tecnología. ¿De dónde viene? ¿Tiene tantas aplicaciones como promete? ¿Es ya una realidad o aún un experimento? ¿Qué son los omnipresentes tokens no fungibles (NFT)? Viajemos trece años al pasado.

1 de noviembre de 2008. Un tal Satoshi Nakamoto hace público un documento en el que describe un nuevo sistema de dinero digital. En enero de 2009, este creador o grupo de creadores, cuya iden-

tidad sigue siendo un misterio, lanza al mundo el software o protocolo *Bitcoin*, un sistema de pago sin intermediarios, y sus primeras unidades de monedas, los *bitcoins*. Bajo este protocolo aparece el *blockchain*, “una base de datos transaccional distribuida, formada por cadenas de bloques diseñadas para evitar su modificación una vez que un dato ha sido publicado”, según la definición del glosario de Blockchain España. Para intentar visualizarlo, es una especie de libro de cuentas donde los bloques (los registros) se enlazan como una cadena y protegen la seguridad y privacidad de la información.

En el cóctel que hace posible esta novedad tecnológica se dan cita la

criptografía, algoritmos RSA, matemáticas, factorización de primos y una palabra clave: *open source* un modelo de desarrollo de software, en el que todo el mundo puede disponer libremente de ese código. Por eso, una de las peculiaridades que hacen único al *blockchain* es que es una comunidad de conocimiento en común que no deja de crecer. La libertad de esa comunidad se traduce en la propia libertad de la red, su característica principal: los sistemas basados en *blockchain* son descentralizados. Esto elimina a los intermediarios, como los bancos.

Para entender el proceso en una transferencia de dinero, este se representa por un bloque, que es transmitido a los

máximo histórico (64.863 dólares) y en junio quedaba por debajo de los 30.000 dólares, un desplome de más del 50 %.

De la exploración a la acción

De manera global, *blockchain* lleva todos estos años en el escenario tecnológico y ha sido muchas veces considerado una promesa fallida, pero vuelve a estar en auge. “Hemos pasado del momento de las notas de prensa, pilotos y pruebas conceptuales de hace unos años a empresas que ya lo integran en su negocio. Antes era exploración, ahora hay cosas concretas”, afirma Alex Puig, fundador de Alastria Blockchain Ecosystem, la primera plataforma *blockchain* semipública de ámbito

Una de ellas es el *blockchain*. Esto, unido a “un aumento del valor de *bitcoin* y el fortalecimiento de otras criptomonedas y los tokens no fungibles, le ha dado a esta tecnología el impulso para avanzar a una etapa de maduración”, señala Aqueveque. Una etapa que va más allá de sus aplicaciones actuales.

“El interés sigue estando en las finanzas, en crear estructuras cada vez más eficaces con las que ofrecer productos y servicios financieros cada vez más desintermediados”, indica Covadonga Fernández, directora del Observatorio Blockchain y fundadora de Blockchain Media. Además de China, todos los bancos centrales estudian emitir sus propias



Alex Puig.



María Pía Aqueveque.



Covadonga Fernández.

usuarios de la red; estos lo validan, se suma a la cadena de bloques y se registra de forma transparente. El dinero llega así a destino y la tecnología de cifrado garantiza su seguridad. Las aplicaciones en economía son muchas, pero el *blockchain* puede aportar sus beneficios en muchos otros sectores, como indican sus partidarios.

Sus detractores, en cambio, señalan posibles estafas y la alta volatilidad de las criptomonedas, al no ser dinero real sino activos de inversión de alto riesgo. Un ejemplo son los vaivenes que ha sufrido *Bitcoin* este año a merced del CEO de Tesla, Elon Musk: en abril alcanzaba su

nacional, y director de Caelum Labs, consultoría y desarrollo de *blockchain*. “La tecnología ha evolucionado a todos los niveles, principalmente en la parte de escalabilidad; hay cada vez más plataformas y más desarrolladores”, añade.

María Pía Aqueveque, economista, consejera delegada de varias empresas y experta en esta tecnología, considera que “le ha llegado su momento” y señala a la pandemia como un trampolín. Según explica, este último año han quedado patentes las deficiencias y la vulnerabilidad de nuestras organizaciones y se ha demostrado que existen tecnologías disponibles para enfrentar estos desafíos.

monedas digitales. “No se trata de digitalizar el dinero físico, sino que ese dinero pasa a formar parte de un ecosistema programable”, señala Alex Puig. Eso supone definir funcionalidades y limitar su uso, por ejemplo, para comprobar que un comprador es mayor de edad.

Todos los expertos coinciden en que la tecnología de bloques es incorruptible. “Es una oportunidad para asegurar la trazabilidad del dinero. Por ejemplo, si una cantidad se destina a financiación de pymes, se garantiza ese fin”, ejemplifica el fundador del Blockchain Institute & Technology, Lluís Mas, que afirma: “La tecnología idónea para ello es *blockchain*”.

Usos públicos y sociales

En Estonia, hace años que la ciudadanía puede votar desde cualquier parte del mundo gracias al *blockchain*. Fue uno de los primeros países en adoptar una identidad digital, que permite a sus ciudadanos consultar desde casa su historial médico, empadronarse o registrar una empresa desde su móvil en apenas unos minutos. Según Alex Puig “demostrando automáticamente que eres tú, puedes hacer gestiones automáticas con tu empresa y tu ayuntamiento, firmar un presupuesto u obtener descuentos en la tienda de tu barrio”. Lluís Mas añade la facilidad para visitar un país extranjero y tener un documento de identidad global, del que

solo tengas que dar los detalles requeridos para cada situación.

Muchos proyectos basados en *blockchain* tienen además un importante trasfondo social y buscan impactar positivamente en el mundo, como EthicHub, la primera plataforma española descentralizada de *crowdlending* (préstamos colectivos) nativa de esta tecnología, que actúa de intermediario entre inversores y pequeños productores agrícolas desbancarizados. En Latinoamérica, el 45 % de los adultos no tiene una cuenta bancaria, según datos del Global Findex. Desde EthicHub “logramos que muchas personas, con pequeñas aportaciones, puedan financiar a nuestros agricultores.

Con el sistema financiero tradicional pagas elevadas comisiones para transferencias internacionales. Con criptomonedas es más seguro y barato”, explica Iñigo Molero, asesor en comunicación y tecnología del proyecto. En México esas criptomonedas se convierten después en pesos mexicanos. Los préstamos se garantizan a través de contratos inteligentes.

Por su parte, Slavefreetrade quiere acabar con la esclavitud moderna detrás de muchos de los productos que adquirimos. Su planteamiento es demostrar qué empresas no utilizan mano de obra esclava para incitar a los consumidores a comprar en ellas. Para ello, fomentan una

El impacto ambiental a debate

La tecnología *blockchain* requiere grandes cantidades de energía y, por tanto, ha sido cuestionada su sostenibilidad. Aunque la descentralización de la red dificulta su cálculo, hay intentos y diferentes visiones. La red *Bitcoin* consume en un año la misma energía que todo Noruega, según el *Índice sobre consumo eléctrico del Bitcoin* de la Universidad de Cambridge. La huella de carbono estimada que deja una sola transacción registrada en su cadena de bloques equivale a la que producen 36 hogares en un día. Por el lado contrario, en mayo la consultora Galaxy Digital aseguró que *Bitcoin* gasta menos energía que las entidades financieras tradicionales y la industria del oro y que el valor que puede aportar es mayor que su consumo.

Ante esta situación, Elon Musk dijo que Tesla dejaría de aceptar *bitcoin* como medio de pago, pero en junio la ONU rompía una lanza a favor: “El impacto medioambiental negativo de criptomonedas como el *bitcoin* ha sido ampliamente cubierto por la prensa en las últimas semanas y meses, y su volatilidad también ha sido señalada como motivo de preocupación. Sin embargo, la ONU cree que el *blockchain* podría ser beneficioso para luchar contra la crisis climática y conseguir una economía global más sostenible”.

