

# Quo

## GIGANTES DE LA CIENCIA



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE CIENCIA, INNOVACIÓN  
Y UNIVERSIDADES

FECYT  
INNOVACIÓN



**G**igantes de la ciencia es una serie de reportajes de Quo en el que visitaremos algunas de las infraestructuras científicas y técnicas singulares, las ICTS, dependientes de la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología.

Son instalaciones únicas que están abiertas para su uso por la comunidad mundial de científicos e investigadores. Para esta serie de reportajes hemos seleccionado las instalaciones que más nos están ayudando a luchar contra el cambio climático.

Nos vamos a desplazar a estos lugares de España en vehículos eléctricos o híbridos gracias al patrocinio de Nissan y hablaremos con los científicos responsables de los avances que nos pueden ayudar a que la humanidad tenga un futuro mejor.

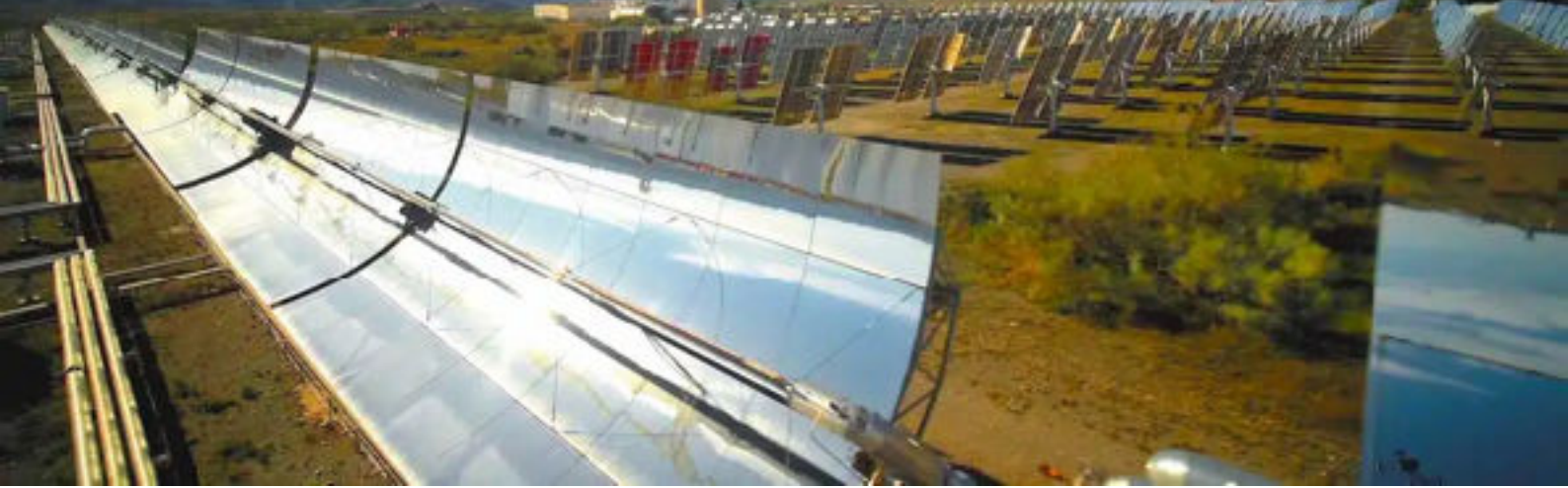
Comienza el viaje.



**DARÍO PESCADOR**  
**DIRECTOR**

# LA PLATAFORMA SOLAR DE ALMERÍA

ESPEJOS Y SOL CONTRA EL CAMBIO CLIMÁTICO



Darío Pescador

## La primera entrega de Gigantes de la Ciencia nos lleva al desierto de Tabernas en Almería, donde se encuentra uno de los más importantes centros de energía solar de concentración del mundo

**E**s el año 216 antes de nuestra era. Una flota romana asedia la ciudad de Siracusa, pero allí vive un anciano inventor de 70 años llamado Arquímedes. Usando escudos pulidos para concentrar los rayos del sol, Arquímedes hace arder a los barcos romanos.

No sabemos si la historia es cierta, pero la idea ha llegado hasta nuestros días y para comprobarlo tenemos que viajar a otro lugar del Mediterráneo. Bienvenidos a la plataforma solar de Almería.

Espejos de Arquímedes por Giulio Parigi

La Plataforma Solar de Almería es un centro de investigación de tecnologías solares de concentración. Depende del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, el CIEMAT. La plataforma solar está situada en el desierto de Tabernas, en la provincia de Almería. Julián Blanco, doctor en ingeniería y director de la Plataforma Solar de Almería, nos cuenta su historia:

Julian Blanco, Director de la Plataforma Solar de Almería (CIEMAT)

“Todo esto surge a raíz de la crisis del petróleo del 75 que Naciones Unidas crea la Agencia Internacional de Energía. La idea que tiene en un principio es intentar rescatar la energía solar. Entre las opciones de energía solar había una, la energía

solar de concentración, que surgió por primera vez al final de la segunda mitad del siglo XIX. En la exposición de París, donde se presentó y se construyó la Torre Eiffel, había algunos inventores que presentaron prototipos o algunos artilugios que concentraban la radiación solar mediante un disco parabólico, y producían vapor. Había un montón de patentes al final del siglo XIX. Una de ellas era lo que ahora se conoce como un captador de cilindro parabólico”.

### Proyecto de Shuman en El Cairo

En un espejo parabólico, todos los rayos que llegan en paralelo se concentran en un solo punto focal. En 1911, el inventor estadounidense Frank Shuman construyó en El Cairo la primera central térmica con concentradores parabólicos, donde se usaban para producir vapor con el calor del sol.

“Aquello funcionó muy bien durante diez años, incluso se amplió”, cuenta Julián Blanco, “pero el problema es que precisamente en aquellos años se descubrió petróleo en toda la zona y que era mucho más efectivo, más barato y mucho más abundante, y se descartó la idea. La Agencia Nacional de Energía en el 74 rescata esta idea para construir en algún sitio del planeta por un centro para ver el potencial real que tiene esta tecnología para producir energía y producir electricidad. Eso se decidió en una reunión que tuvo lugar en Washington el año 75, y allí había un español que era muy entusiasta de la idea y pensaba que había que ver la forma de traer esto a España”.

El proyecto también contó con el apoyo del Instituto Max Planck en Alemania, que en aquella época estaba construyendo muy cerca el Observatorio Astronómico de Calar Alto. Según Julián Blanco, “el razonamiento es pensar que si esta ubicación es buena para ver las estrellas de noche, tiene que ser buena para utilizar el sol de día. En una reunión que tuvo lugar en el año 77, España fue el único país que aportó documentación técnica validando y ofreciendo un emplazamiento. Como no había alternativa, se decidió por España. Hubo once países que aportaron financiación y personal para llevar a cabo el primer proyecto que se llamó SSPS (Smart Solar Power System), que fue una pequeña parte de lo que hoy es la plataforma solar. Era un pequeño sistema cilindro parabólico, una pequeña torre de medio megavatio, cada una de ellas con una turbina. Se empezó a construir en el 78 y el 21 de septiembre del año 81 se inaugura el proyecto.

### Captadores de cilindro parabólico

En la plataforma solar de Almería podemos encontrar casi dos kilómetros de espejos parabólicos con una tubería en su punto focal donde se concentra el calor. Por esta tubería circula un fluido que se calienta por la radiación solar concentrada. La plataforma es pequeña en comparación con plantas comerciales de concentración solar, que pueden tener alrededor de 80 kilómetros de tuberías.

Pero el sistema más espectacular son los heliostatos, campos de espejos planos que concentran los rayos del sol en un solo punto en lo alto de una torre. “Ahí podemos llegar a temperaturas

mucho mayores”, comenta Blanco. “En el caso de los espejos parabólicos, la temperatura nominal es del orden de 400 grados, pero aquí podemos llegar incluso a 1.000”.

### Heliostatos

Estas temperaturas tan altas son suficientes para fundir sales, y precisamente las sales son la gran ventaja de estas instalaciones porque permiten almacenar energía. En concreto, en las torres se emplea un compuesto de dos sales que a partir de 221 grados se funden. Este fluido, mediante un intercambiador de calor, produce el vapor y genera electricidad. “La gran ventaja que tiene esta tecnología es que lleva asociado un sistema de almacenamiento térmico”, explica Blanco. “Tenemos un diseño del campo solar que permite que una parte de la energía vaya directamente durante el día a la turbina para producir electricidad, pero otra parte va al almacenamiento térmico, de manera que cuando es de noche o hay algún tipo de incidencia por nubes, la planta puede coger energía de ese almacenamiento térmico. Una vez que no tenemos sol por la tarde, la planta puede seguir funcionando entre siete y ocho horas a potencia nominal entregando electricidad. Las plantas de torre tienen un almacenamiento de entre las nueve y once horas, y eso hace que esta tecnología pueda perfectamente reemplazar el papel que ahora tienen la energía nuclear, el carbón, y las plantas de gas de ciclo combinado”.

En los años 80, el precio del petróleo bajó y muchas instalaciones solares de concentración en el mundo se abandonaron. Pero la suerte (y un par de desgracias) salvaron a la Plataforma de Tabernas. “Todos los países se marcharon de aquí”, recuerda Julián Blanco. “Se entregó la instalación a España. Los dos proyectos, el nacional e internacional, se unificaron y fue cuando se creó la Plataforma solar y se transfirió al CIEMAT para su gestión. La plataforma solar no se cerró por dos accidentes. Uno de ellos fue el accidente Chernobyl, que hizo que los alemanes, que estaban muy involucrados, lo reconsideraran y decidieran quedarse aquí y seguir con el proyecto”.

### Campo de heliostatos y torre principal de la plataforma solar

“Poco después hubo un accidente en la Torre. En su momento se decidió como fluido de trabajo el sodio fundido y, a pesar de que había unos protocolos muy estrictos en un proceso de reparación de una válvula, hubo un accidente, un incendio. El sodio es muy reactivo. Los bomberos vinieron, a pesar de que se había advertido, con agua que no se puede utilizar. Durante varios días estuvo ardiendo todo el sodio y se destruyó casi la mitad de la instalación. Pero ocurrió que había un seguro que lo cubrió, fueron varios cientos de millones de pesetas de la época. Ese dinero se utilizó para decidir no cerrar. En el año 87 España se incorpora a la Unión Europea. Eso permitía solicitar proyectos, el plan se consiguió aprobar y el proyecto empezó a partir del 1 de enero del 90. Fue la razón por la cual yo me incorporé a la plataforma el 2 de enero del 90”.

La energía de concentración solar no sólo es rentable, sino que puede ayudar a otros muchos procesos como la desalación de agua del mar o la producción de combustible a partir del CO<sub>2</sub> del aire. De esta forma, las emisiones totales serían cero.

“Cualquier planta de energías renovables difiere notablemente de una planta convencional que utiliza un combustible, en el sentido de que la inversión inicial es mucho más alta, pero luego sus gastos de operación son notablemente más bajos porque no tienes el coste del combustible. Y en el caso de la planta termosolar se ha demostrado que perfectamente pueden durar 30 o 35 años”, aclara Blanco. “Por ejemplo, para producir hidrógeno, o en el tratamiento de aguas, para la desalación de agua de mar, hay una serie de aplicaciones en las cuales esta tecnología, combinándola con la producción de electricidad, puede ser muy interesante”.

“Una de ellas es el tema de la producción de combustibles solares. La ventaja que tenemos nosotros es que con la energía solar podemos conseguir prácticamente la temperatura que queramos. Aquí tenemos sistemas en los cuales podemos llegar hasta, por ejemplo, hasta 3.500 grados. No hay ninguna tecnología que permita llegar a esa temperatura. Hay determinados procesos y reacciones termoquímicas que tienen lugar a unas temperaturas por encima de mil grados que no se pueden alcanzar con otros sistemas. Así podemos coger el vapor de agua del aire y el CO<sub>2</sub> del aire, y la reacción de agua, más CO<sub>2</sub>, más energía solar concentrada a determinada temperatura te proporciona hidrógeno y gas de síntesis. A partir de ahí, mediante un proceso que tiene 100 años, que se llama de Fischer-Tropsch, se puede producir combustible convencional”.

#### Los hornos solares de la PSA

La plataforma dispone de dos hornos solares, donde por medio de estos espejos se pueden alcanzar hasta 3.500 grados en un punto en cuestión de segundos, suficiente para perforar una placa de hierro. Son las condiciones perfectas para probar la resistencia de materiales.

#### Perforando una placa de metal en el horno solar

“Cuando se estaba diseñando la Estación Espacial internacional, Europa quería desarrollar su propio transbordador para ir a la instalación. Ese vehículo se llamó Hermes. El Columbia, el vehículo americano, tenía unas losetas térmicas que eran las que cubrían todas las partes críticas de la nave, de forma que lo protegiese en la reentrada, que es el momento en el que más sufre y más se calienta. Pues ellos querían que todo el vehículo fuese de un material que soportara la reentrada, y querían ensayar la reentrada para garantizar que eso funcionaba”.

“Necesitaban un sitio donde pudiesen conseguir en muy poco tiempo, en cuestión de segundos, saltos térmicos de más de mil grados. Además, con sollicitación mecánica. Entonces hicieron toda una serie de ensayos. Al principio se rompían todos, pero al final consiguieron el material. Pero lo que ocurrió es que, justo en ese momento, el año 90, cayó el muro de Berlín. Los americanos y los rusos llegaron a un acuerdo para cooperar

y se llegó a la conclusión de que no hacía falta el trasbordador europeo”.

