

Fomento



- ▶ Apertura al tráfico del tramo Arzúa-Lavacolla en la A-54
- ▶ I Centenario del Transporte Aéreo en España
- ▶ Primeras imágenes de un agujero negro
- ▶ Impulso a la autovía del Duero

Librería del Ministerio de Fomento Centro de Publicaciones Plaza de San Juan de la Cruz, 10, 28003 Madrid **Centro de Publicaciones** <https://www.fomento.gob.es/MFOM.CP.Web> Librería del Ministerio de Fomento Centro de Publicaciones **Plaza de San Juan de la Cruz, 10, 28003 Madrid** Tel.: 915 97 53 96 / 915 97 00 00 **Tel.: 915 97 53 96 / 915 97 00 00** Librería del Ministerio de Fomento Centro de Publicaciones Plaza de San Juan de la Cruz, 10, 28003 Madrid Tel.: 915 97 53 96 / 915 97 00 00 <https://www.fomento.gob.es/MFOM.CP.Web> Librería del Ministerio de Fomento Centro de Publicaciones

Librería del Ministerio de Fomento Centro de Publicaciones Plaza de San Juan de la Cruz, 10, 28003 Madrid **Centro de Publicaciones** <https://www.fomento.gob.es/MFOM.CP.Web> Librería del Ministerio de Fomento Centro de Publicaciones **Plaza de San Juan de la Cruz, 10, 28003 Madrid** Tel.: 915 97 53 96 / 915 97 00 00 **Tel.: 915 97 53 96 / 915 97 00 00** Librería del Ministerio de Fomento Centro de Publicaciones Plaza de San Juan de la Cruz, 10, 28003 Madrid Tel.: 915 97 53 96 / 915 97 00 00 <https://www.fomento.gob.es/MFOM.CP.Web> Librería del Ministerio de Fomento Centro de Publicaciones Plaza



Centro de Publicaciones

Librería del Ministerio de Fomento Centro de Publicaciones Plaza de San Juan de la Cruz, 10, 28003 Madrid **Centro de Publicaciones** <https://www.fomento.gob.es/MFOM.CP.Web> Librería del Ministerio de Fomento Centro de Publicaciones **Plaza de San Juan de la Cruz, 10, 28003 Madrid** Tel.: 915 97 53 96 / 915 97 00 00 **Tel.: 915 97 53 96 / 915 97 00 00** Librería del Ministerio de Fomento Centro de Publicaciones Plaza de San Juan de la Cruz, 10, 28003 Madrid Tel.: 915 97 53 96 / 915 97 00 00 <https://www.fomento.gob.es/MFOM.CP.Web> Librería del Ministerio de Fomento Centro de Publicaciones

Sumario

taff

Directora de la Revista:
Herminia Cano Linares.

Jefa de redacción:
Carmen Fontán Alderegulá.

Redactor:
Antonio Recuero y Mariano Serrano.

Diseño y Maquetación: Chelo Cruz.

Elaboración página web:
www.fomento.gob.es/publicaciones.
Concepción Tejedor.

Colaboran en este número:
David González Martínez,
Pepa Martín y Javier R. Ventosa.

Comité de redacción:

Presidencia:
Jesús M. Gómez García.
(Subsecretario de Fomento).

Vicepresidencia:
Angélica Martínez Ortega.
(Secretaría General Técnica).

Vocales:
Alfredo Rodríguez Flores
(Director de Comunicación),
Francisco Ferrer Moreno
(Director del Gabinete de la Secretaría
de Estado de Infraestructuras,
Transporte y Vivienda),
Belén Villar Sánchez
(Jefa del Gabinete de la Subsecretaría),
Mónica Marín Díaz
(Directora del Gabinete Técnico de la
Secretaría General de Infraestructuras),
Roberto Angulo Revilla
(Jefe del Gabinete Técnico de la Secretaría
General de Transportes),
María Isabel Badía Gamarra
(Jefa del Gabinete Técnico de la Secretaría
General de Vivienda) y
Herminia Cano Linares
(Directora de la Revista).

Dirección:
Nuevos Ministerios. Paseo de la Castellana, 67.
28071 Madrid.
Teléf.: 915 970 000. Fax: 915 978 470.

Suscripciones:
91 597 72 61
Esmeralda Rojo.
E-mail: cpublic@fomento.es

Dep. Legal: M-666-1958.
ISSN: 1577-4589.
NIPO: 161-15-005-0

Esta publicación no se hace necesariamente solidaria con las opiniones expresadas en las colaboraciones firmadas.

Esta revista se imprime en papel 100% reciclado a partir de pasta FSC libre de cloro.

2

Más seguridad con ahorro de tiempo

En servicio el tramo de mayor longitud de la autovía Lugo-Santiago



12

Cien años de transporte aéreo en España

1919-2019: las escalas de un vuelo centenario



20

Descubriendo a Einstein en la galaxia M87

El IGN participa en el proyecto internacional «Telescopio Horizonte de Sucesos» que capta la primera imagen de un agujero negro



28

Impulso a la A-11 en Soria

En servicio dos tramos de la autovía del Duero que suman más de 14 kilómetros



38

Todo sobre el agua

El Centro de Estudios Hidrográficos del Cedex desarrolla multitud de programas para conocer la calidad y disponibilidad de un recurso imprescindible

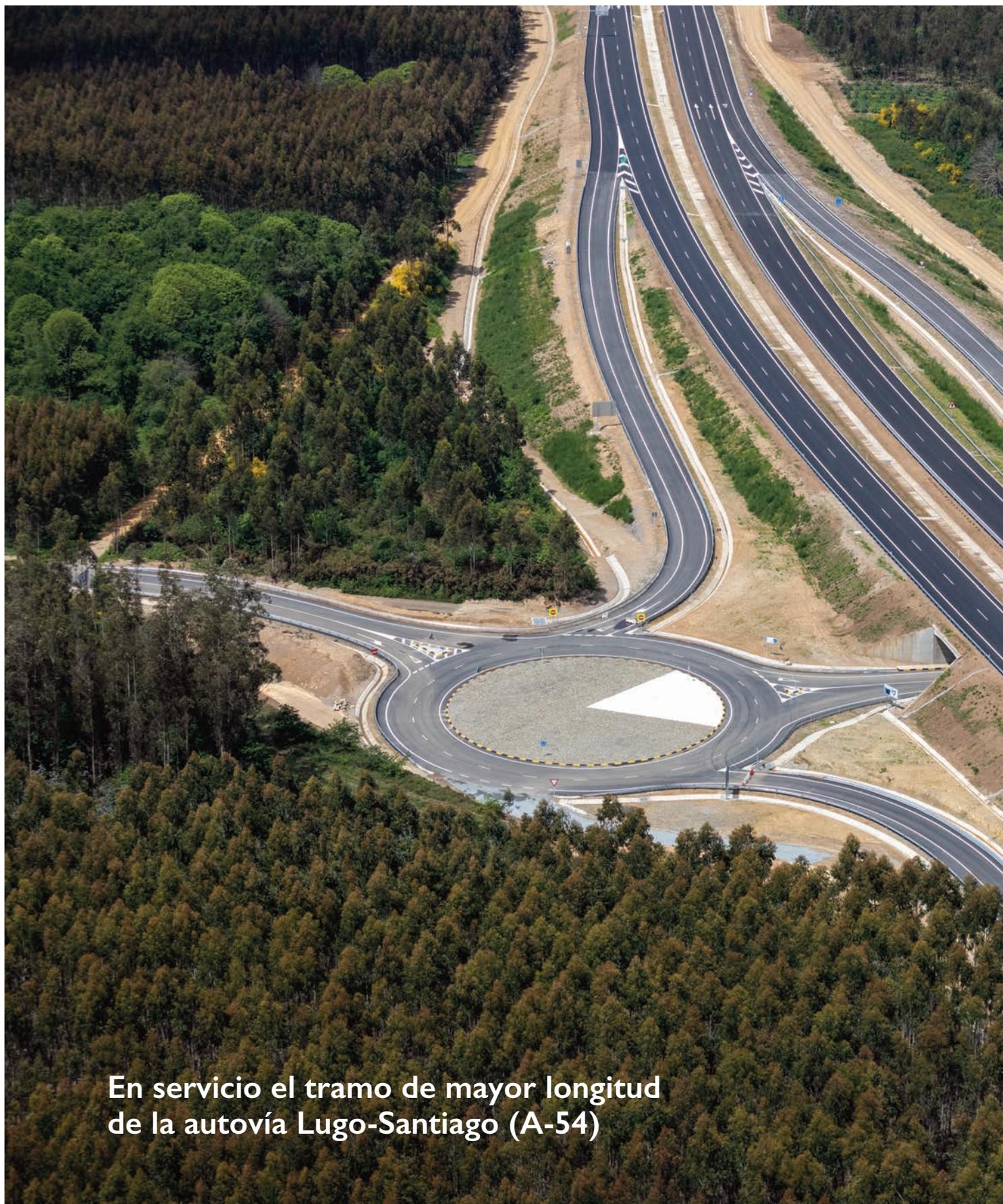


46

Una travesía para la historia

Los mapas y la primera vuelta al mundo, en la Sala de Exposiciones del IGN





**En servicio el tramo de mayor longitud
de la autovía Lugo-Santiago (A-54)**

Más seguridad con ahorro de tiempo



► Enlace de Salceda, de tipología diamante con pesas y paso inferior bajo la autovía.

El Ministerio de Fomento pondrá en mayo en servicio el tramo Arzúa-Lavacolla, de 18,5 kilómetros, el de mayor longitud de la autovía Lugo-Santiago de Compostela (A-54) y uno de los más largos inaugurados en la red estatal en los últimos años. El nuevo itinerario a través de la A-54 supone una mejora sustancial en la seguridad vial rodada y peatonal respecto a la carretera N-547 y en el tránsito de los peregrinos en el Camino Francés a Santiago, además de ahorrar 15 minutos en el tiempo de viaje respecto al recorrido anterior. Con la aportación de este tramo, cuya inversión ha ascendido a 138 M€, se ha completado el 70% del trazado de la autovía.

El nuevo tramo de autovía que entrará en estos próximos días en servicio, ha reemplazado funcionalmente al tramo correspondiente de la carretera N-547 (Lugo-Santiago de Compostela), vía con abundantes curvas, travesías urbanas y cambios de rasante que históricamente ha registrado una elevada siniestralidad. Con el trasvase del tráfico desde la veterana carretera nacional N-547 a la A-54, mejora la seguridad de los conductores, que ahora circulan por una infraestructura viaria de última generación. También la de miles de peregrinos que recorren a pie el Camino Francés a Santiago, ya que en este tramo discurre paralelamente a las márgenes de la N-547, cruzándola hasta en cinco ocasiones. El itinerario de estos peatones no ha variado con la nueva autovía, pero al disminuir muy significativamente la circulación en la carretera convencional su seguridad es mayor. Además, los dos cruces del Camino Francés con la autovía, al principio y al final del tramo, se han resuelto mediante pasos a distinto nivel.

Junto a la seguridad y a la mayor comodidad en la conducción para los usuarios, el nuevo tramo de autovía presenta un importante beneficio adicional en los tiempos de desplazamiento. El viaje entre Arzúa y Lavacolla se cubría por la carretera N-547 en aproximadamente unos 25 minutos, siempre dependiendo del estado de la circulación, ya que esta ruta es muy frecuentada por vehículos pesados

para el transporte de mercancías. Con el nuevo tramo de gran capacidad, ese recorrido de 18,5 kilómetros se realiza ahora en 10 minutos (incluyendo la conexión provisional con la N-547 de la glorieta de Arzúa), con lo que el tiempo de viaje se ha reducido en más de la mitad. Por otro lado, ese tramo mejora de forma notable los accesos a la capital de Galicia de cara al próximo año Xacobeo 2021.

La puesta en servicio del tramo Arzúa-Lavacolla supone, por tanto, un relevante avance en la construcción de la autovía A-54, infraestructura básica para la vertebración del interior de Galicia y para sus comunicaciones, al conectar entre sí dos importantes ejes de gran capacidad (autopista del Atlántico AP-9 en Santiago y autovía del Noroeste A-6 en Lugo), además de enlazar en Guntín con la futura autovía Lugo-Ourense (A-56). Con la aportación de este tramo, el de mayor longitud de la infraestructura, la A-54 ya tiene operativos seis de sus ocho tramos, presentando un itinerario continuado de gran capacidad en sus dos extremos, 38 kilómetros entre Lugo y Palas de Rei y 28 kilómetros entre Santiago y Arzúa. Esto significa que ya tiene en servicio 66 de los 94 kilómetros de los que consta, es decir, el 70% de su trazado. Para llegar a este avanzado estado de ejecución se han invertido hasta la fecha 522 M€ de los 677 M€ previstos (el 77% del presupuesto total de las obras en la A-54). Los dos últimos tramos, correspondientes a la parte central del itinerario (Palas de Rei-Melide y Melide-Arzúa), se encuentran actualmente en fase de ejecución.

Presupuesto y trazado

El Ministerio de Fomento ha realizado una inversión global de 138 M€ para poner en servicio este tramo de autovía, de los que 115,7 M€ corresponden el presupuesto de obra y 17,6 M€ a las expropiaciones, completando la inversión los capítulos relativos a redacción del proyecto de construcción, control y vigilancia de la obra y otras asistencias técnicas. La obra ha sido ejecutada por la constructora Dragados, la redacción del proyecto ha corrido a cargo de la unión de empresas formada por las consultoras Proyfe e Iceacsa y el control y vigilancia de la obra ha sido realizado por Omicron-Amepro-Ciesa. Las actuaciones han sido dirigidas por ingenieros de la Demarcación de Carreteras del Estado en Galicia.

Recorriendo el nuevo tramo en el sentido Santiago-Lugo, este discurre por los términos municipales



► Mapa del trazado de la autovía A-54, con los tramos en trazo azul oscuro o azul celeste en servicio y los tramos en trazo discontinuo en obras.

de Santiago de Compostela, O Pino y Arzúa, en la provincia de A Coruña. Se inicia en las proximidades del aeropuerto internacional de Lavacolla (Santiago de Compostela), donde se ha acondicionado la conexión con el tramo inicial de la autovía (Santiago-Lavacolla, en servicio desde 1999). En las cercanías del aeropuerto se ha construido un primer enlace, consistente en una glorieta elevada sobre el tronco de la autovía para conectar la A-54 con las dos carreteras nacionales (N-634 San Sebastián-Santiago y N-547 Lugo-Santiago) que antes convergían en una glorieta a nivel, ahora transformada en enlace tipo diamante con glorieta superior.

Dejando al sur la carretera N-547 y con una orientación este-oeste que ya no abandonará hasta el final, el trazado se desarrolla en su primera mitad entre núcleos de población dispersos y cruza varios cauces fluviales, disponiéndose un segundo enlace en O Pino, tipo diamante con glorietas tipo pesas y paso superior sobre la autovía. Posteriormente se interna en una zona menos poblada, permaneciendo sensiblemente paralelo a la carretera N-547. En Santa Irene se ha construido el tercer enlace, también con tipología de diamante con paso superior sobre la A-54 y glorietas tipo pesas.

Continuando en dirección Lugo, el trazado pasa cerca de Salceda, donde se ha construido el cuarto enlace (diamante con paso inferior bajo la autovía y glorietas tipo pesas), abandonando a continuación el término municipal de O Pino para adentrarse en el de Arzúa. En esta zona se han construido dos

explanadas, una en cada margen, para albergar una futura área de servicio. El trazado toma después dirección sudeste, discurriendo entre los núcleos rurales de Calzada y As Quintas, unidos por un tramo del Camino Francés a Santiago. El final del tramo se sitúa en la glorieta de conexión con la carretera N-547, al oeste de la localidad de Arzúa, conectando también con la carretera autonómica AC-240 Arzúa-Touro.

Desde el punto de vista geométrico, el trazado en planta de la nueva autovía se adapta suavemente al relieve y orografía de la zona, con un radio mínimo de las curvas de 1.000 metros. Los desniveles de la traza no son considerables, alternándose las vaguadas y lomas de pendientes suaves,

siendo la pendiente longitudinal máxima del 4,5%, lo que permite que la velocidad en la totalidad del tramo sea de 120 km/h.

La sección tipo del tronco de la autovía consta de dos calzadas de 7 metros de anchura –que albergan dos carriles de 3,50 metros cada una–, con arcenes exteriores de 2,50 metros e interiores de 1 metro y bermas exteriores de 2 metros, siendo la mediana de 9 metros de anchura. Respecto al firme, la solución elegida para el tronco presenta una configuración formada por 20 centímetros de suelocemento y 15 centímetros de mezclas bituminosas en caliente (3 centímetros de microaglomerado tipo M-10 en capa de rodadura, 5 centímetros de mezcla bituminosa S-20 en capa intermedia y 7 centímetros de mezcla G-25 en capa base).

