

REAL INSTITUTO Y OBSERVATORIO DE LA ARMADA EN SAN FERNANDO

Investigaciones científicas desarrolladas por el
Real Instituto y Observatorio de la Armada
Año 2021



MINISTERIO DE DEFENSA

REAL INSTITUTO Y OBSERVATORIO DE LA ARMADA EN SAN FERNANDO



**INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS DESARROLLADAS EN EL
REAL INSTITUTO Y OBSERVATORIO DE LA ARMADA
DURANTE EL AÑO 2021**



MINISTERIO DE DEFENSA



Catálogo de Publicaciones de Defensa
<https://publicaciones.defensa.gob.es>



Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado
<https://cpage.mpr.gob.es>

publicaciones.defensa.gob.es
cpage.mpr.gob.es

Edita:



Paseo de la Castellana 109, 28046 Madrid

© Autores y editor, 2022

NIPO 083-15-240-9 (edición impresa)

ISSN 2530-3708 (edición impresa)

NIPO 083-21-176-1 (edición en línea)

ISSN 2792-5439 (edición en línea)

Depósito legal M 25270-2015

Fecha de edición: mayo de 2022

Maqueta e imprime: Imprenta Ministerio de Defensa

Las opiniones emitidas en esta publicación son exclusiva responsabilidad de los autores de la misma.

Los derechos de explotación de esta obra están amparados por la Ley de Propiedad Intelectual. Ninguna de las partes de la misma puede ser reproducida, almacenada ni transmitida en ninguna forma ni por medio alguno, electrónico, mecánico o de grabación, incluido fotocopias, o por cualquier otra forma, sin permiso previo, expreso y por escrito de los titulares del copyright ©.

En esta edición se ha utilizado papel 100% libre de cloro procedente de bosques gestionados de forma sostenible.

Foto portada:

Fachada del edificio principal y edificio de hora del Real Instituto y Observatorio de la Armada en San Fernando.

ÍNDICE

Prólogo.....	1
1. Sección de Efemérides	3
1.1. Servicio de Efemérides	3
1.2. Centro de Cálculo	4
1.3. Otras actividades	5
1.3.1 Seminario “Navegación Astronómica” en la XI Semana Naval de la Armada en Madrid	5
1.3.2. Café con Ciencia.....	6
2. Sección de Astronomía.....	7
2.1. Telescopio Fabra-ROA en el Montsec.....	7
2.1.1. Antecedentes	7
2.1.2. Actividades y mantenimientos realizados durante el año	8
2.1.3. Actividades y resultados en el campo del SST	10
2.2. Reuniones y estancias de trabajo	11
2.3. Novedades de personal	11
2.4. Publicaciones y Comunicaciones	11
2.5. Otras actividades	12
3. Sección de Geofísica	13
3.1. Sismología	13
3.1.1. Redes Sísmicas.....	14
3.1.2. Sismicidad	16
3.1.3. Otras actividades del servicio de sismología	17
3.2. Geomagnetismo	18
3.2.1. Estación Geomagnética Cortijo Garrapilos	18
3.2.2. Otras actuaciones del Servicio de Geomagnetismo	20
3.3. Satélites artificiales	20
3.3.1. Estación de Telemetría Láser sobre Satélites Artificiales	21
3.3.2. Sistema Global de Navegación por Satélite: GNSS.....	24
3.4. Meteorología.....	27

3.5. Proyectos de Investigación	27
3.6. Campañas	29
Campaña ZEEE-2021	29
Campaña UPFLOW	31
Campaña MARIBNO.....	32
Campaña fondeo OBS ERUPCIÓN Isla La Palma	34
3.7. Publicaciones y Comunicaciones	35
3.7.1. Publicaciones.....	35
3.7.2. Comunicaciones en congresos.....	38
3.8. Reuniones y Estancias de trabajo	38
3.9. Conferencias y Cursos.....	40
3.10. Personal.....	40
3.11. Otros	41
4. Sección de Hora	43
4.1. Servicio de Hora	44
4.1.1. Tiempo Universal Coordinado del Real Instituto y Observatorio de la Armada (UTC-ROA).....	44
4.1.2. Establecimiento de enlaces de tiempo.....	51
4.2. Servicio de Electrónica y Calibración.....	57
4.3. Servicio de Cronometría Naval	59
4.4. Proyectos de Investigación	61
4.4.1. Proyectos Nacionales e Internacionales	61
4.5. Personal.....	62
4.6. Otros hechos de interés.....	64
5. Servicio de Biblioteca y Archivo	71
5.1. Fondos.....	71
5.1.1. Fondos bibliográficos: monografías, cartografía y publicaciones periódicas	71
5.1.2. El Archivo Histórico: fondos documentales y fotográficos.....	73
5.1.3. La Colección Museográfica.....	76
5.1.4. El patrimonio cultural del ROA en la Biblioteca Virtual de Defensa	78
5.2. Consultas, préstamos y difusión	78

5.2.1. Instalaciones y servicios	78
5.2.2. Usuarios externos	79
5.2.3. Colaboración con la Red de Bibliotecas de Defensa	81
5.2.4. Conservación	82
5.3. Otras actividades	84
5.3.1. Actividades docentes y de investigación.....	84
5.3.2. Exposiciones.....	84
5.3.3. Restauración de encuadernaciones.....	88
5.3.4. Otros trabajos de difusión: publicaciones y conferencias	90
5.4. Personal.....	91
5.4.1. Personal.....	91
5.4.2. Comisiones de servicio	91
5.4.3. Reuniones.....	92
6. Escuela de Estudios Superiores de la Armada	93
6.1 Cursos EEES y MAG impartidos	93
6.2 Otras actividades	95
A. Actividad Científica	97
A.1. Publicaciones	97
A.1.1. Publicaciones editadas por el Observatorio	97
A.1.2. Artículos en revistas	97
A.2. Comunicaciones en congresos	98
A.2.1. Nacionales.....	98
A.2.2. Internacionales	98
A.3. Participación en comités, congresos y reuniones.....	98
A.3.1. Nacionales.....	98
A.3.2. Internacionales	101
A.4. Campañas, Calibraciones y Mantenimientos	101
A.5. Cursos y Estancias de Trabajo.....	102
A.6. Proyectos de Investigación.....	102
A.6.1. Proyectos, Acciones Especiales y Complementarias	102
A.6.2. Beca Fundación Alvargonzález	104
B. Otras actividades	105

B.1. Hechos notables.....	105
B.2. Visitas.....	115
B.2.2. Unidades, Centros y Organismos relacionados con la Defensa	115
B.2.3. Otras visitas reseñables	115
B.3. Conferencias	116
B.4. Instituciones y Organismos colaboradores.....	117
B.4.1. Nacionales.....	117
B.4.2. Extranjeras	118
B.5. Reportajes de Medios de Comunicación	118

Prólogo

La actividad del Real Instituto y Observatorio de la Armada y de la Escuela de Estudios Superiores durante el año 2021 ha sido intensa a pesar de haber estado condicionada por las vicisitudes debidas a la pandemia por COVID-19.

Esta labor científico-técnica, que se viene desarrollando de forma ininterrumpida desde la fundación del Observatorio en 1753, ha sido realizada gracias al buen hacer del personal de sus secciones científicas: Astronomía, Efemérides, Geofísica y Hora. A ello hay que añadir la labor de conservación y recuperación del patrimonio histórico del Centro, constituido por la Biblioteca, el Archivo y la Colección Museográfica, así como la labor docente realizada en la Escuela de Estudios Superiores de la Armada.

Como ya se mencionó, las actividades científico-técnicas desarrolladas durante 2021 han estado marcadas por la evolución de la pandemia desde la declaración del Estado de Alarma para la gestión de la situación de crisis sanitaria ocasionada por el COVID-19, el 14 de marzo de 2020. A pesar de ello, estas páginas dan cuenta de la gran actividad realizada, describiendo con suficiente detalle aquellas más notables, de las que caben destacar: la incorporación de una nueva estación sísmica, situada en Tarifa (Cádiz), a la red Western Mediterranean; el despliegue de OBS de la red FOMAR con motivo del proceso volcánico de la Isla de la Palma; la reanudación de las campañas de Geofísica marina, como la campaña MARIBNO o la campaña antártica ELGEOPOWER; las mejoras realizadas sobre la Red Científica y la nueva línea de fibra óptica de 10 Gb que han supuesto un cambio radical en la configuración y filosofía de la red; las actuaciones operativas coordinadas con el COVE (Ejército del Aire) en el ámbito S3T; o los avances en el desarrollo del proyecto CIROES (Construcción e Implementación de un Reloj de red Óptica de Estroncio (Sr)).

Pero hay que destacar la conmemoración del 50 aniversario de la creación de la Sección de Hora, entre el 22 y 24 de noviembre, que ha servido como marco para la celebración de tres reuniones al más alto nivel enmarcadas en el ámbito de la metrología nacional: reunión de la Comisión de Metrología Legal, celebración de un Pleno del Consejo Superior de Metrología, y reunión de la Comisión de Laboratorios asociados al Centro Español de Metrología. Asimismo, debo mencionar la exposición “Centinelas del tiempo: relojes que cambiaron el mundo”, abierta al público en el Museo Naval de San Fernando desde el 23 de noviembre hasta finales del mes de enero de 2022.

El Capitán de Navío, Comandante-Director



- Antonio A. Pazos García -

1. Sección de Efemérides

Durante el año 2021, el trabajo de la Sección se ha desarrollado en la línea acostumbrada, difundiendo las efemérides astronómicas necesarias para la navegación, la astronomía y la geodesia.

1.1. Servicio de Efemérides

Este Servicio es el responsable del cálculo y difusión de las efemérides astronómicas necesarias en navegación, astronomía y geodesia, entendiendo además de los problemas relacionados con la Mecánica Celeste de objetos del Sistema Solar, como el cálculo de órbitas, tránsitos de planetas, ocultaciones de estrellas por la Luna, cálculo de eclipses, etc.

En 2021 la difusión de las efemérides astronómicas se ha realizado a través de las siguientes publicaciones periódicas:

- **Almanaque Náutico 2022**
Publicación anual que contiene las efemérides del Sol, la Luna, los planetas observables y las estrellas más brillantes, necesarias para resolver los problemas de navegación astronómica. Incorpora además un suplemento para la navegación aérea. Es la publicación más importante del Observatorio y se utiliza en la práctica totalidad de las escuelas y universidades que imparten estudios de náutica. De acuerdo con el Convenio Internacional de 1974 y de su Protocolo de 1978 para “seguridad de la vida humana en el mar” (convenio SOLAS), los buques a partir de un cierto porte que realicen navegación de altura, deben contar con una publicación de estas características; y así lo exigen las autoridades portuarias en las correspondientes inspecciones de buques.
- **Efemérides Astronómicas 2022**
Publicación anual dirigida fundamentalmente a los astrónomos y a los geodestas. En ella se facilitan efemérides precisas de los objetos celestes, de los principales fenómenos astronómicos del año, así como los datos necesarios para realizar los cálculos que intervienen en la preparación y reducción de las observaciones astronómicas. Su uso está muy extendido entre otros observatorios, agrupaciones astronómicas y, muy especialmente, entre las universidades y centros españoles con estudios de astronomía y geodesia, en los que es una herramienta fundamental para el aprendizaje de estas disciplinas.

Las efemérides del Sol, la Luna, los planetas y Plutón se han calculado a partir de las efemérides fundamentales DE405/LE405, preparadas en el Jet Propulsion Laboratory, California. Estas efemérides fundamentales son coherentes con el Sistema de Constantes Astronómicas UAI, usan escalas de tiempo dinámicas y están alineadas con la materialización ICRF del Sistema de Referencia Celeste Internacional (ICRS).

Las efemérides de Ceres y de los asteroides Palas, Juno, Vesta, Hebe, Iris, Flora, Metis, Higía, Eunomia, Psique, Europa, Cibeles, Davida e Interamnia, se han generado utilizando las USNO/AE98.

Se han llevado a cabo numerosas colaboraciones con entidades oficiales y particulares, facilitando información, datos y cálculos sobre diversos fenómenos astronómicos.

1.2. Centro de Cálculo

El Centro de Cálculo ha desarrollado su habitual labor de mantenimiento de los servicios de red y microinformática del Centro, auxiliando en esta área a todas las Secciones del Observatorio.

Durante el 2021 se llevaron a cabo multitud de acciones de actualización y mejora en la misma. Se indica a continuación un resumen de las acciones realizadas durante el año:

- Se actualizaron todos los equipos (tanto de la red WAN-PG como de la Red Científica) a sus últimas versiones del sistema operativo Windows.
- Se sustituyeron 9 switches obsoletos de la red Científica.
- Se realizó el cambio de salida de conexión a Internet de los equipos de los usuarios de la red Científica. En lugar de realizar la conexión por la línea de 50 Mbps de Movistar, tras el cambio la conexión se realiza por la nueva línea de fibra óptica de 10 Gb ubicada en el edificio de Hora. La línea de 50 Mbps quedó destinada únicamente para salida de las dos viviendas del ROA y el router WIFI de la EESS.
- Con el objetivo de separar la conexión de los usuarios y de los equipos servidores de la red Científica, esto es, conseguir una diferenciación entre la red de propósito general de la red de trabajo, se procedió a segmentar la red en distintas VLANs. Así mismo, la red de trabajo se subdividió en red Científica y de usuarios, permitiendo de esta manera aislar, en una red completamente independiente, la electrónica de red del resto de equipos de los usuarios. Todo ello fue posible gracias a la instalación de un firewall pfSense, encargado del control del tráfico de todas las interfaces de las diferentes redes creadas.
- Se procedió a dar de baja la antigua línea de 10 Mbps, contratada por el CCEA con Movistar, dado que dicha línea ya no tiene utilidad para el Centro.
- Entre los días 14 y 16 de septiembre un equipo de Ciberdefensa de la Armada, junto con el Mando Conjunto, realizó una auditoría de la Red Científica, verificando el cumplimiento de las recomendaciones de la auditoría previa, todo ello con el objetivo de encaminarse hacia la consecución de una acreditación del nivel básico en el ENS.
- Se adquirieron licencias de Office 365 (4) y Office Profesional 2019 (5) para los equipos del profesorado y alumnado de la EES.
- El 2 de diciembre se incorpora al Centro de Cálculo el Ingeniero Técnico de Arsenales D. Beltrán Cafranga Bohórquez.
- El personal del Centro de Cálculo ha continuado con su formación, asistiendo a las "III Jornadas Online del 2021 para CISPOC/OACIS del MINISDF".

De igual modo, como cada año, se ha continuado con el mantenimiento de la página web del Centro, en coordinación con el Webmaster de la página web de la Armada.

1.3. Otras actividades

1.3.1 Seminario “Navegación Astronómica” en la XI Semana Naval de la Armada en Madrid

Del 20 de septiembre al 24 de septiembre, dentro de las actividades de la XI Semana Naval de la Armada en Madrid, se celebró el seminario “Navegación Astronómica”, organizado por el Real Instituto y Observatorio de la Armada. Este seminario estuvo dirigido a todos aquellos interesados en la navegación, astronomía y la historia de la ciencia.

El seminario fue inaugurado por el Excmo. Sr. CA. D. Rafael Fernández-Pintado Muñoz-Rojas, Almirante Jefe de Servicios Generales y Asistencia Técnica, quien dirigió unas palabras de bienvenida a los participantes, en las que resumió los objetivos y el contenido del seminario, destacando la gran acogida que tiene todos los años, presentando posteriormente a los ponentes.

El seminario se desarrolló en horario de tarde, y fue impartido por el CN. (RES) Francisco Javier Galindo Mendoza, antiguo Director del Observatorio; el Doctor Luis Mederos Martín, investigador científico del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, el Doctor Francisco José González González, antiguo Director Técnico de la Biblioteca y Archivo del Real Instituto y Observatorio de la Armada y el CC. Sergio Borrallo Tirado, Jefe de la Sección de Efemérides del Observatorio.

En el seminario se expuso el contexto histórico del problema del cálculo de la situación en la mar, la evolución de los instrumentos náuticos y las dos soluciones que resolvieron el problema: el método de las distancias lunares y el método de los cronómetros.

El resto de las sesiones se dedicaron a explicar los principios de la navegación astronómica partiendo de lo más básico, la esfera celeste y las coordenadas celestes, para finalizar con el cálculo de una recta de altura de Sol.



Figura 1.1: Participantes en el seminario “Navegación Astronómica”.

1.3.2. Café con Ciencia

Enmarcada en la Semana de la Ciencia 2021, Café con Ciencia es una iniciativa organizada por la Fundación Descubre, en colaboración con las principales entidades de investigación y divulgación de Andalucía, entre las que se encuentra el Real Instituto y Observatorio de la Armada.

Los días 1 y 2 de noviembre se desarrolló esta actividad, aunque este año su formato fue telemático debido a la situación de emergencia sanitaria. En esta edición, el TN. Víctor De Ory Guimerá charló con alumnos del IES Wenceslao Benítez de San Fernando, departiendo de forma distendida sobre su trabajo en el Observatorio con el tema “Mirando el cielo” como punto de partida del encuentro.

2. Sección de Astronomía

La Sección de Astronomía del Real Instituto y Observatorio de la Armada (ROA) desarrolla su actividad principal en el campo de la Astronomía de Posición o Astrometría. Tradicionalmente, esta actividad se centró en la elaboración de catálogos estelares mediante observaciones con instrumentos meridianos (Astrometría Meridiana). En la actualidad se trabaja en el campo del Space Surveillance and Tracking (SST) con medios ópticos, esto es, la detección y posicionamiento astrométrico de objetos en órbita terrestre, tanto satélites activos como la denominada “basura espacial”.

La Sección de Astronomía del ROA centra todos sus esfuerzos en el activo campo del SST y en la operatividad y mantenimiento del Telescopio Fabra-ROA en el Montsec (TFRM). Las actividades del TFRM se enmarcan dentro de un Convenio de Colaboración firmado por el ROA y la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona (RACAB) y es operado conjuntamente por ambas instituciones.

Desde el 1 de julio de 2016, e impulsado por el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) como representante español en asuntos de Espacio, se está colaborando en el proyecto español Spanish Surveillance and Tracking (S3T).

En las instalaciones del ROA se conservan otros cuatro instrumentos (Astrolabio Danjon, Astrógrafo Gautier, Anteojo Ecuatorial Cooke y Siderostato Gautier) que ya no tienen utilidad científica. El Anteojo Ecuatorial Cooke se sigue manteniendo operativo para fines divulgativos o didácticos. Además la adquisición de nuevo material astronómico también ha ayudado al mejor desarrollo de dichas actividades divulgativas.

Durante este año se han vuelto a realizar actividades divulgativas presenciales por parte de la Sección de Astronomía manteniendo siempre presente las restricciones impuestas relacionadas con la COVID-19.

2.1. Telescopio Fabra-ROA en el Montsec



Figura 2.1: Vista del Observatorio Astronómico del Montsec (OAdM). El TFRM a la izquierda y el Telescopio Joan Oró (TJO) a la derecha.

2.1.1. Antecedentes

La Cámara Baker-Nunn (CBN) fue la primera cámara astro fotográfica que se instaló en Europa para el seguimiento de satélites artificiales. Instalada en el ROA por la *Smithsonian Institution* en 1958, estuvo operativa hasta 1979 cuando los EE.UU. pusieron en funcionamiento un nuevo sistema para la detección y seguimiento de objetos en órbita terrestre. La CBN fue cedida al ROA y permaneció inoperativa hasta el año 2002, cuando se empezó a desarrollar un proyecto conjunto en colaboración con

el Observatorio Fabra perteneciente a la RACAB. El proyecto consistió en la transformación de la CBN en un moderno telescopio ecuatorial de gran campo, dotado de una cámara CCD y de uso completamente remoto y robótico. Una vez finalizadas todas las modificaciones en el ROA, durante el año 2010 se trasladó desde San Fernando a su nuevo emplazamiento en el Observatorio Astronómico del Montsec (OAdM), sito en el pre-pirineo leridano. En septiembre del mismo año se inauguró oficialmente con el nombre de Telescopio Fabra-ROA en el Montsec (TFRM) de una cámara CCD y de uso completamente remoto y robótico. Una vez finalizadas todas las modificaciones en el ROA, durante el año 2010 se trasladó desde San Fernando a su nuevo emplazamiento en el Observatorio Astronómico del Montsec (OAdM), sito en el pre-pirineo leridano. En septiembre del mismo año se inauguró oficialmente con el nombre de Telescopio Fabra-ROA en el Montsec (TFRM).



Figura 2.2: Vista del telescopio TFRM en su actual emplazamiento del Montsec.

2.1.2. Actividades y mantenimientos realizados durante el año

El tiempo de observación del TFRM se ha distribuido en tres proyectos observacionales fundamentales, la detección de objetos en órbita geoestacionaria (GEO), la observación de campos para la detección de exoplanetas transitando estrellas tipo M y la observación de la variabilidad de contrapartidas ópticas de fuentes de rayos gamma.

También se han realizado observaciones académicas con el TFRM por parte del Dr. Jorge Núñez de Murga y por parte del TN. Pedro Azorín Montesinos. Las observaciones realizadas por el oficial de la Sección de Astronomía han estado encaminadas a la realización de su tesis doctoral, centrada en la mejora astrométrica del TFRM y la determinación orbital.

El siguiente gráfico muestra el reparto de horas de observación para cada contrato:



Figura 2.3: Gráficos que representan la distribución horas dedicadas a cada contrato.

Debido a la situación provocada por la pandemia por COVID-19 no se han realizado estancias de mantenimiento por parte del ROA al TFRM, habiendo sido estas asumidas por el personal de la RACAB.

En el siguiente gráfico se muestra los porcentajes de observación del TFRM:



Figura 2.4: Porcentajes de observación del TFRM durante el año 2021.

En el gráfico anterior se observan dos anillos. En el anillo interior se muestran el porcentaje de noches que se han observado y el porcentaje de noches que no ha sido posible la observación. Por otro lado, el anillo exterior especifica para las noches no observadas la causas de la no observación en el caso de las noches observadas el porcentaje de tiempo efectivo y no efectivo.

Por otra parte durante este año se ha empezado a planificar un mantenimiento para 2022 que consistirá en el cambio de cámara del telescopio Baker-Nunn, y el pulido y repaso de los muelles que sujetan el espejo del mismo.

2.1.3. Actividades y resultados en el campo del SST

Las actividades del Observatorio en el campo del SST tuvieron su origen en el 2004, con la aprobación del proyecto de investigación de Posicionamiento Astrométrico de Satélites Geoestacionarios (PASAGE). Este proyecto consistió en el desarrollo de software para la determinación precisa de las posiciones angulares de objetos geoestacionarios conocidos (satélites) y su posterior determinación orbital. Todo el proyecto se desarrolló con observaciones realizadas desde San Fernando con el Astrógrafo Gautier, al que se le acopló una moderna cámara CCD. El proyecto PASAGE abrió una nueva vía de trabajo y fue el inicio de los primeros contactos con instituciones internacionales para el desarrollo de programas observacionales aplicados a la detección y seguimiento de objetos geoestacionarios no controlados (“basura espacial”) con el TFRM.

Desde el 2011, el Observatorio colabora en el esfuerzo internacional y especialmente europeo, para incrementar la seguridad en el espacio y es además una de las instituciones a través de la cual España aporta al proyecto de *Space Situational Awareness/Space Surveillance and Tracking* (SSA/SST) de la Agencia Espacial Europea (ESA) y de la Unión Europea (EU).

Esta colaboración internacional para incrementar la seguridad en el espacio, se centra en la utilización del TFRM como sensor para detectar objetos en órbita geoestacionaria y generar datos para el mantenimiento de los catálogos. Así, se contribuye al mantenimiento del catálogo de objetos geoestacionarios ISON y de la base de datos europea, *Database and Information System Characterising Objects in Space* (DISCOS). Un resumen anual de la situación en la órbita GEO se publica en el documento de la ESA *Classification of Geosynchronous Objects*.

Durante este año se ha continuado colaborando con la red *International Scientific Optical Network* (ISON) en una exploración del anillo GEO visible desde el TFRM.

A principios del 2015 el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI), como representante español en Europa para asuntos de Espacio, empezó a negociar la participación de España en los futuros programas de SST de la Unión Europea. Del resultado de estas negociaciones se concibió un sistema SST-UE “federado”, formado por un consorcio de 5 países, cada uno con su propio Sistema de SST (sensores y centro de control de operaciones y análisis) y cada uno representado por sus respectivas agencias espaciales. El consorcio de 6 países está formado en la actualidad por Francia, Alemania, Italia, Polonia, Rumania y España.

El cambio en la estrategia observacional sobre el anillo geoestacionario llevada a cabo a finales del 2020 ha conllevado un aumento considerable de los *tracks* detectados en 2021 por el TFRM. En consecuencia el TFRM mantiene un nivel de calidad e importancia dentro del consorcio destacable y se mantiene como uno de los telescopios más importantes.

Durante el presente año se han realizado 4 calibraciones de los sensores dentro del contrato S3T en los meses enero, mayo, septiembre y noviembre, mostrándose en todas ellas que el TFRM cumple con los requisitos técnicos para operar dentro de la red de S3T.

Durante el 2021 continúa en vigor el contrato 4/2019 NEG (DEGIPD/DE), en su primera y segunda prórrogas, financiado con los programas Copernicus y Galileo de la Unión Europea

Se han procesado en 2021 un total de 1.487.309 imágenes. De las 4.570 horas dedicadas a los programas de SST (ISON y SST-UE), 2.452 horas han sido efectivas de observación. En total se han detectado 1.462.539 posiciones de objetos GEOs, pertenecientes a 309.954 objetos, con una media de 252.82 objetos/hora efectiva. La noche con más tracks corresponde al 18 de enero con un total de 5666 (de los cuales 3145 corresponden a la Baker-Nunn), dichos tracks corresponden con 23,856 posiciones (de las cuales 13.578 corresponde a la Baker).

En marzo es nombrado el CC. Lluís Canals Ros como representante del ROA en la comisión mixta Ejército del Aire – Armada, para la coordinación COVE –ROA, para las capacidades espaciales en SSA/SST.

Del 20 de septiembre al 13 de octubre tienen lugar 4 semanas de campaña en las que se realizan observaciones de seguimiento de satélites de forma coordinada entre COVE y ROA, con el radar de vigilancia S3TSR, la Estación Láser del ROA y el TFRM.



Figura 2.5: Número de seguimientos obtenidos por cada sensor en cada una de las 4 semanas

2.2. Reuniones y estancias de trabajo

En marzo el TN. Pedro Azorín Montesinos asistió telemáticamente al *workshop* “MASTER”. En esta serie de conferencias se aprendió a usar el *software* “MASTER” para el cálculo de órbitas y la validación a partir de posiciones obtenidas. También se realizaron ejemplos prácticos y grupos de trabajo entre los asistentes de diversos países.

2.3. Novedades de personal

Nada que reseñar.

2.4. Publicaciones y Comunicaciones

- El 23 de noviembre se publica el artículo “Development of survey telescopes in the ISON Project”. En el “72nd International Astronautical Congress, Dubai, United Arab Emirates”, donde el CC. Lluís Canals Ros figura como coautor.

2.5. Otras actividades

- Durante el mes de febrero el CC. Lluís Canals Ros es entrevistado por Onda Cádiz.
- Dos alumnos de la Universidad de Cádiz, en prácticas en la sección, realizan trabajos en el marco del programa de reducción astrométrica Lynx.
- Durante el mes de marzo tiene lugar una reunión con RACAB y el equipo griego encargado del proyecto de restaurar una Baker-Nunn como el TRFM.
- El Dr. Carlos Abad Hiraldo, como seleccionado por la beca AlvarGonzález, realiza trabajos de reducción astrométrica con el TN. Pedro Azorín Montesinos.
- En octubre, se publica en www.adelantosdigital.com una entrevista al CC. Lluís Canals Ros en relación con la basura espacial. “Hay más de 331 millones de desechos espaciales en órbita; también eso es medio ambiente”
- Durante el mes de octubre es entrevistado el CC. Lluís Canals Ros por la voz del Sur.
- En noviembre tiene lugar el Café con Ciencia de forma telemática, donde el TN. Pedro Azorín Montesinos participó como ponente, y como actividad complementaria se realizaron actividades de observación nocturna abiertas al público, por parte de la Sección de Astronomía.

3. Sección de Geofísica

Aunque la Geofísica no aparece en el Real Instituto y Observatorio de la Armada hasta la segunda mitad del siglo XIX, ya desde su fundación se encuentran asignados cometidos de carácter netamente geodésico. Así, su fundador, D. Jorge Juan, participó en la campaña geodésica realizada entre los años 1735 y 1744 para la medida del arco de meridiano en Perú, promocionada por la Academia de Ciencias de París, con el fin de dirimir la disputa sobre la forma física de la Tierra. Posteriormente, como herencia de las observaciones meteorológicas que se realizaban desde los tiempos del traslado desde el antiguo emplazamiento en Cádiz a San Fernando, a finales del siglo XVIII, nacen en torno a 1850, las responsabilidades en el campo de la Geofísica, quedando plasmadas por primera vez en el Reglamento de 1859, que se las atribuye a las Secciones de Física y de Geografía.

Es en el año 1924 cuando nace la Sección de Geofísica como tal. Desde ese año y hasta la actualidad, las misiones asignadas en los campos de Sismología, Geomagnetismo y Meteorología se han incrementado debido a la aparición de los satélites artificiales, con sus diversas aplicaciones a las Ciencias de la Tierra. En el Reglamento del Observatorio del año 1979 aparece el Servicio de Satélites, que se suma a los servicios tradicionales de Sismología y Geomagnetismo, manteniéndose las obligaciones observacionales en el campo de la Meteorología.

La actividad desarrollada durante el año 2021 en la Sección de Geofísica puede estructurarse en los siguientes apartados:

- Sismología.
- Geomagnetismo.
- Satélites Artificiales.
- Meteorología.
- Proyectos de Investigación y Acciones Especiales.
- Campañas.
- Publicaciones y Comunicaciones.
- Otros temas de interés.

3.1. Sismología

El registro sísmico cuenta con una amplia tradición en este Observatorio. Diversos sensores y sistemas de registro se han sucedido desde que, en enero de 1898, a instancias de Mr. Milne, quedase funcionando la estación más antigua de España, con un período de 18 segundos. Péndulos horizontales bifiliares tipo Mainka, proyectados y contruidos en los talleres del Observatorio (1912), complementado posteriormente con un péndulo vertical de 100 kg y 2 segundos de período (1921) de diseño propio, sismógrafos Alfani de 5 y 8 segundos (1933), y por fin, la estación electromagnética Sprengnether de tres componentes, con sismómetro vertical modelo S-5100 V (1975) y sismómetros horizontales S-5100 H (1976), son los antecedentes inmediatos de las redes sísmicas que actualmente opera este Observatorio.

Entre las labores realizadas por el servicio de sismología se encuentra la monitorización de la sismicidad de la región Ibero-Magrebí, analizando de forma automática todos los datos que se reciben, detectando y localizando los sismos ocurridos en la región. Posteriormente estos se revisan de forma manual para su publicación en los Anales Geofísicos del Real Instituto y Observatorio de la Armada.

3.1.1. Redes Sísmicas

El servicio de sismología dispone de dos redes sísmicas para la adquisición de datos sísmicos. La red de banda ancha, denominada “Western Mediterranean” (fig. 3.1 (A)), y la red telemétrica de corto periodo (fig. 3.1 (B)).

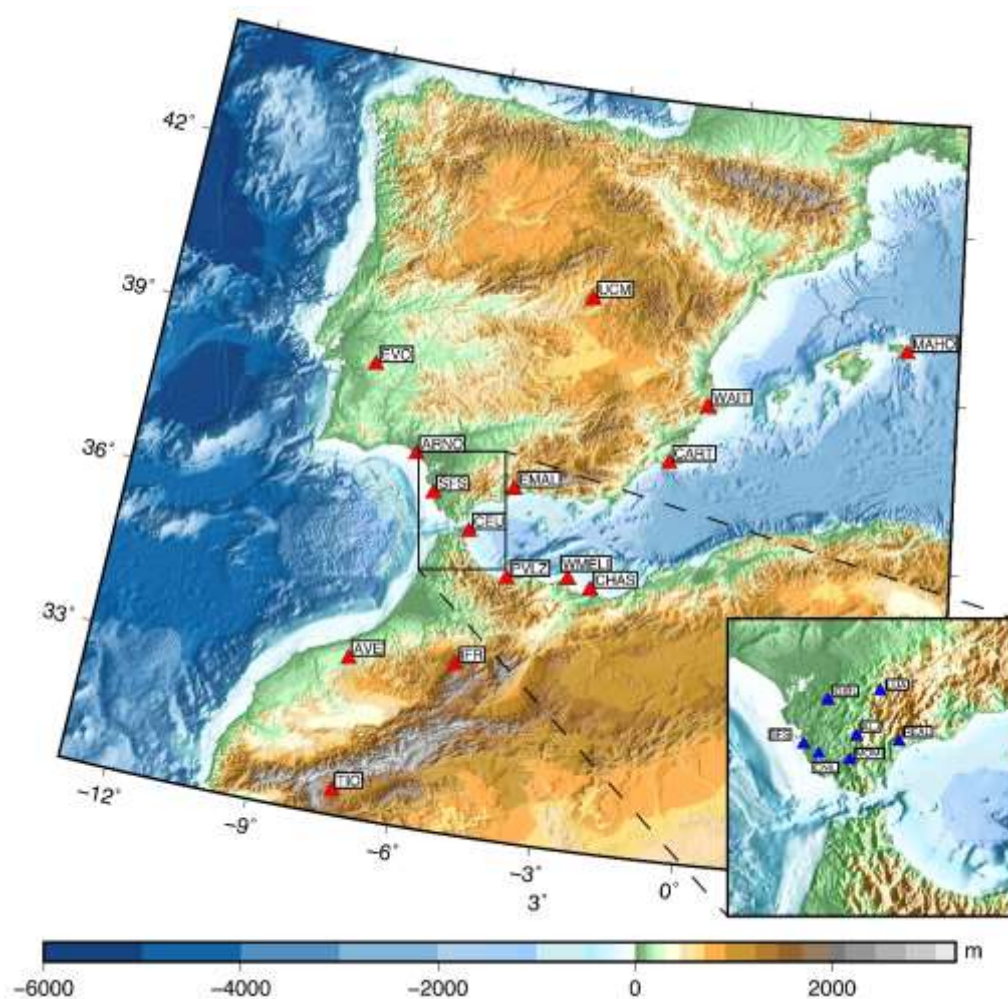


Figura 3.1: Red de banda ancha WM (triángulos color rojo) y Red Sísmica de Corto Periodo del Observatorio “Red del Estrecho” (triángulos color azul).

La red sísmica telemétrica de Corto Periodo integra las redes del Observatorio y del Estrecho, y opera desde finales de 1986 en colaboración con la Sociedad Española de Estudios para la Comunicación Fija a través del Estrecho de Gibraltar (SECEGSA) y el Instituto Geográfico Nacional (IGN). La transmisión de los datos sísmicos de esta red se realiza de forma analógica, vía telemétrica en la banda de frecuencias VHF/UHF, y se digitalizan en tiempo real en la central de adquisición ubicada en el ROA.

La Tabla 3.1 resume las características de las estaciones que compone la Red del Estrecho.

Código	Sensor	Comunicaciones
SFS	MARK L-4	CABLE-ROA
CNIL	MARK L-4	UHF
ALJ	MARK L-4	UHF
LIJA	MARK L-4	UHF
GIBL	MARK L-4	VHF
REAL	TELEDYNE S-500	VHF
MOMI	MARK L-4	VHF

Tabla 3.1: Resumen instrumentación y comunicaciones de la Red del Estrecho

La red sísmica de banda ancha WM (Fig. 3.1) es el resultado de la colaboración entre el ROA y varios centros científicos y universidades extranjeras. La Universidad Complutense de Madrid (UCM), el GeoforschungsZentrum (GFZ), la Universidad de Évora, el Institut Scientifique de la Universidad Mohammed V-Agdal de Marruecos (ISRABAT) y el ROA participan actualmente en la red WM.

La WM está compuesta por dieciséis estaciones de banda ancha, con transmisión de datos digitales vía VSAT, intranet o ADSL. A continuación, se dispone una tabla resumen del equipamiento de las estaciones sísmicas que conforman la WM, así como la estación de banda ancha “TARIF” que se incorporará a la red este año.

Código	Sensor	Acelerómetro	Digitalizador	Comunicaciones	Periodo Func.
SFS	STS-2		EDR-209	VSAT	2001-Cont
CART	STS-2	Episensor ES-T	Q-330-HR	VSAT	1997-Cont
MAHO	STS-2	Episensor ES-T	Q-330-HR	VSAT	1999-Cont
WMELI	STS-2		ED PS24	Internet	2015-Cont
CEU	STS-2		ED PS24	Internet	2004-Cont
EMAL	STS-2	Episensor ES-T	ED PS24	3G	2005-Cont
PVLZ	STS-2		ED PS24		2004-Cont
UCM	STS-2		ED PS24	Internet	2010-Cont
CHAS	STS-2.5	Episensor ES-T	Q-330-HR		2014-Cont
EVO	STS-2		ED PS24	Internet	2006-Cont
AVE	STS-2	Episensor ES-T	Q-330-HR	VSAT	2006-Cont
IFR	STS-2		ED PS24	Internet	2007-Cont
TIO	STS-2		ED PS24	VSAT	2008-Cont
ARNO	STS-2.5	Episensor ES-T	Q-330-HR	Internet	2015-Cont
WAIT	STS-2	Episensor-ES-T	Q-330-HR		2018-Cont
TARIF	STS-2	Episensor ES-T	Q-330-HR	Internet	2018-Cont

Tabla 3.2: Resumen de la instrumentación de las estaciones sísmicas que componen la red WM.