Pero la gran promesa de la energía de concentración solar es el apoyo a las energías eólica y fotovoltaica, donde según Blanco puede tener un papel fundamental como sustituto de otras fuentes basadas en combustibles fósiles o nucleares: “Esta tecnología debido a que tiene almacenamiento y se puede comportar como una central convencional entra en el escenario de descarbonización total para el año 2050, que es el objetivo de la Comisión Europea. Además, parece claro que en España se va abandonar la energía nuclear. De aquí unos años las energías renovables van a ir creciendo mucho, principalmente fotovoltaica y eólica. Son las más baratas y las que más están creciendo, pero tienen unas características muy particulares y es que son no gestionables. La energía eólica produce energía cuando hace viento. En un día en calma no produce. La energía fotovoltaica produce de día, principalmente alrededor del mediodía solar. Pero tenemos que garantizar que a lo mejor a las diez de la noche y sin viento, si alguien quiere encender la luz tenga luz. Necesitamos potencia firme, potencia de base. Y aquí es donde puede entrar la energía termosolar”.

La energía termosolar necesita espacio y sol, algo que Almería tiene en abundancia y que, junto con el trabajo de sus investigadores, convierte a esta infraestructura científica y técnica singular en una de las más importantes del mundo.

# EL SUPERCOMPUTADOR MARE NOSTRUM

LA MÁQUINA PRODIGIOSA QUE PUEDE SALVAR  
A LA HUMANIDAD



Darío Pescador

**El segundo capítulo de Gigantes de la Ciencia nos lleva a la bella ciudad de Barcelona, donde dentro de una antigua capilla se encuentra uno de los supercomputadores más potentes de Europa**

Quieres pruebas de que estás viviendo en el futuro? Tu teléfono inteligente tiene dentro un procesador que es 200 millones de veces más rápido que el ordenador que llevó a los astronautas a la Luna. Tu ordenador de casa tiene la potencia suficiente para crear imágenes realistas de mundos que no existen, componer música de la nada o imitar la inteligencia humana.

Pero hay veces que la ciencia tiene preguntas demasiado complejas y hace falta más potencia de cálculo. Bienvenidos al supercomputador Mare Nostrum. Esta ICTS, Instalación Técnica y Científica Singular, se encuentra en el Centro Nacional de Supercomputación (BSC, Barcelona Supercomputing Center), en Barcelona. Mare Nostrum es el nombre que ha utilizado el BSC para referirse a las diferentes actualizaciones de su supercomputador más potente en cada momento.

El actual Mare Nostrum 4 será próximamente sustituido por el quinto. Mientras tanto, funciona a pleno rendimiento dentro de una gran jaula de cristal, en el interior de la capilla desacralizada Torre Girona. El escenario es propio de una película del agente. 007, un entorno espectacular para una de las herramientas más poderosas de la ciencia.



“Un supercomputador no es más que una máquina que tiene muchos procesadores muy potentes con memoria, que permite a los procesadores comunicarse con una latencia pequeña y con un ancho de banda muy grande”, explica el profesor Mateo Valero, director del BSC. Pero cabe preguntarse, ¿por qué es necesaria una instalación tan grande cuando hoy en día hay millones de ordenadores conectados a través de Internet en la nube? La respuesta: es una cuestión de velocidad.

Como explica Valero, “los procesadores están colaborando en la ejecución de un programa, muchos de ellos pueden estar esperando información de otro y hasta que no viene no hacen nada. Hay aplicaciones, por ejemplo, la dinámica molecular, en la que cada muy poco tiempo los procesadores tienen que intercambiarse información acerca de la posición de cada molécula. Imagínate, millones de puntos, y tú quieres ver cómo evoluciona esto, calculando las fuerzas que actúan sobre ellas, y así calculas cuál es el próximo movimiento. Pero eso lo hacen todas las moléculas, que su vez tienen que enviar su la nueva posición a todas las demás. Eso en un computador distribuido tipo SETI, iría más lento que el caballo malo en las películas del oeste», sentencia.

Un país como España no puede permitir que no se forme gente en estas especialidades y que seamos solo usuarios

“Hay otro tipo de computación que no se hace en supercomputadoras, que es en la nube”, prosigue Valero. “Vas a Amazon o a Google y tienes ofertas, una hora de CPU por tanto dinero. La operación es diez veces más cara que lo que sale esta instalación. Pero, además, hay dos factores. Uno, que si tienes grandes cantidades de datos tienes que poner esos datos allá y no los tienes aquí. Privacidad. Y, además, un país como España no puede permitir que no se forme gente en estas especialidades y que seamos solo usuarios”.

“La supercomputación son cálculos, pero también son datos, cantidades enormes de datos que en algunos casos tardarían días en moverse de un computador a otro, y que si los dejas en un lado que no es el tuyo, te los van a ‘pispar”.

Las posibilidades son enormes: “El cuerpo humano, nuevos materiales, simulaciones de nuevos coches, baterías, o sea, todo aquello que el matemático físico o ingeniero pueda representar con números y que necesite mucha potencia de cálculo. En estos casos supercomputador es la única herramienta que hay. Pero hay problemas para los que todavía no tenemos suficiente potencia de cálculo, a pesar de que tenemos una potencia enorme”, concluye Valero.

#### GEMELOS DIGITALES

Vamos a hablar de cifras. Las 48 torres del Mare Nostrum 4 tienen en total 3.456 nodos, cada uno con dos chips de 24 procesadores. Esos son 165.000 procesadores, trabajando a la vez con una memoria principal total de 390 terabytes y un almacenamiento total de 14 petabytes. Es decir, 14.000 teras. Es miles de veces más potente que tu ordenador de casa. ¿A qué se aplica toda esta capacidad de cálculo? Sobre todo, a crear simulaciones llamadas gemelos digitales.

“Siempre que hay un instrumento nuevo, se potencian la ciencia e ingeniería asociadas a ese instrumento”, aclara Valero. “Galileo Galilei, con el telescopio, permitió ver un poquito más lejos, pero ahora hay telescopios enormes. Mi paisano, Ramón y Cajal, utilizaba los microscopios más avanzados alemanes de la época y las técnicas de tinte de Golgi. Esa máquina le permitió, con ayuda de la tecnología, pensar, proponer una teoría, volver a verla. Realimentación. Un supercomputador no es más que un instrumento al servicio de la ciencia y la ingeniería, pero la ventaja es que es de propósito general. Es decir, depende del software que se use, se comporta como un microscopio, un telescopio, un acelerador de partículas o lo que quieras. Por ejemplo, nosotros estamos trabajando en el ITER, que es el gran proyecto de fusión a nivel mundial. Resulta que no hay experiencia de qué ocurre si el plasma se toca la vasija. Nada. Esto vale millones y millones, tú tienes que simular esto, es el único sistema que hay. Dentro de los gemelos digitales hacemos, por ejemplo, el de Smart Cities, hacemos el de Destination Earth, y estamos iniciando el del cuerpo humano. El gran reto que hay en la medicina es hacer un gemelo digital individualizado de cada uno de nosotros”.

Un gemelo digital de un ser humano significa poder simular la interacción de todas las proteínas que participan en los procesos bioquímicos del cuerpo, lo que permitiría diseñar tratamientos personalizados. “Las proteínas, lógicamente, son un factor fundamental junto con los genes”, explica Valero. “Pero por ejemplo, en computadores como los nuestros se ha hecho el avance más grande para mí que ha producido la inteligencia artificial hasta ahora, que es lo hizo Deep Fold, la empresa de Google, que puede predecir, partiendo como entrada de la secuencia de aminoácidos, cómo se pliega una proteína. Hay más de 50.000 investigadores en ello. Les han abierto una mina con una cantidad de piezas de oro pulido y ¡van como locos! Entrenar esa red neuronal costó muchísimo. El ejecutarla cuesta mucho. Tienes que tener máquinas muy potentes para hacer eso”.

Para la supercomputación, además, son necesarios datos “A partir del covid, ha cambiado un poco la mente de hospitales, la conciencia de la sociedad, de que necesitamos compartir datos para que los médicos e investigadores tengan la mina para poder sacar información”, dice Valero. “También tenemos una copia del EGA European Genome Archive, 20 petabytes de genes, y ahora hay un proyecto europeo que es Beyond One Million Genomes, donde van a secuenciar un millón, porque cuanto más datos, podremos ver muchos tipos de enfermedades”.

Simular el funcionamiento del cuerpo humano para curar enfermedades es un reto enorme, Pero hay un sistema aún más complejo que también está enfermo. Nuestro planeta. El gemelo digital del clima de la Tierra es uno de los grandes proyectos del Mare Nostrum.

#### EL SIMULADOR DEL CLIMA DE LA TIERRA

“Hay cosas que ya estás viendo, pero borrosas. Una de ellas es el comportamiento de la Tierra, de la atmósfera”, cuenta Valero. “Tú tienes que manejar todo eso con miles y millones de nodos, y cada nodo se comunica con otros. En cada nodo tienes que

saber la presión, temperatura, viento, y ejecutar un modelo físico. ¡Pues claro que vemos un modelo de la Tierra!, pero borroso. Con los nuevos computadores lo vamos a ver mucho mejor y nos van a poder permitir predecir más cosas, verlas con una claridad enorme”.

Francisco Doblas, director del Departamento de Ciencias de la Tierra en el BSC, aclara que un gemelo digital no es solo un simulador, sino que se puede interactuar con él. “Un gemelo digital en realidad es un instrumento para que un usuario interactúe con la reproducción del sistema”, explica. “El concepto de ejemplo digital se ha utilizado en la industria. Por ejemplo, creas un modelo de un coche. Pero el gemelo digital no es solo el modelo del coche, una réplica del coche. Necesitas un sistema de interacción con el modelo. Esa idea de interactividad es crítica en el concepto de gemelo digital, porque eso es lo que distingue a un gemelo digital de un modelo”.

“Por ejemplo, en nuestro caso, tenemos modelos del sistema terrestre de los océanos, los hielos continentales, los cielos marinos, la atmósfera, y la interacción que tienen, por ejemplo, con la química atmosférica, con la química oceánica”, prosigue. “Las compañías que tienen grandes portfolios de parques de energía eólica necesitan la información sobre el viento con unas características específicas con muy alta resolución temporal, en zonas específicas del planeta, a alturas específicas. Lo que queremos hacer es darle la vuelta a esta idea y darles la posibilidad de que ellos formulen sus propios requisitos al sistema del modelo digital y digan, ‘Bueno, pues tengo turbinas a 80, 100 y a 150 metros de altura. Necesito saber el viento no cada seis horas, sino una vez cada 15 minutos”.

Esta precisión también se extiende al futuro del clima en nuestro planeta: “Lo más habitual es pensar que las predicciones meteorológicas siempre fallan, cuando en realidad las predicciones meteorológicas han ido evolucionando y mejorando enormemente en los últimos 40 años”, indica Doblas. “Para el cambio climático, por ejemplo, para saber cuál es el nivel de calentamiento que alcanzaremos de aquí a 2050, el nivel de precisión que tenemos es relativamente alto, aunque el horizonte temporal es muy lejano. En ese sentido, los distintos escenarios que se han considerado hasta ahora para simular la evolución del calentamiento en el planeta nos indican que alcanzaremos el umbral de 1,5 grados de calentamiento con respecto a niveles preindustriales aproximadamente en la década de 2030. Muy pronto. Y que, en el año 2050, si no reducimos las emisiones de gases de efecto invernadero de una manera ostensible, y en su lugar continuamos con el nivel de emisiones que tenemos en este momento, estaríamos ya muy cerca de los dos grados de calentamiento. No estamos en la peor trayectoria que consideramos hace 20 años, pero sí estamos en una trayectoria que nos lleva hacia un calentamiento que, los propios países, los propios gobiernos, han considerado inaceptable”.

## EL FUTURO DE LA SUPERCOMPUTACIÓN

Si hoy tenemos inteligencia artificial, pruebas de ADN, mejores baterías o mejores vacunas, es gracias al avance en la capacidad de los procesadores, que se han convertido en aceleradores del trabajo de los científicos. La miniaturización en la electrónica es

la responsable de estos avances, como explica Mateo Valero: “El transistor es sin duda el instrumento que más ha cambiado el mundo, y lo que lo va a cambiar. Porque se habla de la inteligencia artificial, pero si no hay procesadores, no es posible. Hay chips de entre ocho y diez centímetros cuadrados que tienen 200 mil millones de transistores. ¿Y trabajan rápido? Solamente a dos mil millones de veces por segundo. ¡Qué potencia de cálculo! Pero es que además las supercomputadores tienen centenares de miles de esos. El aumento de la capacidad de proceso y de la memoria permite a los investigadores, soñar, atacar problemas que nunca antes podrían haber atacado”.

Este aumento en la potencia de los ordenadores es lo que ha hecho posible los avances vertiginosos de los últimos años. “En el caso del ADN, en el año 2000 no habían podido hacer ni un secuenciador, porque no había tecnología”, comenta Valero. “Era muy lenta y habían gastado 1.000 millones de dólares. Ahora un secuenciador te hace la secuencia de una célula en dos o tres horas y te cuesta 100 euros”.

Tenemos gente de 30 carreras y el 40% es de 55 países. Traemos mucho talento de fuera de España. Así se hace la ciencia.

“La inteligencia artificial, cuando ‘salió del armario’ es cuando hubo datos suficientes y potencia de cálculo, y eso se ha demostrado”, afirma Valero. “Esto permite que, para simular, por ejemplo, el cambio climático, en paralelo con el programa que simula la física, hay un programa de inteligencia artificial que reconoce patrones para guiarlo”. Valero está especialmente orgulloso de la comunidad científica del BSC: «Lo bueno que tiene este centro es que somos de 800 personas. Hay 700 investigadores con cuatro departamentos, un departamento muy grande de Computer Science (hardware, software) y tres verticales de aplicaciones: Ingeniería, Ciencias de la Tierra y Ciencias de la Vida. Porque todo está relacionado. Tenemos gente de 30 carreras y el 40% es de 55 países. Traemos mucho talento de fuera de España. Así se hace la ciencia».

