

REAL INSTITUTO Y OBSERVATORIO DE LA ARMADA EN SAN FERNANDO

Investigaciones científicas desarrolladas por el
Real Instituto y Observatorio de la Armada
Año 2023



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 2023**



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, 2024

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: junio de 2024

Maqueta e imprime: Imprenta Ministerio de Defensa

Las opiniones emitidas en esta publicación son de 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 procedente de bosques gestionados de forma sostenible y fuentes controladas.

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. Personal.....	4
1.4. Otras actividades	5
2. Sección de Astronomía.....	9
2.1. Telescopio Fabra-ROA en el Montsec.....	9
2.1.1. Antecedentes.....	10
2.1.2. Actividades y mantenimientos realizados durante el año	10
2.1.3. Actividades y resultados en el campo del SST	12
2.1.4. Actividades en el ROA.....	13
2.2. Novedades de personal	14
2.3. Otras actividades científicas y divulgativas.....	14
3. Sección de Geofísica	15
3.1. Sismología	15
3.1.1. Redes Sísmicas	16
3.1.2. Sismicidad	18
3.1.3. Otras actividades del Servicio de Sismología.....	19
3.2. Geomagnetismo.....	20
3.2.1. Estación Geomagnética Cortijo Garrapilos.....	20
3.3. Satélites artificiales	22
3.3.1. Estación de Telemetría Láser sobre Satélites Artificiales	22
3.3.2. Sistema Global de Navegación por Satélite: GNSS.....	27
3.3.3. Otras Actividades del Servicio de Satélites.....	29
3.4. Meteorología.....	30
3.5. Proyectos de Investigación	30
3.6. Campañas	31
3.7. Personal.....	31
3.8. Otras actividades científicas y divulgativas.....	32

4. Sección de Hora	35
4.1. Servicio de Hora	36
4.1.1. Tiempo Universal Coordinado del Real Instituto y Observatorio de la Armada (UTC-ROA).....	36
4.1.2. Establecimiento de enlaces de tiempo.....	43
4.2. Servicio de Electrónica y Calibración.....	49
4.3. Servicio de Cronometría Naval	52
4.4. Proyectos de Investigación	53
4.4.1. Proyectos Nacionales e Internacionales	53
4.6. Personal.....	55
4.7. Otras actividades	56
6. Escuela de Estudios Superiores de la Armada	79
6.1 Cursos impartidos.....	79
6.2 Otras actividades	81
A. Actividad Científica	85
A.1. Publicaciones	85
A.1.1. Publicaciones editadas por el Observatorio	85
A.1.2. Artículos en revistas	85
A.2. Comunicaciones en congresos	86
A.2.1. Nacionales.....	86
A.2.2. Internacionales	87
A.3. Participación en comités, congresos y reuniones.....	88
A.3.1. Nacionales.....	88
A.4. Campañas, Calibraciones y Mantenimientos	92
A.5. Cursos y Estancias de Trabajo.....	92
A.6. Proyectos de Investigación.....	92
A.6.1. Proyectos, Acciones Especiales y Complementarias	92
A.6.2. Beca Fundación Alvargonzález	94
B. Otras actividades	95
B.1. Hechos notables.....	95
B.2. Visitas.....	106
B.2.1. Autoridades Civiles y Militares	106

B.2.2. Unidades, Centros y Organismos relacionados con la Defensa	106
B.2.3. Otras entidades	107
B.3. Conferencias	108
B.4. Instituciones y Organismos colaboradores	109
B.4.1. Nacionales.....	109
B.4.2. Extranjeras	110
B.5. Reportajes de Medios de Comunicación	110

Prólogo

A lo largo del año 2023, el Real Instituto y Observatorio de la Armada (ROA) y la Escuela de Estudios Superiores (EES) han mantenido una intensa actividad científica, institucional y docente. Las diferentes Secciones Científicas del Centro, apoyadas por los Servicios Generales y resto del personal, han desarrollado una destacada labor que, un año más, han intentado contribuir al desarrollo de la ciencia y la investigación y mejorar aún más el prestigio de la Armada Española.

Este binomio de actividad investigadora y docente ha sido característica del ROA ya desde su fundación, a iniciativa de D. Jorge Juan en 1753, siendo el heredero de la entrada a España de la ciencia moderna, la ciencia de Copérnico, Galileo, Kepler o Newton, entre otros. Así, desde sus comienzos ha sido puerta de entrada de numerosas de numerosas ramas científicas, siendo pionero en Astronomía y Efemérides, en cartografía científica (Atlas de Tofiño, 1798), en Geomagnetismo (1879), en Servicio Meteorológico Costero (1884), en Sismología (1898), en las actividades espaciales de seguimiento de Satélites artificiales (1958), en la realización nacional de la Escala Tiempo Universal Coordinado (1972), en la Hora Legal española (1976) y uno de los pioneros en la vigilancia y seguimiento de basura espacial (2011). 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.

En las páginas que siguen se describe con suficiente detalle lo más notable de las actividades desarrolladas durante el año 2023, de entre ellas caben destacar: el proyecto “AMELAS” en el que se actualizará el conjunto montura-electrónica de la Estación de Telemetría Láser, el proyecto “SASFO” de sincronismo mediante fibra óptica, los avances en el desarrollo del reloj de red óptica de Estroncio (Sr), proyecto “CIROES”, y el Proyecto “SAURON”, que desarrolla un telescopio multicámara que incrementará las capacidades de vigilancia y seguimiento del espacio.


Por su relevancia, cabe destacar asimismo los siguientes hitos:

- El acto de homenaje in memoriam del CN Francisco Javier Montojo Salazar, celebrado el día 3 de marzo.
- Los actos conmemorativos del CCL aniversario del fallecimiento de Jorge Juan y Santacilia:
 - Acto de ofrenda florar a Jorge Juan celebrado el 21 de junio, día que se cumple el CCL aniversario de su fallecimiento, como acto complementario de la “IV Jornada Histórica de la Armada”.
 - Concierto celebrado el día 28 de junio en la explanada del Edificio Principal del ROA, a cargo de la Unidad de Música del Tercio Sur (TERSUR).
 - Exposición “Jorge Juan. Ciencia para la Real Armada de Su Majestad” que estuvo abierta al público desde el 13 de septiembre y el 31 de diciembre de 2023.
 - Ciclo de conferencias y mesa redonda que permitieron acercarnos a este marino desde diferentes puntos de vista.

Prólogo

- El fallecimiento del CF. D. Manuel Catalán Morollón, profesor titular de la Escuela de Estudios Superiores y Jefe de la Sección de Geofísica. Duro golpe para el Observatorio ya que era el impulsor de la gran actividad de la Sección. Sirvan estas líneas en memoria a su lealtad, amistad y a su gran contribución al engrandecimiento de este Observatorio y de la Armada. Descanse en paz.

El Capitán de Navío, Comandante-Director

A handwritten signature in blue ink, reading "Antonio A. Pazos García", enclosed in a blue oval. A horizontal line extends from the right side of the signature.

- Antonio A. Pazos García -

1. Sección de Efemérides

Durante el año 2023, 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, entendiéndose 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 2023 la difusión de las efemérides astronómicas se ha realizado a través de las siguientes publicaciones periódicas:

- Almanaque Náutico 2024
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 2024
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 de 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 pequeños planetas Palas, Juno, Vesta, Hebe, Iris, Flora, Metis, Higía, Eunomia, Psiquis, 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. A continuación, se indica un resumen de las acciones realizadas durante el año 2023:

- Generación de la política de seguridad del ROA en el marco normativo del Esquema Nacional de Seguridad a través de la herramienta INÉS, dentro de la plataforma de gobernanza de la ciberseguridad nacional. Dentro de este contexto y con el objetivo de certificar la red científica del ROA en la categoría básica del ENS, se generan los documentos de aplicabilidad, perfil de cumplimientos y de los servicios del ROA.
- Gestión de ticketing generados por la sonda SAT-INET. El sistema de Alerta Temprana (SAT) de Internet es un servicio desarrollado e implantado por el Equipo de Respuesta ante Incidentes de Seguridad de la Información del Centro Criptológico Nacional (CCN-CERT) para la detección en tiempo real de las amenazas e incidentes existentes en el tráfico que fluye entre la red interna del ROA e Internet.
- Renovación de equipos de la red WANPG y científica. Se despliegan en la científica incluyendo el agente microCLAUDIA para la prevención de amenazas de ciberseguridad.
- Implantación del controlador de dominio y puesta en producción. Durante 2024 se prevé realizar la integración de todos los usuarios de forma escalonada.
- Monitorización y consolidación del servicio de RedIRIS Avizor, plataforma para la monitorización de servicios de instituciones. Ofrece una serie de herramientas de alerta, diagnóstico, estadísticas, paneles de mando e informes.
- Monitorización y consolidación del servicio EGIDA, servicio de mitigación de ataques de denegación de servicio (DDoS).
- Monitorización y consolidación del servicio DNS-Firewall, servicio Cloud para la protección del tráfico DNS.
- Monitorización y consolidación del servicio IdpNube de RedIRIS, ofrece un doble IdP SIR2/eduGAIN y eduroam hospedado sobre infraestructura de RedIRIS.

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

1.3. Personal

A nivel formativo, el personal del Centro de Cálculo ha participado en los siguientes cursos y jornadas:

- Curso de Análisis y Gestión de Riesgos de los Sistemas de Información.
- Curso Básico STIC - Seguridad en Entornos Windows.

- Curso para las guías CCN-STIC y el perfilado de seguridad adaptable a características específicas de cada entorno.
- Curso organizando tu cobertura de seguridad con MITRE ATT&CK.
- Curso III CURSO STIC – detección temprana (INAP).
- Curso ENS navegable e identificación de amenazas.

1.4. Otras actividades

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

Del 25 al 29 de septiembre, en el marco de la XIII 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 Excmo. Sr. contralmirante D. Juan María Ibáñez Martín, 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 Francisco Javier Galindo; el Dr. Francisco José González González, Director Técnico de la Biblioteca y Archivo del ROA entre 1983 y 2020, y profesor honorífico de la EES, el CC Sergio Borrallo Tirado, Jefe de la Sección de Efemérides del ROA y el TN Víctor de Ory Guimerá, de la misma sección.



Figura 1.1: Participantes en el seminario “Navegación Astronómica” celebrado en Madrid del 25-29 de septiembre.

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 y las coordenadas celestes, para finalizar con el cálculo de una recta de altura de Sol.

Como visita cultural, el 27 de septiembre los participantes visitaron junto con el CN Galindo y el TN de Ory, el Museo Naval de Madrid en horario de mañana.

En la sesión dedicada a GNSS, impartida por el CN Galindo en la tarde del viernes 29 de septiembre, el seminario tuvo el honor de contar con la presencia de la ministra de defensa en funciones, Excm. Sra. Dña. Margarita Robles Fernández, entre los asistentes.

Seminario de “Navegación Astronómica” itinerante Bahía de Cádiz

Del 20 al 24 de noviembre se celebró, organizado en colaboración con la Asociación de Navegantes de Recreo (ANAVRE), el seminario de “Navegación Astronómica” itinerante Bahía de Cádiz, en las instalaciones del Real Instituto y Observatorio de la Armada, dirigido a todos aquellos interesados en la navegación, astronomía y la historia de la ciencia.

El seminario fue inaugurado por el director del Observatorio, CN D. Antonio Ángel Pazos García, acompañado por la concejala del área de desarrollo económico del Excmo. Ayuntamiento de San Fernando, Dña. María Gómez Picardo, y por el coordinador de ANAVRE en Andalucía, D. Guillermo Navarro Andria. En la inauguración el CN Pazos dirigió unas palabras de bienvenida a los participantes y resumió los objetivos y contenidos del seminario.

El seminario se desarrolló en horario de tarde, y fue impartido por el CN Galindo, el Doctor González, el CC Borralló y el Doctor Luis Mederos Martín, Investigador Científico del Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

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 y las coordenadas celestes, para finalizar con el cálculo de una recta de altura de Sol.

Además de las conferencias programadas, se realizaron prácticas de grupo relativas al uso y ajuste del sextante, y de observación real del Sol y resolución de la recta de altura correspondiente en las instalaciones de la RMASD “La Cortadura”, dando la oportunidad a los asistentes de ejercitarse en todo aquello aprendido durante las sesiones previas. En la mañana del miércoles, 22 de noviembre, los participantes pudieron disfrutar de una visita a las instalaciones del Observatorio como actividad complementaria y opcional.

El acto de clausura tuvo lugar en el CDSCA de Oficiales de San Fernando, siendo presidido por el Director del Observatorio, acompañado en esta ocasión por el Presidente de ANAVRE, D. Ángel López Jubete.



Figura 1.2: Participantes en el seminario “Navegación Astronómica” celebrado en el ROA del 20-24 noviembre.

Proyecto de blanco naval estático

En junio de 2023 se finalizó el desarrollo del prototipo de blanco naval estático de bajo coste siendo embarcado en el LHD “Juan Carlos I” para su posible utilización en el el ejercicio avanzado de lanzamiento de armas SINKEX-23 en aguas del océano Atlántico, en una zona de ejercicios situada a 123 millas al suroeste de la isla del Hierro.

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 nacional *Spanish Space 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 y 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

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).



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, profesor de la Escuela Naval Militar. Estas observaciones han estado encaminadas a la mejora astrométrica del TFRM y la determinación orbital.

El siguiente gráfico muestra el estado de las cámaras del TFRM durante el año 2023:

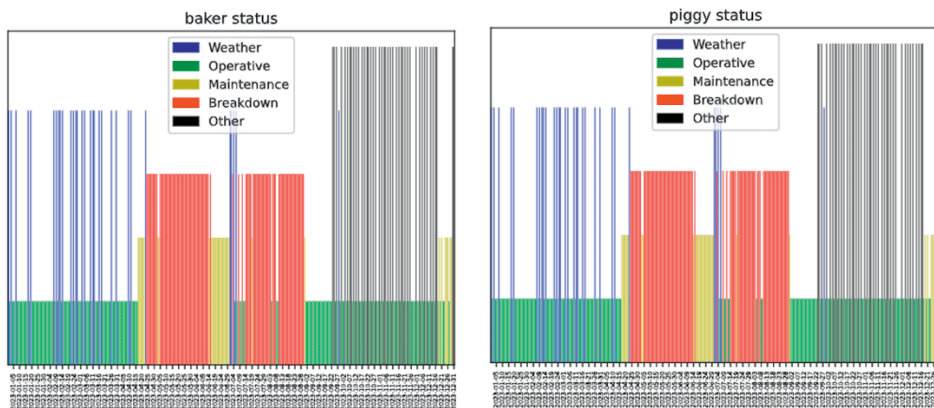


Figura 2.3: Gráficos que representan el estado de las cámaras del TFRM. Izquierda corresponde a la cámara Baker-Nunn. Derecha: Corresponde a la cámara "Piggyback"

Dentro de las noches no observadas por el telescopio en el siguiente gráfico se especifican las razones.

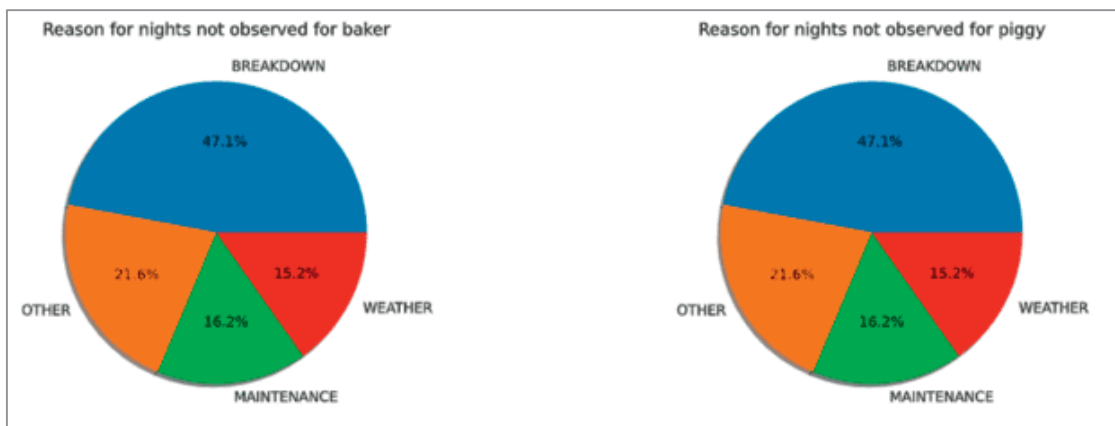


Figura 2.4: Gráfico en el que se indican las razones correspondientes a las noches no observadas. Izquierda corresponde a la cámara Baker-Nunn. Derecha: Corresponde a la cámara "Piggyback"

En los dos siguientes gráficos se muestran los porcentajes de observación del TFRM correspondientes a cada contrato por cámara:

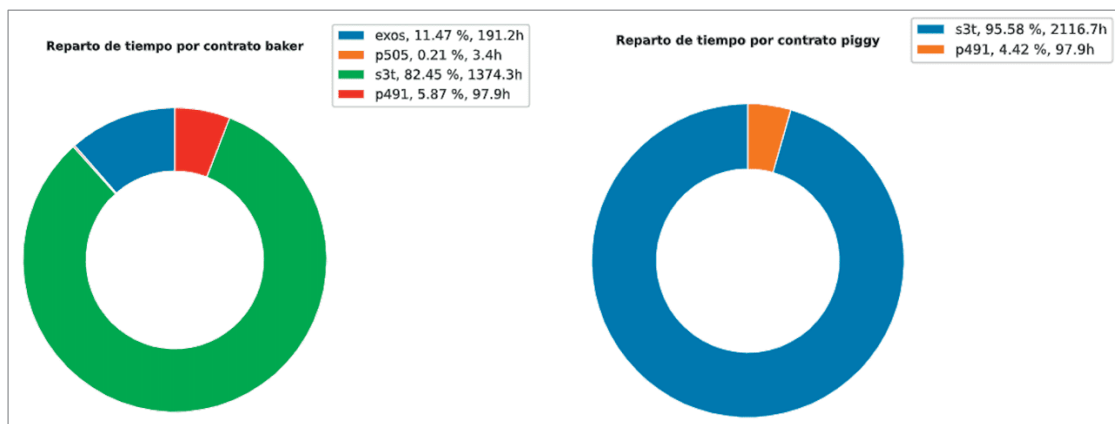


Figura 2.5: Porcentajes de observación por contrato y cámara del TFRM durante el año 2023.

Durante la primera semana de septiembre se realiza un cambio de cámara Baker-Nunn pasando de la cámara actual a la FLI Kepler 4040 (con interfaz de fibra óptica y refrigeración líquida) lo que supuso una mejora, entre otros aspectos, en la eficiencia cuántica y la velocidad de fotogramas.

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 a 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*.

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 5 países lo formó en un inicio: Francia (CNES), Alemania (DLR), Italia (ANSI), Reino Unido (UK Space) y España (CDTI). En la actualidad lo forman los siguientes países: Austria (FFG), República Checa (MDCR), Dinamarca (RDAF), Finlandia (FMI), Francia (CNES), Alemania (*German Space Agency at DLR*), Grecia (NOA), Italia (ASI), Letonia (IZM), Países Bajos (EZK), Polonia (POLSA), Portugal (PT MoD), Rumanía (ROSA), España (AEE) y Suecia (SNSA).

El cambio en la estrategia observacional sobre el anillo geoestacionario llevada a cabo a finales del 2020 sigue aportando un aumento considerable de los *tracks* detectados 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 2 calibraciones de los sensores dentro del contrato S3T en los meses enero y septiembre, siendo todas favorables para el TFRM.

Entre enero y junio del 2023 continúa en vigor el contrato 5/2022 NEG (DEGIPD/DE), en su primera prórroga, y para el periodo de julio hasta diciembre en su segunda prórroga financiado con los programas Copernicus y Galileo de la Unión Europea.

En relación al programa SST-UE se ha observado un total de 1.374,4 horas con la cámara Baker y un total de 2.116,7 horas con la cámara Piggy, haciendo un total 3.491,1 horas. Con la cámara Baker se ha reducido un total de 231.291 imágenes de las 376.695 totales; con la Piggy se ha reducido un total de 402.111 imágenes sobre un total de 625.367 imágenes. En conjunto, con ambas cámaras, se han obtenido 1.042.201 posicionamientos y 248.726 *tracks* con una media de 71.65 *tracks*/hora. La noche con más *tracks* corresponde al 18 de diciembre con 5.004 (de los cuales 2.914 corresponden a la Baker-Nunn y 2.090 a la Piggy).

En los siguientes 2 gráficos podemos ver representados la distribución de *tracks* para cada cámara a lo largo del año.

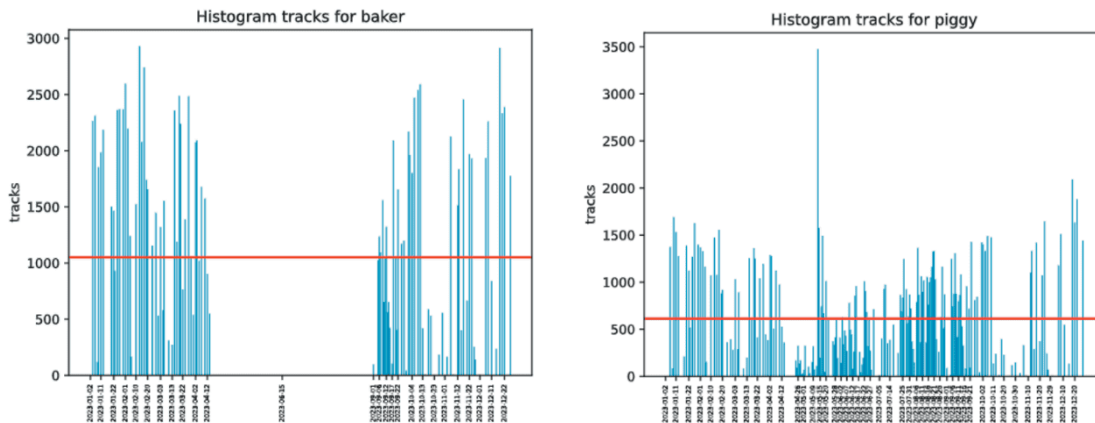


Figura 2.6: Histogramas correspondientes a los tracks encontrados para la Baker (arriba) y Piggy (abajo)

2.1.4. Actividades en el ROA

En septiembre de este año tuvo lugar la licitación por parte de la Subdirección General de Adquisiciones de Armamento y Material DGAM del Proyecto SAURON (*Sensor Array for Unattended Robotic Observation Network*) que permitirá contar con un enjambre de telescopios operados remota y robóticamente desde la Sección de Astronomía.

El fin es dotar al ROA de las capacidades para afrontar el control del espacio ultraterrestre como línea estratégica, de acuerdo a la Estrategia Espacial del EA (02 septiembre 2022) Línea de acción nº2: Consolidar el conocimiento de la situación en el dominio espacial (SDA), ya que España no es independiente en la detección y el seguimiento de satélites y objetos no colaborativos.

Se dispondrá para el proyecto de 6 monturas de tipo horquilla monobrazo; 6 cámaras astronómicas sCMOS; monturas de configuración horizontal (alt-acimutal) y ecuatorial, mediante el empleo opcional de una cuña ecuatorial; así como Motores de accionamiento directo (*direct drive*) en ambos ejes mediante motores síncronos de imanes permanentes y codificadores de alta precisión. Este tipo de accionamiento se caracteriza por la ausencia absoluta de holguras gracias a que no emplea ningún tipo

de dispositivos mecánicos de reducción como engranajes, correas dentadas o tornillos sinfín.

Además, contará con su correspondiente sistema de alimentación, control y comunicaciones para accesorios; 6 juegos de cuatro 4 filtros ópticos por juego, lo que constituye un total de veinticuatro 24 filtros fotométricos; 6 juegos de dos 2 filtros ópticos por juego, lo que constituye un total de doce 12 filtros ópticos claros; una cámara *All-Sky*; 6 teleobjetivos fotográficos; una estación meteorológica; 4 cámaras de vigilancia, un sistema de climatización; un sistema autónomo de cierre de seguridad y un sistema de control y procesado.

2.2. Novedades de personal

El 1 de septiembre se incorpora a la sección el TN Rafael Carrillo tras finalizar el Máster en Astronomía, Geofísica y Hora.

En enero embarca el ITA Informático Ricardo Menes Vargas incorporándose también a la Sección de Astronomía.

2.3. Otras actividades científicas y divulgativas

- El 10 de octubre se realizan una serie de observaciones astronómicas y se imparten tres conferencias enmarcadas todas dentro de la celebración de las actividades complementarias al Día de la Defensa Nacional. Estas son dirigidas por CC Lluís Canals, TN Víctor de Ory, TN Rafael Carrillo y el ITA José Luis Gutiérrez a un grupo de aproximadamente 20 personas.
- El personal de la Sección participó en 2 congresos nacionales (ver “apéndice A”).