La puesta en servicio del tramo supone un gran avance en esta infraestructura básica del interior de Galicia

Luz verde al enlace orbital A-54/AP-9

La A-54 es un eje viario fundamental para Galicia, pues conecta dos de las principales ciudades (Lugo y Santiago) y dos vías de gran capacidad de esa comunidad (AP-9 y A-6), pero para alcanzar su plena funcionalidad como vía de comunicación estratégica para el transporte de personas y mercancías requiere –además de culminar los tramos de la parte central, actualmente en ejecución– disponer de un enlace directo en Santiago de Compostela con la autopista AP-9, gran eje norte-sur de la fachada atlántica de Galicia.

En la actualidad, la autovía A-54, al llegar a la capital gallega, pasa sin enlazar sobre la AP-9, conectando con el «periférico» de Santiago (SC-20), lo que obliga a los usuarios de la A-54 procedentes de Lugo a realizar un recorrido adicional de más de 2 kilómetros hasta el enlace de Santiago Norte, en el p.k. 67 de la AP-9. Esta falta de conectividad directa entre AP-9 y A-54 genera puntas de tráfico y congestión en el mencionado enlace, al confluir en él en horas punta los tráficos de acceso al centro histórico y centro administrativo de la capital de Galicia con los tráficos de los polígonos del norte de la ciudad (Tambre y Costa Vella), además de los generados por el aeropuerto de Santiago y la propia A-54 (Lugo).

Con objeto de resolver esta situación, el Ministerio de Fomento ha aprobado el proyecto del enlace orbital de Santiago, destinado a conectar la autopista AP-9 con la autovía A-54, el aeropuerto de Lavacolla y los polígonos del Tambre y Costa Vella. El proyecto entrará en los próximos meses en la fase de obras ya que, poco antes de la puesta en servicio del tramo Lavacolla-Arzúa de la A-54, el Consejo de Ministros autorizó al Ministerio de Fomento a licitar las obras de este importante enlace, con un presupuesto de 25 M€ (IVA incluido).

La obra consistirá en la construcción de un nuevo enlace en el p.k. 64+500 de la AP-9, resuelto mediante una glorieta superior sobre el tronco de la autopista AP-9 y cuatro ramales de enlace con configuración diamante. El enlace orbital se conectará de forma directa al actual enlace de San Marcos de la A-54 (p.k. 91) mediante un nuevo vial con sección de autovía, de 800 metros de longitud. También se ejecutará un nuevo carril de trenzado en la AP-9 (p.k. 66) entre los vehículos que se incorporan en sentido A Coruña al tronco, desde el enlace de Santiago Norte (p.k. 67), con los vehículos que salen desde la AP-9 hacia el enlace orbital. El nuevo enlace permitirá asimismo desafectar los tráficos en horas punta del congestionado enlace de Santiago Norte, además de completar las conexiones entre la AP-9 y el aeropuerto de Lavacolla.

Estructuras

En el trazado se han ejecutado un total de 26 estructuras (15 pasos superiores, nueve pasos inferiores y dos pasos de fauna), que garantizan la adecuada permeabilidad territorial de la traza, así como seis muros. Los pasos superiores sobre la autovía se han resuelto todos ellos con tableros de hormigón pretensado, con armadura postesa, construidos *in situ*, en forma de artesa con núcleo trapezoidal y voladizos. Sus longitudes varían entre los 57 y los 92 metros. Los anchos dispuestos son de 8 metros en nueve pasos, de 11 metros en cuatro pasos y de 11,50 metros en otros dos pasos superiores. Las luces máximas de estos pasos van desde los 20 a los 24 metros, en dos o cuatro vanos. Las pilas que

soportan estos pasos superiores son de un solo fuste cilíndrico, coronado por un neopreno circular, y los estribos son de hormigón armado.

De los nueve pasos inferiores construidos, cinco son tipo marco con hastiales de contrafuertes de hormigón prefabricados, con dintel constituido mediante losa de hormigón ejecutada *in situ* sobre prelosas previamente colocadas. Los cuatro restantes son también tipo marco pero han sido ejecutados *in situ*, tanto los hastiales como el resto de sus elementos estructurales. Sus longitudes oscilan desde los 19,50 hasta los 39 metros, siendo la altura máxima de 6 metros y la anchura variable entre 9 y 31 metros. Igualmente se han ejecutado dos pasos de fauna, resueltos mediante sendos mar-



► Explanadas a ambos lados del tronco de la autovía para albergar una futura área de servicio, en el término de Arzúa.



► El tramo finaliza en la glorieta de conexión con la carretera N-547, al oeste de Arzúa.

Los tramos de la A-54

Tramo	Longitud (km)	Presupuesto (M€)	Situación actual
Nadela-Vilamoure	6,6	63,7	En servicio
Vilamoure-Monte da Meda	5,6	32,9	En servicio
Monte da Meda-Guntín	10,7	57,6	En servicio
Guntín-Palas de Rei	15,3	91,3	En servicio
Palas de Rei-Melide	11,6	70,8	En ejecución
Melide-Arzúa	16,3	88,5	En ejecución
Arzúa-Lavacolla	18,4	115,7	En servicio
Lavacolla-Santiago	8,5	31,5	En servicio

Fuente: DCE en Galicia

cos de hormigón armado ejecutados *in situ*, con longitud de 40 metros y anchura de 8 metros. También se han construido varios muros de escollera en pies de talud y muros de mampostería careada en las inmediaciones de los Molinos de Insúa, dos molinos de agua construidos en piedra de forma tradicional que han sido preservados.

El drenaje transversal del tramo se ha resuelto mediante la construcción de 37 obras, mayoritariamente formadas por tubos de hormigón de diámetros 1.800 y 2.500 milímetros, además de algunos marcos de hormigón armado de 3-4 metros de altura. El drenaje longitudinal presenta como elementos más relevantes diversos colectores de hormigón de diámetros desde 400 a los 1.200 milímetros, instalados en la mediana y en los laterales del trazado, así como cunetas, bordillos y bajantes.

En las inmediaciones de trazado se han construido varios tramos de caminos de servicio paralelos a la ocupación de la autovía con el doble objetivo de mantener el acceso a las propiedades colindantes y comunicar entre sí las reposiciones de las carreteras o caminos existentes. La longitud total de estos caminos construidos es de 35,7 kilómetros. Por último, se han llevado a cabo importantes actuaciones medioambientales de hidrosiembras en taludes de desmontes y terraplenes, así como plantaciones de especies arbóreas y arbustivas en la mediana y en los enlaces, con un presupuesto aproximado de 2 M€.

Javier R. Ventosa / Fotos: DCE en Galicia



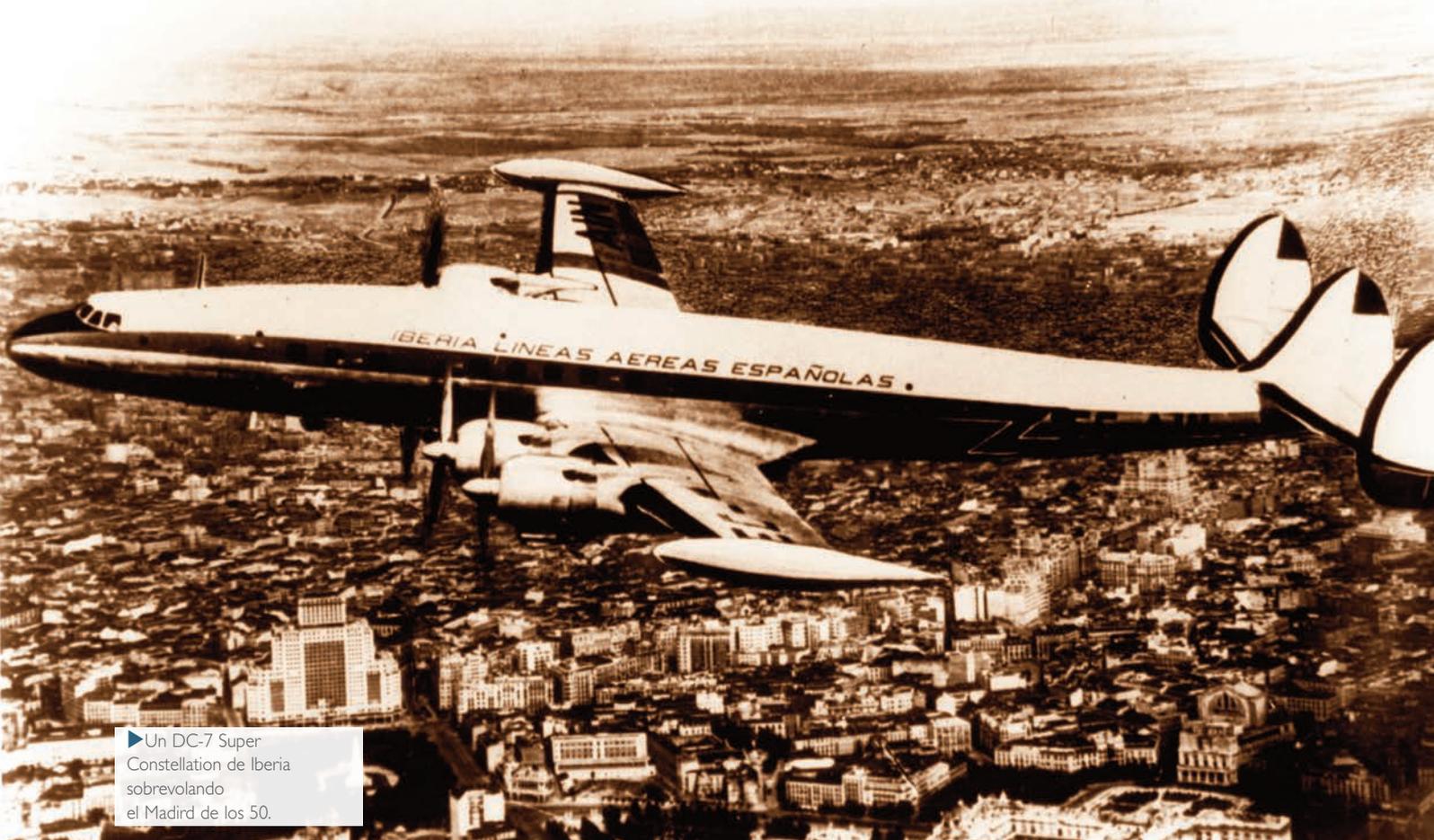
► Enlace de O Pino, de diamante con glorietas tipo pesas y paso superior sobre la autovía.

Cien años *de transporte aéreo* en España

1919-2019: *las escalas de un vuelo centenario*



► Douglas DC-8 de Iberia.



► Un DC-7 Super Constellation de Iberia sobrevolando el Madrid de los 50.

De las primeras operaciones aeropostales, cargadas del arrojo y el romanticismo que nos describía Saint-Exupéry en sus relatos, a un presente en el que no concebimos nuestro día a día sin la presencia del avión comercial, invitamos al lector a acompañarnos en un breve recorrido para comprobar cómo ha cambiado nuestro transporte aéreo en sus primeros cien años de existencia, con un protagonista indiscutible: el avión.

El 1 de septiembre de 1919, a las diez y cuarto de la mañana, según nos cuentan las crónicas locales, en el aeródromo barcelonés de La Volatería, tomaron tierra tres biplanos Breguet XIV y una cuarta aeronave Salmson S2 que acompañaba a la expedición con material de repuesto. Esa mañana de lunes pasó a formar parte de la historia aeronáutica española con la primera operación aérea comercial efectuada en nuestro país. El servicio, que continuó su periplo haciendo escala en Alicante, a las tres de la tarde de ese mismo día, y al día siguiente en El Rompedizo, donde hoy se alza el aeropuerto de Málaga-Costa del Sol, inauguraba oficialmente la ruta postal entre Toulouse y Casablanca, con escalas en Barcelona, Alicante y Málaga.

Aquella aventura impulsó la que podría considerarse como la primera norma reguladora del transporte aéreo en España: la Real Orden de 29 de agosto de 1919, que autorizaba la realización de escalas en nuestro país.

Ese mismo año de 1919 vio nacer también el primer órgano administrativo de la aviación civil en España, ya en el seno de Fomento y antecesor de la Dirección General de Aviación Civil, con la creación a través del Real Decreto de 14 de noviembre, del Negociado de Aerostación y Aviación Civiles.

El correo aéreo fue visto de forma inmediata como una excelente herramienta y se creó, en octubre de ese mismo año, el servicio aéreo postal. Los comienzos no fueron fáciles, de las tres rutas propuestas a concurso público, Sevilla-Larache, Málaga-Sevilla y Barcelona-Palma, solo acabaría prosperando la primera.

Talleres Hereter había iniciado las pruebas para operar la ruta entre la Ciudad Condal y Palma de Mallorca. Las crónicas nos hablan de la inauguración del servicio aéreo postal entre las dos ciudades el 18 de marzo de 1920, cuando, a bordo de un hidrocano Savioa S-9, el piloto italiano



► Un Breguet fabricado por Construcciones Aeronáuticas S.A.

Guido Janello y el propio Jorge Loring, por entonces director técnico de Talleres Hereter y nombre estrechamente ligado a la floreciente aviación española, realizaron el trayecto entre Barcelona y Palma en poco más de una hora, transportando prensa y correspondencia oficial. A pesar de este prometedor intento, el proyecto no siguió adelante.

Hubo que esperar dos años para que, en octubre de 1921, la Compañía Española de Tráfico Aéreo (CETA) iniciara las primeras operaciones entre Sevilla y Larache. Loring también fue el responsable de esta iniciativa, en la que se emplearon con éxito biplanos De Havilland DH-9, en su origen aparatos de ataque al suelo de la Gran Guerra que, como la mayor parte de la flota civil de la época, fueron reconvertidos para su uso comercial. En julio de 1923, la Compañía Aeromárítima Mallorquina S.A. (CAMSA) operaba, esta vez de forma exitosa, la ansiada ruta Barcelona-Mallorca, y dos años después apareció una tercera compañía, la Unión Aérea Española (UAE), que operaba el enlace entre Sevilla y Madrid. Sus característicos monoplanos Junkers F-13 y G-24, de ala baja y totalmente metálicos, constituyeron un gran salto tecnológico en aquellos tiempos de madera y tela.

La década anterior al inicio de la Guerra Civil fue un periodo prolífico para el transporte aéreo en nuestro país: la compañía aérea Iberia se puso en marcha el 14 de diciembre de 1927 con el emblemático enlace Madrid-Barcelona, en un primer trayecto cargado de significado para la historia aeronáutica española cuya partida, desde el aeródromo de Carabanchel Alto (actual aeródromo



► Tripulantes de cabina de pasajeros de Iberia.



► Pasajeros junto a un DC-4 de Iberia.

de Cuatro Vientos), fue presenciada por el Rey Alfonso XIII.

Iberia y UAE se fusionaron en CLASSA, que comenzó a operar en 1929.

1927: Iberia inaugura la emblemática ruta Madrid-Barcelona

Ya con el aeropuerto de Madrid-Barajas en proyecto –iniciaría su actividad comercial en 1933– la base aérea de Getafe era también utilizada para comunicar la capital con, poco a poco, cada vez un mayor número de destinos. Las primeras décadas de nuestra aviación civil tuvieron en el Ejército del Aire un apoyo fundamental para su desarrollo. Aeropuertos como los de Albacete, Granada, León, Logroño o los ya mencionados aeródromos de Cuatro Vientos y de Getafe, entre otros, fueron en su origen instalaciones militares que, a lo largo de los años veinte y treinta, comenzaron a albergar operaciones comerciales y a dibujar el mapa aeroportuario de uso civil en España.

Las Islas Canarias se acercaron al territorio continental en mayo de 1930, cuando se realizaron los primeros enlaces con Madrid, por entonces

con un trayecto que se prolongaba dos días y varias escalas, cubierto por el trimotor Ford 4 AT, otra silueta icónica de la primera etapa de la aviación comercial que se recortó en nuestros cielos.

En 1931 CLASSA se convirtió en LAPE (Líneas Aéreas Postales Españolas), que continuaban ampliando las conexiones entre las grandes ciudades. En el año 1935 la compañía incorporó a su flota dos aparatos Douglas DC-2, elegante y moderno bimotor “padre” del extraordinario DC-3, uno de los aviones más importantes para la historia aeronáutica mundial, y al que tuvimos que esperar nueve años más hasta que, en 1944, Iberia adquirió las tres primeras unidades.