3.1.2. Sismicidad

Durante el año 2021 se localizaron alrededor de 2000 sismos (Fig. 3.2) en el área Ibero-Magrebí. Para su localización se utilizaron datos provenientes de las estaciones de la Western Mediterranean, del Instituto Geográfico Nacional, de la red Portuguesa del Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) y de la Red del Estrecho.

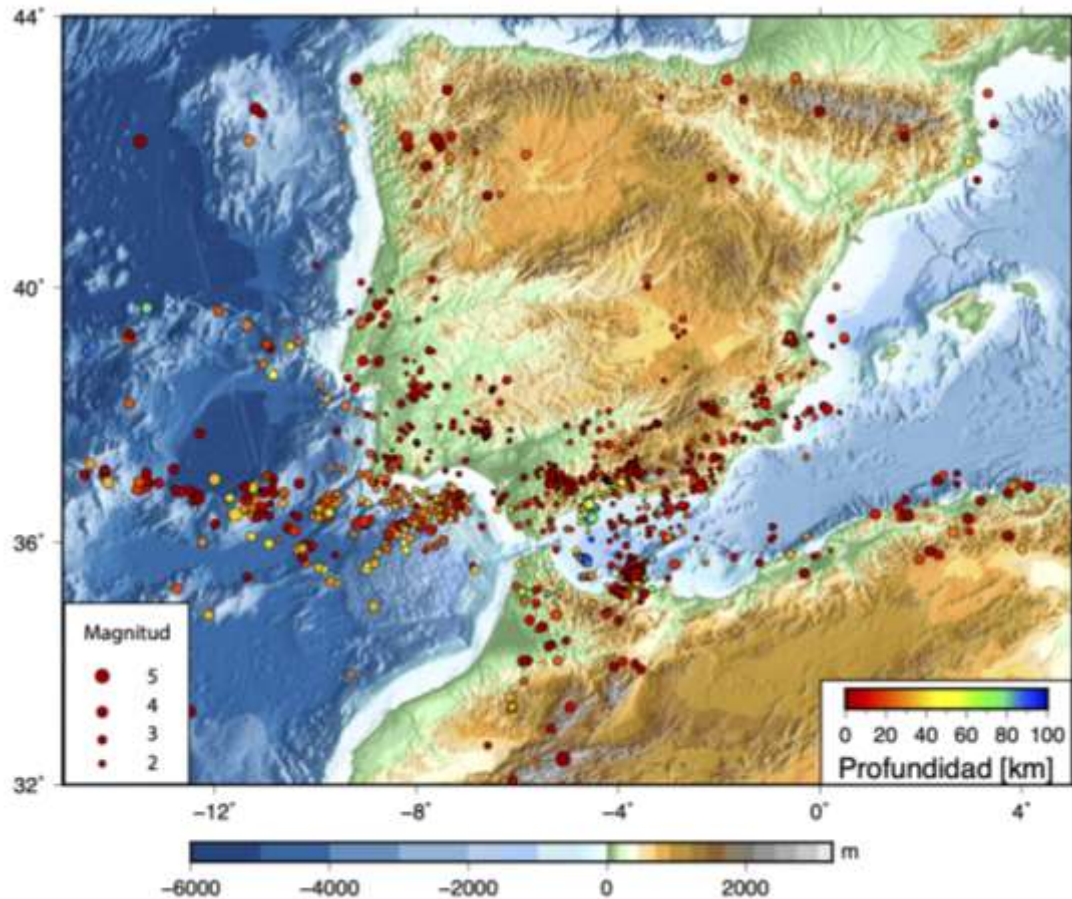


Figura 3.2: Mapa de sismicidad regional correspondientes a sismos localizados durante el año 2021.

Para la localización de sismos lejanos o telesismos (terremotos con distancias epicentrales superiores a los 1000 km) se utilizan además de las estaciones de banda ancha de las redes mencionadas para el área Ibero-Magrebí, datos de diversas estaciones, seleccionadas a nivel global, pertenecientes a diversas instituciones científicas y que transmiten en abierto en tiempo real a través de proveedores de datos en tiempo real como IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology) y "GEOForschungsNetz" (GEOFON). En la figura 3.3 se resumen las localizaciones epicentrales de los telesismos registrados durante el año 2020.

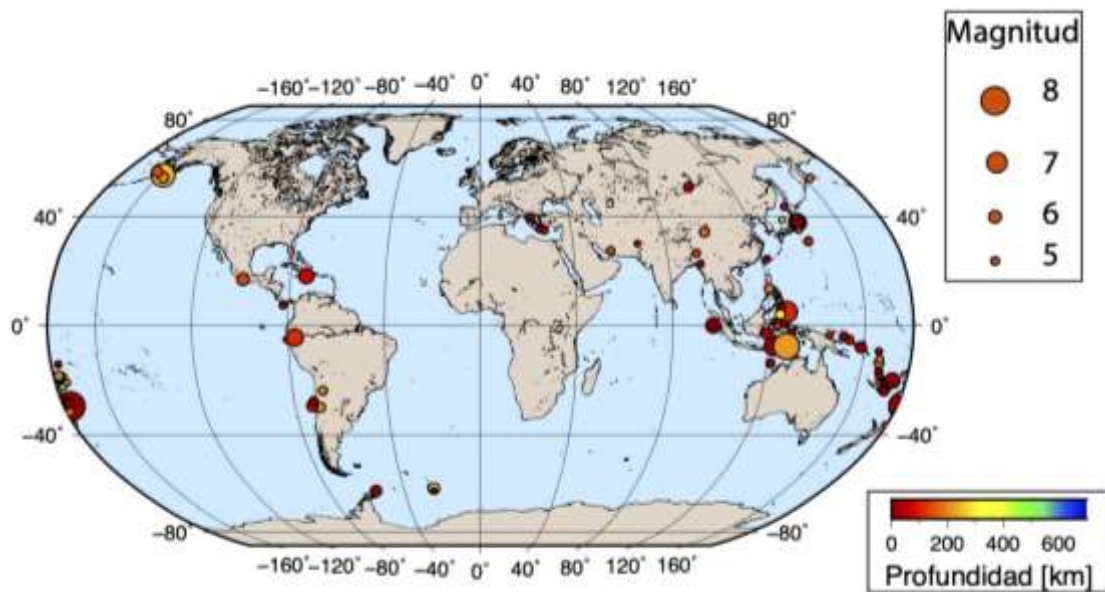


Figura 3.3: Mapa de localizaciones hipocentrales de sismos lejanos correspondiente al año 2021.

3.1.3. Otras actividades del servicio de sismología

A continuación se detallan las actuaciones llevadas a cabo a lo largo del año 2021 para mantener en operatividad las redes sísmicas (Red del Estrecho y Red WM).

El 21 de abril personal técnico del servicio de sismología se desplazó a la estación de Ceuta al objeto de instalar una nueva puerta de acceso al local y realizar labores de mantenimiento.

El 17 de mayo se restablece la comunicación con la estación de Ceuta.

Entre el 14 y el 16 de junio se realiza el mantenimiento de las estaciones sísmicas y GNSS en Peñones: Chafarinas y Vélez, así como se inspecciona en el Peñón de Alhucemas la ubicación para un futuro emplazamiento.

El 17 de septiembre personal de la Sección se traslada a la estación de Tarifa al objeto de integrar el equipo allí situado en el sistema de comunicaciones de fibra óptica. Debido a un fallo en la fuente de alimentación de la estación sísmica y la propia estación, hubo que desmontar los equipos y trasladarlos al observatorio para su reparación.

Entre el 21 y el 22 de septiembre se realiza el mantenimiento de la estación sísmica y GNSS del Peñón de Vélez, así como se inspecciona en el Peñón de Alhucemas la ubicación para el emplazamiento de una estación sísmica y GNSS.

El 30 de septiembre personal de la Sección se traslada a la estación de Tarifa al objeto de montar la nueva fuente de alimentación, integrando el equipo allí situado en el sistema de comunicaciones de fibra óptica. Debido a un problema en el cable de señal de GPS el sistema no pudo quedar plenamente operativo.

El 13 de octubre se traslada nuevamente personal de la Sección a Tarifa. La estación sísmica queda finalmente operativa.

El 13 de octubre se interrumpe la comunicación con la estación de Ceuta. Se desinstala el sistema de adquisición y comunicaciones y se envía al observatorio para su revisión en el laboratorio.

El 1 de diciembre el del servicio de sismología restablece las comunicaciones entre la estación de Ceuta y el observatorio.

3.2. Geomagnetismo

3.2.1. Estación Geomagnética Cortijo Garrapilos

El registro instrumental del Campo Magnético Terrestre en este observatorio tuvo su comienzo en 1879 con la instalación de la primera estación geomagnética española, compuesta de una estación variométrica de tres componentes modelo ADIE complementada por un magnetómetro ELLIOT y un teodolito DOWER, iniciándose una serie magnética que es en la actualidad una de las de mayor extensión temporal a nivel mundial.

En los años 70 del pasado siglo, la electrificación de la línea férrea Cádiz-Sevilla introdujo importantes interferencias en los registros magnéticos, al igual que en gran parte de los observatorios nacionales, obligando en su momento a trasladar la estación a una zona alejada unos 8 km al NE del emplazamiento primitivo, ubicándola en el recinto de la Estación Radio Receptora de la Armada, situada en el Barrio de Jarana, Puerto Real (Cádiz).

Tal como se ha reseñado en las Memorias de Actividades de años anteriores, desde el año 1997, y con la finalidad de cumplir los requisitos marcados por la red global INTERMAGNET (*International Real-Time Magnetic Observatory Net*), se efectuaron diversas pruebas de registro del campo magnético en diferentes instalaciones militares de la zona con el fin de seleccionar un emplazamiento para el traslado de la estación magnética desde su ubicación en el Barrio Jarana (Puerto Real). Finalmente fue seleccionada una zona localizada en el llamado *Cortijo de Garrapilos*, perteneciente al acuartelamiento *Cortijo de Vicos*, de la Yeguada Militar (Jerez), dependiente de la Secretaría General Técnica del Ministerio de Defensa. En las Memorias correspondientes a los años 2003 y 2004 se detallan las actuaciones que en dichos años se realizaron para la construcción del nuevo Observatorio Geomagnético en el recinto del citado *Cortijo de Garrapilos*. Destacar que dicha construcción está basada en tres casetas de madera de diferentes tamaños (figura 3.4): caseta de observaciones absolutas, de variómetros y de electrónica. Las dos primeras con sus correspondientes pilares y debidamente acondicionadas según los requisitos marcados por la IAGA (Asociación Internacional de Geomagnetismo y Aeronomía). Además, se cuenta con dos pequeñas casetas auxiliares para los sensores de los magnetómetros de protones y unos pilares externos auxiliares, para control de la evolución geomagnética del entorno. El día 14 de octubre de 2004 se comenzó el traslado de instrumentación desde el Barrio Jarana, así como la puesta en operatividad de la nueva estación. El día 21 del mismo mes se recibe satisfactoriamente en el Observatorio de San Fernando el primer fichero de datos de variación del campo geomagnético correspondiente a dicha estación.

En el mes de junio de 2006 este Observatorio fue admitido como miembro de la red global INTERMAGNET.

En el año 2009 se procede a instalar un sistema de aire acondicionado para la caseta de variómetros, situándose la maquinaria en una nueva caseta localizada a suficiente distancia de los instrumentos a fin de evitar interferencias en los registros. Asimismo, se instala otro aire acondicionado, tipo *split* en este caso, en la caseta de electrónica.

Durante el año 2011, y a través del Arsenal de la Carraca, la compañía Telefónica instaló un sistema de seguridad en las casetas. Dicho sistema consiste en una alarma externa, un conjunto de cuatro sensores volumétricos (uno por caseta más un sensor asociado a la caseta del aire acondicionado), y tres sensores de vibración distribuidos entre el aire acondicionado externo a la caseta de electrónica, y los dos sensores de fuerza total. También en dicho año, y con motivo de la preparación del “XV Workshop de la Asociación Internacional de Geomagnetismo y Aeronomía (**IAGA**) sobre Observatorios magnéticos, instrumentación y tratamiento de datos”, celebrado el mes de junio de 2012, se procedió a la construcción de cinco pilares magnéticos en terrenos previamente acondicionados, situados a poniente del Observatorio.



Figura 3.4: Vista exterior del Observatorio Geomagnético localizado en el Cortijo Garrapilos.

Durante todo el año 2021 se realizan trabajos rutinarios y de mantenimiento relacionados con el Observatorio Geomagnético de Garrapilos, entre ellos:

- La realización semanal de dos observaciones absolutas.
- Procesado y control diario de los registros que dicho observatorio genera.

- Control de la estabilidad térmica de la caseta variométrica. Este aspecto es fundamental para asegurar la calidad de los registros variométricos.
- Se han mantenido las colaboraciones habituales con diferentes centros e instituciones internacionales, remitiendo los datos al World Data Center (WDC), British Geological Survey (BGS), red INTERMAGNET, etc.
- Se ha colaborado en la edición de los Anales de Observaciones Geofísicas del Observatorio correspondientes al año 2021, en su apartado de Geomagnetismo.

3.2.2. Otras actuaciones del Servicio de Geomagnetismo

Durante el año 2021, además de las actuaciones en la estación geomagnética antes mencionadas, se realizaron otras funciones en este Servicio, entre ellas se destacan las siguientes:

- El día 21 de enero se cancela la campaña antártica ElGeoPowerR como consecuencia de los casos de SARS-CoV-2 detectados en el buque Hespérides. Como consecuencia de ello y dado que la fecha prevista de finalización del proyecto es el 31 de diciembre de 2021, se solicita a finales de enero una prórroga de 6 meses. El 27 de marzo es autorizada dicha prórroga.
- El día 13 de agosto falla el equipo de aire acondicionado del observatorio geomagnético. El 17 de ese mes se restablece al comprobar que el fallo había sido motivado por el salto de un magnetotérmico. El día 20 vuelve a fallar. Se rinde parte de avería al Arsenal la Carraca. El 26 de agosto se traslada personal técnico de la empresa FRIZONIA para evaluar la avería. Detectan un componente electrónico inoperativo, así como una de las turbinas. El 20 de septiembre queda el equipo reparado.
- El día 16 de diciembre viajan hacia Ushuaia para entrar en cuarentena previa a la participación en la campaña antártica el siguiente personal: CF. Manuel Catalán, TN. Roberto Cabieces, TN. Víctor de Ory, TN. Julián Fiz, embarcando el día 31 de diciembre en el buque “Sarmiento de Gamboa”.

3.3. Satélites artificiales

El trabajo en el campo de los satélites artificiales nace en este centro en el año 1958, merced a un acuerdo de colaboración con la Smithsonian Institution (USA), en virtud del cual se instala en el recinto del Observatorio una cámara Baker-Nunn de seguimiento fotográfico de satélites.

Desde dicha fecha la evolución instrumental ha sido constante, y en la actualidad el trabajo se desarrolla en dos campos principales:

- Estación de Telemetría Láser sobre Satélites Artificiales.
- GNSS (Global Navigation Satellite System).

3.3.1. Estación de Telemetría Láser sobre Satélites Artificiales

En el año 1968, y en virtud de un acuerdo de este Observatorio con el Groupe des Recherches de Geodesie Spatiale (CNES-GRGS) de Francia, se instala un primitivo láser de rubí en las inmediaciones de la cámara Baker-Nunn antes mencionada. Tras diversos acuerdos con el CNES, en 1983 éste cedió al Observatorio un nuevo láser de rubí, que instalado en 1984 participó en el Proyecto MERIT. En 1986 se desmontó el equipo de rubí siendo reintegrado al CNES y, según el acuerdo previo, permanecieron en este centro la primitiva torreta y parte de la electrónica de control del seguimiento. En la actualidad sólo queda de la antigua estación la montura altazimutal, ya que la estación ha sido totalmente rediseñada, tanto desde el punto de vista óptico como electrónico e informático, al amparo de diversos proyectos científicos, tanto de la Subdirección General de Tecnología e Investigación del Ministerio de Defensa como del Plan Nacional del Espacio del Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO).

Durante el año 2021, se realizaron diversas actuaciones en este Servicio, entre ellas se destacan las siguientes:

Durante el mes de enero se trabaja en la puesta a punto del nuevo sistema de datación de tiempo basado en un contador de eventos. Durante la noche del 5 de febrero se realizan las primeras pruebas comparativas entre este nuevo sistema y el anterior, basado en un contador de pulsos. El resultado fue satisfactorio.

A partir de esa fecha se realizan calibraciones comparativas entre los tres sistemas de medida de tiempo de vuelo, con el contador SR620 y con los dos contadores de eventos ET A032 y ET A033. Los resultados de media y rms de las calibraciones quedan recogidos en las figuras 3.5 y 3.6 respectivamente.

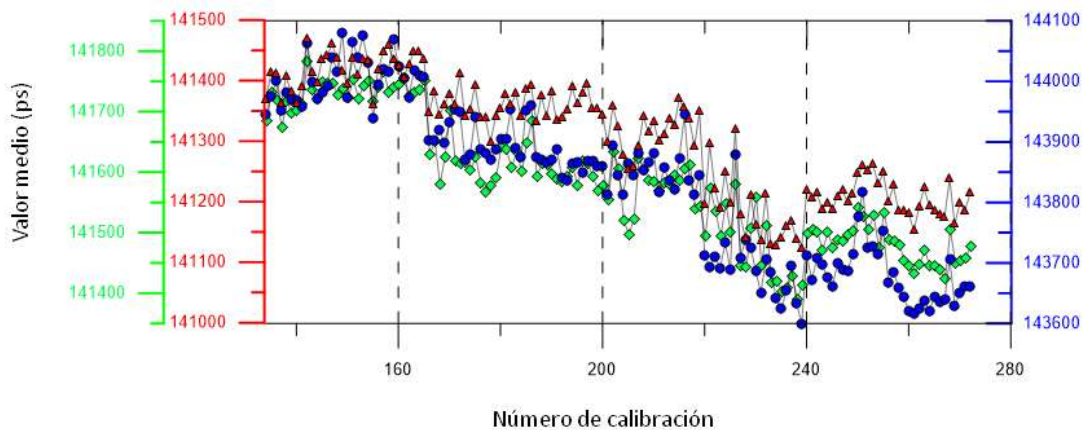


Figura 3.5: Gráfica comparativa de las medias de las calibraciones realizadas por los tres sensores de medida de tiempo de vuelo: Stanford SR620 en círculos azules, Event Timer A032 en triángulos rojos y Event Timer A033 en rombos verdes.

Durante la semana del 4 de mayo se activa el seguimiento por reentrada a la atmósfera del objeto de basura espacial NORAD 48275 bajo de la coordinación del Grupo de Estudio de Basura Espacial del ILRS.

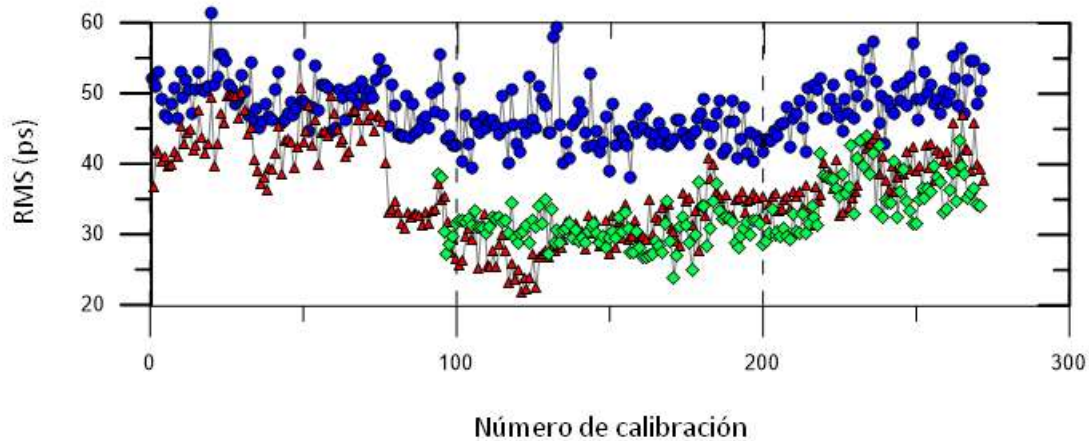


Figura 3.6 Gráfica comparativa del RMS de las calibraciones realizadas por los tres sensores de medida de tiempo de vuelo: Stanford SR620 en círculos azules, Event Timer A032 en triángulos rojos y Event Timer A033 en rombos verdes.

El 23 de julio se realiza un primer envío de datos de observación al grupo de análisis del ILRS con el objetivo de estudiar la viabilidad de sustituir el sistema de medida de tiempo de vuelo del antiguo contador SR620 al contador de eventos ET A032. Estas observaciones han sido realizadas sobre los satélites geodésicos Lageos 1 y 2, Lares, Larets y Starlette. El análisis de estos datos no es concluyente por lo que se decide continuar con un segundo envío de paquete de archivos.

Entre el 20 de septiembre y el 17 de octubre, fruto de la formalización de la relación COVE-ROA, tiene lugar una campaña de observación conjunta entre Radar S3TSR, Telescopio TFRM y Estación Láser. La campaña ha permitido profundizar los conocimientos en el campo de la determinación de órbita, especialmente, mediante el empleo combinado de observaciones con el objetivo de generar órbitas mejoradas de forma autónoma. En la Figura 3.7, se representan los resultados obtenidos por cada sensor en cada una de las 4 semanas.

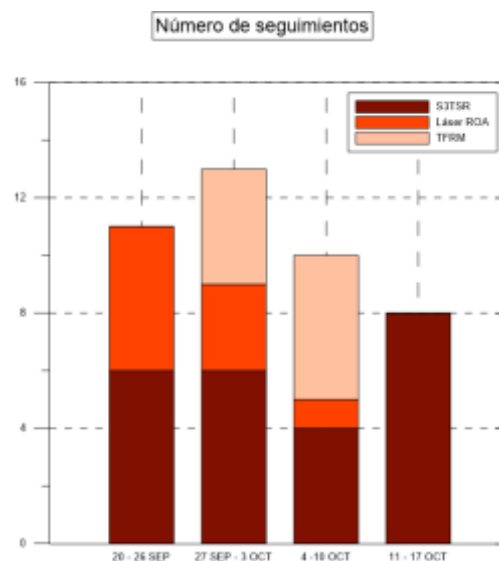


Figura 3.7: Número de seguimientos obtenidos por cada sensor en cada una de las 4 semanas de campaña.

El principal objetivo de esta primera campaña consistió en lograr realizar seguimientos coincidentes desde diferentes sensores con la finalidad de analizar el impacto posterior en la determinación de la órbita.

Entre el 18 de octubre y el 1 de noviembre tiene lugar una fase de calibración de la estación por parte del Centro de Operaciones de S3T para participar en la campaña de seguimiento del proyecto Astroscale. En este período se realizan seguimientos con al menos 25 puntos normales de los satélites Lageos 1 y 2, Sentinel 3A y 3B, Saral, Cryosat 2 y Jason 3.

El 27 de octubre se realiza el envío de ficheros de observación para su análisis por parte del Centro de Expertos ESA/AUIB de observaciones láser en la Universidad de Berna. Este análisis ha permitido validar y calificar a la estación láser del ROA sobre objetos no colaborativos de cara a la Agencia Espacial Europea, ESA.

El 27 de noviembre, tras un proceso de evaluación por parte del ILRS, comienza el envío de los datos de observación de la Estación Láser de San Fernando en formato CRD v2 a los centros de datos.

El 6 de diciembre se realiza un segundo envío de datos a los analistas de ILRS en el que se realiza una comparativa entre los sistemas de medida de tiempo de vuelo formados por el contador SR620 y el contador de eventos ET A032. Los resultados de estos análisis están pendientes de comunicación.

En el plano de desarrollo software, en el año 2021 se han llevado a cabo labores relacionadas con el desarrollo del núcleo interno del sistema. Al mismo tiempo, se ha continuado con la implementación de librerías conforme a los formatos del ILRS. Respecto a aplicaciones más de alto nivel, se ha avanzado en el desarrollo del nuevo software gráfico de seguimiento representado en la Figura 3.8.

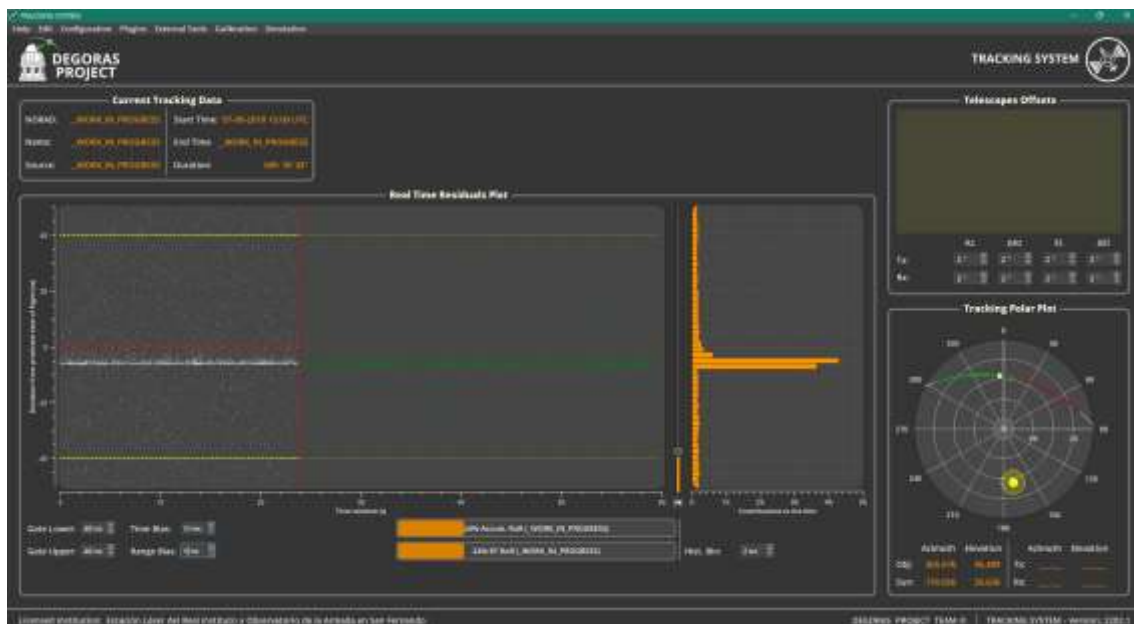


Figura 3.8: Interfaz gráfica del nuevo software de seguimiento.

Además, se ha desarrollado una serie de algoritmos para la detección y filtrado en tiempo real de fotones provenientes de objetos en órbita. Asimismo, se ha implementado una herramienta para probar y parametrizar dichos algoritmos. En la Figura 3.9 se puede observar un ejemplo cargado en dicha herramienta.

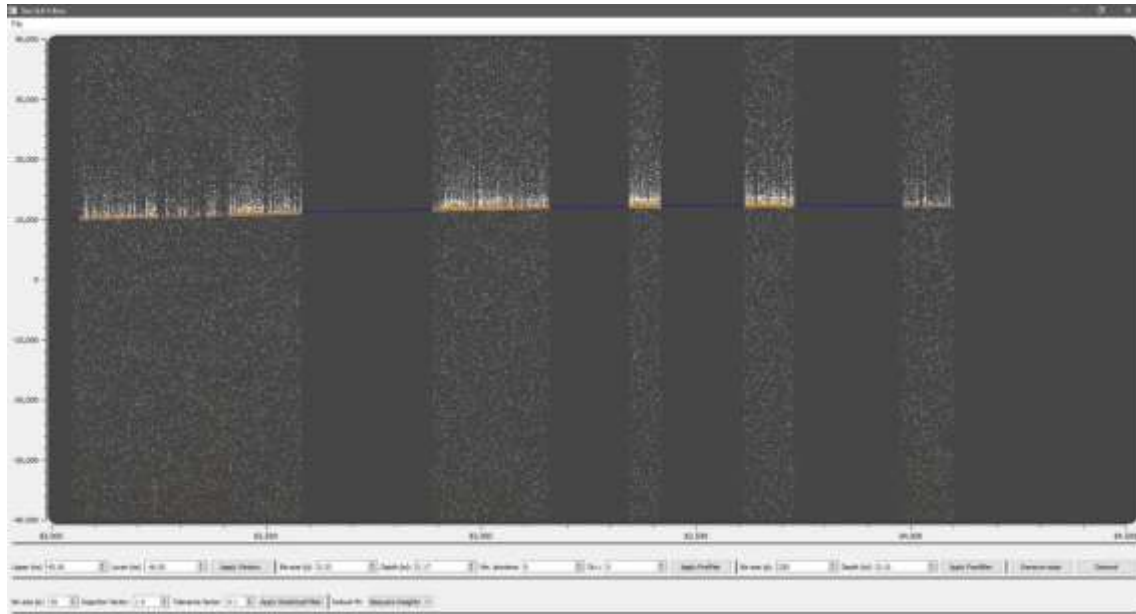


Figura 3.9: Herramienta de filtrado en tiempo real.

En la Figura 3.10 se refleja el rendimiento de la estación a lo largo del año atendiendo tanto al número de ecos como al de seguimientos.

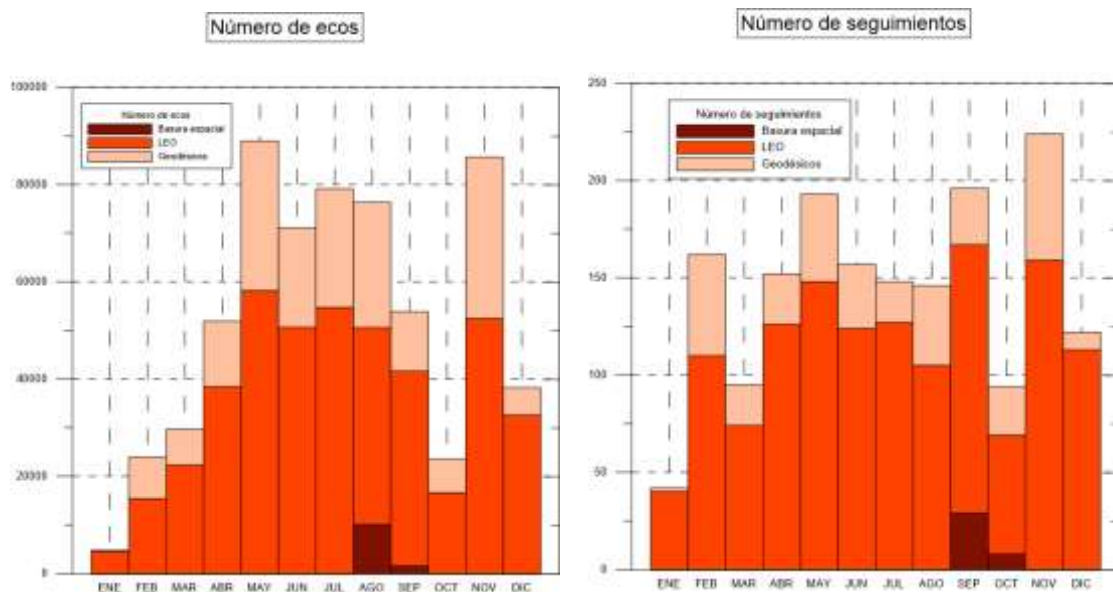


Figura 3.10: Número de ecos y número de seguimientos obtenidos a lo largo de 2021 desglosados en las categorías: basura espacial, LEO (satélites de órbita baja) y geodésicos.

3.3.2. Sistema Global de Navegación por Satélite: GNSS

El Real Instituto y Observatorio de la Armada mantiene desplegada una red geodésica propia y es responsable de una serie de estaciones pertenecientes a la red Topo-Iberia.

Red ROA

La red propia cuenta con ocho estaciones desplegadas en la zona sur de la península Ibérica y el norte de África, esta distribución permite el análisis de los datos de las placas continentales Euroasiática y Africana en su confluencia en la zona del Golfo de Cádiz-Mar de Alborán. La principal de estas estaciones se sitúa en el propio Observatorio y está integrada en la red internacional IGS (International GNSS Service).

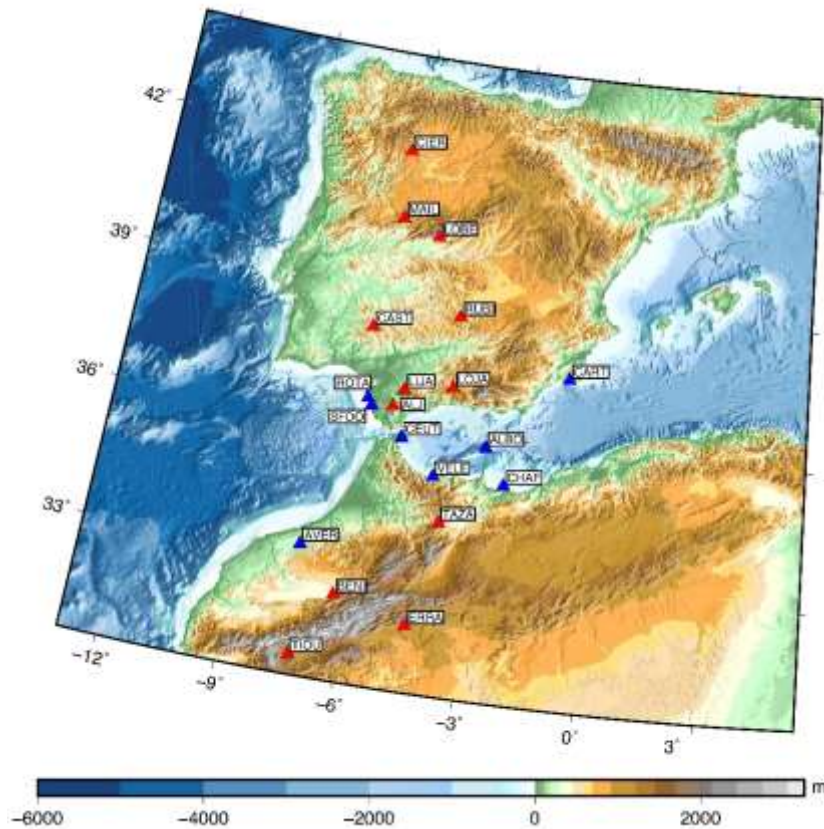


Figura 3.11: Distribución de estaciones de la Red ROA (triángulos azules) y de las estaciones de la Red Topo-Iberia de responsabilidad del ROA (triángulos rojos).

GPS	Estación	Posición (Latitud, Longitud)	Modelo	Año Instalación
SFER	San Fernando, ROA	36.4644,-6.2056	Leica GR25	1996
CART	Cartagena, E.N. Algameca	37.5868,-1.0124	TrimbleNetRS	1997
CEUD	Ceuta	35.8947,-5.2811	TrimbleNetRS	2003
ROTA	Base Naval Rota	36.6154, -6.3307	TrimbleNetRS	2010
ALBO	Isla de Alborán	35.9335,-3.0225	TrimbleNetRS	2003
CHAF	Chafarinas	35.18.35,-2.4311	TrimbleNetRS	2007
VELE	Peñón de Vélez	35.1726,-4.3004	TrimbleNetRS	2005
AVER	Averroes (Marruecos)	33.2981,-7.4133	TrimbleNetRS	2008

Tabla 3.3: Listado de Estaciones de la Red ROA

Red Topo-Iberia

El proyecto “Geociencias en Iberia: Estudios integrados de topografía y evolución 4D: Topo-Iberia” ha involucrado a más de 100 investigadores de 10 instituciones distintas y responde al interés de la comunidad científica española de establecer un marco científico en nuestro país. En el contexto de este proyecto se despliega la red Topo-Iberia compuesta por 25 receptores en la península y el norte de África. En 2012, a la finalización del proyecto, recae sobre el Observatorio la responsabilidad de 12 de esas estaciones (Tabla 3.4).

GPS	Estación	Posición (Latitud,Longitud)	Modelo	Año Instalación
ALJ	Aljibe, Cádiz	36.5299,-5.6494	TrimbleNetRS	2008
CAST	Castillo de Segura, Huelva	38.1227,-6.5155	TrimbleNetRS	2008
CIER	Villadeciervos, Zamora	41.9411,-6.2807	TrimbleNetRS	2008
LIJA	Sierra de Lijar, Cádiz	36.9061,-5.4038	TrimbleNetRS	2008
LOBE	Arenas de San Pedro, Ávila	40.2205,-5.1104	TrimbleNetRS	2008
LOJA	Loja, Granada	37.1073,-4.1064	TrimbleNetRS	2008
MAIL	Maillo, Peña de Francia, Salamanca	40.5119,-6.1680	TrimbleNetRS	2008
RUBI	Cabezarrubias, Ciudad Real	38.6094,-4.1966	TrimbleNetRS	2008
TIUO	Tiouine, Marruecos	30.9366,-7.2225	TrimbleNetRS	2008
ERRA	Errachidia, Marruecos	31.9329,-4.4531	TrimbleNetRS	2008
BENI	Beni Mellal, Marruecos	32.3502,-6.3588	TrimbleNetRS	2008
TAZA	Taza, Marruecos	34.2167,-3.9833	TrimbleNetRS	2008

Tabla 3.4: Listado de Estaciones de la Red Topo-Iberia bajo responsabilidad del ROA

Durante el año 2021, se realizaron diversas actuaciones en este Servicio, entre ellas se destacan las siguientes:

El 10 de marzo, personal de la Sección se traslada a la estación de Aljibe para realizar mantenimiento de equipos. En concreto, la sustitución del equipo receptor, del módem de comunicaciones y del ordenador de placa reducida Raspberry Pi.