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 y Santacilia, 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 2023 en la Sección de Geofísica puede estructurarse en los siguientes apartados:

- Sismología.
- Geomagnetismo.
- Satélites Artificiales.
- Meteorología.
- Proyectos de Investigación.
- Campañas.
- Publicaciones y Comunicaciones.
- Estancias de trabajo.
- 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 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, y posteriormente 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: La red de banda ancha, denominada "Western Mediterranean", y la red telemétrica de corto periodo (figura 3.1).

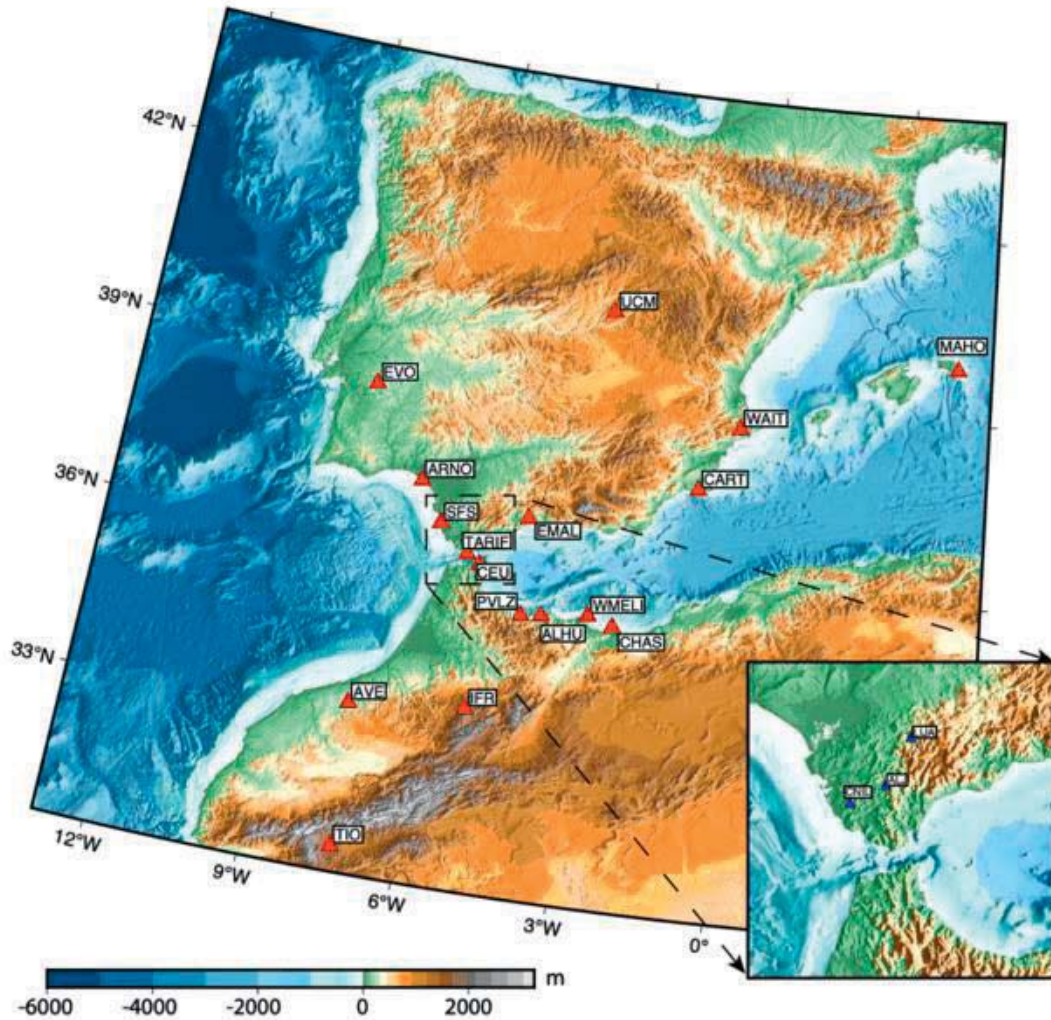


Figura 3.1. Red de banda ancha WM (triángulos color rojo) y situación actual de la Red Sísmica de Corto Periodo del Observatorio "Red del Estrecho" (triángulos color azul).

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.

Debido a problemas eléctricos y de mantenimiento, las estaciones SFS, GIBL, REAL y MOMI no han estado operativas a lo largo del año.

Sección de Geofísica

Código	Estación	Sensor	Comunicaciones	Estado
SFS	San Fernando	-	-	Closed
CNL	Conil de la Frontera	MARK L-4	UHF	1986-cont
ALJ	Sierra de Aljibe	MARK L-4	UHF	1986-cont
LIJA	Sierra de Lijar	MARK L-4	UHF	1986-cont
GIBL	Gibalbín	-	-	Closed
REAL	Pico los Reales	-	-	Closed
MOMI	Sierra Momias	-	-	Closed

Tabla 3.1. Tabla estado actual de la Red de Corto Periodo.

La red sísmica de banda ancha “Western Mediterranean” (WM) (figura 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.

Código	Estación	Sensor	Acelerómetro	Digitalizador	Comunicaciones	Periodo Func.
SFS	San Fernando	STS-2	-	EDR-209	VSAT	2001-Cont
CART	Cartagena	STS-2	Episensor ES-T	Q-330-HR	VSAT	1997-Cont
MAHO	Mahón	STS-2	Episensor ES-T	Q-330-HR	VSAT	1999-Cont
WMELI	Melilla	STS-2	-	ED PS24	Internet	2015-Cont
CEU	Ceuta	STS-2	-	ED PS24	Internet	2004-Cont
EMAL	Málaga	STS-2	Episensor ES-T	ED PS24	3G	2005-Cont
PVLZ	Peñón de Vélez	STS-2	-	ED PS24	VSAT	2004-Cont
UCM	Valdilecha	STS-2	-	ED PS24	Internet	2010-Cont
CHAS	Islas Chafarinas	STS-2.5	Episensor ES-T	Q-330-HR	VSAT	2014-Cont
EVO	Évora	STS-2	-	ED PS24	Internet	2006-Cont
AVE	Averroes (Marruecos)	STS-2	Episensor ES-T	Q-330-HR	VSAT	2006-Cont
IFR	Ifrane (Marruecos)	STS-2	-	ED PS24	Internet	2007-Cont
TIO	Tiouine (Marruecos)	STS-2	-	ED PS24	VSAT	2008-Cont
ARNO	Arenosillo	STS-2.5	Episensor ES-T	Q-330-HR	Internet	2015-Cont
WAIT	Aitana	STS-2	Episensor-ES-T	Q-330-HR	VSAT	2018-Cont
TARIF	Tarifa	STS-2	Episensor ES-T	Q-330-HR	Internet	2021-Cont
ALHU	Peñón de Alhucemas	STS-2	-	Taurus	VSAT	2022-Cont

Tabla 3.2. Resumen de la instrumentación y comunicaciones de las estaciones sísmicas que componen la red sísmica de banda ancha WM.

La WM está compuesta por diecisiete estaciones de banda ancha, con transmisión de datos digitales vía VSAT, Intranet o ADSL. En la tabla 3.2 se resumen el equipamiento de las estaciones sísmicas que conforman la WM, incluyendo la estación del Peñón de Alhucemas (ALHU) instalada en 2022.

3.1.2. Sismicidad

Durante el año 2023 se localizaron alrededor de 2.000 sismos (figura 3.2) en el área Ibero-Magrebí. Para su localización se utilizaron datos registrados en 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.

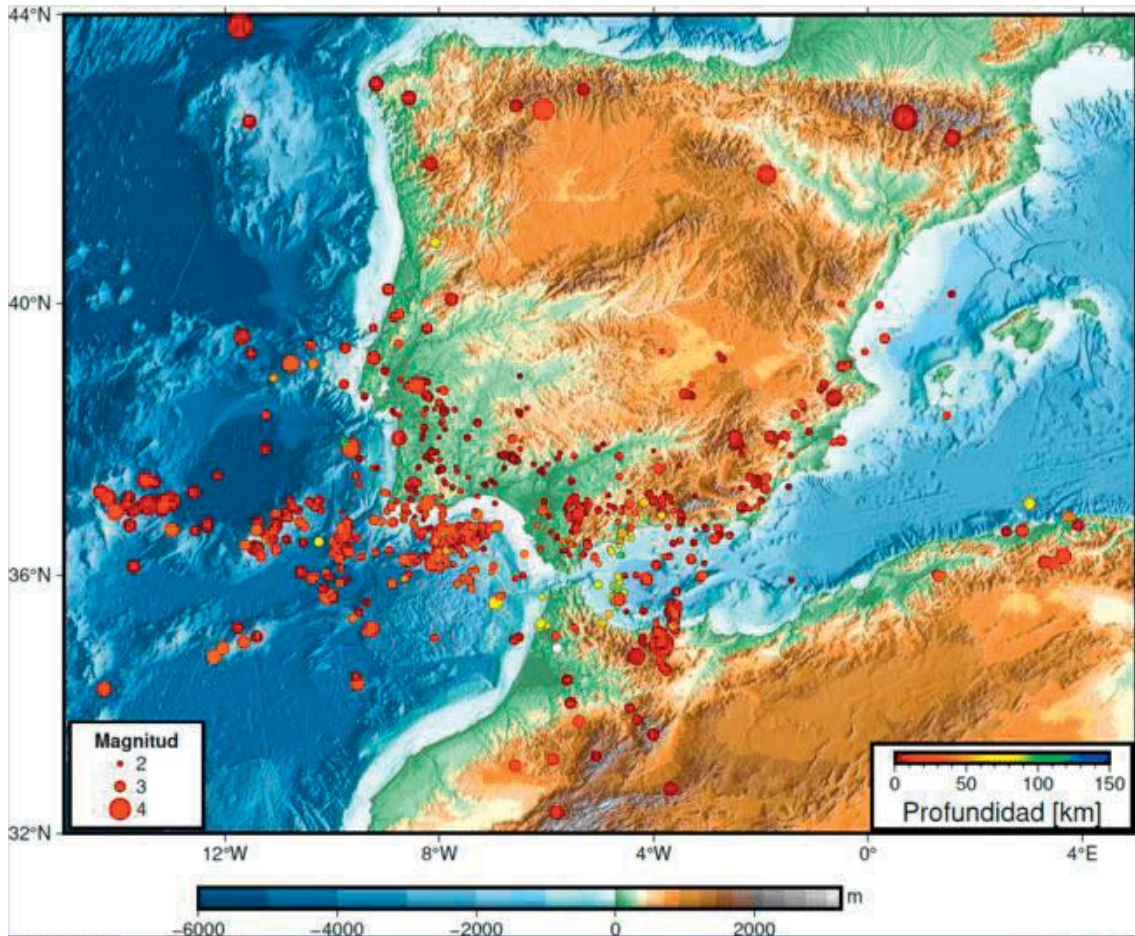


Figura 3.2. Mapa de sismicidad regional correspondientes a sismos localizados durante el año 2023.

Para la localización de sismos lejanos o telesismos (terremotos con distancias epicentrales superiores a los 1000 km) se utilizan datos de la red WM y datos libres de las siguientes instituciones científicas extranjeras: “*Incorporated Research Institutions for Seismology*” (IRIS) y “*GEOForschungsNetz*” (GEOFON) (Figura 3.3).

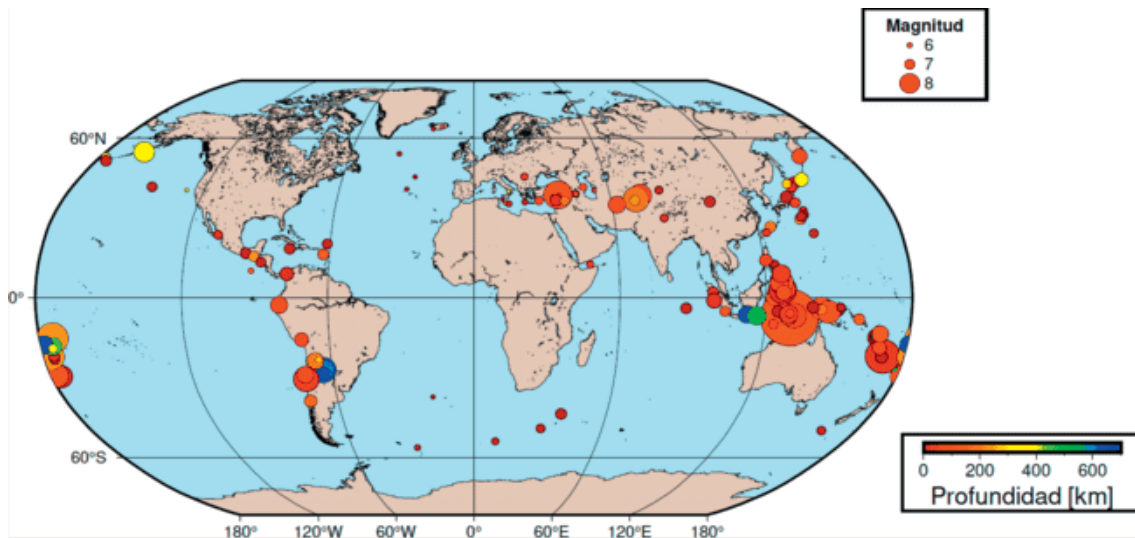


Figura 3.3: Mapa de localizaciones hipocentrales de sismos lejanos correspondiente al año 2023.

3.1.3. Otras actividades del Servicio de Sismología

A continuación, se detallan las actuaciones llevadas a cabo a lo largo del año 2023 para mantener la operatividad de las redes sísmicas (Red del Estrecho y Red WM):

El 8 de febrero, con motivo de asistencia a la estación sísmica de LIJAR por parte del servicio de GNSS, se cambiaron las baterías de la estación sísmica que se encontraban degradadas. Se aprovecha para dividir la alimentación entre GNSS y sísmica.

El 26 de abril se traslada personal del ROA a la estación de LIJAR para realizar comprobaciones en los equipos allí instalados debido a la pérdida de comunicaciones con estos. Se estudia el problema de alimentación eléctrica, y se prevé la instalación de nuevo equipamiento en una futura visita.

Entre el 20 y 22 de junio personal de la Sección es comisionado a Melilla desde donde, por medio de vuelos logísticos del ET, se trasladan a los Peñones de Vélez, Alhucemas e Islas Chafarinas con el fin de realizar mantenimientos y mejoras en las estaciones sísmicas; destacan entre ellas la instalación de un registrador digital CENTAUR de datos sísmicos en el Peñón de Vélez.

Con motivo de realizar pruebas de los liberadores acústicos de los sismómetros de fondo marino a profundidades de trabajo (entorno a los 1000 metros), el TN David Rodríguez Collantes se desplaza el día 7 de octubre a Cartagena para embarcar en el Buque Hidrográfico Malaspina. Se aprovecha el tránsito de vuelta al Arsenal de la Carraca para realizar el fondeo de prueba.

El 7 de noviembre, se desplaza personal de la sección y de servicios generales para realizar mantenimientos y mejoras en la estación de LIJAR en las cercanías de Algodonales. Principalmente, se instala un nuevo sistema de alimentación mediante paneles solares y se mejora la eficiencia del consumo de los equipos allí emplazados mediante reguladores.

3.2. Geomagnetismo

3.2.1. Estación Geomagnética Cortijo Garrapilos

El registro instrumental del Campo Magnético Terrestre (CMT) 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 una 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 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. Hay que 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 y la puesta en operatividad de la nueva estación, y 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 de registro 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, 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.

Durante todo el año 2023 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.
- Generación del informe anual.
- 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 2023, apartado de Geomagnetismo.



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

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 (CBN) 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 montura y parte de la electrónica de control del seguimiento. En la actualidad sólo queda de la antigua estación la montura azimutal, 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 la primera mitad del año 2023, las actividades estuvieron enfocadas en mantener la estación operativa con el objetivo de realizar observaciones bajo el *International Laser Ranging Service* (ILRS) durante el mayor tiempo posible y avanzar en los desarrollos técnicos necesarios para la implementación y desarrollo del proyecto AMELAS (Actualización del Conjunto Montura-Electrónica de la Estación de Telemetría Láser ROA).

Las principales tareas relacionadas con el mantenimiento operativo de la estación han sido la revisión y mantenimiento regular de equipos y sistemas para garantizar su funcionamiento óptimo, así como, la actualización del software y firmware para mejorar la seguridad y el rendimiento de las librerías propias de la estación. Como una tarea constante, cabe reseñar, la capacitación del personal en procedimientos de mantenimiento y operación de la estación.

El 28 de junio cesa el envío al ILRS de las observaciones en formato CRD v1.0, tras un período de envío simultáneo con el formato CRD v2.0.

La figura 3.5 muestra los resultados de una porción representativa de las calibraciones internas del sistema realizadas con el *Event Timer A032* durante todo el período de actividad del año 2023. En la parte superior de la figura pueden observarse los valores medios de las calibraciones obtenidas, con un promedio de 142.500 ps, mientras que en la parte inferior se observa los valores de la desviación estándar que varían entre los 50 y 30 ps.

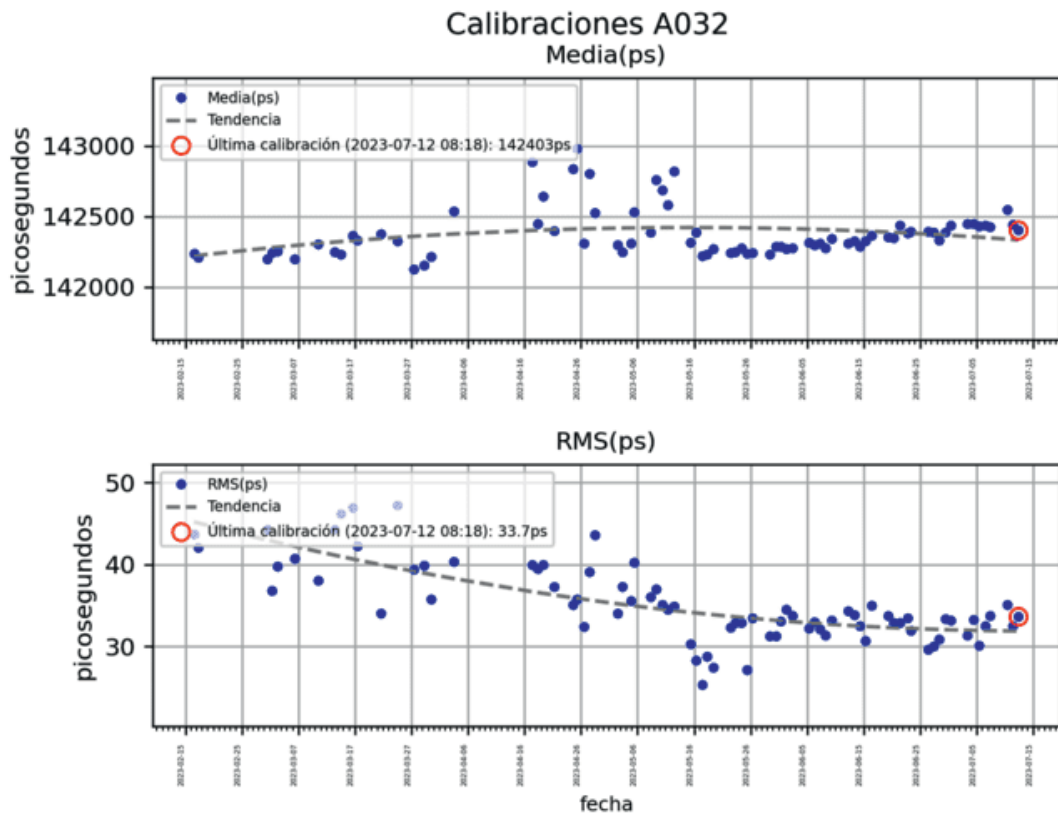


Figura 3.5. Resultados de las calibraciones internas realizadas durante 2023 con el equipo Event Timmer A032.

En la figura 3.6 se refleja el rendimiento de la estación atendiendo al número de seguimientos realizados hasta la parada de mantenimiento efectuada el 1 de noviembre, de cara a llevar a cabo el proyecto AMELAS y otros de mejora simultáneos.

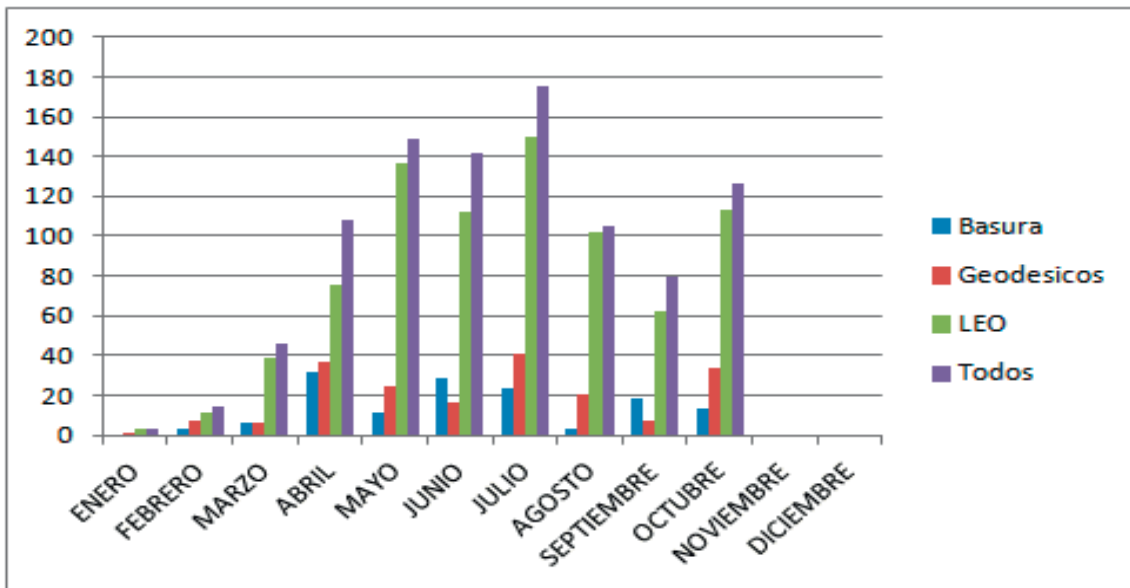


Figura 3.6. Número de seguimientos realizados durante el período enero-octubre de 2023.

En cuanto a las tareas de desarrollo técnico para la integración del proyecto AMELAS, se ha continuado el diseño y prueba de los equipos requeridos para el proyecto, así como, la coordinación de carácter periódico con los equipos de ingeniería y desarrollo de la empresa AVS para garantizar la integración adecuada del proyecto. La figura 3.7 muestra el diagrama de Gantt de desarrollo del proyecto AMELAS.

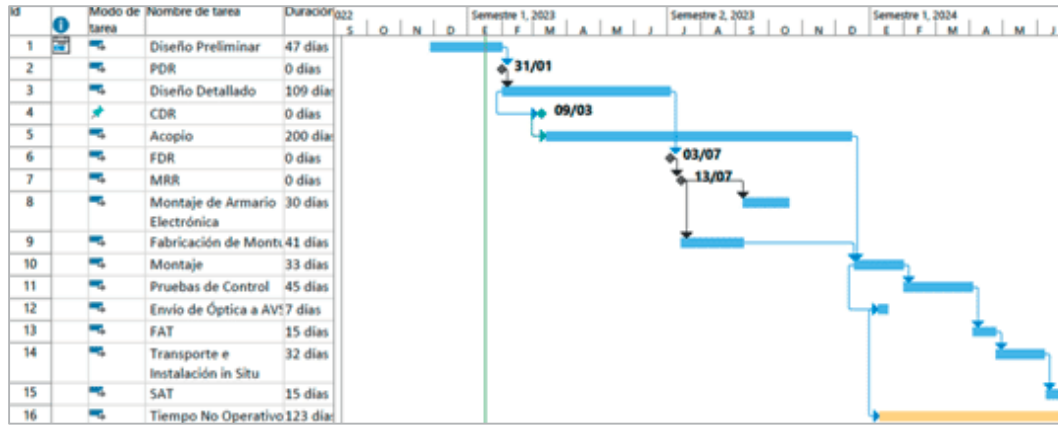


Figura 3.7. Diagrama de Gantt del Proyecto AMELAS.