De hecho, “los créditos de carbono son el primer ejemplo de certificado digital emitido por la ONU en el que los registros están automatizados. Ya hay proyectos en los que se está trazando la emisión de créditos, su venta y cancelación a través de *blockchain*”, explica el cofundador de Blockchain for Humanity, Alex Casas. En Brasil, “se venden metros cuadrados de bosque a través de NFT para financiar su reforestación y así contrarrestar las emisiones”, dice. Aunque está claro que la red de *Bitcoin* consume mucha energía, Casas señala que “también está incentivando la creación de fuentes más eficientes y renovables y se está apostando por mejorar la eficiencia por transacción”. ▶



Lluís Mas.

aplicación que pueden utilizar los propios empleados de las empresas para denunciar problemas. “*Blockchain* puede asegurar y encriptar los datos que prueban que un producto no ha sido creado mediante esclavitud. También puede asegurar el anonimato e identidad de las personas que utilizan la aplicación”, explica el cofundador del Slavefreetrade Brian Iselin. “Cuando se habla de derechos humanos, hay que estar tan seguros como se pueda en ambas cosas”, añade.

En el arte, la salud y la energía

El pasado 11 de marzo, se vendió la pieza de arte más cara de la historia de un ar-

tista vivo: un collage de 5.000 instantáneas de Bepple, que se vendió en tokens no fungibles, los ya famosos NFT, por casi 70 millones de dólares (unos 59 millones de euros). Fue la primera subasta de este tipo en Christie's.

Los expertos claman que los NFT van a suponer un antes y un después en la industria cultural y el nuevo criptoarte. “La capacidad de internet de reproducir hasta el infinito cualquier cosa hizo que los creadores (músicos, periodistas, artistas) perdieran el derecho sobre sus creaciones. Lo más valioso de los tokens no fungibles es que les devuelven la propiedad en internet”, indica Covadonga Fernández. Arte, cultura y cualquier creación puede convertirse en un token, lo que puede ser una revolución económica. Fernández subraya que “la capacidad de los NFT de convertir cualquier bien físico

o digital en activos digitales, listos para cotizar en los mercados, será una transformación para la industria cultural y para el sistema financiero global. Es como si el internet que nos trae *blockchain* fuese una gran máquina de hacer dinero, de monetizarlo todo”.

En marzo, Nueva York anunciaba pasaportes covid-19 basados en la tecnología *blockchain* de la empresa IBM. La Unión Europea hacía lo propio. “Muchos de los procesos asociados a la pandemia, como los salvoconductos durante los confinamientos, la información médica, los resultados de test de antígenos y ahora los carnés de vacunación requieren verificar la identidad y su autenticidad. Y esto es algo que permite la cadena de bloques”, señala María Pía Aqueveque.

Un ejemplo concreto es el caso de Lanzarote, donde se realizó una prueba

piloto con 50 turistas de varios países. Durante su estancia, “se realizaron pruebas de covid-19 y se les daba información a través de una aplicación móvil, todo ello registrado y trazado con *blockchain*”, explica María Parga, matemática y presidenta de honor de Alastria, una de las asociaciones impulsoras del proyecto. “Se ha comprobado que la tecnología sirve para garantizar la privacidad de estas verificaciones de las pruebas de coronavirus”, afirma Parga.

El mercado energético es otro de los que más potencial apunta para el uso de las cadenas de bloques, como ya se lleva viendo en las ciudades inteligentes o *smart cities*. Por ejemplo, para certificar el origen de la energía. “Con *blockchain* se puede trazar su producción y consumo, certificar que es renovable y que se cumplen compromisos regulatorios. Esto es importante porque en el futuro vamos a tener un mercado de certificación de energía renovable”, apunta el arquitecto de soluciones *blockchain* de Incotec, Pablo López.

También es una ventaja para el propio ciudadano, que puede estar seguro de que “si ha contratado energía de ese tipo, da igual por la red de distribución que venga, va a ser renovable; y para el autoconsumo energético, por ejemplo, con placas solares”.

Aplicación móvil de Slavefretrade y su creador, Brian Iselin.



Pablo López.



María Parga.



Íñigo Molero.



Diccionario básico de *blockchain*

Criptomonedas: medio digital de intercambio financiero, como *bitcoin* y *ethereum* basa en *blockchain* que, a diferencia de las monedas tradicionales, no están controlados por gobiernos ni bancos.

Bitcoin: es la criptomoneda más famosa, descentralizada y sin respaldo de ningún organismo.

Token: es una unidad de valor, un activo digital alojado en una *blockchain* que permite a su propietario atribuírselo a un tercero a través de la cadena de bloques. Toda criptomoneda es un token, pero puede aplicarse a otros bienes, como lingotes de oro, propiedades inmobiliarias o activos financieros.

Tokenización: proceso de *blockchain* para sustituir el activo digital por un código criptográfico y obtener un token.

Token no fungible (NFT, *non-fungible tokens*): es un tipo de token criptográfico que representa un activo único, irrepetible y no intercambiable entre sí, y que garantiza su propiedad. Puede ser un activo de origen digital (imágenes, vídeos o un personaje de un videojuego) o versiones tokenizadas de activos del mundo real (una obra de arte, una hipoteca o un jugador de fútbol).

Minería: actividad mediante la cual se emiten nuevos criptoactivos y se confirman transacciones en una red *blockchain*. Los autores, llamados mineros, validan esas transacciones y crean bloques.

Contrato inteligente (*smart contract*): es un programa informático que actúa como un contrato y tiene la capacidad de cumplirse automáticamente cuando ambas partes han acordado los términos. Funciona sobre una cadena de bloques de manera descentralizada. ▶

Los contratos inteligentes basados en *blockchain* también pueden ayudar a garantizar el suministro eléctrico. En el caso de las centrales nucleares, esta tecnología puede servir para garantizar la seguridad y la trazabilidad de la documentación. “A través de sensores puedes medir la capacidad de producción de energía y registrarla y protegerla con algoritmos criptográficos. Con *blockchain* se cumple la transparencia y se sabe que ese dato no va a poder ser modificado”, afirma López.

Estrategias, cambios y futuro

Con todas las iniciativas patentes, hay otras latentes que empezarán a volverse activas este año. La Comisión Europea prepara el lanzamiento del euro digital,

y España ya ha llevado al Congreso una proposición para crear una moneda digital pública; una variante nacional del euro digital ligada a este. En cuanto a las identidades digitales, la UE plantea que en tres años todos sus países miembros hayan avanzado en su creación. Por su parte, China aspira a ser líder mundial en esta tecnología en 2025, según María Pía Aqueveque, mediante normas industriales, incentivos fiscales y protección a la propiedad intelectual para impulsar el desarrollo de la industria *blockchain*.

Mientras, la tecnología *blockchain* sigue avanzando. En el caso de *Bitcoin*, el protocolo tendrá en noviembre una gran actualización después de cuatro años sin ningún cambio tecnológico. Esta evolu-

ción, llamada Taproot, mejorará la privacidad, escalabilidad y seguridad de la red, la eficiencia de las transacciones y el despliegue de los contratos inteligentes.

Desde que surgiera en 2008, *blockchain* ha vivido momentos de gloria y de olvido. El dinero digital, la pandemia y los NFT parecen haber dado el impulso definitivo. En el horizonte futuro, más y más aplicaciones pendientes de afianzarse y la necesidad de mejorar su sostenibilidad. En la mirada próxima, los expertos siguen coincidiendo en sus virtudes, como concluye Lluís Mas: “Si tenemos un dinero, unas transacciones, unos servicios más justos porque las reglas las marca la tecnología, tendremos una sociedad más justa”. ©



Estado actual del parque de atracciones de Pripiat, ciudad ucraniana abandonada por el accidente de Chernóbil.