El 21 de abril se realizan tareas de mantenimiento por parte de personal de la Sección en el habitáculo en el que se encuentran los equipos de la estación de Ceuta. Al regreso se desmontan los equipos de comunicaciones que permanecían inoperativos.

El 22 de abril se realizan mantenimientos de equipos en la estación geodésica de Aljibe.

El 15 y 16 de junio se realizan tareas de mantenimiento en las estaciones de Chafarinas y Peñón de Vélez.

El 12 de agosto se sustituye el ordenador de placa reducida Raspberry Pi de la estación geodésica de Aljibe.

El 15 de septiembre personal de la Sección se traslada a la estación de Aljibe para realizar un cambio de las baterías de suministro eléctrico.

El 21 de septiembre, aunque estaba prevista la actuación en la estación de Peñón de Vélez, es necesario cancelarla por meteorología adversa.

El 1 de diciembre personal de la Sección acude a la estación geodésica de Ceuta para llevar a cabo la reinstalación de equipos.

A partir del 25 de noviembre los datos de la estación GNSS de San Fernando se distribuyen al Sistema Europeo de Observación de Placas (EPOS), infraestructura de investigación multidisciplinaria y distribuida que facilita el uso integrado de datos, productos e instalaciones de la comunidad científica GNSS en Europa.

3.4. Meteorología

A medida que se fue desarrollando la astronomía en el Real Instituto y Observatorio de la Armada, surgió, en paralelo, la necesidad de adquirir datos meteorológicos, con la finalidad de aplicar correcciones a las medidas astrométricas mediante modelos de refracción atmosférica. Aunque las medidas pluviométricas se extienden en su registro hasta 1811, los datos meteorológicos se empezaron a publicar secuencial e ininterrumpidamente desde la aparición de los Anales del Instituto y Observatorio de Marina de San Fernando en 1870.

Desde febrero de 1993, continuando la tradicional colaboración mantenida con la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), antiguo Instituto Nacional de Meteorología (INM), se encuentra instalada en el recinto del Observatorio una Estación Automática Digital modelo SEAC, perteneciente a dicha institución, con adquisición automática cada 10 minutos de los siguientes datos: temperatura, humedad relativa, dirección y velocidad del viento y presión atmosférica. Se encuentra integrada, vía módem telefónico, en la Red Meteorológica Automática Nacional, y es calibrada, de forma periódica por la AEMET.

3.5. Proyectos de Investigación

Durante el año 2021 y dentro de la Sección de Geofísica, se han mantenido los siguientes proyectos de investigación:

- **Lithospheric structure and Geodynamic of the Powell-drake-Bransfield Rift (ELGeoPower).**

Este proyecto fue aprobado el 3 de mayo de 2019 con la más alta calificación. La razón que motiva este proyecto surge de la separación entre la Antártida y Sudamérica, que comenzó hace más de 40 Ma. Este hecho no solo supuso un cambio drástico en los patrones de circulación oceánica global, afectando también a otros aspectos. En concreto, desde el comienzo de la ruptura continental, la ausencia de barreras litosféricas, y la ruptura de una zona de subducción que se extendía desde Sudamérica a la Antártida, permitió la transferencia de flujo astenosférico desde el Pacífico al Atlántico. Por ello hace 12 Ma se desarrolló un relieve tectónico en el fondo marino que atraviesa el Paso del Drake desde Sudamérica a la Península Antártica que finalmente dio lugar a la zona de Fractura Shackleton. Esta zona de fractura generó una raíz litosférica que afectó al material astenosférico. Ello dividió ese canal de corrientes astenosféricas en dos ramales: uno circularía al norte y el otro al sur de la Placa de Scotia. En paralelo tiene lugar el proceso de formación de un pequeño océano, la Cuenca Powell, como consecuencia de la separación de un bloque continental que actualmente conforma el microcontinente de las Orcadas del Sur. Cuándo se originó este pequeño océano,

y cuándo cesó no existe acuerdo en la comunidad científica. Posteriormente su evolución probablemente quedó condicionada por el acceso de un ramal de flujo astenosférico que penetraría por la zona norte de la cuenca. En la misma zona se encuentra la Cuenca del Bransfield que también presenta una situación geodinámica indefinida.

Al objeto de aportar luz a cerca de la existencia de dicho ramal sur de flujo astenosférico procedente del Pacífico, y de conocer la historia geodinámica tanto de la Cuenca Powell, como de la zona NE del Mar de Bransfield, este proyecto propone realizar un estudio mediante técnicas geofísicas de las zonas implicadas: la zona NE del Mar de Bransfield, la Cuenca Powell y el punto triple situado al norte del zócalo de las Shetland del Sur. Simultáneamente se obtendrán medidas directas de flujo de calor en diversas localizaciones que incluyen la zona del arco de Scotia, para obtener indicios que confirmen la existencia del trasvase de flujo astenosférico antes mencionado, y confirmar el papel que la Zona de Fractura de Schakleton juega en todo ello.

Este estudio aplicará técnicas clásicas (magnetismo marino en superficie, gravimetría, sísmica de refracción con OBS, batimetría multi-haz). Utilizará asimismo técnicas novedosas en España, innovadoras y adecuadas para revelar la situación geodinámica indefinida de la zona NE del Mar de Bransfield, y de la Cuenca Powell mediante la realización de perfiles de magnetismo profundo, medidas de flujo de calor, y utilizará medios aéreos no-tripulados (UAV) en colaboración con el Instituto de Técnicas Aeroespaciales (INTA), y en cooperación con instituciones internacionales (NASA-USA, CICESE-MÉXICO). Con estos medios aéreos (UAV del INTA), se realizará el levantamiento magnético de la isla Decepción, así como se repetirán algunas líneas marinas ya efectuadas en años anteriores (1988, 1999, 2008) al objeto de monitorizar la situación volcánica de la isla. El investigador Principal del proyecto es el CF. Dr. Manuel Catalán.

▪ **Actualización del Conjunto Montura-Electrónica de la Estación de Telemetría Láser ROA (AMELAS)**

A lo largo de 2018, 2019 y 2020, se han realizado seguimientos sobre objetos tanto colaborativos (satélites activos dotados de espejos retro-reflectores) como no-colaborativos (basura espacial) de forma sistemática. Los resultados han sido satisfactorios. Ello convierte a la estación láser del ROA en una de las pocas estaciones europeas capacitadas para realizar ambos tipos de seguimientos.

Aunque los bancos láser son equipos de última generación, no sucede lo mismo con la montura del telescopio utilizado para la proyección de los pulsos láser, ni con la electrónica que controla el movimiento de los motores asociados a esta montura. Ambos sistemas no han sido modernizados desde su instalación inicial hace casi 40 años. Ello supone una limitación muy clara al rendimiento de la estación por la obsolescencia de los componentes, y por las holguras y vibraciones en los mecanismos de apuntamiento.

Este proyecto plantea la sustitución de la montura actual del telescopio, junto con los motores y electrónica asociada. La consecución del mismo permitirá abordar una serie de retos tecnológicos derivados, como el realizar seguimientos de objetos no-colaborativos (basura espacial) sin necesidad de tener un contacto visual, o el poder realizar estos seguimientos sobre satélites GNSS situados en órbitas de media altura (20000 km), entre otros posibles beneficios. Este proyecto fue incluido

dentro de las necesidades priorizadas de I+D del Real Instituto y Observatorio de la Armada para el ciclo 2020-2025.

- **Proyecto del Mapa Mundial de Anomalías Magnéticas (WDMAM) (2ª edición).**

Es una iniciativa internacional, sin financiación propia, cuyo objetivo principal es el recopilar datos de anomalías magnéticas adquiridos a lo largo de décadas, por Instituciones, Organismos, Universidades e Industria de diversos países, de forma que pueda generarse un mapa mundial de las anomalías magnéticas que proporcione una perspectiva completa a la comunidad científica. Las instituciones directoras del programa son la Asociación Internacional de Geomagnetismo y Aeronomía (IAGA) y la Comisión para la Carta Geológica Mundial (CCGM) contando con la participación de 12 instituciones de diversos países. El Observatorio (a través del Jefe de la Sección de Geofísica, CF. Dr. Manuel Catalán) y el Instituto de Física del Globo en París (Francia) son los encargados de su ejecución. Esta colaboración internacional permite mejorar el conocimiento del campo magnético terrestre.

- **Proyecto Landslide assessment in the Spanish Navy Observatory (LASNO).**

Este proyecto fue aprobado para ser desarrollado por el ROA tras ser evaluado por el GeoForschungsZentrum (GFZ) y la Universidad de Potsdam. El objetivo principal de este despliegue es llevar a cabo un estudio de las estructuras geológicas susceptibles de desencadenar deslizamientos del terreno y ocasionar daños en el edificio principal del ROA, así como en sus inmediaciones. El proyecto consiste en la realización de un despliegue de un array sísmico de pequeña apertura, compuesto por doce geófonos (pertenecientes al Geophysical Instrumental Pool Potsdam) en las inmediaciones del ROA. El investigador Principal del proyecto es el TN. Roberto Cabezas. Tal como se indicó en la memoria de actividades correspondiente al año 2020, el despliegue de la antena sísmica (array) se realizó en octubre de 2020, siendo retirado en abril de 2021.

3.6. Campañas

Durante el año 2021 se han llevado a cabo las siguientes campañas científicas:

Campaña ZEEE-2021

Entre el 27 de marzo y el 24 de abril se participa en la vigésima segunda campaña, dentro del Proyecto de investigación de la Zona Económica Exclusiva Española, en la zona del archipiélago canario. La campaña se realizó a bordo del BIO Hespérides y se utilizaron los siguientes sensores: el sondador multihaz EM-122, el gravímetro Bell Aerospace BGM-3, Magnetómetro Marino Sea-Spy, correntímetro doppler y la sonda paramétrica TOPAS PS 18.

La Jefatura de la Campaña corrió a cargo del Real Instituto y Observatorio de la Armada, participando personal del Real Instituto y Observatorio de la Armada, del Instituto Geológico y Minero de España, y del Instituto Español de Oceanografía. Por parte del Real Instituto y Observatorio de la Armada participaron el CF, Dr. Manuel Catalán, el CC (Ing.) Juan Manuel González, los TN. Victor de Ory, y Julián Fiz, así como el Ingeniero D. Jesús Quijano.

En la figura 3.12 se presenta un resumen de las zonas de interés dentro del proyecto ZEEE en el entorno de la península, islas Baleares y archipiélago canario. Durante la campaña se detectan problemas en los transductores de la sonda multihaz EM-122, por

lo que determinadas zonas recorridas a lo largo de la campaña no alcanzan los estándares previstos para ser aceptados los datos por parte del Instituto Hidrográfico de la Marina.

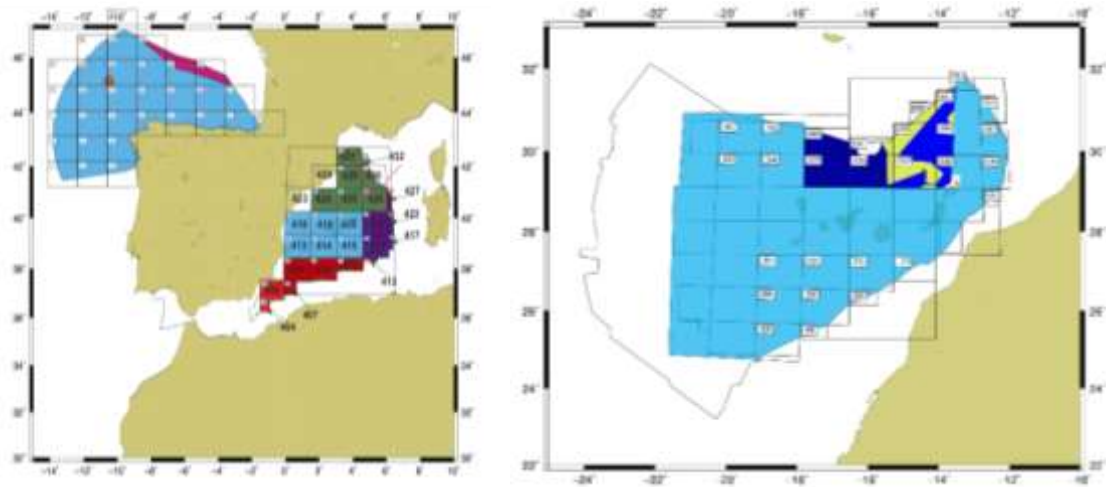


Figura 3.12: Zonas de interés de la ZEEE en el Norte de la Península, mar Balear (izquierda) y archipiélago canario (derecha). La correspondiente al archipiélago canario muestra la situación de los levantamientos una vez concluida la campaña ZEEE-2021. En tonos celestes las zonas ya barridas. En color azul marino las zonas navegada en la presente campaña donde los datos batimétricos no se consideran válidos; en color azul, las zonas navegadas donde los datos batimétricos se consideran válidos

En la figura 3.13 se muestran las líneas navegadas a lo largo de esta campaña.

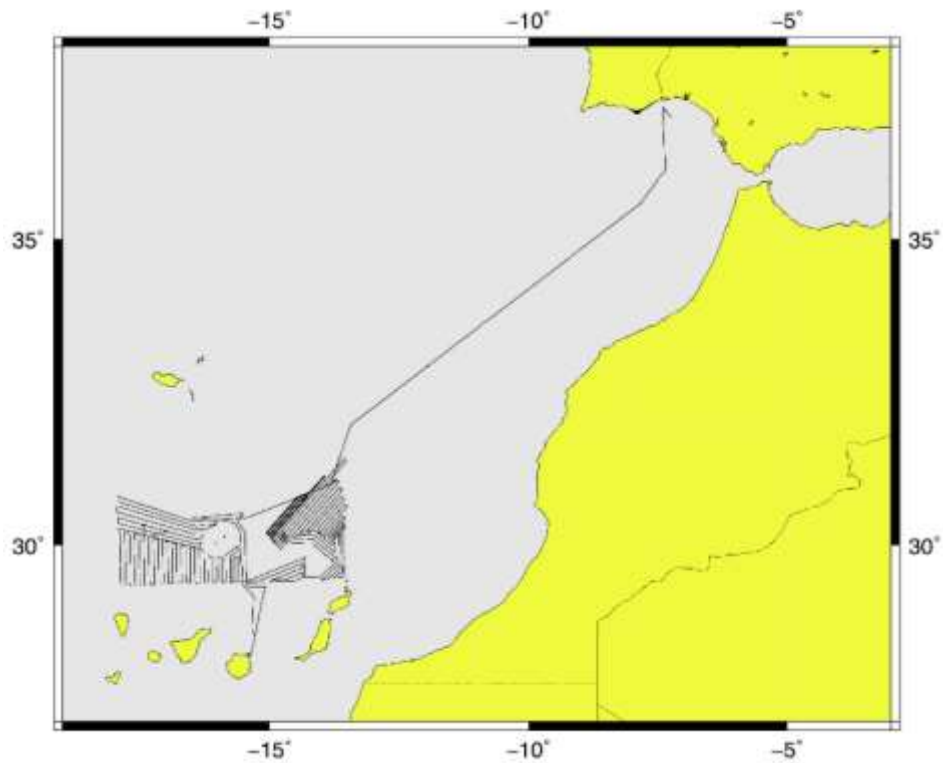


Figura 3.13: Líneas efectuadas durante la ZEEE-21.

Campaña UPFLOW

El proyecto europeo UPFLOW, *UPward mantle FLOW from novel seismic observations*, tiene como objetivo el estudio del flujo astenosférico, estructura del manto y corteza y la sismicidad entre las islas Azores y las islas Canarias, por medio de la observación pasiva de señales sísmicas. Con este fin, entre el día 14 de julio y el 17 de agosto se llevó a cabo la fase de despliegue de sismómetros de fondo marino (OBSs) (Fig. 3.14) para el registro de señales sísmicas y acústicas en el océano. Los OBSs (un total de 46), fueron desplegados por el buque de investigación *Mário Ruivo*, perteneciente al Instituto Português do mar e atmosfera (IPMA).

Diversas instituciones científicas participaron en el despliegue de los OBSs: Real Instituto y Observatorio de la Armada (ROA, España), Deutscher Geräte-Pool für amphibische eismologie (DEPAS, Alemania), Dublin. Institute for Advanced Studies (DIAS, Irlanda) y el Instituto Dom Luiz (IDL, Portugal).

En la Figura 3.14 se observa el despliegue de un OBS perteneciente a la red FOMAR, en la que el ROA es participante. La Figura 3.15 muestra el área de estudio (Azores - Canarias) con los puntos geográficos del despliegue de OBS.



Fig. 3.14. Foto del despliegue de un OBS perteneciente a la Red FOMAR.

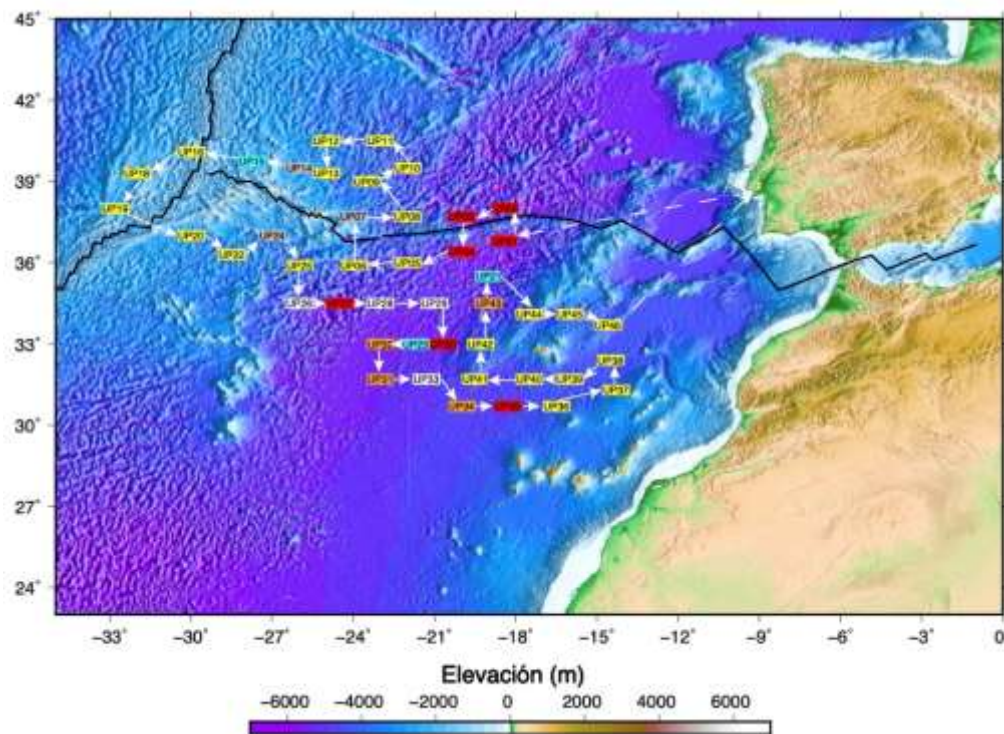


Fig. 3.15. Despliegue campaña de OBS de UPFLOW. En color Cyan OBSs del ROA, amarillo y rojo (alta profundidad) OBS de DEPAS, naranja OBS de DIAS, gris OBS de IDL. Línea blanca, derrota seguida por el buque R/V Mário Ruivo.

Campaña MARIBNO

El proyecto MARIBNO, Estructura del **MAR**gen **NorOeste** **IB**érico, realizado a bordo del B.O Sarmiento de Gamboa entre los días 14 de septiembre y 17 de octubre de 2021, ha consistido en la adquisición simultánea de datos geofísicos en tierra y mar. Los principales objetivos marcados fueron:

- Estudiar la estructura cortical, longitudinal y transversal, en el extremo occidental de la Cordillera Cantábrica y la zona de transición entre los márgenes oeste y norte de Iberia.
- Estudiar el control tectónico ejercido por las estructuras heredadas durante la etapa de rift y la compresión alpina.
- Cartografiar y caracterizar los dominios corticales aunando criterios geológicos y geofísicos.

Dicho proyecto se ha dividido en dos fases:

- Primera fase (14 de septiembre – 1 de octubre):

En esta fase se llevó a cabo una acción coordinada en tierra y mar con el objetivo de la adquisición de datos de sismica de gran ángulo a lo largo de tres transectos tierra-mar con registro simultáneo. En la primera de las líneas (WAS1) se realizó el despliegue de 14 OBS, en la segunda (WAS2) 12 OBS y en la tercera (WAS3) 9 OBS. Las 36 estaciones de tierra permanecieron instaladas durante la adquisición de las tres líneas. Los tres transectos tienen una longitud total de aproximadamente 600 km.

- Segunda fase (1 – 17 de octubre):

En esta fase se adquirieron datos de sismica de reflexión multicanal 2D a lo largo de 1600 km repartidos en 16 transectos. El registro se ha obtenido a través de un streamer digital de 6 km de longitud y 480 canales en unos de los perfiles, en dos de ellos la longitud se redujo a 1,5 km y 168 canales y en el resto de los perfiles se utilizaron 3 km y 240 canales. Además, se contó puntualmente con el B.O García del Cid realizando labores de buque auxiliar.

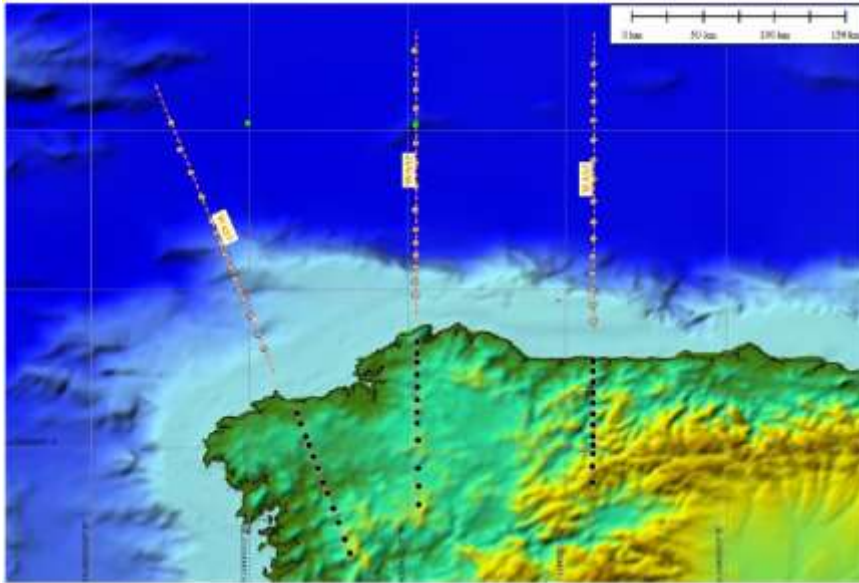


Fig. 3.16. Líneas realizadas durante la 1ª fase del Proyecto MARIBNO.

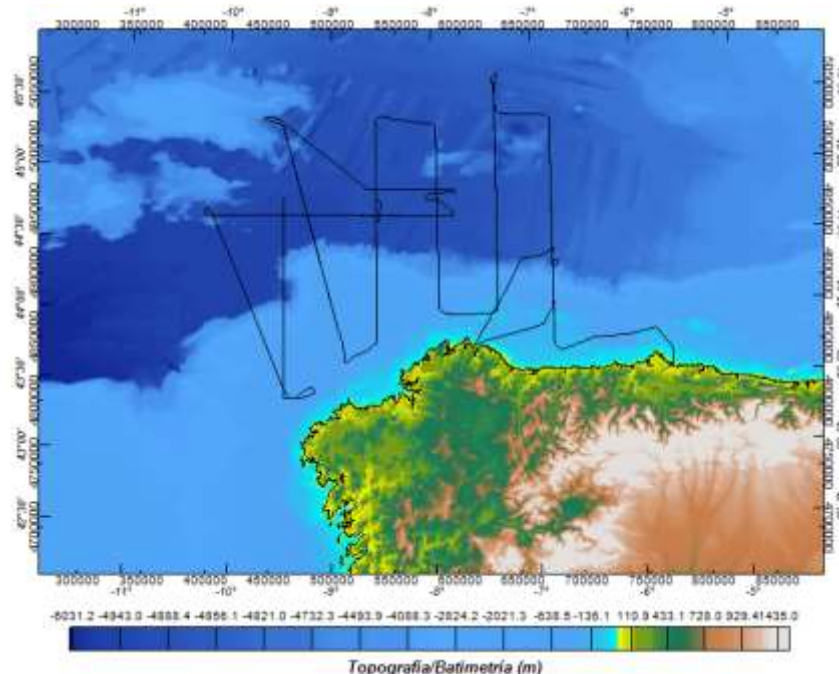


Fig. 3.17. Líneas realizadas durante la 2ª fase del Proyecto MARIBNO.

Durante ambas fases se adquirieron de manera continua datos de batimetría multihaz, gravimetría y sismica de alta resolución. Los datos geomagnéticos se adquirieron durante la segunda fase.

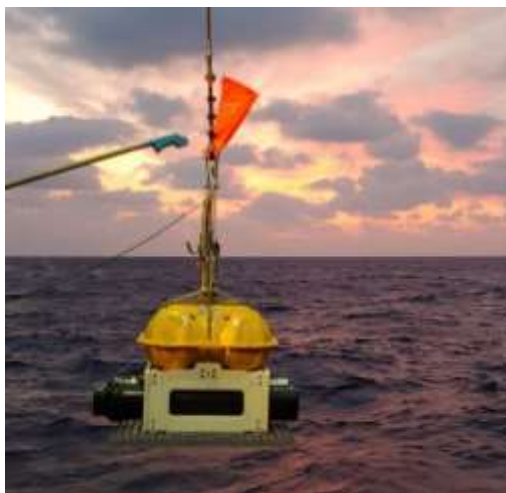


Fig. 3.18. Despliegue de un OBS durante la 1ª fase del Proyecto MARIBNO.

Todos estos datos registrados se complementarán con la adquisición de datos gravimétricos y magnéticos en tierra, y la información de varias campañas de cartografía geológica sobre los transectos sísmicos en la Cordillera Cantábrica que se llevarán a cabo entre 2021 – 2022.

Campaña fondeo OBS ERUPCIÓN Isla La Palma

Como consecuencia de la erupción del volcán de la isla de La Palma se realizaron las gestiones oportunas para poder fondear al sureste y suroeste de la Isla de La Palma dos sismómetros de fondo marino (OBS) en colaboración con el Instituto de Ciencias del Mar en Barcelona. Para ello se contó con el auxilio del B/H “Malaspina” que trasladó al personal técnico del ROA: T.N. Roberto Cabieces e Ingeniero Jesús Quijano desde el Arsenal Militar de Las Palmas de Gran Canaria a la zona de estudio al sur de la isla de La Palma. Estas actuaciones se realizaron entre el 7 y el 11 de noviembre.

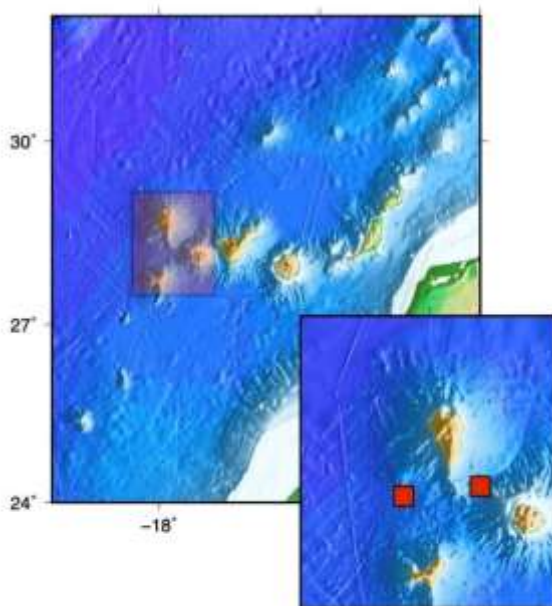


Fig. 3.19. Despliegue de OBS durante la crisis volcánica de la Isla de la Palma.

3.7. Publicaciones y Comunicaciones

3.7.1. Publicaciones

- **Título:** Asthenospheric flow and plate tectonics in the Antarctic.
Revista: Research Outreach.
Autores: M. Catalán, Y. M. Martos,
Situación: Publicado el 29 enero de 2021.

Resumen: En este artículo de divulgación científica se expone un resumen de los resultados obtenidos en los últimos trabajos realizados por el C.F., Dr. M. Catalán y la Dra. Y. Martos. Estos trabajos han proporcionado evidencias que apoyan una teoría propuesta hace más de 40 años en la que se proponían efectos que pudieran tener la separación de Sudamérica y la Antártida a través de las corrientes astenosféricas. Asimismo en este artículo se exponen otros efectos generados por estas mismas corrientes en la zona del Golfo de Cádiz y la Cuenca Powell.

- **Título:** Integrated Seismic Program (ISP): A new Python GUI-based software for earthquake seismology and seismic signal processing.
Revista: Seismological Research Letters.
Autores: R. Cabieces, A. Olivar-Castaño, T. C. Junqueira, J. Relinque, L. Fernandez-Prieto, J. Vackár, J. Barco, A. Pazos, L. García-Martínez.
Situación: Remitido en 28 julio 2021.

Resumen: El programa sísmico integrado (ISP) es un software equipado con una interfaz gráfica de usuario (GUI) especialmente diseñada para facilitar y proporcionar un marco de trabajo para realizar diversas tareas comunes y avanzadas en la investigación sísmológica. El ISP está compuesto por cinco módulos principales encargados de la localización de terremotos, el análisis de tiempo-frecuencia y el procesamiento avanzado de señales, la implementación de técnicas de array para estimar el vector lentitud, la inversión del tensor de momento sísmico y el cálculo y análisis de funciones receptoras. Además, contiene varias herramientas de apoyo disponibles que permiten al usuario crear una base de datos de eventos, inspeccionar el ruido sísmico de fondo, descargar datos de los servicios FDSN y calcular sismogramas sintéticos. La mayor parte de ISP está escrito en Python3, compatible con varias herramientas de código abierto y / o disponibles públicamente, y su diseño modular permitirá agregar nuevas funciones en un entorno de desarrollo colaborativo

- **Título:** A short geological evolution history for the Alborán sea basin.
Revista: Springer monographic issue on Alboran Basin
Autores: J.T. Vázquez, G. Ercilla, B. Alonso, M. Catalán, F. Estrada, C. Juan, J. Galindo-Zaldívar, D. Palomino, C. Sanz de Galdeano, R. Vegas, A. Ammar, A. Chalouan, E. d'Acremont, Ch. Gorini, D. do Couto, O. Azzouz, M. Benmakhlouf.
Situación: Publicado Mayo 2021
Resumen: En este libro participa el CF, Manuel Catalán en la redacción de un capítulo sobre las características genéricas de la Cuenca del Mar de Alborán desde el punto de vista de los campos potenciales.

- **Título:** Proyecto antártico ElGeoPower: Tecnología punta en la investigación científica.
Revista: Revista General de Marina
Autores: M. Catalán.
Situación: Publicado Enero 2021.
Resumen: En este artículo se describen los objetivos del proyecto científico ElGeoPower, así como explican los motivos que justifican las diversas actuaciones dentro de él.

- **Título:** El cielo cae sobre nuestras cabezas
Revista: Revista General de Marina
Autores: M. Catalán, L. Canals.
Situación: Publicado Junio 2021
Resumen: En este artículo se descubre la problemática asociada a la proliferación de basura espacial, así como explica las actuaciones, en las que en relación a esta temática, el Real Observatorio de la Armada participa.

- **Título:** Echo-character distribution in the Cantabrian Margin and the Biscay Abyssal Plain.
Revista: J. of Maps.17:2, 533-542, -14, DOI 10.1080/17445647.2021.1973917.
Autores: A. Maestro, A. Gallastegui, M. Moreta, E. Llave, F. Bohoyo, M. Druet, J. Navas, S. Mink, F. Fernández-Sáez, M. Catalán, M. Gómez-Ballesteros, A. Muñoz-Martín, J.L. Granja-Bruña.
Situación: Publicado 13 septiembre 2021.
Resumen: En los años 2003, 2006–2009, 2014 y 2015, se realizaron siete campañas oceanográficas a bordo del R / V Hespérides español en el Margen Cantábrico y en las llanuras abisales adyacentes, cubriendo una superficie de 219.124 km². Basado en el análisis e interpretación combinada de datos batimétricos y de reflectividad obtenidos con ecosondas multihaz (SIMRAD EM12, EM120 y EM1002), y con registros sísmicos de reflexión de alta resolución adquiridos con la sonda paramétrica SIMRAD TOPAS PS 18, se ha obtenido un mapa a escala 1: 200.000 de las facies acústicas o de eco-caracteres. Se han detectado treinta tipos de ecos diferenciados que se agrupan en cuatro grupos principales. El carácter del eco depende de la respuesta acústica del sedimento poco profundo y de la morfología del fondo marino, por lo que su análisis y caracterización son fundamentales para comprender los procesos sedimentarios recientes y actuales.

- **Título:** The ROA laser station: from artificial satellites to space debris tracking.
Revista: Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica. Vol. 53, 161-165.
Autores: M. Catalán, M. Sánchez-Piedra, M. Larrán, A. Vera, F. della Prugna, J. Marín, and J. Relinque.
Situación: Publicado marzo 2021.
Resumen: El Real Observatorio de la Armada Española (ROA) trabaja en geodesia espacial desde el comienzo de la era espacial. En 1975 quedó instalada en el recinto del ROA una estación laser en colaboración con CERGA (Centre de Recherches en Géodynamique et Astrométrie). Desde 1980 esta estación ha sido operada únicamente por el ROA, y realiza seguimientos en base de rutina de satélites artificiales equipados con retro-reflectores. En 2014 el ROA abrió una nueva línea de investigación: seguimiento de satélites artificiales inactivos equipados con retro-reflectores. Esto supuso un reto dada la precisión tan pobre de las efemérides utilizadas para su búsqueda al no incorporar datos

de seguimiento que proporcionen un conocimiento actualizado de su posición. Esta temática sirvió como aproximación al objetivo más ambicioso: el seguimiento de objetos catalogados como basura espacial. Ello incluye a cualquier objeto realizado por el hombre que orbite de forma no-controlada.

Para implementar este objetivo, desde 2017 venimos realizando cambios significativos en la instalación. El avance más relevante lo supuso la sustitución del antiguo banco laser por dos bancos nuevos. Uno de estos emisores transmite pulsos a 500 mW, mientras que el segundo banco lo hace a 25 W. El estudio que motivo la instalación del banco más potente fue financiado por la Unión Europea a través de fondos H2020 gestionados por el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI). Aunque este sistema es capaz de realizar seguimientos sobre objetos colaborativos, es ideal para seguimientos de objetos no-colaborativos. Este tipo de actividades comenzaron en Noviembre de 2017. Desde entonces se realizan de forma rutinaria. Este trabajo muestra las modificaciones ya realizadas, y los resultados obtenidos hasta 2019.

- **Título:** From magma source to volcanic sink under Tagoro volcano (El Hierro, Canary Islands): petrologic, geochemical and physiographic evolution of the 2011-2012's submarine eruption.

Revista: Capítulo Libro Springer conmemorativo X aniversario erupción Isla Hierro

Autores: A. M. Álvarez-Valero, O. Sánchez-Guillamón, I. Navarro, H. Albert, J. A. Lozano, A. Geyer, J. Martí, M. Ban, M. Gómez-Ballesteros, M. Catalán, N. García, E. Fraile-Nuez, R. Casillas, M. C. Martín-Luis, D. Palomino, J.T. Vázquez, N. López, D. Hernández-Barreña, E. Núñez-Guerrero.

Situación: Remitido para su evaluación Marzo 2021.

Resumen: Los volcanes activos son excelentes laboratorios para realizar una investigación detallada -y seguimiento- sobre la historia de los magmas antes, durante y después de las erupciones. El volcán Tagoro, es el volcán activo submarino de la isla de El Hierro (archipiélago canario). Este edificio volcánico representa un caso muy adecuado para evaluar y monitorear su comportamiento diario, así como para estudiar los vínculos entre los procesos de génesis del magma que ocurren en profundidad y los eventos eruptivos consiguientes en superficie. En esta investigación interdisciplinaria combinamos resultados novedosos de la petrología clásica (petrografía, geoquímica y termodinámica) utilizando los productos volcánicos expulsados por Tagoro durante la erupción de 2011-2012, con un modelo de batimetría de alta resolución (cuadrícula de 5 m) realizado durante 2017, e incorporamos datos recientes de magnetometría, que refinan el conocimiento actual sobre esta erupción.

Los resultados de la erupción de 2011-2012 revelan principalmente (i) un ligero proceso de diferenciación de magma, generado a 12 km de profundidad, (ii) un tiempo de residencia del magma suficientemente corto, de aproximadamente un mes, en profundidad para dar cuenta de la cristalización del olivino del derretimiento antes de la erupción; (iii) una evolución magmática diferente respecto a erupciones anteriores en la isla; (iv) una interacción insignificante de los fluidos externos con el magma en profundidad o dentro del conducto de ascenso; (v) una anomalía magnetométrica actual en el área de Tagoro; (vi) una estimación de volumen mínimo (parcial o total) para el magma extraído del reservorio.