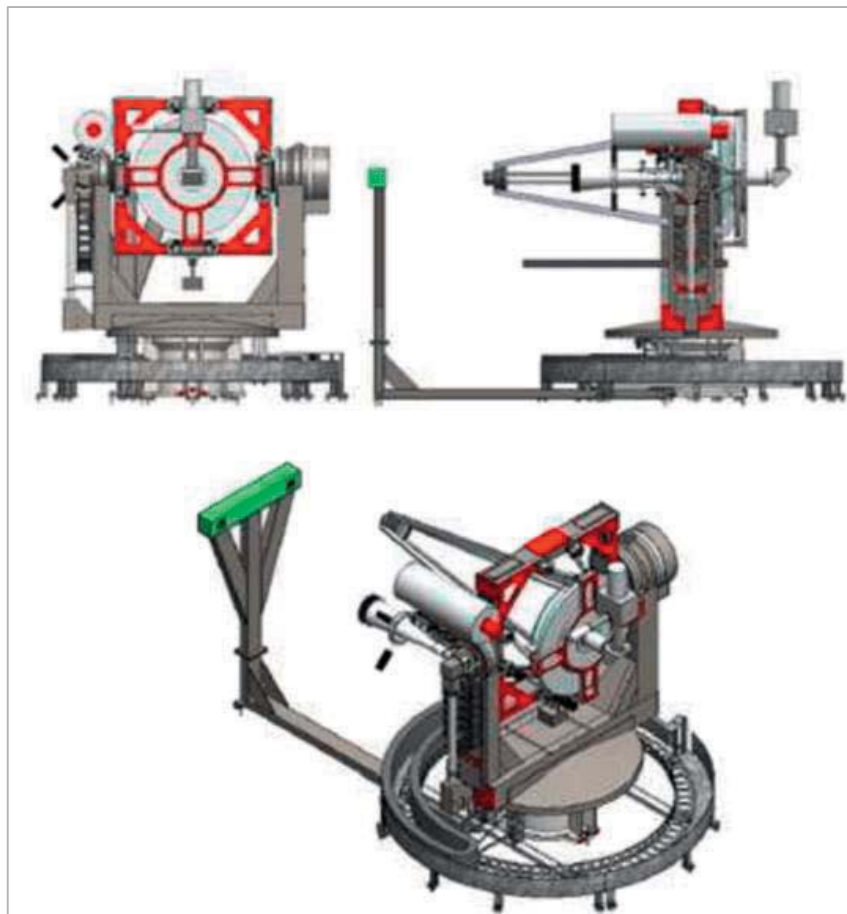


Figura 3.8. Modelo tridimensional de la nueva montura AMELAS.

En el plano del desarrollo software y hardware, en el año 2023 se ha continuado el desarrollo de Proyecto Degoras que abarca el nuevo sistema de control y gestión integral de la estación SLR.

En el ámbito software puede destacarse el nuevo sistema para la generación de modelo de apuntamiento, así como las nuevas herramientas software necesarias para el control de la nueva montura del proyecto AMELAS. También se ha avanzado en el subsistema de seguimiento, incluyendo la adaptación del control de la nueva montura. En la figura 3.9 puede verse la interfaz gráfica del subsistema de seguimiento.

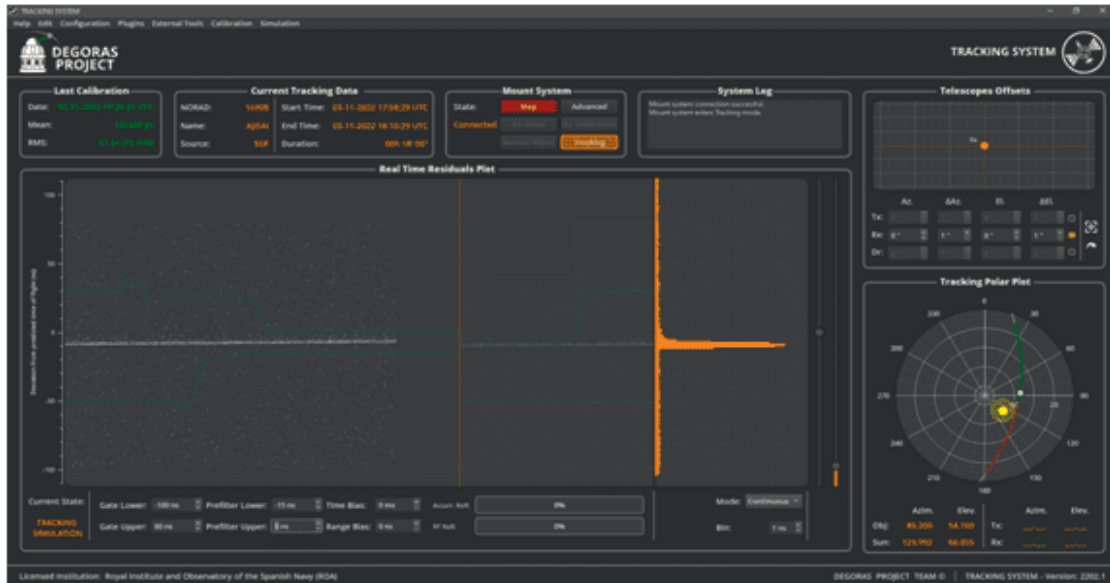


Figura 3.9. Interfaz gráfica del subsistema de seguimiento.

En el ámbito hardware se ha proseguido el desarrollo del subsistema de control en tiempo real, permitiendo ahora la observación de satélites en órbitas HEO. Asimismo, se ha desarrollado una nueva placa (figura 3.10) de interconexión para el subsistema de control de tiempo real en colaboración con el grupo de investigación de Diseño de Circuitos Microelectrónicos de la Universidad de Cádiz.

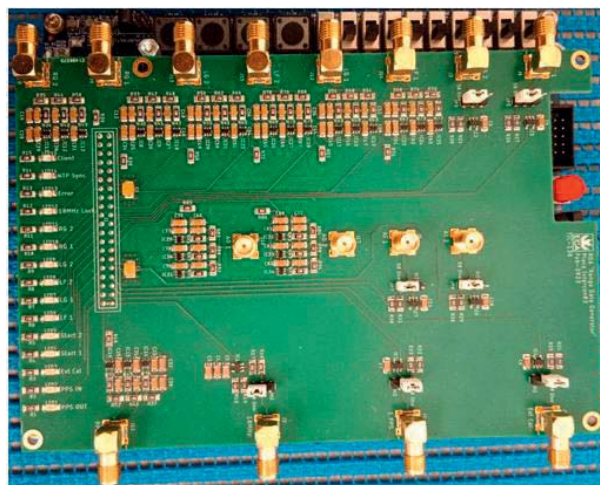


Figura 3.10. Nueva placa de interconexión para el subsistema de tiempo real.

Finalmente, cabe destacar la integración de un nuevo telescopio de seguimiento, formado por la integración del conjunto telescopio modelo Celestron RASA 8" y una cámara CMOS astronómica ZWO ASI 2600. Este conjunto ha proporcionado unos muy buenos resultados brindando la oportunidad de realizar seguimientos estables sobre satélites GNSS durante las pruebas de integración. En la figura 3.11 se muestra el nuevo telescopio de seguimiento durante las pruebas iniciales de funcionamiento.



Figura 3.11. Telescopio de seguimiento.

Desde el 13 de noviembre, coincidiendo con la parada prevista de mantenimiento y mejora, se ha llevado a cabo una obra de restauración en la cúpula del edificio principal. Esta obra, con una duración prevista de 90 días, tenía como objetivo principal sanear las filtraciones y humedades existentes en esa área específica del edificio. En la figura 3.12 se muestra una imagen del andamiaje instalado en la cúpula del Observatorio.



Figura 3.12: Imagen de la cúpula del Observatorio durante las obras de restauración.

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.

La red del ROA cuenta con nueve 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 estación principal se sitúa en el propio Observatorio y está integrada en la red internacional IGS (*International GNSS Service*).

La estación VELE pasó a llamarse, desde 9 de julio de 2018, PVLZ tras realizar el cambio de posición de la antena debido a presentar problemas la antigua ubicación.

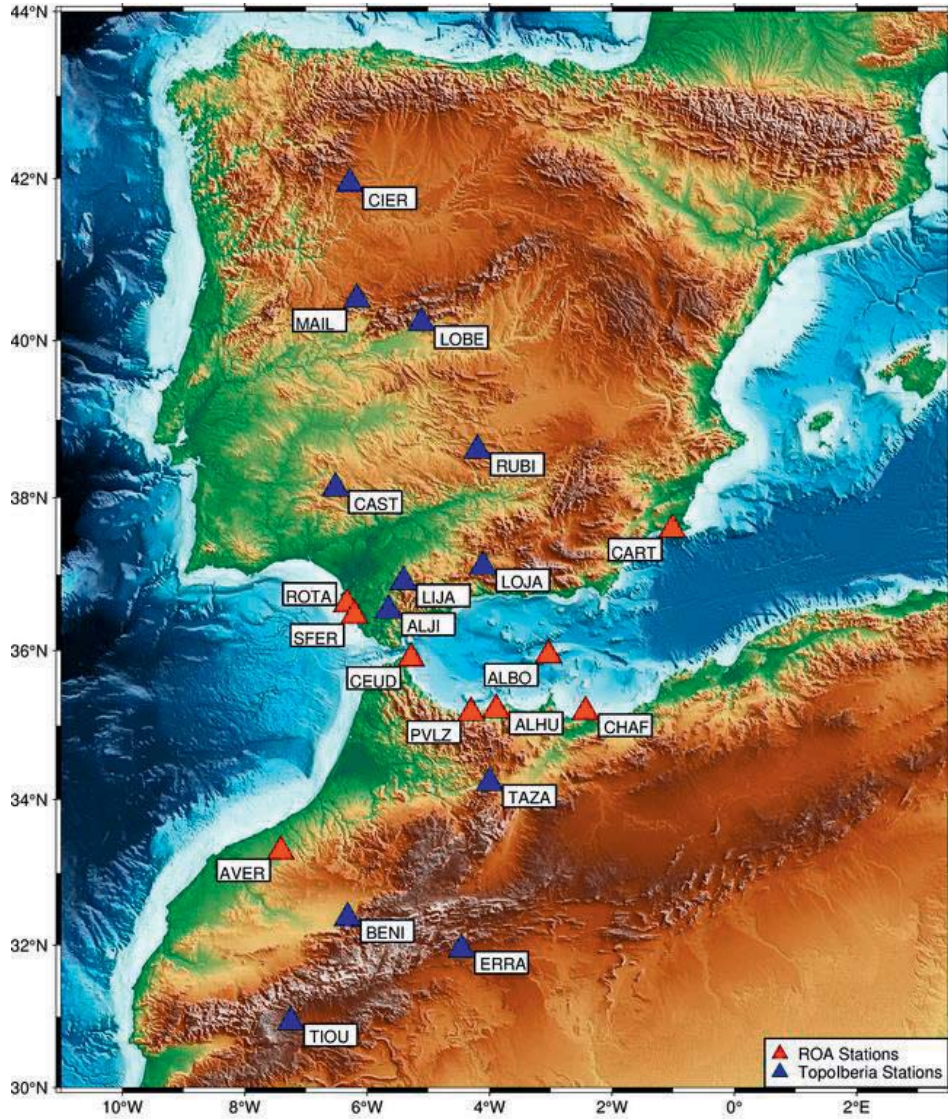


Figura 3.13. Distribución de estaciones de la Red ROA (triángulos azules) y de la Red Topo-Iberia (triángulos rojos).

GPS	Estación	Modelo	Año Instalación
SFER	San Fernando, ROA	Leica GR30	1996
CART	Cartagena, E.N. Algameca	TrimbleNetRS	1997
CEUD	Ceuta	TrimbleNetRS	2003
ROTA	Base Naval Rota	TrimbleNetRS	2010
ALBO	Isla de Alborán	TrimbleNetRS	2003
CHAF	Chafarinas	TrimbleNetRS	2007
PVLZ	Peñón de Vélez	Leica GR25	2005
AVER	Averroes	TrimbleNetRS	2008
ALHU	Peñón de Alhucemas	Leica GR25	2022

Tabla 3.3. Listado de estaciones de la Red ROA.

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	Modelo	Año Instalación
ALJ	Sierra de Aljibe, Cádiz	TrimbleNetRS	2008
CAST	Castillo de Segura, Huelva	TrimbleNetRS	2008
CIER	Villadeciervos, Zamora	TrimbleNetRS	2008
LIJA	Sierra de Lijar, Cádiz	TrimbleNetRS	2008
LOBE	Arenas de San Pedro, Ávila	TrimbleNetRS	2008
LOJA	Loja, Granada	TrimbleNetRS	2008
MAIL	Maillo, Peña de Francia, Salamanca	TrimbleNetRS	2008
RUBI	Cabezarrubias, Ciudad Real	TrimbleNetRS	2008
TIOU	Tiouine, Marruecos	TrimbleNetRS	2008
ERRA	Errachidia, Marruecos	TrimbleNetRS	2008
BENI	Beni Mellal, Marruecos	TrimbleNetRS	2008
TAZA	Taza, Marruecos	TrimbleNetRS	2008

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

3.3.3. Otras Actividades del Servicio de Satélites

Durante el año 2023, se realizaron diversas actuaciones en este Servicio, entre ellas se destacan las siguientes:

El día 8 de febrero personal de la sección acude a la estación de LIJAR en Algodonales para la sustitución del receptor GNSS.

La Universidad de Jaén se pone en contacto con personal del servicio de GNSS para dejar, en concepto de préstamo indefinido, una estación de bajo coste para diversas pruebas y estudios. El TN David Rodríguez acude el 28 de marzo a dicha universidad para la recogida de equipos y aprender cómo realizar su instalación en el ROA.

El 26 de abril se traslada personal del ROA a la estación de LIJAR para realizar comprobaciones en los equipos allí instalados debido a la pérdida de comunicaciones con estos. Se estudia el problema de alimentación eléctrica, y se prevé la instalación de nuevo equipamiento en una futura visita.

Entre el 20 y 22 de junio personal de la sección es comisionado a Melilla desde donde, por medio de vuelos logísticos del ET, se trasladan a los Peñones de Vélez, Alhucemas e Islas Chafarinas con el fin de realizar mantenimientos y mejoras en las estaciones, destacan entre ellas la instalación de un receptor GNSS LEICA GR25 y antena AR20 en el Peñón de Vélez.

El 7 de noviembre, se desplaza personal de la sección y de servicios generales para realizar mantenimientos y mejoras en la estación de LIJAR en las cercanías de Algodonales. Principalmente, se instala un nuevo sistema de alimentación mediante paneles solares y se mejora la eficiencia del consumo de los equipos allí emplazados mediante reguladores.

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 2023 y dentro de la Sección de Geofísica, se han mantenido los siguientes proyectos de investigación y acciones especiales:

- **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.

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

Desde 2018 se han realizado seguimientos sobre objetos tanto colaborativos (satélites activos dotados de espejos retrorreflectores) como no colaborativos (basura espacial) de forma sistemática y con resultados satisfactorios. La consecuencia directa de este hecho es que la estación láser del ROA es 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 de este 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 (aprox. 20.000 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. A través del expediente 2022/0474E la Subdirección General de Adquisiciones de Armamento y Material DGAM aprueba la financiación de este proyecto cuyo desarrollo se efectuará entre 2022 y 2024.

3.6. Campañas

Durante el año 2023, se realizó la siguiente campaña:

Campaña TIMANFAYA

Entre el 7 y el 19 de mayo se llevó a cabo una campaña geofísica en el Parque de Timanfaya de la Isla de Lanzarote. Esta campaña estuvo liderada por la Universidad de Maryland en cooperación con otras instituciones y universidades norteamericanas. En particular, el papel de la Sección de Geofísica en dicha campaña fue la de realizar el estudio de las variaciones del campo magnético asociadas al vulcanismo y los objetivos que se plantearon fueron los siguientes:

- Adquisición de datos de diferentes disciplinas (petroquímica, magnetismo y toma de muestras).
- Estudio geofísico en el interior de estructuras volcánicas, evaluando su campo magnético.
- Prueba de equipamiento para su uso en futuras misiones espaciales.

La campaña de la Zona Económica Exclusiva Española ZEEE-2023 se suspendió debido a los graves problemas de los sondadores del BIO Hespérides que deberán ser sustituidos.

3.7. Personal

- Entre los días 6 de junio y 11 de agosto tienen lugar las prácticas de empresa de la alumna del Máster en Matemáticas de la Universidad de Cádiz, Cristina García Valle. Estas prácticas fueron tutorizadas por el ITA Ángel Vera Herrera y permitieron el desarrollo de algoritmos de filtrado automático de los ficheros de observación de la estación láser. Esta mejora será depurada por el personal de la estación y se prevé sea incorporada en el sistema de procesado de datos próximamente.

- El 12 de diciembre fallece el CF (RES) D. Manuel Catalán Morollón, profesor titular de la Escuela de Estudios Superiores y Jefe de la Sección de Geofísica. Descanse en paz.
- Como resultado del proceso selectivo concluido en septiembre (BOE 182), el 18 de diciembre se incorpora a la plantilla de la Estación Láser el Maestro de Arsenales Miguel Ángel Ruiz Negreira.

3.8. Otras actividades científicas y divulgativas

- El 6 de febrero, el TN Manuel Sánchez, inicia la dirección del Trabajo Fin de Grado (TFG) de la Facultad de Física de la Universidad de Cantabria del alumno Rubén Martínez Ibáñez titulado “Estudio de control de actitud sobre satélites artificiales y basura espacial empleando datos de láser”.
- Los días 1 y 8 de junio tienen lugar las visitas a la Estación Láser relacionadas con el Día de las Fuerzas Armadas a cargo del TN Manuel Sánchez y el ITA Ángel Vera.
- Entre los días 6 de junio y 11 de agosto tienen lugar las prácticas de empresa de la alumna del Máster en Matemáticas de la Universidad de Cádiz, Cristina García Valle. Estas prácticas fueron tutorizadas por el ITA Ángel Vera Herrera y permitieron el desarrollo de algoritmos de filtrado automático de los ficheros de observación de la estación láser. Esta mejora será depurada por el personal de la estación y se prevé sea incorporada en el sistema de procesado de datos próximamente.
- Desde el 1 de septiembre, el TN Manuel Sánchez, realiza un adiestramiento del software de dinámica espacial y determinación orbital STK-ODTK de la matriz empresarial ANSYS.
- El día 12 de octubre tiene lugar la visita a la Estación Láser relacionada con el Día de la Fiesta Nacional a cargo del TN Manuel Sánchez.
- Entre el 23 y 29 de octubre tiene lugar la estancia del doctor en Ciencias Físicas D. Franco Della Prugna. Durante este período se realizan diversas actividades: como una observación nocturna en la estación láser, la revisión de proyectos a nivel óptico de la estación y una conferencia para el personal de las Secciones titulada “Reactivación del Telescopio Schmidt del Observatorio Astronómico Nacional de Venezuela”.
- El 28 de noviembre, el TN Manuel Sánchez, inicia la codirección del TFG de la Facultad de Ingeniería Aeroespacial de la Universidad de Sevilla del alumno Juan Luis de Miguel Luque titulado “Determinación orbital y fusión de datos”.
- Se publicaron 4 trabajos en revistas nacionales e internacionales, incluyendo el capítulo de un libro, y se participó en un total de 11 comunicaciones en congresos nacionales e internacionales y (ver “apéndice A”). Cabe destacar por su impacto la siguiente:

Título: On the intriguing subject of the low amplitudes of magnetic anomalies at the Powell Basin

Revista: Frontiers in Earth Science

Autores: M. Catalán, R. Negrete-Aranda, Y. M. Martos, F. Neumann, A. Santamaría and K. Fuentes

Fecha publicación: 06 de octubre de 2023 (DOI 10.3389/feart.2023.1199332)

Resumen: La cuenca de Powell es una pequeña cuenca oceánica delimitada por bloques continentales que fragmentado durante la ruptura de la Antártida de América del Sur. Esta cuenca limita el microcontinente de las Orcadas del Sur al este, la cordillera de Escocia del Sur al norte, y la Península Antártica al oeste. El momento en que se produce su apertura está mal determinado debido a la baja amplitud de la distribución oceánica de las anomalías magnéticas que dificultan su identificación e interpretación, lo que provoca grandes incertidumbres en las edades propuestas que van desde el Eoceno tardío hasta el Mioceno temprano. Esta cuenca ha sido ampliamente estudiada utilizando variedad de métodos geofísicos incluyendo sísmicos, gravimétricos y magnéticos, destinados a revelar las particularidades de sus anomalías magnéticas y la comprensión del régimen térmico en esta zona. En este artículo, mostramos nuevos datos magnéticos y de flujo de calor integrados con otros datos geofísicos de bases de datos internacionales (sísmica multicanal, batimetría y gravimétricos, aire libre), para analizar la estructura térmica de la litosfera de la cuenca de Powell y la dinámica del manto superior, así como discutir las causas probables de las amplitudes anormalmente pequeñas de su anomalías. Nuestros resultados muestran que las bajas amplitudes de las anomalías magnéticas no son muy extendidas, pero se concentran en la parte oriental y suroeste de la cuenca. Proponemos que estas pequeñas amplitudes son el resultado de la dependencia térmica de rocas magnéticas causadas por un flujo de ramas astenosféricas que penetran en la Cuenca Powell a través de la zona norte

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 estos 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 la 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.

La Sección de Hora distribuye la diferencia de la escala de tiempo UTC(ROA) respecto de la escala de tiempo UTC elaborada en la Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIPM). En la figura 4.1 se muestra esta diferencia durante el periodo que abarca esta memoria.

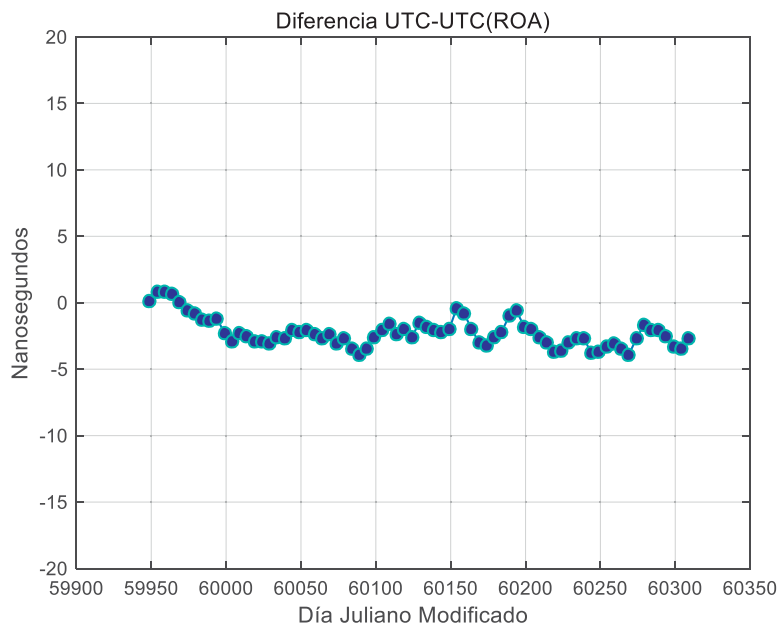


Figura 4.1: Comparación de la escala de tiempo UTC(ROA) en 2023, según datos de la Circular T.

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

El sintetizador de frecuencia AOG-110, ha estado controlado a lo largo del año para aceptar los ajustes de frecuencia necesarios para mantener la exactitud de UTC(ROA) dentro de ± 100 ns respecto de UTC, conforme a la recomendación del CCDS, en su duodécima Asamblea (1993).

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 4.2 y 4.3 se muestran estos datos expresados, respectivamente, en términos de la Desviación de Allan y de la Desviación en el 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 $1,33 \times 10^{-15} \pm 0,30 \times 10^{-15}$ ($k = 2$), en tanto que la estabilidad en tiempo es de $3,27 \times 10^{-10} \pm 0,73 \times 10^{-10}$ ($k = 2$).

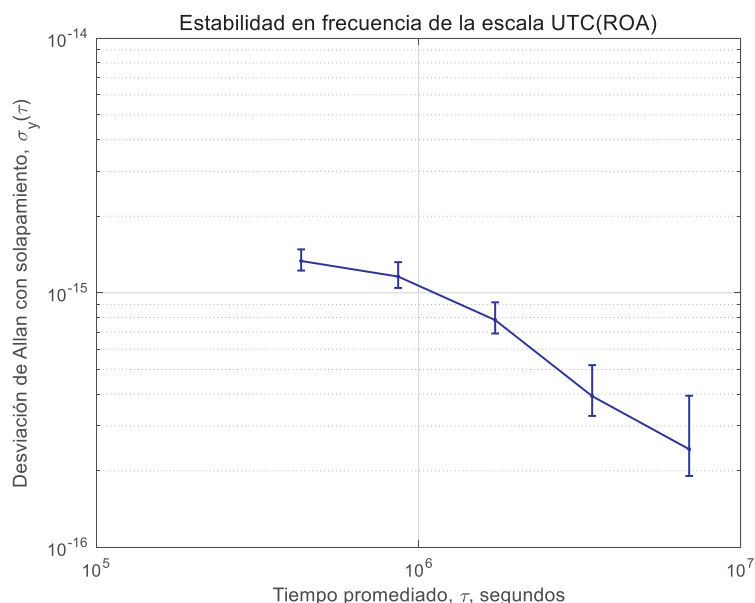


Figura 4.2: Estabilidad en frecuencia de la Escala UTC(ROA).

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 ROA.