Turismo nuclear, los nuevos ‘stalkers’

La energía nuclear ha generado múltiples aplicaciones para el ser humano, pero los lugares más visitados relacionados con ella son los conectados con su parte más destructiva, lugares marcados por la tragedia, como Hiroshima, Chernóbil o Fukushima, que han terminado convirtiéndose en destinos turísticos. Y es que si existieran el cielo y el infierno y hubiera visitas guiadas

a ambos destinos, el infierno ganaría por goleada. El ser humano tiene una particular fascinación por sitios donde se han producido desastres; por eso pocos saben dónde se firmó la declaración de derechos humanos, mientras que el castillo de Drácula o Auschwitz son de los monumentos más visitados de Rumanía y Polonia.

■ Texto: **Sergio Ariza** | Periodista ■

Posiblemente sea la curiosidad morbosa que nos hace mirar un accidente, aunque no queramos de forma consciente, ese momento en el que tras taparnos la cara, abrimos los dedos y miramos entre horrorizados y fascinados. No debemos olvidar que el Enola Gay, el avión que arrojó la primera bomba atómica, está en un museo y tiene su propia canción, pero ¿se podrá visitar la primera

vacuna contra la covid en algún museo? Y, más importante, ¿iría la gente a verla?

Aun así no parece que este tipo de turismo tenga nada malo, siempre que se respete un mínimo de decoro en lugares donde se ha sufrido tanto, ya que lleva dinero a zonas que fueron devastadas y pone el foco en la descontaminación de unos lugares que, guste o no, tienen un fuerte poder de fascinación y que pueden

volver a reactivar, tanto social como económicamente, territorios que han quedado casi como localizaciones fantasmas.

La Zona y los stalkers

Nuestro viaje comienza en Ucrania, cerca de la central nuclear de Chernóbil, en la que posiblemente sea la zona de exclusión más grande del mundo, una especie de círculo de 30 kilómetros, con 2.600 ki-

lómetros cuadrados de extensión, al que los lugareños se han acabado refiriendo, simplemente, como La Zona. Antes del accidente del 26 de abril de 1986 vivían allí alrededor de 300.000 personas; ahora apenas quedan unas docenas, gente mayor que se negó a ser trasladada y *samoselys*, vagabundos y gente marginal del exterior que se metió a vivir allí de manera ilegal y quiere habitar en medio de la naturaleza salvaje, negando los problemas de salud derivados de la radiación o, simplemente, resignándose a ellos.

Pese a todo, los personajes más curiosos de La Zona son los *stalkers*. Al principio eran saqueadores que se introducían clandestinamente para llevarse todo aquello que los habitantes desplazados habían dejado tras de sí; pero, poco a poco, comenzó a haber gente que se introducía por pura fascinación, andaban decenas de kilómetros y se colaban en La Zona, donde permanecían hasta una semana, durmiendo en casas abandonadas y llegando a beber de los charcos. Todos ellos salían con grandes historias para contar, pero, también, con una esperanza de vida menor...

Se les llamaba *stalkers* por las conexiones con la novela de los hermanos Strugatski, *Picnic extraterrestre*, y, sobre todo, por la mística y filosófica adaptación cinematográfica que realizó Andréi Tarkovski, *Stalker*, una película, estrenada en 1979, que parecía predecir Chernóbil. Hubo una tercera adaptación, que cogía cosas de ambas, un exitoso videojuego llamado *S.T.A.L.K.E.R.* que salió en 2007. En esa época, Ucrania todavía no reconocía a Chernóbil como destino turístico, para el Gobierno era un lugar lleno de delincuentes y cazadores furtivos, pero, tras su explosión turística a partir de 2014, las cifras de visitantes empezaron a subir a un ritmo del 30 % cada año, un 40 % desde el estreno de la serie *Chernobyl*. Las cosas han cambiado y ahora el presidente Volodymyr Zelenskyy dice



Imagen de la película *Stalker*, de Andréi Tarkovski.

que es hora de dejar de considerarlo como algo negativo y convertirlo en un gran centro turístico.

Los *stalkers* originales han quedado muy reducidos, primero porque apenas queda nada de valor que saquear y segundo porque el Gobierno ucraniano ha visto el importante filón de un turismo que no hace más que crecer año a año. Los nuevos *stalkers* son los turistas nucleares.

La visita es toda una experiencia para los que se atreven a hacerla, todas las poblaciones de La Zona están siendo engullidas por la naturaleza, como la ciudad de Prípiat, la mayor de ellas, con 50.000 personas evacuadas a toda prisa en 1986. Ahora la naturaleza se expande por sus calles, con canastas engullidas por bosques o ramas entrando por las ventanas de los edificios y por su antiguo parque

de atracciones. Es comprensible la fascinación de ver una ciudad a la que se le han extirpado los humanos, es un escenario postapocalíptico, con animales paseando por calles desiertas y árboles abriéndose paso a través el cemento. Es como si la naturaleza se hubiera deshecho de un organismo intruso no deseado, en este caso el ser humano, y estuviera borrando las huellas de su existencia.

¿Recuerdan esas imágenes durante el confinamiento de jabalíes paseando por la Diagonal de Barcelona? Pues quiten al ser humano durante más de 35 años, y no solo un par de meses, y esto es lo que pasa. Ahora mismo, La Zona es el lugar con mayor densidad de lobos de Europa, además de contar con otras especies que no existían en estos lares antes de 1986, como osos pardos o linces boreales.

Regreso a Fukushima

Tras visitar La Zona nos trasladamos miles de kilómetros al este para visitar el lugar que le ha robado a Chernóbil el dudoso honor como sitio más radiactivo del planeta, Fukushima. Fue allí donde tras el terremoto y tsunami del 11 de marzo de 2011 la central nuclear sufrió el más grave accidente desde el de Ucrania. Hubo que desplazar a más de 110.000 personas, de las cuales unas 70.000 todavía no han vuelto a sus hogares.

El Gobierno japonés quiere cambiar esto gracias al turismo y ha abierto visitas guiadas a la zona e incluso viajes en lancha hasta la central para demostrar que ya está descontaminada y la gente puede volver con seguridad. Las visitas incluyen todo tipo de alicientes, como charlas con residentes autóctonos que cuentan sus historias de ese día y, cómo no, también se puede alquilar un contador Geiger para saber en todo momento la radioactividad a la que te estás exponiendo.

La operación está saliendo relativamente bien, aunque todavía se pueden ver más turistas que lugareños. Claro que Fukushima no es, ni mucho menos, el único lugar relacionado con el turismo nuclear de Japón, y es que estamos hablando del único país del mundo que ha recibido, no una, sino dos bombas atómicas, en las ciudades de Hiroshima y Nagasaki.

Las bombas y la paz

Las dos ciudades están actualmente dedicadas a la paz, pero la más impresionante y representativa es Hiroshima, la primera en sufrir el impacto de una bomba atómica, llamada Little Boy, lanzada desde el bombardero Boeing B-29 Enola Gay, nombrado así por la madre de su piloto, Paul Tibbets, que se llamaba Enola Gay Tibbets. Cuando hablábamos al principio de la fascinación por el horror, uno se pregunta si Tibbets se paró a pensar alguna vez en qué clase de honor le estaba dando a su madre...



Turistas recorriendo las calles de Ouchi-juku, dentro de la prefectura de Fukushima.

Hiroshima cuenta con uno de los monumentos Patrimonio de la Humanidad de la Unesco más escalofriantes del mundo, el Memorial de la Paz de Hiroshima, llamado también Cúpula Genbaku. Se trata del edificio más cercano al epicentro de la explosión de Little Boy que quedó en pie, estaba a una distancia de apenas 150 metros en la horizontal y 600 metros en la vertical del edificio. Nada más terminar la guerra se decidió preservarlo exactamente como se encontraba después del bombardeo y en la actualidad sirve como representación de la devastación nuclear pero también como símbolo de esperanza en la paz mundial y la eliminación de todas las armas nucleares.

Se encuentra dentro del Parque de la Paz, un lugar que también alberga el Museo Conmemorativo de la Paz, en el que se relatan los hechos históricos que llevaron a Japón a la Guerra Mundial, los resultados de la bomba y los efectos que tuvo en su población. Es imposible permanecer impasible en este lugar o en el Cenotafio para las víctimas de la bomba atómica, lugar que contiene los nombres de todas las personas que murieron a causa de la explosión.