El estallido de la Guerra Civil interrumpió trágicamente una actividad que en 1930 ya transportaba seis mil pasajeros y antes

de la guerra superaba los veinte mil pasajeros anuales.

Los años 30 vieron morir el intento de establecer una compañía de dirigibles nacional, Colón Compañía Transaérea Española. La historia fue cruel con estos majestuosos gigantes –ligados a la ingeniería española a través de dos grandes nombres: Leonardo Torres Quevedo y Emilio Herrera Linares–, cuyo uso comercial no pudo sobrevivir a la catástrofe del Hindenburg en 1937.

Tras la Guerra Civil el país trataba de recuperar su pulso, Iberia recobró su actividad como tal y en mayo de 1939 realizaba su primer vuelo internacional: el trayecto Madrid-Lisboa, con el trimotor Junkers Ju-52, de singular belleza y enorme importancia en la historia aeronáutica española.

En 1940 se alcanzaron los ochenta mil pasajeros en nuestros aeropuertos, nueve de ellos tenían ya entonces una actividad comercial relevante, y el crecimiento seguía siendo exponencial: solo diez años después fueron ya 25 los aeropuertos, que movieron, en total, 720 mil pasajeros, y dos años más tarde se superaba el millón de desplazamientos por primera vez.

Mientras tanto, se siguieron sucediendo hitos, a veces con alcance internacional: el 22 de septiem-

**El 1 de septiembre de 1919
pasó a formar parte de nuestra
historia con la primera operación
aérea comercial efectuada en España**

► Pasajeros y tripulación junto a un Fokker F.VII de CLASA.





► Fokker F.VIIb/3m de LAPE.



bre de 1946 Iberia volvía a unir Europa y Latinoamérica tras la Segunda Guerra Mundial, tomando el relevo de aquellos fabulosos hidrocanoas «Clipper» norteamericanos que cruzaban el Atlántico en los años 30.

Con el fin de la Segunda Guerra Mundial ya cerca, el 1 de noviembre de 1944, se celebró la Conferencia de Chicago, con la participación de España, que dio origen a la Organización Internacional de Aviación Civil, la OACI. Se firmó el Convenio Internacional de Aviación Civil y se de-

finieron las libertades aéreas, consensuándose la cooperación internacional para hacer que el transporte aéreo tuviese, a partir de entonces, unos estándares homogéneos en el plano internacional.

La Pinta, la Niña y la Santa María, tres aeronaves hacia Nueva York

Los 50 son años de crecimiento para nuestro transporte aéreo, Iberia modernizaba flota y expandía sus destinos. El DC-4, caballo de batalla de la compañía en sus vuelos de largo alcance hasta entonces, era reemplazado por aeronaves más modernas. Iberia adquirió tres unidades del también norteamericano Lockheed Super Constellation, un cuatrimotor presurizado de gráciles líneas y extraordinarias prestaciones. Bautizados con los nombres *Pinta*, *Niña* y *Santa María*, Iberia inauguró la ruta Madrid-Nueva York el día 3 de agosto de 1954, la misma fecha, 462 años atrás, en que Cristóbal Colón zarpaba desde el puerto de Palos de la Frontera para descubrir el nuevo mundo.

Por entonces ya había entrado en el panorama aéreo español la compañía Aviaco (Aviación y Comercio), que se creaba en 1948 para operar, principalmente, servicios de pasaje no regulares y de carga aérea, transportando en su primer año de



► Construcción de la nueva terminal nacional (hoy T-2) del aeropuerto de Barajas en 1954.

operación 18 mil pasajeros. En sus primeros años, aeronaves como el carguero británico Bristol 170 o el elegante cuatrimotor francés Languedoc lucieron la librea de la compañía en sus rutas, mayoritariamente domésticas. En 1959 la compañía pasó a ser filial de Iberia; por entonces su volumen había crecido hasta alcanzar 200.000 pasajeros y 1.500 toneladas de carga al año.

Los años 60 fueron revolucionarios para nuestro transporte aéreo, tanto en máquinas e infraestructura, como en modelos de negocio y en el ámbito regulador.

Aparecieron los primeros reactores, los Douglas DC-8, que se ganaron el apelativo de «rey de las largas distancias», y los elegantes birreactores de construcción francesa Caravelle. Como anécdota, Aviaco, en operación conjunta con Sabena, fue la primera compañía española en operar reactores, meses antes de que Iberia incorporase a su flota los tres primeros DC-8, bautizados *Velázquez*, *El Greco* y *Goya*.

El auge del chárter como modelo de negocio se disparó en esta década, España se abrió al turismo de forma masiva y el modo aéreo era el gran alimentador de este sector. Se creó la compañía Span-tax, que explotaba la operación no regular em-

pleando, entre otros modelos, el Convair Coronado.

Las infraestructuras aeroportuarias se adecuaron a las nuevas aeronaves y al crecimiento del tráfico, la década había empezado con tres millones de pasajeros en 1960 y concluía, en 1969, con 17,5 millones.

Finalmente, la regulación aeronáutica se robusteció con la promulgación de la Ley de Navegación Aérea de 1960, que establecía un marco normativo homogéneo e integrador en el ámbito de la aviación civil en España.

La década de los 70 consolidó el transporte aéreo en España como un sector estratégico, y, a pesar de la crisis energética del 73, el volumen de pasajeros que pasaron por los aeropuertos españoles aumentó de los 21,5 millones en 1970 a los casi 50 millones en 1979.

1970 vio la llegada del Boeing 747 «Jumbo» que, como los grandes aviones de la historia, cambió el transporte aéreo en todo el mundo. Aterrizó por primera vez en España con librea de Iberia y el nombre de *Cervantes* el 22 de octubre de ese año. Junto a él, los trirreactores Boeing 727 y Douglas DC-10 dominaron la media y larga dis-

tancia. El Concorde, aquel prodigio de la ingeniería capaz de doblar la velocidad del sonido, estuvo presente en España por primera vez en el aeropuerto de Gran Canaria en un singular experimento de observación astronómica en 1973, y en Barajas, en 1977.

Los años 80 arrancaron con dificultad: la todavía presente crisis del 79 y el desplome del segmento no regular hicieron que el crecimiento de tráfico se resintiera en el primer lustro. La segunda mitad de la década, sin embargo, trajo mejores noticias para el transporte aéreo español y europeo: la incorporación de España al Mercado Común Europeo y los primeros paquetes de medidas liberalizadoras del transporte aéreo en la Unión Europea permitieron cerrar el año con más de 70 millones de pasajeros en nuestros aeropuertos. Aparecieron nuevas compañías en escena, como Air Europa, Binter, o

la década y el siglo con más de 126 millones de pasajeros. La puesta en marcha de AENA (Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea) en 1991, para la gestión de los aeropuertos y los servicios de navegación aérea, tomó el relevo al Organismo Autónomo Aeropuertos Nacionales (OAN) que, hasta entonces, había desempeñado las funciones operativas y de gestión de los aeropuertos españoles.

Madrid y Barcelona, dos aeropuertos entre los grandes de Europa

Alcanzada ya la «edad contemporánea» de nuestra aviación comercial, el principio del nuevo siglo nos va aproximando, poco a poco, a la fotografía actual. Nuestros aeropuertos de Madrid y Barcelona ampliaban sus capacidades, y se inauguraban sus ac-



► Puente Aéreo
Madrid-Barcelona

Spanair, entre otras. La década nos dejaba también la muy relevante presencia del consorcio europeo Airbus, con los primeros A-300 en entrar en servicio para Iberia en 1981, dotando a las rutas de corto y medio alcance de un modelo de fuselaje ancho y gran capacidad.

Vuelos al alcance de todos en una Europa sin fronteras

Los años noventa culminaron el proceso de liberalización del sector en la Unión Europea, y con él, la irrupción del bajo coste en todo el mercado continental. La aviación comercial se puso, de forma efectiva, al alcance de todos, y las cifras continuaron creciendo imparablemente, se abrieron mercados hasta entonces accesibles a través de enlaces europeos, con las rutas a Japón vía India, primero, y siguiendo la ruta transiberiana después. El año 1999 cerraba

tuales configuraciones de cuatro y tres pistas, respectivamente. Ambos se consolidaban en el top 10 de aeropuertos europeos por volumen de tráfico, posiciones de privilegio que ya no abandonarán en los últimos años. El año 2007 cerró con la impresionante cifra, superada con creces en la actualidad, de 208 millones de pasajeros en los aeropuertos de la red. Sin embargo, la crisis económica internacional afectó al sector aéreo, que tardaría unos años en recuperar ese volumen de actividad. Por otra parte, la industria se moderniza en capacidad y eficiencia, aparece el gigante Airbus A-380, y las flotas e infraestructuras se optimizan para mejorar las prestaciones y los servicios al pasajero.

El año 2008 es de gran importancia para la autoridad aeronáutica civil española: se crea la Agencia Estatal de Seguridad Aérea que, junto a la Dirección General de Aviación Civil, conformará a partir de entonces un modelo de funcionamiento dual



► Lockheed Super Constellation de Iberia, bautizado como «Santa María».

en el que la primera se constituye en la herramienta de inspección, supervisión y control, y la segunda desarrolla la estrategia y la política de nuestro sector aéreo.

Llegamos a un presente, cien años después de aquel primer servicio postal, con más de 263 millones de pasajeros en nuestros aeropuertos –que hoy, mucho más allá de ser un lugar de paso, son modernos centros de comunicación y servicio– y con aeronaves que son verdaderas demostraciones de tecnología y técnica aeronáutica, como los extraordinarios Boeing 787 Dreamliner y Airbus A-350.

Un futuro que ya está aquí

Encaramos un futuro en el que afrontaremos retos que ya se anticipan, como el necesario aumento de capacidad, en infraestructura y gestión de la navegación aérea, para poder absorber el crecimiento sostenido del sector, los aspectos relacionados con la seguridad física y la ciberseguridad, cada vez más sensibles en el panorama sociopolítico actual, la necesidad y el compromiso de todo el sector por aumentar la sostenibilidad medioam-

biental del transporte aéreo, y la irrupción de tecnologías, algunas ya muy cercanas, como el uso comercial de drones o el empleo de combustibles alternativos y motorizaciones avanzadas, y otras que se dibujan en el futuro, como los vuelos supersónicos con trayectoria balística.

Las soluciones y medidas que se adoptarán para responder a estos desafíos, definirán los nuevos estándares en los próximos años en un sector, el del transporte aéreo, que refleja como ningún otro los logros realizados y las aspiraciones humanas de alcanzar nuevos destinos.

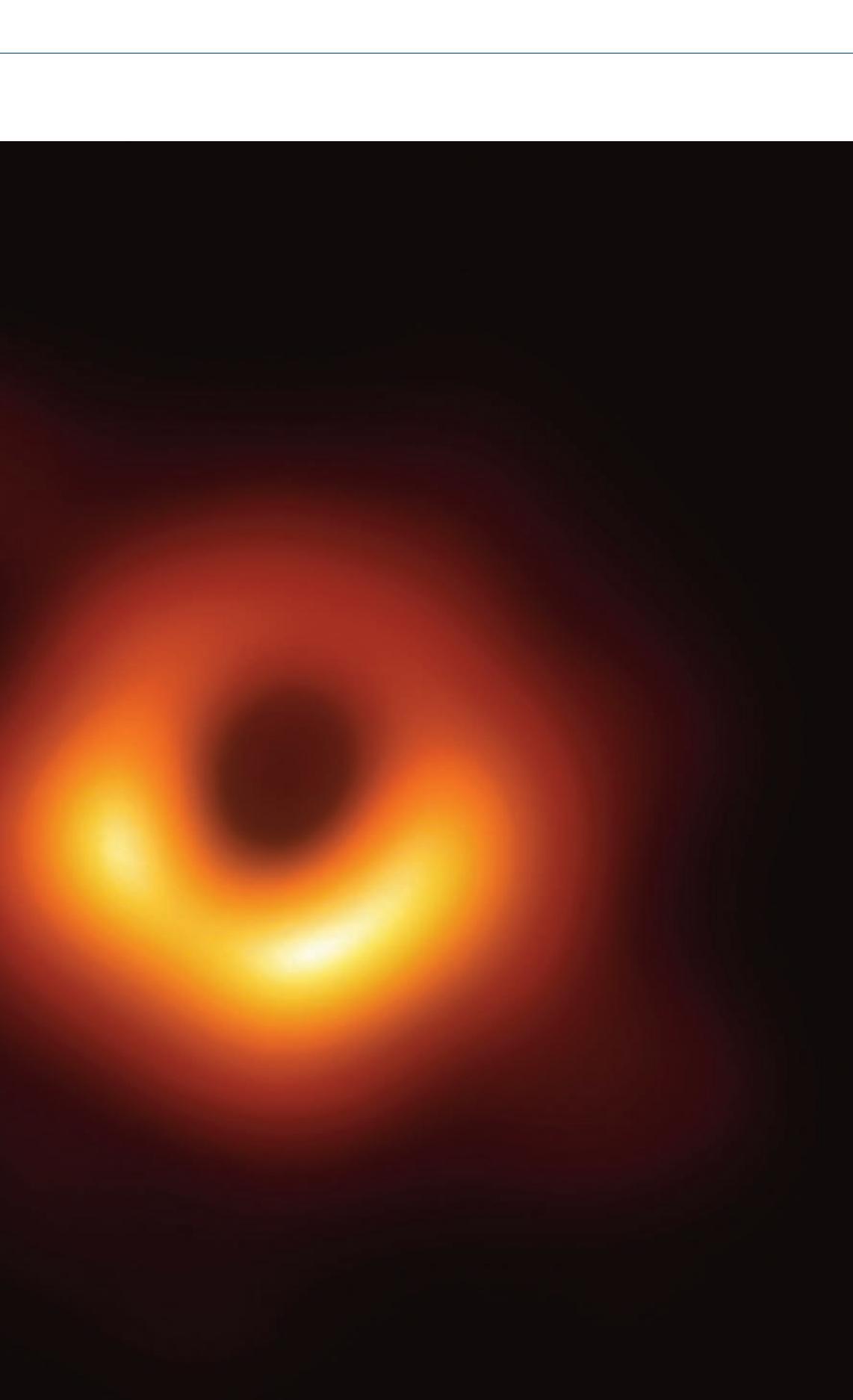
Desde el Ministerio de Fomento y, en particular, desde la Dirección General de Aviación Civil hemos pretendido rendir tributo a estos primeros cien años en los que esta Administración ha estado presente, con distintas estructuras y organizaciones, para impulsar nuestra aviación civil hacia las mayores cotas posibles.

Los próximos cien años de historia de nuestro transporte aéreo serán, sin duda, fascinantes.

David González Martínez / Fotos: DGAC

► McDonnell Douglas MD de Centennial.





► Imagen del agujero negro obtenida por el «Telescopio Horizonte de Sucesos»

Descubriendo a Einstein en la galaxia M87

El IGN participa en el proyecto internacional
«Telescopio Horizonte de Sucesos»
que capta la primera imagen de un agujero negro

Uno de los secretos hasta ahora mejor guardados del universo, la imagen de un agujero negro, ya ha dejado de serlo. La obtención de esta imagen, que es ya histórica y corrobora algunos de los enunciados de Einstein en su teoría general de la relatividad, ha sido posible gracias a un arduo trabajo de investigación en el que, durante varios años, han participado más de 200 científicos y ocho radiotelescopios distribuidos por todo nuestro planeta, entre ellos el situado en Pico Veleta (Granada), perteneciente al Instituto de Radioastronomía Milimétrica (IRAM) y gestionado por Alemania, Francia y España, con participación del Ministerio de Fomento a través del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

El Telescopio Horizonte de Sucesos (EHT, por sus siglas en inglés) es un ambicioso proyecto de cooperación internacional en el ámbito de la radioastronomía en el que intervienen los mayores radiotelescopios de todo el mundo de los que operan en ondas milimétricas, entre ellos el radiotelescopio de 30 m situado en Pico Veleta (Granada), uno de los dos pertenecientes al IRAM (Instituto de Radioastronomía Milimétrica), un instituto de inves-

tigación hispano-franco-alemán, en el que participa nuestro país a través del Instituto Geográfico Nacional (IGN), adscrito al Ministerio de Fomento.

El proyecto comenzó a gestarse en los primeros años de esta década con el objetivo de estudiar y obtener las primeras evidencias de la existencia de un fenómeno sobre el que la ciencia largamente ha teorizado en este último siglo –desde Einstein a Stephen Hawking– pero del que nunca antes se había logrado ninguna prueba material: los agujeros negros. Y es que, como el Minotauro o el Yeti, estos monstruos del universo que se alojan en los núcleos de todas las galaxias no dejaban de ser predicciones teóricas antes que objetos reales y observables de la naturaleza.