Este ritmo de avances no puede seguir indefinidamente. Los procesadores están alcanzando los límites físicos en su miniaturización. Esto va a provocar cambios asombrosos en los próximos años. «El transistor, gracias a los físicos, continua una batalla de miniaturización que todavía no ha parado», explica Valero. Estamos muy cerca del fin de la famosa ley de Moore. Esto continuará tres o cuatro o cinco o seis años, y llegaremos a un límite. Hay que buscar alternativas. Hay muchas. Una de ellas, que parece mentira, es utilizar el ADN. Por cierto, el ADN está utilizando ahora para almacenar información. Resulta que 175 zetabytes, en discos de 100 terabytes de cinco centímetros, darían dos vueltas a la Tierra. Pues todo eso se puede meter en mil kilos de ADN».

«Tenemos computadores neuromórficos para simular las conexiones de Ramón y Cajal, a la espera de que alguien descubra como funciona una neurona», prosigue Valero, «El gran elefante blanco es la computación cuántica. Hay muy buena gente trabajando, como en cualquier tema. Mentes privilegiadas. Pero tienen un problema serio, sobre todo el del tema de estabilidad. Siempre serán computadores conectados a los supercomputadoras. En el BSC, de nuevo, intentamos ser pioneros. Ya tenemos uno de la serie dos de la Carne Artigas, y

nos toca otro computador cuántico analógico de Europa. Entonces tendremos dos computadores cuánticos pequeños. ¿Cuál es el objetivo? El objetivo es permitir a los investigadores e investigadoras españolas que puedan empezar a desarrollar algoritmos cuánticos.

Superordenadores. Inteligencia artificial. Avances exponenciales. En los años 90, el futurólogo Ray Kurzweil pronosticó la singularidad, el momento en el que los ordenadores superarán a los humanos. ¿Ese es el futuro de nuestra especie? Mateo Valero no lo ve tan claro. «En el primer libro ya predijo una cosa que es mentira: que en el año 2020 los super computadores iban a tener más potencia que la mente humana. Bueno, en el año 42 ya tenían más capacidad que la mente humana para hacer números. ¿Para qué más? Para clasificar imágenes, vale, para cosas rutinarias, pero no han demostrado nada. Todavía no ha habido ese punto de explosión en el cual a partir de ahí pasamos a otro mundo y en el que la mayoría de nosotros moriremos porque no nos podremos adaptar. Eso no es verdad».

El futuro de la supercomputación para Valero es mucho más optimista: «Yo creo que, lo que todo el mundo acepta, es que estas máquinas prodigiosas son ayudas a la toma de decisiones, pero que en algunos casos, como en el del coche autónomo digo, ¿por qué me tienen que quitar a mí la pasión por conducir?»

El Mare Nostrum es una instalación singular al servicio de los investigadores de España, Europa y el resto del mundo. En los próximos años, su capacidad para hacer prodigios no dejará de crecer y asombrarnos.



# EL LABORATORIO NACIONAL DE FUSIÓN

## ATRAPAR LA ENERGÍA DEL SOL

Darío Pescador

**En este episodio de Gigantes de la Ciencia viajamos a Madrid, donde visitamos el reactor de fusión de CIEMAT y descubrimos los secretos de la energía del futuro**

**S**i miras alrededor, te darás cuenta de que casi toda nuestra energía proviene de una forma u otra del sol. Las plantas capturan la energía del sol a través de la fotosíntesis. El petróleo y el gas natural son restos enterrados de plantas prehistóricas. La energía del viento, los ríos y las olas del mar se la debemos a los cambios de temperatura que produce el sol en la superficie de la Tierra. Pero. ¿Y si tuviéramos acceso directamente a la energía del sol? ¿Si pudiéramos crear un sol en miniatura en la Tierra? Aunque no lo creas, eso ya está ocurriendo muy cerca de ti. Bienvenidos al Laboratorio Nacional de Fusión.

Esta infraestructura científica y técnica singular (ICTS) está en Madrid, en la sede del CIEMAT, el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas. Aquí, junto a la Universidad Complutense, hay un reactor de fusión nuclear, el TJ-II. La investigación del LNF, a nivel europeo e internacional, se centra en el estudio de los plasmas confinados a alta temperatura y por otro lado la tecnología necesaria para construir y operar los reactores de fusión: materiales, superconductores, generación de tritio, extracción de la energía, mantenimiento remoto, etc.

«El Laboratorio Nacional de Fusión aborda uno de los grandes retos de la humanidad en el siglo XXI, que es imaginar y moldear el futuro de una sociedad que dispone de una nueva fuente de energía, la energía de fusión nuclear, de manera práctica», explica el director del LNF, el físico nuclear Carlos

Hidalgo Vera. «La comunidad de fusión ya ha demostrado que conseguir la unión de núcleos ligeros para generar núcleos más pesados y que en ese proceso de reacción nuclear hay un déficit de masa que, multiplicado por la velocidad de luz al cuadrado ( $E=mc^2$ ), da una eficiencia energética que no tiene parangón. Es la más elevada que sucede en la naturaleza».

Carlos Hidalgo, director del LNF, en el TJ-II

La energía nuclear que usamos hoy en día es de fisión y se obtiene al dividir núcleos de átomos pesados como el uranio o el plutonio. Por el contrario, la fusión nuclear utiliza átomos ligeros como el hidrógeno, el elemento más simple y más abundante en el universo. Cuando dos átomos de hidrógeno se fusionan para crear uno de helio, se libera una enorme cantidad de energía. Sólo hay un inconveniente para convencer a los átomos de que se unan. Hay que reproducir las condiciones del interior del sol.

Fusión Nuclear: los átomos de hidrógeno pesado (deuterio y tritio) se fusionan para producir helio.

«Si pensamos en lo que necesitamos alcanzar para hacer un reactor de fusión nuclear viable, si nos damos cuenta de que necesitamos manejar la materia en condiciones extremas con temperaturas que son diez veces la temperatura del centro del sol y que necesitamos utilizar campos magnéticos intensos 100.000 veces el campo magnético terrestre. Sin entrar en muchos más detalles técnicos, creo que la sociedad entiende que esto no es fácil», dice Hidalgo. Este inmenso desafío hace que la competición entre países se transforme en cooperación. «Cuando nos enfrentamos a grandes retos, el pilar de la cooperación domina frente al de la competitividad. Yo creo que la historia de la fusión nuclear es una historia de gran cooperación internacional. Una vez que los científicos y tecnólogos son conscientes del gran desafío», añade.

En la actualidad, la fusión nuclear no es viable comercialmente porque todavía consumen más energía de la que produce la reacción de fusión. Pero hay un gran proyecto mundial para conseguirlo llamado ITER, del que el Laboratorio Nacional de Fusión forma una parte esencial. Según Carlos Hidalgo, «el objetivo de ITER es demostrar que podemos amplificar la energía. Un factor diez. Metemos una unidad y sacamos diez. Esos objetivos pensamos que son los que necesitamos, convencernos de que es una realidad científico tecnológica. El siguiente paso después de ITER será la construcción de una planta experimental de fusión nuclear, que es lo que llamamos demo».

La carrera por hacer posible la fusión nuclear es un ejemplo de cooperación internacional sin precedentes. Participan científicos e ingenieros de la Unión Europea, que representa un 45% del proyecto Estados Unidos, China, Japón, Corea del Sur, India y también Rusia y Ucrania. En el reactor podemos ver los componentes desarrollados por estos países.

«Todos los sistemas desarrollados y en operación en este stellerator TJ-II, todos tienen su historia», relata Hidalgo, señalando a una especie de enorme bobina que es un inyector de iones de cesio. «Es un sistema experimental desarrollado en colaboración con el Instituto de Física de Kharkiv en Ucrania y el Instituto Tecnológico de Kurchatov en Moscú, en Rusia. Es una colaboración que tiene más de 20 años, una exitosa colaboración que en las actuales circunstancias tiene un valor simbólico muy importante».

En el interior del reactor, a una temperatura de 150 millones de grados, la materia ya no es sólida, ni líquida ni gaseosa, sino plasma una sopa de iones y electrones de alta energía para que el plasma no se escape ni toque las paredes del reactor. Se atrapa dentro de un poderoso campo magnético. Precisamente el estudio del plasma es una de las misiones fundamentales del Laboratorio Nacional de Fusión dentro de ITER.

Representación del reactor ITER en la que se puede ver el campo magnético que contiene el plasma.

«Hay una transmisión inevitable de energía a la zona periférica», comenta Hidalgo. «Es uno de los grandes desafíos a los que se enfrenta la fusión nuclear. Se deposita en forma de partículas que pueden ser eventualmente energéticas y en forma de flujos de energía con una densidad de potencia que puede alcanzar valores de los diez 20 megavatios por metro cuadrado, que son valores realmente al límite de lo que la tecnología de materiales actual puede soportar».

Aunque la fusión nuclear se consiguió en laboratorio por primera vez en 1932, los obstáculos para su desarrollo hasta ahora son tecnológicos. Por eso es necesaria una colaboración muy estrecha entre físicos e ingenieros. Esto obliga a que el equipo del LNF sea multidisciplinar. «Tratamos todos los aspectos que son múltiples, que están involucrados para hacer de la fusión nuclear una fuente factible en el futuro. Somos aproximadamente 150 profesionales que incluyen ingenieros físicos y técnicos como comunidades dominantes. Pero somos 150 profesionales que estamos fuertemente conectados con una red de colaboradores en la academia, en las universidades y en centros de I+D nacionales, por una parte, y que estamos fuertemente conectados con una red industrial de colaboradores en una esfera distinta, pero absolutamente vital para el desarrollo de la fusión nuclear que es la industria».

La colaboración con la industria en España es uno de los grandes éxitos del LNF. Para Hidalgo, «esa estrategia, que creo que ha sido sensata y extremadamente exitosa, ha permitido que actualmente la industria española se posicione en el tercer lugar en el panorama europeo de contratos ganados, en la construcción de componentes de ITER, después de Francia, que es el anfitrión, y de Italia, con un volumen de contratos adjudicados a empresas españolas de orden de 1.300 millones de euros. Es un resultado que hace diez, 20 años nadie podía imaginar que sería una realidad».

La fusión nuclear es la promesa de una energía limpia y prácticamente inagotable. Los combustibles son los isótopos del hidrógeno deuterio que se extrae del agua de mar y tritio que se puede conseguir en aceleradores de partículas. No hay residuos



peligrosos. A pesar de las altísimas temperaturas. Es imposible que un reactor de fusión explote porque utiliza cantidades mínimas de materia para producir energía. ¿La pregunta es llegará a tiempo esta energía para salvar el planeta del cambio climático?

«No, la energía de fusión no va a llegar tarde», afirma Carlos Hidalgo con rotundidad. «No va a ser ni siquiera la solución mágica. Va a ser un ingrediente adicional que se complementa con otras fuentes de energía. Todas son necesarias. Estamos desde hace ya años en una encrucijada energética, y está claro que las energías dominantes, que son de combustibles fósiles, que tienen estos efectos indeseables de gases con efecto invernadero, tenemos que abandonarlas».

Aún así queda camino por recorrer. Para Hidalgo, «no hay soluciones mágicas. Yo creo que todas las fuentes de energía van a ser necesarias. Van a ser necesarias las energías verdes solar, eólica, que para implementarlas adecuadamente necesitan desarrollos y resolver cuestiones abiertas en el almacenamiento de energía. Y hacen falta nueve nuevas fuentes de energía masivas como la fusión nuclear». Para el director del LFN, se trata de un necesario servicio a la humanidad: «No olvidemos que en esta encrucijada energética, hay dos nuevos ingredientes que lo dominan todo. Uno es el aspecto demográfico. Grandes países emergentes. India. Más de 1.000 millones de personas que tienen derecho a mejorar su nivel de vida, y que requieren recursos energéticos ingentes porque son cantidades ingentes de seres humanos. Y el segundo factor es el derecho que tienen todos los seres humanos en alcanzar niveles de dignidad, y el nivel de bienestar de nuestra sociedad está fuertemente correlacionado con el consumo energético».

Hay un chiste entre los científicos que dice que estamos a 30 años de tener energía de fusión y que siempre lo estaremos. Sin embargo, hay muchas señales de que la meta está más cerca que nunca. Para Carlos Hidalgo, es necesario tomar perspectiva antes de caer en el pesimismo: «Siempre que se habla de la escala de tiempo para hacer realidad nuestros sueños, menciono al gran Leonardo Da Vinci. Quizás mucha gente no sabe que hubo un sueño en la vida de Leonardo da Vinci, que fue volar. Hizo diseños que nunca funcionan. Hicieron falta 500 años para que el ser humano captara la imagen que yo creo que es la más impresionante de la historia de la humanidad. Cuando la nave espacial Voyager en los años 1970 alcanza los límites del sistema solar, la cámara de la nave da la vuelta y hace esa foto emblemática que es una gran oscuridad, con un punto azul pálido que hay que fijarse para encontrarlo, que es nuestro planeta».

Un punto azul pálido. Fuente: NASA

«Ahora todo va más rápido», explica Hidalgo. «Ahora, al ritmo de la innovación, de la tecnología, no sucede en 100 años. Ahora sucede en unos pocos años. Pero el mensaje es que para hacer sueños, al límite de la posible, realidad, hay que tener paciencia, hay que poner esfuerzo, hay que poner recursos y hay que tener políticas sostenidas para que esos sueños sean realidad. Está muy bien que una generación trabaje para que otra generación

se beneficie de los desarrollos y quizás los tiempos que vivimos de inmediatez, no está mal recordar».

Carlos Hidalgo se despide con un pronóstico: Y2a no tendremos que esperar centenares de años. La fusión nuclear debe estar en nuestras manos, operativa en la segunda mitad del siglo XXI».

¿Llegaremos a ver un mundo con energía limpia e inagotable? La respuesta está en manos de los investigadores que trabajan sin descanso en centros como el Laboratorio Nacional de Fusión del CIEMAT, un verdadero gigante de la ciencia.