El Proyecto Manhattan

Dejamos el lugar que sufrió los efectos de la bomba y nos desplazamos al país que la lanzó, EEUU. Precisamente al lugar desde el que algunas de las mentes más importantes del siglo XX se reunieron para hacer posible su creación. El Proyecto Manhattan es uno de los grandes hitos científicos de la historia y se desarrolló en un remoto lugar del estado de Washington, en el noroeste del país, llamado el emplazamiento Hanford o Hanford Site, en un lugar en el que existía un pueblo del mismo nombre que fue evacuado y borrado del mapa en aras de uno de los proyectos más ambiciosos y secretos de la historia.

Fue allí donde se creó el primer reactor nuclear, responsable de la aparición de la bomba atómica pero también de la explotación de la energía nuclear. Ahora es posible visitar este lugar, que permaneció oculto y aislado a lo largo de la Guerra Fría, durante la cual llegó a albergar nueve reactores nucleares y cinco centros de procesamiento de plutonio. Desde 2009 se ofrecen visitas gratuitas, aunque restringidas, y ya han pasado cerca de 100.000 personas por sus instalaciones. Eso sí, debido a la pandemia de



Desde arriba: Memorial de la Paz, en Hiroshima, declarado Patrimonio de la Humanidad; cartel de bienvenida a Hanford Site, donde se desarrolló el Proyecto Manhattan; anuncio de la serie televisiva Palomares; y vista del parque de atracciones Wunderland Kalkar.

la covid-19 las visitas se encuentran actualmente paralizadas, aunque en su página web oficial (<https://www.hanford.gov/page.cfm/HanfordSiteTours>) se ofrecen visitas virtuales a las instalaciones. Una pena para los *stalkers* que prefieran oír pitar su Geiger, pero un alivio para los más aprensivos, ya que Hanford sigue siendo uno de los 10 lugares más contaminados de nuestro planeta. Eso sí, desde hace años se desarrolla allí el mayor proyecto de limpieza medioambiental de mundo, con más de 10.000 trabajadores encargados de descontaminar el lugar.

Chapuzón en Palomares

Y de EE UU saltamos nuevamente a Europa, en concreto a nuestro país, a un lugar que no es precisamente un destino turístico relacionado con la energía nuclear. En esta zona no hay ni una sola mención al incidente, suponemos que para no espantar a los más aprensivos, aunque es evidente que habrá algún *stalker* que se quiera bañar en la playa de Quitapellejos, el lugar en el que se realizó la foto más conocida del entonces ministro de Turismo del régimen franquista, Manuel Fraga, dándose un chapuzón

junto al embajador estadounidense, Biddle Duke, cerca de una de las zonas más turísticas de Almería a pocos kilómetros de Vera, Garrucha y Mojácar.

La verdad es que aquello sigue sonando a ciencia ficción y podría haber dejado a otros desastres nucleares totalmente atrás, las cuatro bombas que cayeron cerca de Palomares tenían una potencia 75 veces superior a la que dejó caer el Enola Gay sobre Hiroshima. La emisión de la serie *Palomares: días de playa y plutonio* ha vuelto a revivir y a despertar el interés sobre aquellos sucesos.

Peculiar parque de atracciones

El viaje puede terminar en una atracción turística relacionada con lo nuclear, pero sin desastre por medio. La central nuclear SNR-300, situada en Alemania, cerca de la frontera con los Países Bajos, se terminó de construir, tras 13 años de obras, en la época del accidente de Chernóbil. Las protestas desatadas por la catástrofe ucraniana hicieron que nunca llegara a estar operativa. Diez años después un inversor holandés tuvo una singular idea, comprar la instalación y reconvertirla en un parque de atracciones. Así nació Wunderland Kalkar, el único lugar del mundo en el que te puedes subir a una montaña rusa al lado de un reactor nuclear, y disfrutar de más de 40 atracciones distintas, con un tióvivo en la torre de refrigeración, un muro de escalada o un recorrido por la infraestructura de la instalación nuclear.

Y así, desde un lugar totalmente distinto al que iniciaba este recorrido, se cierra la ruta por algunos de los lugares más destacados del turismo nuclear, pasando del abandonado parque atracciones de Prípiat al de Kalkar, en pleno funcionamiento. Son dos imágenes contrapuestas, la noria abandonada y la montaña rusa llena de gente, pero para los *stalkers*, ambas son fascinantes. ©

Juan Carlos Lentijo (Pedrosa del Rey, Valladolid, 1959), ingeniero industrial, se incorporó en 2012 al Organismo Internacional de Energía Atómica, en Viena, primero como director de la División de Instalaciones del Ciclo y Tecnología de Residuos y, desde octubre de 2015, como director general adjunto y responsable del Departamento de Seguridad Nuclear. Atrás dejó una trayectoria de 28 años en el Consejo

de Seguridad Nuclear, donde ocupó entre otros puestos, los de jefe de proyecto de Centrales Nucleares, inspector residente, subdirector general de Emergencias, subdirector general de Protección Radiológica Ambiental y director técnico de Protección Radiológica. Cumplido sobradamente el periodo habitual de su cargo en el OIEA, el pasado junio regresó al Consejo como asesor de Presidencia.

Juan Carlos Lentijo, exdirector general adjunto del OIEA

“El mundo no aceptaría un nuevo accidente nuclear de envergadura”

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

PREGUNTA: *¿Ha encontrado cambios en el Consejo tras estos nueve años?*

RESPUESTA: Aún ando un poco desubicado porque, aunque los procesos son los mismos, hay alguna innovación, incluso tecnológica, que te cuesta asimilar, pero la ventaja que tengo es que mi relación profesional y personal con todo el mundo es muy buena y me resulta fácil acceder a las personas y a los proyectos. Ahora me han encargado que ayude a identificar los retos reguladores del CSN para los próximos años, te-

niendo en cuenta el contexto internacional, y espero poder aportar algo.

P: *¿Tiene identificados esos retos?*

R: Los de carácter general están identificados en todo el mundo y el Consejo los tiene ya incorporados o dispone de planes al respecto. Muchos tienen que ver con las medidas post-Fukushima, que se han implantado casi todas; pero lo importante ahora es mantener y reforzar los niveles de seguridad alcanzados. Creo que el reto principal está condicionado por las decisiones

políticas sobre la energía nuclear en España, con la parada secuencial de las centrales nucleares. Hay actividades que se van a solapar porque desde el cierre de la primera central van a empezar a pesar también los temas de desmantelamiento, pero hasta que no pare la última central la prioridad, el foco, no se puede desviar de la seguridad de la operación. Habrá que redimensionar recursos, pero mantener la capacidad de supervisión de las centrales en operación y preservar el conocimiento,



mientras crece la dedicación al desmantelamiento. Luego hay otro reto evidente, que es la gestión del combustible gastado.

P: *Desde la perspectiva adquirida en el OIEA, ¿son homogéneos los organismos reguladores de los diferentes países?*

R: Hay cierta diversidad. Hay una parte troncal común, que es la parte técnica, pero la configuración de cada regulador depende de la estructura política de su país. Unos tienen sus funciones técnica y regionalmente distribuidas y

otros más concentradas. Y también depende del programa nuclear de cada Estado; los que tienen uno muy avanzado le han dedicado también muchos recursos al regulador. Incluso algunos que no lo tenían han buscado apoyo del OIEA y han desarrollado estructuras reguladoras eficaces; pero hay otros que no han tenido la oportunidad de enfrentarse a un reto mayor y tienen reguladores más débiles, con relativamente poca capacidad. El problema es que algunos tienen la legítima ambición de introducir pro-

gramas nucleares y necesitan ayuda; lo que hace el OIEA es animarlos y ayudarles a desarrollar la infraestructura reguladora necesaria en paralelo con el desarrollo de sus planes, porque, si no, se van a encontrar con problemas y falta de sostenibilidad de sus programas.