Confirmando a Einstein

Para poner fin, precisamente, a la falta de tanta certeza y confirmar también la teoría general de la relatividad de Albert Einstein, cerca de 200 científicos de todo el mundo –astrónomos, matemáticos, ingenieros– pusieron en marcha el proyecto Telescopio Horizonte de Sucesos (EHT), un telescopio a escala planetaria que combina en la actualidad el poder de observación de los mayores radiotelescopios de ondas milimétricas distribuidos en distintos puntos del planeta, cuya coordinación hace de todos ellos un telescopio virtual gigante del tamaño de la Tierra. Así, además del radiotelescopio del IRAM en Pico Veleta, en el EHT han participado también radiotelescopios del Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) y del Atacama Pathfinder



Experiment (APEX), situados en Chile; el gran telescopio milimétrico Alfonso Serrano, en México; el James Clerk Maxwell y el Submilimeter Array, ambos en Hawái (Estados Unidos); el Submilimeter Telescope de Arizona (Estados Unidos), y el South Pole Telescope de la Antártida.

Una técnica, cada vez más utilizada y desarrollada por la radioastronomía, que está permitiendo observar y reconocer los objetos más alejados de nuestro sistema solar, conocida como Interferometría de Muy Larga Base (VLBI, por sus siglas en inglés), es la que se ha empleado también en el proyecto EHT. Gracias a ella y a la ayuda de potentes herramientas y programas de computación, se pudieron procesar y combinar las señales (radiaciones de ondas milimétricas) llegadas a los distintos radiotelescopios como si se tratara de una única señal, captada por un solo radiotelescopio virtual, si bien este de tamaño equivalente a la máxima distancia de separación entre todos ellos y con un poder de resolución también equivalente a esa superficie. Así, y por utilizar el ejemplo más extendido, para dar una idea de la capacidad del Telescopio EHT: situándolo en Madrid, los observadores podrían leer un libro o un periódico en el otro lado del Atlántico, en la ciudad de Nueva York.

Pero el objetivo del EHT era en este caso algo más complejo: el agujero negro supermasivo fuera de

la Vía Láctea más próximo a la Tierra, el que está localizado en el centro de una de las galaxias gigantes más próximas, la Virgo A, también conocida como Messier 87 y, más técnicamente, M87. Se trata de una galaxia elíptica brillante, con unas características que la hacen muy accesible para el estudio tanto por parte de astrónomos aficionados como científicos. Gran emisora de rayos gamma, los estudiosos tenían la sospecha desde hacía tiempo de que su núcleo acoge un agujero negro supermasivo, mucho más masivo que el que puebla el centro de nuestra Vía Láctea (el bautizado como Sagitario A*, o simplemente Sgr A*), el primer agujero negro supermasivo estudiado por los astrónomos.

Las primeras hipótesis sobre la existencia de Sgr A* se lanzaron en 1971, y los astrónomos Bruce Balick y Robert Brown del National Radio Astronomy Observatory de EE UU fueron los primeros investigadores que lograron indicios fiables de su naturaleza como agujero negro. En años posteriores y estudiando los movimientos de las estrellas más cercanas que orbitan en torno a este gigantesco agujero, se estimó que su masa podría ser equivalente a unos cuatro millones de masas como la del Sol. Recordemos que marca el mismísimo centro de nuestra galaxia y está situado a unos 27.000 años luz de nuestro sistema solar (un año luz equivale aproximadamente a 9,46 billones de km).

► Observatorio del IGN en Yeves (Guadalajara).



► Fotomontaje recreando la imagen del agujero negro y radiotelescopio del IRAM en Pico Veleta.

Plantel español en el EHT

España es una gran potencia en radioastronomía, bajo sus cielos están instaladas dos antenas parabólicas de entre las más potentes del mundo: la del Instituto Geográfico Nacional (IGN) en el Observatorio de Yebes (Guadalajara) y la de Pico Veleta (Granada), esta última fruto de la colaboración entre el CNRS francés, la Sociedad Max-Planck alemana y el propio IGN. Además, su comunidad de radioastrónomos repartida entre el IGN, el CSIC y varias universidades es de las más dinámicas de Europa, colaborando muy significativamente en otros grandes observatorios como el de ALMA en Atacama (Chile) y el del IRAM en los Alpes franceses. Parte de la instrumentación utilizada en ALMA, en Pico Veleta y en otros radiotelescopios de la red ha sido diseñada y construida en el Observatorio de Yebes (IGN). No es por tanto de extrañar que España haya jugado un papel muy significativo, a todos los niveles, en este proyecto.

Así, en el proyecto EHT ha participado un nutrido equipo de astrónomos y científicos españoles. Por parte del IGN, junto a Iván Martí-Vidal, responsable en el desarrollo de los algoritmos que permitieron combinar los datos de ALMA (el elemento más potente del EHT) con el resto de radiotelescopios y que ha estado también al frente de la coordinación del grupo de polarimetría (cuyo principal objetivo es estudiar el papel de los campos magnéticos en las proximidades del agujero negro), han participado asimismo desde el IRAM su director de la estación de Pico Veleta, Miguel Sánchez- Portal, los ingenieros Salvador Sánchez e Ignacio Ruiz, y los astrónomos Pablo Torné y Rebecca Azulay (Universidad de Valencia).

Otros científicos españoles participantes, en este caso por parte del CSIC y de su Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA), han sido el astrónomo José Luis Gómez, que ha desempeñado una labor crucial al coordinar el artículo para *The Astrophysical Journal Letters*, donde se da cuenta de parte de los trabajos, junto a Antxon Alberdi, director del IAA.



► Observatorio del IRAM en Pico Veleta.

En busca de agujeros negros

A partir de esos datos, en 2007, un equipo de astrónomos norteamericanos encabezado por Sheperd Doeleman, uno de los grandes impulsores del proyecto EHT, pudo observar la estructura de gases alrededor de Sgr A*. Utilizaron para ello interferometría de muy larga base (VLBI) con la ayuda de tres radiotelescopios en Arizona, California y Hawái, sincronizados como si se tratara de uno solo pero con el poder de resolución de la máxima distancia de separación entre ellos. Vieron que esa estructura de gases podía estar localizada muy cerca del llamado horizonte de sucesos del Sgr A*.

De manera muy simplificada, en astronomía se conoce como horizonte de sucesos a la superficie imaginaria que rodea a un agujero negro, una especie de divisoria o frontera que separa su enorme masa del exterior, y se ha teorizado que todo cuanto la traspasa y cae dentro del agujero negro, debido a la extrema intensidad de su campo de gravedad, no podría ya regresar jamás al exterior pues, para ello, necesitaría alcanzar una velocidad superior a la de la luz, algo que es físicamente imposible.

Aunque ya con anterioridad los científicos habían especulado sobre la existencia de los agujeros negros desde el siglo XVIII, fue Einstein quien, a partir de su teoría de la relatividad y del comportamiento de las ondas de la luz sometidas a la influencia de un campo gravitacional, comenzó a desvelar sus principales características, si bien nunca pudo comprender en toda

su complejidad el fenómeno. Fue durante la Primera Guerra Mundial cuando otro matemático y físico alemán, Karl Schwarzschild, a partir de algunas de las formulaciones de Einstein, predijo la existencia de un perímetro crítico en torno a un punto en el que se condensa una enorme cantidad de materia, más allá del cual la luz ya no puede escapar. A ese umbral crítico le puso el nombre de «radio de Schwarzschild», que

luego más adelante sería ya conocido como horizonte de sucesos. Muchos años después, ya a finales de la década de los 60, Stephen Hawking y Roger Penrose, a partir de las ecuaciones

de Einstein, avanzarían en la descripción de las «estrellas en colapso gravitatorio completo», a las que John Wheeler pondría el definitivo nombre de «agujero negro», desde entonces uno de los objetos del universo más sólidamente descrito por la teoría pero del que apenas había el menor rastro de su apariencia física.

Los agujeros negros, descritos profusamente por la teoría, han cobrado apariencia física gracias a la foto del EHT

Imagen histórica

Hasta la fotografía obtenida gracias al telescopio EHT, cuya imagen del agujero negro masivo situado en el centro de la galaxia M87, comenzó a dar la vuelta al mundo en abril del presente año. «La resolución y calidad de las imágenes obtenidas de la sombra de este agujero negro son verdaderamente excepcionales», comenta Iván Martí Vidal, uno de los científicos del Instituto Geográfico Nacional (IGN) que ha participado en el proyecto EHT elaborando los sistemas de cálculo que han



► Dos imágenes del Observatorio Astronómico del IGN en Yebes (Guadalajara).

permitido combinar los datos obtenidos desde el radiotelescopio ALMA con los del resto de la red EHT.

Pero obtener esas primeras imágenes no ha sido tarea fácil. Durante años hubo una intensa campaña de calibración de los radiotelescopios, de modernización y actualización de sus equipos para que pudieran trabajar sincronizados con relojes atómicos de la máxima precisión, de ensayos para captar las señales y ajustar los programas informáticos para depurarlas y evitar errores en los procesos posteriores, de convertirlas en algoritmos precisos, de cribar y procesar datos y más datos, de corregir las distorsiones causadas en las señales por minúsculas partículas en la ionosfera o en la

atmósfera terrestre... una tarea paciente y rutinaria que ha exigido el esfuerzo y la concentración de un muy bien organizado ejército multidisciplinar de más de 200 científicos –matemáticos, físicos, astrónomos, ingenieros, informáticos– repartidos por cuatro continentes.

Toda esa colosal tarea previa «de afinado de instrumentos e intérpretes», como la ha calificado uno de los científicos participantes, hizo posible que ya en 2017 el radiotelescopio virtual del proyecto EHT alcanzara una resolución de 20 microsegundos de arco, una de las máximas logradas nunca en observaciones VLBI, y se lanzara a explorar el corazón de la galaxia M87. En abril de ese año, a lo largo de cuatro intensas jornadas, el agujero negro pudo ser ya observado con la sincronización de los ocho radiotelescopios, y los distintos centros de seguimiento obtuvieron cerca de cuatro petabytes de datos (los archivos de internet ocupan unos 10 petabytes) que fueron posteriormente procesados por los equipos al frente de las supercomputadoras emplazadas en Haystack (Estados Unidos) y Bonn (Alemania).

En los meses siguientes la cosecha de datos empezó a dar sus primeros frutos, de modo que ya antes del verano del año pasado los científicos del proyecto EHT tenían en sus manos las primeras fotos del agujero negro. Por prudencia, no llegaron a hacerse públicas entonces. Solo circularon en congresos de especialistas a puerta cerrada, en ám-

La interferometría que hizo posible la imagen del M87

La radioastronomía es una ciencia relativamente reciente que se basa en la captación de las ondas de radio (radiaciones electromagnéticas) emitidas por los objetos celestes. A diferencia de la astronomía tradicional, basada en observaciones mediante telescopios de lentes o espejos que permiten el análisis de esos objetos gracias al estudio de su espectro óptico, la radioastronomía se apoya en la captación de su espectro electromagnético mediante receptores o antenas parabólicas que, equipadas con los procesadores adecuados, pueden restaurar las señales de radio emitidas por objetos incluso en los confines del universo conocido.

A finales de los 40 del pasado siglo se comenzó a estudiar la posibilidad de incrementar el poder de resolución de las señales captadas en tierra combinando las recibidas por varios radiotelescopios trabajando sincronizados y observando el mismo objeto, aunque separados entre sí. Se vio que esa resolución podía ser mayor cuanto mayor era la distancia de separación entre ellos. Nació así la interferometría de muy larga base (VLBI), que comenzó a cobrar un notorio desarrollo ya en la década de los 70, técnica a la que nuestro país empezó a contribuir hace ya cuatro décadas, en 1979, con la construcción de un primer radiotelescopio en el Observatorio Astronómico de Yebes (Guadalajara) a cargo del IGN.

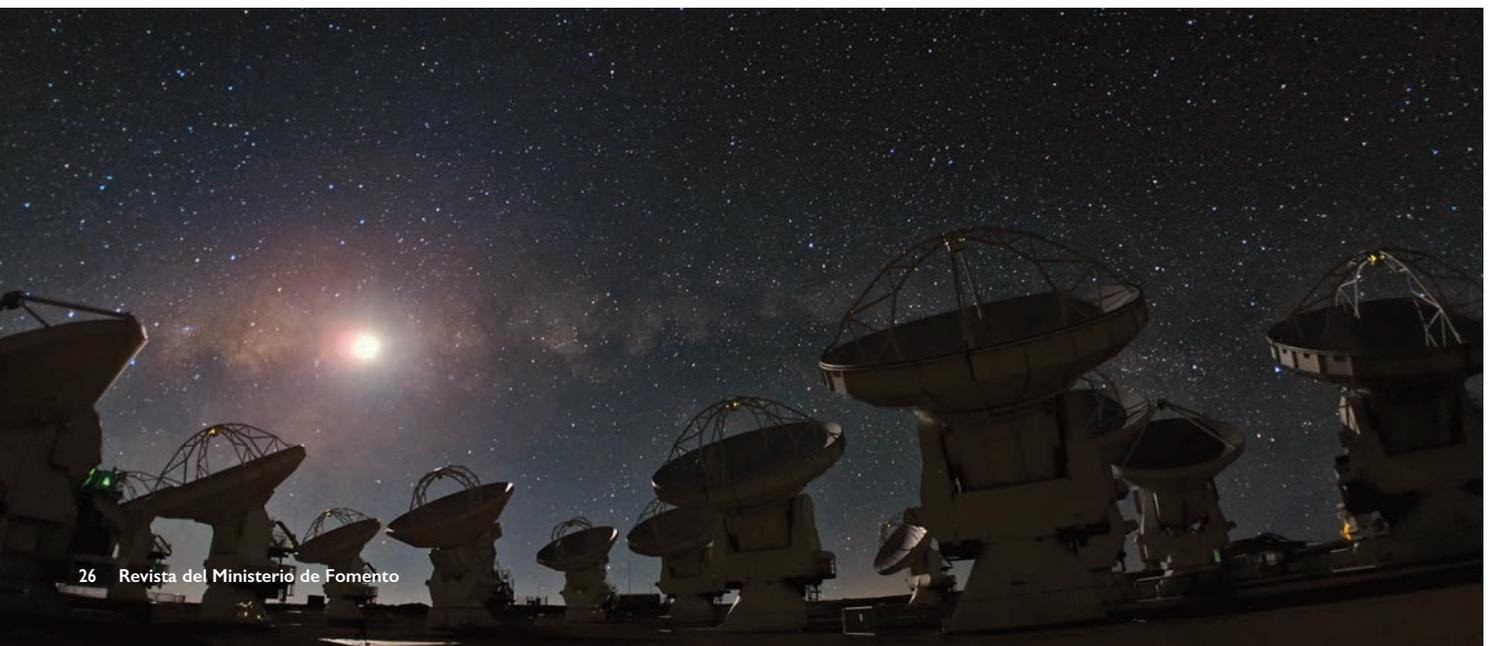
Gracias a la interferometría, la radioastronomía posee hoy un enorme potencial para estudiar incluso galaxias y estrellas muy alejadas de nuestro sistema solar, pudiendo ayudar a esclarecer fenómenos que no son observables en otras longitudes de onda. Gracias a que la velocidad de la luz está limitada a 300.000 km/s, el tiempo que tarda en viajar desde un astro hasta nosotros puede ser muy grande, lo que también hace que los objetos detectados en los confines del universo se nos muestren tal como eran hace mucho tiempo. Es decir, esto nos permite ver el universo tal y como era en sus etapas más tempranas. Las posibilidades que ha abierto la interferometría a la astronomía son, pues, enormes, y el radiotelescopio del proyecto EHT es la mejor muestra de ello.

bitos muy restringidos. «Era una cuestión de amararrar muy bien toda la información obtenida, de seguir contrastándola y no avanzar nada hasta que todos los análisis estuvieran sólidamente confirmados», explica Rafael Bachiller, director del Observatorio Astronómico Nacional (OAN), adscrito al IGN.

Una imagen, mil ecuaciones

Antes de dar a conocer la imagen que ya ha dado la vuelta al mundo, los científicos del EHT produjeron cerca de 70.000 imágenes. «Aunque todas tenían similitudes, finalmente se escogió esa porque era la más consistente y fiable, la que mejor repre-

► Grupo de antenas del proyecto ALMA en el desierto de Atacama.