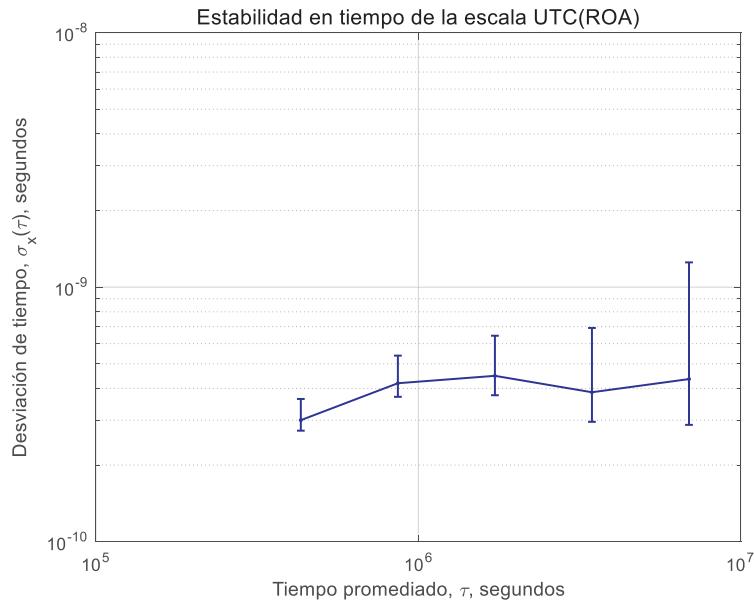


Figura 4.3: Estabilidad en tiempo de la Escala UTC(ROA).

Conforme Resolución de 20 de julio de 2023 (BOE Núm. 178), el CEM y el ROA han suscrito un Convenio relativo a actuaciones en materia de desarrollo y mantenimiento de patrones nacionales de medida derivado de la designación del ROA como Laboratorio Asociado al CEM. De este modo ambas instituciones podrán cooperar dentro del campo de la metrología y los patrones de medida, en proyectos conjuntos de investigación y desarrollo en los ámbitos nacional, europeo e internacional e intercambiarán sistemáticamente entre sí y con el resto de los laboratorios asociados, en el seno de la CLA, la información que permita detectar todas las oportunidades de cooperación.

Asimismo, podrán prestarse mutuamente asesoramiento en cuestiones relacionadas con la actividad de ambas partes, colaborar en programas de difusión tecnológica e innovación empresarial, coordinar el uso conjunto de instalaciones e intercambio temporal de personal para actividades específicas y, en general, colaborar con transparencia en cuantas otras actividades sean consideradas de interés por ambas partes.

La CLA está constituida, además del CEM y el 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. El 28 de noviembre, personal perteneciente a la Comisión de Laboratorios Asociados se reunió en el ROA, participando el CF Héctor Esteban Pinillos y CC Héctor Álvarez Martínez (figura 4.4).



Figura 4.4: Fotografía de grupo en la Sala de Reuniones de la Escuela de Estudios Superiores.

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, ISCIII).

A este respecto, hay que reseñar la visita de supervisión presencial que el CC ING. Juan Manuel González Sánchez realiza en el mes de noviembre al Instituto de Óptica “Daza de Valdés”, dentro del turno anual de visitas establecido por la Comisión de Laboratorios Asociados al CEM, con el 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 propia Sección de Hora, a través de una visita de supervisión realizada a finales de ese mismo mes, llevada a cabo por el Dr. Salustiano Ruiz Méndez, Director de la División de Magnitudes Energéticas, Medio Ambiente y Salud del CEM y Dra. Beatriz Nuñez Corcuera, jefa de Área de Contaminación Atmosférica del Instituto de Salud Carlos III, y de una 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 y la CC Carmen Vélez López a finales de diciembre.

El ROA continúa tomando parte activa en los diferentes Grupos de Trabajo del Comité Consultivo de Tiempo y Frecuencia 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 Comité Consultivo de Tiempo y Frecuencia (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 2010 su singladura 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 hasta finales de 2022, el ROA ha participado como parte del consorcio GRC-MS, 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) derivadas de la convocatoria inicial GSA/GRANT/04/2016, mediante dos paquetes de trabajo (WP) relacionados con el tiempo, WP1.1 “*Reference Stations*” y WP3.3 “*Open Service Time Performance*”.

Por otra parte, en el marco del sistema *European Geostationary Navigation Overlay* (EGNOS), el ROA ha formado parte del consorcio denominado *EGNOS Service Performance Monitoring Support* (SPMS) para atender las sucesivas ayudas específicas derivadas de la convocatoria GSA/GRANT/EGNOS/01/2014, y que estuvo vigente hasta finales de 2022. El paquete de trabajo realizado está relacionado con la monitorización del servicio de tiempo en *Open Service* (OS) y *Safety of Life* (SoL), cubriendo la zona sur-oeste de Europa (figura 4.5) dentro del WP 1.1 “*EGNOS Navigation Performance*”.

Durante el año 2023, el ROA ha participado en el proyecto internacional denominado *Galileo and EGNOS Monitoring Of Performance* (GEMOP), conforme a la convocatoria de ayudas EUSPA/GRANT/03/2021, publicadas en el seno de la Agencia de la Unión Europea para el Programa Espacio (EUSPA), anteriormente Agencia Europea GNSS (GSA). Este proyecto tiene una duración prevista de 7 años (de 2023 a 2029) y da continuidad a los dos proyectos anteriormente mencionados, GRC-MS y EGNOS.

La participación del ROA en estos 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.

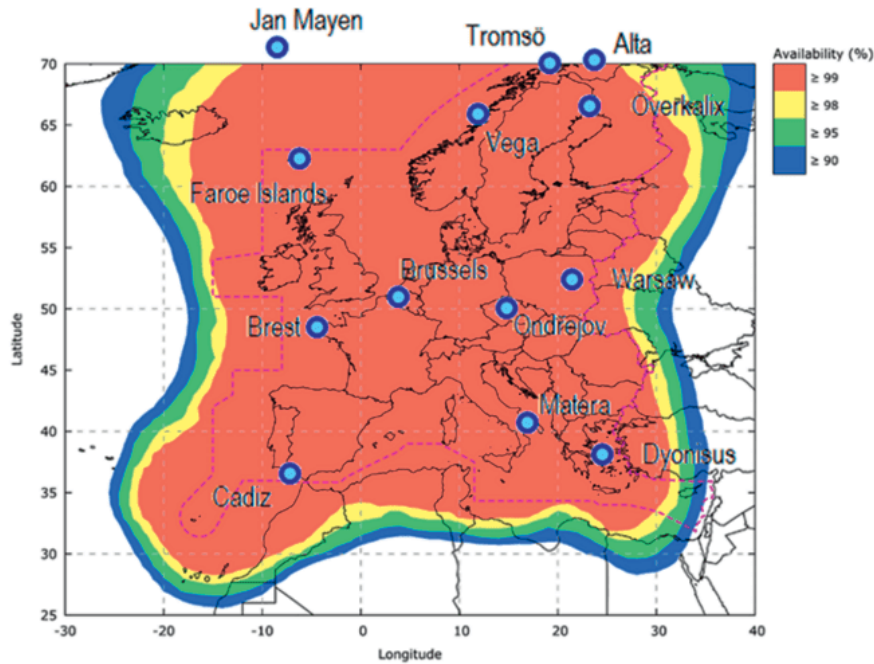


Figura 4.5: Cobertura del servicio con la inclusión de la estación ROA al consorcio SPMS EGNOS.

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 0 horas UTC de cada día, facilitando la monitorización del comportamiento de la realización local de UTC (UTC(k)).

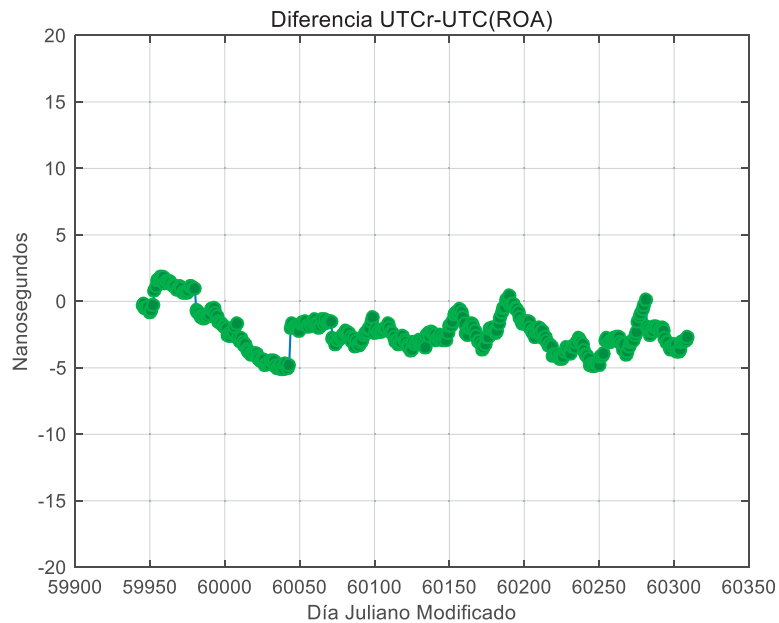


Figura 4.6: Escala de tiempo UTC(ROA) referida a UTC_r. Datos proporcionados por el BIPM (<ftp://tai.bipm.org/UTCr/Results/>).

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 70 laboratorios, de entre los 90 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, 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.

Durante todo el año se han mantenido las mismas frecuencias del enlace europeo, 14.260,17 MHz (Tx.) y 10.960,17 MHz (Rx.), y las del enlace transoceánico, 14.047,74 MHz (Tx.) y 11.497,06 MHz (Rx.) con una tasa de chip del sistema de 2,5 Mchip/s. El sistema está compuesto por dos estaciones independientes y plenamente operativas.



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

Ambas están constituidas por un modem SATRE (números de serie 426 y 448), transceptor en banda Ku extendida y antena Prodelin de 2,4 m. En la figura 4.7 se muestra la ubicación de las antenas en la azotea del nuevo 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 ROA continúa formando parte del reducido grupo de laboratorios que emplean esta técnica en el escenario internacional. En la figura 4.8 se muestran los resultados de la intercomparación TWSTFT con los principales laboratorios europeos y norteamericanos.

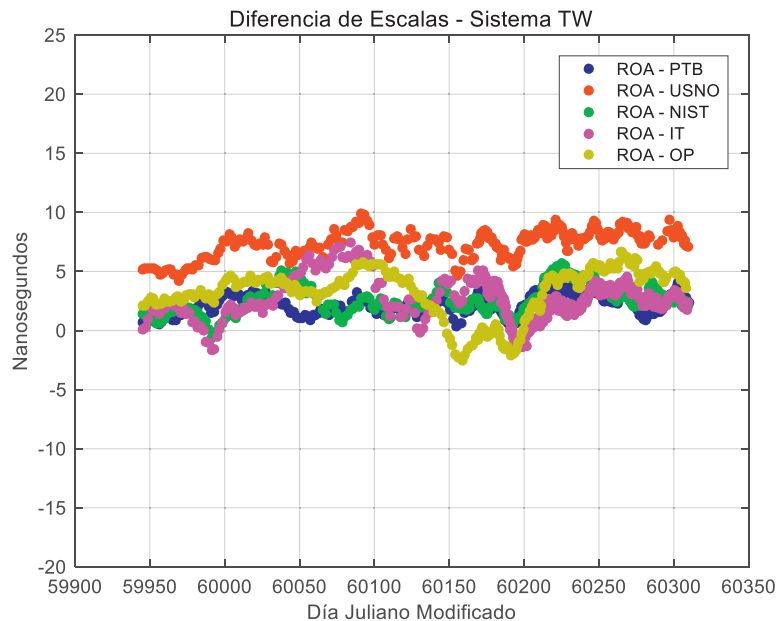


Figura 4.8: Intercomparación de la escala UTC(ROA) con los principales laboratorios europeos y norteamericanos mediante TWSTFT utilizando el satélite TELSTAR 11N.

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.

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.

Durante el segundo semestre de 2023, se ha vuelto a calibrar este enlace. El ROA ha liderado nuevamente esta campaña de calibración, lo que ha implicado la planificación de la campaña en coordinación con todas las instituciones del proyecto GSOp participantes (*Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica* INRIM-Italia, *Observatoire de Paris* OP-Francia, *Research Institutes of Sweden* RISE-Suecia y PTB-Alemania), además del ROA; la gestión de la estación transportable (figura 4.9) de la empresa alemana TimeTech, contratada por INRIM a tal efecto; y la elaboración de los informes finales para la EUSPA y BIPM.

Los resultados han sido muy positivos en general, con valores e incertidumbres asociadas en el mismo orden que los obtenidos en la anterior campaña de calibración de 2019. Esto supondrá que los relojes del Observatorio sigan contribuyendo en la

misma medida en la realización de UTC, viéndose consolidadas al mismo tiempo las capacidades de medida y calibración, y consecuentemente la calidad de los servicios de calibración que lleva a cabo como Laboratorio de Referencia Nacional.

En definitiva, se sigue formando parte del reducido grupo de laboratorios (actualmente 8), con una incertidumbre igual o mejor de 2 ns. Los restantes son el PTB (Alemania), que ejerce de laboratorio pivote, USNO (EE.UU.) y otros cinco laboratorios europeos, tres de los cuales lo han logrado junto al PTB gracias a las campañas de calibración lideradas por el ROA.



Figura 4.9: Estación portátil TWSTFT en el ROA (izqda.) y en el INRIM (dcha.).

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 modem 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 las estaciones participantes.

Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS).

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 (TAIPPP). Se emplea asimismo el método de todos a la vista E3/P3

(E3/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 GNSS. 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 E3/P3-AV, se beneficia del hecho de que todos los satélites Galileo y 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 E3/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.

La Sección de Hora cuenta con cinco receptores geodésicos, cuatro de ellos del mismo fabricante:

- I. El receptor GNSS modelo GTR51, n/s 1509257 de MESIT ASD, de propósito general y capacidad para trabajar con código y fase de portadora de las señales GPS L1/L2, GLONASS L1/L2 y Galileo E1/E5a.
- 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. Dos PolaRx5TR PRO, n/s 4701187 y 4701513, que disponen 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, el laboratorio cuenta con una estación IGS (International GNSS Service) con denominación ROAG. El punto geodésico con número Domes 13402M007 se encuentra localizado en el punto más alto del Laboratorio de Hora y, actualmente, la estación está constituida por el receptor PolaRx5TR n/s 4701187 y la antena Leica AR25 Chocke Ring n/s 726362, que se encuentra soportada sobre el mástil de cemento de la figura 4.10, integrado este último en la cimentación original del edificio.

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.



Figura 4.10: Estación IGS con denominación ROAG.

En la figura 4.11 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).

En la figura 4.12, se muestran las diferencias entre la escala UTC(ROA) y las diferentes escalas de referencia GNSS, destacando 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.

Durante los meses de abril y mayo se realiza una nueva campaña de calibración G1G2 GNSS, en el seno de EURAMET (Cal_Id = 1016-2023), liderada por el ROA, con los laboratorios metrológicos nacionales IFS (Zagreb, Croacia) y BIM (Sofía, Bulgaria).

Sección de Hora

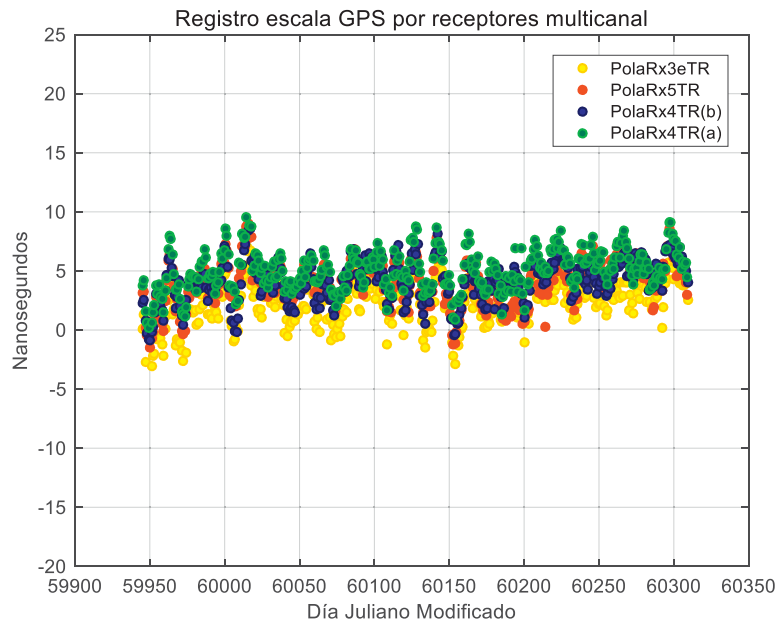


Figura 4.11: Diferencias entre la escala UTC(ROA) y la escala GPS durante el año 2023.

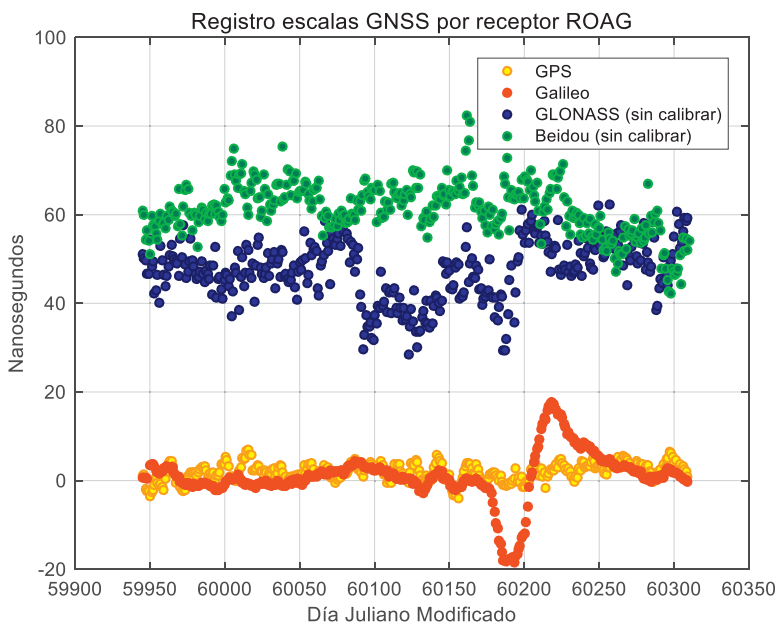


Figura 4.12: Diferencias entre la escala UTC(ROA) y las escalas GNSS durante el año 2023.

Sincronización de redes de ordenadores.

Se mantiene un servicio de sincronismo NTP (Network Time Protocol) abierto al público, basado en sistemas de sincronización “estrato 1” referenciados a la escala de tiempo UTC(ROA): 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, 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 Counter/Timer/Analyser HP 53131A – Instituto de Óptica "Daza de Valdés" (ROA-001/23).
- 1 Sistema de T/F basado en rubidio disciplinado a GPS DATUM SYSTEM 2000 (ROA-016/23).
- 1 Contador de Segundos Hanhart Profil 5 04-202-1 – BD Medical (ROA-028/23).
- 1 Oscilador Symmetricom SA.22c – Servicio de Gravimetría de la Subdirección General de Astronomía y Geodesia del Instituto Geográfico Nacional (ROA-037/23).
- 1 Patrón de rubidio Symmetricom 8040C - Asociación LACECAL (ROA-038/23).
- 14 Receptores GPS GlobalSat MR-350N (10 Hz) – Tradeseegur, S.A. (ROA-039/23 al ROA-053/23).

- 1 Servidor de tiempo NTP disciplinado a GPS Ingemation Ingeniería TS19SR CZ_202212050_05 – Ingemation Ingeniería (ROA-013/23).
- 1 Servidor de tiempo NTP disciplinado a GPS Ingemation Ingeniería TS19SR CZ_202212050_04 – Ingemation Ingeniería (ROA-014/23).
- 1 Sistema de T/F basado en rubidio disciplinado a GPS Pendulum GPS 12R/130 – AFC (ROA-064/23).
- 1 Sistema de T/F basado en rubidio disciplinado a GPS FLUKE 910R – TRESKAL (ROA-054/23).
- 1 Servidor de Tiempo NTP disciplinado a GPS TS19SR – Ingemation Ingeniería S.L. (ROA-029/23).

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 (SCA202000021) – TELEFÓNICA DE ESPAÑA SAU (ROA-004/23, ROA-018/23, ROA-031/23 y ROA-056/23).
- 1 Sistema de tiempo y frecuencia Microchip Technology Inc. SyncServer S650 (SCA202000028) – TELEFÓNICA DE ESPAÑA SAU (ROA-005/23, ROA-019/23, ROA-032/23 y ROA-057/23).
- 1 Sistema de tiempo y frecuencia Symmetricom 8040 – ROHDE & SCHWARZ (C0154545) (ROA-003/23, ROA-017/23, ROA-030/23 y ROA-055/23).

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 Fluke – Symmetricom 910/061–8040C (551825-511012957) (ROA-006/23, ROA-020/23, ROA-033/23 y ROA-058/23, mediante la técnica CV).

Centro de Ensayos “TORREGORDA”

- 1 Counter/Timer/Analyser FLUKE PM 6690/051 (ROA-002/23).
- 1 Sincronizador de Tiempo Orca Technologies GS101-B 0517022 (ROA-010/23).

- 1 Sincronizador de Tiempo Orca Technologies GS101-B 0517023 (ROA-011/23).
- 1 Sincronizador de Tiempo TCG01-G (ROA-012/23).
- 1 Generador de Funciones Agilent 33220A (ROA-024/23).
- 1 Contador de Segundos Geonaute Onstart 310 (ROA-025/23).
- 1 Tacómetro OMRON H7ER-NV (ROA-026/23).
- 1 Cámara de vídeo Handycam DCR-SX21E (ROA-027/23).
- 1 Analizador radar WEIBEL RTP-2100/C (ROA-062/23).

Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial “ESTEBAN TERRADAS”

- 1 Patrón de cesio Symmetricom 5071A-001 (US45382406) (ROA-008/23, ROA-022/23, ROA-035/23 y ROA-060/23, mediante la técnica CV).
- 1 Patrón de rubidio disciplinado a GPS Microchip Technology SyncSystem 4380A (V16183) (ROA-009/23, ROA-023/23, ROA-036/23 y ROA-061-23, mediante la técnica CV).

Centro Logístico de Transmisiones

- 1 Patrón de cesio Agilent Technologies 5071A (US39301832) (ROA-007/23, ROA-021/23, ROA-034/23 y ROA-059/23, mediante la técnica CV).

Flotilla de aeronaves

- 1 Patrón de rubidio Symmetricom 8040C (ROA-015/23 y ROA-063/23).

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 32/2014, de 22 de diciembre), 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 22 y 23 de marzo, se celebra en el PTB 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 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 CC Héctor Álvarez, presenta el informe de avance y resultados del mencionado proyecto. También se discuten los

progresos realizados y acciones futuras del proyecto TOCK, para el desarrollo de un reloj óptico portátil, del que el ROA también forma parte.

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 (CMC) 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

Con la entrada en servicio de la plataforma ARCA como repositorio único de la Armada, el control anual de los cargos de relojería y cronometría se realiza a través de la aplicación web CRONNAV (figura 4.13) que, a pesar de estar pendiente del proceso de validación y aprobación para su inclusión en el catálogo de aplicaciones Armada, se está utilizando para cumplimentar la Circular de Cronometría conforme a lo establecido en la Instrucción Permanente de Abastecimiento y Transportes 01/2011 del AJAL, sobre el pertrechado de carácter general en los buques de la Armada (cambio 2) y por la Instrucción de Organización 01/2011, del ALASER, por la que se establece la Organización del Real Instituto y Observatorio de la Armada.



Figura 4.13: Aplicación web CRONNAV de control de cargos de relojería y cronometría.

Durante el año se lleva a cabo el proceso de revisión y reparación de 2 centrales horarias IOM-01 de las fragatas “Santa María” y “Numancia” respectivamente.

Además, se reciben para revisión, ajuste, reparación y clasificación 17 relojes de bitácora; 4 cronómetros marino y 2 contadores de segundos del B/E “Juan Sebastián de Elcano”, 3 repetidores “LEDI” del LHD “Juan Carlos I”, 6 relojes de bitácora del LPD “Castilla”, 1 cronómetro marino del LPD “Galicia”, 10 relojes de bitácora de la fragata “Almirante Juan de Borbón”, 8 relojes del CG Flota, 4 relojes del CEVACO-CIAFLOT, 2 contadores de segundos y 9 relojes de aeronaves del GAS-FLOAN, 2 relojes de bitácora de MARDIZ y 3 relojes de pared de la Comandancia Naval de Málaga, del Tercio Armada y del Grupo Naval de Playa.

Finalmente, se realizaron actuaciones de mantenimiento correctivo y ajuste a un total de 73 elementos de relojería y cronometría naval.

Por último, se entregan en auxilio 2 relojes de bitácora a MARDIZ y CN de Barcelona, respectivamente, y se recibe todo el material de relojería y cronometría por baja en la Armada del submarino Tramontana y del R/A Mahón, quedando en depósito en el ROA.

4.4. Proyectos de Investigación

4.4.1. Proyectos Nacionales e Internacionales

Durante el año 2023, 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 ROA.

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.