3.7.2. Comunicaciones en congresos

- **Título:** Cartografía del ecocarácter del Margen Continental de Galicia y de las llanuras abisales adyacentes.
Congreso: X Congreso Geológico de España.
Fecha: 5 al 7 julio 2021.
Autores: A. Maestro, G. Jané, F. Fernández, E. Llave, F. Bohoyo, J. Navas, S. Mink, M. Druet, M. Gómez, J. Martín, M. Catalán, A. Carbó, A. Muñoz, J.L. Granja.
- **Título:** Integrated Seismic Program (ISP): A new Python GUI based software for earthquake seismology and seismic signal processing.
Congreso: European Seismological Commission 2021
Fecha: 24 septiembre 2021
Autores: R. Cabieces, A. Olivar-Castaño, T. C. Junqueira, J. Relinque, L. Fernandez-Prieto, J. Vackár, B. Rösler, J. Barco, A. Pazos, L. García-Martínez.

3.8. Reuniones y Estancias de trabajo

- El 25 de enero el CF. Manuel Catalán participa en una reunión telemática de la Comisión Mixta que la Armada mantiene con el Ejército del Aire. Al margen de otros asuntos, se trató la activación de la colaboración entre el Centro de Operaciones de Vigilancia Espacial (COVE) y el ROA en lo referente a actividades SSA.
- El 2 de febrero el CF. Manuel Catalán y el TN. Roberto Cabieces participan en una reunión telemática con personal investigador de diferentes instituciones y universidades del estado (Univ. de Granada, universidad de Jaén, Instituto Jaime Almera.) para realizar una puesta en común de los resultados alcanzados por cada uno de estos grupos en el análisis de las crisis sísmica que desde finales del año 2020 viene acaeciendo en la zona granadina.
- El 16 de febrero el CN. Fco. Javier Galindo, el CN. Antonio Pazos, y el CF. Manuel Catalán participan en una reunión telemática de coordinación de la campaña ZEEE-21 previa a la reunión del comité director del Plan de Investigación Científica de la ZEEE.
- El 17 de febrero el CF. Manuel Catalán participa telemáticamente en una mesa redonda organizada por la Universidad Complutense de Madrid sobre las salidas profesionales en Geofísica.
- El 19 de febrero el CN. Fco. Javier Galindo, y el CF. Manuel Catalán participan en la reunión del comité director del Plan de Investigación Científica de la ZEEE. Esta reunión tuvo lugar de forma telemática.
- El 26 de marzo tuvo lugar la reunión constitutiva de la Sección de Geomagnetismo y de Geodesia de la Comisión Española de Geodesia y Geofísica, participando el CF. Manuel Catalán en la de Geomagnetismo, y el TN. Manuel Sánchez Piedra en la de Geodesia. El CF. Manuel Catalán fue elegido Presidente de la Sección de Geomagnetismo, y el TN. Manuel Sánchez Piedra fue elegido Secretario de la de Geodesia.

Sección de Geofísica

- El 7 de abril se celebra la reunión constitutiva de la Sección de Geofísica Aplicada de la Comisión Española de Geodesia y Geofísica, participando el CN. Antonio A. Pazos.
- El 8 de abril se celebra la reunión constitutiva de la Sección de Sismología y Física del Interior de la Tierra de la Comisión Española de Geodesia y Geofísica, participando el TN. Roberto Cabeices.
- El 13 de abril, el CN. Antonio a. Pazos y el TN. Roberto Cabeices asisten a la conferencia (por VTC), impartida por el Profesor D. Agustín Udías, titulada: "Terremotos grandes y desarrollo de la sismología en España" enmarcada en el Máster de Meteorología y Geofísica, en el que colabora la Sección de Geofísica del ROA.
- El 18 de mayo, el director del ROA, CN. Antonio A. Pazos García, mantiene una reunión en Madrid con la Sociedad Española de Estudios para la Comunicación Fija a través del Estrecho de Gibraltar (SECEGSA) para consensuar el corredor del Protocolo general de actuación entre la Armada, a través del ROA y SECEGSA.
- El 19 de mayo el CF. Manuel Catalán participa en la XIV reunión del Grupo de Trabajo de Cartografía Marina. Esta reunión tuvo lugar de forma telemática.
- El 21 de julio el CF. Manuel Catalán participa en la reunión preparatoria de la Campaña Antártica 2021-2022. Esta reunión tuvo lugar de forma telemática.
- El 22 de junio, el CN. Antonio Pazos participa en la reunión virtual del patronato de la Fundación CEIMAR.
- El 23 de junio, el CN. Antonio Pazos y el CF. Manuel Catalán, participan en una reunión virtual convocada por el CIFAS con objeto de tratar el estado de los sondadores del BIO "Hespérides".
- El 19 de julio, el CN. Antonio Pazos participa en la reunión de la Comisión Técnica sobre el riesgo de Maremotos.
- El 23 de julio se mantiene una primera reunión de coordinación de actividades con el Centro de Operaciones de Vigilancia del espacio (COVE) participando personal de la Sección de Geofísica (CF. Manuel Catalán y TN. Manuel Sánchez Piedra) y Astronomía (CC. Lluís Canals e ITA. José Luis Gutierrez).
- El 8 de septiembre tuvo lugar la segunda reunión de la Sección de Geodesia de la Comisión Española de Geodesia y Geofísica, participando el TN. Manuel Sánchez Piedra.
- El 8 de noviembre, el CN. Antonio A. Pazos participa, como miembro del jurado, en la defensa de la tesis doctoral "Design and Prototyping of a Network-Enabled low-Cost Low-Power Seismic Sensor Monitoring System", presentada por D. Marco António Azinheira Morais Lourenço Manso en la Universidad de Évora (Portugal).

- El 17 de noviembre tuvo lugar la reunión de la Comisión de Geodesia y Geofísica, participando el CF. Manuel Catalán tanto como presidente de la Sección de Magnetismo como vocal suplente del Observatorio.
- El 18 de noviembre el CN. Antonio Pazos y el TN. Roberto Cabieces participaron en la reunión ROA-UCM sobre la red “Western Mediterranean”.
- El 13 de diciembre tuvo lugar una reunión del Comité Asesor Científico-Técnico de la Infraestructura Científica Técnica Singular FLOTA en la que participó el CF. Manuel Catalán.
- El 15 de diciembre el CN. Antonio Pazos participa en la reunión virtual del patronato de la Fundación CEIMAR.

3.9. Conferencias y Cursos

- Entre el 20 y 23 de abril el personal de la Estación Láser asiste al 8º Congreso de Basura Espacial de la Agencia Espacial Europea en modalidad virtual.
- El TN. Manuel Sánchez Piedra es designado alumno del XI Curso Conjunto de Actualización para el Ascenso a Capitán de Corbeta de la Armada. Este curso consta de cuatro fases. La primera fase, no presencial, fue realizada entre el 29 de marzo y el 28 de mayo. La segunda fase, presencial, se desarrolló en la Escuela de Guerra Naval en Madrid entre el 13 de octubre y el 5 de noviembre. Finalmente, la tercera y cuarta fase, no presenciales, se desarrollaron entre el 18 de octubre y 9 de noviembre y entre el 24 de noviembre y 10 de diciembre, respectivamente.
- El 22 de abril el TN. Julián Fiz llevó a cabo una videoconferencia a bordo del B.I.O Hespérides para los alumnos del Máster en Meteorología y Geofísica de la Universidad Complutense de Madrid.

3.10. Personal

- El 20 de mayo desembarca el personal técnico superior Guillermo Muñoz-Delgado Serrano.
- El 2 de junio se incorpora el estudiante de la Universidad de Berna (Suiza) Julián Rodríguez a los trabajos del grupo láser al objeto de realizar una estancia predoctoral hasta el 25 de julio.
- El 1 de septiembre se incorpora el TN. David Rodríguez Collantes a la Sección tras finalizar el Master en Astronomía, Geofísica y Hora.
- Entre los días 4 y 28 de octubre efectúa una estancia en la Sección la AF. reservista Maria Clara Lacy Perez de los Cobos.
- El 16 de noviembre realiza una visita técnica el Dr. Sven Bauer, jefe de la estación láser de Potsdam (GFZ- Alemania).
- El 1 de diciembre se incorpora a la Sección, tras adquirir la plaza de funcionario, Cristina Palacios Alonso y Abel Blanco Hernández.

- El 13 de diciembre se incorpora a la Sección, tras adquirir la plaza de funcionario, Angel Vera Herrera y Jesús Relinque Madroñal.

3.11. Otros

- El 15 de febrero D. Angel Vera defiende el Trabajo de Fin de Master titulado “Degoras Project: A free software system for Satellite Laser Ranging stations” co-dirigido por el C.F., Dr. Manuel Catalán. Dicho trabajo fue evaluado con la calificación de Sobresaliente.
- El 17 de febrero son nombrados miembros de las secciones de Geomagnetismo, Sismología y Geodesia el CF. Manuel Catalán, y los TN. Roberto Cabeices, y Manuel Sanchez Piedra, respectivamente.
- El 22 de marzo el CF. Manuel Catalán es nombrado representante de Armada ante el Comité científico de la ITCS Flota (STAC).
- El 26 de marzo el CF. Manuel Catalán es elegido Presidente de la Sección de geomagnetismo de la Comisión Española de Geodesia y Geomagnetismo.
- El 4 de mayo el TN. Roberto Cabeices defiende su tesis doctoral de forma telemática titulada “Estudio de la fuente sísmica con estaciones en tierra y mar”, obteniendo la calificación de Sobresaliente Cum Laude por la Universidad Complutense de Madrid.

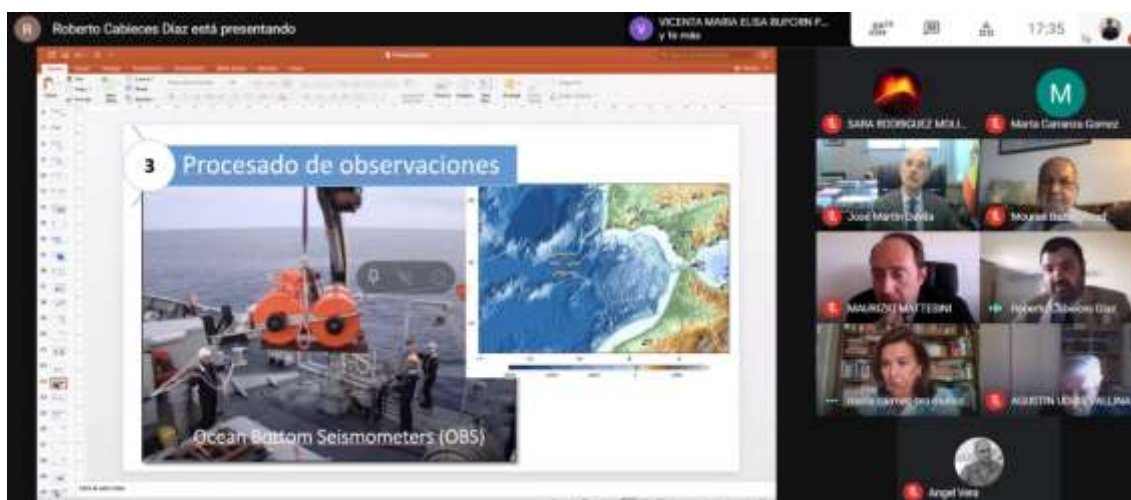


Fig. 3.20. Momento de la defensa de la tesis doctoral del TN. Cabeices.

- El 25 de junio defiende el Trabajo Fin de Master titulado “Flexión de la Litosfera producida por elementos geológicos aislados situados en distintos ambientes tectónicos” en la Universidad Complutense de Madrid el TN. Julián Fiz.
- El 2 de noviembre el TN. Roberto Cabeices participa en las jornadas de Café con Ciencia impartiendo una ponencia sobre Terremotos y Volcanes.
- A principios de noviembre es firmado el nuevo Protocolo general de actuación entre la Armada, a través del Real Instituto y Observatorio de la Armada, y la

Sociedad Española de Estudios para la Comunicación Fija a través del Estrecho de Gibraltar (SECEGSA).

- El 15 de noviembre el TN. Manuel Sánchez Piedra inicia oficialmente sus estudios dentro del Programa de Doctorado de Ingeniería Aeroespacial de la Universidad Carlos III de Madrid.

4. Sección de Hora

Las misiones que la Instrucción de Organización núm. 01/2011 del Almirante Jefe de Asistencia y Servicios Generales del Cuartel General de la Armada, de 27 de enero, por la que se establece la Organización del Real Instituto y Observatorio de la Armada en San Fernando, encomienda a la Sección de Hora, son:

- Determinar, mantener y difundir la escala de tiempo UTC(ROA), base de la Hora Legal Española, y las escalas de tiempo astronómico en uso, de acuerdo con los requisitos internacionales.
- Colaborar con el Centro Español de Metrología (CEM), en los cometidos que le sean aplicables, como Laboratorio Asociado al CEM, según el R.D. 1308/1992, de 23 de octubre (BOE 282/92).
- Colaborar con la Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIPM), en las campañas internacionales de sincronización en el mantenimiento de la hora atómica internacional.
- Cumplir con los requisitos establecidos en el Acuerdo de Reconocimiento Mutuo suscrito por los Institutos Nacionales de Metrología pertenecientes a la Convención del Metro.
- Representar al ROA en la Comisión de Laboratorios Asociados del Consejo Superior de Metrología.
- Asumir la representación española en Organizaciones Internacionales de Metrología por delegación del CEM, especialmente en el Comité Consultivo de Tiempo y Frecuencia del BIPM, del que es miembro nato.
- Prestar los servicios de calibración y trazabilidad en las áreas de Tiempo y Frecuencia, estableciéndose como inicio de la cadena oficial de calibración en éstas áreas. Proponer y mantener la tabla de precios públicos que han de regir la prestación de estos servicios.
- Asesorar en materia relacionada con la medida, conservación de tiempo, y en particular sobre el material de relojería y cronometría para uso de la Armada. Es responsable de la homologación de los cronómetros y certifica sobre la utilidad de los mismos a efectos de navegación.
- Conservar, reconocer, clasificar, reparar y estudiar los equipos cronométricos destinados al servicio de la Armada y la reparación y estudio del material cronométrico de los buques mercantes que a tal fin le sea confiado, actuando como Organismo Técnico en el área de relojería y cronometría.

La complejidad y diversidad de estas misiones obligan a mantener un alto grado de intercambio de información y colaboración, dentro y fuera de España, con las diferentes entidades científicas, educativas y empresariales, que ejercen su labor en los campos del Tiempo y la Frecuencia.

4.1. Servicio de Hora

4.1.1. Tiempo Universal Coordinado del Real Instituto y Observatorio de la Armada (UTC-ROA)

La escala de tiempo UTC(ROA) que mantiene el Servicio de Hora, se genera mediante un algoritmo que combina la información procedente de una batería de patrones atómicos de frecuencia, constituida por dos máseres de hidrógeno activos y cinco patrones de haz de cesio, optimizando la estabilidad y la exactitud en frecuencia, y se materializa físicamente por uno de los máseres de hidrógeno, convenientemente disciplinado a través de un sintetizador de frecuencia.

Esta escala se basa en el patrón nacional de la unidad de tiempo, el segundo del Sistema Internacional de Unidades, que asimismo mantiene este Servicio y del que deriva el patrón nacional de la unidad de frecuencia, también de su responsabilidad.

La escala UTC(ROA) es la base de la Hora Oficial de España. Esta responsabilidad recae en este Centro de conformidad con lo establecido en la Ley 32/2014, de 22 de diciembre, de Metrología, en su artículo 4 sobre patrones nacionales y diseminación de las unidades de medida.

El establecimiento de la Hora Oficial se efectúa mediante el Real Decreto 1308/1992 de 23 de octubre (BOE núm. 282) y por el Real Decreto 648/1994 de 15 de abril (BOE núm. 103), en los que se declara al Laboratorio del Real Instituto y Observatorio de la Armada, como laboratorio responsable del mantenimiento y custodia del Patrón Nacional de Tiempo y Frecuencia bajo la supervisión y coordinación del Centro Español de Metrología (CEM). Particularmente, el segundo de los reales decretos dispone literalmente en su artículo único:

Se declaran, a efectos legales, patrones nacionales de medida de las unidades básicas del Sistema Internacional de Unidades, de los que se derivarán todos los demás patrones utilizados en los distintos procesos de medida, de acuerdo con lo dispuesto en el artículo cuarto de la ley 3/1985, de 18 de marzo, de Metrología, los relacionados en el anexo de este Real Decreto, con las características técnicas en él indicadas.

El punto 3 del Anexo del citado Real Decreto, modificado por Orden ICT/149/2020, de 7 de febrero:

3.- Patrón nacional correspondiente a la magnitud tiempo.

El patrón nacional correspondiente a la magnitud tiempo, cuya unidad es el segundo (s), es mantenido, conservado, custodiado y diseminado, bajo la supervisión y coordinación del Centro Español de Metrología, por el Laboratorio de la Sección de Hora del Real Instituto y Observatorio de la Armada en San Fernando (ROA). Es realizado por medio de un conjunto de osciladores referidos permanentemente a la frecuencia de la transición cuántica del átomo de cesio, establecida en la XIII CGPM como definición del segundo.

Está materializado mediante un máser de hidrógeno activo, convenientemente disciplinado a través de un sintetizador de frecuencia, a partir de la información proporcionada por un conjunto de relojes atómicos de haz de cesio y máseres activos de hidrógeno, y su incertidumbre relativa

y trazabilidad vienen referidas a los datos publicados por la Circular T de la Sección de Tiempo del BIPM.

Partiendo del patrón nacional correspondiente a la magnitud tiempo, el ROA elabora y mantiene la Escala de Tiempo Nacional que tiene por denominación UTC(ROA). Esta escala se compara periódicamente con la referencia internacional Tiempo Universal Coordinado (UTC), mediante la participación en la comparación clave (KC) de tiempo (CCTF-K001.UTC), en el ámbito del acuerdo de reconocimiento mutuo del CIPM (MRA-CIPM).

El valor absoluto de la diferencia entre UTC(ROA) y UTC se mantiene dentro de un margen de cien nanosegundos, según lo establecido por la Recomendación del Comité Consultivo para la Definición del Segundo (Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde, CCDS), en la actualidad Comité Consultivo de Tiempo y Frecuencia, aprobada en su duodécima Asamblea en el año 1993..

Este laboratorio contribuye a la elaboración de la escala de Tiempo Atómico Internacional (TAI) mediante la técnica de doble encaminamiento o dos vías (TWSTFT), a partir de las observaciones efectuadas utilizando una estación VSAT en banda Ku, junto a un módem SATRE de ensanchamiento de espectro. Este método de transferencia de tiempo se considera de los más exactos entre los disponibles en la actualidad, si bien su característica de estabilidad a corto y medio plazo es peor que la de la transferencia de tiempo mediante técnica PPP (*Precise Point Positioning*) que aplica a receptores de tiempo de tipo geodésico, de Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS). Actualmente se aprovecha la redundancia de enlaces entre laboratorios para la elaboración del TAI, complementando ambas técnicas, de manera que se toma lo mejor de cada una de ellas.

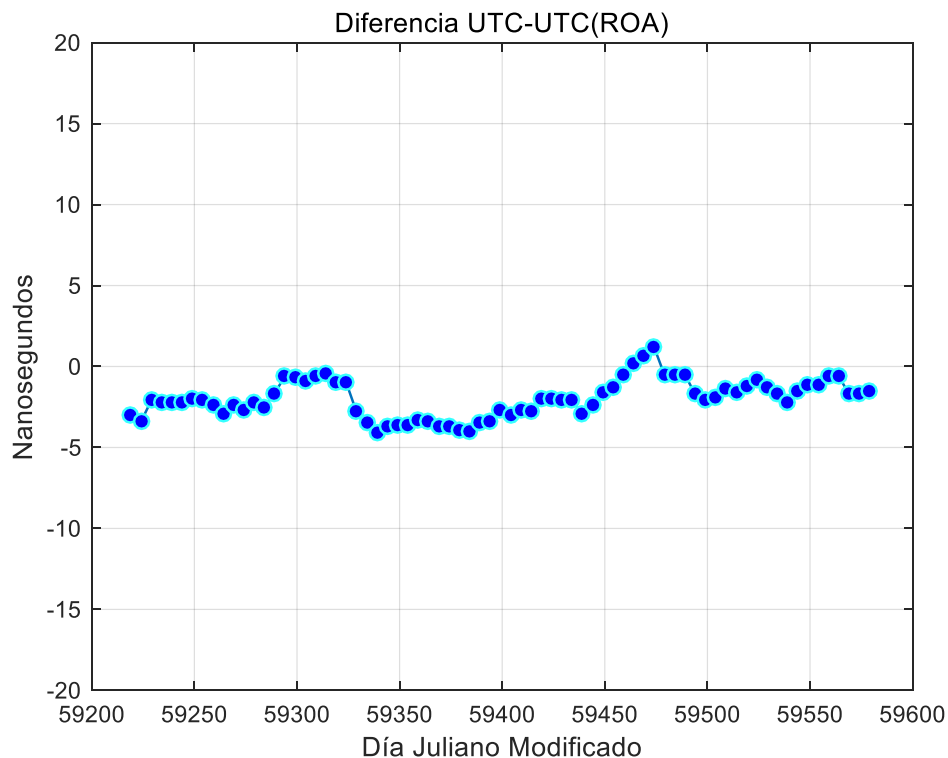


Figura 4.1: Comparación de la escala de tiempo UTC(ROA) en 2021, según datos de la Circular T.

La señal de frecuencia procedente del Máser de Hidrógeno activo, marca SIGMA TAU, Mod. MHM-2010, núm. de serie 0100000332, convenientemente disciplinada a través del Generador Auxiliar de Salida, Mod. AOG-110, núm. de serie 0100000127, materializa físicamente la escala de tiempo UTC(ROA).

En el mes de octubre se realiza una acción de mantenimiento sobre el oscilador de cuarzo de bajo ruido de este máser para fijarlo dentro del rango óptimo de funcionamiento y poder ser regulado en tensión de manera efectiva.



Figura 4.2: Ajuste mecánico del oscilador de cuarzo de bajo ruido del máser de hidrógeno activo principal.

El sintetizador de frecuencia AOG-110, ha estado controlado a lo largo del año para aceptar los ajustes de frecuencia calculados para mantener la exactitud de UTC(ROA) dentro de ± 100 ns respecto de UTC, conforme a la recomendación del Comité Consultivo para la Definición del Segundo, (CCDS), en su duodécima Asamblea (1993). Respeto a los patrones de haz de cesio, durante el año se han realizado las siguientes acciones de mantenimiento y reparaciones. Al Cesio C (núm. de serie 3249A00718) se le sustituyó el tubo de cesio el 14 de junio. Al Cesio B (núm. de serie 3249A00538) también se le agotó el tubo, pero no pudo ser sustituido, al no haber más existencias, estando prevista su adquisición para el año 2022. A partir del 4 de julio, no se vuelcan los datos de este reloj en el BIPM y, por ende, deja de participar en la elaboración del TAI/UTC. Finalmente, el Cesio D (núm. de serie US39301490) sufrió una avería en el oscilador de cuarzo durante el mes de abril, que pudo ser resuelta satisfactoriamente tras la sustitución del conjunto oscilador y amplificador.

Del estudio de los datos de diferencia entre las Escalas UTC y UTC(ROA), publicados por el BIPM en las Circulares T, puede deducirse la estabilidad en frecuencia y tiempo. En las figuras 4.3 y 4.4 se muestran estos datos expresados, respectivamente, en términos de la Desviación de Allan y de la Desviación en Tiempo, en función del tiempo de muestreo en segundos

Como se aprecia en ambas figuras, para un periodo de integración de cinco días, la estabilidad en frecuencia ofrece un valor de $1,25 \times 10^{-15} \pm 0,28 \times 10^{-15}$ ($k = 2$), en tanto que la estabilidad en tiempo es de $3,12 \times 10^{-10} \pm 0,70 \times 10^{-10}$ ($k = 2$).

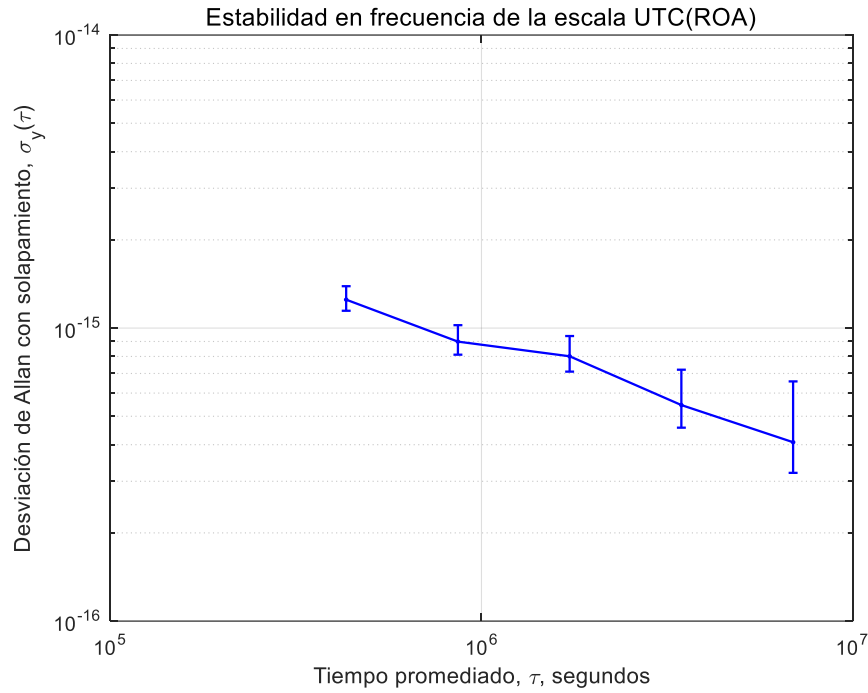


Figura 4.3: Estabilidad en frecuencia de la Escala UTC(ROA).

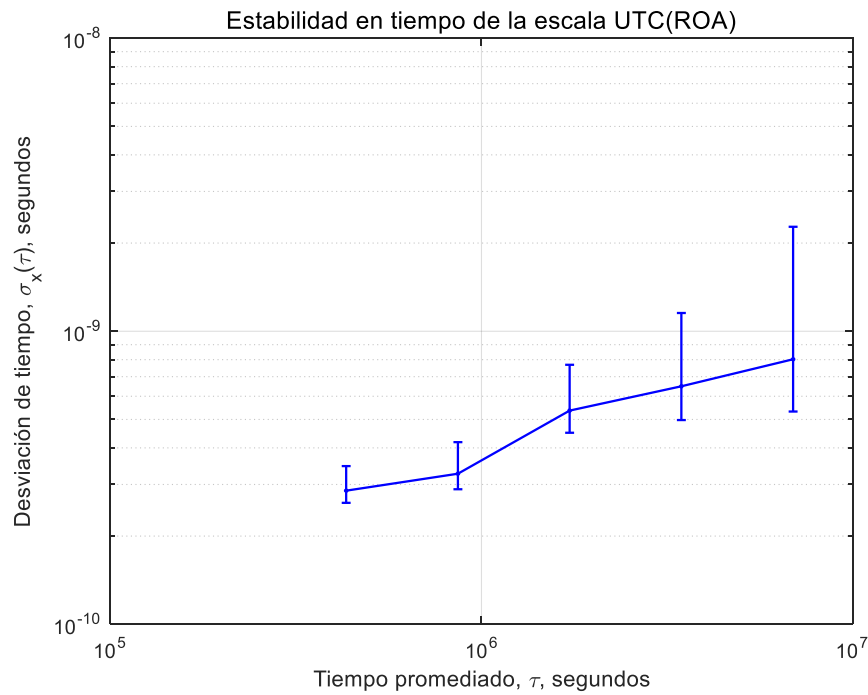


Figura 4.4: Estabilidad en tiempo de la Escala UTC(ROA).

La labor que habitualmente desempeña la Sección de Hora, continúa siendo supervisada por el CEM conforme a lo establecido por el R.D. 1308/1992 de 23 de octubre, posteriormente desarrollado por la Comisión de Laboratorios Asociados al CEM (CLA – CEM), y plasmado en el documento de “Reconocimiento, Designación y Seguimiento de Laboratorios Asociados y Laboratorios colaboradores del CEM”, aprobado en el plenario del Consejo Superior de Metrología del 24 de septiembre de 2009. En la actualidad permanece en vigor la revisión 06, del 23 de noviembre de 2016, desglosada y dedicada expresamente a laboratorios asociados. El R.D. 244/2016, de 3 de junio, por el que se desarrolla la nueva Ley de Metrología, en vigor desde el 8 de junio, establece entre otros aspectos la manera en que se organiza la metrología en España, indicando los criterios de designación, las misiones y responsabilidades de los laboratorios asociados entre los que se encuentra el Observatorio.

La Comisión de Laboratorios Asociados al CEM está constituida, además del ROA, por otras cinco instituciones con amplia tradición metrológica y experiencia en determinadas magnitudes, y que por razones de especialización científica y técnica son designados por real decreto del Consejo de Ministros como tales y como depositarios de patrones nacionales de las unidades de ciertas magnitudes, complementando la labor del propio CEM. En concreto, estas instituciones desarrollan y mantienen los patrones de la unidad básica de intensidad luminosa y de flujo luminoso (Laboratorio de Fotometría y Radiometría del Instituto de Óptica “Daza de Valdés”, perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)), de la humedad, potencia, ruido, atenuación e impedancia en alta frecuencia (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial “Esteban Terradas” (INTA)), de la unidad derivada de intervalo de alta tensión eléctrica (>1000 V) (Laboratorio Central Oficial de Electrotecnia (LCOE)), de la actividad (de un radionucleido), de la exposición (rayos X y γ), del kerma y la dosis absorbida (Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes (LMRI) del CIEMAT) y de la concentración de ozono en aire (Instituto de Salud Carlos III).

A este respecto, hay que reseñar la visita de supervisión por teleconferencia que el CC ING. Juan Manuel González Sánchez realiza en el mes de noviembre al Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes, dentro del turno anual de visitas establecido por la Comisión de Laboratorios Asociados al CEM, al objeto de verificar el sistema de gestión de la calidad en el ámbito de su actividad metrológica. Del mismo modo, también se verifica el sistema de calidad de la Sección de Hora, durante la visita de supervisión realizada a finales de ese mismo mes, y que fue llevada a cabo por la Dra. M^a Dolores del Campo Maldonado Directora de la División de Magnitudes Mecánicas e Ingeniería del Centro Español de Metrología y por el Dr. Tomás Vicente Mussons, Jefe del Laboratorio de Temperatura y Humedad del Centro de Metrología y Calibración del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial, y la auditoría interna realizada al Laboratorio de Hora del Observatorio (LHROA) por el responsable de calidad, el Ingeniero Técnico de Arsenales (ITA) F. Jesús Martínez Torres a finales de diciembre.

El ROA continúa tomando parte activa en los diferentes Grupos de Trabajo del CCTF asociados al mantenimiento del Tiempo Atómico Internacional (WG on TAI: Algorithms) y de Sistemas de Transferencia de Tiempo (WG on TWSTFT), formando parte del Subgrupo de Trabajo TWSTFT/T2L2, creado para trabajar conjuntamente en un proyecto científico que consistirá en comparar relojes basados en Tierra a distancia, mediante técnicas láser y microondas (TWSTFT). También forma parte del grupo de trabajo WG on GNSS TT, constituido para asesorar al CCTF sobre el estado del arte en sistemas de transferencia de tiempo y frecuencia GNSS, y realizar las recomendaciones relativas a la calibración de estos sistemas, al procesamiento de datos, a las señales disponibles y a los últimos avances científicos y tecnológicos en este campo.

La Sección de Hora comienza en el año 2010 su andadura en el sistema de posicionamiento global Galileo, formando parte del Proyecto TVF –*Time Validation Facility*– (TVF V2), destinado a validar el comportamiento de los relojes del sistema Galileo y de su escala de tiempo (GST), y actuar como proveedor de servicio de tiempo provisional, proporcionando al Centro de Control Galileo (PTF) la predicción UTC-GST y el disciplinado en frecuencia necesario para asegurar la diferencia entre ambas escalas en los límites exigidos. La misión, enmarcada dentro de las operaciones de la *Time Geodetic Validation Facility (TGVF)*, se extendió hasta finales de 2017 donde el subsistema TVF ampliaba sus cometidos con la provisión de servicio temprano, la validación del servicio de tiempo y el desarrollo de productos asociados para usuarios externos.

Con el propósito de seguir colaborando como parte del operador del Servicio Galileo en la explotación del sistema, el ROA participa desde septiembre de 2017 bajo la convocatoria GSA/CD/14/14, como *Time Service Provider (TSP)* en el marco del contrato (GSOp – GSA). El proyecto está liderado desde 2018 por el consorcio formado por las empresas Spaceopal, Telespazio y el Centro Aeroespacial Alemán (DLR), pudiendo extenderse la participación del ROA hasta 2026.

En 2016, la Agencia Europea de Navegación por Satélite (GSA) publica la convocatoria GSA/GRANT/04/2016, encaminada a establecer relaciones de largo plazo entre los Estados Miembros (MS) y el Centro de Referencia Galileo (GRC), al objeto de monitorizar y evaluar las prestaciones de los servicios Galileo, y mejorar su rendimiento.

Desde agosto de 2018, el ROA participa como parte del consorcio GRC-MS (*Member States*), liderado por el Centro de Estudios Aeroespaciales Francés (CNES) junto a una amplia mayoría de los estados miembros de la UE, para atender las sucesivas ayudas específicas anuales (SG) de dicha convocatoria mediante dos paquetes de trabajo (WP) relacionados con el tiempo, WP1.1 “*Reference Stations*” y WP3.3 “*Open Service Time Performance*”. Después de dos años de contribución, actualmente se colabora sobre la cuarta ayuda (SG#4) iniciada en septiembre de 2021 y cuya finalización está prevista en agosto de 2022.

Por otra parte, en el marco de EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay*), el ROA forma parte del consorcio denominado *EGNOS Service Performance Monitoring Support (SPMS)* para atender las sucesivas ayudas específicas (SG) derivadas de la convocatoria GSA/GRANT/EGNOS/01/2014. Actualmente, se colabora tras dos etapas productivas, en la cuarta ayuda (SG#4) iniciada en noviembre de 2020 y cuya finalización está prevista en septiembre de 2022, consistente en la monitorización del servicio de tiempo en *Open Service (OS)* y *Safety of Life (SoL)*, cubriendo la zona suroeste de Europa (Figura 4.) dentro del WP 1.1 “*EGNOS Navigation Performance*”.

La participación del ROA en ambos proyectos se considera de gran interés debido a que proporciona una estrecha colaboración con los principales centros europeos en el campo del tiempo y la frecuencia, facilitando el intercambio de información y experiencias con dichos centros.

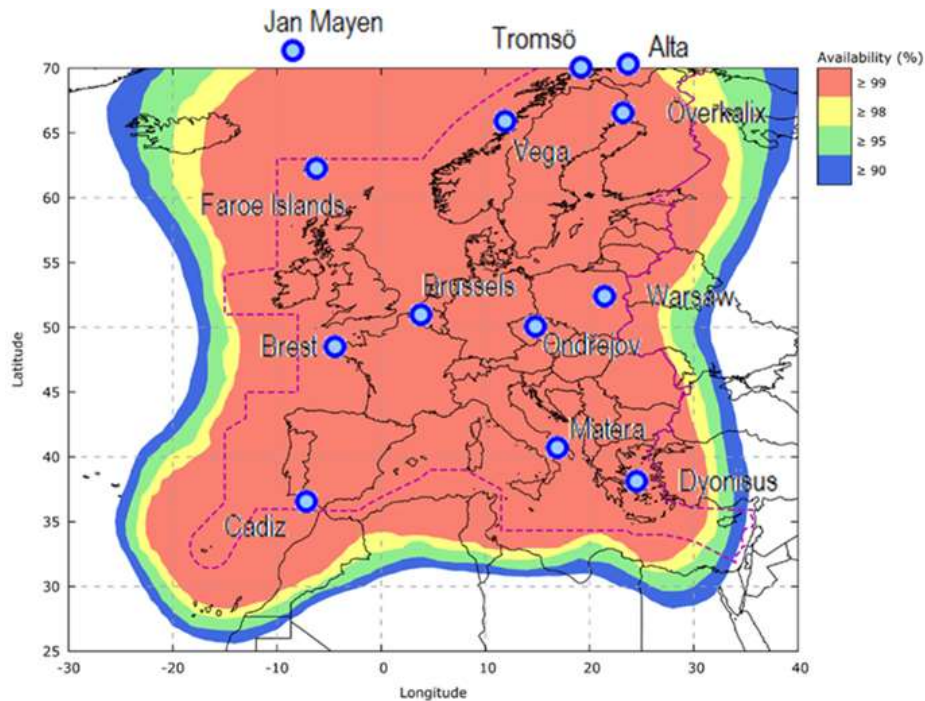


Figura 4.5: Cobertura del servicio con la inclusión de la estación ROA al consorcio SPMS EGNOS.

Además, a lo largo de todo el año se ha venido participando regularmente en la generación de “UTC rápida” (UTC_r). Esta solución permite acceder semanalmente a una estima de UTC a través de la diferencia respecto de la escala del laboratorio participante (UTC(k)) a las 0h UTC de cada día, facilitando la monitorización del comportamiento de la realización local de UTC (UTC(k)).