# EL SINCROTRON ALBA

## LUZ PARA OBSERVAR LOS ÁTOMOS



Darío Pescador

**En este episodio de Gigantes de la Ciencia nos vamos muy cerca de Barcelona para visitar el sincrotrón Alba, una fuente de rayos X concentrados que nos permiten desvelar los secretos de los átomos**

**A**unque no lo creas, para observar lo más pequeño, para desvelar los misterios de la materia y descubrir el comportamiento de los átomos que forman todo lo que existe, hacen falta instrumentos muy grandes. Bienvenidos al sincrotrón Alba.

Esta enorme instalación en forma de donut está en Cerdanyola del Vallés, junto a la Universidad Autónoma de Barcelona. El complejo alberga un acelerador de partículas subatómicas. En otros aceleradores, el objetivo es hacer colisionar a las partículas para estudiarlas. Sin embargo, la principal misión del alba es producir luz, pero no luz visible, normal, sino luz de sincrotrón: rayos X de alta intensidad.

Nos lo explica Josep Nicolas, miembro de la dirección de Alba y encargado de nuevas líneas de luz. “Nosotros utilizamos el acelerador de partículas esencialmente para generar rayos X. ¿Y por qué son estos importantes? Pues porque con los rayos X se pueden analizar muchas cosas de la materia, tanto la estructura, a través de técnicas típicas de difracción, como por espectroscopia”.

**ESCUCHA EL PODCAST DE GIGANTES DE LA CIENCIA**

La luz, incluida la luz visible, es una onda electromagnética. Cuando estas ondas rebotan en los objetos y llegan a nuestros ojos, podemos ver. Pero la luz visible no sirve para observar cosas que sean más pequeñas que su longitud de onda. Por

ejemplo, no podemos ver un virus con un microscopio óptico porque es demasiado pequeño. Hace falta un microscopio electrónico, ya que la longitud de onda de los electrones es mucho más pequeña que la de la luz visible. ¿Pero, y si queremos ver lo que ocurre en un átomo? Pues necesitamos una fuente de luz con una longitud de onda que sea tan pequeña como el átomo. Necesitamos rayos X.

Josep Nicolas establece una comparación: “Las cosas son de colores distintos en el rango de los rayos X. Nosotros vemos distintos colores para distinguir, por ejemplo, frutas verdes de frutas maduras. Los rayos X son un poco la misma idea, pero llevada al extremo. Puedes llegar a ver si un material está oxidado o no está oxidado, o incluso con qué valencia está combinado con otros materiales. Esencialmente es una herramienta analítica para ver estructura a nivel atómico y la función a nivel atómico de toda la materia que nos rodea y de la que están hechas las cosas”.

Vista del área experimental con las líneas del sincrotrón Alba.  
Foto: Wikimedia Commons

Visto de esta forma, la enorme infraestructura del sincrotrón Alba funciona como un gigantesco microscopio para observar los componentes fundamentales de la materia, pero para Nicolas la comparación no es muy exacta, porque en realidad no se llegan a “ver” los átomos. “No es una imagen directa, pero sí que nos permite ver o conocer lo que pasa dentro del átomo en la materia. Más que dentro del núcleo del átomo, la estructura electrónica del átomo. Y efectivamente vemos tanto estructura, es decir, cómo se disponen los átomos y las moléculas (y cosas más grandes como fibras), y cómo funcionan. Como cuando se combinan átomos, vemos qué está pasando con los electrones que empiezan a compartir estos distintos átomos”.

Josep Nicolas, miembro de la dirección de Alba y encargado de nuevas líneas de luz

Las aplicaciones de esta tecnología son inabarcables: “Esto tiene utilidad en todo: en biología, porque al fin y al cabo estamos hechos de átomos. en magnetismo y en dispositivos electrónicos, porque están hechos de átomos. En plásticos, en baterías. Al fin y al cabo, lo que nos permite la radiación de sincrotrón es ver el detalle pequeño de la materia de la que estamos hechos nosotros. No estamos estudiando cosas que no existan en la vida cotidiana”, afirma Nicolas.

#### UNA TUBERÍA CIRCULAR

El sincrotrón Alba es una tubería circular de 270 metros de perímetro. Aquí los electrones se aceleran a velocidades cercanas a la de la luz, empujados por poderosos imanes. Cuando eso ocurre, empiezan a emitir rayos X de muy alta potencia. Las “líneas” son aberturas en el circuito del sincrotrón por el que sale un haz muy concentrado de rayos X. Esos rayos se canalizan para hacerlos incidir sobre las muestras que se están estudiando.

“Puede parecer un poco complicado, pero es lo mismo que hace una antena la antena del móvil”, aclara Nicolas. “Al final lo que

tienes es un conductor que en su interior tiene electrones y cuando perturbamos estos electrones en la antena, emite ondas electromagnéticas, en este caso de ondas de radio o de microondas. Aquí hacemos lo mismo, pero la perturbación es más violenta, y la radiación que se genera no son ondas de radio o microondas, sino que son típicamente rayos X.

Para entender la diferencia de energía de estos rayos X, Jordi Marcos, físico jefe de la sección de imanes en la División de Aceleradores de Alba, hace una sencilla comparación: “Por ejemplo, en una pila normal AA para la radio, si un electrón viaja de un polo al otro, generaría una energía de 1,5 voltios, que es lo que la diferencia de potencial entre los dos polos de la pila. Aquí, en vez de 1,5 voltios, aceleramos los electrones hasta una energía equivalente de 3.000 millones de voltios”. Jordi Marcos bromea con el consumo eléctrico de la instalación: “Creo que la potencia máxima que consumimos es de unos 3 MW, y en estos tiempos que corren esto está empezando a ser un problema, incluso a nivel a nivel europeo. Una parte importante de nuestro presupuesto es la factura eléctrica”.

A pesar de las muchas aplicaciones que tienen los experimentos que se realizan allí, el sincrotrón Alba es una infraestructura singular dedicada a la ciencia básica: “Lo primero que queremos hacer es conocer cómo funcionan las cosas. Cuando conoces cómo funcionan las cosas, puedes inventar otras cosas con ellas”, afirma Josep Nicolas. “Estamos haciendo cristalografía de proteínas, lo utilizamos para saber qué forma tienen las proteínas. Por métodos bioquímicos puede sacar la secuencia de aminoácidos que constituyen la proteína, pero para ver la estructura, la forma física de la proteína, la puedes determinar mediante experimentos que se hacen en el sincrotrón, en líneas de difracción de proteínas”.

Cristalografía de proteínas. Foto: Cell

Conocer la estructura tridimensional de las proteínas, y no solamente su composición, es crucial: “Típicamente, la forma de estas proteínas es la que les da la función. Al fin y al cabo, son como mecanismos que van encajando unos con otros”, aclara Nicolas. Pero esa es una sola de las aplicaciones del Alba. “Por ejemplo, puedes medir en memorias magnéticas el tamaño más pequeño de un bit en un disco duro. Es el tamaño más pequeño, un dominio magnético. Aquí estudias cómo distintos materiales se distribuyen en dominios magnéticos y puedes ver qué materiales generan dominios más grandes o dominios más pequeños, o permiten cambiar los dominios de manera más rápida para que nuestros dispositivos electrónicos que usamos sean más rápidos cada vez y contengan más memoria en menos espacio”.

#### CUATRO DÍAS DE LUZ DE SINCROTRÓN

Precisamente una de las líneas de investigación más interesantes dentro de los muchos experimentos que se llevan a cabo en Alba, es el estudio de los materiales para baterías que tienen la clave para la suficiencia energética en el futuro. “Aquí estudiamos qué le pasa a una batería cuando la cargas y la descargas. Sabemos de que los móviles, los coches y todas las baterías, con el tiempo dejan de cargarse. ¿Por qué pasa esto? ¿Cuál es el proceso químico dentro de la propia batería que hace

que pierda su eficiencia, que con los ciclos de carga y descarga se vaya perdiendo capacidad?”, plantea Nicolas.

La investigadora que puede aclarar estas dudas es Laura Simonetti, científica responsable de la línea de luz CLAEISS. “Toda la comunidad de las baterías intenta acceder a la ‘Solid Electrolyte Interface’, una película muy fina que se forma entre el electrodo y el electrolito. Conseguir manipular, optimizar esta capa es de grandísimo interés, y también entender cómo funcionan los procesos químicos en esta capa tan delgada, que típicamente es de unos pocos nanómetros, es fundamental». Llegar a observar lo que ocurre en algo tan pequeño no sería posible sin el sincrotrón, explica Simonetti: «Esta es una técnica de sincrotrón que es súper poderosa porque puede dar acceso a cualquier tipo de elemento que sea cristalino, líquido, gaseoso o amorfo. Permite tener acceso a ver acceso a la estructura electrónica de los materiales, el estado de oxidación, la especie química o acceder a los detalles de la estructura alrededor de un átomo. Esta estructura local permite el acceso a la comprensión de porqué pasan las cosas. Y es una técnica que necesita el sincrotrón porque funciona cambiando de manera continua la energía de los fotones. Hace falta una alta intensidad que no es posible con un simple espectrómetro de laboratorio”.

Laura Simonetti y Carles Lluna

El sincrotrón Alba fue inaugurado en 2010 y desde entonces se ha puesto al servicio de la investigación tanto nacional como internacional. Hay un proceso de selección muy exigente que depende de un comité independiente, que asigna a los mejores proyectos un número de horas para poder trabajar en Alba. Cuando un equipo de científicos consigue una línea, empieza una carrera contrarreloj para sacar el máximo partido a esta instalación.

“La mayoría de nuestros usuarios son investigadores de del CSIC de las universidades, tanto españolas como extranjeras. Las nuestro es una national facility, es decir, esencialmente servimos a la comunidad española, pero en realidad nos llegan propuestas de todo el mundo. Luego hay una parte que es relativamente pequeña, que es industria. Los usuarios hacen una propuesta del experimento que van a hacer y tienen que competir con otros usuarios porque no hay suficiente tiempo para hacer todas las propuestas. Sólo se hacen las que un panel, un jurado internacional, decide que son las mejores, se hace un ranking y pasan las primeras”, explica Nicolas. En el caso de los experimentos de los clientes industriales, tienen que pagar por el uso de Alba.

El trabajo en el sincrotrón es frenético, como explica Carles Lluna, investigador postdoctoral del Instituto de Tecnología Química en Valencia “Nuestro centro está especializado en la catálisis, en el desarrollo de sistemas heterogéneos para llevar a cabo reacciones químicas de una manera más sostenible. Y esto es aplicable tanto en el tema de baterías como en reacciones de crackeo de la gasolina. Tienen muchas aplicaciones dentro de la sostenibilidad”. Para sus experimentos, disponen de una de las líneas durante cuatro días. “Nosotros llegamos el lunes, previamente habíamos preparado los materiales en nuestra institución y luego intentamos aprovechar al máximo el tiempo

de medida, y hacemos turnos de 12 horas. Somos cuatro compañeros, así que cada uno hace 12 horas, unas 67 horas de medida. Pasamos las 24 horas del día midiendo, claro, hay que aprovechar al máximo una instalación así”.

Durante los experimentos, el sincrotrón Alba prácticamente no descansa. Los electrones, una vez acelerados, se mantienen dando vueltas constantemente en un anillo de almacenamiento. Eso sí, cada cuatro o cinco semanas se detiene la operación para hacer mantenimiento, y sólo entonces podemos acceder a su interior. Cada una de las líneas del sincrotrón es un pequeño universo de conductos, espejos, sensores y brazos robóticos que se monta y se desmonta en unos pocos días. Los secretos de la materia salen a la luz bajo el fino haz de rayos X.

#### EL ALBA DEL FUTURO

Preguntamos a Josep Nicolas por sus experimentos favoritos: “A mí hay una técnica que me gusta mucho, que es la tomografía de células. Igual que cuando vas al hospital y te hacen una tomografía y ves el interior de tu cuerpo con un TAC, nosotros aquí podemos hacer TAC de células individuales, y eso tiene gracia, porque las cosas que has estudiado de pequeño, los orgánulos de la célula, los puedes ver. Pero además puedes ver qué le pasa a la célula cuando se infecta con cosas como la malaria. También puedes ver los virus, y qué parte de los orgánulos de la célula son atacados por los virus, y cómo reacciona la célula”.

Representación 3D segmentada de una célula Ptk2 infectada por el virus. Azul: núcleo, rojo/naranja: partículas de virus; anchura de la célula aprox. 10  $\mu\text{m}$ ; Sincrotrón Xradia 825. Imagen cortesía de: F.J. Chichon, CNB-CSIC y Sincrotrón ALBA (España).

El nuevo sincrotrón Alba II, que reemplazará al actual, permitirá aún más precisión y ver con más nitidez lo que ocurre en el microscópico mundo de los átomos. “Es el mismo edificio, pero no es la misma máquina”, explica Nicolas. “Cambiamos la máquina por un acelerador más moderno, que produce un haz más pequeño. Más pequeño quiere decir que además será más intenso. Con esto podremos actualizar nuestras líneas para que mejoren sus resultados. Tienes más fotones en la muestra, y mides más rápido, tienes mejor estadística. Puedes medir procesos dinámicos, reacciones químicas, por ejemplo, que van cambiando en el tiempo. Si tienes más fotones, puedes hacer tiempos de exposición más cortos porque tienes más luz. Puedes hacer una película a cámara rápida de la reacción química. Por otro lado, al hacer el haz de rayos X más pequeño, se habilitan una serie de técnicas que no se pueden hacer ahora, como técnicas de imagen”.

El paso al nuevo sincrotrón promete ser revolucionario. “Digamos que el actual es una bombilla, pues el sincrotrón nuevo pasa de bombilla a láser”, aclara Nicolas. “En realidad no es un láser de electrones libres, pero como ocurre en un láser, aumenta la coherencia. Es mucho más intenso y puedes hacer aplicaciones basadas en las propiedades ondulatoria de los rayos X, como interferometría u holografía. Combinando este

tipo de medidas con análisis numérico muy intenso podremos hacer, esta vez sí, microscopía, con resolución de nanómetro, y a una velocidad importante”.