P: *Otro factor diferenciador debe ser el grado de independencia de cada regulador.*

R: En principio las condiciones políticas de cada estado pueden favorecer más o menos ese objetivo clave que es la independencia del organismo regulador.

Pero aquí hay que ser prudentes, porque uno tiende a pensar que el grado de independencia depende del modelo de gestión política del país. Sin embargo, hemos visto fallos de reguladores por un problema de independencia en países desarrollados y con democracias reconocidas y, al contrario, organismos reguladores muy fuertes en países que, al menos formalmente, no están reconocidos como democracias.

P: *El CSN, e imagino que la mayor parte de los reguladores, no participa en el debate energético, y sin embargo una misión del OIEA es promover la energía nuclear. ¿No hay una cierta contradicción aquí, pérdida de independencia?*

R: Bueno, efectivamente una función del OIEA es la promoción de los usos pacíficos de la energía nuclear y sus aplicaciones, pero siempre dentro de un esquema en el que la seguridad es primordial para el desarrollo de un programa nuclear. Quizás podría entenderse cierto conflicto antes de Chernóbil, cuando un único departamento tenía la doble misión de promover y encargarse de la seguridad nuclear. El accidente fue una lección para el organismo, y en 1996 se creó el Departamento de Seguridad Nuclear, para separar ambas funciones. Obviamente hay diálogo entre departamentos e incluso se comparten misiones, pero siempre respetando que el de Seguridad es independiente de los otros. Por ejemplo, algunos países piden ayuda al OIEA para instalar un equipo de radioterapia o radiodiagnóstico, para lo que es necesario que antes del suministro el Departamento de Seguridad Nuclear dé luz verde al proyecto, que compruebe si las condiciones de seguridad del país receptor son suficientes.

P: *¿Hay distintos grados de cooperación entre los países o todos entienden la necesidad de colaborar?*

R: Hay una comprensión y un compromiso claro y general de todos los países. A ningún país, tenga el modelo po-

lítico que tenga, le interesa desarrollar un programa nuclear que no sea seguro. Después de Chernóbil y Fukushima hay un consenso claro de que todo lo que concierne a la seguridad es prioritario.

P: *Pero en el pasado había un cierto secretismo, al menos en los países del este.*

R: Quizás había una sensibilidad menor y tuvo que ocurrir un accidente para que mejorara. Yo creo que ahora está en un momento de cierta madurez, y se comparte información sobre seguridad nuclear, aunque haya peculiaridades y diferencias. Por ejemplo, suele haber una buena armonía cuando se plantean declaraciones globales, resoluciones de seguridad nuclear de los órganos de direc-

“Las lecciones más importantes de los accidentes no tienen que ver solo con aspectos tecnológicos o procedimientos, sino con la cultura de seguridad”

ción del organismo. Suele haber sintonía en un 98% de cosas que desde el primer borrador se comparten, pero luego hay peculiaridades que a los países les cuesta más consensuar por su singularidad.

P: *¿Qué peculiaridades?*

R: Por ejemplo, en el ámbito de la seguridad física, que está muy ligada a la seguridad nacional. Ahí no todo es transparente y los países mantienen cierto secretismo lógico para proteger sus sistemas nacionales. Otro ejemplo es el de algunos países suministradores de fuentes radiactivas, que tienen problemas para aceptar acuerdos internacionales en los que figure de manera expresa que tienen que comprometerse a aceptar la repatriación de

las fuentes cuando acaban su vida operativa. No tanto por las que suministran en la actualidad como por las comercializadas en el pasado, que ahora podrían verse forzados a aceptar cuando no tienen garantías financieras y contractuales.

P: *¿Ese espíritu de colaboración significa aceptación de las instrucciones del OIEA?*

R: Las normas del organismo nunca han sido, ni creo que lo vayan a ser, de obligado cumplimiento; solo lo son las convenciones, donde los países firmantes se comprometen. Es difícil alcanzar ese compromiso y difícil cambiar lo firmado. Por ejemplo, Suiza promovió una revisión de la Convención de Seguridad Nuclear después de Fukushima para incluir la prevención de accidentes más allá de las bases de diseño de las instalaciones. La conferencia diplomática organizada en 2015 para discutir la propuesta no pudo llegar al consenso necesario para revisar la convención. Hubo países, incluso algunos con sistemas de seguridad muy avanzados que no aceptaron la propuesta. Por eso, en lugar de un nuevo párrafo en el texto de la convención, que sería de obligado cumplimiento, se consensuó la denominada Declaración de Viena sobre Seguridad Nuclear. Yo diría que hay intención clara de armonizar, pero cuando llegas a los detalles se complica.

P: *¿Por qué se opusieron?*

R: En una reunión técnica sobre la aplicación de este principio nos dimos cuenta de que lo que pasaba era que había metodologías distintas para afrontar un reto compartido: identificar oportunidades de mejora en la seguridad y decidir sobre la incorporación de modificaciones a las instalaciones previo análisis de su impacto. En algunos países, como los europeos y Canadá, eso se hace mediante las denominadas revisiones periódicas de seguridad; oportunidades de poner todo patas arriba cada diez años

para saber cómo está la instalación y proceder a las mejoras de seguridad que se estimen necesarias. Esa era la metodología que de alguna forma se quería imponer, pero otros países se opusieron porque ya disponían de metodologías diferentes, que estaban funcionando eficazmente, y aceptar los cambios propuestos les suponía cambiar su modelo. Nos dimos cuenta de que lo que parecía un disenso grave era solo una diferencia metodológica. Pero sí que hay un compromiso serio por la seguridad, porque todos los países tienen claro que el mundo

de forma armonizada las lecciones post Fukushima, aunque he tenido el apoyo de muchos países. Y por otro, todo lo que tiene que ver con seguridad física, que es muy complicado porque se considera una parte esencial de la seguridad nacional. Un logro muy complicado y por ello muy celebrado fue que la Enmienda de la Convención de Seguridad Física de Materiales Nucleares se ratificara en 2016. Esa ha sido una de las mayores dificultades y se cerró con éxito.

P: ¿Está en su mejor momento la seguridad nuclear en el mundo?

instalaciones, no solo centrales nucleares sino también médicas, industriales, de investigación y otras incorporen esa cultura de forma clara en su mente.

P: Por último, ¿está España suficientemente representada en el OIEA?

R: Podría tener más representación, claro. En la parte que toca a la seguridad nuclear, sí está relativamente bien representada. Por ejemplo, en instrumentos tan importantes como la comisión de estándares, que es donde se guisa la estrategia de preparación de normas internacionales, tenemos representación desde que existe; son unos 20 países, se renueva cada tres años y España ha tenido siempre la representación formal de un consejero del CSN. Luego también hay representantes en los seis comités sectoriales: instalaciones nucleares, protección radiológica, transporte, residuos, emergencias y seguridad física. Y la Red Global de Seguridad Nuclear Tecnológica y Física, que es una red de redes temáticas y regionales, la preside ahora Alfredo de los Reyes, responsable de Relaciones Internacionales del Consejo. España no tiene posición permanente en la Junta de Gobernadores, compuesta por 35 países, donde hay cinco fijos (China, Rusia, Francia, Reino Unido y Estados Unidos), otros en representación de las regiones el mundo, como Argentina, Alemania, Suráfrica y la India, y otros que van rotando con criterios de representación regional. Creo que a partir de octubre España volverá a entrar, por cuarta vez. Estaría bien que tuviera más representación en grupos de expertos, como el INSAG, que es el comité de gurús encargados de definir y analizar estrategias y temas de gran calado en seguridad nuclear. Y en los grupos de seguimiento y desarrollo de nuevas tecnologías, nuevos reactores; porque, aunque no se renueve el programa nuclear, en el futuro puede haber conceptos nuevos y es mejor estar preparado.



DEAN CALIMA / IAEA

Con John Wagner, del Laboratorio Nacional de Idaho (EE UU), durante la firma de un acuerdo de colaboración.

no aceptaría un nuevo accidente nuclear de envergadura.

P: ¿Su estancia al frente del Departamento de Seguridad Nuclear ha sido tranquila o ha tenido alguna crisis?