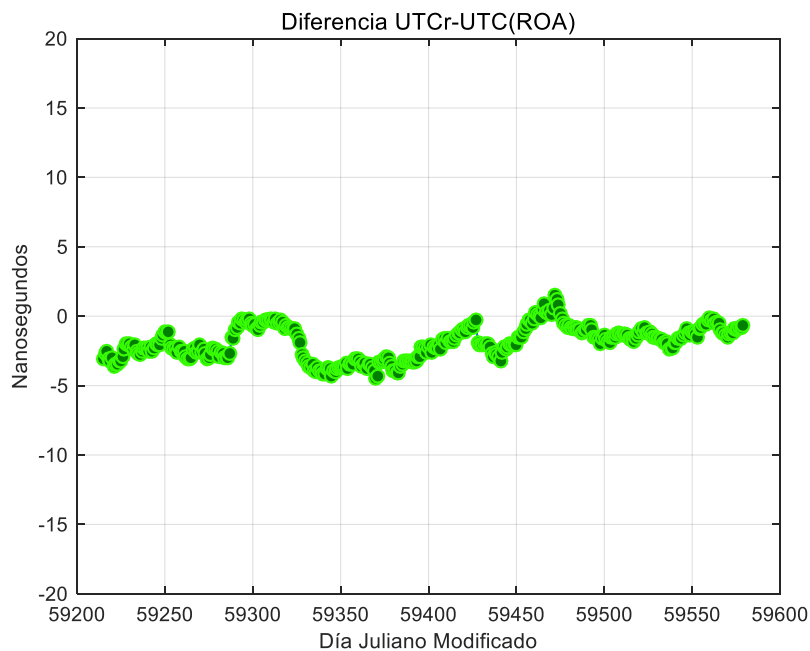


Figura 4.6: Escala de tiempo UTC(ROA) referida a UTC_r. Datos proporcionados por el BIPM (<ftp://tai.bipm.org/UTCr/Results/>).

La figura 4.6 muestra los resultados de la comparación de UTC(ROA) con UTCr, que a diferencia de la comparación con UTC, está disponible en un tiempo diferido menor (cada miércoles se publican los datos semanales de lunes hasta el domingo anterior) y proporciona una estima con una periodicidad de un día.

En la actualidad, alrededor de 65 laboratorios, de entre los 86 que regularmente contribuyen en la realización de UTC, participan en este proyecto facilitando datos a diario. La característica de calidad de esta escala alcanza los valores a priori esperados: la desviación de UTCr respecto de UTC se mantiene ahora por debajo de 2 ns. Durante todo el año y de forma ininterrumpida, el BIPM publica la escala UTCr como producto oficial propio. No obstante lo anterior, únicamente la Circular T proporciona trazabilidad formal a UTC.

4.1.2. Establecimiento de enlaces de tiempo

Transferencia de tiempo a través de satélite geoestacionario mediante doble vía.

El sistema de transferencia de tiempo de dos vías utilizando satélites de comunicaciones geoestacionarios, permite alcanzar niveles de precisión de algunos centenares de picosegundos.

El sistema está compuesto por dos estaciones independientes y plenamente operativas. Ambas están constituidas por un modem SATRE (números de serie 426 y 448), transceptor en banda Ku extendida y antena Prodeline de 2.4 m. En la figura 4.7 se muestra la ubicación de las antenas en la azotea del nuevo laboratorio.

Hasta el 26 de mayo se han mantenido las frecuencias del enlace europeo, 14260,15 MHz (Tx.) y 10960,15 MHz (Rx.), y las del enlace transoceánico, 14046,59 MHz (Tx.) y 11489,06 MHz (Rx.). A partir del 27 de mayo, se pasa a 14260,17 MHz (Tx.) y 10960,17 MHz (Rx.) en el enlace europeo, y a 14047,74 MHz (Tx.) y 11497,06 MHz (Rx.) en el enlace transoceánico. Además, la tasa de chip del sistema cambia de 1 Mchip/s a 2,5 Mchip/s. Todo ello entrañó la recalibración de todos los enlaces, a partir de los enlaces GPS. Gracias al incremento en la tasa chip, el ruido del sistema por efecto diurno pasó de 1,4 ns a 0.5 ns, resultando una mejora muy significativa.



Figura 4.7: Antenas de la estación 1 (izqda.) y estación 2 (dcha.) del sistema TWSTFT, en la azotea del laboratorio.

Actualmente, la transferencia de tiempo de dos vías constituye el enlace principal para llevar a cabo las comparaciones entre relojes con otros laboratorios internacionales participantes en el cálculo del TAI. De este modo, el Observatorio continúa formando parte del reducido grupo de laboratorios (actualmente 12) que emplean esta técnica en el escenario internacional. En la figura 4.7 se muestran los resultados de la intercomparación TWSTFT con los principales laboratorios europeos y norteamericanos.

Un factor limitante de este sistema, es la componente de ruido diurno presente en este tipo de enlaces, con variaciones pico a pico que pueden llegar hasta los 2 ns. El origen de este efecto es incierto, pudiendo estar originado por el equipo en tierra, el transpondedor del satélite, o por el propio movimiento del satélite, pero hasta ahora no se ha llegado a una conclusión definitiva al respecto.

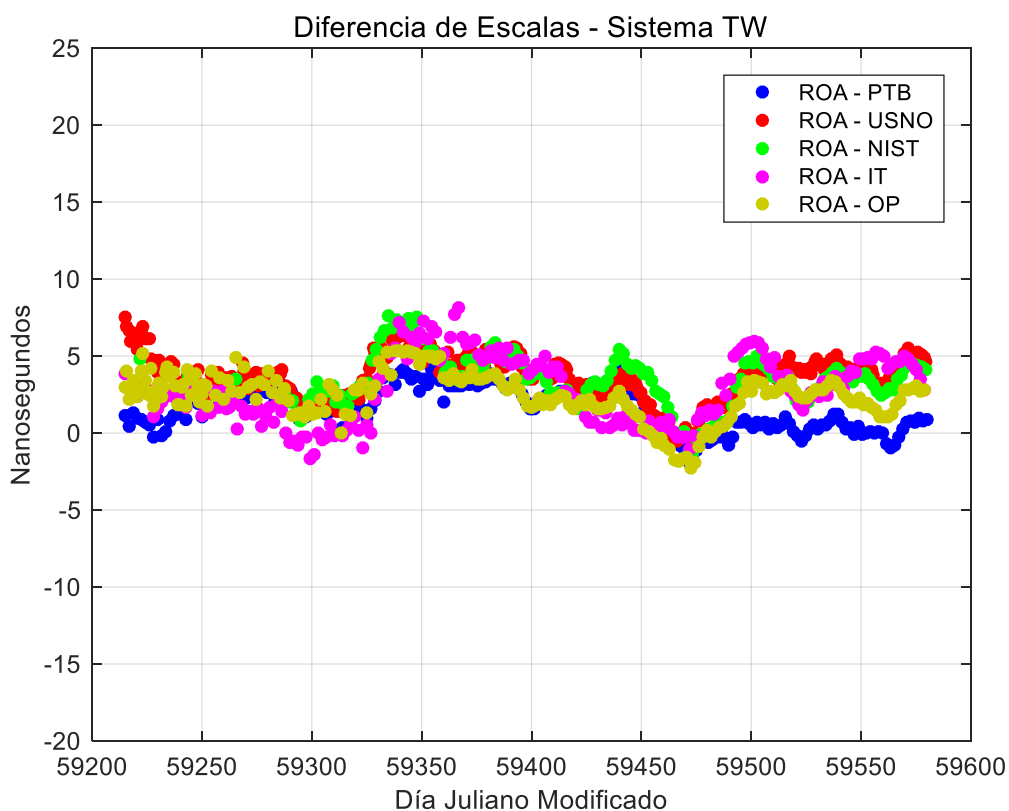


Figura 4.8: Intercomparación de la escala UTC(ROA) con los principales laboratorios europeos y norteamericanos mediante TWSTFT utilizando el satélite TELSTAR 11N.

El enlace se lleva a cabo por comparaciones con la estación de transferencia de tiempo del *Physikalisch - Technische Bundesanstalt* (PTB), seleccionada como “pivote” por el BIPM, a través del satélite de comunicaciones TELSTAR 11N.

Gracias a las campañas de calibración lideradas por el ROA en años anteriores, sigue formando parte del reducido grupo de laboratorios (actualmente 6), con una incertidumbre igual o mejor de 1,5 ns. Los restantes laboratorios son el pivote (el PTB alemán), USNO (EE.UU.) y otros cuatro laboratorios europeos, tres de los cuales lo han logrado, junto al PTB, gracias a las campañas de calibración lideradas por el ROA.

Sistema SDR.

Durante los últimos años se ha constatado una reducción considerable del efecto diurno y también del ruido en la medición, mediante el uso de receptores de Software-Defined Radio (SDR) acoplados a la recepción de los modems de los sistemas TWSTFT. El BIPM y el grupo de trabajo del Comité Consultivo de Tiempo y Frecuencia sobre TWSTFT (CCTF WG), siguen estudiando la aplicación de receptores SDR en la elaboración de UTC.

Los resultados obtenidos hasta ahora muestran un rendimiento superior o al menos similar en comparación con las mediciones de los Modem SATRE para todos los enlaces de tiempo. El ROA dispone de dos sistemas SDR plenamente operativos, que le permiten llevar a cabo estudios relativos a los efectos de las condiciones ambientales sobre este sistema de transferencia, al igual que las perturbaciones generadas por el resto de estaciones participantes.

Global Positioning System (GPS).

Las redes internacionales para la comparación de escalas de tiempo se basan en la utilización de diferentes técnicas de transferencia. Entre éstas siguen destacando por su precisión, universalidad y bajo coste las técnicas de transferencia basadas en el sistema GPS, y de entre ellas la técnica PPP, empleada como enlace de tiempo para el cálculo del TAI (TAI PPP). Se emplea asimismo el método de todos a la vista P3 (P3-AV), si bien muestra peores prestaciones metrológicas y ocupa un lugar menos destacado.

El método PPP se basa en la combinación de código y fase de las frecuencias de portadora GPS. Con dicho método se modelan diversas fuentes de error como son el retardo troposférico, variación de la superficie de la Tierra por efecto de la marea terrestre y carga oceánica, diagramas de variación del centro de fase de la antena, presión de radiación solar, etc., mientras que el retardo ionosférico se elimina mediante la combinación apropiada de las fases de las frecuencias de portadora.

La comparación de escalas de tiempo de diferentes laboratorios utilizando la técnica PPP, al igual que con el método de todos a la vista P3 (P3-AV), se beneficia del hecho de que todos los satélites GPS comparten una escala de tiempo de referencia común. Esto permite transferencias de tiempo sobre líneas de base mucho más largas que las alcanzadas con el clásico enlace de vista común (CV), al no ser necesario que las dos estaciones de tierra involucradas en la transferencia de tiempo reciban simultáneamente la señal procedente de un mismo satélite.

El método PPP presenta una muy buena característica de estabilidad a corto y medio plazo, lo que le ha llevado a ser utilizado junto a la técnica de TWSTFT en aquellos laboratorios que disponen de ambas capacidades. Los métodos de transferencia de tiempo basados en GPS: PPP y P3-AV, son de los más exactos, por lo que se han empleado como enlaces de reserva en todos aquellos laboratorios que disponen de los medios para un enlace TWSTFT, tal es el caso del laboratorio del ROA; permaneciendo, por otra parte, como enlaces principales para los restantes laboratorios de Tiempo participantes en la elaboración de la escala de tiempo UTC.

El receptor GPS multicanal modelo GTR50 de DICOM, n/s 0601012, con capacidad para trabajar con código y fase de portadora de las señales L1 y L2, es uno de los receptores GPS utilizados tradicionalmente para transferir tiempo preciso a otros laboratorios de

ámbito internacional, y proporciona trazabilidad en tiempo y/o frecuencia a los laboratorios de ámbito nacional.

La Sección de Hora cuenta además con otros cinco receptores geodésicos de la misma familia:

- I. El receptor GPS multicanal modelo PolaRx2, n/s 1225 de Septentrio Satellite Navigation, de propósito general y capacidad para trabajar con código y fase de portadora de las señales L1 y L2.
- II. El receptor PolaRx3eTR de Septentrio, n/s S9000175205, con recepción L1, L2, GPS/GLONASS (configurable a GPS/GALILEO E1, E5), con capacidad para trabajar también en L2C y de seguir simultáneamente hasta 29 canales. Dicho PolaRx3eTR, por su característica de estabilidad a medio y largo plazo, es considerado actualmente el enlace alternativo en la elaboración del TAI.
- III. Dos PolaRx4TR PRO, n/s 3102288 y 3102314, de idénticas características, que disponen de 264 canales hardware, y que asignan automáticamente a todos los satélites a la vista. Tienen capacidad para trabajar con código y fase de portadora de las señales Beidou L1/E2/E5b, GPS L1/L2/L2C/L5, GLONASS L1/L2 y Galileo E1/E5a/E5b/E5 AltBOC.
- IV. Un PolaRx5TR PRO, n/s 4701187, que dispone de 544 canales hardware, y que asigna automáticamente a todos los satélites a la vista. Tiene capacidad para trabajar con código y fase de portadora de las señales Beidou L1/E2/E5b, GPS L1/L2/L2C/L5, GLONASS L1/L2, Galileo E1/ E5a/E5b/E5 AltBOC/E6, SBAS L1/L5, IRNSS L5, y QZSS L1/ L2/L5.

Desde el 2018, y debido al traslado de todo el equipamiento al nuevo laboratorio, se cuenta con una nueva estación IGS (*International GNSS Service*), con denominación ROAG, ubicada en el punto más alto del nuevo edificio. La estación está constituida por el receptor PolaRx5TR n/s 4701310 y una antena Leica AR25 Chocke Ring n/s 726362, soportada sobre el mástil de cemento de la figura 4.9, integrado en la cimentación original del edificio.



Figura 4.9: Estación IGS con denominación ROAG.

El Servicio Público Regulado (PRS) del sistema de posicionamiento Galileo proporciona posición y tiempo, y su uso está restringido a usuarios autorizados por los gobiernos y para las aplicaciones sensibles que requieren una gran continuidad de servicio. Está encriptado y diseñado para ser más robusto, con mecanismos anti-interferencias y detección de problemas de seguridad. El PRS es una de las características más importantes del sistema Galileo, que proporciona un valor añadido en comparación con otros sistemas de navegación por satélite.

Durante todo el año se ha colaborado con el laboratorio nacional de tiempo y frecuencia italiano INRIM, y con el grupo empresarial tecnológico GMV, en el proyecto MagicGNSS para soluciones de red ODTS (Determinación de Órbita y Tiempo Preciso) en tiempo casi real, orientado a crear una alternativa a las técnicas habituales de transferencia de tiempo basadas en Sistemas de Satélites de Navegación Global. Como resultado de esta colaboración, el Observatorio tiene acceso a la herramienta MagicGNSS, y a la comparación precisa de tiempo con los principales laboratorios europeos en tiempo cuasi real.

Esta herramienta permite a los usuarios efectuar un amplio número de cálculos y análisis relacionados con la constelación GNSS. Los dos principales algoritmos disponibles son el ODTS, y el PPP antes descrito. ODTS es una solución de red que requiere un conjunto de estaciones distribuidas por Tierra. Las ventajas de una solución de red (ODTS), respecto de la PPP, son que las estimas de cada estación pueden beneficiarse de las medidas de todas las estaciones, resultando en principio más robusto y preciso. Más aún, con ODTS, la comparación de cada reloj con respecto a la estación principal es directa, sin intervención de una escala de tiempo intermedia, y con latencias muy pequeñas (media hora o menor), al no requerirse productos externos tales como los de órbita precisa o los de reloj.

En la figura 4.10 se muestran las desviaciones de la escala de referencia con respecto a la escala GPS generada por los receptores multicanal. La referencia empleada en todos los casos fue UTC(ROA).

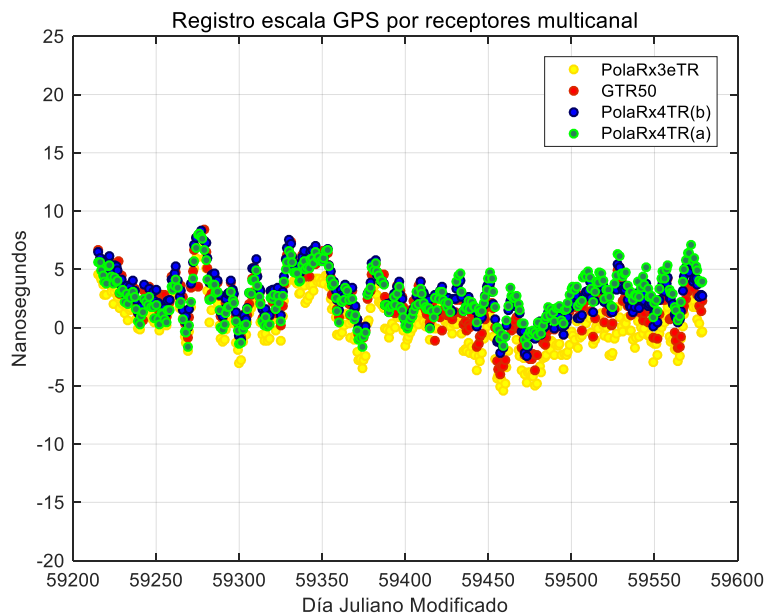


Figura 4.10: Diferencias entre la escala UTC(ROA) y la escala GPS durante el año 2021.

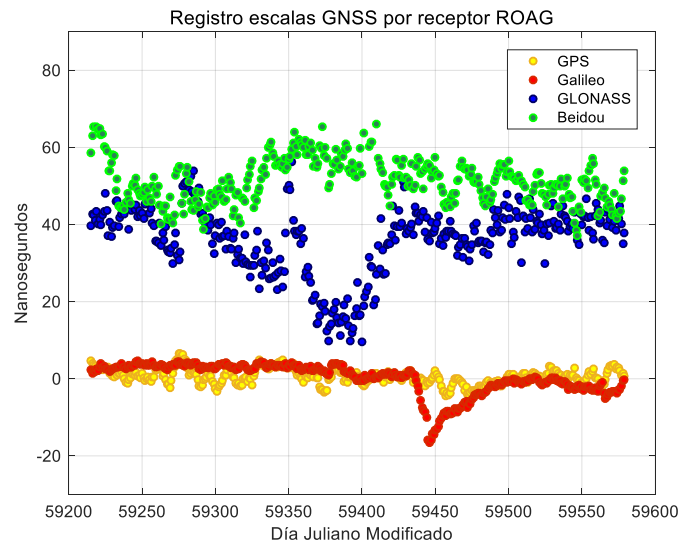


Figura 4.11: Diferencias entre la escala UTC(ROA) y las escalas GNSS durante el año 2021.

En la figura 4.11 se muestran las diferencias entre la escala UTC(ROA) y las diferentes escalas de referencia GNSS, destaca la gran estabilidad a corto y medio plazo de la escala de tiempo Galileo y la gran estabilidad a largo plazo de la escala de tiempo GPS.

En el mes de julio se realiza una nueva campaña de calibración G1G2 GNSS, en el seno de EURAMET (Cal_Id = 1017-2021), liderada por el ROA, con el laboratorio metrológico nacional IPQ (*Instituto Português da Qualidade*) de Portugal. En el mes de octubre se realiza otra campaña de calibración (Cal_Id = 1018-2021), liderada nuevamente por el ROA, y que comprendió al laboratorio metrológico nacional NPL (*National Physical Laboratory*) de Reino Unido.

Sincronización de redes de ordenadores.

Se mantiene un servicio de sincronismo NTP (*Network Time Protocol*) abierto al público, basado en sistemas de sincronización GPS instalados en sendos ordenadores en el Real Instituto y Observatorio de la Armada: hora.roa.es y minuto.roa.es. En la actualidad, el servicio recibe aproximadamente más de 200 millones de peticiones de sincronismo diarias.

Durante todo el año se mantiene un servicio de sincronismo, basado en protocolo NTP, atendiendo las necesidades de sincronismo del Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas. Este servicio se establece en marzo de 2005 al objeto de cubrir algunas de las necesidades para el establecimiento del Servicio de Sincronismo que recoge la Orden de la Presidencia 1551/2003, sobre las relaciones de la Administración con los ciudadanos, consta de tres estaciones de sincronismo. Cada una de las estaciones, ubicadas en el Centro Corporativo de Explotación y Apoyo (CCEA), en el Centro de Proceso de Datos de la Administración Pública, del Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas, y en el Real Instituto y Observatorio de la Armada, están constituidas fundamentalmente por dos servidores de tiempo basados en protocolo NTP y un sistema de alimentación ininterrumpida. Con este servicio, además de facilitarse la difusión horaria en la Intranet Administrativa, se cubren las necesidades de sincronismo de la Intranet de Defensa.

Como consecuencia del acuerdo de colaboración suscrito con el Colegio de Registradores de la Propiedad y Mercantiles de España en enero de 2003, por el que se establecen los términos y condiciones de un proyecto de investigación entre esta Institución y el Real Instituto y Observatorio de la Armada para dotar al conjunto de registros de una referencia temporal “exacta” ($\pm 0,5$ segundos) y común para la Red Telemática Registral, se continúa proporcionando un servicio de sincronismo mediante línea punto a punto, a partir de un servidor de tiempo basado en protocolo NTP.

En el ámbito del convenio de colaboración suscrito en diciembre de 2006 entre el Ministerio de Defensa (ROA) y la Fábrica Nacional de Moneda y Timbre – Real Casa de la Moneda (FNMT – RCM), para el establecimiento de un servicio de certificación de fecha y hora mediante la sincronización, durante todo el año se ha venido prestando de manera continuada el citado servicio. Un servicio de similares características se ha venido prestando al Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, en virtud del protocolo de actuación suscrito en julio de 2007 con el entonces Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino (en la actualidad Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente), y a Vodafone España, en virtud de un convenio marco suscrito en mayo de 2009.

4.2. Servicio de Electrónica y Calibración

Como consecuencia del establecimiento, mantenimiento y difusión del Patrón Nacional de Tiempo y Frecuencia y, en el marco del acuerdo con el antiguo Servicio de Calibración Industrial (cuyas funciones son actualmente asumidas por ENAC), el Laboratorio de la Sección de Hora continuó ejerciendo sus funciones como Laboratorio Patrón de Referencia en la cadena de calibración.

Como resultado de su actividad como Laboratorio de Referencia, se efectuaron en laboratorio las calibraciones y emisión de los certificados de:

- 1 Sistema de T/F basado en rubidio disciplinado a GPS DATUM SYSTEM 2000 – SYMETRICAL (ROA-009/21).
- 1 Sistema de T/F basado en rubidio disciplinado a GPS PENDULUM GPS 12R/170 – AFC Ingenieros (ROA-018/21).
- 1 Sistema de T/F basado en rubidio disciplinado a GPS FLUKE 910 – ASSI Sistemas e Instrumentación (ROA-048/21).
- 1 Sistema de T/F basado en rubidio disciplinado a GPS FLUKE 910R – TRESICAL Ibérica de Calibración (ROA-050/21).
- 1 Generador de Señales Hewlett Packard 8656B – Instituto de Óptica “Daza de Valdés” (ROA-001/21).
- 1 Contador de Segundos Digital Elecsan C114 – BD Medical-Medical Surgical Systems (ROA-015/21).
- 1 Contador de Segundos HANHART PROFIL 5 – BD Medical-Medical Surgical Systems (ROA-016/21).
- 20 Receptores GPS GlobalSat MR-350PS4 – TRADESEGUR (de ROA-020/21 a ROA-039/21).
- 3 Servidores de Tiempo NTP disciplinados a GPS TS19SR – Ingemation Ingeniería S.L. (ROA-040/21, ROA-041/21 y ROA-042/21).

Además de lo anterior, se continuaron efectuando calibraciones a distancia, haciendo uso de la técnica de vista común (CV), con las consecuentes ventajas que de ello se derivan ya que los patrones fueron calibrados sin interrumpir su actividad en el laboratorio, y sin suponer una carga de trabajo relevante para el personal a cargo del equipo.

Las calibraciones mediante esta técnica, y los certificados emitidos, fueron:

- 1 Sistema de tiempo y frecuencia Microchip Technology Inc. SyncServer S650 (Q69929) – TELEFÓNICA DE ESPAÑA SAU (ROA-03/21, ROA-011/21, ROA-044/21 y ROA-052/21).
- 1 Sistema de tiempo y frecuencia Microchip Technology Inc. SyncServer S650 (R05747) – TELEFÓNICA DE ESPAÑA SAU (ROA-04/21, ROA-012/21, ROA-045/21 y ROA-053/21).
- 1 Sistema de tiempo y frecuencia Symmetricom 8040 – ROHDE & SCHWARZ (ROA-006/21, ROA-010/21, ROA-043/21 y ROA-051/21).

Además de estos, sistemáticamente se mantiene el enlace con otros laboratorios nacionales:

Centro Español de Metrología – CEM

El enlace con el área de longitud del CEM permite mantener la monitorización del subsistema de frecuencia empleado en la realización práctica del metro mediante láser de pulsos de femtosegundos y tecnología de peine de frecuencias.

En el ámbito de la Comisión Técnica Asesora de Metrología y Calibración de la Defensa (CTAMCD), como Laboratorio del Nivel de Referencia, se llevaron a cabo tareas de calibración, con emisión de certificado en su caso, en apoyo de los siguientes centros:

Laboratorio Radiofrecuencia Campus “Marañosa”

- 1 Patrón de rubidio disciplinado a GPS Pendulum-Symmetricom 12R-8040C (ROA-05/21, ROA-13/21 y ROA-46/21, mediante la técnica CV).
- 1 Patrón de rubidio disciplinado a GPS Fluke – Symmetricom 910R-8040C (ROA-049/21 y ROA-054/21, mediante la técnica CV).

Centro de Ensayos “Torregorda”

- 2 Sincronizadores de tiempo Orca Technologies GS101-B (0517022) (ROA-007/21 y ROA-008/21).

Centro Logístico de Transmisiones

- 1 Patrón de cesio Agilent Technologies 5071A (ROA-002/21, ROA-014/21, ROA-047/21 y ROA-055/21, mediante la técnica CV).

Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial “ESTEBAN TERRADAS”

- 1 Patrón de Cesio Symmetricom 5071A-001 (ROA-017/21, mediante la técnica CV).

Flotilla de aeronaves

- 2 Patrones de Rubidio Symmetricom 8040C (ROA-019/21 y ROA-057/21).

Asimismo, se sigue proporcionando apoyo técnico al Laboratorio Central de Metrología y Calibración de la Armada, mediante el préstamo de un sistema de tiempo y frecuencia disciplinado a GPS, TimeTech, previamente calibrado en el ROA.

En el marco de la Metrología Legal, se han continuado las colaboraciones con el CEM, que conforme a lo previsto en la Ley de Metrología (Ley 3/1985, de 18 de marzo), tiene la responsabilidad nacional en dicha área.

El CEM está integrado en la Asociación Metrológica Europea (EURAMET), a la que pertenecen un total de 38 países europeos, además de la propia Comisión Europea. Dentro de esta organización, como Instituto Designado, este Real Instituto y Observatorio de la Armada ejerce la representación de la metrología española en el campo del Tiempo y de la Frecuencia.

Durante los días 24 y 25 de marzo, se celebra por vía telemática la reunión anual del Comité Técnico de Tiempo y Frecuencia de EURAMET. Participan una treintena de científicos de los principales laboratorios europeos que tienen como misión, al igual que el ROA, mantener y difundir la escala de tiempo de sus respectivos países. La Oficina Internacional de Pesas y Medidas fue representada por su máxima autoridad en el área, la Directora de la Sección de Tiempo y Gravimetría Dra. Patrizia Tavella.

Durante la reunión se analizaron los resultados de los proyectos de cooperación en curso, entre los que se encuentra la calibración de enlaces de tiempo mediante los sistemas de navegación global por satélite GNSS. El CF. Héctor Esteban Pinillos, director de las últimas campañas llevadas a cabo en el seno de este proyecto, presenta el informe de avance del mencionado proyecto: *“Project 1156. EURAMET G1G2 calibration organized by ROA”*.

Durante la reunión se felicita a los tres laboratorios europeos del Grupo 1 (OP, PTB y ROA) por el gran esfuerzo realizado, y se les conmina a seguir realizando nuevas campañas de calibración, dado el elevado número de laboratorios del Grupo 2 pendientes de calibración.

El ROA, junto a otros institutos nacionales de metrología (INM) e institutos designados (ID), es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo del Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM-MRA) (<http://www.bipm.org/en/cipm-mra>). A resultas de este acuerdo, el ROA y el resto de LL.AA. ofrecen un conjunto de capacidades de medida y calibración (CMCs) reconocidas por todos los firmantes del acuerdo y las entidades de acreditación nacionales, que garantizan la trazabilidad metrológica al SI.

4.3. Servicio de Cronometría Naval

Se ha continuado con el control anual de los cargos de relojería y cronometría de la Armada con la ayuda de una aplicación informática y la posterior publicación en la intranet de la de Armada de un enlace que permite la gestión telemática del material existente en buques y dependencias, como se muestra en la figura 4.12, facilitando las tareas administrativas entre los usuarios y la Sección de Cronometría.

Se entregan en concepto de auxilio varios cronómetros digitales al submarino Isaac Peral (S-81). Asimismo, se efectuó reparación, ajuste y comprobación de la Central Horaria STF del BAC “Cantabria” y otra asignada al BPE “Juan Carlos I”.

A falta de la central horaria naval IOM-01 asignada al B/E Juan Sebastián Elcano se recibe prácticamente la totalidad del cargo de cronometría para su revisión y puesta a punto.

Se revisa, repara y ajusta un reloj de mamparo mecánico asignado a la EDAN y 3 relojes aeronáuticos de la Décima Escuadrilla FLOAN.

Se realiza un test de comprobación y fallos de la central horaria TS-19SR perteneciente al BAM "AUDAZ" (P-45).

A petición de AYUMARDIZ se recorre, repara y ajusta el reloj mecánico de la Torre de la Ayudantía Mayor de la Base Naval de La Carraca, tras cierto tiempo inoperativo.

Finalmente, se realizaron actuaciones de mantenimiento correctivo a un total de 26 elementos de relojería y cronometría naval, así como a 8 relojes mecánicos aeronáuticos de la Flotilla de Aeronaves.

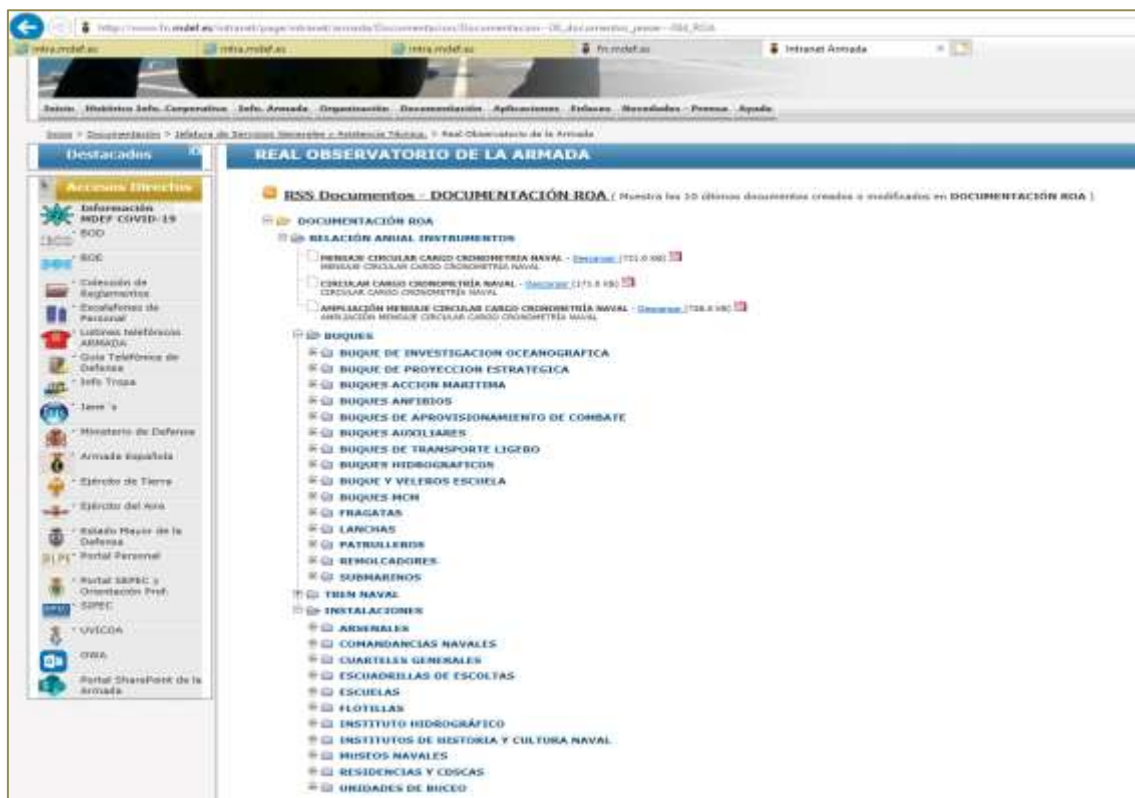


Figura 4.12: Publicación de cargos de relojería y cronometría en la intranet de la de Armada.

4.4. Proyectos de Investigación

4.4.1. Proyectos Nacionales e Internacionales

Durante el año 2021, se han iniciado/mantenido los siguientes Proyectos de Investigación:

▪ **Calibraciones de enlaces GPS en apoyo del CCTF-K001.UTC. (Proyecto 1156 EURAMET).**

Proyecto coordinado por el CF. Héctor Esteban Pinillos Jefe de la Sección de Hora del Observatorio.

En base a la recomendación del CCTF en su reunión de 2009, aunque el BIPM continuará estudiando la caracterización de equipos GNSS (basados en Sistemas de Satélites de Navegación Global) en uso para establecer los enlaces de tiempo entre algunos institutos que contribuyen con sus relojes al TAI, deben ser las propias Organizaciones Metrológicas Regionales, y entre ellas EURAMET, las que apoyen esta actividad organizando campañas de calibración enlazando institutos cuyos equipos han sido o serán caracterizados por otros institutos. En este sentido, el presente proyecto planea:

- Identificar las necesidades actuales de los laboratorios pertenecientes a EURAMET.
- Identificar los equipos recomendables.
- Organizar campañas bilaterales o multilaterales de visitas de un laboratorio que actúe como piloto.
- Informar resultados al BIPM en un formato que deberá ser desarrollado en trabajo conjunto con miembros del Grupo de Trabajo del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo de CCTF, y del propio BIPM.

En este proyecto participan un total de 16 institutos europeos, incluyendo entre ellos al ROA.

▪ **Comparación suplementaria: Medidas de Intervalo de Tiempo (Proyecto 1485 EURAMET).**

La comparación clave en el dominio del tiempo y la frecuencia (TF), CCTF-K001.UTC, ofrece a los laboratorios participantes trazabilidad al segundo SI, a través de los datos UTC-UTC(k) publicados periódicamente. Esto permite determinar los desplazamientos en frecuencia de las realizaciones de las escalas de tiempo nacionales, así como respaldar las medidas realizadas en tiempo y frecuencia. Sin embargo, la CCTF-K001.UTC por sí sola no certifica la capacidad del laboratorio para realizar las medidas en el dominio del TF. Un aspecto importante a tener en cuenta es la destreza para realizar medidas de intervalo de tiempo, ya que son indispensables para una correcta calibración de los sistemas de transferencia de tiempo, la determinación de los retrasos de la señal y el control de la sincronización.

Esta Comparación Suplementaria coordinada por GUM (Polonia) y en la que participan además 21 institutos europeos, tiene como objetivo apoyar los

requerimientos relativos a las capacidades de medida y calibración (CMC) en intervalo de tiempo.

4.5. Personal

En el mes de enero se jubila de forma anticipada el ITA D. José Antonio Lima Mosteiro, tras haber dado lo mejor de sí y haber realizado un magnífico trabajo, y en el mes de octubre alcanza la edad de jubilación la Técnico Superior D^a. Concepción Coserría Prián, tras más de 40 años de servicio, y donde sus muestras de paciencia, amabilidad y buen hacer, han sido un ejemplo para los demás.

Como resultado del proceso selectivo iniciado en enero de 2020 y concluido en el mes de noviembre de 2021 (BOE Núm. 285), en el mes de diciembre embarcan los tres siguientes ITA: la Ingeniera Técnica Informática de Gestión e Ingeniera Informática D^a. Verónica Bazán Suárez, el Ingeniero de Telecomunicaciones D. Ignacio Cortés Delgado y el Ingeniero Técnico Industrial de Electrónica D. José Luis Lema.

Formación del personal clave de la Sección

El ROA afronta desde el año 2014 el gran reto de diseñar y desarrollar a medio plazo sus propios patrones ópticos, para lo cual dispuso la formación de personal del LHROA en tecnologías ópticas y electrónicas. Primero cursando másteres afines a la tecnología óptica en la universidad pública nacional, y posteriormente adquiriendo una formación más especializada junto a equipos de trabajo ya consolidados y con amplia experiencia, integrantes del proyecto EMPIR (Programa de Metrología Europea para la Innovación e Investigación) OC18: “Optical clocks with $1E-18$ uncertainty”.

El pasado 15 de marzo, el TN. D. Héctor Álvarez Martínez defendió, en sesión semi-presencial, su trabajo de tesis doctoral en la *Sorbonne Université* de París (antigua *Université Pierre et Marie Curie*), dentro del programa de doctorado de Ciencias. Además de las felicitaciones de todos los miembros del tribunal, el doctorando obtuvo el Título de Doctor en Ciencias por la Universidad de París, reseñada anteriormente, y por la Universidad Autónoma de Madrid con la más alta distinción de Sobresaliente Cum Laude.



Figura 4.13: Acto de Defensa de Tesis Doctoral del TN. D. Héctor Álvarez.