► Observatorio del IRAM en Pico Veleta con su antena de 30 m en primer término.

sentaba la sombra de este agujero negro. Además las propiedades del agujero negro que muestra esta imagen concuerdan totalmente con la información que se conocía previamente de M87 a través de otras observaciones», añade Pablo de Vicente, director del Observatorio de Yebes (IGN). Por supuesto, el agujero negro supermasivo de la Vía Láctea, Sgr A*, también está siendo observado por el EHT y, aunque no se haya obtenido aún una imagen tan clara como la de M87, se espera poder conseguirlo durante las próximas campañas de observación.

Los científicos, que llevan examinando estos datos ya al menos un par de años, y que también siguen estudiando todo cuanto ocurre en torno al agujero negro, están también de acuerdo en que, más allá de la excepcionalidad de esas primeras imágenes, su verdadero valor es que la astrofísica sigue confirmando, punto por punto y de manera práctica, la teoría general de la relatividad de Albert Einstein. La imagen del agujero negro en M87, en apariencia tan simple como un círculo central muy oscuro recortado sobre un fondo brillante, viene a revelar algo que el científico alemán ya anticipaba en sus cálculos, y también algo en lo que desconfiaba y se resistía a creer: que la fuerza de

la gravedad podía llegar a ser tan poderosa como para deformar de manera extrema el espacio y el tiempo. Por utilizar un ejemplo cercano: si se somete un colchón a una presión leve solo se aprecia la pequeña deformidad del hundimiento; pero si esa presión se eleva a varios millones de atmósferas, la energía de fricción cambia de tal manera la estructura y la materia del colchón que su esencia es ya otra al traspasar el umbral de no retorno al estado anterior.

Por otro lado, esa imagen tiene también otro valor añadido importantísimo, este de unas dimensiones tan descomunales, quizás, como las de la galaxia M87: los enormes beneficios que conlleva la colaboración a escala internacional. «Creo que esta imagen de M87 es un magnífico ejemplo de lo que la ciencia puede lograr superando fronteras, cooperando y no incurriendo en egoístas carreras auspiciadas por comunidades cerradas sobre sí mismas o nacionalismos. Ese es el agujero negro que el proyecto EHT ha superado y, gracias a ello, el EHT viene a ilustrar lo que se puede obtener gracias a la colaboración científica a escala internacional», concluye Rafael Bachiller.

Antonio Recuero/Fotos: IGN

En servicio dos tramos
de la autovía del Duero,
que suman más de
14 kilómetros





► Imagen de tráfico en el tramo
Enlace de Santiuste-Variante
Burgo de Osma.

La autovía A-11 está llamada a ser uno de los grandes corredores este-oeste de Castilla y León, ya que conectará el extenso territorio entre Soria y Portugal siguiendo el recorrido del río Duero a través de cuatro provincias (Soria, Burgos, Valladolid y Zamora) y enlazando tres capitales de esta comunidad autónoma. Este gran eje vertebrador ha registrado esta primavera un importante impulso en su proceso de construcción con la puesta en servicio de dos tramos en la provincia de Soria, a los que se ha sumado la licitación de otros dos más en Valladolid.

Los dos nuevos tramos de la autovía del Duero (A-11) en la provincia de Soria se pondrán en servicio con una diferencia temporal de 45 días. Cronológicamente, el primero de ellos, Enlace de Santiuste-Variante de Burgo de Osma, lo hizo el pasado 10 de abril, mientras que el segundo, La Mallona-Venta Nueva, lo hará el 24 de mayo. Ambos tramos, discontinuos, suman una longitud conjunta de 14,2 kilómetros. Desde su apertura podrán ser utilizados por los tráficos de largo recorrido en el itinerario entre Soria y Valladolid, aportando a los usuarios beneficios en términos de seguridad vial, comodidad en la conducción y menores tiempos de viaje respecto a los antiguos tramos de la carretera N-122 (de Zaragoza a Portugal por Zamora) a los que han sustituido funcionalmente.

Con la puesta en servicio de estos dos tramos se da un nuevo impulso a la construcción de la autovía A-11, uno de los grandes ejes transversales de la meseta Norte, que atravesará la franja central de Castilla y León desde el límite oriental en Soria hasta la conexión con Zamora y el norte de Portugal. Es un corredor llamado a jugar un importante papel para la vertebración de territorios en esta comunidad, que además captará los tráficos hacia el este (Navarra y Aragón), por lo que su construcción es una prioridad para el Ministerio de Fomento. En este corredor de gran capacidad, de unos 380 kilómetros de longitud, ya está en servicio el itinerario Zamora-Tordesillas y se desarrolla actualmente el tramo más largo, Valladolid-Soria –la totalidad de las obras de la A-11 se están realizando en la provincia de Soria–, mientras que el más occidental, Zamora-frontera portuguesa, se encuentra en proyecto.

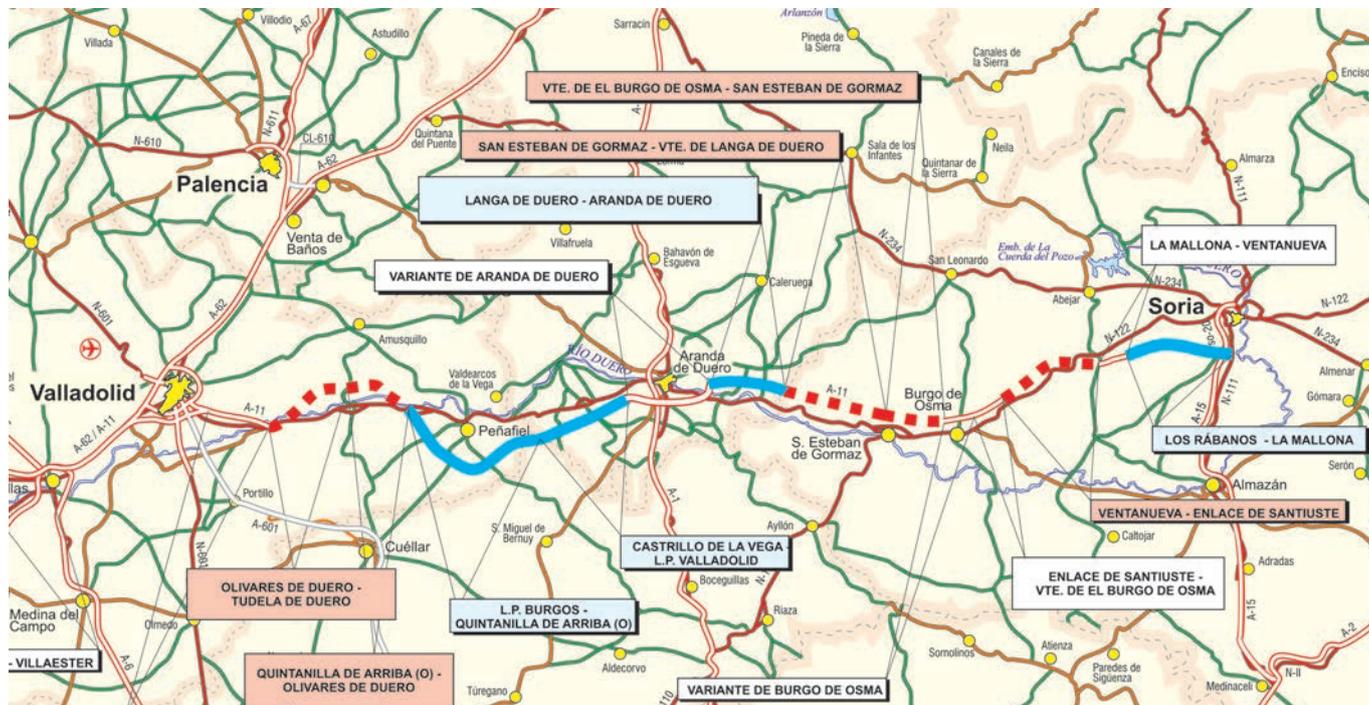
El Ministerio de Fomento ha destinado una inversión global de 67,7 M€ a los dos nuevos tramos, correspondiendo 61,7 M€ a los contratos de obras y el resto al coste de redacción de los pro-

yectos, al importe de las expropiaciones y al contrato para el control y vigilancia de las obras. De forma desglosada, el tramo Enlace de Santiuste-Variante de Burgo de Osma ha tenido un presupuesto de obra de 35,2 M€ y una inversión total de 38 M€; la obra ha sido desarrollada por la empresa Vías y Construcciones y el proyecto ha sido redactado por Pycsa-IPD. El segundo, La Mallona-Venta Nueva, ejecutado por Collosa con proyecto de Urci Consultores, ha tenido un presupuesto de obra de 26,5 M€, siendo la inversión total de 29,7 M€. Ambas obras han sido dirigidas por ingenieros de la Demarcación de Carreteras del Estado en Castilla y León Oriental.

Seguidamente se describen las actuaciones llevadas a cabo en cada uno de los tramos.

Enlace de Santiuste-Variante de Burgo de Osma

El tramo se desarrolla entre la variante de Burgo de Osma (en servicio desde 2004), al oeste, y el tramo Venta Nueva-Enlace de Santiuste (en ejecución), al este, con el que enlaza mediante una conexión provisional de 200 metros de longitud. Con marcado sentido este-oeste, el trazado discurre siempre al norte de la carretera N-122, que ha quedado relegada a vía de servicio, y sensiblemente en paralelo a la misma, con una longitud aproximada de 8,4 kilómetros. La traza, también paralela al cauce del río Abión, intercepta varios cauces, una carretera local, una decena de caminos agrícolas y el gasoducto Aranda-Soria, debiendo salvar también alguna vaguada. Al final del tramo se ha construido el único enlace (Santiuste), con tipología de diamante con pesas y resuelto con un paso inferior bajo la autovía, al que se conectan la N-122 y la carretera SO-P-4051 de acceso a Santiuste. Se sitúa al norte de este núcleo urbano.



► Mapa del tramo Valladolid-Soria de la A-11, con tramos en servicio (trazado blanco), en obras (trazado discontinuo rojo y blanco) y en proyecto (trazado azul).

El trazado en planta consta de seis alineaciones (dos rectas y cuatro curvas), con radios comprendidos entre 1.250 metros y 8.000 metros. La rasante oscila entre un mínimo de 0,5% y un máximo del 2,50%. Estas características geométricas permiten una velocidad de proyecto de 120 km/h. Respecto

a la sección tipo del tronco, es la típica de autovía: dos calzadas, con dos carriles de 3,5 metros de ancho cada uno, arcenes exteriores de 2,50 metros, interiores de 1 metro y berma de 1 metro, siendo la mediana de 10 metros. La categoría de tráfico adoptada a efectos de dimensionamiento del firme



► El primer tramo inaugurado da continuidad a la variante de Burgo de Osma, sumando casi 18 kilómetros de autovía en esta zona.

Entre Soria y Valladolid

La autovía A-11 está formada por tres grandes tramos, Soria-Valladolid (206 km, en desarrollo), Zamora-Tordesillas (70 km, en servicio) y Zamora-frontera portuguesa (72 km, en proyecto), aunque el corredor este-oeste que conforma incorpora otros 30 kilómetros abiertos al tráfico entre Valladolid y Tordesillas, construidos como parte de otras autovías (A-62 y VA-30). De los cerca de 380 kilómetros que tendrá este gran corredor, por tanto, más de 150 kilómetros ya están en servicio.

Actualmente se encuentra en desarrollo el tramo más largo, Soria-Valladolid, que discurre por las provincias de Soria, Burgos y Valladolid. Las obras se circunscriben en estos momentos a la provincia de Soria, cuyos tramos se reactivaron en 2015 tras ser reprogramados durante la crisis. Con los dos tramos abiertos esta primavera, la A-11 «sorianas» es la parte más avanzada del itinerario Soria-Valladolid ya que presenta tres tramos en servicio (La Mallona-Venta Nueva, Santiuste-Burgo de Osma y Variante de Burgo de Osma, que suman 24 km), tres en ejecución (Venta Nueva-Santiuste, Burgo de Osma-San Esteban de Gormaz y San Esteban-Langa de Duero, con 40 km) y el restante en fase de actualización del proyecto (Los Rábanos-La Mallona, de 20 km). De los tramos en obras, San Esteban de Gormaz-Langa de Duero abrirá tras el verano y los otros dos a finales de 2020, según las previsiones.

Esta primavera se han relanzado las actuaciones en Valladolid, como refleja la licitación de dos tramos en la ribera del Duero entre Quintanilla de Onésimo y Tudela de Duero (35 km), a los que se suman un tramo en servicio (Tudela de Duero-Valladolid, 14,2 km) y otro en proyecto (Límite Burgos-Quintanilla de Arriba, 25,5 km). En esta provincia, además, está prevista la remodelación del enlace con la circunvalación VA-30 para mejorar la seguridad vial. Y de los tres tramos en Burgos, la variante de Aranda (13,7 km) está operativa desde 2015 y los dos restantes (Langa de Duero-Aranda de Duero y Castrillo de la Vega-Límite con Valladolid, que suman 34,3 km) se encuentran en proyecto.





► Viaducto doble de Velasco, principal estructura del tramo Enlace de Santiuste-Variante de Burgo de Osma.

en el tronco es la T1, por lo que se ha adoptado una sección formada por 20 centímetros de mezclas bituminosas en caliente (3 cm tipo M-10 en capa de rodadura, 7 cm tipo S-20 en capa intermedia y 10 cm tipo G-25 en capa base) sobre 20 centímetros de suelocemento y dispuesta sobre una explanada E3. La permeabilidad entre calzadas viene asegurada por cuatro pasos de mediana.

A lo largo del trazado se han ejecutado seis estructuras (un viaducto, un paso superior y cuatro pasos inferiores). El viaducto salva el barranco de la Dehesa en torno al PK 2+260 y consiste en un puente doble (un tablero de 11,70 metros de ancho para cada calzada) de cuatro vanos de 35 metros, para una longitud total de 140 metros. El tablero está constituido por vigas doble T de 1,65 metros de canto y losa de compresión de 0,25 metros de espesor, las pilas están formadas por dos fustes circulares de 1,25 metros de diámetro con dintel de 1,50 metros de canto en cabeza que permite el apoyo de las vigas y los estribos son cerrados y constituidos por cargaderos de canto variable. Dos de las pilas tienen cimentación profunda mediante pilotes y la restante está cimentada de forma directa sobre zapatas.

El único paso superior resuelve el acceso de la SOP-4050 a Valdenarros sobre el tronco de la autovía y de la carretera N-122, que en este punto discurren paralelas a poca distancia. Se trata de una estructura de 79 metros divididos en cuatro vanos, formada por un tablero monoviga prefabricado de 1 metro de canto, sobre el que se ha ejecutado *in situ* una losa de 0,25 metros de espesor; las pilas son prefabricadas de tipo palmera, de sección rectangular, de 2,10 x 1,50 metros, y los estribos son dispares: el 1 es cerrado y el 2 es abierto. La cimentación del estribo 1 y la pila 1 es profunda mediante pilotes perforados de gran diámetro y el resto de apoyos se ha cimentado con zapatas. De los pasos inferiores, tres son pasos de caminos existentes y comparten tipología de marco de hormigón, con longitud máxima de 38,5 metros, anchura de 9 metros y sección interior variable de entre 5,60 y 6 metros. El cuarto, situado en el enlace de Santiuste, es un puente doble, con un tablero para cada calzada de un único vano, de 22 metros de luz. El tablero está constituido por vigas doble T de 1,10 metros de canto y losa de compresión de 0,25 metros de espesor, que se apoyan en estribos de suelo reforzado.

Entre las estructuras se han ejecutado igualmente tres muros de contención de tierras para evitar la

afección a elementos próximos a la traza: dos muros de tierra reforzada contruidos en terraplén y un muro pantalla de pilotes contruido en un desmonte. En el capítulo estructural se inscribe asimismo un paso de fauna, consistente en un marco rígido de hormigón de 38,6 metros de longitud, 12 metros de ancho y gálibo vertical de 4 metros.

En dos ocasiones la traza se cruza con el gasoducto Aranda-Soria y ramal a Almazán, obligando a diseñar y ejecutar soluciones de ingeniería singulares para evitar afecciones a esta infraestructura y mantenerla en servicio durante la obra. Para el primer cruce con el servicio afectado, en el pk 3+370, se ha ejecutado un paso inferior formado por un tablero de 15 metros de ancho y dos vanos de 25 metros de luz. El tablero tiene tipología de losa aligerada de canto constante, formada por dos almas paralelas entre las que se ha dispuesto una franja de 4 metros de placas alveolares prefabricadas que soportan la zona de tierras donde se alberga la conducción de gas (protegida a su vez por una camisa de acero), y se apoya en dos pilas-pilote y en sendos estribos, apoyados a su vez sobre un muro-pantalla de pilotes, según el proyecto. Para el segundo cruce, en torno al pk 4+140, se ha construido una variante del trazado del gasoducto, de 350 metros de longitud, que cruza bajo la autovía en la zona de terraplén, contando con la protección de una losa que cubre el tubo y se apoya en zapatas.