- **Solución Avanzada de Sincronismo mediante Fibra óptica (SASFO).**

El proyecto pretende estudiar y desarrollar métodos conjuntos que combinen sistemas de transferencia de tiempo sobre enlaces Ethernet, como White Rabbit (WR), con sistemas de transferencia de frecuencia puramente fotónicos, y de cuya combinación podamos garantizar una mejora de prestaciones, la reducción de costes y la simplificación del proceso de calibración, monitorización y despliegue de estos enlaces. El objetivo principal es combinar lo mejor de ambas tecnologías, aprovechando la estabilidad alcanzada en la red de transferencia de frecuencia ultra estable para alimentar a los métodos electrónicos basados en la red de nodos de WR, y así mejorar la solución de distribución de tiempo gracias a una estabilidad en frecuencia mejor que permita una mayor precisión en los comparadores de fase.

El investigador principal de este proyecto es el CF Héctor Esteban Pinillos.

- **Relojes ópticos portables para comparaciones clave (Proyecto 22IEM01 EURAMET “TOCK EURAMET”).**

La comparación de los relojes ópticos es necesaria tanto para la contribución de estos en la escala TAI así como para inminente redefinición del segundo SI. Hasta la fecha, las comparaciones en el dominio óptico solo son posibles mediante enlaces de fibra óptica (normalmente dedicados y exclusivos) que cumplan con los exigentes requisitos en cuanto a ruido de fase del propio enlace se refiere.

Con el objeto de proporcionar una alternativa en aquellos lugares donde dichos enlaces no estén desplegados o se encuentren inoperativos circunstancialmente, y sortear las posibles limitaciones prácticas o incluso fundamentales, se desarrollarán relojes ópticos transportables capaces de operar dentro de los 5 días posteriores al transporte.

Asimismo, se pretende comparar los relojes ópticos transportables con los relojes ópticos de laboratorio plenamente operativos y demostrar la viabilidad de las comparaciones entre laboratorios europeos sin la necesidad del despliegue de costosos y complejos enlaces de fibra óptica.

Este proyecto formado por un consorcio de 18 instituciones, entre ella el ROA, ha comenzado el 1 de mayo de 2023 y tiene una duración de 3 años, y bajo la coordinación del f.

En particular, el ROA participará dos de los cinco paquetes de trabajo. El primero de ellos tiene como objetivo desarrollar y demostrar el rendimiento de componentes no disponibles comercialmente para integrar en sistemas de relojes ópticos transportables capaces de operar dentro de los 5 días posteriores al transporte. El segundo se centra en el desarrollo de relojes ópticos transportables que demuestren inestabilidades de frecuencia a corto plazo inferiores a $5 \times 10^{-15} \Delta \nu / \nu$ e incertidumbres sistemáticas iguales o inferiores a 5×10^{-18} .

4.6. Personal

El 1 de septiembre se incorpora a la sección el TN Pedro Luis Ortega Pérez tras realizar el Máster Universitario.

El 16 de agosto embarca el Stte. Martín Huerta Piñero, para mejorar y reforzar el área informática de la sección, al estar en posesión de la Aptitud de Programador de Sistemas.

El 16 de noviembre se incorpora el personal laboral Benigno Sánchez Ramos, Técnico en Mantenimiento de Equipo Industrial.

4.6.1. Formación

El TN Jesús Romero continúa con la estancia de investigación iniciada en 2021 (18SIB05-RMG2) en el departamento de *Systèmes de Référence Temps-Espace* (SYRTE) del Observatorio de París (OP), conforme al programa EMPIR ROCIT: “*Robust Optical Clocks for International Timescales*”. Este año inicia su tesis doctoral con título “*Towards ultrafast lattice trapping in a transportable Ytterbium clock*” por la *Sorbonne Université*. El trabajo asociado a dicho doctorado consiste principalmente en cargar la mayor cantidad de átomos de Iterbio en el menor tiempo posible, dentro de la red óptica situada en la trampa magneto-óptica 3D.

Este doctorando está integrado en la investigación conjunta del equipo de expertos que va a diseñar y desarrollar un reloj óptico portátil de iterbio (Yb), dentro del proyecto ROYMAGE (*hoRloge Optique à Ytterbium Mobile Appliquée à l’exploration GEodésique*). Así mismo, ha comenzado a desarrollar el proyecto RAZPOUTYNE (*RAlentisseur Zeeman et Piège magnéto-Optique Unifiés pour sTrontium et Ytterbium NEutres*) en el que se aplican técnicas muy novedosas de enfriamiento de átomos, disminuyendo considerablemente el tamaño del reloj óptico y aumentando tanto la eficacia como la eficiencia del enfriamiento de átomos.

En la figura 4.14 el TN Jesús Romero está frente al reloj de Yb realizando espectrografía para conocer y comprobar el comportamiento de los átomos cuando se les hace interactuar con luz láser. En este caso, un láser (399 nm) excita la transición $^1S_0 - ^1P_1$ de los átomos de Iterbio a fin de colimar el haz atómico a la salida del horno debido a su gran divergencia.

También se puede apreciar el ralentizador Zeeman (dispositivo azul y blanco), el cual ha sido diseñado y construido como parte de su tesis doctoral. Este aparato genera un campo magnético específico que, junto a una luz láser contra propagante, permite reducir la velocidad longitudinal del haz atómico desde unos 400 m/s hasta 10 m/s en aproximadamente 30 centímetros.



Figura 4.14: El TN Jesús Romero frente al reloj óptico de Iterbio, donde se puede apreciar el ralentizador Zeeman instalado en el reloj. Foto cortesía de OP-SYRTE (París).

4.7. Otras actividades

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

Con objeto de mantenerse en la vanguardia de la metrología de tiempo y frecuencia, el ROA, afronta el gran reto de diseñar y desarrollar a medio plazo sus propios patrones de frecuencia ópticos. Este tipo de relojes ópticos ya han sido desarrollados con éxito en los laboratorios de metrología de frecuencias más avanzados del mundo y, en particular, los basados en átomos neutros de estroncio (Sr) se postulan como uno de los favoritos para redefinir el segundo SI en los años venideros

Por lo anterior, desde el 2014 se inició la formación de personal en tecnologías ópticas y electrónicas. Primero cursando másteres afines a las tecnologías electrónicas, ópticas y cuánticas en la universidad pública española, y posteriormente adquiriendo una formación más especializada mediante becas de investigación junto a equipos de trabajo bien asentados y con amplia experiencia, integrantes de los proyectos EMPIR (Programa de Metrología Europea para la Innovación e Investigación) 15SIB03 (*Optical clocks with 1E-18 uncertainty*) y 18SIB05 (*Robust Optical Clocks for International*

Timescales). Formación que finalmente culmina con las respectivas defensas de tesis doctorales llevadas a cabo bajo cursos naciones/internacionales fuera de catálogo de la Armada.



Figura 4.15: Vista general del laboratorio de óptica de la Sección de Hora.

En la actualidad estamos inmersos en un proyecto I+D para la Construcción e Implementación de un Reloj de red Óptica de Estroncio (CIROEs), con núm. de expediente 1003219003400 y financiado íntegramente por el Ministerio de Defensa. En noviembre de 2023, se envía el correspondiente "Informe técnico de evaluación final del proyecto" a la Dirección General de Armamento y Material.

En cuanto al desarrollo del proyecto, los objetivos científicos llevados a cabo y en curso hasta la fecha son los siguientes:

1/ Estabilización de un láser de diodo de longitud de onda (λ) de 1.542 nm en una cavidad tipo Fabry-Pérot (USC1) mediante la técnica Pound-Drever-Hall. Esta longitud de onda corresponde al canal 44 de la ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones) que es actualmente la frecuencia más utilizada para la diseminación y comparación de osciladores y patrones ópticos de frecuencia. Este láser, ahora ultraestable, es usado para referenciar el peine de frecuencias ópticas (PFO) el cual permite medir cualquier frecuencia láser contenida dentro de su ancho espectral así como comparar frecuencias ópticas entre sí y estas con frecuencias microondas, donde la actual infraestructura de tiempo y frecuencia reside.

2/ Anclado en fase de un segundo láser de diodo de $\lambda = 1.542$ nm al anterior para la reducción de la inevitable deriva de la USC1 e implementación de una cadena de frecuencias que permite conectar las frecuencias de microondas existentes con las ópticas del PFO, mediante un oscilador de microondas a 9,2 GHz anclado en fase a máser maestro activo de hidrógeno. De esta manera, queda operativa la cadena de

frecuencias que permite expresar frecuencias ópticas en términos absolutos (basado en frecuencias de microondas).

3/ Estabilización de un láser de diodo de $\lambda = 1.396$ nm en una cavidad óptica tipo Fabry-Perot (USC2) con espejos cristalinos (muy reflectantes). Este láser, como fuente de referencia en estabilidad del laboratorio de óptica de esta Sección, permite la calibración, vía el PFO, de otras fuentes láser de igual o peor estabilidad. Además, constituye el láser interrogador que sondeará la transición del futuro reloj óptico de Sr bajo desarrollo.

4/ Comienzo del montaje óptico para la excitación de absorciones moleculares en una celda de yodo mediante de fibra de $\lambda = 1544$ nm, amplificado en potencia y triplicado en frecuencia para alcanzar una $\lambda = 515$ nm y al menos 20 mW.

5/ Estudio y caracterización de los átomos de Sr a la salida del horno que los contiene y evapora en términos de isótopos/frecuencia, divergencia del haz atómico, distribución de velocidades y número de átomos.

6/ Diseño e implementación de un ralentizador Zeeman de imanes permanentes que generen un campo magnético transversal que junto con el láser de 461 nm servirá para la deceleración de los átomos de Sr a la salida del horno.

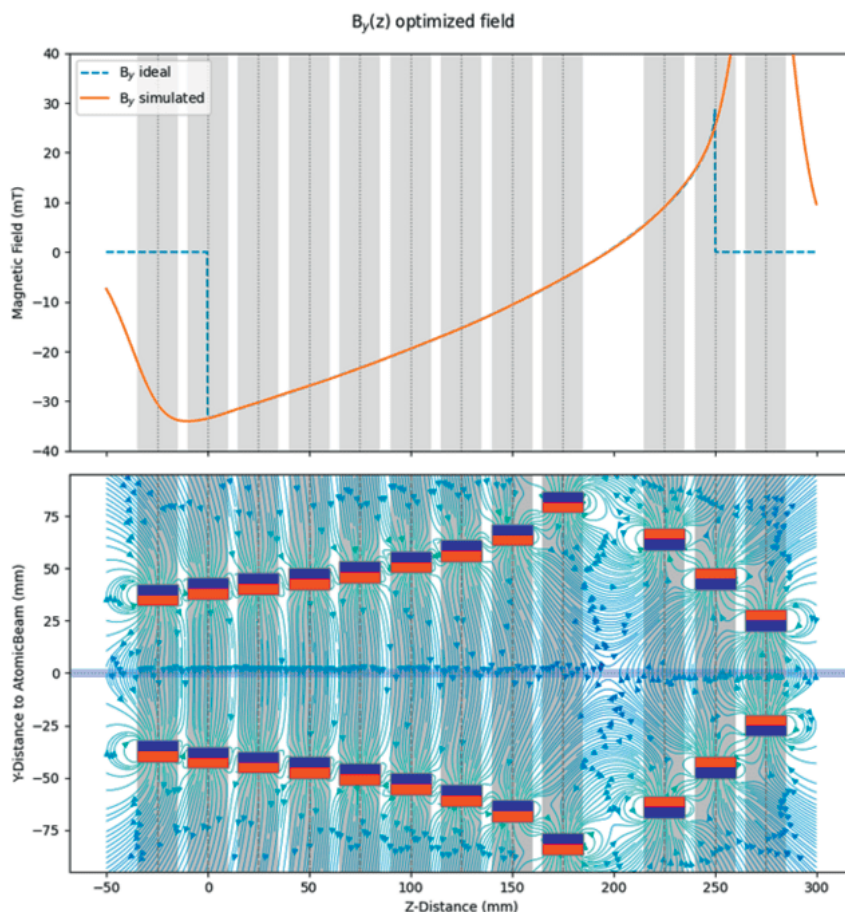


Figura 4.16: Arriba: Configuración transversal, campo magnético creado por la colección de imanes permanentes. Abajo: Líneas de flujo magnético, plano ZY ($X = 0$).

Proyecto SASFO: Inicio y fase de ejecución actual.

El proyecto tiene como objetivos principales el estudio, desarrollo y optimización de la transferencia de T/F en un enlace de fibra óptica de larga distancia. Para ello se propone la implementación en local de este método de transferencia de T/F y que, a su vez, sea susceptible de desplegarse en un futuro sobre redes de comunicaciones convencionales ya existentes.

En 2023, se ha recibido el material necesario para realizar la caracterización y extensión de la tecnología *White Rabbit* en fibra óptica a larga distancia en local con los elementos ópticos y electrónicos necesarios correspondientes a la presente anualidad, conforme con lo especificado en los pliegos de cláusulas administrativas particulares y de prescripciones técnicas de los contratos formalizados. En el presente año, se ha llevado a cabo un enlace a larga distancia mediante tecnología *White Rabbit*, empleando los equipos adecuados para la amplificación y la compensación de la dispersión cromática en la fibra óptica, y se ha llegado a conseguir una sincronización y distribución de tiempo ultrapreciso en un enlace de 250 km.

Durante los próximos meses se espera realizar la transferencia de frecuencia ultraestable en un enlace de larga distancia en local con compensación activa de ruido de fase.



Figura 4.17: Enlace local de larga distancia (250 km) mediante tecnología *White Rabbit*.

Publicaciones y comunicaciones en Congresos.

En 2023 el personal de la sección ha publicado un total de 3 artículos y realizado 3 presentaciones en Congresos (ver “apéndice A”).

5. Servicio de Biblioteca y Archivo

De acuerdo con la Instrucción de Organización número 1/2011, de 27 de enero que establece la vigente organización del Real Instituto y Observatorio de la Armada (ROA), el Servicio de Biblioteca y Archivo tiene asignadas las funciones referentes al Patrimonio Documental (Archivo), Bibliográfico (Biblioteca) y Museográfico (Colección Museográfica) custodiado en el ROA.

Consecuencia de lo anterior, desde el Servicio de Biblioteca y Archivo del ROA se han continuado desarrollando una serie de líneas de trabajo encaminadas a cubrir las necesidades y mejoras necesarias para una adecuada gestión, conservación y difusión del patrimonio que conserva, atendiendo a la normativa vigente que regula al Patrimonio Histórico Español.

5.1. Fondos

5.1.1. Fondos bibliográficos: monografías, cartografía y publicaciones periódicas

La creación en 1753 del Real Observatorio de Cádiz 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 la importancia de su biblioteca que, desde el principio, 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 fue trasladado a su nuevo emplazamiento en la Isla de León, ya se reservó una sala para la ubicación de la biblioteca en el edificio que había sido diseñado por el Marqués de Ureña.



Figura 5.1: Vitrina dedicada a la expedición geodésica al Virreinato del Perú.

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, la adquisición de libros en el 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 ROA y de las tareas docentes de la Escuela de Estudios Superiores de la Armada.



Figura 5.2: Salas de la Biblioteca del ROA.

La biblioteca del ROA cerraba el año 2023 con un total de 28.645 volúmenes pertenecientes a 13.895 obras catalogadas, incluido el fondo antiguo. Además de los 44 ejemplares de publicaciones periódicas remitidas desde diversas instituciones, a lo largo de este año, se han recibido en la Biblioteca 24 nuevas monografías. De ellas, 4 han sido remitidas por sus propios autores, 1 adquirida por el Observatorio y 19 remitidas desde la Subdirección General de Publicaciones y Patrimonio Cultural de Defensa (SGPPC).

La Biblioteca viene presentando desde hace años un problema de capacidad de almacenamiento bastante importante que se está tratando de paliar con la instalación de nuevas estanterías y la utilización de nuevos depósitos en otro edificio del Observatorio.

Por otro lado, las publicaciones periódicas representan una parte importante del material que entra en la biblioteca. En la actualidad, las publicaciones periódicas que se reciben proceden bien de la SGPPC, bien del intercambio con otras instituciones científicas afines a los cometidos del ROA.

Además de monografías y publicaciones periódicas, la Biblioteca conserva una interesante colección de material cartográfico, compuesta principalmente por cartografía náutica de las costas españolas de los siglos XVIII y XIX.

A finales del año 2001 se concluyeron las labores de catalogación de la colección de cartas, mapas y planos del Centro. Al año siguiente se publicaba el catálogo cartográfico. La cartografía está disponible a través de la Biblioteca Virtual de Defensa y se conserva copia digital en el ROA en dos discos duros externos.

En el año 2011 aparecieron 485 nuevos mapas, que fueron catalogados (no digitalizados) e incorporados a la colección de cartográfica anterior, ascendiendo a un total de 3.968 documentos.

5.1.2. El Archivo: fondos documentales y fotográficos

El archivo del ROA, integrado en el Subsistema Archivístico de la Armada del Sistema Archivístico de Defensa, contiene documentación que refleja tanto las funciones administrativas, como las investigaciones y trabajos científicos desarrollados en el ROA desde mediados del siglo XVIII.

A finales del año 2021, el archivo del observatorio contaba con un total de 2.309 cajas normalizadas, 1.111 libros manuscritos y 91 legajos, resultando un total de 3.511 unidades de instalación que ocupan 1.031 m/l (metros lineales). Durante 2022 se recibió una transferencia de documentación procedente de la Ayudantía Mayor (DETALL), compuesta por 72 archivadores tipo A-Z, que suponen, aproximadamente, unos 6 m/l de documentación. Una vez cotejado el contenido de las unidades de instalación con la hoja de transferencia, la documentación se ha integrado en el fondo documental.

En 2021, debido a que las obras de restauración del Salón de Observaciones Meridianas incluían la instalación de un ascensor, para personas de movilidad reducida, que afectaba a la entreplanta donde se ubicaba el archivo, se trasladó al edificio de la imprenta, siendo el volumen aproximado de la documentación de unos 30 m/l.

Además, a finales de 2022 y como consecuencia de diversas transferencias desde la Ayudantía Mayor y el Detall, además de diversa documentación de las secciones científicas, el volumen total de la documentación ha aumentado en unos 30 m/l.

Dado que el volumen total en el depósito de archivo de 1.057 m/l de documentación y la capacidad actual total del depósito de archivo del ROA es de 1.044 m/l, es necesario aumentar la capacidad del depósito.

Por otro lado, se ha continuado reuniendo en el archivo el material fotográfico obrante en las secciones científicas compuesto por los negativos en placa de vidrio de observaciones astronómicas realizados desde las últimas décadas del siglo XIX y por los positivos en papel (que reflejan la actividad del Observatorio, con numerosas vistas de las instalaciones, de sus instrumentos y de su personal).

Respecto al primer grupo, incluye 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 de vidrio 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 ROA con motivo de diversos fenómenos astronómicos extraordinarios como pasos de Venus o eclipses de Sol en

otros lugares (La Habana, Puerto Rico, Soria o Elche). Se trata de más de 3.500 fotografías en placas de vidrio que están pendientes de estudio de conservación, inventariado, descripción y digitalización.

En años anteriores, se ha venido realizando el proyecto de recuperación de las placas fotográficas de vidrio del ROA. Este trabajo, desarrollado gracias a las asistencias técnicas promovidas por la SGPPC, ha consistido en la limpieza de soportes, la eliminación de causas de degradación, su estabilización y la mejora del estado de conservación de las placas fotográficas. Todo ello con vistas a su adecuada instalación y conservación preventiva. Para ello, se han utilizado sobres de cuatro solapas en papel de pH neutro, cajas de conservación, para este tipo de materiales fotográficos, hechas a medida del soporte y mobiliario específico para instalarlas y conservarlas adecuadamente. Una vez estabilizados los documentos, a partir del inventario de las placas (identificando la técnica fotográfica, el soporte, la emulsión y el fenómeno fotografiado) hay que proceder a su identificación, descripción y, posteriormente, su digitalización.

Las cajas con placas fotográficas pendientes se encuentran en su ubicación original (armarios de madera del Salón Meridiano), aprovechando la finalización de las obras de remodelación en dicho entresuelo. Durante 2023 no ha sido posible continuar los trabajos de conservación de la documentación fotográfica (placas de vidrio), quedando a la espera de poder continuar cuando se presente la oportunidad.



Figura 5.3: 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 documentos (de múltiples técnicas fotográficas y en diferentes soportes). A lo largo de 2018 se inició la descripción y digitalización de parte de la colección de fotografías (unos 1.000 registros, correspondientes a positivos en papel), debiéndose revisar esas descripciones antes de hacerlas accesibles a través de la Biblioteca Virtual de Defensa.

Como se ha mencionado, dado que no se puede trasladar el archivo a su ubicación original, según el informe técnico sobre el estado de la entreplanta, continúa la problemática de designar una nueva ubicación y acondicionarla para alojar el archivo. Por lo que esta situación temporal, en la que se encuentra la documentación, dificulta

enormemente el desarrollo normal de su tratamiento archivístico, la atención a los usuarios en sala de consulta y supone un gran esfuerzo adicional de conservación del patrimonio documental.

Por otro lado, el acceso a la sala de consulta de investigadores continúa realizándose con normalidad y de acuerdo a las normas establecidas, acordes con la normativa estatal y del Ministerio de Defensa, con el fin de ofrecer un servicio de calidad a los usuarios.

En este sentido, para agilizar y controlar las consultas de usuarios se ha elaborado la base de datos de consultas-usuarios internos y externos del archivo, biblioteca y colección museográfica del ROA, instrumento que permite mejorar este servicio y obtener rápidamente datos estadísticos al respecto.

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 la Colección Museográfica del ROA 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 Observatorio, dados de alta en el Sistema MILES como fondos patrimoniales.

Gracias al Convenio bilateral de cooperación entre el Ministerio de Defensa y la Entidad Pública Empresarial Red.es la colección museográfica del ROA está accesible a través de la Biblioteca Virtual de Defensa para su consulta. De la misma forma que lo están las matrices de grabado de la Carta del Cielo (planchas de cobre usadas para la impresión de las hojas en papel), resultado de la participación del Observatorio de San Fernando en el proyecto internacional de la Carta del Cielo (1887-1940).

Durante el año 2023 no se han producido incorporaciones de nuevos fondos a la colección museográfica y se ha continuado trabajado en la musealización del Salón Meridiano Occidental y de su entresuelo, ante la solicitud por parte de la Dirección del Centro de una nueva revisión del proyecto realizado el año anterior.

En este sentido, se han vuelto a diseñar los paneles (texto e imágenes) que recogen de manera concisa los principales hitos relacionados con el edificio y con las observaciones meridianas. El contenido planteado para los armarios se ha mantenido, exponiendo una selección de instrumentos científicos, obras y documentos relacionados con este espacio rehabilitado y la astronomía. Quedan pendientes el visto bueno del nuevo proyecto de musealización presentado, la finalización de los trabajos de adecuación en el entresuelo del salón meridiano y la ejecución de la musealización para que todo el conjunto pueda abrirse al público. El discurso expositivo desarrollado en estos armarios permite tener una visión del propio Salón Meridiano y de los instrumentos científicos astronómicos entre los siglos XVIII al XX.



Figura 5.4: Estado actual del Salón de Observaciones Meridianas.

El catálogo “El salón meridiano occidental del Real Instituto y Observatorio de la Armada” recoge una síntesis evolutiva de la astronomía desarrollada por el Observatorio, desde su creación hasta la actualidad y se encuentra a disposición del público mediante el código QR de los paneles del Salón de Observaciones Meridianas: <https://publicaciones.defensa.gob.es/el-salon-meridiano-occidental-del-real-instituto-y-observatorio-de-la-armada-libros-papel.html>

También, durante 2023, se ha desarrollado la revisión del proyecto de musealización de Torre Alta. Con motivo de la firma del protocolo de intenciones para la colaboración entre el Ministerio de Defensa y el Ayuntamiento de San Fernando (Cádiz) en marzo de 2017, la Armada asumió el compromiso de rehabilitación de Torre Alta y su conversión en un museo, siendo el discurso museístico sobre la influencia de la Armada en la bahía de Cádiz. El proyecto museístico de Torre Alta (Informe de DINSOB OHCN 01/19, de 8 de febrero) pretende mostrar lo que la Armada hizo, influyó, es y será para la Bahía de Cádiz, a lo largo de las tres plantas hábiles de la torre.



Figura 5.5: Vista de Torre Alta desde el Sur.

En el marco de este proyecto a lo largo de 2023, se han diseñado los paneles (texto e imágenes), el mobiliario, los contenidos, el discurso expositivo y reorganizado los puntos de iluminación, sin perder su esencia. El proyecto presentado está a la espera de su aprobación y de la realización de pequeñas modificaciones de reacondicionamiento previas a la musealización de Torre Alta.

Finalmente, durante febrero y marzo se acometía la renovación del pabellón de la Carta de Cielo, con motivo del acto de homenaje *in memoriam* del CN Francisco Javier Montojo Salazar, celebrado el día 3 de marzo. Se rediseñó parte del contenido expositivo, eliminando las fotografías deterioradas pasando a ser sustituidas por fotografías que ilustran el proyecto de la Carta del Cielo y el estado en que se encontraba este pabellón a principios del siglo XX. Asimismo, se efectuó un resanado del interior del pabellón.