Si recuerdas la clase de química del instituto, tenías que imaginar cómo los átomos ganaban o perdían electrones y se combinaban entre sí. Ahora es posible ver cómo ocurre en directo gracias a una instalación singular como el sincrotrón Alba, uno de los más fascinantes gigantes de la ciencia.



# LABORATORIO SUBTERRÁNEO DE CANFRANC

## EN BUSCA DEL SILENCIO CÓSMICO



Darío Pescador

**El LSC es una (ICTS) dedicada a la física de partículas en el túnel de Somport, entre España y Francia, a 800 metros bajo la cumbre de la montaña, protegido de la radiación cósmica y solar, para detectar a las partículas más escurridizas**

El mundo es un lugar muy ruidoso, pero además del ruido del tráfico, las discotecas o las obras en la calle, hay otro tipo de ruido: la radiación. Estamos rodeados de ondas electromagnéticas y bombardeados constantemente por rayos cósmicos. Así que cuando los científicos quieren escuchar los componentes más diminutos de la materia, las partículas subatómicas necesitan un sitio muy, muy silencioso, protegido de la radiación exterior. Necesitan esconderse literalmente en el interior de una montaña. Bienvenidos al laboratorio subterráneo de Canfranc.

**ESCUCHA EL PODCAST DE GIGANTES DE LA CIENCIA**

El director del laboratorio, Carlos Peña Garay, nos explica los orígenes de esta Instalación Científica y Técnica Singular. “La historia comienza a mitad de los años 80. En este caso, comenzaron a venir en el año 86. Fue un grupo de profesores e investigadores de la Universidad de Zaragoza, liderados por Ángel Morales. Entonces él, que de hecho era un físico teórico, con esa visión se da cuenta que puede contribuir de forma muy

relevante si aprovechan algo que conocían al estar en la Universidad de Zaragoza. Desde el año 70 había un túnel que ya no estaba en uso: el túnel ferroviario de Canfranc. Al principio, el laboratorio no es más que un vehículo tuneado, una furgoneta, donde las ruedas se cambian por ruedas de vagoneta, con una parte trasera para alojar experimentos. Se meten dentro del túnel de ferrocarril a través de la vía y con eso tienen su primer laboratorio (en este caso un laboratorio móvil) y realizan unos primeros experimentos que consiguen articular con investigadores de Francia, Rusia y Estados Unidos. En aquel momento, la investigación estaba en un primer orden».

Antiguo túnel ferroviario de Canfranc. Fuente: LSC

El LSC está dedicado, entre otras muchas cosas, a detectar neutrinos, una partícula misteriosa muy difícil de cazar pero que puede tener la clave del origen de nuestro universo tal y como lo conocemos. “El sol nos está enviando constantemente 10 mil millones de neutrinos por cada segundo. Cada centímetro cuadrado de nuestro cuerpo y en toda nuestra vida. Sólo colisionar a uno”, explica Peña Garay. “Eso es lo que lo hace difícil de detectar. Son realmente muy escurridizos”.

#### A LA CAZA DEL NEUTRINO

Estas partículas solo se pueden detectar si se bloquean las radiaciones que vienen del espacio, y que interfieren con los instrumentos, como aclara Peña Garay: “El sol y otras estrellas nos envían parte de su material, que es el mismo que el nuestro. Es decir, los electrones y protones, además de la luz y los neutrinos. Cuando estos iones chocan con el nitrógeno y el oxígeno de la atmósfera, generan una redistribución de la energía formando nuevas partículas. Una de ellas se llama muones. Son como electrones, pero mucho más masivos, 200 veces más pesados, y son capaces de llegar a la superficie. De modo que, si pongo un detector ahí, lo que van a estar es constantemente golpeados por esta descarga eléctrica que los va a cegar. La razón de ponerlos aquí dentro es que esos detectores están protegidos por 800 metros de roca encima. Lo que va a ocurrir es que los muones ya no llegan, o la cantidad es tan pequeña que el detector podrá dedicarse a medir para lo que está diseñado y no ese ruido constante que hay en el exterior”.

¿Pero qué son y por qué son tan importantes los neutrinos? Antes de nada, tenemos que comprender qué es la famosa antimateria. Y si te parece cosa de ciencia ficción, piensa que en un hospital cerca de ti, los médicos están usando ahora mismo la antimateria para detectar tumores. “Nosotros estamos formados por un tipo de materia, fundamentalmente electrones, protones y neutrones (para los más expertos quark arriba, quark abajo y electrón), partículas elementales que, combinadas en sus distintas formas, hacen todo lo que vemos”, explica Peña Garay. “Hemos encontrado que la naturaleza también produce, en algunas de las colisiones entre las partículas, o lo podemos hacer en el laboratorio, que estas mismas tres partículas, protones, neutrones y electrones tienen sus versiones contrarias. Todo el resto de propiedades son iguales: su masa, cómo interaccionan... pero su carga es la contraria. En vez de electrones con carga negativa, son electrones con carga positiva o positrones. Si se encuentran con un electrón, se atraen, como

cargas contrarias, y en la colisión desaparecen los dos y salen dos rayos gamma”.

Experimento NEXT. Foto: LSC

“Lo mismo pasa con el protón”, prosigue Peña Garay. “El protón tiene su antipartícula, que es el antiprotón, con carga negativa. Si el hidrógeno es un protón con un electrón, pues el antihidrógeno será un antiprotón con un antielectrón. Y así podríamos seguir. En el caso del hidrógeno, lo hemos fabricado del anti hidrógeno. Las desintegraciones naturales generan antielectrones. Esas ya las usamos en los hospitales más modernos en todas las ciudades; en el escáner PET, la tomografía por emisión de positrones”.

La física actual nos dice que, en los primeros instantes tras el Big Bang que dio origen al universo, se formaron tanto la materia como la antimateria. La pregunta es ¿por qué no se aniquilaron inmediatamente, dejando sólo un rastro de energía? ¿Por qué queda todavía esa materia de la que estamos hechos? Peña Garay lo explica: “Eso es muy parecido a lo que vemos hoy en el universo, porque sobre todo lo que hay es radiación. Por cada tres de nuestras partículas hay 10.000 millones de fotones. Entonces vamos a cambiar la pregunta. ¿Y si lo que ocurre es que cuando se formó la materia, la antimateria se aniquiló, pero por alguna razón, los nuestros ganaron por un poquito, solo tres de cada 10.000 millones? Creemos que los neutrinos fueron importantes”.

Los neutrinos se aprovechan de una propiedad extraña de las partículas subatómicas: “Una propiedad natural de las partículas en su vida diaria es que si pueden ser dos cosas, son dos cosas. Es la famosa afirmación de que el gato de Schrodinger está vivo y muerto a la vez. Pues lo mismo creemos que le pasa a los neutrinos: al ser neutros no sabemos distinguir el antineutrino del neutrino. La hipótesis es que el neutrino es a la vez materia y antimateria. Cuando se ve con otro, tiene una probabilidad de ser materia y tiene otra probabilidad de ser antimateria”, explica Peña Garay.

Carlos Peña Garay, director del LSC

Bien, entonces solo necesitamos hacer que se encuentren dos neutrinos y ver qué ocurre. Pero esto no es tan fácil. Vamos a necesitar un enorme tanque de acero al titanio lleno de gas xenón, revestido por dentro de seis centímetros de cobre de altísima pureza y encerrado en un castillo de ladrillos de plomo. Este es el experimento Next del LSC.

“Es nuestro experimento de referencia, una gran idea experimental propuesta por un investigador español, Juan José Gómez Cadenas por un investigador estadounidense, Dave Green”, cuenta Peña Garay. “El xenón, en un isótopo especial, el xenón 136, con 136 protones y neutrones, no se desintegra de modo natural emitiendo un electrón y un antineutrino, sino que emite dos a la vez. Muy raramente, cada dos por diez elevado los 21 años (un 2 con 21 ceros detrás). Pero si emite dos a la vez, va a emitir dos electrones y lo que llamamos dos antineutrinos. Como el núcleo es muy pequeño y van a salir los dos neutrinos, antes de salir, se pueden preguntar: «¿Oye, qué eres hoy?»

¿Materia o antimateria?». Y si ocurre, aunque sea raramente, que son lo contrario, se pueden aniquilar mutuamente y no salen”.

Este desequilibrio puede ser la clave del origen de nuestro universo. “Lo que intenta demostrar este experimento es que existe un proceso donde sólo se forman dos electrones y los neutrinos se aniquilan”, afirma Peña Garay. “El experimento está ahora en una fase de hacer más grande el detector, poner más cantidad de xenón para poder encontrar ese proceso que confirmaría que el neutrino es a la vez materia y antimateria, y que daría esa clave esencial para entender por qué en el principio del universo se formó más materia que antimateria, y eso es el germen de lo que somos hoy. Debemos nuestra existencia a que los neutrinos eligieron nuestro lado y no el de nuestros contrarios”.

#### ESCUCHANDO A LA ANTIMATERIA CON UN CRISTAL DE SAL

El silencio cósmico que hay bajo esta montaña en Canfranc también ayuda a los investigadores a esclarecer otro de los misterios del universo: la materia oscura, que no debe confundirse con la antimateria. “La materia oscura es algo completamente diferente”, comenta Peña Garay. “Sólo sabemos de ella las dos palabras que usamos para caracterizarla: es materia, y eso quiere decir que genera efectos gravitatorios. Lo que observamos es que sólo vemos el 16% de la materia que genera la gravedad que vemos. Entre las distintas hipótesis, la que vemos más consistente es que falta materia por ver. Por lo tanto, es materia, ejerce gravedad, pero no debe de tener integración electromagnética (como le pasa a los neutrinos). Es oscura.

#### Experimento ANAIS. Foto: LSC

La materia oscura tampoco debe confundirse con los neutrinos, aunque ambas partículas necesiten este tipo de instalaciones para ser detectadas. “En cierto sentido la materia oscura se parece a los neutrinos, pero hoy sabemos que no son neutrinos. Los neutrinos típicamente tienen mucha energía comparada con la masa que tienen, por lo tanto, van muy rápido. La materia oscura sabemos que se parece a nuestra materia en el sentido de que va lenta comparada con su masa. Por lo tanto, no son neutrinos. Son muy difíciles de detectar, como les pasa a los neutrinos. Pero si interactúan débilmente, desde luego, lo que hay que intentar es verlos en lugares donde podamos suprimir el resto de las cosas que pasan. Por eso nos tenemos que venir a un subterráneo para reducir el efecto de los rayos cósmicos, para ponernos con materiales muy radiopuros, donde reducimos la radiactividad natural, de modo que nos rodeamos de una especie de silencio cósmico, donde hay felicidad radioactiva, de modo que pase lo mínimo posible y sobre ese mínimo posible que es el ruido mínimo que vamos a encontrar, que podamos ver alguna señal de estas otras partículas que están aquí alrededor nuestro, que cruzan la montaña como si nada, y que quizá alguna deje un poco de energía y podemos seguir su rastro, e identificarlas”, concluye Peña Garay.

El detector de materia oscura de Canfranc se llama ANAIS. Un solo cristal de yoduro de sodio que se encierra en un contenedor

de cobre para aislarlo de la radiación externa y que así pueda captar a la escurridiza materia oscura. Peña Garay lo explica: “No podemos irnos al salero y coger muchos granitos de sal. Cada uno de ellos es transparente, pero muchos reflejan toda la luz. Para que sea transparente y que haya suficiente cantidad de núcleos, generamos un cristal de 12 kilos y medio. De este modo, hay muchos núcleos susceptibles de ver la interacción cuando pasan partículas alrededor de ellos. Como el cristal es transparente, si lo alojo en una cavidad reflectante y pongo detectores en los extremos, si una partícula cruza la montaña y cruza todos los protectores que pongo (plomo para parar la radiación gamma, polietileno para parar los neutrones, detectores de muones por si alguno ha llegado), si llega algo de señal, puedo ver el efecto porque el yoduro de sodio, cuando pasan partículas ionizantes, brilla. Captando ese brillo puedo identificar qué partícula ha pasado, seleccionar aquellas que no son convencionales y ver si detectamos materia oscura”.

“Este detector replica un detector que tiene muchísima historia, hecho en el laboratorio más grande del mundo que está en Italia: el Laboratorio Nacional del Gran Sasso, que encontró una señal compatible con materia oscura”, cuenta Peña Garay. “Como pasa en ciencia, cuando se encuentra algo, hay que replicarlo con una misma tecnología, pero por grupos independientes. Muy en breve sabremos si la materia oscura, o el candidato a materia oscura que decían encontrar en Italia, es algo convencional o es materia oscura, y por algún motivo le gusta la pizza y se detectó ahí”, bromea.

#### INSTRUMENTOS A MEDIDA Y COMPUTADORES CUÁNTICOS

Trabajar en los límites de la física también quiere decir inventar los dispositivos y los sistemas necesarios para los experimentos y seleccionar los materiales adecuados. Un trabajo que Ana Núñez, ingeniera de Radiopureza de Materiales, que con anterioridad había trabajado en el CERN, no cambiaría por nada. “Para mí es bastante satisfactorio, porque nos están construyendo cosas para nosotros bajo unas determinadas características y una serie de limitaciones que estamos poniendo a las empresas y a las fábricas”, comenta. “Luego también nos vamos encontrando con los pequeños inconvenientes de la mecánica, que las cosas encajen o no, o que tengamos que estar haciendo en ese momento pequeños apaños de montaje en el día a día”.

“Poder trabajar en el segundo de estas características en Europa y uno de los 13 que hay en todo el mundo es como, wow!”, comenta Núñez con una sonrisa.

Toda esta tecnología desarrollada para evitar la radiación tiene además una aplicación en unas máquinas especialmente sensibles a las interferencias: los computadores cuánticos. “Son circuitos superconductores, pero que están a tan bajas temperaturas que tienen comportamientos especiales como el entrelazamiento. Puedes poner dos de estos circuitos de modo que comparten un tipo de información y aunque los alejes y estén separados, la modificación de uno instantáneamente afecta a la modificación del otro. Es decir, estamos haciendo una transmisión instantánea de información de uno a otro y eso se llama entrelazamiento”, explica Peña Garay.