Asimismo, por Resolución 631/14683/21 de 16 de septiembre (BOD núm. 182) los oficiales TN. D. Jesús Romero González y TN. D. Antonio Estarellas Perales pasan destinados en septiembre a la Sección de Hora, tras haber finalizado el segundo año de Máster en la especialidad de Fotónica por la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), y con el cual han alcanzado una base amplia y sólida en diferentes áreas de la fotónica, así como en los fundamentos teóricos y experimentales de la óptica cuántica y no lineal, circuitos fotónicos e ingeniería óptica.

Además, el TN. Jesús Romero ha iniciado en el mes de octubre una estancia de investigación (18SIB05-RMG2) en el departamento de Systèmes de Référence Temps-Espace (SYRTE) del Observatorio de París (OP), cuyo objetivo es el diseño de un ralentizador Zeeman y el enfriamiento de átomos mediante radiación láser, dentro del programa EMPIR ROCIT: “*Robust Optical Clocks for International Timescales*”. También está previsto que se integre el equipo de expertos que va a diseñar y desarrollar un reloj óptico portátil de Iterbio, dentro del proyecto ROYIMAGE (*hoRloge Optique à Ytterbium Mobile Appliquée à l’exploration GEodésique*).

En la figura 4.14 el TN. Jesús Romero está realizando el acoplamiento del haz láser (556 nm) en la fibra óptica. De tal forma, es posible direccionar la luz láser para hacerla interaccionar con átomos de Iterbio dentro de la cámara de vacío y así, ver su fluorescencia y poder analizar su espectro.

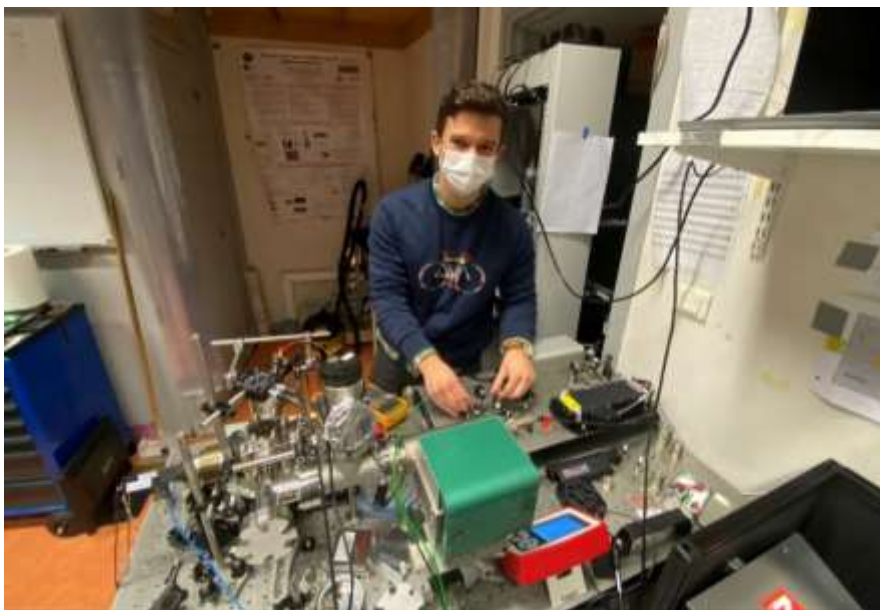


Figura 4.14: El TN. Jesús Romero en el laboratorio del reloj óptico de Iterbio, en OP-SYRTE (París).

Del mismo modo, el ITA José Manuel Suárez Ramírez de Arellano realizó una estancia formativa de cuatro meses de duración en el NPL (*National Physical Laboratory*) del Reino Unido, bajo el mismo proyecto ROCIT (18SIB05-RMG1), relativa al sistema de control ARTIQ (*Advanced Real-Time Infrastructure for Quantum physics*), que está basado en dispositivos FPGA (*Field Programmable Gate Arrays*), y cuyo fin es el simplificar y aunar el control de los diferentes dispositivos involucrados en el funcionamiento de un reloj óptico, bajo una misma plataforma software. Este será el sistema de control que se usará en el desarrollo del CIROEs, para lo cual ha implementado un repositorio de scripts que será mantenido y actualizado en colaboración con el NPL.

4.6. Otros hechos de interés

Proyecto CIROEs: Construcción e Implementación de un Reloj de red Óptica de Estroncio (Sr)

El ROA afronta desde el año 2014 el gran reto de diseñar y desarrollar a medio plazo sus propios patrones ópticos, para lo cual inició la formación de personal en tecnologías ópticas y electrónicas. Primero cursando másteres afines a la tecnología óptica en la universidad pública española, y posteriormente adquiriendo una formación más especializada junto a equipos de trabajo bien asentados y con amplia experiencia, integrantes del proyecto EMPIR (Programa de Metrología Europea para la Innovación e Investigación) 15SIB03: “Optical clocks with 1E-18 uncertainty”.



Figura 4.15: Sistema de Referencia Óptico (ORS) y peine de frecuencias ópticas del proyecto CIROEs.

A finales de 2018, se realizó una propuesta para el proyecto para la Construcción e Implementación de un reloj de red óptica de Estroncio (Sr) “CIROEs”, dentro del programa de I+D de Defensa. El proyecto con núm. de expediente 1003219003400 fue publicado y finalmente adjudicado a finales de 2019 a la empresa Ingemation Ingeniería, S.L. El contrato de suministro del proyecto tiene un importe total de 1.447.399,65 €, siendo el plazo total de ejecución de la prestación desde la fecha de firma del mismo hasta el 31 de octubre de 2022.

Durante todo el 2021 la empresa Ingemation ha realizado varias actuaciones en el Laboratorio de Hora, además de proporcionar todos los entregables correspondientes a la presente anualidad, conforme con lo especificado en los pliegos de cláusulas administrativas particulares y de prescripciones técnicas del contrato. En la figura 4.15 se muestra la sala del reloj óptico, donde pueden apreciarse el peine de frecuencias y el sistema de referencia óptico, elementos clave para poder acometer las primeras fases de desarrollo del proyecto.

Cabe reseñar, que los nuevos patrones ópticos están demostrando una exactitud y una estabilidad sin precedentes, en partes de 10^{18} , dos órdenes mejor que los actuales patrones primarios de microondas.

Jornada “La unidad de tiempo: El segundo” organizada por el Instituto de la Ingeniería de España.

El 19 de mayo, se celebró una jornada dedicada a la unidad básica de tiempo, el segundo, organizada por el Instituto de la Ingeniería de España (IIE), con la participación del CEM y el ROA. El acto se desarrolló de forma virtual (Webinar) y fue seguido en directo por un buen número de personas. Además del acto de presentación, la jornada consistió en una mesa redonda moderada por la Dra. María Ana Sáenz Nuño, vocal del comité de metrología del IIE.

El acto inaugural fue presidido por el Director del IIE, D. José Trigueros Rodrigo, el Director del CEM, D. José Ángel Robles Carbonell, y el CN. (R) D. Francisco Javier Galindo Mendoza, exdirector del ROA, y profesor titular en la reserva del departamento de Hora de la Escuela de Estudios Superiores.



Figura 4.16: CN. F.J. Galindo durante la presentación de la jornada.

Tras la presentación y justificación de la oportunidad, a cargo del presidente del comité de metrología del IIE, D. Antonio Moreno Calvo, se desarrolló la mesa redonda centrada en tres presentaciones sobre la medida del tiempo preciso como unidad fundamental, presente y futuro. El acto fue clausurado por el director del CEM, que felicitó a todos los participantes, en especial a los ponentes del ROA, así como a la Armada por su constante preocupación por la medida precisa del tiempo, ligada a la necesidad histórica de posicionamiento en la mar.

50 Aniversario de la creación de la Sección de Hora del Real Instituto y Observatorio de la Armada.

La ligazón entre la astronomía y el tiempo permaneció inalterable a lo largo de los siglos, hasta que la invención del primer reloj atómico en 1955 y la consiguiente redefinición de la unidad de tiempo (1967), llevaron al establecimiento del Tiempo Atómico Internacional y de la escala de referencia internacional de Tiempo Universal Coordinado. Paralelamente, el ROA asume mediante real decreto la responsabilidad de la determinación, mantenimiento y difusión de las escalas temporales, de acuerdo con

los requisitos internacionales, para lo cual crea su Sección de Hora en 1971, segregándose definitivamente de la Sección de Astronomía.

Durante estos cincuenta años, la Sección no ha parado de crecer y adaptarse a las exigencias técnicas y de calidad que rigen en este ámbito de la metrología, manteniendo un protagonismo y un reconocido prestigio en el ámbito internacional.

Inauguración y jornadas conmemorativas.

El 23 de noviembre tuvo lugar en el Salón de Actos del ROA el acto de inauguración de las Jornadas conmemorativas del 50 aniversario de la creación de la Sección de hora. El acto fue presidido por el Almirante Jefe de Servicios Generales y Asistencia Técnica, el Excmo. Sr. D. Rafael Fernández-Pintado Muñoz-Rojas, el Secretario General de Industria y de la Pequeña y Mediana Empresa, D. Raúl Blanco Díaz, el Comandante Director del Real Instituto y Observatorio de la Armada, D. Antonio Ángel Pazos García, y la Concejala de Educación y Cultura del Ayuntamiento de San Fernando, Dña. María José Foncubierta Delgado.



Figura 4.17: Inauguración de las Jornadas conmemorativas.

Como consecuencia de tan reseñable efeméride se han celebrado en el ROA tres reuniones, al más alto nivel, enmarcadas en el ámbito de la metrología nacional.

Reunión de la Comisión de Metrología Legal (CML)

La Comisión se reunió el 22 de noviembre, que tiene como misión informar y proponer los asuntos relativos a la regulación de instrumentos, laboratorios y organismos intervinientes en el control metrológico del Estado.

Las competencias ejecutivas en materia metrológica legal las ostentan las Comunidades Autónomas, por lo que participan además del CEM, los responsables en materia de metrología de cada Comunidad.



Figura 4.18: Reunión de la Comisión de Metrología Legal.

Pleno del Consejo Superior de Metrología (CSM)

El Consejo Superior de Metrología es el órgano superior de asesoramiento y coordinación del Estado en materia de metrología científica, técnica, histórica y legal. El pleno se reunió el 23 de noviembre y fue presidido por el Secretario General de Industria y de pequeña y Mediana Empresa. Este Consejo cuenta con un representante del ROA que recae en la figura del Jefe de la Sección de Hora. Además, en esta ocasión, el CN. (R) D. Francisco Javier Galindo Mendoza actuó como representante del Ministerio de Defensa.



Figura 4.19: Pleno del Consejo Superior de Metrología.

Comisión de Laboratorios Asociados al Centro Español de Metrología

Esta comisión reunida el 24 de noviembre, es el órgano encargado de informar y proponer de cuantos asuntos se refieran a la metrología científica o fundamental. En particular dicha Comisión elabora y revisa anualmente un Plan de Desarrollo y Mantenimiento de Patrones Nacionales e informa las propuestas de reconocimiento de

nuevos Patrones Nacionales y de nombramiento de nuevos Laboratorios Asociados. El representante del ROA en la citada comisión es el Jefe de la Sección de Hora.



Figura 4.20: Foto de familia de la Comisión de Laboratorios Asociados (CLA-CEM).

Exposición temporal en el Museo Naval de San Fernando

Dentro del programa de las jornadas conmemorativas de la creación de la Sección de Hora, el 23 de noviembre tuvo lugar el acto inaugural de la exposición temporal *“Centinelas del tiempo: relojes que cambiaron el mundo”* con la que el ROA quiso acercar su historia y sus valiosos fondos históricos al público en general, con motivo de esta efeméride, presentando 56 piezas entre instrumentos, fondos bibliográficos y documentos. Esta exposición permaneció abierta al público hasta el 31 de enero de 2022.



Figura 4.21: Acto inaugural de la exposición temporal en la biblioteca del Museo Naval de San Fernando.



Figura 4.22: Panel anunciador y entrada a la exposición temporal en el Museo Naval de San Fernando.

Conferencia principal de las “jornadas 50 aniversario de la Sección de Hora”

El 23 de noviembre se celebró en el Palacio de Congresos de las Cortes de la Real Isla de León, la conferencia magistral a cargo de la Directora del Departamento de Tiempo de la Oficina Internacional de Pesas y Medidas, Dra. Patrizia Tavella, con el título: “La medida del tiempo y la navegación: una larga historia de fertilización mutua. Tendencias y desafíos futuros del Tiempo Universal Coordinado y contribución del ROA”.



Figura 4.23: Dra. Patrizia Tavella durante su conferencia.

La doctora Tavella, máxima autoridad mundial en el campo de la metrología del tiempo, presentó un recorrido desde el problema de la determinación del tiempo hasta los retos futuros de la elaboración de la escala UTC, mostrando como el ROA, entre otros laboratorios de tiempo de relevancia mundial, ha contribuido de forma muy activa en el progreso de esta labor.

5. Servicio de Biblioteca y Archivo

El Servicio de Biblioteca y Archivo cumple con las funciones que le fueron encomendadas sobre el Patrimonio Documental (Archivo), Bibliográfico (Biblioteca) y Museológico (Colección Museográfica) conservado en el ROA. Dichas funciones aparecen recogidas en la Instrucción de Organización número 1/2011, de 27 de enero que se estableció la vigente organización del Real Instituto y Observatorio de la Armada.

En este sentido, desde el Servicio de Biblioteca y Archivo del ROA se desarrollan las líneas de trabajo encaminadas a cubrir las necesidades y mejoras necesarias para el correcto funcionamiento, identificación, descripción-catalogación, conservación y difusión del Patrimonio Bibliográfico conservado en el Real Instituto y Observatorio de la Armada, atendiendo a la regulación normativa, tanto estatal, como del Ministerio de Defensa, que afectan al Patrimonio Español.

5.1. Fondos

5.1.1. Fondos bibliográficos: monografías, cartografía y publicaciones periódicas

La creación en 1753 del Real Observatorio de Cádiz, producto de la política ilustrada, fue un hito importante en el desarrollo científico de la España del siglo XVIII. La conjunción entre enseñanza, práctica e investigación contribuyó rápidamente al aumento de importancia de su Biblioteca que, desde un primer momento, fue considerada como un instrumento científico más. Primero Jorge Juan, y más adelante Tofiño, hicieron todo lo posible por consolidar y aumentar sus fondos, de tal forma que en 1798, cuando el Observatorio de la Marina fue trasladado a su nuevo emplazamiento en la Isla de León, ya se reservó una sala para ubicación de la Biblioteca en el edificio que había sido construido por el Marqués de Ureña.

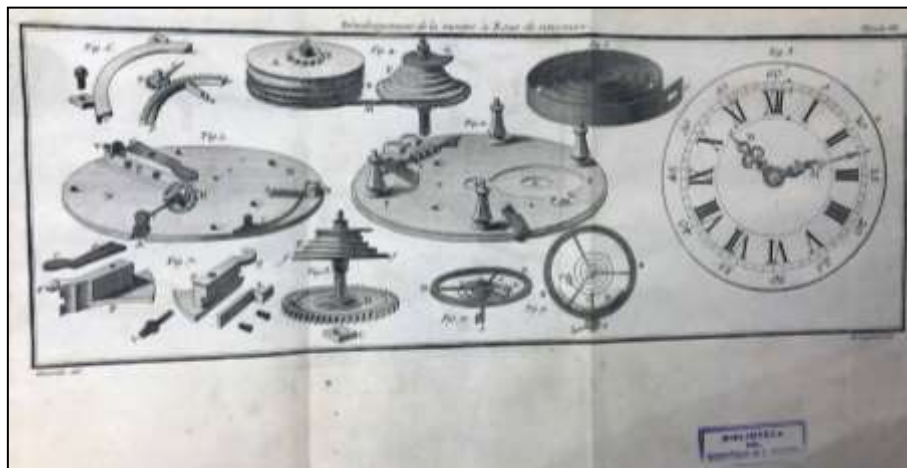


Figura 5.1: The PRINCIPLES of Mr. Harrison's time-keeper with plates of the same (1767).

Durante el siglo XIX se produjo un continuo incremento de los fondos bibliográficos del Observatorio, motivado esencialmente por tres causas: la recogida de obras de otros centros de la Armada, el encargo de libros al extranjero y el intercambio de publicaciones con otras instituciones. A partir de 1856, la creación del Curso de Estudios Superiores con sede en el Observatorio, siguiendo la tradición iniciada en el siglo anterior, cuando determinados oficiales de la Armada llevaban a cabo los llamados estudios mayores,

fue origen de la adquisición de un importante número de libros de carácter especializado para las nuevas necesidades docentes. A lo largo del siglo XX la expansión de la Biblioteca continuó a buen ritmo, hasta el punto de que sus dependencias terminaron ocupando la mayor parte del edificio principal del Observatorio. En la actualidad, sus fondos forman una de las más interesantes bibliotecas científicas del país, inseparable del quehacer científico del Observatorio y de las tareas docentes de la Escuela de Estudios Superiores de la Armada.



Figura 5.2: Salas II, III y IV de la Biblioteca del ROA.

A principios de 2021 la Biblioteca del ROA estaba formada por 28.627 volúmenes pertenecientes a 13.869 obras catalogadas, incluido el fondo antiguo. Además de las publicaciones periódicas, procedentes de intercambios con otras instituciones, a lo largo de este año, se han recibido en la Biblioteca 43 nuevas obras procedentes en gran parte de adquisiciones por el propio Observatorio y de la Subdirección General de Publicaciones y Patrimonio Cultural de Defensa. De todas ellas, han ingresado, directamente, en el fondo bibliográfico un total de 18 obras, relacionadas con temas históricos y científicos de referencia para los fines del ROA. Como consecuencia de la falta de espacio y de la necesidad de valorarlas adecuadamente antes de incluirlas en la colección bibliográfica, las restantes obras están pendientes de evaluación, en función de si su temática es afín a los objetivos de la Biblioteca del ROA. Por otro lado, las publicaciones periódicas representan una parte importante del material que entra en la Biblioteca. A las suscripciones que se mantienen, hay que añadir un buen número de publicaciones periódicas de carácter científico que, con bastante regularidad, llegan a San Fernando, de diversos países de todo el mundo, gracias al intercambio con las publicaciones editadas por el Observatorio.

Además de monografías y publicaciones periódicas, la Biblioteca del Observatorio conserva una interesante colección de material cartográfico, compuesta principalmente por cartografía náutica de las costas españolas de los siglos XVIII y XIX. Después de varios años de trabajo, el proceso de catalogación de la colección de cartas, mapas y planos del Observatorio finalizó durante el segundo semestre de 2001. Unos meses más tarde, a principios de 2002, fue publicado y puesto a disposición de los investigadores el catálogo de la colección. Esta colección de materiales cartográficos fue completamente digitalizada, gracias a un proyecto de colaboración con el Archivo Naval de Cartagena desarrollado a lo largo de los años 2007 y 2008. Los 28.800 ficheros digitales obtenidos a lo largo del proceso de digitalización están almacenados en dos discos duros externos instalados en el Centro de Cálculo del Observatorio y accesibles mediante la red local. Uno de ellos (CARTO1) contiene las imágenes de la colección y el otro está destinado a almacenar la copia de seguridad (CARTO2). Dado que estos dos discos duros habían quedado obsoletos y estaban presentando problemas para acceder a su contenido, así como riesgos de vulnerabilidad de seguridad a través de Internet para la Red Científica del ROA, se ha procedido a la migración a nuevos discos duros. De esta forma se ha garantizado la conservación y accesibilidad a los ficheros digitalizados, así como la integridad de la Red Científica.

Más adelante, durante el segundo semestre de 2011, se incorporaron a la colección 485 nuevos mapas, que fueron catalogados por el personal contratado para el Archivo. Con estas nuevas incorporaciones, la colección de Cartografía del Real Observatorio de la Armada pasó a estar formada por 3.968 unidades cartográficas, todas ellas están debidamente catalogadas. Se está trabajando con la Subdirección General de Publicaciones y Patrimonio Cultural de Defensa para abordar el próximo año la catalogación y digitalización de estos 485 mapas y completar así la colección cartográfica del ROA.

5.1.2. El Archivo Histórico: fondos documentales y fotográficos

El Archivo Histórico del ROA, integrado en el Subsistema Archivístico de la Armada, contiene documentación que refleja tanto las funciones administrativas, como las investigaciones y trabajos científicos desarrollados en la Institución desde 1768. Durante la segunda mitad del año 2013, gracias a la asistencia técnica “Incorporación al Archivo Histórico de documentación procedente del Archivo Científico de la Sección de Geofísica del Real Instituto y Observatorio de la Armada (ROA) en San Fernando (Cádiz)”, promovida desde la Subdirección General de Publicaciones y Patrimonio Cultural y desarrollada por personal de la empresa Normadat, se incorporaron al Archivo 342 unidades de instalación (cerca de 43 metros lineales de documentación).

A lo largo del año 2016, gracias a las prácticas de empresa del Máster de Patrimonio Histórico de la Universidad de Cádiz, el alumno Antonio Ruiz Herrera, se llevó a cabo la última incorporación de documentación al Archivo (104 nuevas cajas con documentación). A partir de entonces, el Archivo Histórico del Observatorio quedó formado por un total de 2.178 cajas, 1.111 libros manuscritos y 90 legajos de gran tamaño.

Durante 2018 y 2019 se llevaron a cabo nuevas transferencias de documentación procedente de las secciones del Centro. Finalmente, durante las primeras semanas de 2021 se ha concluido la integración de estos fondos en el Archivo Histórico (aproximadamente 25 metros lineales) y se ha actualizado el Inventario, gracias a una asistencia técnica promovida por la Subdirección General de Publicaciones y Patrimonio Cultural y desarrollada por personal de la empresa Ingemation.



Figura 5.3: Depósito del Archivo Histórico del Real Instituto y Observatorio de la Armada.

Otro trabajo, aún en fase de elaboración, ha sido la regulación del sistema de transferencias y en la elaboración de un calendario de transferencias que permita tanto coordinar estos trabajos entre las diferentes Secciones del ROA y el Archivo del Centro, como estimar el volumen de crecimiento anual del fondo documental. Junto a esto, se han elaborado unas normas de acceso a sala de consulta para investigadores, en consonancia con la normativa estatal y del Ministerio de Defensa. Para poder cumplir con dichas normas de acceso, se han tomado medidas para adecuar las instalaciones para el acceso a sala de los investigadores (habilitando taquillas para dejar elementos que no pueden introducirse en la sala de consulta, consulta de documentación digitalizada en equipos informáticos al efecto (preservando los originales), asesoramiento para búsquedas de información, “control” de usuarios en sala...).

Por otro lado, durante los últimos años se ido reuniendo en el Archivo el material fotográfico que hasta hace poco tiempo estaba disperso por las oficinas y las secciones científicas. Nos encontramos ante una colección de materiales fotográficos compuesta por los negativos en placa de vidrio de observaciones astronómicas (realizadas desde las últimas décadas del siglo XIX hasta 1980) y por los positivos en papel (que reflejan la actividad del Observatorio en ese mismo período de tiempo, con numerosas vistas de las instalaciones, de sus instrumentos y de su personal).

En el primer grupo se incluyen la colección de las placas de vidrio del proyecto de la Carta del Cielo (1889-1920), formada por más de 2.500 placas que ya están catalogadas y digitalizadas. Por otro lado, habría que reseñar las 287 cajas (con una media de 12 placas cada una) procedentes de diversas observaciones realizadas con el astrógrafo Gautier entre 1920 y 1980, además de las observaciones realizadas con otros instrumentos en San Fernando o por personal del Observatorio con motivo de diversos fenómenos astronómicos extraordinarios como pasos de Venus o eclipses de Sol en otros lugares (La Habana, Puerto Rico, Soria, Elche). Se trata de más de 3.000 fotografías en placas de vidrio que están pendientes de estudio de conservación, inventariado, descripción y digitalización.

Tal y como sucediera en 2020, durante los últimos meses de 2021 se ha puesto en marcha el trabajo de recuperación de la parte más antigua de esta colección de 287 cajas, cuyas placas no están inventariadas, ni descritas, además de no estar almacenadas de la forma más conveniente. Este trabajo, gracias a una asistencia técnica promovida por la Subdirección General de Publicaciones y Patrimonio Cultural, consiste en el inventariado de las placas, identificación de la técnica fotográfica, los soportes y las emulsiones utilizadas y el fenómeno fotografiado. Además, se ha procedido a la limpieza de los soportes y al estudio de su estado de degradación. Todo ello con vistas a su adecuada instalación y conservación preventiva. Se han utilizado sobres de cuatro solapas en papel pH neutro, cajas de conservación para materiales fotográficos a la medida del soporte y mobiliario específico para instalarlas y conservarlas adecuadamente. Una vez estabilizados los documentos, se procederá a su descripción y, posteriormente, se recomendará su digitalización. Respecto a las cajas con placas fotográficas pendientes de tratar, se han trasladado desde los armarios de madera del Salón Meridiano a otra instancia equipada con armarios metálicos, que ofrecen mejores condiciones de conservación para este tipo de soportes, en cuanto a incidencia de la luz, del polvo, de temperatura y de humedad se refiere.



Figura 5.4: Nueva instalación de las cajas con placas de vidrio por tratar (izquierda) y placas fotográficas tratadas en sobres de cuatro solapas y cajas de conservación (derecha).

El segundo grupo de material fotográfico, las fotografías en papel, está integrado por un número aún sin determinar de fotografías en blanco y negro y en color. A lo largo de 2018 se inició la descripción y digitalización de una gran parte de la colección de fotos en blanco y negro (unos 1.000 registros, mediante una asistencia técnica de la empresa AscDirect gestionada por la Subdirección General de Publicaciones y Patrimonio Cultural del Ministerio de Defensa, que precisamente ha indicado la necesidad de revisar esas descripciones. Quedan, como proyectos para el año venidero, elaborar un instrumento de control de la colección fotográfica (que permita conocer el volumen, soportes y alcance de la misma), revisar las descripciones, continuar con la descripción y digitalización de los positivos del fondo fotográfico y llevar a cabo una adecuada instalación de estos documentos.

5.1.3. La Colección Museográfica

A finales de 2015 fue creada la Red de Museos de Defensa mediante la Orden de Defensa número 2532/2015 de 18 de noviembre, en la que se definen los procedimientos para la gestión de los bienes muebles del Patrimonio Histórico Español adscritos al Ministerio de Defensa. Según esta disposición oficial, se entiende por colección museográfica el conjunto de bienes culturales que, sin reunir todos los requisitos necesarios para desarrollar las funciones propias de un museo, están organizadas siguiendo criterios museológicos, tienen un régimen de visitas establecido y disponen de medidas de conservación y seguridad. Como consecuencia de ello, la mencionada Orden reconoció a la Colección Museográfica del Real Observatorio de la Armada como una de las colecciones patrimoniales de la Armada. Esta colección museográfica está integrada tanto por la Colección de Instrumentos Antiguos como por el resto de los bienes culturales del Centro dados de alta en el Sistema MILES como fondos patrimoniales.

A lo largo de 2021 la colección museográfica se ha incrementado en cinco piezas, pasando a estar formada por un total de 1.255 Bienes. Destacan, entre otras, la incorporación de un cronómetro Thomas Mercer (en su caja de transporte original y buen estado de conservación), un cronómetro marino Longines (c. 1930, en buen estado de conservación), un Receptor Loran C (c. 1980) y un horizonte artificial Troughton & Simms (London) de finales del siglo XIX, en perfectas condiciones de conservación, donado por D. Tomás Masso Bolibar el 2 de junio. Asimismo, se ha incorporado a la colección museográfica, concretamente a la galería de retratos de Directores del ROA, el lienzo de (CN.) D. Francisco Javier Galindo Mendoza, quien fuera Director del ROA hasta el año 2021.



Figura 5.5: Horizonte artificial / Troughton & Simms.

En relación con los fondos patrimoniales es importante destacar el resultado de la ejecución del Convenio bilateral de cooperación entre el Ministerio de Defensa y la Entidad Pública Empresarial Red.es para la digitalización y puesta a disposición de los ciudadanos del Patrimonio Cultural del Ministerio de Defensa, firmado en Madrid el 9 de diciembre de 2014. Este convenio, puesto en marcha en la segunda mitad del año 2015, estuvo dirigido a la digitalización del patrimonio cultural de tres instituciones militares consideradas por el Ministerio como instituciones culturales destacadas: el Museo del Ejército (Toledo), el Archivo General de Marina (El Viso del Marqués) y el Real Instituto y Observatorio de la Armada (San Fernando).

Como consecuencia del desarrollo de este convenio, durante los últimos meses de 2015 y las primeras semanas de 2016 trabajó en el Observatorio un equipo de técnicos de la empresa Libnova con el objetivo de conseguir imágenes digitales en 360° de las piezas de la Colección Museográfica. Aunque inicialmente se pensó en centrar los trabajos exclusivamente en la Colección de Instrumentos Antiguos, el desarrollo de los trabajos permitió abarcar la totalidad de las piezas de la colección patrimonial que en ese momento estaban dadas de alta en el Sistema MILES como bienes del patrimonio histórico. Estas imágenes comenzaron a ser volcadas a la Biblioteca Virtual del Ministerio de Defensa a partir del año 2017, y desde entonces están disponibles en esa plataforma digital para su consulta.

Otro trabajo de importancia realizado en los últimos años ha sido la digitalización de las matrices de grabado de la Carta del Cielo, planchas de cobre usadas para la impresión de las hojas en papel que presentan el resultado de la participación del Observatorio de San Fernando en el proyecto internacional de la Carta del Cielo (1887-1940). En el desarrollo del proyecto se procedió a la limpieza, restauración, inventariado y clasificación de las 403 matrices de grabado conservadas (planchas de cobre), para después pasar a su digitalización siguiendo las prescripciones técnicas del tratamiento de los fondos museográficos indicados en el *Manual de digitalización para fondos bibliográficos, documentación de archivo y fondos museográficos*, publicado por la Subdirección General de Publicaciones y Patrimonio Cultural del Ministerio de Defensa.

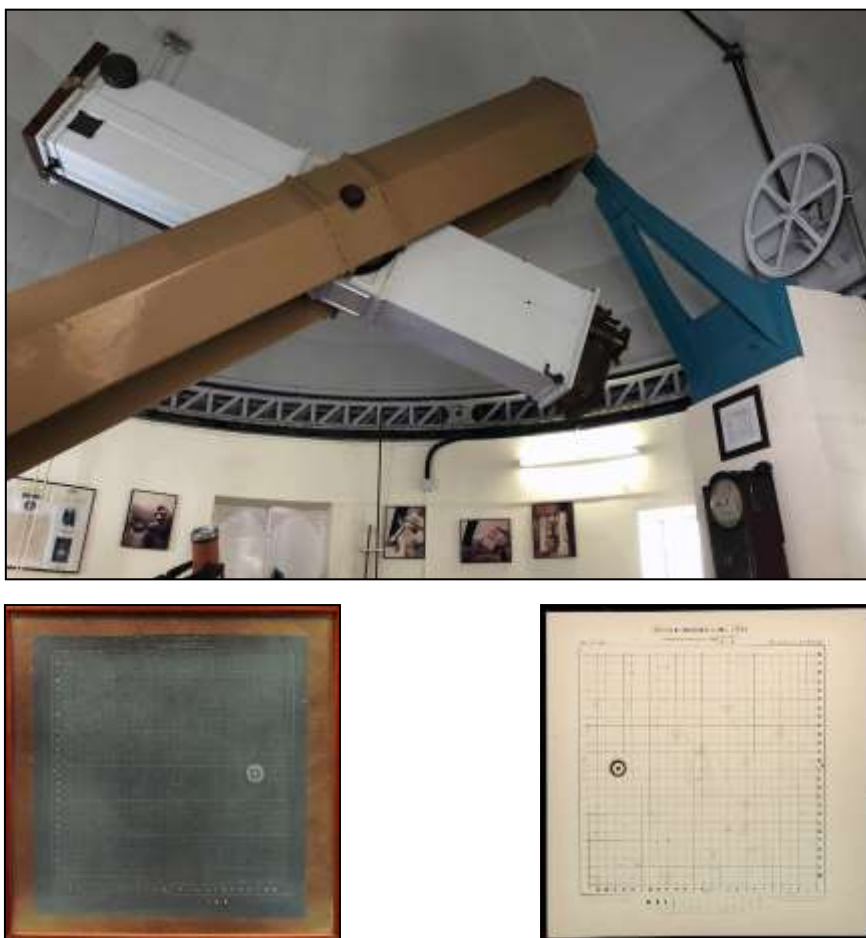


Figura 5.6: Pabellón de la Carta del Cielo, matriz de grabado y su impresión en papel.

Finalmente, otro de los proyectos acometidos y finalizados a lo largo del año ha sido la obra de adecuación del Salón Meridiano, que se ha desarrollado a lo largo del segundo semestre. Con ella, no sólo se ha puesto en valor del Patrimonio Inmueble del edificio principal del ROA, sino que también se ha buscado devolverle el aspecto original que tuvo en su día esta parte del Observatorio, utilizando para ello la fotografía histórica conservada en el ROA. Junto a ello, se han eliminado ataques biológicos que afectaban a la estructura, a los fondos patrimoniales y al mobiliario, se ha instalado el instrumental científico en sus lugares originales, se ha estudiado su integración en el recorrido de la colección museográfica que hacen las visitas guiadas al Centro y se ha aprovechado para adaptar los accesos al edificio principal a las personas con movilidad reducida, de forma que puedan disfrutar del Patrimonio de Defensa conservado en el ROA.

5.1.4. El patrimonio cultural del ROA en la Biblioteca Virtual de Defensa

En los últimos años el Ministerio de Defensa ha impulsado la creación de un portal dedicado a la consulta y difusión de materiales digitales relacionados con su patrimonio cultural. Así nació la *Biblioteca Virtual de Defensa*, una interesante herramienta para facilitar la conservación, consulta y difusión del patrimonio cultural generado y custodiado por los organismos dependientes del Ministerio de Defensa. Esta Biblioteca Virtual de Defensa recoge, además del repositorio institucional de las publicaciones del Ministerio, otros fondos de tipología muy diversa procedentes de archivos, bibliotecas y museos militares (códices, impresos, grabados, fotografías, instrumentos científicos). Desde un primer momento, esta Biblioteca Virtual ha incluido la descripción y las imágenes digitales de fondos pertenecientes al patrimonio cultural del Real Instituto y Observatorio de la Armada.

El Real Instituto y Observatorio de la Armada ha contribuido a la difusión del Patrimonio de Defensa con las imágenes de los libros de la Biblioteca digitalizados para el proyecto de la *Biblioteca Virtual del Patrimonio Bibliográfico Español*, las piezas de la Colección Museográfica y, por último, de los materiales correspondientes al proyecto de la Carta del Cielo. Con estos últimos, la Biblioteca Virtual de Defensa ha creado un micrositio en el que se pueden encontrar las imágenes digitales relacionadas con el citado proyecto: los instrumentos de observación y medición, las placas de vidrio con los registros fotográficos, el Catálogo Astrofotográfico de San Fernando, las hojas impresas de la Carta Fotográfica del Cielo correspondientes a la zona de San Fernando (720 hojas) y la colección de las planchas de cobre (matrices de grabado) usadas para imprimir las hojas impresas de la Carta Fotográfica del Cielo (413 planchas).

5.2. Consultas, préstamos y difusión

5.2.1. Instalaciones y servicios

Tradicionalmente, el principal servicio ofrecido por la Biblioteca a sus usuarios es el préstamo de publicaciones en tres modalidades: préstamo a las Secciones, préstamo a los alumnos de Estudios Superiores y préstamo en sala de consulta. El personal científico y técnico del Observatorio utiliza principalmente los fondos modernos de la Biblioteca, que son aprovechados para el mejor desarrollo de sus proyectos y trabajos de investigación. El préstamo en sala es propio de los usuarios externos al ROA. A lo largo de 2021 se han realizado un total de 511 préstamos, entre consultas puntuales en sala y préstamos propiamente dichos. Se han atendido solicitudes del personal y de las diferentes Secciones del Observatorio, de alumnos de la Escuela de Estudios Superiores y de usuarios externos para consulta en sala de investigadores. Respecto a

los usuarios externos al ROA, se ha atendido a un total de 7 usuarios externos para consulta de ejemplares en sala (entre los meses de mayo a diciembre de 2021).

La consulta del catálogo, el préstamo en sala, el préstamo a las distintas secciones, la fotocopia y la reproducción digital están autorizados, y se realizan con normalidad. El personal de Archivo y Biblioteca desarrolla sus tareas profesionales en las oficinas contiguas a la sala de consulta, donde se encuentran el catálogo de publicaciones periódicas (en fichas manuscritas), los instrumentos de referencia en papel y uno de los equipos informáticos con acceso a Intranet.



Figura 5.7: Apiano, *Astronomicum caesareum* (1540).

Tras un primer período de acceso limitado en la intranet de Defensa, el *Catálogo Colectivo de las Bibliotecas de Defensa* (CCBD), en el que está incluida la Biblioteca del Real Instituto y Observatorio de la Armada, quedó abierto a la consulta en Internet a partir del 30 de abril de 2011. Desde entonces, y hasta la actualidad, funciona con normalidad permitiendo la consulta de nuestros fondos bibliográficos desde cualquier dispositivo conectado a Internet (www.bibliodef.es).

5.2.2. Usuarios externos

En cumplimiento de la normativa vigente, cualquier investigador o usuario externo tiene libre acceso a la consulta de los fondos de la Biblioteca y del Archivo Histórico, aportando los datos correspondientes para cumplimentar una ficha de investigador y aceptando unas normas de acceso a sala de consulta, comunes a las establecidas en los centros del Ministerio de Defensa y del Ministerio de Cultura y Deporte. Aunque no en gran número, es constante la presencia de este tipo de personas que, a partir del Patrimonio conservado en el ROA elaboran sus trabajos de investigación.