Figura 5.6: Algunas de las fotografías del nuevo pabellón de la Carta del Cielo y del acto.

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

Desde hace años el Ministerio de Defensa ha impulsado y mantiene un portal dedicado a la consulta y difusión de materiales digitales relacionados con su patrimonio cultural: la Biblioteca Virtual de Defensa ([BVD](#)). Este repositorio tiene como objetivo conseguir la mayor difusión posible del patrimonio cultural del Ministerio de Defensa y facilitar la investigación sobre la actividad científica, cultural y formativa de los Ejércitos y la Armada y su participación en los avances tecnológicos a lo largo de distintas épocas.

Entre todo el patrimonio que se incluye en la BVD, destacan los materiales correspondientes al proyecto de la Carta del Cielo. Con este aporte, 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 y las matrices de grabado (planchas de cobre).

5.2. Consultas, préstamos y difusión

5.2.1. Préstamos bibliotecarios

En el caso de la biblioteca del ROA, la atención a los usuarios se desarrolla mediante tres modalidades: préstamo a las Secciones y al personal del ROA, préstamo a los profesores y alumnos de la Escuela de Estudios Superiores y préstamo para consulta en sala (para usuarios internos y externos).

El personal científico-técnico y las Secciones del ROA utilizan principalmente los fondos modernos de la biblioteca, que son aprovechados para el mejor desarrollo de sus proyectos y trabajos, mientras que los usuarios externos consultan, además, el fondo antiguo para trabajos de investigación. En total han sido 490 préstamos los que ha realizado la biblioteca a lo largo de 2023, todos ellos de monografías. Asimismo, se han resuelto diferentes consultas de usuarios externos dirigidas a la biblioteca del ROA sobre referencias bibliográficas, ejemplares, cartografía y otros asuntos. Todo ello se detalla en el correspondiente apartado: 5.2.2. Servicio de referencias y consultas de usuarios.

La consulta del catálogo, los préstamos en sala y a las distintas secciones, así como las reproducciones digitales están autorizados y se realizan con normalidad. El personal del Servicio 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.

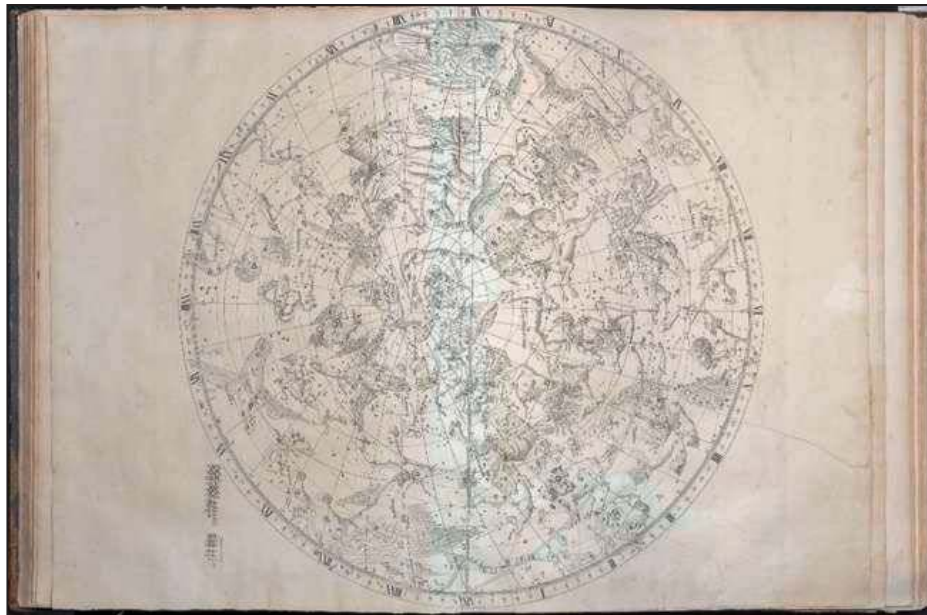


Figura 5.7: Atlas coelestis de John Flamsteed.

El catálogo Bibliodef incluye los registros bibliográficos correspondientes a los fondos de las bibliotecas pertenecientes a la Red de Bibliotecas de Defensa. Accesible desde <https://bibliotecavirtual.defensa.gob.es/BVMDefensa/bibliodef/es/consulta/busqueda.do> donde está incluida la Biblioteca del Real Instituto y Observatorio de la Armada, permite la consulta de nuestros fondos bibliográficos y ofrece un punto único de acceso al Catálogo de Bibliotecas de Defensa, facilitando información sobre las obras, su localización e incrementando la visibilidad y difusión del patrimonio bibliográfico de Defensa.

5.2.2. Servicio de referencias y consultas de usuarios

En cumplimiento de la normativa vigente, cualquier investigador o usuario externo tiene derecho de acceso a la consulta de los fondos conservados en el ROA. A los usuarios se les solicitan los datos correspondientes para cumplimentar una ficha de investigador y la aceptación de las 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. A lo largo del año es constante la presencia de este tipo de personas que, a partir del patrimonio conservado en el ROA, elaboran sus publicaciones y trabajos de investigación.

A lo largo de 2023, se han atendido un total de 62 consultas en el Servicio de Archivo y Biblioteca del ROA. De ellas, 36 consultas iban dirigidas al archivo, 22 consultas a la biblioteca y 4 consultas a la colección museográfica. Los motivos generales de las consultas han sido el desarrollo de tesis doctorales, publicaciones y trabajos de investigación relacionados con historia de la ciencia, expediciones científicas, instrumentación científica, matemáticas, física y astronomía.

De las 36 consultas dirigidas al archivo, 26 de ellas procedían de usuarios externos y las 10 consultas restantes fueron de usuarios internos al ROA. Del total de 36 consultas al archivo, 23 consultas han sido telemáticas, realizadas por 23 usuarios diferentes (4 internos y 19 externos), mientras que 13 consultas han sido presenciales, procedentes de 13 usuarios diferentes (6 internos y 7 externos). Se han registrado un total de 45 sesiones de consulta presenciales en sala, por parte de 9 investigadores diferentes. Las consultas externas han llegado desde instituciones públicas, universidades, particulares e instituciones privadas. Geográficamente, se ha atendido a usuarios nacionales, de diversas provincias españolas, así como internacionales (Argentina, Japón, Irlanda, Chile, Portugal e Italia, entre otras). La temática de las consultas versa sobre la propia documentación de nuestro archivo (observaciones astronómicas, magnéticas, sísmicas, meteorológicas, etc.), solicitudes de referencias documentales para realizar investigaciones (bien de documentación conservada en el archivo del ROA, bien de documentación conservada en otros archivos de Defensa o de Cultura), sobre la colección fotográfica, sobre búsqueda de antecedentes familiares, de personas desaparecidas durante la Guerra Civil y el Franquismo, etc., todo ello con fines de elaboración de artículos de investigación, tesis doctorales, guías de viaje y montaje de exposiciones, entre otros motivos.

Durante el pasado año se han atendido un total de 22 consultas dirigidas a la biblioteca del ROA. En cuanto a su procedencia, de este total, 14 de esas consultas procedían de usuarios externos y las 8 consultas restantes fueron de usuarios internos al ROA. Del total de 22 consultas, 13 de ellas han sido telemáticas (5 internas y 8 externas), realizadas por 13 usuarios diferentes, mientras que 9 consultas han sido presenciales (3 internas y 6 externas), procedentes de 9 usuarios diferentes. Se han registrado un total de 9 sesiones de consulta presenciales en sala, por parte de 9 investigadores diferentes. Se han atendido solicitudes del personal de las diferentes secciones del observatorio, de alumnos de la Escuela de Estudios Superiores y de usuarios externos. Las consultas externas han llegado desde instituciones públicas, universidades, particulares e instituciones privadas. Geográficamente, encontramos usuarios procedentes de diversas provincias españolas, así como internacionales (Japón, Filipinas, Colombia, Portugal e Italia). La temática de las consultas trata, mayormente, sobre la colección cartográfica conservada en el ROA, sobre referencias bibliográficas de autores/materias específicas y sobre los boletines del ROA, todo ello con fines de elaboración de artículos de investigación, tesis doctorales, guías de viaje y montaje de exposiciones, entre otros motivos.

Durante el pasado año se han atendido un total de 4 consultas dirigidas a la colección museográfica del ROA. En cuanto a su procedencia, las consultas procedían de 4 usuarios externos y todas fueron telemáticas. No se han recibido consultas presenciales. Las consultas externas han llegado de instituciones públicas e investigadores particulares de España, variando sobre los diferentes instrumentos científicos para la astronomía y la navegación, todo ello con fines de investigación, tesis doctorales y montaje de exposiciones, entre otros motivos.

El total de reproducciones digitales realizadas con fines de investigación del Patrimonio Documental, Bibliográfico y Museográfico conservado en esta institución es de 1.978 capturas para 18 usuarios diferentes. De este total, 914 capturas corresponden a fondos históricos de la biblioteca para 6 usuarios diferentes, habiendo sido realizadas un total de 600 reproducciones por los usuarios (con medios propios) y las 314 restantes por el personal técnico del Servicio de Archivo y Biblioteca. En cumplimiento de las Normas de reproducción con medios propios del usuario en los Archivos del Sistema Archivístico de Defensa del Ministerio de Defensa, durante 2023 se han realizado 1.037 capturas de documentos de archivo para 9 usuarios diferentes. Los usuarios han solicitado la reproducción de documentos de archivo por medios propios, realizando un total de 685 capturas, todas ellas supervisadas por el Técnico Superior de Archivos del ROA. Además, otros usuarios han optado por solicitar las reproducciones al Servicio de Archivo y Biblioteca del ROA habiendo realizado el técnico del Servicio un total de 352 digitalizaciones. Respecto al Patrimonio Museográfico, durante 2023, 3 usuarios diferentes han solicitado un total de 27 digitalizaciones.

Asimismo, otra de las vías de difusión del Patrimonio de Defensa conservado en el ROA son las visitas guiadas al Observatorio. En total, ha recibido a 8.957 personas que han conocido de cerca el patrimonio conservado en el ROA. 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.

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. En relación con los préstamos temporales a exposiciones en las que ha participado el ROA durante 2023 y para dar mayor difusión, se ha remitido un dossier (textos, imágenes, relación de piezas prestadas, datos de la exposición, etc.) a la Revista Española de Defensa para ampliar la difusión de cada una de las exposiciones en las que ha colaborado el ROA. Asimismo, se ha remitido similar información a las personas encargadas de difundir en redes sociales noticias de Defensa de este tipo.

5.2.3. Conservación

En este epígrafe hacemos referencia a la situación del archivo, la biblioteca y la colección museográfica y el estado de conservación preventiva de cada uno de ellos.

Por lo que respecta al Archivo, el fondo documental se encuentra disperso en diferentes zonas del ROA, dificultando los trabajos técnicos, la atención a los usuarios e investigadores y el mantenimiento de unas condiciones de conservación preventivas mínimas que permitan salvaguardar el Patrimonio Documental.

En este sentido, la documentación localizada en el sótano del edificio principal del Observatorio debe ser trasladada a una nueva ubicación debido a las dificultades de mantener unas condiciones mínimas de conservación, además del deterioro que sufre el propio sótano debido a estar construido sobre arcillas expansivas.

Como se comentó, la parte de la documentación que se encontraba en el entresuelo del salón meridiano occidental, fue trasladada a la sala de usos múltiples de forma temporal en 2021 y continua mientras se soluciona el problema de una nueva ubicación definitiva.

A pesar de que el archivo documental carezca de un depósito de archivo en una localización óptima, equipado con el mobiliario necesario y con las condiciones adecuadas, no ha implicado que se suprima el servicio de atención a usuarios, externos e internos, tanto en consultas en sala, como a través del servicio de referencias.

En cuanto a la biblioteca, el fondo bibliográfico ocupa ocho salas del edificio principal, cada una de ellas con unas características propias en cuanto a temperatura, iluminación y humedad relativa. Ello implica la adopción de medidas adaptadas a cada una de ellas para mantener una adecuada conservación preventiva del Patrimonio Bibliográfico, añadiendo además que las visitas guiadas recorren a diario, durante todo el año, sus salas-depósitos. La adopción de medidas orientadas a su conservación preventiva sigue siendo una tarea prioritaria para el Servicio de Biblioteca y Archivo de este centro.

A lo largo de 2023 se ha continuado actuando contra una de las principales amenazas que afectaba al Patrimonio Bibliográfico, los ataques biológicos, que habían sido detectados en las salas de la biblioteca de la primera planta del edificio principal. Mediante una empresa especializada en el control-eliminación de plagas se estuvo



Figura 5.8: Trabajos de limpieza y desinfección en la biblioteca del ROA.

trabajando en las salas II, III y IV, por ser las más afectadas. Las especies identificadas corresponden a carcoma común, gorgojo del pan y hongos cremógenos. La primera fase de la intervención consistió en el sellado de las zonas que no se tratarían y el vaciado de todos los ejemplares del resto de estantes de la sala, la limpieza por aspiración en seco, la desinfección de interiores y exteriores del mobiliario y la eliminación de materia orgánica para mayor eficiencia de biocidas. En la segunda fase se ha efectuado un tratamiento protector de la madera frente a xilófagos, de aplicación directa mediante pincelado en interiores, estructuras del mobiliario de cada sala. Finalmente se ha aplicado un biocida mediante termonebulización en las salas. A pesar de que estos

trabajos han permitido eliminar los ataques biológicos en las citadas salas, se continúa con la evaluación de los resultados y observación de las restantes salas del edificio principal.

Como resultado del proyecto de reproducción facsimilar de varias obras de fondo antiguo iniciadas en 2022, se sustituyeron, tras 26 años de exposición continuada, los incunables sobre las obras de Albumasar y de Aldo Manuzio por reproducciones facsímiles. El resultado ha sido muy satisfactorio, permitiendo difundir y conservar, al mismo tiempo, el Patrimonio Bibliográfico de Defensa. En 2023 no se pudo continuar con este proyecto, permaneciendo en espera de nuevas reproducciones.



Figura 5.9: El incunable de Albumasar tras ser retirado y su reproducción facsimilar en vitrina.

Por otra parte, se ha continuado con la migración de los ficheros del patrimonio digitalizado a nuevos discos duros externos conteniendo la colección cartográfica y fondo bibliográfico digitalizados.

5.3. Otras actividades

5.3.1. Actividades docentes y de investigación

Durante el curso académico 2022-2023, el observatorio ha continuado colaborando con el Máster Oficial de Arqueología Náutica y Subacuática de la Universidad de Cádiz acogiendo una jornada lectiva en sus instalaciones y realizando una visita exhaustiva a las instalaciones y el patrimonio del ROA para los alumnos.



Figura 5.10: Visita de los alumnos del Máster de Arqueología Náutica y Subacuática de la Universidad de Cádiz.

5.3.2. Exposiciones

Algunas de las piezas más representativas del Patrimonio Documental, Bibliográfico y Museográfico del Real Instituto y Observatorio 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. A través de ellas 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).

Además de lo anterior, a lo largo de 2023 las salas de la biblioteca han acogido exposiciones temporales de documentos y libros preparadas con motivo de diversas visitas. Han sido un total de 17 muestras temporales de fondos bibliográficos extraordinarios.

Hay que destacar que durante 2023 se celebró la IV Jornada Histórica de la Armada, cuyo tema central fue “La Marina de la Ilustración”, conmemorando el CCL aniversario del fallecimiento de Jorge Juan y Santacilia (05-01-1713, Novelda – 21-06-1773, Madrid) y el CCLXX aniversario de la fundación del Real Observatorio de Cádiz. Como no podía ser de otra forma, el Real Instituto y Observatorio de la Armada rendía homenaje a su fundador y a su legado a través de una serie de actos (ver “anexo B.1”) desarrollados durante el segundo cuatrimestre de 2023 entre los que destaca una exposición temporal “**Jorge Juan. Ciencia para la Real Armada de Su Majestad**”.

La exposición, cuyo comisario fue D. Manuel Rivas Fernández, Técnico Superior de Archivos del Real Instituto y Observatorio de la Armada, ofreció un recorrido por su figura, su obra, su vínculo con Cádiz y su trascendencia para la entrada y desarrollo del conocimiento científico en la España del siglo XVIII.

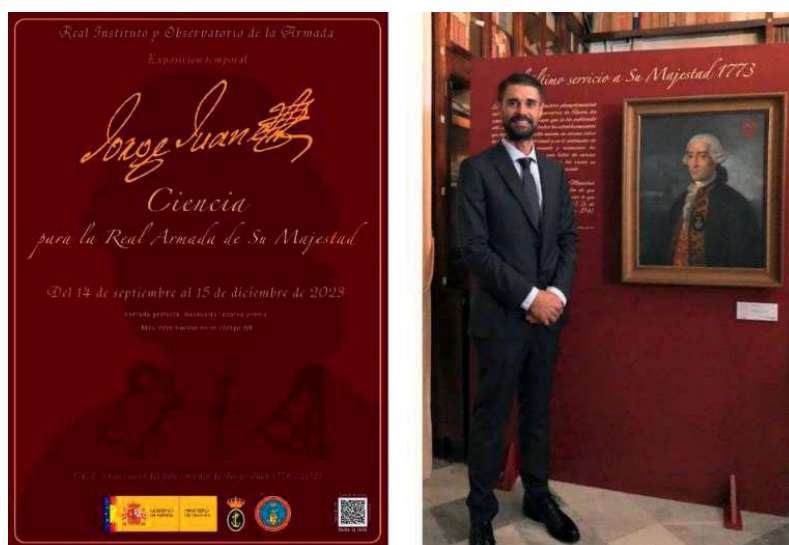


Figura 5.11: Cartel de la exposición y su comisario ante uno de los paneles expositivos.

La exposición se ubicó en el edificio principal del Observatorio y se inauguró el 13 de septiembre, abriéndose al público desde el día siguiente. La fecha de clausura de esta exposición prevista para el día 15 de diciembre, pero dado el éxito y aceptación que tuvo entre el público, se decidió prorrogarla hasta el 2 de febrero de 2024.

El discurso expositivo se apoya en tres ejes fundamentales: el Patrimonio Documental, Bibliográfico y Museográfico. Así, quedan vinculados los tres pilares fundamentales del Patrimonio de Defensa conservado, tanto en el Real Instituto y Observatorio de la Armada, como en todas las instituciones que han aportado piezas para la exposición. Estos tres ejes nos permiten descubrir a Jorge Juan como marino, astrónomo, geodesta, ingeniero,... en definitiva, como el “sabio español”.



Figura 5.12: Acto inaugural de la exposición con autoridades civiles y militares.

Para la exposición su comisario elaboró un audiovisual que introducía en el contexto expositivo, histórico y biográfico del protagonista al visitante. Su montaje requirió un intenso trabajo de investigación, así como la elaboración del guión, la selección de los contenidos y la forma de presentarlos. El narrador del audiovisual, el propio Jorge Juan, contaba los principales hechos de su vida en primera persona, relacionándolos, al mismo tiempo, con los principales acontecimientos presentados en la exposición. El objetivo era envolver y transmitir al visitante el entorno expositivo, ofreciendo otra perspectiva de cada objeto, narrada por el protagonista de la historia. El resultado es un diálogo directo entre visitante y exposición, gracias a las herramientas digitales y a la inteligencia artificial.

Asimismo, se elaboró el correspondiente catálogo que profundiza en los contenidos de cada uno de los módulos expositivos, además de contener la ficha descriptiva de cada una de las 38 piezas expuestas. Piezas que procedían de diferentes instituciones nacionales e internacionales como el Museo Naval de Madrid, Archivo Histórico de la Armada, (sedes Juan Sebastián de Elcano y Álvaro de Bazán); el Archivo General Militar de Madrid; la Biblioteca Central Militar; la Fundación Lázaro Galdiano; el Museo de Las Cortes de Cádiz; la Biblioteca Nacional de España, el Museo de Historia Marítima de Estocolmo o la Wellcome Collection (Londres). Tanto el catálogo de la exposición, como el folleto de mano de la misma y el tríptico con los actos paralelos se pusieron disposición del público visitante a través de varios códigos QR distribuidos por la sala de exposiciones.

Las redes sociales del Ministerio de Defensa y del Ayuntamiento de San Fernando, así como la Revista Española de Defensa dieron difusión, tanto a la efeméride del aniversario, como a la exposición y a los actos celebrados con tal motivo. De igual forma, la prensa hizo eco del evento publicando las siguientes noticias al respecto:

- https://publicaciones.defensa.gob.es/media/downloadable/files/links/r/e/red_409.pdf
- <https://www.elcastillodesanfernando.es/2023/09/el-observatorio-acoge-la-exposicion-temporal-jorge-juan-ciencia-para-la-real-armada-de-su-majestad/>
- <https://andaluciainformacion.es/san-fernando/1353990/el-observatorio-acoge-una-exposicion-del-250-aniversario-de-la-muerte-de-jorge-juan/>
- <https://radiolaisla.com/noticias/una-exposicion-en-el-real-observatorio-y-un-ciclo-de-conferencias-recuedan-la-figura-de-jorge-juan/>
- <https://informacionsanfernando.es/san-fernando/1353990/el-observatorio-acoge-una-exposicion-por-el-250-aniversario-de-la-muerte-de-jorge-juan/>

Entre el 13 de septiembre y el 31 de diciembre de 2023, la exposición fue visitada por un total de 1.908 personas. Hay que destacar la visita de la Sra. Ministra de Defensa, Dña. Margarita Robles, que realizó el 15 de septiembre con motivo de su visita de trabajo al Real Instituto y Observatorio de la Armada.



Figura 5.13: Visita de la Sra. Ministra de Defensa, D^a Margarita Robles en su recorrido por la exposición.

También, durante 2023 el ROA participó mediante el préstamo temporal del patrimonio al Parque de las Ciencias de Granada titulada “Tocar el cielo, explorar el espacio”.

Los fondos con los que participa el ROA son los siguientes: Astrolabio astronómico (0117/PH, copia de un original de 1563), Cuarto de círculo Ramsden (0084/PH), Espectroscopio estelar Browning (0127/PH) y varias impresiones facsímiles de las 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).

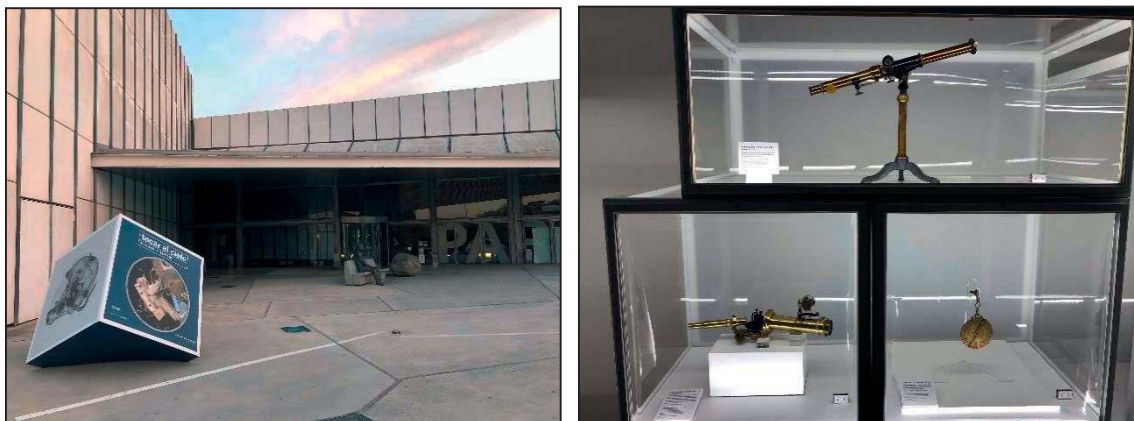


Figura 5.14: Exposición “Tocar el cielo, explorar el espacio” en el Parque de las Ciencias de Granada.

Asimismo, el ROA ha colaborado en la exposición temporal “Jorge Juan. El legado de un marino científico” organizada por el Museo Naval de Madrid (noviembre de 2023-marzo de 2024). El ROA prestó temporalmente un telescopio refractor (0031/PH) y un termómetro (0094/PH), que contribuyen a enriquecer el discurso expositivo de la muestra.



Figura 5.15: Exposición “Jorge Juan. El legado de un marino científico” en el Museo Naval de Madrid.

5.3.3. Otros trabajos de difusión: publicaciones y conferencias

Dentro de los actos celebrados con motivo del CCL aniversario del fallecimiento de Jorge Juan y Santacilia (05-01-1713, Novelda – 21-06-1773, Madrid) y el CCLXX aniversario de la fundación del Real Observatorio de Cádiz, contemplados en el marco de la Jornada Histórica de la Armada, el ROA celebró, el 21 de junio, una ofrenda floral ante el busto de Jorge Juan y, el 28 de junio, un concierto en la explanada del Edificio Principal del ROA, a cargo de la Unidad de Música del Tercio Sur (TERSUR), al que asistieron más de 600 personas.