El drenaje transversal se ha resuelto mediante la ejecución de un total de 29 obras en el tronco, que permiten dar continuidad a los desagües existentes. En su mayor parte se trata de caños de 1.800 milímetros de diámetro, con longitudes entre 6 y 87 metros, pero también se han ejecutado algunos marcos de hormigón de 2x2 metros, con una longitud máxima de 51 metros. Dos de estas estructuras de drenaje han sido dimensionadas para favorecer el tránsito de grandes mamíferos existentes en la zona (corzo, ciervo, jabalí). El drenaje longitudinal ha quedado garantizado por la construcción a lo largo del tronco de cunetas, bajantes, tres colectores y bordillos, entre otros elementos.

El movimiento de tierras necesario para la construcción del tramo (se ha excavado un volumen cercano a 1,3 millones de m³ en desmonte y algo más de 1,2 millones de m³ en terraplén) ha sido

prácticamente compensado tras una ligera modificación del perfil longitudinal del tronco, reduciendo de esta forma las necesidades de préstamo para la construcción de terraplén y, en definitiva, optimizado los recursos.

En cumplimiento del Estudio de Impacto Ambiental y de la Declaración de Impacto Ambiental, durante la obra se ha implementado un plan de medidas protectoras y correctoras destinadas a la minimización del impacto de las actuaciones y a la protección del entorno (suelos y

vegetación, sistema hidrológico, fauna, atmósfera y patrimonio cultural), procediéndose igualmente al desarrollo de un paquete de actuaciones de defensa para la recuperación ambiental

y la integración paisajística de la obra. Un programa de vigilancia ambiental monitorizará la eficacia de estas medidas durante la fase de explotación del tramo.

La totalidad de las obras de construcción de la nueva autovía A-11 se desarrolla en la actualidad en la provincia de Soria

La Mallona-Venta Nueva

Este tramo limita con los contiguos Los Rábanos-La Mallona (el más oriental de la A-11, que conecta con la circunvalación de Soria; tiene el proyecto finalizado) y Venta Nueva-Enlace de Santiuste (en obras). Con una longitud de 5,7 kilómetros, el trazado se desarrolla con orientación este-oeste entre los enlaces de Venta Nueva y La Mallona (excluido de este proyecto), a través de dos valles encuadrados entre pequeñas elevaciones a su vez enmarcadas entre las sierras de Cabrejas y de Hinodejo, discuriendo al sur y próximo a la carretera N-122, entre las cotas 1.090 y 1.135 metros. Cruza los términos municipales de Calatañazor y Golmayo, inicialmente por terrenos suaves de cultivo de secano y luego por las laderas norte de pequeñas elevaciones formadas por terrenos de monte bajo y matorral, limitando por el sur con el LIC Sabinas Sierra de Cabrejas e Hinodejo. A lo largo del trazado acompaña a la N-122 la vía romana XXVII, de *Asturica Augusta a Caesaraugusta*, sin afectarla, aunque entre los pk 2+700 y 3+150 se aproxima a la autovía por su margen izquierda.

El origen del tramo se sitúa unos 800 metros al oeste de la intersección de la carretera SO-110 con la N-122, donde se ha construido el enlace de Venta



► Enlace de diamante con pesas de Venta Nueva.

Nueva que permite conectar con la N-122 y con el tramo contiguo de autovía Venta Nueva-Enlace de Santiuste. El enlace presenta tipología de diamante con glorietas, de las cuales la del lado norte se apoya en la actual carretera N-122 y la glorieta sur ocupa parcialmente la SO-110, habiéndose construido también un paso inferior bajo el tronco de la autovía. Esta infraestructura permite todos los movimientos entre la autovía A-11 y la carretera N-122 en las proximidades de la intersección a nivel, además de conectar con las carreteras autonómicas SO-110 a Nódalo, al sur, y SO-910 a Abejar, al norte. El final del tramo se sitúa cerca de la intersección de las carreteras locales hacia La Mallona, al sur, y La Cuenca, al norte, poco antes del futuro enlace de La Mallona. En esta zona se ha dispuesto una conexión provisional con la carretera N-122.

El trazado en planta se compone de nueve alineaciones (3 rectas y 6 curvas circulares), con radios comprendidos entre 1.500 y 5.000 metros, mientras

que la rasante es suave, formada por seis alineaciones con pendientes comprendidas entre 0,50% y 1,55%, con una única alineación que sobrepasa el 3%. La velocidad de proyecto es de 120 km/h. Comparte con el tramo antes descrito las mismas características de sección tipo del tronco –con la excepción de la variante, de 10 metros en todo el trazado salvo en los primeros 400 metros, que es de 2 metros al proyectarse el tramo anterior con esta anchura por exigencias ambientales– y de paquete de firme.

En el trazado se han construido seis estructuras (un viaducto, tres pasos inferiores, un paso superior y un paso de fauna) para garantizar la permeabilidad territorial y las conexiones con el viario existente. El viaducto, que salva el cauce del río Ríoviejo, es una estructura doble formada por tres vanos (27'5-28-27'5 metros), con tablero de 15 metros de ancho; consta de tablero isostático de vigas artesa prefabricadas, con cimentación sobre pilotes de diámetro 1,20 metros, empotrados a 30 metros.

De los pasos inferiores, los situados en ambos extremos resuelven los cruces con la SO-110 en el enlace y con la SO-P-4069 a La Mallona, y comparten tipología (puentes de vigas prefabricadas, con luces de 17,5-18-17,5 metros el primero y de 27,5-28-27,5 metros el segundo); el tercero, para reposición de un camino, tiene tipología de marco de hormigón armado, de 9 metros de luz y 6 metros de gálibo. El paso superior, también para reposición de un camino, es una estructura de cuatro vanos, con luces de 12-19-19-12 metros, formado por un tablero continuo apoyado en dos pilas, con cimentación directa. El paso de fauna consiste en un único vano por calzada, de 25 metros de luz y anchura de 11,5 metros; una estructura hidráulica en el cauce del río Rioviejo cumple con la misma función.

Para resolver el desagüe de los cauces atravesados por la nueva infraestructura –en general de poca entidad, la mayor parte sin aguas permanentes–, se han ejecutado 14 obras de drenaje transversal, de las cuales una es un viaducto (río Rioviejo), dos son bóvedas para evacuar las aguas de los arroyos de Valdehugares y Sequillo (5 metros de ancho por 4,15 metros de altura en clave) y el resto son tubos de 1.800 milímetros de diámetro. Se han ejecutado también cinco marcos para drenaje transversal en los ramales del enlace y otros dos caños para caminos.

En el capítulo de movimiento de tierras, para completar la obra se han excavado más de 1 millón de metros cúbicos en desmontes, material destinado a la formación de la plataforma, así como 1,2 millones de metros cúbicos en terraplén. En dos puntos del trazado próximos al viaducto de Rioviejo se han realizado tratamientos para mejorar el terreno de apoyo de los terraplenes mediante la ejecución de columnas de grava, con una longitud de algo más de 22.500 metros.

Finalmente, en el ámbito medioambiental, además de las medidas de protección del entorno previstas en la Declaración de Impacto Ambiental, se han llevado a cabo actuaciones de restauración paisajística con la plantación de especies arbóreas y arbustivas autóctonas en taludes de desmonte, terraplenes, medianas, glorietas y espacios entre ramales de enlaces, así como en áreas de préstamo. El importe aproximado de estas actuaciones ha sido de 1,6 M€.



Javier R.Ventosa/Fotos: DCE Castilla y León Oriental



► Doble viaducto sobre el río Ríoviejo e intersección a nivel con la carretera N-122, en la parte final del tramo La Mallona-Venta Nueva.



► Sede del Centro a orillas del río Manzanares, Madrid, obra de Miguel Fisac.

Todo sobre el agua

El Centro de Estudios Hidrográficos del Cedex desarrolla multitud de programas para conocer la calidad y disponibilidad de un recurso imprescindible

Creado en 1933 por iniciativa de Manuel Lorenzo Pardo, impulsor también de las confederaciones hidrográficas y del I Plan Hidrológico Nacional, el Centro de Estudios Hidrográficos, adscrito al Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (Cedex), tiene entre sus principales líneas de actividad el estudio de las aguas continentales, su disponibilidad y calidad como recurso natural imprescindible, el asesoramiento en materia de técnicas de abastecimiento, depuración o infraestructura hidráulica.



► Manuel Lorenzo Pardo, primer director del Centro de Estudios Hidrográficos.

Con Manuel Lorenzo Pardo como director, todo un pionero en materia de aguas al que se recuerda por ser el impulsor de las confederaciones hidrográficas, el Centro de Estudios Hidrográficos inició su andadura en el año 1933 a iniciativa del que fuera por aquel entonces ministro de Obras Públicas, Indalecio Prieto, con el objetivo de diseñar un Plan Hidrológico Nacional que permitiese emprender una política de aguas viable basada en las necesidades reales del país.

En esta larga trayectoria han sido muchos los avatares que han condicionado la vida de este organismo, que surgió en una época de mucha agitación política en nuestro país. Para empezar, aquel centro, cuya primera sede estuvo en la calle Marqués de Riscal, apenas funcionó tres años, ya que en el 36 se suprimió, no sin haber cumplido aquel objetivo con el que se creó, que era el de diseñar un Plan Nacional de Obras Hidráulicas. Aunque nunca llegó a aprobarse oficialmente, sirvió para que los gobiernos posteriores llevaran a cabo muchas de sus propuestas, como es el caso del trasvase Tajo-Segura, la más importante obra de infraestructura hidráulica construida en España.

El Centro se volvió a crear en 1937 en plena Guerra Civil, aunque de forma testimonial, por un decreto del Gobierno de Manuel Azaña, refugiado ya en Valencia. Pero fue una recreación simbólica, pues los ingenieros y casi todo su personal se habían dispersado huyendo de los efectos devastadores de la guerra.

En los años 50, desde el Ministerio de Obras Públicas se plantea que los estudios de planificación

hidrológica se realicen de forma centralizada, y se crea para ello la Comisión Interministerial de Planes Hidráulicos, que coordinaba las actuaciones en materia de aguas de este Ministerio junto con Agricultura e Industria, en especial los planes y proyectos de cierta envergadura.

Posteriormente, en los años 60, coincidiendo con la recuperación del país y el fomento del regadío, de las obras públicas hidráulicas y de producción de energía, los responsables políticos reparan en la necesidad de contar con un centro que refuerce esta línea de acción y que estudie y valore la viabilidad de los proyectos que se planteen. Se decide entonces crear un organismo que continúe con la labor iniciada por aquel del año 33, con unas funciones muy similares e incluso recuperando el nombre. Se construye así, en 1963, un edificio para albergarlo, según un proyecto del arquitecto Miguel Fisac, a orillas del río Manzanares, en Madrid.

Su cometido inicial será estudiar la disponibilidad de agua en España, por lo que el Centro se configuró como una unidad especializada de planificación hidráulica a través del estudio de las aguas continentales. Con el tiempo los objetivos han ido cambiando y se han incorporado nuevos campos de investigación y estudio, sobre todo en materia de calidad del agua, tecnología de depuración, saneamiento, desalación de agua del mar, crecidas e inundaciones, seguridad de obras hidráulicas o hidráulica fluvial, a los que se suman otras cuestiones relacionadas con el medio ambiente, en especial el asesoramiento en la regulación derivada de directivas europeas.

El actual director del Centro, Federico Estrada, uno de nuestros mayores expertos en una materia a la que ha dedicado buena parte de su trayectoria profesional, casi siempre en este mismo organismo, explica que, al margen de estas funciones, el Centro de Estudios Hidrográficos también presta asistencias técnicas y colabora con otras entidades, como por ejemplo, el Canal de Isabel II, un organismo con competencias propias en lo que se refiere al ciclo integral del agua, adscrito a la Comunidad de Madrid. El campo de esos trabajos es muy amplio, abarca también cuestiones relacionadas con guías técnicas para conducciones de abastecimiento o saneamiento, y puede alcanzar la colaboración con empresas privadas que ejecutan proyectos en el exterior y encargan al Centro ensayos de sus obras para realizarse en el laboratorio. Incluso también se ha colaborado con el Ministerio de Asuntos Exteriores en materia de cooperación al desarrollo, ya que dispone de un fondo de agua y saneamiento cuya supervisión técnica gestiona el Centro.

La plantilla actual es de 80 personas y depende orgánicamente de dos ministerios: el de Fomento y el de Transición Ecológica. Su estructura es fruto de la fusión de dos unidades que tuvieron un origen independiente: el Centro de Estudios Hidrográficos, con igual denominación que el actual centro unificado, y el Laboratorio de Hidráulica, una instalación singular en la que es posible reproducir a escala el modelo físico de infraestructuras para su estudio.

Este organismo del Cedex forma parte, además, de la Comisión Central de Explotación del Tajo-Segura, por lo que elabora el informe de situación con la información de las Confederaciones Hidrográficas presentes en dicha Comisión, que sirve para tomar las decisiones de trasvase que se efectúan todos los meses.

Anuario de aforos

Entre algunas de sus funciones más importantes están también todas aquellas relacionadas con la hidrometría, pues se trata de conocer con la mayor precisión posible las reservas de agua disponibles en nuestro país. Una de sus referencias esenciales, elaborada por el Centro, es el Anuario de Aforos, que recoge los datos hidrográficos suministrados por la Red Oficial de Estaciones de Aforo (ROEA) y las estaciones que pertenecen al Sistema Automático de Información Hidrográfica (SAIH), proporcionando el nivel y caudal de las aguas en



► Modelos físicos de presas a escala reducida.



puntos seleccionados de los ríos, que se complementan con los datos de embalses, de los canales y de las estaciones evapométricas.

Se trata, en definitiva, de hacer una valoración de los recursos hídricos, su inventario, que es necesario en todos los planes hidrológicos, para conocer con precisión el agua embalsada, la que circula en los ríos, acuíferos o en canales, etc. Los organismos de cuenca tienen encomendada la operación y mantenimiento de las redes de medida y el Ministerio para la Transición Ecológica la responsabilidad de mantener el archivo general y la difusión de esta información a través de la Dirección General del Agua, organismo al que el Centro de Estudios Hidrográficos presta colaboración técnica.



«Las confederaciones y las administraciones hidráulicas recopilan los datos de los ríos, de los embalses, de los canales, y desde el Centro hacemos una evaluación mediante modelos matemáticos que reproducen el ciclo hidrológico del agua, con mapas digitales que tienen dividida España en celdas de un kilómetro cuadrado, de manera que sabes lo que está pasando en cada punto concreto y también lo que está pasando mes a mes», explica su director, Federico Estrada.

Se viene trabajando con toda la serie histórica desde el año 1912 hasta la actualidad, y desde el Centro se incorporan los datos de los embalses y de las principales conducciones y se vuelcan en una base de datos común que se publica en forma de anuario con toda la información, de libre acceso, disponible en Internet para, entre otros fines, poder utilizarla en los planes hidrológicos que se revisan cada seis años:

<http://sig.mapama.es/redes-seguimiento>

Laboratorio de Hidráulica

Una buena parte de las tareas encomendadas al Centro de Estudios Hidrográficos se realiza a través de su Laboratorio de Hidráulica, unas instalaciones dedicadas a la experimentación mediante modelos físicos de estructuras hidráulicas a escala reducida y actuaciones fluviales en el ámbito de las aguas continentales. El laboratorio remonta su origen a la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid, que alojó sus primeras instalaciones en 1925. En ellas se realizó la primera experimentación hidráulica en España, que fue el ensayo en modelo físico reducido de un aliviadero de Saltos del Alberche.



► Distintas dependencias del laboratorio.