R: Ha habido algunas. Si te refieres a accidentes nucleares, no. Ha habido alguno radiológico, pero ninguno con repercusiones globales serias. Desde ese punto de vista, ha sido un período relativamente tranquilo. Quizás lo más complicado han sido dos cosas que ya he citado. Por un lado, conseguir consensos para implantar

R: Desde el punto de vista histórico, desde luego. Seríamos muy necios si no fuera así después de lo que ha ocurrido. Se han incorporado mejoras, sin duda, pero ¿es óptima? Probablemente tiene recorrido todavía. Las lecciones más importantes de los accidentes no tienen solo que ver con aspectos tecnológicos o procedimientos, sino con la cultura de seguridad. El compromiso de las organizaciones está en la voluntad de las personas que las componen y es esencial que todos, reguladores, operadores de

Reacción en cadena

■ Texto: **Lucía Casas** |

NOTICIAS

Una inyección de CRISPR como terapia humana

Una revolución comparable a la informática. La cura del cáncer y, tal vez, ¡del sida! La llave para frenar el envejecimiento... se ha dicho de todo sobre las promesas de la tecnología CRISPR, el editor genético que recibió el Nobel de Química en 2020. Entre las muchas líneas de investi-



gación centradas en utilizarla para tratar afecciones en ani-

males y plantas, un ensayo clínico ha aplicado las *tijeras*

moleculares directamente a través del torrente sanguíneo de seres humanos para tratar la amiloidosis por transtiretina, una afección letal causada por la acumulación en distintos lugares del cuerpo de una proteína mal plegada. Desde hace años existen tratamientos eficaces contra la amiloidosis, pero todos tienen efectos secundarios y, en determinados casos, el paciente que recibe el tratamiento debe visitar el hospital de por vida cada tres semanas, sometiéndose siempre a tomar corticoides. El uso de CRISPR se plantea como una alternativa interesante debido a las propias características de la enfermedad: depende de un solo gen y la proteína causante de esta afección no es determinante para la vida. Además, casi la totalidad de esta proteína se produce en el hígado (99 %). Por ello, si se consigue dirigir adecuadamente el editor genético hacia el hígado a través de la sangre, este inactivará la proteína mal plegada gracias a la proteína cas9, que forma parte del complejo CRISPR y actúa como una tijera. Los resultados son prometedores y podrían significar un cambio sustancial en la calidad de vida de los pacientes con amiloidosis, que solo deberían someterse a un tratamiento en toda su vida.

Un digno rival para el Hubble

El 13 de junio, trabajadores de la NASA y cientos de astrónomos aficionados se paralizaron al darse cuenta de que el Hubble, nuestra ventana al espacio, había dejado de funcionar. Durante más de una semana, un fallo en un ordenador había llevado al telescopio a



entrar en "modo seguro". Pese a ser un triunfo de la ingeniería y la tecnología, no es de extrañar que Hubble, cuyo ordenador fue diseñado en 1974, comience a tener cada vez más fallos. Aunque el telescopio haya vuelto a funcionar, otros instrumentos como el James Webb se preparan para sustituir a este *anciano* cowboy del espacio. Otro digno rival se prepara para cumplir las funciones del Hubble; se trata de SuperBIT, un telescopio astronómico que volará por encima del 99,5 % de la atmósfera

terrestre gracias a un globo de helio "del tamaño de un estadio de fútbol", según indican sus creadores, de las universidades de Durham, Toronto y Princeton. Los telescopios espaciales permiten evitar el problema con el que deben lidiar los telescopios terrestres: cuando la luz atraviesa la atmósfera turbulenta de la Tierra, la visión del espacio se vuelve borrosa. Por ello, SuperBIT contará con un espejo de medio metro de diámetro y con un globo de helio con un volumen de 532.000 metros cúbicos, tratando de ver así lugares del universo jamás antes observados.



Aguas potables sin radionucleidos

Muchas aguas subterráneas están contaminadas por la presencia de radionucleidos y deben, por tanto, filtrarse antes de su uso como agua potable. Hasta el momento, la técnica utilizada para ello es la ósmosis inversa, un mecanismo que utiliza una membrana que separa, mediante presión, el agua pura de otras partículas más grandes, tal como lo haría un tamiz de harina. El principal inconveniente de este método es que debe someterse a altas

presiones, lo cual supone un mayor gasto energético y un desperdicio de agua. Por ello, desde Europa se ha puesto en marcha el proyecto Life Alchemia, que cuenta con la participación de la Universidad de Almería, encargado de estudiar la viabilidad de un sistema que elimine la radiactividad natural del agua mediante lechos filtrantes, que estarían formados por zeolitas impregnadas con óxido de manganeso; una tecnología que no requiere de presiones altas. Los investigadores están tratando el agua de tres municipios, Tahal, Benizalón y Alboloduy y según afirman el sistema es capaz de eliminar hasta el 95 % de los elementos radiactivos presentes en el agua, incluyendo materiales sólidos como el hierro y radionucleidos de uranio y radio.

EN RED



Un paseo por el cosmos

Imaginarse un Google Maps de la bóveda celeste no es ningún capricho. Existe, y se llama Google Sky. Un vez el usuario entra en la página (https://www.google.com/intl/es_es/sky/) puede explorar diferentes opciones: nuestro sistema solar, las distintas constelaciones que conocemos, la galería de imágenes del Hubble... Google Sky es una herramienta colaborativa donde se entremezclan observatorios y satélites de programas de la NASA con astronomía casera para dar una imagen lo más resuelta posible sobre cómo luce el universo. Parte de los cuerpos que se pueden explorar en Google Sky añaden información adicional sobre la naturaleza de estos; cúmulos de superestrellas, galaxias, nebulosas, explosiones estelares; todos estos fenómenos se muestran en su página interactiva a través de la cual el usuario puede desplazarse, tal como haría desde su móvil para llegar de un lugar a otro.

EFEMÉRIDES ►

HACE 170 AÑOS...

Foucault demuestra la rotación de la Tierra

No hay museo de ciencia interactivo en el mundo que no tenga un péndulo de Foucault, en el que reproducir el ingenioso experimento que llevó a cabo León Foucault el 26 de marzo de 1851 y que demostró la rotación de la



Tierra sin necesidad de salir al espacio para observarla. Bajo el techo del Panteón de París, el físico francés suspendió un enorme y pesado péndulo de 70 metros y lo hizo oscilar sobre un suelo de arena. A medida que transcurría el tiempo y se balanceaba, el péndulo dejaba una marca visible en la arena. Conforme fueron pasando las horas, la



posición de esta marca cambió, siendo evidente así que la Tierra debía girar sobre su propio eje. El Péndulo de Foucault sigue siendo, a día de hoy, una de las maneras más simples y elegantes de demostrar el movimiento del planeta y la diferente rotación entre los polos y el ecuador, donde el péndulo permanece siempre en el mismo plano sin llegar a girar.

EXPOSICIÓN

Outbreak: Epidemias en un mundo conectado

Disponible desde el 16 de junio
Museu de Ciències Naturals
de Barcelona
<https://museuciencies.cat/es/>

Resulta extraño visitar la historia en tiempo real. Esta suele considerarse como aquello que ya se fue, que ya pasó. Sin embargo, la pandemia ha alterado esa noción: el ahora es histórico y, con todo, recuerda al ayer; en concreto, a 1918. El mundo avanza, pero ciertas constantes se mantienen. De eso trata Outbreak, una exposición organizada por el Smithsonian National Museum of Natural History con motivo del centenario de la pandemia ocasionada por la mal llamada *gripe española*. Las constantes, en cuestión, son aquellos factores humanos, animales y



ambientales “que contribuyen a los brotes epidémicos (*outbreaks*) en un mundo globalizado y conectado, donde los agentes infecciosos se mueven libremente entre las fronteras y los continentes”. Esta exposición, que ahora podrá visitarse en el Museu de Barcelona, reproduce un retrato muy detallado sobre el nuevo virus SARS-CoV-2, teniendo en cuenta los antecedentes históricos de otras pandemias que han marcado la evolución de la humanidad y el planeta. Cómo se originan los brotes, como se frena su propagación, la necesidad de tener una población que conozca la naturaleza de estas epidemias... Outbreak conecta el ahora con los libros de historia.