Asimismo, se organizó un ciclo de conferencias asociado a la exposición temporal “Jorge Juan. Ciencia para la Real Armada de Su Majestad” que dispuso de las siguientes intervenciones:

Servicio de Biblioteca y Archivo

- *La Real Armada en la Bahía de Cádiz a lo largo del siglo XVIII*. Dr. D. Pablo Ortega del Cerro (UCA), celebrada en el Centro de Congresos y Exposiciones “Cortes de la Real Isla de León”.
- *La participación española en la expedición geodésica al Virreinato del Perú (1734-1748)*. Dra. D^a. Ascensión López Vázquez (UCA), celebrada en el ROA.
- *Jorge Juan. Ciencia para la Real Armada de Su Majestad*. D. Manuel Rivas Fernández (Técnico Superior de Archivos. ROA), celebrada en el Centro de Congresos y Exposiciones “Cortes de la Real Isla de León”.
- *Métodos e instrumentos de navegación en la España del siglo XVIII: el papel de Jorge Juan*. Dr. D. Francisco José González González (Profesor Honorífico de la Escuela de Estudios Superiores), celebrada en el Centro de Congresos y Exposiciones “Cortes de la Real Isla de León”.

Por otro lado, con motivo de la clausura de la exposición, el 14 de diciembre, el salón de actos del ROA acogió la mesa redonda “*La importancia de la Bahía de Cádiz en la Historia Marítima de la Edad Moderna*” con las siguientes ponencias:

- *La nueva España del siglo XVIII vista por un gaditano: Pedro Alonso O’Crouley*. Catedrático Dr. D. Arturo Morgado García (UCA).
- *Las expediciones de Córdoba al Estrecho de Magallanes. El antecedente de la vuelta al mundo*. Dr. D. Alberto Gullón Abao (UCA).
- *Cádiz y su trascendencia en el sistema defensivo hispano: proyectos y fortificaciones, siglo XVIII*. Dra. D. Lilyam Padrón Reyes (UCA).
- *De Cádiz a China entre las dinastías Ming y Quing, historias por descubrir*. Dr. D. José Luis Caño Ortigosa (UCA).
- *Moderador: D. Manuel Rivas Fernández* (Técnico Superior de Archivos del ROA).



Figura 5.16: Imágenes del ciclo de conferencias (izquierda) y de la mesa redonda (derecha).

5.4. Personal

5.4.1. Personal

Durante 2023, 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, Cuerpo General Administrativo de la Administración del Estado, Administrativo.

6. Escuela de Estudios Superiores de la Armada

La actual Escuela de Estudios Superiores (EES) 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, EE.SS.), está planificado de modo que, cursado en su totalidad, 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, Geofísica y Hora (MAGH), 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.

Además, desde 2023, la Escuela de Estudios Superiores es el Centro Docente Militar encargado de acoger al Curso Básico de Estadística de la Armada encaminado a dotar de la formación técnica necesaria al personal que ocupe determinados puestos de trabajo dentro de la estructura del Servicio de Estadística de la Armada. Este curso dispone de una fase on-line impartida por la SETAD y una fase presencial en la Escuela de una semana de duración.

6.1 Cursos impartidos

A lo largo del año 2023, se han impartido los siguientes cursos:

6.1.1. XXIV Master en Astronomía, Geofísica y Hora (60300 2021 001)

En septiembre del año 2022 comenzó el segundo año de Máster finalizando el 15 de julio de 2023, desarrollándose en la Universidad Complutense de Madrid (UCM) y en la Universidad de Zaragoza (UNIZAR) respectivamente.

Alumnos:

- TN D. Pedro Luis Ortega Pérez (UCM).
- TN D. Rafael Carrillo Navarro (UNIZAR).

6.1.2. XXXIII Curso de Estudios Superiores en Ciencias Físico-Matemáticas (60314 2023 001)

Aunque la convocatoria del XXXIII Curso de Estudios Superiores en Ciencias Físico-Matemáticas quedó anulada por Resolución 632/08468/22 de 12 de mayo, posteriormente, por Resolución 632/02704/23 fue convocada una plaza para el curso 2023/2024. Así, en septiembre de 2023 da comienzo el primer cuatrimestre del curso de EE.SS. en Ciencias Físico-Matemáticas de un año académico de duración.

Alumno:

- AN D. Alejandro Mackinlay Hidalgo.

6.1.3. I Curso Básico de Estadística de la Armada (60485 2023 001)

Esta nueva edición del curso comenzó el 6 de febrero de 2023 con la fase online (06.02.2023 al 02.06.2023), y finalizó el 8 de junio de 2023 con la fase presencial (5-8.02.2023) en la EES, egresando alumnos de la categoría de Oficial, Suboficial, MPTM y Funcionario Civil.

Alumnos:

- CC D. Sergio Borrallo Tirado
- CC D. Roberto Cabieces Díaz
- TN D. Andrés Rodríguez Fernández.
- STTE D. Jose Antonio Blasco Lambies
- BG D. Javier Jiménez Lucena.
- BG D. Víctor López López.
- SGT1 D. Abel Aranda Romero
- SGTO D. Jesús León Domínguez
- SGTO D. Rafael Ceballos-Zúñiga Márquez
- CB1 D. Alberto Álamo Mendoza
- CB1 D. Ramón Moreno González
- CBO D^a. Sandra Rubio Chaves
- SDO D. Aridane Suárez Santana
- MRO D. Sabas José Fraile Moreno
- MRO D. Francisco Javier Muñoz Yuste
- FC D. Eduardo Samblas Martínez

En los tramos de los cursos anteriormente citados, han participado los siguientes profesores titulares, de número y asociados:

- CN D. Antonio A. Pazos García.
- CF D. Manuel Catalán Morollón.
- CF D. Jose Manuel Pertusa Arronis (Profesor de Número-SETAD)
- CF D. Álvaro Pery Pardo de Donlebún (Profesor Asociado-SETAD)
- CC D. Juan Alberto Martínez Cogolludo (Profesor de Número-SETAD)
- CC D. Alberto Dobarganes Nodar (Profesor Asociado-SETAD)
- CC D. Heitor Martínez Grueira (Profesor de Número-SETAD)
- CC D. Juan Manuel González Sánchez (Profesor de Número-ROA).
- CC D. Sergio Borrallo Tirado.
- CC D. Héctor Álvarez Martínez.
- TN D. Víctor de Ory Guimerá.
- TN D. Julián Fiz Barrena.
- TN D. Antonio Estarellas Perales.
- TN D. Rafael Carrillo Navarro.

6.2 Otras actividades

El 3 de marzo la EES y el ROA celebraron el acto de homenaje *in memoriam* del CN D. Francisco Javier Montojo Salazar, con motivo del 5º aniversario de su fallecimiento en aguas antárticas, en acto de servicio, el día 2 de marzo de 2018. El homenaje, presidido por el Excmo. Sr. Almirante Director de Enseñanza Naval, CA Don Ignacio Paz García, consistió en un acto de lectura de Leyes Penales y obituario, conferencia en el salón de actos, a cargo del Profesor D. Jorge Núñez de Murga, y el descubrimiento de una placa colocada en memoria del CN Montojo en el Astrógrafo Gautier del Real Instituto y Observatorio de la Armada.



Figura 6.1: Placa *in memoriam* del CN Montojo.

El día 16 de marzo, se celebró en el salón de actos de la EES, la conferencia titulada “Recientes estudios sobre astrodinámica y determinación de órbita de basura espacial realizados por la Universidad Carlos III de Madrid (UC3M)” a cargo del Dr. Manuel Sanjurjo Rivo, Profesor del Departamento de Ingeniería Aeroespacial de la Universidad Carlos III de Madrid.



Figura 6.2: El Dr. Manuel Sanjurjo Rivo durante la conferencia.

Entre el 5 y el 8 de junio se celebró la fase presencial del “I Curso Básico de Estadística de la Armada” en la EES.



Figura 6.3: Fotografía de grupo frente al Edificio Principal.

El 4 de septiembre tuvo lugar el acto de inauguración del XXXIII Curso de Estudios Superiores en Ciencias Físico-Matemáticas 2023/2024 al que asistieron todos los profesores y Oficiales de Órganos de Administración, servicio y apoyo de la EES.



Figura 6.4: Acto de inauguración del XXXIII Curso de EE.SS.

El 26 de octubre, tuvo lugar en el Salón de Actos la conferencia titulada “Reactivación del Telescopio Schmidt del Observatorio Astronómico Nacional de Venezuela” impartida por D. Franco Della Prugna, físico titulado por la Universidad de Los Andes y especializado en óptica en el Centro de Investigaciones de Astronomía - Observatorio Astronómico de Venezuela (CIDA-OANV).

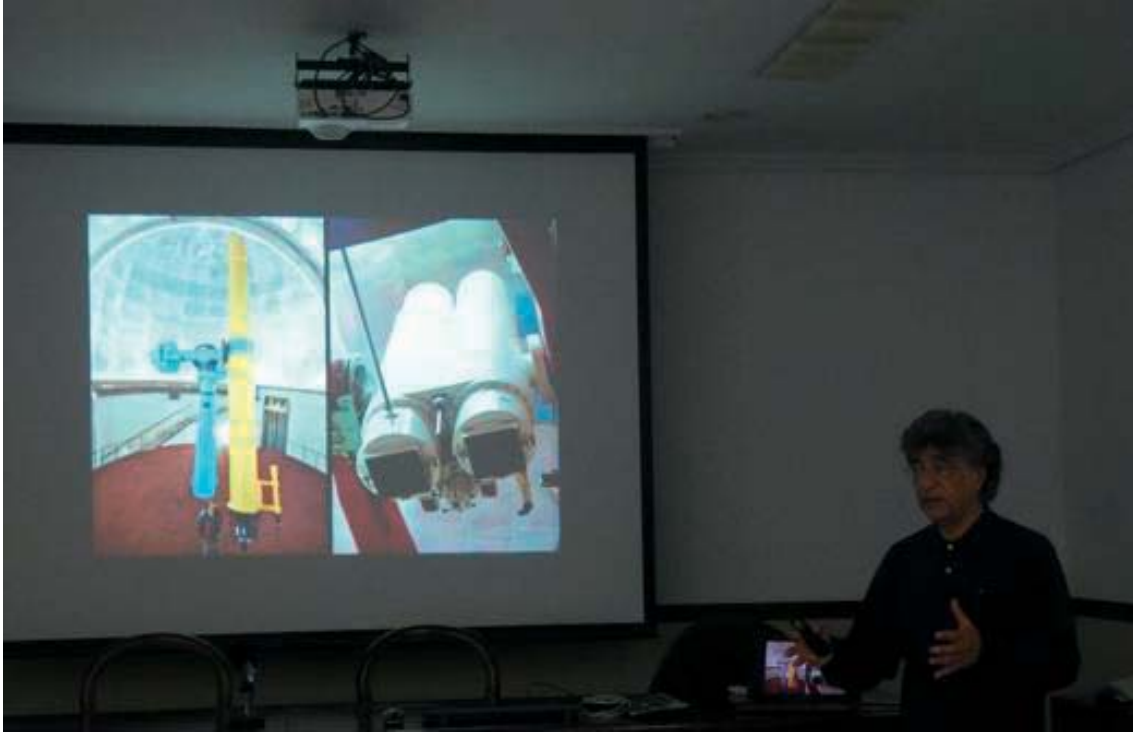


Figura 6.5: Franco Della Prugna durante su exposición.

A. Actividad Científica

A.1. Publicaciones

A.1.1. Publicaciones editadas por el Observatorio

A lo largo del año 2023, se realizaron las siguientes publicaciones oficiales:

- Almanaque Náutico 2024, con suplemento para la navegación aérea.
- Anales 2022. Observaciones Meteorológicas, Sísmicas y Geomagnéticas.
- Boletín ROA 01-2023. Beca Fundación Alvargonzález 2022. Estudio de un sistema para el entrenamiento de aeronaves posicionado en la mar para que sirva de blanco.
- Efemérides Astronómicas 2024.
- Investigaciones Científicas desarrolladas por el Real Instituto y Observatorio de la Armada en el año 2022.

A.1.2. Artículos en revistas

A lo largo del año 2023, el personal científico del Real Instituto y Observatorio de la Armada (ROA) ha publicado un total de 7 artículos en revistas nacionales e internacionales:

- **Título:** La preocupación por la situación futura del espacio.
Autores: CC Manuel Ángel Sánchez y TN David Rodríguez.
Revista: Revista General de Marina.
- **Título:** Las aplicaciones actuales y futuras de la investigación espacial.
Autores: CC Manuel Ángel Sánchez y TN David Rodríguez.
Revista: Revista General de Marina.
- **Título:** On the intriguing subject of the low amplitudes of magnetic anomalies at the Powell Basin.
Autores: M. Catalán, R. Negrete-Aranda, Y. M. Martos, F. Neumann, A. Santamaría, K. Fuentes.
Revista: Frontiers in Earth Science.
- **Título:** Towards a Sr optical lattice clock at ROA.
Autores: H. Álvarez, A. Estarellas, I. Cortés, J. M. Suárez, V. Bazán, J. M. González, J. Cafranga, C. Vélez y H. Esteban.
Revista: Proceedings (paper 7344) in International Frequency Control Symposium and European Frequency and Time Forum.
- **Título:** Transferencia ultraprecisa de tiempo y frecuencia mediante fibra óptica.
Autores: CF Héctor Esteban y CC Carmen Vélez.
Revista: Revista General de Marina.

- **Título:** El GPS estelar (II)
Autores: CC Sergio Borrallo e ITA José Luis Gutiérrez.
Revista: Revista General de Marina.
- **Título:** ¿El segundo intercalar va a dejar de ser implementado?
Autores: CF Héctor Esteban y M^a Dolores del Campo (CEM).
Revista: Revista e-medida.
- **Título:** La metrología de tiempo en el Real Instituto y Observatorio de la Armada.
Autores: CF Héctor Esteban.
Revista: Una mirada a la metrología española de los años 70 del siglo XX, CEM.
- **Título:** From Magma Source to Volcanic Sink Under Tagoro Volcano (El Hierro, Canary Islands): Petrologic, Geochemical and Physiographic Evolution of the 2011–2012 Submarine Eruption.
Autores: Álvarez-Valero, Antonio M.; Sánchez-Guillamón, Olga; Navarro, Irene; Albert, Helena; Sánchez, Antonio Polo; Rodríguez, José A. Lozano; Geyer, Adelina; Martí, Joan; Ban, Masao; Gómez-Ballesteros, María; Catalán, Manuel; García, Natalia; Fraile-Nuez, Eugenio; Casillas, Ramón; Martín-Luis, María C.; Palomino, Desirée; Vázquez, Juan T.; López-González, Nieves; Hernández-Barreña, Daniel; Núñez-Guerrero, Elena y González, Pablo J..
Libro: El Hierro Island. Springer International Publishing (d.o.i. 10.1007/978-3-031-35135-8_4).

A.2. Comunicaciones en congresos

A lo largo del año 2023, el personal científico del ROA ha presentado un total de 14 comunicaciones, 2 en congresos nacionales y 12 en congresos internacionales:

A.2.1. Nacionales

- **Autores:** M.A. Sánchez.
Título: Determinación orbital de basura espacial a partir de la fusión de datos obtenidos por diferentes sensores.
Congreso: Doctoral Meeting UC3M.
Fecha: 22 de mayo.
- **Autores:** A. Estarellas.
Título: Towards a Sr optical lattice clock at ROA.
Congreso: Young Atomic Optics (YAO).
Fecha: 12-16 de junio.
- **Autores:** CC M.A. Sánchez.
Título: Actividades y últimos avances del ROA en SLR en el ámbito de la Vigilancia y Seguimiento Espacial.
Congreso: SENTINEL workshop. Monitorización y modelado de los desechos espaciales para un espacio sostenible.
Fecha: 8 de septiembre.

A.2.2. Internacionales

- **Autores:** M.A. Sánchez Piedra.
Título: Orbit determination of space debris using radar, laser and optical measurements.
Congreso: 2nd NEO and Debris Detection Conference.
Fecha: 14-26 de enero.
- **Autores:** H. Álvarez.
Título: Project 1156, GPS link calibrations in support of CCTF-K001.UTC.
Congreso: EURAMET TC-TF.
Fecha: 23 de marzo de 2023.
- **Autores:** R. Cabièces, M. Arnaiz-Rodríguez, A. Villaseñor, E. M. Berg, A. Olivar-Castaño, S. Ventosa y A. Ferreira.
Título: Upper Lithosphere Structure of Northeastern Venezuela from Joint Inversion of Surface-Wave Dispersion and Receiver Functions.
Congreso: SSA-23.
Fecha: 18 de abril.
- **Autores:** A. Ferreira, M. Miranda, S. Barandooei and R. Cabièces.
Título: The UPFLOW Experiment: Peeking from the Sea Floor to the Deep Mantle with 1500 km Aperture Array of 49 Ocean Bottom Seismometers in the Mid -Atlantic.
Congreso: SSA-23.
Fecha: 18 de abril.
- **Autores:** R. Cabièces, A. Olivar-Castaño, T. C. Junqueira, J. Relinque, J. Vackár, C. Palacios and K. Harris.
Título: Integrated Seismic Program (ISP) A New Python GUI-Based Software for Earthquake Seismology and Seismic Signal Processing.
Congreso: SSA-23 y EGU-23.
Fecha: 18 de abril y 27 de abril.
- **Autores:** L. Lozano, J. V. Cantavella, E. Buforn, C. López-Sánchez, R. Antón, J. Barco, M.V. Manzanedo, R. Cabièces y M. Mattesini.
Título: The 2021-2022 seismic sequence in Alboran Sea
Congreso: EGU-23.
Fecha: 26 de abril.
- **Autores:** A. Neri, S. Badrane, B. Gaité, A. Villaseñor, R. Cabièces, C. Ranero, A. Ugalde.
Título: Rayleigh and Love wave dispersion curves from seismic noise of the North African and South Iberian Peninsula lithospheric structure and collision zone.
Congreso: EGU-23.
Fecha: 27 de abril.

- **Autores:** M Tsekhmistrenko, R. Cabieces, K. Harris, F. Tilmann, F. Krüger, A. Ferreira y M. Miranda.
Título: UPFLOW ocean bottom seismometers data: preliminary performance report
Congreso: EGU-23.
Fecha: 27 de abril.
- **Autores:** H. Álvarez, A. Estarellas, I. Cortés, J. M. Suárez, V. Bazán, J. M. González, J. Cafranga, C. Vélez y H. Esteban.
Título: Towards a Sr optical lattice clock at ROA.
Congreso: IFCS-EFTF.
Fecha: 15 al 19 de mayo.
- **Autores:** M. A. Sánchez Piedra, E. Azcue, J.A. López, J.M. Ferrandiz, M.I. Vigo, M. Valdés Pérez de Vargas.
Título: Geodesy in Spain: situation and projects.
Congreso: GGOS Days 2023.
Fecha: 20-22 de septiembre.
- **Autores:** M. A. Sánchez, R. Martínez.
Título: Determination of space debris orbit by using the sensors of the Spanish Ministry of Defense.
Congreso: AstroRob 2023.
Fecha: 16-20 de octubre.
- **Autores:** D. Rodríguez, A. Blanco Hernández, M.C. De Lacy, M.A. Sánchez y M. Catalán.
Título: Geodynamics of the Gibraltar Arc. A time series study of the Spanish Navy Observatory stations.
Congreso: International Workshop on Geosciences in Active Areas, WGAAL2023.
Fecha: 16-20 de octubre.

A.3. Participación en comités, congresos y reuniones

A.3.1. Nacionales

- El 12 de enero, el CN Antonio A. Pazos García, director del ROA, asiste a la jornada "El impacto económico del sector aeroespacial en la economía andaluza" en la sede de CaixaForum de Sevilla.
- El 19 de enero el TN Manuel Sánchez es nombrado Representante Nacional suplente ante la IUGG por medio de la Comisión Española de Geodesia y Geofísica.
- El 19 de enero, el CN Antonio A. Pazos García participa en una mesa redonda para presentación del libro "Galileo Galilei y el problema de la longitud" en el Ateneo de Chiclana de la Frontera.

Actividad Científica

- El 26 de enero, D. Manuel Rivas Fernández, Director Técnico de la Biblioteca y Archivo, visita el Parque de las Ciencias de Granada, para recogida de documentación fotográfica y revisión del estado de las piezas en préstamo temporal.
- El 26 de enero, el CN Antonio A. Pazos García asiste e diversas reuniones en el Estado Mayor de la Armada.
- El 30 de enero, el CF Manuel Catalán Morollón asiste a una reunión de coordinación, en Madrid, con la Sociedad Española de Estudios para la Comunicación Fija a través del Estrecho (SECEGSA).
- El 31 de enero el TN Manuel Sánchez participa en la reunión inicial del Grupo de Trabajo para la Creación del Afiliado GGOS IberoAtlántico.
- El 23 de marzo el CC Lluís Canals asiste a la segunda edición de la conferencia espacial de Andalucía.
- El 28 de marzo, el TN David Rodríguez Collantes participa en una reunión junto con personal de la Universidad de Jaén para colaborar en estudios GNSS con equipos geodésicos de bajo coste.
- El 28 de marzo, el CN Antonio A. Pazos García, director del ROA, participa por VTC en la reunión de la Comisión Nacional de Astronomía.
- El 13 de abril, el CN Antonio A. Pazos García y el CF Manuel Catalán asisten, por VTC, a la Reunión Anual del Comité de Dirección del Plan de Investigación Científica (PIC) de la Zona Económica Exclusiva Española (ZEEE) presidida por el Centro de Inteligencia de las Fuerzas Armadas (CIFAS).
- Entre los días 22 y 24 de mayo, el TN Manuel Sánchez participa en el 2023 Doctoral Meeting de la UC3M.
- El 20 de junio el TN Manuel Sánchez participa en la reunión del Grupo de Trabajo para la Creación del Afiliado GGOS IberoAtlántico en la que se finaliza el Informe de Viabilidad. El día 28 se retoma esta reunión con la participación de homólogos geodestas portugueses.
- El 5 de septiembre, el TN Manuel Sánchez, en funciones de miembro y secretario, participa en la Reunión del Pleno de la Sección de Geodesia de la CEGG. Como hito relevante de esta reunión, es aprobada por unanimidad la propuesta de creación del Grupo Afiliado GGOS IberoAtlántico respaldada en el White Paper elaborado por el Grupo de Trabajo.
- El 8 de septiembre tiene lugar la primera reunión de la Red Temática SENTINEL en las instalaciones de la UC3M de Madrid. Este foro, en el que realiza una presentación sobre la estación láser del ROA el TN Manuel Sánchez, cuenta con la presencia de los diferentes actores públicos y privados vinculados con la vigilancia del entorno espacial en España, ya sean sensores, grupos de investigación, instituciones de coordinación y empresas del sector.

Actividad Científica

- El 8 de septiembre el CC Lluís Canals asiste a la Reunión Red Temática de Investigación SST.
- Del 12 al 15 de septiembre el TN Rafael Carrillo realiza la comisión para la presentación de su Trabajo de Fin de Máster en la Universidad de Zaragoza.
- El 28 de septiembre, el CC. Héctor Álvarez y el ITA Ignacio Cortés viajan a Granada para discutir y acordar una tesis conjunta en física óptica y atómica entre el ROA y la Universidad de Granada (UGR) dirigida por el catedrático Daniel Rodríguez Rubiales del Departamento de Ciencias Físicas de la UGR.
- El 10 de octubre, el CN Antonio A. Pazos García asiste a la jornada “DÍA de INFORMACIÓN para la INDUSTRIA” celebrada en la Agencia Espacial Española (Sevilla) en el marco de la Constelación Atlántica, línea de actuación ACT 7 del PERTE Aeroespacial.
- El 27 de octubre tiene lugar la reunión on-line ROA-IGN-INECO-SECEGSA a la que asisten el CN Antonio Pazos (Director del Observatorio), el CF Manuel Catalán (Jefe de la Sección de Geofísica) y el CC Roberto Cabieces (Jefe del Servicio de Sismología).
- El 27 de octubre tiene lugar la reunión on-line de la Sección de Geofísica Aplicada de la Comisión Española de Geodesia y Geofísica a la que asiste el CN Antonio Pazos.
- El 30 de octubre tiene lugar la primera reunión de colaboración entre el Departamento de Ingeniería Aeroespacial de la Universidad de Sevilla y el ROA a la que asiste el TN Manuel Sánchez.
- El 30 de octubre el CN Antonio A. Pazos García y el CF Manuel Catalán Morollón (por VTC) asisten a la reunión de la Comisión Española de Geodesia y Geofísica, celebrada en la sede del IGN en Madrid.
- El 10 de noviembre tiene lugar una reunión entre responsables de ENAIRE y la Estación Láser del ROA fruto de la cual surge la cesión de datos de información de tráfico aéreo de esta institución.
- El 14 de noviembre tiene lugar una reunión, en Madrid, entre la UCM, el ROA y la Universidad de Alicante sobre la red sísmica WM, a la que asisten el CN Antonio A. Pazos García y el CC Roberto Cabieces Díaz.
- El 22 de noviembre se realiza la reunión del Comité de Dirección TFRM por VTC, a la que asisten el CN Antonio A. Pazos García y el CC Lluís Canals Ros.
- El 28 de noviembre, tiene lugar la reunión con miembros del Centro Español de Metrología (CEM) y del Instituto de Óptica "Daza de Valdés" para revisión y seguimiento del convenio entre el CEM y MINISDEF por el que se designa al ROA como Laboratorio Asociado al CEM. Asisten el Comandante-Director del ROA, el CF Héctor Esteban y CC Héctor Álvarez.