“Pero si hay paso de rayos cósmicos por el sistema de refrigeración, como los qbits [las unidades de computación cuántica] tienen que estar conectados térmicamente con el sistema de refrigeración, hay perturbaciones que pasan a través del contacto térmico que rompen ese entrelazamiento. Es una de las áreas comunes con las tecnologías que usan este tipo de circuitos: entender cómo reducir el impacto de los rayos cósmicos en el sistema de refrigeración para que no afecte a la coherencia del entrelazamiento entre qbits”.

Experimento NEXT. Foto: LSC

Una de las instalaciones de Canfranc es un laboratorio biológico único al estar aislado de la radiación por la montaña. ¿Pero qué le ocurre a la vida cuando no hay nada de radiación? Prepárate para una sorpresa. “Cuando comprobamos qué le pasa a las células y organismos modelo que estudian distintos investigadores que han hecho propuestas y están ejecutando y realizando aquí sus experimentos, lo que observamos es que la vida se comporta diferentemente aquí dentro”, dice Peña Garay. “De hecho, la falta de radiación le va peor a la vida. Hay mucho más estrés oxidativo. Se paran procesos de reparación de ADN. Lo que estamos viendo es cómo afecta al desarrollo de determinados organismos reducir la radiación, porque nuestras células o las de los organismos que estudiamos han estado en superficie miles de millones de años. Por lo tanto, están adaptadas a esa radiación, a esa radiactividad natural, a esa radiación básica que está viniendo del espacio, y aquí no está. Hay procesos celulares que se modifican. Queremos entenderlos y eso puede tener impacto en muchas de las grandes preguntas que estamos intentando resolver: ¿cómo se pasó en la vida de unicelular a multicelular? o ¿cómo funciona el envejecimiento?

En los mitos y leyendas de muchas culturas, los héroes descubren secretos y tesoros adentrándose en el corazón de una montaña. Aquí, en este gigante de la ciencia de Canfranc, sabemos que las leyendas tenían razón.



# PLATAFORMA OCEÁNICA DE CANARIAS

## LOS GUARDIANES DE LAS PROFUNDIDADES

Darío Pescador

**A** medio camino entre la costa de la isla y las profundidades del océano Atlántico, la Plataforma Oceánica de Canarias, en la isla de Gran Canaria, proporciona datos imprescindibles sobre la salud de los océanos

Los océanos cubren más del 70% de la superficie de nuestro planeta, y sin embargo, conocemos mejor la Luna que este inmenso ecosistema. Conocer los océanos, estudiar sus aguas y la vida que hay en ellos es vital, porque de ello depende nuestra supervivencia como especie. Bienvenidos a la Plataforma Oceánica de Canarias.

“Canarias siempre ha tenido dentro de su estrategia de especialización inteligente una visión clara hacia el cielo y el mar”, dice José Joaquín Hernández Brito, director del centro. “Por su naturaleza, Canarias era el lugar adecuado para ser banco de ensayos de tecnologías innovadoras con todo lo relacionado con el medio marino. Porque no solamente era ese aprovechamiento del medio, sino también nuevos materiales, uso de drones y robótica, y la transformación digital de la observación del medio marino”.

La Plataforma Oceánica de Canarias PLOCAN es, en efecto, un banco de pruebas de tecnologías marinas que ocupa 23 kilómetros cuadrados frente a la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria. Una localización única que a la vez está cerca de la costa y de las grandes profundidades del Océano Atlántico.

### AEROGENERADORES EN EL OCÉANO

Carlos Barrera, responsable del área de vehículos Autónomos de PLOCAN, lo explica: “Tenemos un banco de ensayos donde el elemento principal o singular es la plataforma, es decir, es un edificio que está en mitad del mar, aunque esté más cerca de

costa que en océano abierto”. Esta Instalación Científica y Técnica Singular tiene dos grandes líneas de investigación, como indica Barrera: “Una, todo lo que tiene que ver con energías oceánicas, nuevos dispositivos de generación energética a partir de capacidades de recursos marinos. La eólica es un claro ejemplo. La eólica flotante en concreto, aquí en Canarias, por sus características singulares. Y una segunda línea de actuación que es la observación oceánica. A día de hoy, la tecnología permite observar el océano muy lejos de costa a grandes profundidades de forma remota. Y ahí justamente PLOCAN proporciona infraestructura para ese tipo de observación, como probar nuevas tecnologías de robótica submarina, nueva sensórica, cableado submarino, sistemas de posicionamiento. Es decir, hay toda una amplia gama de tecnologías que requieren probarse primero para llegar a fase comercial y convertirse en productos que usen la comunidad científica y las empresas de forma rutinaria”.

La energía eólica es una de las grandes esperanzas del mundo para generar energía limpia. La eólica marina colocando aerogeneradores en el océano también es uno de los focos de investigación de PLOCAN y tiene muchas ventajas. “[Los aerogeneradores] se colocan en el océano porque el régimen de viento es más estable, porque se pueden colocar dispositivos de mayor dimensión y desde el punto de vista económico son más rentables, y porque, evidentemente, no interfieren con la actividad humana. También se pueden colocar a grandes distancias de la costa y a grandes profundidades, con lo cual no interactúan con ecosistemas costeros o ecosistemas de gran valor ecológico. Al final se trata de recrear estructuras flotantes que responden a los mismos principios que cuando se construye un barco o una plataforma de petróleo offshore. Algunas tienen flotabilidad positiva, es decir, que están flotando por su propia estructura y simplemente lo que se hacen es se anclan al fondo con cadenas o con dispositivos de fijación para que no se trasladen del sitio”.

José Joaquín Hernández Brito

PLOCAN se encuentra al borde de la plataforma continental, lo que es ideal para la observación del océano a diferentes profundidades con los sensores y los robots más avanzados. Combinando estos datos a lo largo del tiempo con las observaciones de satélite, podemos conocer la salud del océano. Nos lo explica el ingeniero Eric Delory: “Ahora el Panel Internacional sobre el Cambio Climático (IPCC) cuando produce sus informes, se basa en nuestros datos porque no hay otros. En un mes dado puede haber más o menos acidez en el océano, pero el mes siguiente puede ir bajando y volviendo a subir. Pero lo que importa realmente es la tendencia, la media. Esto se ha podido demostrar gracias a la duración de esta serie temporal. Estamos hablando de décimas de pH a lo largo de 20 años. Parece muy poco, pero realmente afecta al ecosistema, en particular a la supervivencia de algunas especies que necesitan una acidez muy estable para desarrollarse”.

EL DESCONOCIDO FONDO OCEÁNICO



José Joaquín Hernández insiste en la importancia de estas mediciones: “Tenemos que tener en cuenta que el planeta es uno solo. El océano es más del 70% de la superficie terrestre y tiene una profundidad media de cuatro kilómetros, con lo cual tenemos una estructura tridimensional en la que se está produciendo una gran cantidad de biomasa. Es un medio prácticamente desconocido, porque solo el 5% se ha estudiado en profundidad”.

Uno de los robots autónomos de exploración de superficie.

Al desconocimiento se une una depredación de las aguas oceánicas sin precedentes: “Hay una explotación salvaje de ese océano, sobre todo fuera de la de los controles de las aguas territoriales, que causan un daño irreparable. Muchas veces es un océano sin ley, sin control y sin vigilancia, donde se produce sobrepesca de los recursos y vertidos. Vivimos en un planeta único que es nuestro soporte vital, no tenemos otro que el que nos proporciona este medio, donde el océano tiene un papel fundamental. Cuando se deteriore ese sistema, los cambios que se van a producir son por completo imprevistos, es decir, estamos evolucionando hacia un sistema que no conocemos”, lamenta Hernández Brito.

Anteriormente, para medir el estado del mar se empleaban buques oceánicos con sondas, pero no era fácil llegar a grandes profundidades ni medir durante mucho tiempo. PLOCAN dispone de una flota de robots submarinos que pueden hacer este trabajo y que seguramente habrían dejado en paro al famoso comandante Cousteau.

“Bueno, no en paro total, pero en fin, buena parte del trabajo que él y su equipo hacían en aquellos vídeos que quienes tenemos una cierta edad hemos visto, evidentemente sí”, bromea Carlos Barrera. “Los buceadores, por ejemplo, tienen una limitación que es la profundidad. La normativa permite hacer un buceo científico hasta los 40 metros, después la cosa se complica. Necesitamos hacer una observación mucho más sostenida en el tiempo en diferentes zonas entre las cuales también se incluye el océano abierto, muy lejos de costa. Eso no es siempre posible con un buceador o manteniendo grandes tripulaciones científicas durante meses”.

En el laboratorio de PLOCAN, en la costa, podemos ver los robots con forma de torpedo que están durante meses en las profundidades del océano analizando datos, desde la temperatura hasta las distintas especies de plancton. Además, estos otros robots que funcionan como barcos autónomos permiten hacer observaciones en la superficie.

Uno de los robots submarinos autónomos «glider» de PLOCAN. “Operamos dos grandes familias de vehículos no tripulados”, aclara Barrera. “Los que denominamos perfiladores (gliders), que tienen forma torpédica, se propulsan con un sistema algo curioso, basado en el concepto de pez, es decir, una vejiga natatoria que hinchan y deshinchan para variar su flotabilidad. Gracias a unas alas y a un trasvase de pesos para inclinarse hacia abajo o hacia arriba en la columna de agua, pueden propulsarse y hacer perfiles ondulantes en zigzag desde la

superficie hasta la profundidad deseada. Con este tipo de dispositivos hemos hecho ya algunas misiones con las cuales hemos cruzado el Atlántico”.

Uno de los gliders de PLOCAN con su «vejiga natatoria».

#### UN SOLO PLANETA, UN SOLO OCÉANO

Los continentes de la Tierra están separados, pero todos los océanos están conectados y comunicados, y lo que ocurre en un lado del mundo afecta al resto del planeta. Gracias a las investigaciones de centros como PLOCAN, podemos aprender a conservar los recursos que el océano nos ofrece. “El avance que se está produciendo es obtener grandes cantidades de datos a través de plataformas como satélites, vehículos no tripulados, e incluso sensores que se están colocando en animales. Es la Internet de las cosas o el océano digital, que nos permite entender mucho mejor el comportamiento de los animales, procesos como el transporte del carbono o los ciclos biogeoquímicos, de una forma que antes no podíamos”, explica Hernández Brito. “En la medida que tenemos más datos podemos entender mejor cómo hacer un uso más sostenible de energías renovables o los recursos pesqueros, o la explotación de elementos relacionados con la biotecnología o con la minería submarina”.

El aprovechamiento de los recursos que nos ofrece el océano no siempre tiene que suponer su destrucción, como aclara el director de PLOCAN: “Yo creo que tenemos que evolucionar para desacoplar uso del medio con creación de impacto. El uso del medio puede crear también un impacto positivo, un beneficio. Debe crearlo. Por ejemplo, si la eólica offshore está produciendo daños sobre la pesca, a lo mejor resulta que es una ocasión para crear determinadas reservas pesqueras, y al mismo tiempo que obtienes energía, se puedan recuperar los alevines, o se prohíban determinados usos pesqueros. También se está mejorando la calidad del medio y facilitando que determinadas estructuras sean arrecifes artificiales donde se pueda generar la vida. El cambio que tenemos que hacer es pensar en cómo podemos usar el medio dejándolo en un estado mejor del que lo encontramos”, concluye Hernández Brito.

Las tecnologías desarrolladas en PLOCAN no sólo nos ayudarán a mitigar los efectos del cambio climático, sino que tienen aplicaciones que ni siquiera imaginamos tanto cerca de nosotros como muy lejos en el espacio. Un ejemplo es la reciente erupción del volcán de La Palma. “Es un fenómeno natural que ha afectado a la Tierra principalmente, pero las coladas llegaron al mar y eso tuvo un efecto. Ahí, por ejemplo, hemos usado robótica por la seguridad, en una zona acotada donde no se podía acceder por razones obvias. Desplegamos una serie de vehículos autónomos y pudimos recabar datos de gran valor. El hecho de poder haber estado aportando nuestras capacidades y sobre todo en beneficio de la toma de decisiones, lo ha hecho un proyecto singular sin ningún tipo de duda”.

El ingeniero Eric Delory ve una aplicación de los robots de PLOCAN en el espacio lejano: “Estas tecnologías permitirán ayudar a la exploración espacial en el futuro. El océano es un

ambiente extremo y que requiere mucha automatización, y puede ser un buen banco de pruebas para desarrollar los futuros robots que irán a los mares de los planetas del sistema solar”.

Se trata de una línea de investigación fascinante y llena de desafíos, como corrobora Barrera: “No nos aburrirnos, y eso va también en el perfil de las personas que trabajamos aquí. Trabajar en la innovación en la ciencia, con técnicas que muchas veces no están consolidadas, te genera retos nuevos”.

No hay límite a lo que podemos aprender sobre los océanos. Pero por encima de todo, este gigante de la ciencia de Canarias nos enseña a cuidar mejor de nuestro planeta, una necesidad acuciante. Según Hernández Brito, “los tratados internacionales que tratan mitigar procesos como la acidificación oceánica no están cumpliendo su objetivo. Seguimos incrementando las emisiones y cuando vayamos a tomar medidas serias, pues quizás lleguemos tarde y hayamos pasado esos puntos de no retorno donde no va a ser posible llegar a los equilibrios que ahora mismo tenemos”.