LIBROS

**Resistencia: un año
en el espacio**
Scott Kelly
Editorial Debate
2021
448 páginas
20,80 €



Son muchos los astronautas que dicen experimentar un sentimiento de profunda admiración cuando observan la Tierra desde el espacio. Ese punto azul pálido, que dijo Carl Sagan. Sin duda, Scott Kelly ha sido la persona que más veces ha podido sobre-

cogerse al ver su hogar lejano y desprotegido. Los 340 días que pasó en el espacio avalan su historia, que ahora se recoge en el libro *Resistencia: un año en el espacio*. Kelly relata experiencias que quizás ningún otro ser humano haya vivido ja-

más. ¿Qué le ocurre a nuestro cuerpo, acostumbrado tras millones de años a desarrollarse en la gravedad terrestre, cuando habita en la estación espacial durante tanto tiempo? Esta obra muestra la cara B de los héroes; el aislamiento, la ansiedad, la tristeza, la desconexión con la realidad y el miedo. Un enfoque totalmente distinto, repleto de humor y con una lucidez propia de quien ha tenido que escucharse por pura supervivencia.

REDES



@materia_ciencia. Cuenta oficial de la web de ciencia, medio ambiente, salud y tecnología de El País. Comentan la actualidad del mundo científico al detalle.



SimonOxfPhys. Los vídeos del físico Simon Clark tratan cuestiones relacionadas con el cambio climático, la física de la atmósfera e incluso su experiencia como estudiante en Oxford.



Investigación y Ciencia. Cuenta de la versión española de la revista Scientific American, donde se comenta la actualidad de diferentes disciplinas científicas.



@moureortega. Cuenta personal de Moure Ortega, biólogo y colaborador del programa de divulgación Órbita Laika. En sus vídeos habla sobre curiosidades relacionadas con el mundo de la biología.



@papisantaolalla. Doctor en física de partículas e ingeniero de telecomunicaciones, Javier Santaolla comenta noticias científicas, realiza experimentos y aclara conceptos sobre ciencia.



@GataSchrodinger. Cuenta de la periodista científica Rocío Vidal, donde realiza entrevistas, tertulias y, en general, aborda cuestiones relacionadas con ciencia, la ética y el escepticismo.

Panorama

El CSN envía al Parlamento el informe de sus actividades durante 2020



El 12 de agosto, el Consejo de Seguridad Nuclear remitió al Parlamento su informe anual, con el detalle de las actividades desarrolladas por el organismo durante

el pasado año, que destaca la adaptación realizada por el organismo ante durante el estado de alarma para dar continuidad al desempeño de sus funciones y preser-

var así la seguridad nuclear y la protección radiológica de las instalaciones en materia de su competencia.

Entre las principales actividades llevadas a cabo en 2020 se encuentra la aprobación del Plan Estratégico del organismo para el periodo 2020-2025, que contempla proyectos estratégicos de especial relevancia: la evaluación de la cultura de seguridad del CSN, el desarrollo e implantación de una metodología de aproximación sistemática en la formación y el desarrollo de un plan de transformación digital del organismo.

En el ámbito de la seguridad nuclear destaca el informe favorable del CSN a las renovaciones de las autorizaciones de explotación de las centrales Almaraz y Vandellós II, así como la puesta en marcha de planes de prevención y contingencia en respuesta a la situación de crisis sanitaria, que posibilitaron el correcto funcionamiento de las instalaciones nucleares y radiactivas en España. ▮

El Comité Asesor para la información y participación pública celebra su 21ª reunión

El Comité Asesor para la información y participación pública del Consejo de Seguridad Nuclear mantuvo el 24 de junio su 21ª reunión, celebrada por videoconferencia y dirigida por el presidente del CSN y del Comité, Josep Maria Serena i Sender, que estuvo acompañado por los consejeros Javier Díes, Francisco Castejón, y Elvira Romera, y el secretario general del CSN y del Comité, Manuel Rodríguez.

Durante la reunión se abordaron cuestiones técnicas y, entre otras cosas, se repasó el estado de las 12 recomendaciones emitidas por el Comité Asesor desde su creación, en 2011, dirigidas a mejorar la transparencia, el acceso a la información y la participación pública del Consejo. ▮

Reuniones de encomienda de funciones de Baleares y Galicia

El CSN ha celebrado durante los meses de mayo y junio, de forma telemática, las reuniones anuales sobre las encomiendas de funciones con las comunidades autónomas de Islas Baleares y Galicia. En dichas reuniones se analizaron los datos de actividad del último año y se planificaron las del año actual. En ambos casos, y debido a las limitaciones impuestas por la pandemia, se detectó que se habían realizado menos inspecciones de las programadas en instalaciones de rayos X, aunque se superaron las realizadas en instalaciones radiactivas. ▮

Nueva aplicación del CSN para dispositivos móviles

El Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) ha rediseñado su aplicación para teléfonos inteligentes y tabletas, tanto en sistema iOS como Android. Dispone de un menú de navegación que permite el acceso a numerosa información, como el estado operativo de las centrales nucleares, los sucesos notificados, los datos ambientales de la Red REA y de las estaciones autonómicas, publicaciones, noticias. El nuevo diseño permite acceder fácilmente a toda la información y se puede activar un sistema para recibir notificaciones sobre nuevas noticias y sucesos. Se puede descargar de estos códigos QR:



Para iOS (izquierda) y Android.

Jornada sobre transparencia y comunicación de sucesos en el CSN

El Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) celebró el 29 de junio una jornada divulgativa para dar a conocer la Instrucción del Consejo IS-10, sobre notificación de sucesos; el Manual de la Escala Internacional de Sucesos Nucleares y Radiológicos (INES) y la gestión del organismo en materia de transparencia y comunicación de sucesos. Abierto al público y emitido por streaming, el evento tuvo una elevada participación. La jornada fue inaugurada por el presidente del CSN, Josep Maria Serena y constó de siete intervenciones por parte del consejero Francisco Castejón y diversos técnicos del CSN, que están disponibles en el canal de YouTube del CSN. Durante 2020, el CSN recibió 24 notificaciones de las que 23 quedaron por debajo de la Escala INES y una fue calificada como anomalía (nivel 1).

Reunión entre el CSN y el Comité de Energía Nuclear sobre previsiones de licenciamiento

El pasado 11 de junio se celebró de forma telemática una reunión del comité de enlace con el Comité de Energía Nuclear (CEN), al que asistió el Pleno y diversos miembros del cuerpo técnico por parte del Consejo de Seguridad Nuclear y representantes de Endesa, Iberdrola, Naturgy y EDP España y del propio CEN. Durante el encuentro, que estuvo presidido por el consejero Javier Dies, se abordó el estado de diversos procesos de licenciamiento y renovación de varias instalaciones, el desarrollo de normativa regulatoria y las previsiones de nuevos licenciamiento para los próximos años.



El CSN asume la presidencia del Foro Iberoamericano

El Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores Radiológicos y Nucleares (FORO) mantuvo su 27ª reunión, celebrada de modo telemático, los días 24 de junio y 29 y 30 de julio. Por parte del CSN participaron el presidente, Josep Maria Serena, y la consejera del organismo Elvira Romera. Durante la reunión se repasaron las actividades realizadas desde la anterior, las acciones y medidas adoptadas por los organismos en el contexto de la pandemia y la participación del FORO en actividades del OIEA y de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP). También se trabajó en el nuevo Plan de Acción 2021-2023 del FORO y se produjo el traspaso de la presidencia del organismo, que ostentaba Cuba, al regulador español, por un periodo de un año. El presidente del CSN expuso los objetivos que se marcaba para este periodo, en el que se celebra el 25 aniversario de su creación.