Las consultas telemáticas al Archivo suman un total de 43 (entre los meses de mayo a diciembre de 2021). Se ha atendido a usuarios de diversas provincias españolas (Coruña, Madrid, Sevilla, Santiago de Compostela, Guipúzcoa, Cádiz, entre otras), así como internacionales (Colombia y Reino Unido). La temática de las consultas ha abarcado desde la propia documentación manuscrita de Archivo, a la colección fotográfica con fines de elaboración de artículos de investigación, tesis doctorales, guías de viaje y montaje de exposiciones, entre otros motivos. En cuanto a su volumen, la

mayor parte de las consultas procedían de usuarios externos al ROA correspondiendo las restantes (4 en total) a usuarios internos.

Las consultas telemáticas a la Biblioteca ascienden a un total de 32 (entre los meses de mayo a diciembre de 2021). Su procedencia incluye a instituciones públicas, instituciones relacionadas con el Patrimonio Cultural, Universidades e instituciones privadas. En cuanto a su volumen, la mayor parte de las consultas procedían de usuarios internos del ROA (23 en total), correspondiendo las restantes a usuarios externos.

Tanto para las peticiones al Archivo, como a la biblioteca, el tiempo de respuesta ha sido inferior a 72 horas (de media) desde la recepción de la consulta en el Servicio de Archivo y Biblioteca. Igualmente se han respondido consultas que se habían recibido durante el periodo en que el Servicio de Archivo y Biblioteca no contó con personal técnico al frente. Sobre las consultas de las cuales no constaba información en el ROA, se han reorientado a los Centros pertinentes, tanto del Ministerio de Defensa, como del Ministerio de Cultura, con el fin de ayudar a los interesados.

En cumplimiento de las *Normas de reproducción con medios propios del usuario en los Archivos del Sistema Archivístico de Defensa* del Ministerio de Defensa, se han autorizado un total de 116 reproducciones por medios propios de documentación del Archivo Histórico del ROA. Para ello, el personal técnico ha evaluado previamente los aspectos legales y de conservación de dicha documentación. Además se ha informado al usuario de los criterios que deben respetarse en cuanto al uso de dichas imágenes y se ha supervisado, en todo momento, que las capturas se realizasen según recoge la Norma. Junto a esto, se han servido un total de 41 documentos digitalizados (entre los meses de mayo a diciembre de 2021), incorporándoles la correspondiente marca de agua del ROA, así como los datos de referencia de cada documento (signatura).



Figura 5.8: Sala de investigadores del Servicio de Biblioteca y Archivo

Nuestro fichero de usuarios nos ha permitido contabilizar, durante 2021, el uso del Patrimonio Documental y Bibliográfico conservado en el ROA por 7 investigadores externos, interesados en el desarrollo de tesis doctorales, trabajos de investigación histórica relacionados con historia de la ciencia, expediciones ilustradas, instrumentación científica y estudios específicos de matemáticas, física, astronomía, geofísica y geodesia, tanto en su desarrollo histórico, como en su temática actual.

5.2.3. Colaboración con la Red de Bibliotecas de Defensa

Con vistas a potenciar la difusión del Patrimonio de Defensa, se ha llevado a cabo una actualización y reelaboración parcial de contenidos (textos) del micro-sitio del ROA dentro de la web de Armada, para mejorar la visibilidad del Patrimonio y prestar un eficiente servicio a la ciudadanía.

Asimismo, el ROA ha continuado realizando visitas culturales al Observatorio, atendiendo siempre a las medidas sanitarias establecidas. En este sentido, podríamos incluir aquí la adecuación y mejora del acceso para personas con movilidad reducida, tanto a las salas de la Biblioteca, como al propio edificio principal del ROA, facilitándoles el recorrido durante las visitas guiadas y el acceso al Patrimonio del Observatorio.

Dado que las consultas a través de Internet han aumentado en los últimos tiempos, tanto por la comodidad de evitar desplazamientos, como por las restricciones sanitarias, las solicitudes de documentos digitalizados también se incrementaron. En este sentido, para facilitar la adecuada identificación del Patrimonio de Defensa conservado en el ROA, se ha elaborado una marca de agua para añadirla a las imágenes digitalizados solicitados por los investigadores. Se incorpora, además, la signature del mismo.



Figura 5.9: Imagen de una consulta de fondos en la Biblioteca Virtual de Defensa.

Otro aspecto relevante para la difusión del Patrimonio de Defensa conservado en el ROA es el préstamo temporal de piezas a exposiciones, que se expone con detalle en el apartado 5.3.2. Relacionado con esto, se remitió un dossier sobre la exposición “Centinelas del Tiempo: relojes que cambiaron el mundo” a la Revista Española de Defensa para ampliar la difusión del evento.

Por otro lado, y como consecuencia de las gestiones realizadas por la Unidad de Coordinación Bibliotecaria del Ministerio de Defensa ante la Subdirección General de Coordinación Bibliotecaria del Ministerio de Cultura y Deporte, la Biblioteca del Real Instituto y Observatorio de la Armada continuó, durante 2020, su colaboración con el *Catálogo Colectivo del Patrimonio Bibliográfico* y con la *Biblioteca Virtual del Patrimonio Bibliográfico*. El *Catálogo Colectivo del Patrimonio Bibliográfico* responde a un programa conjunto del citado Ministerio y las Comunidades Autónomas, de acuerdo con la Ley 16/1985 de Patrimonio Histórico, cuyo objetivo es la descripción y localización de libros

y otros fondos bibliográficos, depositados en bibliotecas e instituciones españolas públicas o privadas, que por su antigüedad, singularidad o riqueza forman parte del Patrimonio Histórico Español.

Esta colaboración se ha completado, como en años anteriores, con la participación de la Biblioteca del Observatorio en la *Biblioteca Virtual del Patrimonio Bibliográfico*, un proyecto cooperativo cuyo objetivo es la difusión de colecciones de manuscritos y libros impresos antiguos que forman parte del Patrimonio Histórico Español mediante facsímiles digitales. En la página web de la citada Biblioteca Virtual (BVPB) (<http://bvpb.mcu.es/es/consulta/busqueda.cmd>) están ya disponibles para su consulta completa 378 obras (498 volúmenes) de la Biblioteca del Observatorio, pertenecientes a los siglos XV, XVI, XVII y XVIII. El trabajo de digitalización (237.216 páginas) fue desarrollado entre 2008 y 2011 y en 2017 por la empresa Digibis, a iniciativa de la Subdirección General de Coordinación Bibliotecaria del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.

5.2.4. Conservación

Continuando con los proyectos anteriores y teniendo en consideración la situación del Archivo, la Biblioteca y la Colección Museográfica, a continuación se detallan las principales actuaciones y proyectos desarrollados entre mayo y diciembre de 2021, buscando cubrir las necesidades y mejoras necesarias para la correcta conservación, accesibilidad y difusión del Patrimonio conservado en el ROA.

En cuanto al Archivo Histórico se llevó a cabo el traslado temporal e instalación de parte del depósito de Archivo en otro edificio para evitar posibles daños-catástrofes por las obras que se están llevando a cabo en el edificio principal del Observatorio (Salón Meridiano). Ello no implicó que se suprimiese el servicio de atención a usuarios, externos e internos, tanto en consultas en sala, como a través del servicio de referencias, a pesar de las obras en el edificio principal y de que el depósito de archivo ha sido trasladado temporalmente.



Figura 5.10: Nueva ubicación provisional del Archivo del ROA durante las obras acometidas en el Salón Meridiano.

Se llevó a cabo una evaluación específica sobre el estado de conservación de la documentación fotográfica para establecer el orden de actuación de la asistencia técnica dedicada a la conservación-restauración de la documentación fotográfica en soporte cristal.

Asimismo, mediante una empresa de limpieza se estuvo trabajando en una de las salas de depósito de Archivo. Finalmente, se pusieron en marcha trabajos de control y seguimiento de la evolución de ataques biológicos (hongos e insectos) en la documentación de Archivo instalada en el sótano del edificio principal.

En cuanto a las salas de la Biblioteca, se está trabajando en la búsqueda de una solución a los problemas de temperatura, humedad relativa y ataques biológicos (hongos e insectos) en las salas de la biblioteca, que permita al mismo tiempo conservar el Patrimonio Documental y mantener las visitas guiadas.

Para ello, se inició una evaluación del estado de los fondos patrimoniales, así como un seguimiento de las condiciones de conservación de los materiales en las diferentes salas y depósitos. Para ello, se ha utilizado un medidor calibrado con dos sensores para conocer los valores de temperatura y humedad relativa. Estos sensores han ido rotándose a lo largo del último semestre del año por las salas de la Biblioteca, con idea de obtener los valores de ambos parámetros en cada sala y a lo largo del año. Una vez completada la rotación, obtendremos unos valores que nos permitirán conocer las fluctuaciones en cada estación y actuar en consecuencia para mejorar la conservación del Patrimonio conservado en el ROA.

Relacionado con lo anterior está la evaluación puntual con termo-higrómetros y luxómetros de las condiciones de temperatura, humedad relativa e iluminación de las salas de la Biblioteca para mejorar las condiciones de conservación preventiva. Asimismo, se han adquirido tres equipos deshumidificadores para las salas de la biblioteca que permitirán controlar, mantener y evitar las fluctuaciones de humedad relativa que tan perjudiciales son para la conservación del Patrimonio. En las salas de la planta superior del edificio principal se ha llevado a cabo un seguimiento y actuación frente a ataques biológicos en el mobiliario de la Biblioteca para su control y eliminación.

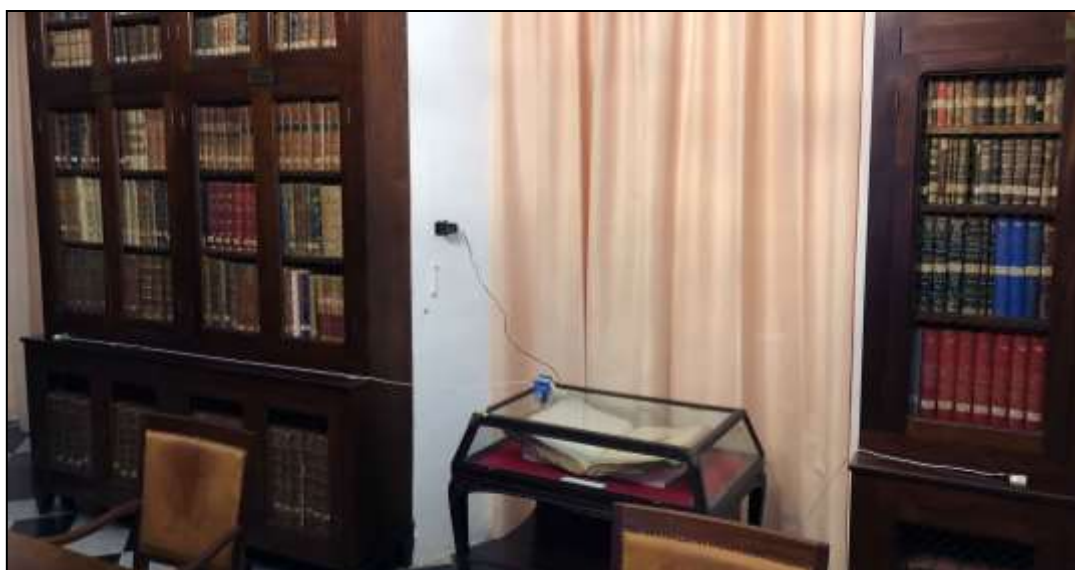


Figura 5.11: Sensores de medición de T-HR en la sala II de la Biblioteca del ROA.

Como medida de conservación preventiva, se propuso a la Subdirección General de Publicaciones y Patrimonio Cultural de Defensa la reproducción facsimilar de las obras de fondo antiguo expuestas de forma permanente en las salas de la biblioteca. Dado que algunas de ellas llevan expuestas de forma continuada desde hace más de dos décadas y que estas obras son uno de los alicientes de la Biblioteca para las visitas guiadas al ROA, entendemos que, sustituir los originales por facsímiles es la mejor solución, tanto para la conservación de los originales, como para la difusión del Patrimonio Bibliográfico.

Por otra parte, se ha llevado a cabo la transferencia de los ficheros de las obras de la Biblioteca digitalizadas a nuevos soportes. Los discos duros en que se conservaban habían quedado obsoletos y, al estar instalados en Red, suponían un riesgo para la seguridad de la Red Científica del ROA, además del problema de perder los ficheros de imágenes de la colección cartográfica y del fondo bibliográfico digitalizados.

Finalmente, durante el mes de octubre se llevó a cabo la limpieza de las salas VI, VII y VIII del edificio principal a través de la empresa IslaPlagas. Las dos primeras salas contienen Patrimonio Bibliográfico y Museográfico y la última de ellas contiene Patrimonio Documental y Museográfico. Se procedió al vaciado del mobiliario y a su limpieza, así como la de los ejemplares que se encuentran en cada una de las salas.

5.3. Otras actividades

5.3.1. Actividades docentes y de investigación

Durante el curso académico 2020-2021, el ROA ha continuado participando en la labor docente con la Universidad de Cádiz a través del *Máster Oficial de Arqueología Náutica y Subacuática*, cuya clase ha sido impartida por el Dr. D. Francisco José González.

5.3.2. Exposiciones

El Patrimonio Documental, Bibliográfico y Museográfico del Real Instituto y Observatorio de la Armada, está compuesto por importantes documentos, obras y piezas de un interés muy especial para la historia de las Ciencias. Algunas de las piezas más representativas del Patrimonio están expuestas en las vitrinas distribuidas por todas las salas del edificio principal, lo cual permite que el público asistente a las visitas guiadas pueda conocer de cerca este Patrimonio. En la actualidad, por los motivos expuestos en el apartado de conservación, los fondos bibliográficos serán sustituidos por facsímiles, permitiendo así conservar los originales, al tiempo que mantener la actual exposición, titulada *Los libros de los Marinos de la Ilustración*. A través de ella se intenta presentar un panorama general de los fondos bibliográficos antiguos, con vitrinas dedicadas a incunables, post-incunables, Pedro Apiano, la Revolución Científica, el arte de navegar, la figura de la Tierra, el Real Observatorio de Cádiz y la Marina ilustrada.

Por otro lado, desde hace ya algunos años se mantienen en la página Web del Observatorio cuatro exposiciones virtuales: *De Ptolomeo a Copérnico* (libros de los siglos XV y XVI), *Observando el cielo de la bahía* (documentos científicos del siglo XVIII), *Anteojos y cuadrantes* (instrumentos astronómicos del siglo XVIII) y *Relojes para la navegación* (cronómetros marinos de los siglos XIX y XX).

A lo largo del año, las salas de la biblioteca han acogido exposiciones de documentos y libros preparadas con motivo de diversas visitas, como las realizadas por el Director del

Instituto de Historia y Cultura Naval, (VA) Marcial Gamboa (8 de junio), por el asesor de la Excm. Sra. Ministra de Defensa D. Abraham Sanz Encinar (10 de agosto) o la de la Subdirectora General de Publicaciones y Patrimonio Cultural de Defensa (17 de noviembre), entre otras personalidades.

Además, durante 2021 el Real Instituto y Observatorio de la Armada cedió en préstamo temporal múltiples piezas del Patrimonio que conserva a diferentes exposiciones temporales. Por un lado, previa comisión de servicios para evaluar el estado de conservación y exposición de las piezas, se prorrogó el préstamo temporal a la exposición titulada “Tocar el cielo, explorar el espacio”, que permanecerá abierta en el Parque de las Ciencias de Granada hasta diciembre del año 2022. Los fondos prestados fueron ocho en total: Astrolabio astronómico (0117 / PH) [copia de un original de 1563], Cuarto de círculo Ramsden (0084/PH), Espectroscopio estelar Browning (0127/PH) y varias fotografías referentes a la separación de la cápsula espacial Apollo VIII (S-IVB) realizadas por Oscar Rodríguez (0458/FOT, 0459/FOT, 0460/FOT, 0461/FOT, 0462/FOT).



Figura 5.12: Fondos del ROA en la exposición del Parque de las Ciencias.

Asimismo, el ROA ha colaborado con la exposición celebrada en el Centro de Iniciativas Culturales (CICUS) por la Universidad de Sevilla titulada “Imago mundi. Libros para tiempos de barbarie y civilización” que permanecerá abierta entre el 10 de noviembre de 2021 y que finalizará al 25 de febrero de 2022.

La exposición se enmarca en los actos celebrados con motivo de los 25 años de 'Ivorypress' y reflexiona sobre la imagen del mundo, el libro y la ciudad, sobre la civilización y la barbarie, a través de la relectura y de la conexión que se hará entre volúmenes del pasado y libros de artistas contemporáneos. El fin de la muestra es reunir un conjunto de obras que enfatizen en los logros y anhelos que cada sociedad ha proyectado en sus libros y que han perdurado en el tiempo.

En total reúne casi 200 obras, de toda las épocas, entre libros, cuadros, esculturas, utensilios relacionados con la escritura o la navegación, mapas.... Alrededor de la mitad de las piezas pertenecen a la colección de la Hispalense, mientras que la otra mitad han llegado a la exposición prestadas por 36 museos e instituciones nacionales e internacionales, entre las que se encuentran el Monasterio de El Escorial, la Catedral de Sevilla, la Biblioteca Nacional de España, el Museo Reina Sofía, el Real Instituto y Observatorio de la Armada de San Fernando, el MOMA de Nueva York, la Universidad de Stanford o la British Library.

La exposición se ha estructurado en un prólogo y cuatro apartados (*La ciudad y los libros*, *La palabra revelada*, *El control de la memoria*, *El naufragio del papel* y *El viaje de los libros*). A lo largo de su recorrido se pueden contemplar las 20 piezas con las que ha participado el ROA (12 del Patrimonio Bibliográfico, 2 Cartas fotográficas de la Carta del Cielo y 6 instrumentos científicos de la Colección Museográfica), entre ellas el *Astronomicum caesareum* de Petrus Apianus (ROA 15963), el *Atlas coelestis* de John Flamsteed (ROA 17271), el *Nouveau theatre d'Italie, ou description exacte de ses villes, palais...* de Joan BLAEU (ROA 06220), el *Mundus subterraneus, in XII libros digestus* de Athanasius KIRCHER (ROA 05409), un *Cronómetro marino* de Ganter (ROA-PH 0399), un *Telescopio refractor* de Dollond (ROA-PH 0119) o el *Teodolito de primer orden* de Brunner (ROA-PH 0007).

Las redes sociales de la Universidad de Sevilla, del Ministerio de Cultura y Deporte (a través del Portal PARES), entre otras, así como la prensa han difundido tanto la exposición, como las conferencias, proyecciones, conciertos y demás actos que se han celebrado ([ABC](#)) ([20 minutos](#)) ([Diario de Sevilla](#))



Figura 5.13: Fondos del ROA en la exposición de la Universidad de Sevilla (CICUS).

Finalmente, el Instituto de Historia y Cultura Naval ha acogido, en una de las salas del Museo Naval de San Fernando, la exposición temporal organizada por el propio Observatorio, que celebra la efeméride del cincuenta aniversario de la creación de la Sección de Hora del Real Instituto y Observatorio de la Armada (San Fernando). La muestra ha permanecido abierta al público desde el 23 de noviembre de 2021 y que finalizará el 31 de enero de 2022.

Bajo el título “Centinelas del Tiempo: relojes que cambiaron el mundo”, las 8 secciones en que se estructura el discurso expositivo, presentan la relación de los marinos con la determinación de la Hora, el papel que jugó la Armada Española en el siglo XVIII introduciendo en España la cronometría de precisión, así como la evolución de los instrumentos y de la determinación de la Hora a lo largo de los siglos XIX y XX.

La exposición está compuesta por un total de 56 piezas, entre instrumentos científicos, Patrimonio Documental, Bibliográfico y reproducciones fotográficas de piezas y documentos. La mayoría de las piezas expuestas pertenecen al ROA, destacando algunas de ellas como Octante Spencer, Browning and Rust (ROA 0061), Sextante Stancliffe (ROA 0026), Anteojo de pasos Troughton & Simms (ROA 0021), Teodolito astronómico Bamberg (ROA 0041), Cronómetro marino Johannsen (ROA 0077), Reloj de bitácora Losada (ROA 0382), Transmisor de Señales Horarias Brillié-Leroy (ROA 0134), Cronógrafo Ditisheim (ROA 0132), Reloj de péndulo libre Shortt (ROA 0045) y Reloj de péndulo esclavo Synchronome (ROA 0047), Central horaria Oscilloquartz (ROA 0553), la obra de John Harrison, *The principles of Mr. Harrison's time-keeper* (ROA 02792) o documentos del Archivo Histórico del ROA como *Comparación de los estados observados y calculados a la fecha +90 días de los cronómetros que para pruebas remitió D. José R. Losada* (ROA-AH 0087) o el libro *Inventario general de los instrumentos pertenecientes al Observatorio Real de Marina de Cádiz, sacado del original que ha sido formado en esta fecha Cádiz 11 de febrero de 1789 problemas de navegación* (ROA-AH 1081).

También hay piezas expuestas como fruto de la colaboración con otras instituciones como el Museo Naval de Madrid, al que pertenecen la *Ampolleta para medir media hora* (MNM 292), el *Reloj de longitud Berthoud nº 39* (MNM 1332) y el *Cronómetro marino de 1ª Arnold nº 5* (MNM 1328). Otro buen ejemplo de colaboración son las piezas prestadas por el Museo Naval de San Fernando: *Cuadrante* (MNSF 2401) y *Ballestilla* (MNSF 2400). Ya a nivel internacional, la exposición cuenta con reproducciones fotográficas de piezas que se conservan en el National Physical Laboratory, en el Royal Museums Greenwich y en el Science Museum of London.

Para la exposición se ha editado un catálogo que contiene varios textos de divulgación científica e histórica y que se cierra con la ficha descriptiva de cada una de las piezas expuestas. La obra está accesible de manera gratuita en el Catálogo de Publicaciones de Defensa (<https://publicaciones.defensa.gob.es/centinelas-del-tiempo-relojes-que-cambiaron-el-mundo.html>). De igual forma se el folleto de mano de la exposición recoge un resumen explicativo de cada uno de los bloques que conforman el discurso expositivo y que lleva un código QR para que el visitante pueda acceder al catálogo de la exposición. Como complemento a las piezas expuestas, se han incluido en las vitrinas códigos QR que permiten ampliar la información de las piezas expuestas.

Este Patrimonio de Defensa, expuesto a lo largo del recorrido expositivo, permite difundir la labor de esta Sección, la importancia de sus funciones, la evolución que tendrá en el futuro y el Patrimonio Documental, Bibliográfico y Museográfico relacionado con todo ello.

Las redes sociales del Ministerio de Defensa, así como la Revista Española de Defensa han dado difusión, tanto a la efeméride del aniversario, como a los actos celebrados con tal motivo, entre ellos, la exposición. De igual forma, la prensa hizo eco del evento publicando las siguientes noticias al respecto: [La Voz digital](#) [Diario de Cádiz](#) [Andalucía Información](#)



Figura 5.14: Vistas generales, de detalle y del montaje de la exposición Centinelas del Tiempo en el Museo Naval de San Fernando (Cádiz).

5.3.3. Restauración de encuadernaciones

Con motivo de la salida temporal de obras para la exposición “Imago mundi. Libros para tiempos de barbarie y civilización” se acordó con la Universidad de Sevilla la digitalización y restauración de varias obras en el Taller de Restauración y Reprografía, Sección de Fondo Antiguo y Archivo Histórico de la Biblioteca Rector Machado de la Universidad de Sevilla. Estos trabajos serán realizados por personal cualificado, tanto en la digitalización de fondos históricos, como en la restauración de obra gráfica. Las obras que se restaurarán a lo largo del año 2022 serán las que se relacionan a continuación:

Signatura: 15963

Título: *Astronomicum caesareum*

Autor: Petrus Apianus

Lugar: Factum et actum Ingolstadii : in aedibus nostris

Fecha: 1540

Signatura: 06220

Título: *Nouveau theatre d'Italie, ou description exacte de ses villes, palais...*

Autor: Jean Blaeu

Lugar: A Amsterdam: Par les soins de Pierre Mortier

Fecha: 1704



Figura 5.15: Estado de conservación del *Astronomicum Caesareum* (Pedro Apiano) (arriba) y del *Nouveau theatre d'Italie* (Joan Blaeu) (abajo) antes de la restauración.

Las obras que se digitalizarán y que contribuirán a mejorar la calidad de las imágenes que, actualmente, están a disposición de los usuarios en la Biblioteca Virtual de Defensa son:

Signatura: 01478
Título: *Observaciones astronómicas y físicas hechas de orden de S. Mag. ...*
Autor: JUAN, Jorge & ULLOA, Antonio de
Lugar: En Madrid: por Juan de Zúñiga, 1748
Fecha: 1748

Signatura: 06211
Título: *Encyclopédie, ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des...*
Autor: *DIDEROT, Denis*
Lugar: A Lucques: Chez Vicent Giuntini,
Fecha: 1759-1776

Signatura: 06214
Título: *Encyclopédie, ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des...*
Autor: *DIDEROT, Denis*
Lugar: A Lucques: Chez Vicent Giuntini,
Fecha: 1759-1776

Signatura: 06220
Título: *Nouveau theatre d'Italie, ou description exacte de ses villes, palais...*
Autor: Jean Blaeu
Lugar: A Amsterdam: Par les soins de Pierre Mortier
Fecha: 1704

Signatura: 08127
Título: *Relación histórica del viage a la América Meridional hecho de orden...*
Autor: JUAN, Jorge & ULLOA, Antonio de
Lugar: En Madrid: por Antonio Marín
Fecha: 1748

Signatura: 17271
Título: *Atlas coelestis*
Autor: FLAMSTEED, John
Lugar: London: [s.n.], Printed in the year MDCCLIII [1753]
Fecha: 1753

5.3.4. Otros trabajos de difusión: publicaciones y conferencias

Centinelas del tiempo: relojes que cambiaron el mundo. Catálogo de la exposición.
Real Instituto y Observatorio de la Armada
Ministerio de Defensa. Secretaría General Técnica, 2021.

“Aproximación al Patrimonio Documental, Bibliográfico y Museográfico del Observatorio”.

Manuel Rivas Fernández

Catálogo de la exposición “Centinelas del Tiempo: relojes que cambiaron el mundo”
Ministerio de Defensa. Secretaría General Técnica, 2021.

5.4. Personal

5.4.1. Personal

Durante 2021, el personal asignado al Servicio de Archivo y Biblioteca fue el siguiente:

D. Manuel Rivas Fernández
Cuerpo Facultativo de Archiveros, Bibliotecarios y Arqueólogos
(Técnico Superior de Archivos).

D. Francisco López Vico
(Jefe de Negociado).

5.4.2. Comisiones de servicio

D. Manuel Rivas Fernández.
Granada, Parque de las Ciencias (octubre).

D. Manuel Rivas Fernández.
Sevilla, Centro de Iniciativas Culturales de la Universidad de Sevilla (noviembre).

D. Manuel Rivas Fernández.
San Fernando (Cádiz), Museo Naval de San Fernando (noviembre).



Figura 5.16: Sala VIII – Archivo: Cálculos del Almanaque y Placas de la Carta del Cielo.

5.4.3. Reuniones

En el año 2021, se participó en las siguientes reuniones, a la que asistieron tanto el director del Observatorio, CN. Antonio A. Pazos García, como D. Manuel Rivas Fernández:

- El 16 de junio se celebró la Jornada de Trabajo para la Red de Bibliotecas de Defensa.
- El 17 de junio se celebró la Jornada de Trabajo del Sistema Archivístico de Defensa.
- El 13 de diciembre se participó en la segunda Jornada de Trabajo del Sistema Archivístico de Defensa.
- El 16 de diciembre se celebró la segunda Jornada de Trabajo para la Red de Bibliotecas de Defensa.

6. Escuela de Estudios Superiores de la Armada

La actual Escuela de Estudios Superiores en Ciencias Físico-Matemáticas de la Armada se identifica en sus orígenes con la propia Enseñanza Naval Militar (Compañía Náutica de Guardia Marinas), y con las primeras prácticas de la Astronomía Náutica en España (Observatorios Astronómicos). Vínculo, este último, que estará llamado a perpetuarse. Su historia puede seguirse a través de la legislación de cada época, y aunque en ocasiones se hayan producido discontinuidades, puede decirse que los Estudios Superiores en Ciencias siempre han estado ligados al Observatorio, primero en Cádiz y más tarde (desde el 1798) en San Fernando. Desde 1945, su funcionamiento en el Observatorio ha sido continuado y su actual nombre Escuela de Estudios Superiores en Ciencias Físico-Matemáticas procede de la reorganización de 1970.

La Escuela tiene por misión dar a reducidos grupos de Oficiales de la Armada una formación Físico-Matemática superior que les permita formar el núcleo de un profesorado cualificado en Ciencias Físico-Matemáticas para las Escuelas Superiores de la Armada y cubrir en general puestos que requieran una especial preparación científica y un conocimiento actual de la evolución de las Ciencias. La enseñanza está organizada en dos ciclos: Básico y Especialización.

Para cumplir la misión fundamental de la Escuela, el Ciclo Básico, (Curso de Estudios Superiores en ciencias Físico-Matemáticas, EESS), está planificado de modo que cursado en su totalidad o en parte, eleve el nivel de preparación científica de los Oficiales seleccionados para una posterior especialización en las Escuelas Técnicas Superiores, Facultades Universitarias y Centros Científicos nacionales o extranjeros.

El Ciclo de Especialización, Máster en Astronomía y Geofísica (MAG), con una duración de dos años, está fundamentalmente dirigido a la preparación para la investigación y la docencia del personal científico del Real Instituto y Observatorio de la Armada.

6.1 Cursos EESS y MAG impartidos

A lo largo del año 2021, se han impartido los siguientes cursos:

- XXIII Máster en Astronomía, Geofísica y Hora (MAGH):

Este curso, de dos años de duración, comenzó el 2 de septiembre de 2019 y finalizó el 30 de julio de 2021. En septiembre del año 2020 comenzó el segundo año en universidades españolas, dos oficiales en la Universidad Politécnica de Cataluña y uno en la Universidad Complutense de Madrid.

Alumnos: TN. D. Jesús Romero González.
 TN. D. Antonio Estarellas Perales.
 AN. D. David Rodríguez Collantes.

- XXXII Curso de Estudios Superiores en Ciencias Físico-Matemáticas (ES):

Este curso, de un año de duración, comenzó en septiembre de 2020 y finalizó en julio de 2021.

Alumnos: AN. D. Pedro Luis Ortega Pérez.
 AN. D. Rafael Carrillo Navarro.

- XXIV Máster en Astronomía, Geofísica y Hora (MAGH):

Este curso, de dos años de duración, se realiza entre el 1 de septiembre de 2021 y el 30 de julio de 2023. En septiembre de 2021, comenzó el primer año que se realiza en la EES.

Alumnos: AN. D. Pedro Luis Ortega Pérez.

AN. D. Rafael Carrillo Navarro.

En los cursos anteriormente citados han participado los siguientes profesores titulares y asociados:

- CN. (Reserva) D. Francisco J. Galindo Mendoza.
- CN. D. Antonio A. Pazos García.
- CF. D. Manuel Catalán Morollón.
- CC. D. Héctor Esteban Pinillos.
- CC. ING. Don Juan Manuel González Sánchez (Profesor Número).
- CC. D. Lluís Canals Ros.
- CC. D. Sergio Borralló Tirado.
- TN. D. Héctor Álvarez Martínez.
- TN. Dña. María del Carmen Vélez López.
- TN. D. Roberto Cabieces Díaz.
- TN. D. Victor de Ory Guimerá.
- TN. D. Julián Fiz Barrena.
- TN. D. Antonio Estarellas Perales (desde agosto de 2021).
- TN. D. Jesús Romero Gonzalez (desde agosto de 2021).
- TN. D. David Rodríguez Collantes (desde agosto de 2021).
- ITA. D. Jose Manuel Suarez Rodriguez de Arellano (Profesor Asociado).

El 23 de abril cesa como Director el CN. D. Francisco J. Galindo Mendoza por pase a la reserva, pasando destinado en comisión de servicio como profesor titular de la EES, y toma la dirección de la Escuela el CN. D. Antonio A. Pazos García.

El 7 de julio se celebra el pleno de la junta de profesores, y el día 15 se clausura el curso XXXII Curso de Estudios Superiores en Ciencias Físico-Matemáticas (ES).

El 1 de septiembre se inaugura el curso escolar 2021-2022 en el salón de actos de la Escuela de Estudios Superiores con la asistencia de todos los profesores titulares, de número y asociados, además de los alumnos del

El curso 2020-2021 se realiza de forma presencial, tanto el XXXII Curso de Estudios Superiores en Ciencias Físico-Matemáticas, con 2 alumnos y que se imparte en la propia Escuela de Estudios Superiores, como el segundo año del XXIII Máster en Astronomía, Geofísica y Hora, con 3 alumnos y que se realiza en universidades españolas, concretamente en la Universidad Complutense de Madrid (1 alumno) y en la Universidad Politécnica de Cataluña (2 alumnos).

El curso 2021-2022 se realiza de forma presencial el primer año del XXIV Máster en Astronomía, Geofísica y Hora.

En septiembre se incorporan a la Escuela como profesores titulares el TN. Antonio Estarellas, el TN. David Rodríguez y el TN. Jesús Romero, si bien este último permanecerá durante todo el año académico 2021-2022 en París realizando un curso de especialización en relojes ópticos

Con fecha de efectividad de 1 de noviembre, el CN. (RESERVA) D. Francisco Javier Galindo Mendoza pasa destinado a la EES como profesor titular.

El 10 de diciembre se reunió la junta de profesores en comisión al objeto de determinar el perfil adecuado de los alumnos XXIV Máster en Astronomía, Geofísica y Hora.

6.2 Otras actividades

El 15 de noviembre de 2021, el Excmo. Sr. Almirante Director de Enseñanza Naval (ADIENA), Contraalmirante D. Alfonso Delgado Moreno, efectuó su primera visita oficial, tras su reciente toma de posesión, a la Escuela de Estudios Superiores de la Armada (EES) sita en el Real Instituto y Observatorio de la Armada de San Fernando (ROA).



Figura 6.1: ADIENA junto con la Dotación de la EES y el ROA.

A. Actividad Científica

A.1. Publicaciones

A.1.1. Publicaciones editadas por el Observatorio

A lo largo del año 2021, se realizaron las siguientes publicaciones oficiales:

- Almanaque Náutico 2022, con suplemento para la navegación aérea.
- Efemérides Astronómicas 2022.
- Investigaciones Científicas desarrolladas por el Real Instituto y Observatorio de la Armada en el año 2020.

A.1.2. Artículos en revistas

A lo largo del año 2021, el personal científico del Real Instituto y Observatorio de la Armada ha publicado un total de 10 artículos (ver los apartados correspondientes de las secciones científicas para más información) en revistas nacionales e internacionales:

- **Título:** Asthenospheric flow and plate tectonics in the Antarctic.
Autores: M. Catalán, Y. M. Martos.
Revista: Research Outreach, enero 2021.
 - **Título:** A short geological evolution history for the Alborán sea basin.
Autores: J.T. Vázquez, G. Ercilla, B. Alonso, M. Catalán, F. Estrada, C. Juan, J. Galindo-Zaldívar, D. Palomino, C. Sanz de Galdeano, R. Vegas, A. Ammar, A. Chalouan, E. d'Acremont, Ch. Gorini, D. do Couto, O. Azzouz, M. Benmakhlouf.
Revista: Springer monographic issue on Alboran Basin.
 - **Título:** Proyecto antártico ElGeoPower: Tecnología punta en la investigación científica.
Autores: M. Catalán.
Revista: Revista General de Marina.
 - **Título:** El cielo cae sobre nuestras cabezas.
Autores: M. Catalán, L. Canals.
Revista: Revista General de Marina.
 - **Título:** Echo-character distribution in the Cantabrian Margin and the Biscay Abyssal Plain.
Autores: A. Maestro, A. Gallastegui, M. Moreta, E. Llave, F. Bohoyo, M. Druet, J. Navas, S. Mink, F. Fernández-Sáez, M. Catalán, M. Gómez-Ballesteros, A. Muñoz-Martín, J.L. Granja-Bruña.
Revista: J. of Maps.17:2, 533-542, -14, doi: 10.1080/17445647.2021.1973917.
- Título** The ROA laser station: from artificial satellites to space debris tracking.
Autores: M. Catalán, M. Sánchez-Piedra, M. Larrán, A. Vera, F. della Prugna, J. Marín, and J. Relinque.
Revista: Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica. Vol 53, 161-165.

- **Título:** La Sección de Hora del Real Observatorio de la Armada: 50 años facilitando “tiempo” a los españoles.
Autores: J.M. González Sánchez y F.J. Galindo Mendoza.
Revista: Revista General de Marina, noviembre 2021.
- **Título:** La Sección de Hora del Real Observatorio de la Armada. 50 años de continuo progreso para satisfacer necesidades de “tiempo” al más alto nivel.
Autores: F.J. Galindo Mendoza.
Revista: e-medida, núm. 19, diciembre de 2021.
- **Título:** La Sección de Hora del Real Observatorio de la Armada. 50 años de continuo progreso para satisfacer necesidades de “tiempo” al más alto nivel.
Autores: CF. Héctor Esteban Pinillos.
Revista: Revista Española de Defensa, núm. 381, marzo de 2021.