Para Hernández, la clave está en que la humanidad entienda el papel de los océanos en la vida en el planeta: “Si la población no está concienciada de que lo que ocurra en zonas remotas o que no están justo en sus costas le están afectando a ellos mismos, a sus hijos, mientras no haya esa conciencia global, va a ser muy difícil actuar”, afirma. “Tenemos que ser conscientes de que vamos hacia un planeta con fluctuaciones climáticas muchísimo más grandes que las que tenemos ahora mismo y tendremos que tomar decisiones acerca de si actuamos haciendo algún tipo de ingeniería planetaria, o si no actuamos, y cómo y dónde actuamos. Tendremos que ponernos de acuerdo para gestionar este planeta único en el que todos vivimos”.

# INSTITUTO DE HIDRÁULICA DE CANTABRIA

## DESCUBRIENDO EL PODER DEL AGUA



Darío Pescador

**El Gran Tanque de Ingeniería Marina de IH Cantabria es un simulador de ríos, costas, mares y océanos, una Instalación Singular dedicada a descubrir y entender el poder del agua en el planeta**

**E**l agua es la cuna de la vida y la clave para la supervivencia de nuestra especie. ¿Pero cómo funciona el agua? Si queremos aprovechar mejor y conservar nuestros ríos, mares y océanos, tenemos que estudiar el agua. Bienvenidos al Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria.

“En el instituto todo gira alrededor del agua”, explica Raúl Medina, director de IH Cantabria “Nos dedicamos al agua desde que llueve, va por el río, llega un estuario, va al mar, llega a la costa, en el offshore, y todo lo que está dentro del agua: calidad, derrames de hidrocarburos, etc. También todo lo que envuelve al agua: una cuenca, una zona costera... Aquí realizamos estudios de inundaciones, de riesgos de tsunamis, de diseño de playas, de diseño de puertos, de estructuras offshore, de generación de energías marinas. Todo lo que tenga que ver con el agua lo hacemos dentro del Instituto”.

Este instituto en Santander alberga una instalación singular el gran tanque de ingeniería marina. Con estas máquinas se pueden simular olas, viento y corrientes. El ingeniero Álvaro Álvarez es su responsable: “Tenemos un vaso, una especie de piscina o tanque que tiene 32 metros de ancho por unos 24 de largo y hasta tres metros y medio de profundidad. Con tres metros y medio ya estaríamos en el límite para poder hacer algún tipo de ola”.

## GENERADORES DE OLAS, CORRIENTES Y VIENTO

El tanque tiene capacidades para poder reproducir los tres fenómenos principales que se dan en el océano y en la costa: el oleaje, las corrientes y el viento. “Disponemos de un generador de oleaje con 64 palas que mueven la columna de agua y generan una ola que luego impacta contra una estructura, un flotante, o lo que corresponda”, aclara Álvarez. “Tenemos también un nivel por debajo de ese tanque en el cual hay alojados hasta 12 generadores de corrientes que nos permiten poner en impulsión el agua, simulando las corrientes marinas. Y además disponemos de diferentes medios y diferentes técnicas para poder reproducir vientos”.

Las olas se generan con unas enormes palas que, junto con el resto del equipamiento, fueron construidas por la empresa española VTI. Su responsable de ventas, Jesús Fernández, resume sus características: “Son capaces de generar fuerzas de hasta una tonelada. Es muchísima fuerza, y las olas pueden llegar a tener un metro de altura. En este tipo de instalaciones no es muy habitual llegar a esos valores. Siempre se trabaja todo a escala. Una ola de un metro de altura a escala real pueden ser olas de diez o doce metros en el mar, que ya son unas señoras olas”.

Según Raúl Medina “hay un problema de escala, porque podríamos decir oye, pues no necesitas un tanque tan grande, podría ser más chiquitín. Pero si lo hacemos demasiado pequeño hay fuerzas, como la tensión superficial, que a escala muy pequeña llegan a ser importantes. De ahí la necesidad de hacer grandes tanques, de hacer simulaciones a escala, pero los más grandes posibles. El tanque que tenemos aquí en nuestras instalaciones es el cuarto más grande de Europa y dentro de los 15 más grandes del mundo”.

## RÍOS Y ENERGÍA EÓLICA EN EL AGUA

Una instalación como el gran tanque de ingeniería marina atrae a investigadores de todo el mundo y a empresas constructoras que vienen a probar sus prototipos antes de montarlos en su emplazamiento final. Álvaro Álvarez tiene algunos casos especiales: “En el caso del río Danubio, era la construcción de un puente en Bratislava y querían comprobar que la pila del puente no iba a verse sometida a ningún tipo de socavación por las corrientes. Allí a veces se dan avenidas, tiene una red de presas que regulan ese caudal, pero que en ocasiones no queda más remedio que abrir porque hay un rebase. En ese momento puede llegar a arrastrar toda la maleza, toda la basura que se acumula en el cauce del río. Una de las preocupaciones es: ¿qué pasa si llega todo eso a la pila del puente y se empieza a acumular? ¿Va a ofrecer algún tipo de resistencia? ¿Puede llegar a arrastrar el puente? Todo eso se llega a ensayar aquí”.

El edificio de IH Cantabria que alberga el Gran Tanque

Una buena parte de la energía limpia del futuro, y del presente, depende del viento. Los aerogeneradores marinos tienen muchas ventajas, pero antes de poner una estructura tan grande flotando en el mar, hay que probarla. De esto sabe mucho el responsable del grupo de Energías Marinas, Raúl Guanche: “La

intensidad del viento es más elevada en el entorno marino porque no hay orografía, no hay montañas. Eso lo que provoca es que las turbinas produzcan más y mejor. Por otro lado, un parque eólico no deja de ser un elemento que distorsiona el medio. Podemos conseguir un menor impacto que la que tenemos en tierra ahora mismo”.

Las características de la costa española hacen que los aerogeneradores flotantes sean la aplicación estrella en IH Cantabria. “España no tiene plataforma continental y eso nos obliga a ir a soluciones flotantes ancladas al fondo mediante sistemas de fondeo”, explica Guanche. “El reto principal es que tenemos que ser capaces de entender el comportamiento dinámico de una estructura como esta en la que actúan todos los agentes al unísono: el oleaje, las corrientes y el viento. En IH Cantabria hemos sido capaces de desarrollar técnicas experimentales que nos permiten modelar en laboratorio, de una manera acoplada, la interacción del viento con la estructura de la turbina, incluido su sistema de control. Por último, también simulamos cómo asegurar que esa estructura permanezca fija en su sitio en el parque eólico a través de un sistema de fondeo. Una instalación como esta reduce los riesgos de ingeniería y abarata los costes”.

#### EL GEMELO DIGITAL DEL GRAN TANQUE

Poner en marcha y operar un tanque de estas dimensiones es muy caro y complejo. Por eso el IH Cantabria dispone de un superordenador con un gemelo digital, es decir, un modelo matemático que permite hacer una simulación virtual antes de poner los prototipos en el agua. El responsable de este modelado es el experto en dinámica de fluidos computacional, Javier López Lara: “El uso del gemelo digital sobre los ensayos de laboratorio nos permite mejorar los modelos numéricos y el uso del laboratorio nos permite mejorar la ejecución de las variables físicas sobre el gemelo digital, es decir, que es una complementariedad. A lo largo de los años hemos ido mejorando las dos partes: el gemelo digital ha permitido que los ensayos de laboratorio tengan más calidad, modifiquemos las metodologías experimentales, y el uso del laboratorio ha permitido que el gemelo digital mejore esos modelos matemáticos que representan el movimiento del fluido en la interacción con las estructuras”.

Preparación de una estructura para su colocación en el tanque.

El cambio climático hace que las olas, las mareas, las corrientes y los vientos se comporten de manera impredecible y extrema. Una de las misiones del IH Cantabria es comprender cómo la propia naturaleza marina nos puede proteger de estos fenómenos climáticos. Javier López Lara es además el responsable del Grupo de Riesgos Climáticos, Adaptación y Resiliencia: “Yo creo que para luchar contra el cambio climático, aparte de las medidas de mitigación, necesitamos medidas de adaptación en la costa. Muchas de esas medidas de adaptación requieren ideas nuevas, pero muchas de las investigaciones existentes ahora mismo están basadas en ideas muy convencionales. Creo que tenemos que abrir la mente a ideas un poco más novedosas, más interdisciplinarias, que nos permitan utilizar soluciones que combinen, por ejemplo, ecosistemas

costeros con soluciones artificiales u otro tipo de soluciones que ahora mismo no están estudiadas y que finalmente podamos tener un portfolio de opciones para buscar cuál es la más efectiva”.

#### SIMULAR LAS PRADERAS MARINAS

Raúl Medina explica que “Aquí se ha hecho la simulación de la disipación del oleaje por pasto marino, pero con vegetación de verdad. Primero se plantaron 300.000 semillas de plantas, se germinaron, se hicieron crecer, se llevaron al laboratorio y se simuló cómo las olas progresan por encima de esos pastos, de esa vegetación, y cómo se disipaban. Fue el primer ensayo que se ha hecho en el mundo de esas características”.

La vida que hay bajo el agua, las praderas submarinas, las marismas, manglares y arrecifes de coral son una barrera natural que protege las costas y a las personas que viven en ellas. Una vida que depende de que el agua de los ríos llegue al mar. Nos lo explica la investigadora María Maza. “Mi línea de investigación está ligada al estudio de soluciones basadas en la naturaleza para protección costera y adaptación al cambio climático. Un ejemplo muy claro que todo el mundo en España conocerá es la posidonia oceánica. Estas fanerógamas, plantas submarinas que crecen en zonas submareales, es decir, debajo del nivel de medio del agua, hacen disminuir la energía del flujo, esto quiere decir que las olas y las corrientes, cada vez más extremas, tienen una energía que al pasar por estos ecosistemas se disipa”.

Simulación de pradera con posidonias en el Tanque.

La función de protección de las praderas y otras plantas marinas no se queda ahí: “Además, estos ecosistemas crean suelo. Atrapan el sedimento al disminuir la velocidad del flujo, este sedimento decanta y se queda ahí atrapado. Además crean materia orgánica que hace que este nivel aumente”, aclara Maza.

Estos sistemas son muy delicados, y lo que ocurre en los ríos les afecta enormemente: ”Lo que no se pueden realizar son acciones locales sin pensar en el impacto regional y global”, enfatiza Maza. “Si construimos una presa y ya no hay caudal de río que vierta el estuario, el aporte de agua dulce que hay en esa zona desaparecería. Si desaparece, desaparecen todos los ecosistemas que viven en esa zona. ¿Por qué? Porque esos ecosistemas viven gracias a el aporte doble de agua dulce y agua salada. Si no hay agua dulce, no sobrevivirían”.

#### EL OCÉANO PROTECTOR

Proteger las aguas del planeta es cada vez más importante porque son los ríos, mares y océanos los que nos están protegiendo ahora mismo de las peores consecuencias del cambio climático, Algo que sabe muy bien el director científico Iñigo Losada: “La gente entiende perfectamente que somos un planeta azul por la importancia que tienen los océanos. En materia de cambio climático, si no fuera por el océano, realmente ahora estaríamos en una situación bastante desastrosa, porque el océano está absorbiendo la mayor parte del CO<sub>2</sub> que nosotros estamos emitiendo, y además está absorbiendo la mayor parte del calor que por efecto invernadero

está volviendo a la Tierra. Tiene un papel de regulador que es esencial para que mantengamos el clima dentro de un orden”.

“Pero es que además, el océano nos presta una cantidad de servicios ecosistémicos en general enormes”, prosigue Losada. “No solo como regulación del clima, sino en las pesquerías, el ocio o el transporte. Nosotros el océano no lo estudiamos por capricho, sino porque realmente la función que cumple en el planeta y la función que cumple para la sociedad es enorme. Y cada vez nos estamos dando más cuenta, lo cual puede ser un problema con todo el desarrollo de la economía azul, que lo que trata es de explotar los recursos que nos da el océano, que es la última frontera que nos queda por explorar, pero tratando de que esa explotación sea lo más sostenible posible”.

“Estamos acostumbrados a ir a la playa, a disfrutar de la costa, pero la mayor parte de la gente no entiende ni por qué sube, ni baja la marea, ni por qué vienen las olas de una dirección o vienen de otras”, lamenta Losada. “Es algo que estamos habituados a ver, pero no reflexionamos sobre cuáles son las causas de ello. Y por eso muchas veces, cuando se hacen iniciativas en la costa o en el océano, nuestra capacidad de valorarlas no es la adecuada, porque conocemos el medio, pero desconocemos los procesos fundamentales y las implicaciones de lo que se va a hacer. Yo creo que todo lo que sea conocer más y transferir ese conocimiento a la sociedad y comunicarlo adecuadamente es fundamental”, concluye.

Este gigante de la ciencia de Cantabria nos obliga a una reflexión La próxima vez que abras el grifo o te bañas en el mar, piensa en todo lo que el agua significa para la vida, incluyendo la tuya.



# ESTACIÓN BIOLÓGICA DE DOÑANA

## LA BATALLA FINAL CONTRA EL CAMBIO CLIMÁTICO

Darío Pescador

**E**n el Parque Nacional de Doñana, los científicos de la Estación Biológica libran la última batalla contra el cambio climático y la acción humana que desecan este tesoro natural. Aunque no lo creas, para observar lo más pequeño, para desvelar los misterios de la materia y descubrir el comportamiento de los átomos que forman todo lo que existe, hacen falta instrumentos muy grandes. Bienvenidos al sincrotrón Alba.

**L**os primeros humanos llegaron a Europa desde África hace unos 45.000 años. Hemos dejado nuestra huella y casi no quedan espacios naturales que no hayan sido alterados por la acción humana. Pero en España hay un lugar protegido entre la tierra y el mar donde podemos todavía estudiar la vida en su estado natural. Bienvenidos a la Estación Biológica de Doñana.

«Es una zona de paso, de paso migratorio, es una zona de invernada y una zona que tiene mucha diversidad de hábitats, con lo que hay una comunidad de fauna muy diversa», dice Guyonne Janss, responsable de la Oficina de Coordinación de la Investigación de la Estación Biológica de Doñana. «Está la marisma, que es el final de un río, están las lagunas que son específicas porque se nutren de agua del acuífero, y está también la costa».