Principales acuerdos del Pleno

Iniciativa internacional sobre igualdad de género en los reguladores nucleares

En su reunión del 30 de junio, el Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) aprobó por unanimidad la integración del organismo en la iniciativa internacional sobre igualdad de género en el ámbito de los reguladores nucleares (IGC-IG, por sus siglas en inglés), que cuenta con la participación del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y de la Agencia de Energía Nuclear (NEA). Los participantes se comprometen a promover acciones colectivas para avanzar en la igualdad de género y realizar un seguimiento de los resultados dentro de sus respectivas organizaciones.

Subvenciones para cátedras de seguridad nuclear y protección radiológica en las universidades españolas

También en su reunión del 30 de junio, el Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear aprobó la resolución por la que se establecen las bases reguladoras para la concesión de subvenciones a universidades españolas en régimen de concurrencia competitiva, para la financiación de cátedras en materia de seguridad nuclear y protección radiológica, que entrarán en vigor una vez sean publicadas en el Boletín Oficial del Estado.

Planta de fabricación de concentrados de uranio de Retortillo

El Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), reunido el 12 de julio de manera telemática, acordó, por cuatro votos a uno, informar desfavorablemente la solicitud presentada por Berkeley Minera España

(BME) sobre la autorización de construcción de la instalación radiactiva de primera categoría del ciclo del combustible nuclear “planta de fabricación de concentrados de uranio en el municipio de Retortillo” (Salamanca), de acuerdo con la propuesta de Dictamen Técnico elaborada por la Dirección Técnica de Protección Radiológica. La decisión se apoya en las elevadas incertidumbres de los análisis de seguridad de la instalación en los aspectos geotécnicos e hidrogeológicos y en otras deficiencias técnicas detectadas, especialmente en el almacenamiento definitivo de residuos radiactivos de muy baja actividad.

Actividades de formación, información y divulgación sobre seguridad nuclear y protección radiológica

En su reunión del 14 de julio, el Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear aprobó una resolución por la que se establecen las bases reguladoras para la concesión de subvenciones, en régimen de concurrencia competitiva, para la realización de actividades de formación, información y divulgación relacionadas con la seguridad nuclear y la protección radiológica. Podrán solicitarlas las instituciones privadas sin ánimo de lucro, las agrupaciones de personas físicas o jurídicas (tanto públicas como privadas) y los centros de enseñanza superior y/o investigación. La cuantía de las subvenciones se establecerá en la correspondiente convocatoria y no podrán superar el límite máximo total de 75.000 €.

Instrucción Técnica Complementaria a la central nuclear Vandellós II

El Pleno del Consejo de Seguridad Nu-

clear aprobó por unanimidad, en su reunión del 21 de julio, celebrada por videoconferencia, remitir a Asociación Nuclear Ascó-Vandellós II, AIE, titular de la central nuclear Vandellós II, una Instrucción Técnica Complementaria por la que se requieren acciones en relación con los sistemas de ventilación no relacionados con la seguridad que pueden procesar gases radiactivos, para prevenir un suceso análogo al ocurrido en la central nuclear Ascó I en 2008.

Renovación de la autorización de explotación de la central nuclear Ascó I y II

Tras varias sesiones de análisis de la documentación presentada, el Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) acordó por unanimidad el 28 de julio informar favorablemente la solicitud de renovación de autorización de explotación de la central nuclear Ascó (Tarragona) por un periodo de 9 años para la unidad I (hasta 2030) y 10 años para la unidad II (hasta 2031) con los límites y condiciones sobre seguridad y protección radiológica establecidos para cada caso. La decisión se apoya en la verificación del cumplimiento por el titular de los requisitos de la autorización concedida en 2011, el correcto funcionamiento de la central, el mantenimiento del nivel adecuado de seguridad, la capacidad de la instalación para dar respuesta a requisitos normativos de mayor exigencia a los requeridos en su diseño original y las propuestas de mejora de la seguridad que el titular ha realizado como resultado de la Revisión Periódica de la Seguridad (RPS). La decisión incluye 10 límites y condiciones a los que quedará sometido el funcionamiento de la unidad I y 11 a la unidad II. 

Publicaciones



Informe del Consejo de Seguridad Nuclear al Congreso de los Diputados y al Senado Año 2020



Informe del Consejo de Seguridad Nuclear al Congreso de los Diputados y al Senado Año 2020 | Informe Resumen



Guía de Seguridad 6.5
Guía de ayuda para la aplicación de los requisitos reglamentarios sobre transporte de material radiactivo (Actualizada según el ADR de 2021)



Programas de vigilancia radiológica ambiental Resultados 2019



OLP de las centrales nucleares
Impacto de la Operación a Largo Plazo (OLP) de las Centrales Nucleares sobre la Seguridad y la Protección Radiológica

alFa Revista de seguridad nuclear y protección radiológica

Boletín de suscripción

Institución/Empresa		
Nombre		
Dirección		
CP	Localidad	Provincia
Tel.	Fax	Correo electrónico
Fecha	Firma	

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

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

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

Abstracts

REPORTS

6 Science is also a woman's thing

As part of the world-wide movement that aims to shine a light on women in science, the Spanish Asociación de Mujeres Investigadoras y Tecnólogas (AMIT) (Association of Women in Research and Technology) has launched the campaign #NoMoreMatildas. This report includes seven examples of women scientists talking about their experiences, difficulties, successes and dreams.

13 ... And chemistry became life

There is still no definitive answer to the eternal question about the origin of life on Earth, but it is probably to be found in a molecule, ribonucleic acid (RNA), currently in fashion as a result of its association with anti-covid vaccines. The hypothesis known as the *NRA world* is taking hold as a possible explanation for the transitional stage to the first cells.

33 Seeds of space-time

Black holes have gone from being considered a mathematical eccentricity to occupying the centre stage in the 2020 Nobel Physics Prize and have become a laboratory for experimentation in today's astrophysics, where even the laws of science are altered. They permeate space-time to such an extent that certain theories suggest that they are the seeds from which the cosmos grew.

38 The broken shield

According to IPBES, a scientific platform driven by the United Nations, one of every eight species is likely to become extinct in the coming decades. This loss affects us all as biodiversity is a shield that protects us. Scientists assure us that we are witnessing first-hand the sixth mass extinction event in the history of the planet.

51 'Blockchain', beyond digital money

Bitcoin, the cryptocurrency that has no backing from any government or organisation, is seeing its use and value multiply, this casting doubts as to its reliability. Behind it there is a technology, the blockchain, that is considered to be incorruptible and whose applications are beginning to proliferate in the interests of guaranteeing security.

56 Nuclear tourism, the new stalkers

Some locations that have been devastated by nuclear disasters, such as Hiroshima, Fukushima and Chernobyl, have become tourist hotspots, in certain cases with fun-fairs included, driven by television series such as those dedicated to the Ukrainian plant and the one on the Palomares incident in Spain.

RADIOGRAPHY

26 CSN virtual exhibition stand

The limitations imposed by the pandemic have led the Nuclear Safety Council to create a virtual stand allowing it to participate in events remotely.

INTERVIEWS

28 María Blasco, director of the National Centre for Oncological Research

"Covid patients exhibiting the most severe symptoms have shorter telomeres."

64 Juan Carlos Lentijo, ex IAEA Director of Nuclear Safety

"The world would not accept another sizeable nuclear accident."

TECHNICAL ARTICLES

19 The nuclear power plant supply chain

It is essential that the replacement items and components installed at nuclear power plants fulfil suitable safety requirements. Consequently, the supply chain must guard against and avoid a series of problems observed in recent years, such as counterfeit and fraudulent components, obsolescence, the increasing use of digital equipment and the use of commercial off-the-shelf equipment for safety-related functions.

44 Control of stray radioactive sources

For tens of years now, Spain has had a rigorous regulatory control system covering the use and possession of radioactive sources that sets out the basic standards for the protection of workers and the general public against the health risks posed by ionising radiations.

¡Conecta con nosotros!



https://twitter.com/CSN_es



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



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



<http://www.csn.es>