Principales cometidos del CEH

- ✓ Realizar actividades de obtención, investigación, experimentación y gestión de datos relativos a recursos y fenómenos de la naturaleza.
- ✓ Definir, diseñar, mejorar y, en su caso, evaluar y certificar las características de los materiales, elementos, técnicas, métodos y sistemas, así como fomentar su normalización.
- ✓ Proponer, estudiar y elaborar, directamente o en colaboración, reglamentaciones, normas y, en general, cualquier clase de especificaciones técnicas.
- ✓ Desarrollar proyectos de investigación, desarrollo tecnológico e innovación, teniendo en cuenta las directrices contenidas en los planes europeos y nacionales y en los programas a los que se refiere el apartado anterior o a iniciativa propia.
- ✓ Prestar asistencia técnica especializada tanto al sector público como al privado, con atención prioritaria a los departamentos ministeriales de los que depende funcionalmente.
- ✓ Difundir y transferir la tecnología española en los ámbitos nacional e internacional, realizando publicaciones, talleres, jornadas, seminarios, simposios y cursos, así como mediante la creación y el mantenimiento de portales temáticos de información a través de redes de comunicación.
- ✓ Colaborar y fomentar la colaboración con otros órganos de las administraciones públicas y con instituciones nacionales e internacionales en actividades de asistencia técnica, experimentación, investigación, desarrollo tecnológico e innovación y transferencia de tecnología.
- ✓ Dictar laudos arbitrales en caso de litigio, cuando oficialmente sea requerido para ello.

Hoy, en sus instalaciones se construyen a escala, con mucho detalle, modelos de presas, ya sean de nueva fábrica, o antiguas que requieren algún tipo de reforma porque sus condiciones de seguridad ya no son las que se exigen, o también porque cuando se proyectaron se disponía de menos información hidrológica y precisan algún tipo de adaptación.

También se utilizan modelos físicos para estudiar el comportamiento de los ríos, como por ejemplo el que se ha construido para la localidad jienense de Andújar, donde el Guadalquivir se desborda en algunos puntos con cierta frecuencia. A través de esa reconstrucción a escala, nos explica Federico Estrada, ha sido posible aplicar una serie de medidas para que este fenómeno no se repita o se puedan aminorar sensiblemente sus peores efectos.

Desde el laboratorio también se trabaja con modelos matemáticos, una técnica que, combinada con los modelos físicos tiene mucha utilidad a la hora de proyectar una obra hidráulica concreta, resolver problemas de desbordamiento o inundaciones y probar las diferentes alternativas de protección.

El laboratorio está dividido en dos grandes naves de ensayos, la número 1, que se utiliza principalmente para ensayos de modelos de estructuras hidráulicas, con una superficie aproximada de 1.800 m², y la nave número 2, que tiene una extensión aproximada de 6.000 m², y se utiliza principalmente para experimentación de modelos físicos de actuaciones fluviales (encauzamientos en ríos, estudio de erosión local en puentes, obras de drenaje, estudios de desembocaduras, etc.).

La cubierta de la primera de las naves es especialmente singular y está formada por unas vigas de 22 m de luz de hormigón pretensado, con una característica forma que recuerda a los huesos de las extremidades de los animales vertebrados —así proyectada por el arquitecto del edificio, Miguel Fisac—, que garantiza una iluminación natural de gran uniformidad y que tiene un especial valor arquitectónico.

Se dispone además de una nave para los ensayos de máquinas hidráulicas, de unos 450 m² de superficie, y de otra en la que se ubican tres canales basculantes transparentes de unos 200 m² de superficie para la realización de ensayos hidráulicos bidimensionales. Complementariamente a los an-



► Tanques de experimentación.

teriores canales basculantes, el laboratorio dispone de otros dos canales de mayores dimensiones.

A ello se suma una serie de instalaciones fijas, de las que el laboratorio dispone para investigación mediante experimentación hidráulica: los aliviaderos en sifón; los aliviaderos en laberinto y tecla de piano; para el vertido de presas de escollera por coronación; las protecciones en forma de cuña en presas de materiales sueltos; el uso de la aireación del flujo en aliviaderos de presas; los aliviaderos escalonados en presas de hormigón compactado, y las escalas de peces. Para realizar todos estos trabajos el laboratorio cuenta con talleres de mecánica, calderería, carpintería, electricidad, electrónica, áridos y modelado.

Estudios

Entre los experimentos y estudios más importantes que se han podido efectuar en este laboratorio, Federico Estrada recuerda el de la presa de Nagore, en la cola del embalse de Itoiz, en Navarra, donde el desagüe era difícil y se producían una serie de fenómenos hidráulicos que hubo que estudiar en detalle para mejorar su funcionamiento.

También se realizan estudios relacionados con tecnología o dispositivos especiales, antes de que se apliquen de forma extensiva en las infraestructuras. A modo de ejemplo, Estrada recuerda el lamentable suceso de la presa de Tous, cuando las aguas se desbordaron por una erosión de la estructura. Las técnicas que hoy en día se utilizan para evitarlo ha sido posible abordarlas previamente en este laboratorio.

Asimismo, en materia de medio ambiente, el director del Centro detalla con satisfacción otro estudio muy interesante hecho también en este laboratorio, en el que ha sido necesaria la colaboración de biólogos e ingenieros. Se trata de las escalas de peces, pues las presas levantadas en los cauces de los ríos, especialmente las más antiguas, que son mayoría, impiden habitualmente su paso, y para que puedan transitar se han empezado a construir las llamadas escalas, que son una sucesión de estanques que permiten a los peces parar en su recorrido y luego avanzar.

Se da la circunstancia de que en España el dimensionamiento de estas escalas se hace tomando modelos americanos o canadienses, que son los que tienen más práctica, pero con el inconveniente de



► Modelo físico a escala reducida del río Guadalquivir a su paso por Andújar

que allí los ríos son más caudalosos, y las especies de peces diferentes. «Así –nos explica– hicimos un ensayo hidráulico ecológico con peces de verdad en colaboración con la Escuela de Montes; les pusimos un chip y los soltamos para monitorizarlos viendo sus itinerarios y en qué condiciones llegaban río arriba. Esto nos permitió redefinir las curvas que había de dimensionamiento de estas escalas con los modelos americanos, adaptándolas a las especies de peces españolas».

Cambio climático

Uno de los estudios con mayor relevancia que se han realizado recientemente en el Centro en relación con los recursos hídricos es el de la evaluación del impacto del cambio climático en el agua, trabajando para ello en colaboración con la Oficina Española del Cambio Climático. Federico Estrada ya nos adelanta que las conclusiones aseguran que «hay muchos escenarios previsibles, mu-

A orillas del Manzanares

El Centro de Estudios Hidrográficos no podía tener una ubicación más emblemática, y es que este edificio de gran valor arquitectónico, inaugurado en 1963 y diseñado por Miguel Fisac, se levanta a orillas del río Manzanares, en Madrid. Destaca por su sencillez formal y su expresividad estructural, donde todos los materiales utilizados, que son hierro, hormigón y aluminio, muestran su calidad, textura y coloración propios, en palabras de su propio creador:

Su singularidad se la otorga también el hecho de ser el primer edificio de la capital en el que se cubre un espacio adintelado con vigas de hormigón pretensado, además de ser también uno de los primeros en terminarse en hormigón visto, lo que le ha convertido en todo un referente de la arquitectura española de los años 60. Ese espacio adintelado pertenece a la nave del Laboratorio de Hidráulica, una solución estructural y arquitectónica de primer orden, donde las vigas-hueso, llamadas así por su similitud con las estructuras óseas de los animales, consiguen dotar al espacio de luz natural y facilitan las condiciones para tomar fotografías de los modelos físicos que se ubican en el laboratorio.

También destacan los peldaños volados de la escalera principal del edificio, así como el mobiliario, diseñado por el propio Fisac, de corte vanguardista y que contiene piezas de otros artistas, entre otras murales cerámicos y pinturas de Juan Ignacio Cárdenas, sillas de Harry Bertoina, sillones de Mies van der Rohe y bajorrelieves de Pablo Serrano.

chos modelos que hablan de cambio climático, de aumento de la temperatura que se da por hecho que se está produciendo; pero con la lluvia es más dudoso, hay mucha incertidumbre sobre cómo va a evolucionar en el futuro, ya que según el modelo que utilices el resultado varía».

«Con los datos que nos proporciona la Agencia Estatal de Meteorología, después de elegir una gama de modelos que cubre el abanico de posibles situaciones futuras –continúa–, nosotros aplicamos diferentes modelos ya contrastados para ver el agua disponible y así calcular la que habría en España en caso de que se produzcan situaciones adversas de cambio climático; se obtiene con ello una horquilla de las posibles variaciones de recursos hídricos en el futuro, muy útil para poder anticipar posibles estrategias frente a escenarios de escasez», nos explica.

Las conclusiones dan por hecho el aumento de temperatura, si bien la distribución planetaria del agua aún no está clara; de manera más concreta, es muy difícil precisar si va a llover más o menos o dónde. España está como en una franja límite, llueve menos y llueve distinto, el aumento de la temperatura hace que haya una mayor evapotranspiración, se pierde más agua, y todo eso combinado lleva a que la tendencia sea a tener menos recursos hídricos, aunque con incertidumbre.

«El agua es muy difícil de valorar –confirma Estrada–, la temperatura se mide muy bien, al igual que la lluvia, pero el agua circulante es más difícil porque el curso de los ríos está muy alterado; hay muchos embalses, el agua se detrae para consumo, lo que lleva a que resulte complicado verificar que, efectivamente, hay menos agua en los ríos en condiciones naturales».

Precisamente, en este sentido, el Centro elabora unos mapas digitales de libre disposición que permiten conocer en cualquier lugar de España el caudal que tienen los ríos por cada periodo de retorno. El periodo de retorno es la curva que se utiliza para definir la frecuencia con la que puede acontecer un fenómeno extremo, un periodo de retorno de 500 años significa que, como media, el fenómeno puede volver a ocurrir aproximadamente cada 500 años, un dato muy útil para elaborar los planes de

gestión de riesgo de inundación y ver cuándo se pueden producir desbordamientos de los ríos.

Medio ambiente

A raíz de la Directiva Marco que se aprobó en la Unión Europea en el año 2000, las cuestiones ambientales han cobrado un especial relieve en el día a día del Centro. Por este motivo, a petición de las confederaciones, toma distintas muestras del agua en embalses, lagos, ríos y zonas húmedas que permitan evaluar su estado y calidad. «Uno de los trabajos que realizamos es tomar muestras para conocer qué microinvertebrados hay, porque son unos buenos indicadores de la calidad de las aguas, y luego se recuentan, y en función de la abundancia, su mayor o menor presencia, nos permiten concretar la calidad», comenta Estrada.

En este sentido, cabe citar un estudio muy interesante, recientemente finalizado en el lago de Sanabria, en Zamora, donde hace unos años hubo unos

En su larga historia, el CEH ha ido incorporando nuevos campos de investigación y estudio

episodios preocupantes de contaminación que alarmaron a la Confederación Hidrográfica del Duero. Allí se ha hecho un seguimiento intensivo y durante tres años se han tomado muestras todos los meses, tanto de aguas adentro del lago como de las orillas y la cuenca restante, y se ha instalado una estación atmosférica en colaboración con el Ciemat, para detectar si efectivamente había un problema de contaminación. Pues bien, algunas de las conclusiones del informe señalan que se están produciendo algunos cambios en la dinámica del lago debidos posiblemente a los incrementos de temperatura, lo que en determinadas condiciones puede favorecer la mayor proliferación de algunos tipos de algas, a lo que se suma que está sometido a mucha presión humana, especialmente en los meses de verano.

Todo este trabajo diario, sin duda alguna, convierte al Centro de Estudios Hidrográficos del Cedex en todo un referente en materia de agua, desempeñando un papel fundamental en un país en el que este bien tan preciado no sobra. Buena prueba de ello es que somos el país de Europa que más reutilizamos el agua.

Pepa Martín Mora / Fotos: CEH



► Cartel de la exposición con el mapa de la ruta de la primera vuelta al mundo.

Una travesía para la historia

Los mapas y la primera vuelta al mundo, en la Sala de Exposiciones del IGN

El pasado 26 de abril, día de San Isidoro, patrón del Instituto Geográfico Nacional, se inauguró la nueva Sala de Exposiciones del IGN con la muestra titulada «Los mapas y la primera vuelta al mundo. La expedición de Magallanes y Elcano», en conmemoración del V centenario del comienzo de la primera circunnavegación de la Tierra.

Esta empresa española, considerada aún por muchos historiadores una de las mayores gestas exploradoras de los últimos siglos, comenzó en Sevilla en 1519 y finalizó tres años después en la misma ciudad. La expedición fue impulsada y capitaneada por el portugués emigrado a España Fernando de Magallanes, y comandada de vuelta a Sevilla por el guipuzcoano Juan Sebastián Elcano, natural de Getaria, una vez fallecido en combate su capitán general en las islas Filipinas. Además de abrir una ruta por Occidente hacia la riqueza económica del Maluco o islas Molucas, «donde nace el clavo y la especiería del rey de Castilla» –según reza una leyenda en el Padrón Real de Juan Vespucio de 1526, una de las piezas expuestas–, la primera vuelta al mundo demostró de manera definitiva «la redondeza del mundo», en palabras del propio Elcano en la carta que escribió al emperador Carlos I nada más regresar a Sanlúcar de Barrameda, documento que también puede verse en la Sala.

La exposición se ha dividido en varios bloques temáticos a fin de hacer más accesible su contenido para cuantos deseen solicitar una visita concertada.

El recorrido por la exposición tiene su pórtico de entrada en una zona donde unos paneles recuerdan, en pequeñas síntesis, las biografías y los principales hechos que tuvieron como protagonistas a los personajes clave de esta gran aventura.

Los grandes protagonistas

El primero de todos ellos, Fernando de Magallanes, veterano marino portugués expatriado en España, que ofreció sus servicios al rey Carlos I después de que su proyecto de alcanzar el Maluco por la ruta occidental fuera rechazado por el rey Manuel I de Portugal. Su férrea voluntad de cumplir con su objetivo fue decisiva para que la primera vuelta al mundo se completara con éxito.

El otro gran protagonista fue, sin duda, Juan Sebastián Elcano, marino oriundo de la localidad guipuzcoana de Getaria. Aunque embarcó inicialmente como maestre en la nao *Concepción* –una de las cinco que emprendieron el viaje–, fue el artífice de que se completara la vuelta al mundo, ya que capitaneó la nao *Victoria* cuando solo esta se encontraba ya en condiciones de emprender el regreso a España –tres naves se habían perdido anteriormente y la *Trinidad*, que también alcanzó las Molucas, tenía una vía de agua que la obligó a esperar hasta que pudo ser reparada; luego, tras un intento fallido de regreso a Panamá por el Pacífico, de vuelta otra vez a las Molucas, la *Trinidad* fue apresada junto a toda su tripulación por los portugueses–.

Es preciso referirse también a Antonio Pigafetta, uno de los 18 que consiguieron completar la circunnavegación y cuyo relato del viaje es el más valioso testimonio de esta hazaña. A lo largo de la exposición, diversas citas de Pigafetta están repartidas por la sala en alusión directa a algún evento destacable del desarrollo de la expedición.

Rui Faleiro jugó igualmente un papel muy destacado, pues fue el autor intelectual de la teoría según la cual las Molucas estaban situadas en el hemisferio que el tratado de Tordesillas otorgaba a España. Sus cálculos geográficos lograron convencer a Magallanes, con quien formó una sociedad que se rompería antes del viaje, ya que Faleiro no embarcó finalmente debido a su presunto mal carácter y ataques de ira.

No se puede dejar de mencionar la figura del rey Carlos I de España, recién llegado al trono en 1518 e instalado en Valladolid, donde recibió a Magallanes y Faleiro y firmó con ellos las capitulaciones o contrato sobre el descubrimiento de la Especiería.

Y, por último, Manuel I de Portugal, señor de la ruta a la Especiería por Oriente y «cordial» enemigo del rey Carlos, su cuñado y competidor en el reparto del mundo.

La Tierra en el siglo XVI

Una vez conocidos someramente los perfiles biográficos de los personajes que jugaron un papel importante en la gesta, los siguientes paneles de la exposición tratan de dar al visitante una explicación sobre los antecedentes geográficos del viaje; sobre todo, de facilitar la comprensión de cómo se llegó



▶ Mapamundi de Fra Mauro (1459).

a la idea, predominante en la Europa de principios del siglo XVI, sobre la forma y dimensiones de la Tierra.

La Tierra, cuya forma esférica conocían con seguridad los antiguos griegos desde al menos Aristóteles en el siglo IV a. C., fue incluso medida de manera sorprendentemente precisa por Eratóstenes en el siglo III a. C. Años después, Posidonio repitió esa medida errando por defecto en aproximadamente un cuarto del tamaño real del planeta. Las consecuencias de ese tamaño estimado más pequeño serían decisivas no solo en la historia de la cartografía, sino en la propia historia de la humanidad. Sobre todo porque Claudio Ptolomeo (s. II), sin duda una de las figuras más importantes en la historia de la cartografía, adoptó la medida de Posidonio en su célebre *Geographia*, obra que sería recuperada en el Renacimiento junto a otros textos clásicos, convirtiéndose así en la ciencia geográfica oficial durante el siglo XV y parte del XVI y trasladando ese defecto en la circunferencia terrestre hasta la era de los grandes descubrimientos. De esta manera, en tiempos de Magallanes y Elcano, las dudas sobre el tamaño real de la Tierra no estaban despejadas y, sobre todo, se ignoraba la inmensidad del océano que se conocería como Pacífico después de la expedición.