El Parque Nacional de Doñana es un espacio natural protegido desde 1969. Entonces comienza la labor científica de recogida de datos y de observación. El vicedirector de la estación, Javier Bustamante, nos explica en qué consiste este trabajo: «Los seguimientos de biodiversidad y de procesos naturales en Doñana se llevan realizando desde los años 70 y han ido evolucionando desde ese momento. Además, está la reserva

biológica como un laboratorio natural donde se pueden hacer investigaciones de biodiversidad, ecología y de cambio global”.

Doñana está orientada a la investigación científica desde que se creó la Reserva Biológica en los años 60. “Su primer director, José Antonio Valverde, tenía muy claro que para conservar Doñana había que conocerla y que para conocerla había que tener información y tener datos”, afirma Bustamante. “Fue el primero muy interesado en tomar datos de lo que pasaba en Doñana, de los procesos de la biodiversidad, de las especies y además insistió mucho en que el personal que había allí, que en ese momento eran guardas de caza, que tenían que apuntar todo lo que vieran en sus cuadernos de campo”.

La naturaleza en Doñana es tan variada y abundante que cientos de científicos de todo el mundo vienen cada año a la estación a realizar sus estudios sobre este ecosistema único. Pero cuando pensamos en Doñana hay siempre una imagen que nos viene a la cabeza: las aves. Según Janss, “Doñana empezó a protegerse por el ganso, el ánsar común, porque se daban cuenta que los gansos que criaban en Suecia, en el norte de Europa, hibernaban en Doñana”.

Foto: Jorge Isla, EBD-CSIC

Para Bustamante, las aves “son lo más llamativo y lo que más llama la atención al visitante. Fue lo que hizo que Doñana fuera un cazadero durante siglos, y lo que atrajo a los primeros observadores. No necesariamente son lo más importante, porque de hecho hay una gran biodiversidad oculta de invertebrados, de plantas poco llamativas, pero que son importantes”, explica. Aún así, Bustamante recalca el valor de las poblaciones de aves: “Las aves sirven tanto como un paraguas para la protección, porque protegiendo las aves estás protegiendo todo el ecosistema, y también son un elemento importante para divulgación. La ventaja que tienen es que son relativamente fáciles de monitorizar, por ejemplo, con censos con avioneta, y son especies muy dinámicas. Se pueden mover, con lo cual pueden responder muy rápidamente a los cambios en los ecosistemas. En el caso de las plantas o los invertebrados, su capacidad de movimiento es menor y puede ser mucho más difícil detectar esos cambios. De hecho, en aves acuáticas, las series temporales que tenemos desde los años 70 te muestran muy rápidamente los cambios que se han ido produciendo en las últimas décadas”.

Además de un tesoro natural, Doñana también conserva un tesoro científico: observaciones de sistemas y especies que se han realizado a lo largo de décadas y que los científicos pueden estudiar para mejorar sus resultados. “Una de las cosas que tenemos y ofrecemos a la comunidad científica son series de seguimiento de fauna y de flora que pueden ayudar a dar una dimensión mayor a los proyectos de investigación”, explica Janss. “Hay investigadores que llevan 30 años trabajando en Doñana y la fuerza de su investigación es justo eso, entender mucho mejor cómo funciona, porque una ventana muy corta de tiempo en un ecosistema siempre provoca la duda de si estoy midiendo algo normal o fuera de lo normal. Tener una media en poblaciones de flora y de fauna es muy importante”.

“Desde el año 74 aproximadamente se realiza de manera mensual un censo con avioneta para contar las aves acuáticas en

Doñana y se ha realizado de forma continua hasta ahora”, corrobora Bustamante. “Los censos de carnívoros se realizan mediante censos de huellas que se hacen periódicamente. Doñana tiene la ventaja de ser un sustrato arenoso y es fácil limpiar una zona y ver las huellas que se producen por la noche, de esa manera puedes ver también la evolución de especies como los carnívoros, que son más discretas y son difíciles de detectar”.

### Laguna del Hondón

Además, Doñana dispone de cuatro torres de observación automatizadas EDI que permiten medir intercambios de carbono entre la vegetación y la atmósfera. “Son sistemas bastante complejos que hacen mediciones de tipo micrometeorológico para ver los flujos de carbono e interpretar si realmente se está fijando carbono o se está emitiendo carbono”, explica Bustamante. “También tenemos las que llamamos estaciones hidrometeorológicas, que lo que miden son algunos parámetros meteorológicos, de nivel de agua, temperatura del agua y conductividad para ver cambios en los ecosistemas acuáticos”.

El nivel de protección del que ha gozado Doñana en todos estos años hace que sea un lugar único entre los países mediterráneos. Esto le valió la Declaración de Patrimonio de la Humanidad de la UNESCO en 1994. “Se combina una diversidad de hábitats muy grande, a la vez que está situada en una ruta migratoria”, explica Janss, “Con la diversidad de especies y la dinámica a lo largo del año hacen que Doñana tenga muchas caras. Hay especies que solo están aquí, en el sur de España”.

Además, Doñana es una zona costera. “Las zonas costeras en España y en todo el Mediterráneo están muy modificadas por el turismo de playa, pero una zona costera donde no vive nadie, eso, al menos en el mundo mediterráneo, es único”, afirma Janss.

Sin embargo, Doñana es un paraíso natural en peligro. El cambio climático ha provocado una sequía sin precedentes, al mismo tiempo que la explotación ilegal para la agricultura de los acuíferos de los que se alimenta el parque están convirtiendo estas marismas y lagunas en un paisaje desértico. Según Janss, “ha aumentado todo, la superficie cultivada, la necesidad de extraer agua del acuífero, la zona de turismo. Todo ha aumentado al mismo tiempo que ha disminuido la disponibilidad de agua. Lo que estamos viendo en los últimos años es una mortalidad muy elevada de la vegetación. Doñana tiene diferentes comunidades de vegetación, una de ellas el alcornocal. Son árboles viejos, pero de repente la mortalidad se ha acelerado. También está pasando con el matorral ligado a zonas más húmedas. Y de hecho ahora, este año, de repente hay zonas de pinar con manchas grandes donde están muriendo las plantas de las dunas y de las zonas acuáticas. Hay muchas que son endémicas o incluso sólo existen en Doñana, porque todos los demás sitios están desecados para la agricultura o bien ocupados por infraestructuras humanas. También está, por supuesto, el lince ibérico, una de las últimas poblaciones que

había en Doñana y en Andújar. Actualmente su situación está mucho mejor gracias también al esfuerzo de los gestores”.

“Hay especies de aves acuáticas que en los años 60 no estaban en Doñana y que se han incrementado mucho. Por ejemplo, el morito, el único ibis que cría en Europa; era una especie que en los años 60 se veía de forma anecdótica y que ahora mismo cuenta con varios miles de parejas criando en Doñana. Otra especie llamativa es la egretta alba, una garza blanca grande, que estaba en el este de Europa y ha llegado a Doñana. Sin embargo, hay otras especies para las que Doñana era muy importante en su momento y que prácticamente han desaparecido o han disminuido mucho. Por ejemplo, el porrón pardo, la cerceta pardilla o la malvasía. Son especies que sabemos que están declinando porque los hábitats que tiene Doñana ya no son adecuados para ellas”, lamenta Bustamante.

Foto: Ricardo Díaz-Delgado, EBD-CSIC

“Entre las aves acuáticas hay algunos patos que están prácticamente extinguidos”, matiza Janss. “Por ejemplo, la malvasía. Entre las rapaces el águila imperial está bastante bien, se ha recuperado gracias al esfuerzo de tanto investigación como conservación. El milano real actualmente está camino de extinguirse en Andalucía, aunque hay poblaciones más al norte. Luego tenemos anfibios en Doñana que conviven y es una población muy, muy singular”.

La sequía tiene consecuencias directas en el trabajo de los científicos: “Está afectando a proyectos que no se han podido terminar y están esperando un año húmedo para añadirlo a sus datos. Por otro lado, hay otros que están aprovechando para ver qué pasa con la sequía, cómo está afectando a la vegetación. Es decir, se está convirtiendo también en una oportunidad para investigar”, explica Janss.

Pero un ecosistema es mucho más que flamencos y linceos. Hay animales fundamentales para la conservación de la vida que nos pasan desapercibidos y que también están en peligro. Iván Gómez Mestre es un investigador de la estación especializado en anfibios. “Los anfibios son organismos que, aunque son muy antiguos, evolutivamente son muy sensibles a las variaciones ambientales”, explica el investigador Iván Gómez-Mestre. “Son piezas muy importantes en los ecosistemas, precisamente porque tienen un ciclo de vida dual, acuático y terrestre, son muy importantes en los flujos de energía y de elementos entre sistemas acuáticos y terrestres. Por ejemplo, son presas muy importantes tanto para organismos acuáticos como para muchísimas aves”.

Los anfibios se ven especialmente afectados por la falta de agua. “La mayor parte de los anfibios en esta parte del mundo crían en charcas temporales que se acaban secando en verano, pero están acortando su duración cada vez más. Cuando los renacuajos sienten que la charca se va secando, aceleran su desarrollo y eso les supone un esfuerzo metabólico muy grande, prácticamente triplican su tasa metabólica y consumen todas las grasas que han acumulado. Las tienen que invertir en salir en metamorfosis antes de tiempo. A consecuencia de esto salen en metamorfosis más pequeños. En esta parte del mundo, los anfibios se entierran, se esconden y pasan el verano, que es la

parte de la estación más dura, enterrados. Entonces, claro, esos animales que han salido más pequeños y con menores reservas de grasa tienen muchas menos probabilidades de supervivencia”, aclara Gómez-Mestre. “De hecho, son el grupo de vertebrados más amenazados del planeta. Tendemos a pensar en los felinos y los simios, pero los anfibios son el grupo de vertebrados con mayor número de especies amenazadas”.

Doñana, como el resto del planeta, sufre una de las consecuencias más graves del cambio climático y la acción humana: la desaparición de los insectos polinizadores. Nos lo explica el investigador Ignasi Bartomeus: “Cada vez que transformamos esos bosques y praderas en sistemas de cultivo o en zonas urbanas, estamos destruyendo hábitats y los sitios donde pueden nidificar, como las estructuras de pequeños agujeros, huecos de la madera en los bosques maduros que tienen árboles más viejos con más cavidades, así como también los recursos de los que se alimentan”.

En concreto, las abejas son las que se han visto más afectadas. “Llevamos siguiendo diferentes poblaciones de interacciones entre plantas y abejas a lo largo de los últimos nueve años y hay un patrón muy claro en que los años más secos y más calientes, no sólo se avanza la fenología, es decir, cuando tienen actividad, que empieza mucho antes, sino que además, la producción de flores disminuye y eso hace que disminuya también consecuentemente la población de abejas. Es muy curioso porque se nota un año después, es decir, si un año las abejas han tenido poco alimento, ese año han podido poner menos descendencia y ese año siguiente es donde vemos esas bajadas en sus poblaciones”, aclara Bartomeus. “Un año malo no es tan problemático como la frecuencia con la que esto pasa. De un año malo se recuperan bien. El problema es cuando empiezas a tener año sí, año también, y ahí es donde podemos empezar a perder especies”.

¿Cuál será el futuro de Doñana? ¿Qué será de las especies que han vivido en este refugio natural durante miles de años? ¿Podemos evitar o limitar los daños a este ecosistema único?

“Seguro que hay capacidad de recuperación porque el ecosistema en el Mediterráneo es característica la bajada y la subida de disponibilidad de agua”, explica Janss. “Pero todo tiene un límite. En algunos casos entendemos que estamos llegando ya al límite. Doñana no se va a perder, Doñana va a cambiar y de hecho ya ha cambiado, y hay lagunas que ya no se pueden recuperar porque se han convertido en un pinar. Será diferente. Vamos a perder especies únicas, va a ser menos diverso, porque va a ser una zona esteparia, desértica”.

A pesar de este panorama desolador, Janss y los científicos de la Estación Biológica tienen clara su labor: “Yo entiendo que no tenemos que abandonar Doñana como zona dedicada a la naturaleza, dedicada a la ciencia. Nuestra obligación como centro de investigación es estudiar este proceso e intentar aportar ideas o conocimiento para gestionar de alguna manera que el daño sea menor, o que aún así, siendo menos diverso y con menos agua, que sea útil como refugio para la flora y la fauna del ecosistema”, afirma Janss.

“Tenemos una señal de alarma muy clara”, dice Bartomeus. “Sabemos que muchas poblaciones de polinizadores están

teniendo declives, pero a día de hoy ha habido muy pocas extinciones, especialmente a nivel regional. Lo cual quiere decir que si revertimos muchos de estos efectos y tenemos zonas mejor conservadas, es fácil recuperar estas poblaciones. Las poblaciones de insectos son muy dinámicas, por lo que el momento de actuar es ahora. Cuando hayamos empezado a perder especies es cuando esto ya será irreversible. Cuando una especie se extingue, aunque luego haya mejores condiciones, no vas a recuperarla”.

“Hay veces que en ecología se hace un esfuerzo por monetizar esos servicios ecosistémicos y ecológicos de especies”, comenta Gómez-Mestre. “¿Cuanto rendimiento económico nos da esta especie? Creo que es una manera también de entrar en un juego en que perdemos de vista que es nuestra responsabilidad mantener un cierto patrimonio, la diversidad como herencia a las generaciones futuras. Igual que no nos planteamos cómo de sacrificables son las catedrales góticas porque consideramos que son intocables, patrimonio histórico de la humanidad, y que hay que transmitirlo, lo mismo deberíamos aplicar a una comunidad biológica tan diversa como la de Doñana, debería ser en sí mismo un valor enorme”.

Los gigantes de la ciencia no son sólo grandes máquinas o instrumentos. Los verdaderos gigantes son las personas que, como las que están en Doñana, iluminan el mundo y la vida que nos rodea para que podamos verla y respetarla. A todas ellas, gracias.