A.2. Comunicaciones en congresos

A lo largo del año 2021, el personal científico del ROA ha presentado un total de 3 comunicaciones, 1 en congresos nacionales y 2 en congresos internacionales:

A.2.1. Nacionales

- **Autores:** A. Maestro, G. Jané, F. Fernández, E. Llave, F. Bohoyo, J. Navas, S. Mink, M. Druet, M. Gómez, J. Martín, M. Catalán, A. Carbó, A. Muñoz, J.L. Granja.
Título: Cartografía del ecocáracter del Margen Continental de Galicia y de las llanuras abisales adyacentes.
Congreso: X Congreso Geológico de España.
Lugar: VTC, 5 al 7 julio 2021.

A.2.2. Internacionales

- **Autores:** R. Cabieces, A. Olivar-Castaño, T. C. Junqueira, J. Relinque, L. Fernandez-Prieto, J. Vackár, B. Rösler, J. Barco, A. Pazos, L. García-Martínez.
Título: Integrated Seismic Program (ISP): A new Python GUI based software for earthquake seismology and seismic signal processing.
Congreso: European Seismological Commission 2021.
Lugar: VTC, 24 septiembre 2021.

A.3. Participación en comités, congresos y reuniones

A.3.1. Nacionales

- El 25 de enero el CF. Manuel Catalán participa en una reunión telemática de la Comisión Mixta que la Armada mantiene con el Ejército del Aire. Al margen de otros asuntos, se trató la activación de la colaboración entre el Centro de Operaciones de Vigilancia Espacial (COVE) y el ROA en lo referente a actividades SSA.
- El 2 de febrero el CF. Manuel Catalán y el TN. Roberto Cabieces participan en una reunión telemática con personal investigador de diferentes instituciones y universidades del estado (Univ. de Granada, universidad de Jaén, Instituto Jaime Almera,...) para realizar una puesta en común de los resultados

alcanzados por cada uno de estos grupos en el análisis de las crisis sísmica que desde finales del año 2020 viene acaeciendo en la zona granadina.

- El 16 de febrero el CN. Fco. Javier Galindo, el CN. Antonio Pazos, y el CF. Manuel Catalán participan en una reunión telemática de coordinación de la campaña ZEEE-21 previa a la reunión del comité director del Plan de Investigación Científica de la ZEEE.
- El 17 de febrero el CF. Manuel Catalán participa telemáticamente en una mesa redonda organizada por la Universidad Complutense de Madrid sobre las salidas profesionales en Geofísica.
- El 19 de febrero el CN. Fco. Javier Galindo, y el CF. Manuel Catalán participan en la reunión del comité director del Plan de Investigación Científica de la ZEEE. Esta reunión tuvo lugar de forma telemática.
- El 26 de marzo tuvo lugar la primera reunión de la Sección de Geomagnetismo y de Geodesia de la Comisión Española de Geodesia y Geofísica, participando el CF. Manuel Catalán en la de Geomagnetismo, y el TN. Manuel Sánchez Piedra en la de Geodesia. El CF. Manuel Catalán fue elegido Presidente de la Sección de Geomagnetismo, y el TN. Manuel Sánchez Piedra fue elegido Secretario de la de Geodesia.
- El 26 de marzo se celebran las reuniones constitutivas de las secciones de Geodesia y Geomagnetismo de la Comisión Española de Geodesia y Geofísica.
- El 7 de abril se celebra la reunión constitutiva de la Sección de Geofísica Aplicada de la Comisión Española de Geodesia y Geofísica, participando el CN. Antonio A. Pazos.
- El 8 de abril se celebra la reunión constitutiva de la Sección de Sismología y Física del Interior de la Tierra de la Comisión Española de Geodesia y Geofísica. Participando el TN. Roberto Cabieces.
- El 18 de mayo, el director del ROA, CN. Antonio A. Pazos García, mantiene una reunión en Madrid con la Sociedad Española de Estudios para la Comunicación Fija a través del Estrecho de Gibraltar (SECEGSA) para consensuar el corredor del Protocolo general de actuación entre la Armada, a través del ROA y SECEGSA.
- El 19 de mayo el CF. Manuel Catalán participa en la XIV reunión del Grupo de Trabajo de Cartografía Marina. Esta reunión tuvo lugar de forma telemática.
- El 9 de junio el Director, CN. Antonio Pazos y el CF. Manuel Catalán participan en una reunión telemática con el Director de la Agencia Estatal de Investigación. El propósito de la reunión era el tratar la problemática del ROA al no poder optar a la consideración de beneficiario a ayudas públicas en el marco del Programa Estatal de Generación de Conocimiento y Fortalecimiento Científico y Tecnológico del Sistema de I+D+i, destinadas a organismos de investigación y de difusión de conocimiento, desde el año 2019 (Orden CNU/320/2019, de 13 de marzo). Este hecho impide no solo a poder concurrir a las convocatorias de proyectos, sino también impide participar en calidad de componentes de equipos de investigación en solicitudes lideradas por otras instituciones.

- El 21 de julio el CF. Manuel Catalán participa en la reunión preparatoria de la Campaña Antártica 2021-2022. Esta reunión tuvo lugar de forma telemática.
- El 22 de junio, el CN. Antonio Pazos participa en la reunión virtual del patronato de la Fundación CEIMAR.
- El 23 de junio, el CN. Antonio Pazos y el CF. Manuel Catalán, participan en una reunión virtual convocada por el CIFAS con objeto de tratar el estado de los sondadores del BIO “Hespérides”.
- El 28 de junio, el CN. Antonio Pazos participa en la reunión (VTC) del patronato de Fundación Descubre.
- El 19 de julio, el CN. Antonio Pazos participa en la reunión de la Comisión Técnica sobre el riesgo de Maremotos.
- El 23 de julio se mantiene una primera reunión de coordinación de actividades con el Centro de Operaciones de Vigilancia del espacio (COVE) participando personal de la Sección de Geofísica (CF. Manuel Catalán y TN. Manuel Sánchez Piedra) y Astronomía (CC. Lluís Canals y el ITA J.L. Gutierrez).
- El 8 de septiembre tuvo lugar la segunda reunión de la Sección de Geodesia de la Comisión Española de Geodesia y Geofísica, participando el TN. Manuel Sanchez Piedra.
- El 17 de noviembre tuvo lugar la reunión de la Comisión de Geodesia y Geofísica, participando el CF. Manuel Catalán, actuando tanto como presidente de la Sección de Magnetismo como vocal suplente del Observatorio.
- El 18 de noviembre el CN. Antonio Pazos y el TN. Roberto Cabieces participaron en la reunión ROA-UCM sobre la red “Western Mediterranean”.
- El 13 de diciembre tuvo lugar una reunión del Comité Asesor Científico-Técnico de la Infraestructura Científica Técnica Singular FLOTA en la que participó el CF. Manuel Catalán.
- El 14 de diciembre, el CN. Antonio Pazos participa en la reunión (VTC) del patronato de Fundación Descubre.
- Del 25 al 26 de noviembre, el CC. Héctor Álvarez Martínez, la TN. Carmen Vélez López y el TN. Antonio Estarellas Perales viajan a Granada para participar en la reunión del grupo de trabajo del Foro de Física Átomos Fríos (FFAF) de la Real Sociedad Española de Física (RSEF), desarrollada en la Facultad de Físicas de la Universidad de Granada (UGR).
- El 15 de diciembre el CN. Antonio Pazos participa en la reunión virtual del patronato de la Fundación CEIMAR.

A.3.2. Internacionales

- Los días 23 y 26 de febrero, el CF. Héctor Esteban Pinillos participa vía telemática en el grupo de trabajo del sistema de doble encaminamiento o dos vías (WG on TWSTFT).
- Durante los días 11 y 12 de marzo, el CF. Héctor Esteban Pinillos participa vía telemática en la segunda sesión del 22º Comité Consultivo de Tiempo y Frecuencia (CCTF).
- Durante los días 24 y 25 de marzo, el CF. Héctor Esteban Pinillos participa por vía telemática en la reunión anual del Comité Técnico de Tiempo y Frecuencia de EURAMET.
- El día 23 de junio, el CF. Héctor Esteban Pinillos participa por vía telemática en el grupo de trabajo de los sistemas de posicionamiento global (WG on GNSS).
- Del 28 de junio al 2 de julio, la TN. Carmen Vélez López viaja a Besançon (Francia), para participar en el 9º Seminario de Tiempo y Frecuencia Europeo (EFTS) impartido en el “FEMTO-ST Institute”.
- Del 13 al 15 de septiembre, la TN. Carmen Vélez López viaja a Bad Honnef (Alemania), para asistir a la reunión del proyecto CLOck NETwork Services (CLONETS) desarrollada en el Physikzentrum.

A.4. Campañas, Calibraciones y Mantenimientos

- El 10 de marzo, personal de la Sección se traslada a la estación de Aljibe para realizar mantenimiento de equipos. En concreto, la sustitución del equipo receptor, del módem de comunicaciones y del ordenador de placa reducida Raspberry Pi.
- El 21 de abril personal técnico del servicio de sismología se desplazó a la estación de Ceuta al objeto de instalar una nueva puerta de acceso al local y realizar labores de mantenimiento.
- Entre el 14 y el 16 de junio se realiza el mantenimiento de las estaciones sísmicas y GNSS en Peñones: Chafarinas y Vélez, así como se inspecciona en el Peñón de Alhucemas la ubicación para un futuro emplazamiento.
- Durante el mes de julio, el ROA lidera una campaña de calibración G1G2 GNSS, en el seno de EURAMET (Cal_Id = 1017-2021), con el laboratorio metrológico nacional IPQ (*Instituto Português da Qualidade*) de Portugal.
- El 17 de septiembre personal de la Sección se traslada a la estación de Tarifa al objeto de integrar el equipo allí situado en el sistema de comunicaciones de fibra óptica. Debido a un fallo en la fuente de alimentación de la estación sísmica y la propia estación, hubo que desmontar los equipos y trasladarlos al observatorio para su reparación.
- Entre el 21 y el 22 de septiembre se realiza el mantenimiento de la estación sísmica y GNSS del Peñón de Vélez, así como se inspecciona en el Peñón de Alhucemas la ubicación para el emplazamiento de una estación sísmica y GNSS.

- En el mes de octubre se realiza una nueva campaña de calibración G1G2 GNSS (Cal_Id = 1018-2021), liderada por el ROA, con el laboratorio metrológico nacional NPL (National Physical Laboratory) de Reino Unido.
- El 13 de octubre queda la estación sísmica allí ubicada plenamente operativa e integrada en la red Western Mediterranean.
- El día 16 de diciembre viajan hacia Ushuaia para entrar en cuarentena previa a la participación en la campaña antártica el siguiente personal: CF. Manuel Catalán, TN. Roberto Cabièces, TN. Víctor de Ory, TN. Julián Fiz, embarcando el día 31 de diciembre en el buque “Sarmiento de Gamboa”.

A.5. Cursos y Estancias de Trabajo

- Entre el 20 y 23 de abril el personal de la Estación Láser asiste al 8º Congreso de Basura Espacial de la Agencia Espacial Europea en modalidad virtual.
- El TN. Manuel Sánchez Piedra es designado alumno del XI Curso Conjunto de Actualización para el Ascenso a Capitán de Corbeta de la Armada.
- En octubre, el TN. Jesús Romero ha iniciado una estancia de investigación (18SIB05-RMG2) en el departamento de Systèmes de Référence Temps-Espace (SYRTE) del Observatorio de París (OP).
- El ITA José Manuel Suárez Ramírez de Arellano realiza una estancia formativa en el NPL (*National Physical Laboratory*) del Reino Unido, que comenzó el 2 de octubre y se prevé tenga una duración de 6 meses.

A.6. Proyectos de Investigación

A.6.1. Proyectos, Acciones Especiales y Complementarias

Durante el año 2021, se han mantenido, iniciado o propuesto los siguientes proyectos de investigación, un total de 32 actividades incluidas en el Plan de Actividades de Investigación Científica y Técnica de la Armada 2022 (PAICTA 2022):

- (12/2018) Seguimiento de satélites artificiales por técnicas laser y GNSS. Ver apartado 3.3.
- (13/2018) Observatorio sismológico de la Armada. Ver apartado 3.1.
- (14/2018) Plan de Investigación hidrográfico-oceanográfico de la Zona Económica Exclusiva Española (ZEEE). Ver apartado 3.6.
- (15/2018) WDMAM: Proyecto del Mapa Mundial de Anomalías Magnéticas (2ª edición). Ver apartado 3.5.
- (16/2018) Investigaciones marinas utilizando técnicas geofísicas.
- (18/2018) Observatorio Geomagnético de la Armada. Ver apartado 3.2.

- (19/2018) Convenio específico entre el MINISDEF y la FNMT-RCM, objeto establecer servicio fechado digital.
- (20/2018) Proyecto 1156 EURAMET: Calibraciones de enlaces GPS en apoyo del CCTF-K001.UTC. Ver apartado 4.1.1.
- (21/2018) Protocolo Actuación MINISDEF y MAPAMA objeto de establecer un servicio certificación fecha y hora.
- (22/2018) Acuerdo Colaboración ROA y Colegio Registradores Propiedad y Mercantiles España.
- (23/2018) Protocolo Actuación MINISDEF y MHAP para servicio certificación fecha y hora.
- (24/2018) Diseminación de tiempo, en abierto, vía NTP y vía telefónica.
- (25/2018) Contribución a la realización de UTC Rápida (UTCr).
- (26/2018) Realización y mantenimiento de UTC (ROA), base de la hora legal española. En relación con esta actividad, se ha participado en el Proyecto 1485 EURAMET “Comparación suplementaria: Medidas de Intervalo de Tiempo”. Ver apartado 4.1.1.
- (28/2018) Servicio de calibración a clientes en tiempo y frecuencia.
- (29/2018) Convenio Marco colaboración entre el MINISDEF y Vodafone España, para el suministro y certificación de la Fecha y Hora oficial.
- (30/2018) Cálculo, edición y difusión de efemérides astronómicas. Ver apartado 1.1.
- (35/2018) Support for the Galileo Reference Centre-ROA.
- (36/2018) Galileo Service Operator (GSOp).
- (37/2018) EGNOS Service Performance Monitoring Support (SPMS). Ver apartado 4.1.1.
- (09/2019) Operación y mantenimiento de los sensores del Sistema de Vigilancia SST aportados por España al marco de apoyo de SST a la UE.
- (10/2019) Alerta sísmica temprana.
- (11/2019) Construcción e Implementación de un reloj de red óptica de estroncio (SR) (CIROES).
- (12/2019) LYNX. Software de reducción astrométrica para la detección de basura espacial en operaciones de exploración en órbita GEO.
- (13/2019) ELGeoPoweR: Estructura litosférica y geodinámica de Powell-drake-Bransfield Rift. Ver apartado 3.5.

- (15/2019) Diseño y construcción de un nuevo telescopio multicámara (SAURON).
- (30/2021) Colaboración con el Proyecto Upward mantle flow from novel seismic observations (UPFLOW). Ver apartado 3.5.
- (31/2021) Colaboración con el proyecto Procesos Geodinámicos y Riesgos Naturales en el Archipiélago Canario (GUANCHE).
- (31/2020) Sistema de Navegación astronómica NAVASTRO.
- (32/2021) Diseño y construcción de un prototipo de bajo coste de blanco estático.
- (32/2020) Actualización del sistema de apuntamiento de la estación de telemetría láser del ROA (AMELAS).
- (35/2020) Evaluación sobre el riesgo de maremoto en las bases de la Armada. Proyecto piloto para la B. N. de Rota (MARROTA).

A.6.2. Beca Fundación Alvargonzález

La Beca Real Instituto y Observatorio de la Armada correspondiente al año 2021 fue concedida a Don Alberto Santamaría Barragán, por su proyecto: “Estructura magnética de un volcán submarino antártico y su relación con los inicios de formación de fondo oceánico”, y al Dr. Carlos Abad Hiraldo el trabajo “Reducción de observaciones satelitales obtenidas con el TFRM”.

B. Otras actividades

B.1. Hechos notables.

- El 8 de abril tuvo lugar la primera visita oficial del Almirante Jefe de Servicios Generales y Asistencia Técnica, Contralmirante Excmo Sr. D. Rafael Fernández-Pintado Muñoz-Rojas.

A su llegada, fue recibido por el Director del Observatorio, CN. Francisco Javier Galindo Mendoza, realizándose una fotografía de grupo frente al edificio principal.



Figura B.1: Foto de grupo en la fachada del edificio principal.

Tras la exposición de la actividad del Observatorio a cargo del Comandante-Director y mantener un encuentro con miembros de la dotación, se realizó una visita por las instalaciones, finalizando con la firma en el Libro de Oro.



Figura B.2: Firma en el Libro de Oro del Observatorio.

Otras actividades

- El 16 de abril se celebró en el acto de donación del boceto original del actual escudo del Real Instituto y Observatorio de la Armada a cargo de una pequeña representación de las familias Cano y Orte.

A finales de los 70 o principios de los 80, el por entonces contralmirante Director del Observatorio, Excmo. Sr. D. Alberto Orte Lledó, encargó a D. José María Cano Trigo, Cartógrafo de la Armada destinado en el Instituto Hidrográfico de la Marina, y profesor de Geometría Descriptiva en la Escuela de Estudios Superiores, el diseño de un escudo que plasmase el sello de identidad del Observatorio.



Figura B.3: Representantes de las familias Cano y Orte frente al Edificio Principal del Observatorio.

El boceto, origen del actual escudo, consistió en un fondo azul estrellado que corresponde al cielo de la noche del 16 de julio, día de nuestra patrona la Virgen del Carmen, situando la polar en el arganeo del ancla, y un pabellón rematado en cúpula astronómica sobre la que se superpone el ancla de la Armada, y sobre ella un telescopio de campo portátil con trípode de madera.



Figura B.4: El Director del ROA con las representantes de las familias Cano y Orte.

Otras actividades

- En la mañana del 23 de abril se celebró el acto de entrega de mando del Real Instituto y Observatorio de la Armada del CN. D. Francisco Javier Galindo Mendoza al CN. D. Antonio A. Pazos García, intervenida por el CA., Excmo. Sr. Don Rafael Fernandez-Pintado Muñoz-Rojas.



Figura B.5: Acto de entrega de mando.

El CN. Galindo Mendoza deja la Dirección del Centro tras más de treinta años destinado en el Observatorio, la mayor parte de ellos en la Sección de Hora.



Figura B.6: Alocución del Director saliente.

El CN. Pazos es el vigésimo noveno Director del Observatorio desde 1753, año en el que este Centro –el observatorio astronómico más antiguo de España– se crea en Cádiz en la sede de la Compañía de Guardiamarinas. Aunque los últimos años ha ejercido el cargo de Subdirector, su trayectoria profesional la ha desarrollado en la Sección de Geofísica.

Otras actividades

- El 19 de mayo, se celebró la jornada “La unidad de tiempo: El segundo” organizada por el Instituto de la Ingeniería de España (IIE), con la colaboración del Centro Español de Metrología (CEM) y del Real Instituto y Observatorio de la Armada (ROA). La jornada se desarrolló de forma virtual (Webinar). Además del acto de presentación, la jornada consistió en una mesa redonda moderada por la Dra. María Ana Sáenz Nuño, vocal del comité de metrología del IIE.



Figura B.7: El TN. Álvarez respondiendo diversas preguntas durante el debate.

- El 22 de mayo se celebró el 43º Día Internacional de los Museos, iniciativa promovida por el Gobierno Municipal de San Fernando, abriendo el Observatorio para dar a conocer parte de su historia y patrimonio a través de visitas guiadas.



Figura B.8: Una de las visitas guiadas en la sala Ellicot.

- El 6 de agosto el Real Instituto y Observatorio de la Armada (ROA) se unió a la iniciativa “Nuestro Patrimonio Bajo las Estrellas auspiciada por el Excmo. Ayuntamiento de San Fernando con el fin de revitalizar la actividad cultural en la

ciudad y su entorno en la bahía de Cádiz en este periodo estival, tras el final del estado de alarma derivado del COVID-19.



Figura B.9: Vista al Edificio Principal del ROA al atardecer.

- Del 20 al 24 de septiembre, dentro de las actividades de la Xi Semana Naval de la Armada en Madrid, se ha celebrado el seminario “Navegación Astronómica” que tradicionalmente organiza el Real Instituto y Observatorio de la Armada (ROA). Este seminario estuvo dirigido a todos aquellos interesados en la navegación, astronomía y la historia de la ciencia.



Figura B.10: Inauguración del XI seminario “Navegación Astronómica”.

Otras actividades

El seminario se desarrolló en horario de tarde, y fue impartido por el Capitán de Navío (RES) Francisco Javier Galindo Mendoza antiguo Director del Observatorio; el Doctor Luis Mederos Martín, investigador científico del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, el Doctor Francisco José González González, antiguo Director Técnico de la Biblioteca y Archivo del Real Instituto y Observatorio de la Armada y el CC. Sergio Borrallo Tirado, Jefe de la Sección de Efemérides del Observatorio Astronómicas del ROA, que además se encargaron de coordinar la planificación y el desarrollo del evento.



Figura B.11: El Dr. Luis Mederos durante una de las ponencias del Seminario.

- Del 2 al 14 de noviembre se celebró la XXI Semana de la Ciencia para acercar el día a día de dedicación a la ciencia y a la investigación de los centros científicos, a alumnos de los centros escolares.

El Café con Ciencia, una de las actividades más significativa de dicha semana, se llevó a cabo el día 2 de noviembre por VTC, con alumnos de 4º de ESO o bachillerato de diversos colegios e institutos. En total se celebraron 4 Cafés con Ciencia: “Cielo, Estrellas, Satélites y Basura”, “Custodios del tiempo”, “Terremotos y volcanes” y “Ciencia Planetaria”.



Figura B.12: Mesa de Cielo, Estrellas, Satélites y Basura.

Otras actividades

- El 15 de noviembre tuvo lugar la primera visita oficial del Almirante Director de Enseñanza Naval, Contralmirante Excmo Sr. D. Alfonso Delgado Moreno.

A su llegada, fue recibido por el Director de la Escuela de Estudios Superiores, y Comandante-Director del ROA, CN. Antonio A. Pazos García, realizándose una fotografía de grupo frente al edificio principal.



Figura B.13: Llegada del ADIENA al ROA-EES.

Tras una presentación del ROA y, especialmente, de la Escuela de Estudios Superiores y su actividad, a cargo del Comandante-Director, mantuvo un encuentro con profesores y alumnos y se realizó una visita por las instalaciones de la Escuela y la biblioteca del Edificio Principal, finalizando con la firma en el Libro de Oro



Figura B.14: Exposición del Director de la EES en el Salón de Actos.

Otras actividades

- Entre los días 22 y 24 de noviembre se celebraron las Jornadas conmemorativas del “50 Aniversario de la creación de la Sección de Hora del Real Instituto y Observatorio de la Armada”

El día 22, en la sala de levante del Edificio Principal del Observatorio, se celebró la Reunión del Consejo de Metrología Legal (CML), y posteriormente una cena de bienvenida.



Figura B.15: Reunión de la Comisión de Metrología Legal.

El día 23 tuvo lugar en el Salón de Actos del Real Instituto y Observatorio de la Armada el acto de inauguración de las Jornadas, presidido por el Almirante Jefe de Servicios Generales y Asistencia Técnica, el Excmo. Sr. D. Rafael Fernández-Pintado Muñoz-Rojas.



Figura B.16: Inauguración de las Jornadas conmemorativas.

Otras actividades

Tras una visita al Laboratorio de tiempo de la Sección de Hora, que incluyó una presentación del proyecto de desarrollo e implementación del reloj óptico de Sr (CIROEs), se celebró el Pleno del Consejo Superior de Metrología (CSM), órgano superior de asesoramiento y coordinación del Estado en materia de metrología científica, técnica, histórica y legal, que fue presidido por el Secretario General de Industria y de pequeña y Mediana Empresa, D. Raúl Blanco Díaz.



Figura B.17: Pleno del Consejo Superior de Metrología.

Por la tarde de ese mismo día, a las 17:30 horas, se inauguró, en el Museo Naval de San Fernando, la exposición temporal “Centinelas del tiempo: relojes que cambiaron el mundo” con la que el Real Instituto y Observatorio de la Armada ha querido acercar su historia y sus valiosos fondos históricos al público en general, con motivo de esta importante efeméride, el 50 aniversario de la creación de la Sección de Hora.



Figura B.18: Entrada a la Exposición “Centinelas del tiempo: Relojes que cambiaron el mundo”.

Posteriormente, se celebró, a 19:30 horas, en el Palacio de Congresos de las Cortes de la Real Isla de Leon, una conferencia magistral a cargo de la Directora del Dpto. de Tiempo de la Oficina Internacional de Pesas y Medidas, Dra. Patrizia

Otras actividades

Tavella, con el título “La medida del tiempo y la navegación: una larga historia de fertilización mutua. Tendencias y desafíos futuros del Tiempo Universal Coordinado y contribución del ROA”, que fue presentada por el CN. D. Francisco Javier Galindo Mendoza.



Figura B.19: La Dra. Patrizia Tavella durante su conferencia.

El día 24, se celebró en el salón de Actos del ROA una conferencia sobre la medida del tiempo y la Sección de Hora y, posteriormente, la reunión de la Comisión de Laboratorios Asociados al Centro Español de Metrología (CLA-CEM), siendo clausuradas las Jornadas por el Director del ROA.



Figura B.20: Comisión de Laboratorios Asociados frente al edificio de la nueva Sección de Hora..

B.2. Visitas

B.2.1. Autoridades Civiles y Militares

- CN Pedro Pérez-Seoane, Director de la Biblioteca Central de Marina del Instituto de Historia y Cultura Naval (IHCN). (26 de febrero)
- VA. Marcial Gamboa Pérez-Pardo, Director del IHCN. (8 de junio)
- Secretaria de Estado de la Función Pública y el Director de Sistemas de Información de la FNMT. (11 de agosto)
- Jefe del Departamento de Radioastronomía y Estructura Galáctica del Instituto Astrofísico de Andalucía. (22 de septiembre)
- Subdirectora de Publicaciones y Patrimonio Cultural de la SEGENTE (17 de noviembre)

B.2.2. Unidades, Centros y Organismos relacionados con la Defensa

- 18 de febrero Visita técnica SECEGSA
- 17 de abril Alumnos Reservistas Escuela de Suboficiales
- 8 de junio Director del IHCN
- 23 de junio Escuela Militar de Sanidad
- 26 de julio Comandante del Juan Sebastián de Elcano
- 27 de julio Comandante Pablo Arias
- 10 de agosto Asesor de la Ministra de Defensa, Sr. Álvarez
- 11 de agosto Col. Fernando Prado. Col. RACTA IV.
- 21 de agosto Alumnos de Acceso Directo ESUBO
- 19-28 de octubre CDSCA Suboficiales
- 17 de noviembre Subdirectora General de Patrimonio. Ministerio de Defensa

B.2.3. Otras visitas reseñables

- AFEMEN, Asociación de Familiares de Enfermos Mentales.
- Agrupación Astronómica Portuense.
- ALBOR, Asociación para la Integración de Personas Sordas (LSE)
- Arquitecto Municipal, Exmo Ayto de San Fernando
- Área del Mayor. Ayto. de San Fernando.
- Aula de las Estrellas, Fundación Endesa
- CLA-CEM, Comisión Laboratorios Asociados al Centro Español de Metrología
- Comisión de Metrología Legal
- Conservatorio Elemental de Música “Chelista Ruiz Casaux”
- Escuela Oficial de Idiomas de San Fernando.
- FNMT, Fabrica Nacional de Moneda y Timbre, Dirección.
- ILUSIONES. Proyecto de los Servicios Sociales del Ayto. de San Fernando.
- Instituto de Biomedicina de Sevilla
- RAECY, Real Asamblea Española de Capitanes de Yate.
- UCA, Aula de Mayores Campus de Cádiz.
- UCA, Grado en Humanidades
- UCA, Grado en Matemáticas.
- UCA, Máster en Arqueología Subacuática. CEIMAR.
- UCA, Universidad a Distancia.
- UPACE, Unión de Parálisis Cerebral de San Fernando.
- US, Aula de la Experiencia.
- VITAE, Asociación de familiares de personas con Alzheimer.
- VOX San Fernando.

En el año 2021, debido al estado de alarma por motivo del COVID-19, las visitas han permanecido cerradas entre el 22 de enero y el mes de marzo, además de se ha reducido enormemente el número de visitas y aforos. A pesar de ello, han visitado el Real Instituto y Observatorio de la Armada 2674 personas, de las cuales 873 corresponden a alumnos de Enseñanza Secundaria Obligatoria y Bachiller de 26 centros educativos nacionales e internacionales.

Este Centro se ha sumado este año a diversas iniciativas tales como “Aula de las estrellas” de la fundación ENDESA, o el 43 Día Internacional de los Museos promovido por el Gobierno municipal de San Fernando. Así mismo participó en la iniciativa de “Nuestro Patrimonio bajo las estrellas”, celebrada en la noche del 4 de agosto, con tres pases, completándose el aforo ofrecido. Otras actividades complementarias de divulgación que se llevan a cabo de manera habitual, no se han realizado por las medidas de prevención ante el Covid-19.

B.3. Conferencias

- Título: La Sección de Hora del ROA y su contribución a la metrología del tiempo y la frecuencia.
Jornada “La unidad de tiempo: El segundo”, organizada por el Comité de Metrología del Instituto de la Ingeniería de España (IIE), El Real Instituto y Observatorio de la Armada (ROA) y el Centro Español de Metrología (CEM).
VTC.
Fecha: 19 de mayo de 2021.
Conferenciante: CF. Héctor Esteban Pinillos
- Título: Proyecto para la construcción e implementación de un reloj de red óptica de estroncio.
Jornada “La unidad de tiempo: El segundo”, organizada por el Comité de Metrología del Instituto de la Ingeniería de España (IIE), El Real Instituto y Observatorio de la Armada (ROA) y el Centro Español de Metrología (CEM).
VTC.
Fecha: 19 de mayo de 2021.
Conferenciante: TN. Héctor Álvarez Martínez
- Título: La medida del tiempo y la Sección de Hora del Real Observatorio de la Armada.
Jornadas conmemorativas “50 Aniversario de la creación de la Sección de Hora del Real Instituto y Observatorio de la Armada”.
Fecha: 24 de noviembre de 2021.
Conferenciante: CN. Francisco Javier Galindo Mendoza
- Título: Experiencia y Percepción del Tiempo: ¿Es el Tiempo una ilusión?
Ingreso Academia de San Romualdo.
Centro de Congresos de San Fernando.
Fecha: 13 de diciembre de 2021.
Conferenciante: CN. Francisco Javier Galindo Mendoza

B.4. Instituciones y Organismos colaboradores

B.4.1. Nacionales

- Ayuntamiento de San Fernando.
- Centro para el Desarrollo Tecnológico e Industrial (CDTI).
- Centro Español de Metrología (CEM).
- Colegio de Registradores de la Propiedad y Mercantiles de España.
- Deimos Space S.L.U.
- Dirección General de Protección Civil (DGPC).
- Entidad Nacional de Acreditación (ENAC).
- Fábrica Nacional de Moneda y Timbre – Real Casa de la Moneda (FNMT – RCM).
- Fundación Alvargonzález.
- Fundación Campus de Excelencia de Investigación del Mar (CEIMAR).
- Fundación Descubre.
- Fundación J. García-Siñeriz.
- GMV Innovating Solutions S.L.
- Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA).
- Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña (ICGC).
- Instituto de Ciencias de la Tierra “Jaume Almera” (ICTJA).
- Instituto Español de Oceanografía (IEO).
- Instituto Geográfico Nacional (IGN).
- Instituto Geológico y Minero de España (IGME).
- Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial “Esteban Terradas” (INTA).
- Instituto de Óptica “Daza de Valdés” (IO-CSIC).
- Instituto de Salud Carlos III.
- Laboratorio Central Oficial de Electrotecnia – LCOE.
- Laboratorio de Metrología del Canal de Isabel II (CYII).
- Laboratorio de Metrología de la Compañía Logística de Hidrocarburos (CLH).
- Laboratorio de Metrología de Enagás, S.A.
- Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes (LMRI) del CIEMAT.
- Observatorio Fabra.
- Real Academia de las Ciencias y las Artes de Barcelona (RACAB).
- Centro Geográfico del Ejército.
- Sociedad Española de Estudios para la Comunicación fija a través del Estrecho de Gibraltar (SECEGSA).
- Universidad Autónoma de Madrid (UAM).
- Universidad de Barcelona (UB).
- Universidad de Cádiz (UCA).
- Universidad de Cantabria (UC).
- Universidad Complutense de Madrid (UCM).
- Universidad de Granada (UGR).
- Universidad de Zaragoza (UNIZAR).
- Universidad Internacional Menéndez Pelayo (UIMP).
- Universidad de La Rioja.
- Universidad Politécnica de Cataluña (UPC).
- Universidad Politécnica de Madrid (UPM).
- Servicio de Información en Metrología, Calibración y Ensayo (SIMCE).
- Vodafone España.

B.4.2. Extranjeras

- Agencia Espacial Europea (ESA).
- Austrian Academy of Sciences (ÖAW, Viena, Austria).
- Buró Internacional de Pesas y Medidas (BIPM, Sèvres, Francia).
- Centre National d'Études Aérospatiales (CNES, París, Francia).
- European Association of National Metrology Institutes (EURAMET).
- European-Mediterranean Seismological Centre (EMSC).
- European GNSS Agency (GSA).
- European Union Agency for the Space Programme (EUSPA).
- Federation of Digital Seismograph Networks (FDSN).
- GeoForschungsZentrum (GFZ, Potsdam, Alemania).
- German Aerospace Center (DLR).
- Institute of Photonics and Electronics (Praga, Rep. Checa).
- Instituto Científico de Rabat (ISRABAT, Rabat, Marruecos).
- Instituto de Física del Globo en París (IPGP, París, Francia).
- Institute of Geology and Geoinformation (IGG, Tsukuba, Japón).
- Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRIM, Italia).
- Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA, Lisboa, Portugal).
- Instituto Português da Qualidade (IPQ, Portugal).
- International Laser Ranging Service (ILRS).
- International Scientific Optical Network (ISON).
- Laboratorio Nacional de Metrología y de Ensayos (LNE-SYRTE, Observatorio de París, Francia).
- Minor Planet Center (MPC).
- National Aeronautics and Space Agency (NASA, Estados Unidos de América).
- National Metrology Institute of Sweden (Boras, Suecia).
- National Physical Laboratory (NPL, Reino Unido).
- Observatorio Naval de Washington (USNO, EE.UU.).
- Observatories & Research Facilities for European Seismology (ORFEUS).
- Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB, Alemania).
- Reducing Earthquake Losses in the Extended Mediterranean Region (RELEMR). UNESCO.
- Research Institutes of Sweden (RISE, Suecia).
- Service Métrologie Scientifique (SMD, Bélgica).
- Universidad de Évora (UE, Évora, Portugal).
- Universidad de Potsdam (Alemania).

B.5. Reportajes de Medios de Comunicación

- El 4 de enero se emite en Canal Sur el programa “Hecho a mano: Artesanos del tiempo” en el que participa personal de la Sección de Hora.
- El 15 de enero se realiza una entrevista de la Vanguardia al CF. Héctor Esteban Pinillos, para aclarar dudas sobre los últimos cambios observados en el movimiento de rotación terrestre. El artículo “La Tierra ha acelerado su giro”, fue publicado el 20 de enero.
- El 27 de enero se realiza una entrevista al CN. Antonio Pazos en Canal Sur Radio dentro del programa Canal Sur Cádiz Mediodía.

Otras actividades

- En febrero Onda Cádiz TV realizó un reportaje sobre el Observatorio, entrevistando al Director y a los Jefes de Sección de Hora, Geofísica, Astronomía y Efemérides.
- El 26 de marzo, se realiza una entrevista al CF. Héctor Esteban Pinillos para el programa “Radio La Isla”.
- En abril se publica en el periódico Diario de Cádiz un reportaje sobre la donación de la familia Cano del boceto original que se tomó hace 40 años de base para confeccionar el escudo del Observatorio.
- El 12 de mayo se lleva a cabo una entrevista en “Onda Cádiz” sobre labores de Astronomía del ROA al Jefe de la Sección de Efemérides, CC. Sergio Borralló Tirado.
- El 21 de mayo el CN. D. Antonio Pazos, participó en el programa radiofónico de RNE, a golpe de bit.
- El día 11 de agosto el Director, CN. Antonio Pazos fue entrevistado en Radio Cadiz.
- El 21 de septiembre, el CN. D. Antonio Pazos García atendió a la entrevista realizada por Canal Sur para el programa “Hoy en día” de la temática: Volcán-plan contingencia posibles maremotos en Andalucía.
- En octubre se publica una entrevista al CC. Lluís Canals Ros, www.adelantosdigital.com, en relación con la basura espacial. “Hay más de 331 millones de desechos espaciales en órbita; también eso es medio ambiente”.
- En este mismo mes de octubre es entrevistado el CC. Lluís Canals Ros por la voz del Sur.
- El 5 de noviembre se celebra en el edificio principal del Observatorio una rueda de prensa con el objeto de difundir los actos que se celebrarán con motivo del 50 aniversario de la creación de la Sección de Hora. La rueda de prensa fue presidida por el director CN. Director D. Antonio A. Pazos García, al que le acompañaron el Jefe de la Sección de Hora, CF. Héctor Esteban Pinillos, y el comisario de la exposición temporal “Centinelas del tiempo: relojes que cambiaron el mundo”, Dr. Francisco José González González.
- El 21 de noviembre se publica el artículo “50 años de la Sección de Hora del Observatorio de la Armada: donde se 'fabrican' los segundos” en el Diario de Cádiz.