A principios del siglo XV, Portugal comenzó su exploración de la costa occidental de África. Los portugueses, en clara situación de desventaja en el comercio con Oriente debido al dominio comercial y militar que ejercían en el Mediterráneo oriental venecianos, genoveses y más tarde turcos, buscaron una alternativa a su expansión ultramarina y, durante casi un siglo, fueron progresando hacia el sur de África de manera lenta pero obstinada, hasta que en 1488 Bartolomeu Dias dobló el cabo de Buena Esperanza, abriendo así la ruta por mar hacia las riquezas de la India. En la exposición se muestran facsímiles del monumental mapamundi de Fra Mauro (1459), de dos cartas náuticas y del mapa de Henricus Martellus, de 1489, para ilustrar esta fase de los antecedentes.

Tras el descubrimiento de América, España y Portugal firman en 1494 el Tratado de Tordesillas por el que se reparten el mundo en dos mitades, separadas por la línea de demarcación o «raya», un meridiano que recorría el Atlántico de norte a sur y que pasaba 370 leguas al oeste de las islas de Cabo Verde. Debido a la imposibilidad de determinar con exactitud la situación del antimeridiano, a partir de 1512 surgirán las dudas sobre si las Molucas se hallan en la parte de dominio español o portugués, cuando estos últimos consiguen finalmente llegar al pequeño archipiélago. Entre las pie-

525 años del Tratado de Tordesillas

Un 7 de junio de 1494, representantes de los Reyes Católicos y del rey Juan II de Portugal ultimaban el llamado Tratado de Tordesillas, considerado la primera gran pieza maestra de la diplomacia moderna, pues, junto a los negociadores políticos, sendas partes se hicieron acompañar de un nutrido cuerpo técnico, expertos cosmógrafos y cartógrafos escogidos, en su mayoría, entre los mejores de las universidades de Salamanca y Coimbra. El tratado, precipitado en buena medida por el primer viaje de Colón y declarado por la Unesco Patrimonio de la Humanidad en la categoría de «Memoria del Mundo» venía a intentar poner fin a las largas disputas por los dominios atlánticos, en especial en las costas africanas, entre las flotas castellanas y portuguesas.

En síntesis, el tratado asignó el dominio, derechos de exploración y comercio de los dos reinos a partir de una hipotética línea meridiana trazada de norte a sur desde unas 370 leguas al oeste de las islas de Cabo Verde. En virtud de los acuerdos, a España correspondería la parte situada al occidente de esa línea,

y a Portugal la oriental, respetando así sus avances en la ruta marítima hacia Asia y sus codiciadas especias por las costas africanas.

El meridiano acordado en el tratado partía de algunos errores de cálculo y dejaba numerosos puntos por concretar. Entre otros, como se evidencia en la exposición organizada por el IGN, la utilización de las mediciones de Ptolomeo, que restan casi 12.000 km a la medida real de la circunferencia terrestre. Tampoco se concretó cuál de las islas caboverdianas debía ser utilizada como referencia, ni se estableció cuántas leguas debía contener cada grado de meridiano. Aunque en las décadas siguientes los viajes de exploración y conquista de españoles y portugueses, en especial la expedición Magallanes-Elcano, fueron determinantes para obtener una cartografía cada vez más precisa a ambos lados de la divisoria del tratado de Tordesillas y, por tanto, de la esfera terrestre, lo cierto es que las disputas entre ambas potencias navales, si bien rebajadas a escaramuzas y a escala muy local, nunca llegaron a cesar del todo.

zas expuestas se encuentran reproducciones de la carta de Juan de la Cosa (1500) –primer mapa en el que se representa América– y el planisferio de Cantino (1502) –la primera aparición del meridiano de Tordesillas en un mapa–. También se muestran facsímiles del Tratado de Tordesillas y de una carta de Carlos I al rey Manuel I de Portugal.

Europa empieza a tomar conciencia de que América es un nuevo continente y no parte de Asia, como creía Colón, tras la famosa carta de Américo Vespucio, «Mundus Novus» (1503), plasmada gráficamente en el planisferio *Universalis Cosmographia* de Waldseemüller, de 1507, el primer mapa en mostrar América separada de Asia por una masa de agua oceánica. Este mapa es uno de los que se puede ver en la exposición, junto con el otro gran mapa mural del cartógrafo alemán, la *Carta Marina Navigatoria* de 1516.

El siguiente gran hito en la historia es el avistamiento del Mar del Sur por Núñez de Balboa, en 1513. A partir de ese momento España y Portugal empezarán a buscar denodadamente el paso

hacia el océano que les permita alcanzar las Indias por Occidente. Una reproducción de una de las primeras cartas náuticas que muestra la costa pacífica del istmo de Panamá ilustra esta parte de la exposición. Y en este punto finaliza también la sección dedicada a los antecedentes históricos y geográficos del viaje.

Preparativos y viaje

El segundo gran apartado de la exposición comienza describiendo la situación en el año de la partida: facsímiles de los documentos custodiados en el Archivo de Indias muestran la relación de tripulantes y de gastos de la Armada, la lista de sueldos y las capitulaciones firmadas por el rey con Magallanes y Faleiro para el descubrimiento de la Especiería. El facsímil del planisferio de Jorge Reinel, de 1519, representa el estado actualizado de los conocimientos geográficos, con la primera aparición de las Molucas en un mapa del mundo y con la costa sudamericana descubierta hasta el estuario del río de la Plata. Las vistas de Sevilla nos

► Estrecho de Magallanes (1640).



► Vista de Sevilla en la época de la partida.



permiten viajar en el tiempo a la ciudad que vio la partida de la flota.

La descripción del viaje comienza con dos vistas de la costa andaluza del siglo XVI, en las que se pueden apreciar cómo eran por entonces los puertos de partida (Sevilla y Sanlúcar de Barrameda). El mapa de Ortelius de la costa noroccidental de África ilustra la primera etapa de todos los viajes de la Carrera de Indias, que hacían escala en Canarias antes de lanzarse al Atlántico.

A continuación, se muestran diversos documentos que ayudan a describir cómo debió ser la llegada de las naos a América del Sur, cartografiada en los atlas de Vallard y Diogo Homem (siglo XVI). Varios mapas del estrecho de Magallanes dan testimonio de la cartografía en la época del ansiado paso al océano occidental. Luego, tras superar este hito, las tres naves supervivientes afrontaron la penosa travesía del que bautizaron como océano Pacífico. En la sala podemos contemplar los primeros mapas que plasmaron ese nombre, así como otros mapas icónicos del Pacífico, como el *Maris Pacifici* de Ortelius, con su grabado de la nao *Victoria* y el poema dedicado a ella.

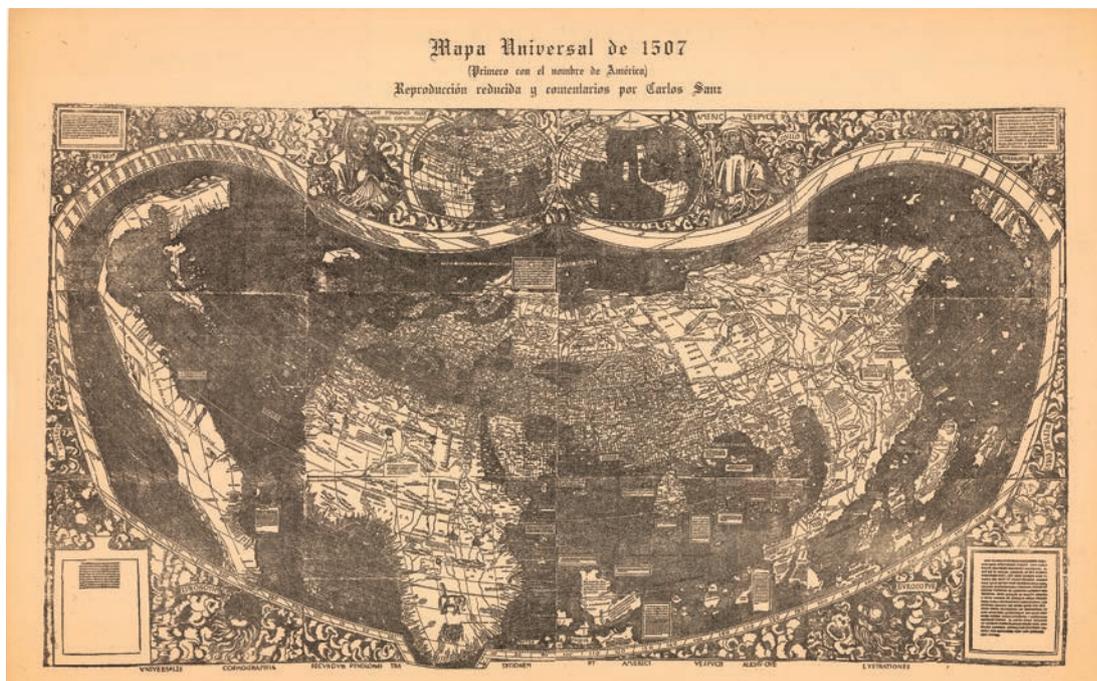
Como no podía ser de otra forma, las Molucas tienen reservado su propio apartado. Las islas de la Especiería eran el verdadero objetivo del viaje, debido a que allí crecían las más preciadas especias del mundo, como el clavo de olor. Diversos mapas y atlas enseñan el minúsculo tamaño de las cinco islas del clavo y la dificultad de llegar a ellas.

Un atlas original de 1525 y dos cartas náuticas, facsímiles del atlas de Vaz Dourado, ilustran el viaje

El Padrón Real, un navegador para el siglo XVI

Tras crearse la Casa de Contratación en Sevilla y desde que los viajes a las llamadas Indias Occidentales comenzaron a hacerse cada vez más frecuentes, surgió la necesidad de contar con cartas de navegación precisas, en parte para hacer más efectivo el comercio con los puertos consolidados al otro lado del Atlántico y en parte para evitar conflictos y sanciones derivados de la aplicación del Tratado de Tordesillas. Nombrado Américo Vespucio Piloto Mayor de Castilla en 1508 y puesto al frente de todos los asuntos relacionados con la navegación, entre otros la formación y adiestramiento de los pilotos, la elaboración de cartas náuticas fiables se estableció como una de las grandes prioridades de la institución sevillana.

Una de las primeras medidas de Américo Vespucio fue hacer obligatoria la utilización del llamado Padrón Real o Padrón General, mapa secreto y oficial que los pilotos tenían el deber de custodiar y llevar siempre a bordo, además de comprometerse a ampliarlo y detallarlo incorporando al mismo a su regreso cualquier nuevo descubrimiento realizado durante su viaje, so pena de fuertes sanciones. Por su carácter secreto se han conservado solo muy pocas copias de esos padrones. La exposición "Los mapas y la primera vuelta al mundo. La expedición de Magallanes y Elcano" es una magnífica oportunidad para admirar cuatro facsímiles de esas piezas únicas de la cartografía del siglo XVI que ayudaron a definir la "imago mundi" de la Tierra como la conocemos hoy: los padrones de Turín (1523), Juan Vespucio (1526) o Diego Ribero (1529).



► Mapamundi de Waldseemüller (1507).

de vuelta a España por la ruta portuguesa, la decisión más importante del viaje, tomada por Elcano a pesar de que el tratado de Tordesillas prohibía a los españoles navegar por esas aguas.

Por último, los resultados cartográficos del viaje quedaron plasmados en el Padrón Real español, el mapa oficial y secreto que reflejaba el mundo conocido,

completado con los resultados de cada expedición ultramarina y modelo a partir del cual se confeccionaban las cartas de marear que se entregaban a los navegantes que partían hacia las Indias. Facsímiles de los padrones de Turín (1523), Castiglioni (1525), Juan Vespucio (1526)

o Diego Ribero (1529) permiten admirar las habilidades de los mejores cartógrafos de la época

**El Padrón Real,
mapa oficial y secreto,
reflejaba el mundo conocido**



► Padrones reales de 1525, 1526 y 1529.



► Panel con mapas de distintos puertos de la ruta.



► Vitrina con los retratos de Elcano y Magallanes.

en su intento de representar el mundo conocido con exactitud.

Estas y otras piezas componen el somero recorrido cronológico de una aventura que cambió la imagen del mundo para siempre, sentó las bases de la globalización cultural y comercial y permitió a España extender su influencia, cultura e idioma por gran parte del mundo. La mejor forma de descubrir

completamente la exposición cuyo resumen acabamos de ver es visitarla de lunes a viernes en horario de 9 a 14 h en la Sala de Exposiciones del IGN (C/ General Ibáñez de Ibero, 3. Madrid), tanto en visita libre como guiada (se puede reservar en documentacionign@fomento.es).

Texto y fotos: IGN



V/CENTENARIO
1^a VUELTA AL
MUNDO



Puertos del Estado



Salvamento Marítimo



Investigación y Desarrollo al servicio de las personas

Monográfica

Revista del Ministerio de
Fomento

40º ANIVERSARIO DE LA CONSTITUCIÓN
EVOLUCIÓN DE LAS OBRAS PÚBLICAS EN ESPAÑA



Adquiérelo
en nuestra
Librería

constituc**4**ión

Librería del Ministerio de Fomento
Centro de Publicaciones
Plaza de San Juan de la Cruz, 10,
28003 Madrid
Tel.: 915 97 53 96 / 915 97 00 00
<https://www.fomento.gob.es/MFOM.CP.Web>

Librería del Ministerio de Fomento Centro de Publicaciones Plaza de San Juan de la Cruz, 10, 28003 Madrid **Centro de Publicaciones** <https://www.fomento.gob.es/MFOM.CP.Web> Librería del Ministerio de Fomento Centro de Publicaciones **Plaza de San Juan de la Cruz, 10, 28003 Madrid** Tel.: 915 97 53 96 / 915 97 00 00 **Tel.: 915 97 53 96 / 915 97 00 00** Librería del Ministerio de Fomento Centro de Publicaciones Plaza de San Juan de la Cruz, 10, 28003 Madrid Tel.: 915 97 53 96 / 915 97 00 00 <https://www.fomento.gob.es/MFOM.CP.Web> Librería del Ministerio de Fomento Centro de Publicaciones

Librería del Ministerio de Fomento Centro de Publicaciones Plaza de San Juan de la Cruz, 10, 28003 Madrid **Centro de Publicaciones** <https://www.fomento.gob.es/MFOM.CP.Web> Librería del Ministerio de Fomento Centro de Publicaciones **Plaza de San Juan de la Cruz, 10, 28003 Madrid** Tel.: 915 97 53 96 / 915 97 00 00 **Tel.: 915 97 53 96 / 915 97 00 00** Librería del Ministerio de Fomento Centro de Publicaciones Plaza de San Juan de la Cruz, 10, 28003 Madrid Tel.: 915 97 53 96 / 915 97 00 00 <https://www.fomento.gob.es/MFOM.CP.Web> Librería del Ministerio de Fomento Centro de Publicaciones Plaza



Librería del Ministerio de Fomento Centro de Publicaciones Plaza de San Juan de la Cruz, 10, 28003 Madrid **Centro de Publicaciones** <https://www.fomento.gob.es/MFOM.CP.Web> Librería del Ministerio de Fomento Centro de Publicaciones **Plaza de San Juan de la Cruz, 10, 28003 Madrid** Tel.: 915 97 53 96 / 915 97 00 00 **Tel.: 915 97 53 96 / 915 97 00 00** Librería del Ministerio de Fomento Centro de Publicaciones Plaza de San Juan de la Cruz, 10, 28003 Madrid Tel.: 915 97 53 96 / 915 97 00 00 <https://www.fomento.gob.es/MFOM.CP.Web> Librería del Ministerio de Fomento Centro de Publicaciones

Mapa Oficial de Carreteras[®] ESPAÑA



Incluye:

- Cartografía (E. 1:300.000 y 1:1.000.000)
- DVD interactivo actualizable vía web (windows 7 o superior)
- Caminos de Santiago en España 
- Alojamientos rurales 
- Guía de playas de España
- Puntos kilométricos
- Índice de 20.000 poblaciones
- Mapas de Portugal, Marruecos y Francia



También en el DVD:

- 1123 Espacios Naturales Protegidos
- 152 Rutas Turísticas
- 118 Vías Verdes