- El 28 de noviembre, el CF Héctor Esteban y el CC Héctor Álvarez participan en la Comisión de Laboratorios Asociados (CLA), llevada a cabo en las instalaciones del ROA, con objeto de coordinar actividades en el campo de la metrología y participación en el programa europeo Partnership en Metrología.
- El 11 de diciembre tiene lugar en Cádiz la reunión del patronato de CEIMAR (Campus de Excelencia del MAR) a la que asiste el CN Antonio A. Pazos García.
- Del 13 al 15 de diciembre, el TN Julián Fiz asiste a las Jornadas de Doctorandos en la Facultad de Ciencias Físicas de la Universidad Complutense de Madrid (UCM).
- El 20 de diciembre tiene lugar la reunión on-line del patronato de la Fundación Descubre a la que asiste el CN Antonio A. Pazos García.

A.3.2. Internacionales

- Entre los días 24 y 26 de enero, el TN Manuel Sánchez, participó en el “2nd NEO and Debris Detection Conference” que tuvo lugar en Darmstadt, Alemania.
- El 7 de marzo, el TN. David Rodríguez Collantes participa en la reunión de los proyectos GENESIS y LEO-PNT dentro del Programa FutureNav de la ESA en Noordwijk.
- Durante los días 22 y 23 de junio, el CC. Héctor Álvarez Martínez asiste y participa en la reunión anual del Comité Técnico de Tiempo y Frecuencia (TC-TF) de EURAMET en Braunschweig (Alemania).
- El 28 de junio, el TN Manuel Sánchez participa en la reunión del Grupo de Trabajo para la Creación del Afiliado GGOS IberoAtlántico en la que se finaliza el Informe de Viabilidad.
- Durante los días 28 y 29 de junio, el CC Héctor Álvarez asiste y participa en la primera reunión del consorcio del proyecto europeo TOCK de EURAMET en Braunschweig (Alemania).
- Del 10 de junio al 2 de julio, el CC Héctor Álvarez Martínez viaja a Boulder (Colorado, EE. UU.), para participar en el 45º Seminario Anual de Metrología de Tiempo y Frecuencia impartido en el NIST.
- Entre el 20 y el 22 de septiembre tiene lugar el Congreso Internacional GGOS Days en las instalaciones del IGN en Alcalá de Henares. En este foro participan representantes de las principales instituciones a nivel internacional relacionadas con el campo de la Geodesia. El TN Manuel Sánchez realiza una presentación sobre las capacidades geodésicas en España relacionada con la propuesta de creación de un Grupo Afiliado GGOS IberoAtlántico formado por España y Portugal.

A.4. Campañas, Calibraciones y Mantenimientos

- Entre el 7 y el 19 de mayo se llevó a cabo una campaña geofísica en el Parque de Timanfaya de la Isla de Lanzarote. Esta campaña estuvo liderada por la Universidad de Maryland en cooperación con otras instituciones y universidades norteamericanas. En dicha campaña participó el CF Manuel Catalán, llevando a cabo el estudio de las variaciones del campo magnético asociadas al vulcanismo.
- Durante los meses de abril y mayo se realiza una nueva campaña de calibración G1G2 GNSS, en el seno de EURAMET (Cal_Id = 1016-2023), liderada por el ROA, con los laboratorios metrológicos nacionales IFS (Zagreb, Croacia) y BIM (Sofía, Bulgaria).

A.5. Cursos y Estancias de Trabajo

- El 11 de septiembre el TN. Julián Fiz Barrena comienza el Curso Básico de Aptitud Pedagógica para Oficiales en la Escuela Militar de Ciencias de la Educación (EMCE), sita en la Academia Central de la Defensa (ACD) en Madrid. Curso que presenta una primera fase online del 11 de septiembre al 15 de enero de 2024 y una fase presencial del 19 al 23 de febrero en la EMCE.
- El TN Jesús Romero González continúa con la estancia de investigación en el departamento de Systèmes de Référence Temps-Espace (SYRTE) del Observatorio de París.

A.6. Proyectos de Investigación

A.6.1. Proyectos, Acciones Especiales y Complementarias

Durante el año 2023, se han mantenido o iniciado los siguientes proyectos de investigación, un total de 38 actividades incluidas en el Plan de Actividades de Investigación Científica y Técnica de la Armada (PAICTA):

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

Actividad Científica

- (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".
- (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.
- (36/2018) Galileo Service Operator (GSOp).
- (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.
- (15/2019) Diseño y construcción de un nuevo telescopio multicámara (SAURON).
- (31/2020) Diseño y construcción de un sistema de posicionamiento marítimo basado en observaciones astronómicas (NAVASTRO).
- (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).

- (01/2022) Colaboración con el proyecto Upward mantle flow from novel seismic observations (UPFLOW).
- (02/2022) Colaboración con el proyecto Procesos Geodinámicos y Riesgos Naturales en el Archipiélago Canario (GUANCHE).
- (03/2022) Diseño y construcción de un prototipo de bajo coste de un blanco naval estático.
- Sensorización acústica distribuida de la fibra de comunicaciones de las ciudades: prueba de concepto de un gemelo digital de la movilidad urbana (DASTUM).
- Solución avanzada de sincronismo mediante fibra óptica (SASFO).
- Transportable Optical clocks for Key comparisons (TOCK).
- GALILEO and EGNOS monitoring of performances (GEMOP).
- Patrón de frecuencia de ultra-alta estabilidad: Máser Activo de Hidrógeno.
- Centro de observación ROA-ARMADA para vigilancia del espacio (CORA).
- Sustitución del telescopio de la estación láser del ROA (TERELAS).
- Nueva cúpula para la estación de telemetría láser del ROA (CUPROA).
- Banco láser de kilohercios del ROA (KIROA).

A.6.2. Beca Fundación Alvargonzález

La Beca Real Instituto y Observatorio de la Armada correspondiente al año 2023 fue concedida a Dña. Paola Barba Ceballos, por su proyecto: “Estudio de series temporales GNSS mediante técnicas estadísticas y analíticas para la obtención de modelos de esfuerzo y deformación. Aplicación a la región Sur de la Península Ibérica-Norte de África (SPINA)”.

B. Otras actividades

B.1. Hechos notables

- El 3 de marzo de 2023, tuvo lugar el acto de homenaje al CN D. Francisco Javier Montojo Salazar, en la Escuela de Estudios Superiores (EES) y en el Real Instituto y Observatorio de la Armada de San Fernando (ROA), por el 5º aniversario de su fallecimiento en aguas antárticas, en acto de servicio, el día 2 de marzo de 2018.



Figura B.1: Acto de Lectura de Leyes Penales.

El homenaje comenzó con un acto de Lectura de Leyes Penales, frente al Edificio Principal del Observatorio, presidido por el Excmo. Sr. Almirante Director de Enseñanza Naval, CA Don Ignacio Paz García, y al que asistió la viuda, su hija y familiares, las dotaciones y antiguos directores y oficiales del ROA y de la Escuela de Estudios Superiores y numerosos compañeros de la brigada de 1991, de la que formaba parte el CN Montojo.

Seguidamente, en el salón de actos de la Escuela de Estudios Superiores, el Profesor D. Jorge Núñez de Murga, director del observatorio de Fabra y catedrático de la Universidad de Barcelona, realizó una presentación sobre la saturación del espacio y la aportación del CN Montojo, en el campo de la vigilancia y seguimiento de la basura espacial, a lo largo de su trayectoria en la Sección de Astronomía el ROA y la EES durante más de 17 años (septiembre de 1999 a febrero de 2017).



Figura B.2: Conferencia en el salón de actos de la EES.

Una vez finalizada la presentación, tuvo lugar el descubrimiento de una placa colocada en memoria del CN Montojo en el Astrógrafo Gautier, telescopio que participó a finales del siglo XIX y principios del siglo XX en el gran proyecto internacional denominado “la Carta del Cielo”, antecedente histórico de la actual actividad de la sección de astronomía del ROA en el campo de la vigilancia y seguimiento de basura espacial. A la finalización de los actos, el ADIENA agradeció la presencia de los asistentes y entregó un pequeño recuerdo a la hija del CN Montojo y un ramo de flores a la viuda.



Figura B.3: Descubrimiento de la Placa en Memoria del CN Montojo Salazar.

- El 14 de marzo, se celebró el Día Internacional de las Matemáticas también conocido como Día del Pi por su valor redondeado, recibíéndose a 80 alumnos y cuatro profesores, en dos turnos de 4 grupos de 10 participantes cada uno, para determinar su valor de forma experimental.

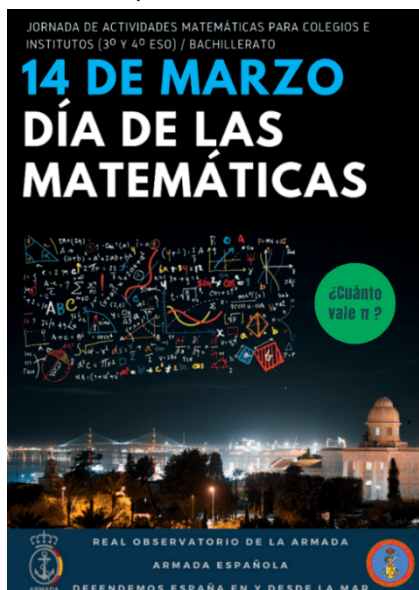


Figura B.4: Cartel de la actividad.

Otras actividades

- El 31 de mayo y el 1, el 3 y el 8 de junio se llevaron a cabo diversas actividades complementarias con motivo del “Día de la Fuerzas Armadas 2023” (DIFAS-23): visitas, talleres de observación astronómica, talleres de seguimiento de satélites desde la estación laser.



Figura B.5: Taller de observación astronómica.

- Los días 15 y 16 de junio se recibió la visita de trabajo del Excmo. Sr. Contralmirante, Almirante Jefe de Servicios Generales y Asistencia Técnica, acompañado del Capitán de Navío, Jefe del Servicio de Publicaciones de la Armada, del Capitán de Navío Jefe del OAJ de la Jefatura de Servicios Generales y Asistencia Técnica (JESAT), y del Suboficial Mayor de JESAT.



Figura B.6: Fotografía de grupo frente al Edificio Principal.

Otras actividades

- El día 21 de junio se realizó un emotivo acto en homenaje a Jorge Juan y Santacilia en el Real Instituto y Observatorio de la Armada (ROA) en el día que se cumple el CCL aniversario de su fallecimiento como acto complementario de la “IV Jornada Histórica de la Armada”.



Figura B.7: Acto de ofrenda floral ante el Busto de Jorge Juan.

- El día 28 de junio tuvo lugar un concierto impartido por la Unidad de Música del Tercio Sur (TERSUR) con motivo de la celebración de la “IV Jornada Histórica de la Armada” y en conmemoración del CCL aniversario del fallecimiento de Jorge Juan y Santacilia, marino, científico y fundador del Real Observatorio de Cádiz en 1753, que se traslada a la “Isla de León” en 1798.



Figura B.8: Interpretación de la Unidad de Música del Tercio del Sur.

Otras actividades

El concierto protagonizado por la banda del TERSUR, ofreció un bonito repertorio de obras compuesto por Forja de Almas de F. Alonso, El Tambor de Granaderos de R. Chapí, Apolo 13 de J. Horner, Por el Puente Zuazo de J. Ribera Torder, La vida breve y el sombrero de tres picos de M. de Falla, y Danzas Fantásticas de J. Turina. Además, tocaron “la banderita” de F. Alonso y finalizó con el arriado de bandera.



Figura B.9: Solemne acto de arriado de bandera tras el concierto.

- El 29 de junio se recibió la visita de la Sra. Dña. Isabel Valdecabres Ortíz, Presidenta-Directora General de la Fábrica Nacional de Moneda y Timbre – Real Casa de la Moneda, acompañada por D. Felipe Amores Molero, Director de Sistemas de Información y Economía Financiera, D. José Miguel Fernández de Liencres Mendoza, Director Comercial, y Dña. Laura Díez Herrero, Secretaria General y Directora de RR.HH.



Figura B.10: Sala de desarrollo del patrón de red óptica.

Otras actividades

- El 30 de junio, el Real Instituto y Observatorio de la Armada celebró el día de la familia, abriendo sus puertas a su propio personal, familiares y allegados, mostrándoles el entorno habitual de trabajo y la labor que se desarrolla a diario.



Figura B.11: Talleres para menores de 7 años.

- El 11 de agosto, el Real Instituto y Observatorio de la Armada se sumó a la iniciativa cultural “La Noche Blanca”, impulsada por el Excmo. Ayto. de San Fernando, en la que el Observatorio abrió sus puertas para dar a conocer parte de su historia y patrimonio en horarios no habituales.



Figura B.12: Grupo de uno de los pases frente al Edificio principal.

Otras actividades

- El 25 de agosto, tuvo lugar la visita de la Señora Vicepresidenta Primera del Gobierno de España y Ministra de Asuntos Económicos y Transformación Digital, Excm. Sra. Dña. Nadia M^a Calviño Santamaría, en visita particular.



Figura B.13: Fotografía a la entrada del Edificio Principal.

Tras la bienvenida del Comandante-Director del ROA y una exposición sobre las actividades más relevantes del Observatorio, se realizó un recorrido por las secciones científicas y la biblioteca.



Figura B.14: La Sra. Vicepresidenta Primera firmando en el libro de honor.

Otras actividades

- El 11 de septiembre, tuvo lugar la primera visita oficial del Excmo. Sr. Almirante Jefe de Servicios Generales y Asistencia Técnica, contralmirante Juan María Ibañez Martín



Figura B.15: Fotografía frente al Edificio Principal.

Tras la tradicional fotografía, el Comandante-Director efectuó una exposición sobre los aspectos más relevantes del Observatorio y se realizó un recorrido por las Secciones Científicas y el patrimonio que alberga.

- El 13 de septiembre, se inauguró la exposición temporal “Jorge Juan. Ciencia para la Real Armada de su Majestad” en el Real Instituto y Observatorio de la Armada (ROA), encuadrada dentro de las actividades complementarias de la IV Jornada Histórica de la Armada y con motivo del 250 aniversario del fallecimiento de D. Jorge Juan y Santacilia.



Figura B.16: Exposición “Jorge Juan. Ciencia para la Real Armada de su Majestad”.

Otras actividades

- El 15 de septiembre, la Ministra de Defensa, Dña. Margarita Robles Fernández, realizó una visita Observatorio, siendo recibida por el Almirante Jefe de Servicios Generales y Asistencia Técnica, CA Juan María Ibañez Martín, acompañado por el Director y el Subdirector del ROA.

Tras una breve introducción del Director sobre los orígenes y principales misiones del ROA se realizó una visita a la Sección de Hora destacando la responsabilidad de la realización de la hora oficial de España y visitando el proyecto del desarrollo de un reloj de red óptica de estroncio, que permitirá mejorar en tres órdenes de magnitud la actual escala, posicionando a España entre los mejores laboratorios de tiempo a nivel mundial.



Figura B.17: Visita a la sala del reloj de red óptica de estroncio (Proyecto CIROES).

A continuación, realizó una visita a la Biblioteca y a la Exposición Temporal “Jorge Juan. Ciencia para la real Armada de su Majestad”, finalizando el recorrido por las instalaciones en el despacho del Comandante-Director donde la Sra. Ministra firmó en el libro de honor.



Figura B.18: Firma del Libro de Honor en el despacho del Comandante-Director.

Otras actividades

- Entre el 6 y el 19 de noviembre, el Observatorio participó en la “Semana de la Ciencia 2023”, considerada uno de los eventos más significativos para la divulgación científica celebrada en Europa, realizando, además del “Café con Ciencia”, diversas actividades de divulgación, como jornadas de observación astronómica y de seguimiento de satélites con la estación láser.



Figura B.19: Las diferentes mesas de coloquio y cartel de la actividad.

- El 12 de diciembre de 2023 fallece, por enfermedad, el CF D. Manuel Catalán Morollón, profesor titular en la reserva de la Escuela de Estudios Superiores y Jefe de la Sección de Geofísica de este Observatorio.

Su labor en el campo científico, en especial los relacionados con las anomalías magnéticas y los flujos de calor, y de la geodesia espacial en general, ha sido muy intensa y fructífera, logrando ser una de las máximas referencias en el campo del magnetismo terrestre a nivel nacional e internacional, llevando al ROA, la Armada y a España a un lugar destacado. Así, por ejemplo, colideró el proyecto internacional del Mapa Mundial Digital de Anomalías Magnéticas desde 2013.

Su currículum vitae da cuenta de su extraordinaria actividad y producción científica, siendo autor de más de 70 artículos publicados en revistas de impacto, habiendo presentado más de 150 trabajos en congresos nacionales o internacionales, participando en 22 proyectos de investigación de I+D+i financiados bajo convocatoria en régimen de concurrencia competitiva por el MICIN, liderando como Investigador Principal (o co-IP) 7 de ellos, entre los que destacan dos proyectos en la Antártida y otros dos relacionados con el seguimiento de objetos espaciales, además de liderar varios proyectos de I+D del propio Ministerio de Defensa.

A todo ello, hay que añadir su participación en una treintena de campañas geofísicas marinas, actuando en 8 de ellas como jefe científico, y en todas las campañas del Proyecto de la Zona Económica Exclusiva Española (ZEEE) desde 1996.

Otras actividades

Su valía y prestigio motivó su pertenencia y participación activa en diversos comités nacionales e internacionales. Así, entre otras responsabilidades, fue miembro y posteriormente codirector del Grupo de Trabajo del Mapa Mundial Digital de Anomalías Magnéticas, miembro de la Comisión Española de Geodesia y Geofísica y presidente de su Sección de Magnetismo y Aeronomía, del Comité Científico-Técnico de la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECyT), miembro de la Agencia Nacional de Evaluación y Prospectiva (ANEP), del Grupo de Trabajo de Cartografía Marina, y miembro de comités científicos de numerosos seminarios y congresos nacionales e internacionales.

Fue además editor invitado en *Frontiers on Earth Sciences Journal* para avances en el conocimiento de la litosfera y perspectivas de los campos potenciales.

Todas estas contribuciones, consolidan al CF Catalán como un científico clave en la historia reciente del Observatorio, en el campo de la geofísica, a nivel mundial.

Finalmente, cabe reseñar su carácter incansable y su pasión por la ciencia, por el ROA y la Armada, durante su periodo de convalecencia frente a la grave enfermedad que padecía en este último año, quiso renunciar a la baja médica y seguir trabajando con más ánimo y ahínco que nunca, incluso durante las peores fases del tratamiento, teletrabajando mientras recibía las sesiones de quimioterapia, sin dejar de cumplir con sus obligaciones al frente de la Sección de Geofísica, impartiendo clases diariamente por videoconferencia al Curso de Estudios Superiores y contribuyendo científicamente en varios artículos científicos.



Figura B.20: Conferencia del CF Manuel Catalán a bordo del buque Hespérides.

B.2. Visitas

B.2.1. Autoridades Civiles y Militares

- VA Marcial Gamboa Pérez-Pardo, director del IHCN (1 de febrero y 9 de junio).
- CA Ignacio Paz García, Director de Enseñanza Naval (3 de marzo).
- COL José Luis Molina García, director del CET (7 de mayo).
- D. Eduardo Garrigues López-Chicheri, Embajador de España (8 de mayo).
- GB interventor D. Francisco José Pareja Centena, Academia Central de la Defensa (25 de mayo).
- CA Rafael Fernández-Pintado Muñoz-Rojas, AJESAT (15 y 16 junio).
- D^a M^a Isabel Valldecabres Ortiz, Directora General de la Fábrica de Moneda y Timbre-Real Casa de la Moneda (29 de junio).
- D. Antonio Rojas Jiménez, Concejal de Deportes, Educación, Participación Ciudadana y Comercio y Hostelería del Ayto. de San Fernando (22 de agosto).
- Sra. Vicepresidenta Primera del Gobierno de España y Ministra de Asuntos Económicos y Transformación Digital, Excm. Sra. D^a Nadia Calviño Santamaría (25 de agosto).
- CA Juan María Ibáñez Martín, Almirante Jefe de Servicios Generales y Asistencia Técnica (11 de septiembre).
- Sra. Ministra de Defensa, Excm. Sra. D^a Margarita Robles Fernández (15 de septiembre).
- D. Pedro Fernández Peñalver, Delegado de Gobierno en Andalucía (5 de septiembre).

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

- 20 de febrero: JINFRADIZ.
- 13 de marzo: Escuela de Hidrografía "Alejandro Malaspina".
- 23 de marzo: Servicio de Transportes de JAPTRADIZ.
- 23 de marzo: Parque de Automóviles nº 3 de San Fernando.
- 13 de abril: Jefes de Escuadrillas, Comandantes y Segundos, 41 Escuadrilla de Escoltas y el Destroyer Squadron 60 (U.S. Navy) de la Base Naval de Rota.
- 17,18 y 19 de agosto: Instituto Hidrográfico de la Marina (IHM) Cádiz.
- 22 de abril: Curso Aspirantes Reservistas del Empleo de Suboficial (ESUBO).
- 04 de mayo: Oficiales de la Bahrain Defence Force.
- 10 y 19 de mayo: TERSUR.
- 25 de mayo: Junta Superior del Cuerpo Militar de Intervención.
- 07 de junio: Curso Básico de Estadística de la Armada.
- 14 de junio: Curso CAES (ESUBO).
- 17 de junio: Asociación de Veteranos Artilleros Españoles.
- 27 de junio: Guías Voluntarios del Cuartel de Batallones de Infantería de Marina.
- 09 de Julio; Colegio de Huérfanos de la Armada (CHA) "Nuestra Señora del Carmen".
- 28 de agosto: Curso de acceso a la Escala de Suboficiales (CAES 87).
- 08 de septiembre: Tercio de Veteranos de la Infantería de Marina.
- 12 de septiembre: Escuela de Guerra Naval (EGUENA) y Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía (ETSIME).
- 27 de septiembre: 17^a reunión del grupo de trabajo PRS Defensa-DGAM.
- 10 de octubre: Veteranos de las Fuerzas Armadas y Guardia Civil.

Otras actividades

- 11 de octubre: NEPMU-7 (U.S. Navy Environmental Preventive Medicine Unit 7) Base Naval de Rota.
- 17 de octubre: Comandancia Naval de Sevilla.
- 27 de octubre: CDSCA Oficiales de San Fernando.
- 18 de noviembre: Agrupación de Grandes Industrias del Campo de Gibraltar.
- 24 de noviembre: Seminario de Navegación Astronómica "Bahía de Cádiz".
- 12 de diciembre: Comandante del BPE Juan Carlos I.

B.2.3. Otras entidades

- Universidad de Cádiz (UCA), Máster en Oceanografía.
- Colegio de Educación Especial S.A.R. Infanta Cristina, UPACE San Fdo.
- Aula de la Experiencia. Universidad de Sevilla (US).
- Escuela de Adultos del Centro de Educación Permanente (CEPER) Aljibe, Jerez de la Frontera.
- Aula de Mayores, de la Universidad de Cádiz, Campus de Jerez de la Frontera.
- Aula Abierta de Mayores de Castilleja de la Cuesta.
- Centro de Mayores UCA.
- Centro de Adultos CEPER (Centro de Educación Permanente) "Trece Rosas".
- Universidad de Cádiz, Máster de patrimonio, arqueología e historia marítima.
- Asociación Astronómica de Piconcillo.
- Universidad de Sevilla. EUROAVIA. Estudiantes de Ingeniería Aeroespacial.
- Asociación Patrimonio de Cádiz.
- Asociación de Bailes Latinos Pamisalsa. Puerto de Santa María.
- Grupo Erasmus. I.E.S. Las Salinas de San Fernando.
- Universidad de Granada, Máster de Geofísica.
- Universidad de Sevilla. Dpto. de Geografía Física y AGR.
- Universidad de Jaén. Máster de Geofísica.
- Universidad de Cádiz, alumnos y profesores del grado de matemática.
- CEPER (Centro de Educación Permanente) M^a Zambrano, San Fernando.
- Aula de Estrellas. Sevilla.
- Asociación de Adultos. Taller seminario de Patrimonio Hco. Artístico Andaluz.
- CEPER "Dionisio Montero". Chiclana.
- AFANAS en el Puerto de Santa María.
- Centro de Día Santa Clara Quality. Atención a personas mayores en Cádiz.
- Colegio Médico de Cádiz.
- Centro de Adultos de Trebujena.
- Asociación Astronómica de Mares.
- CAUCE NATURA. Colectivo de menores del programa de Talleres del Ayuntamiento San Fernando.
- Asociación Parkinson Cádiz.
- Asociación 24 de Septiembre de San Fernando.

En el año 2023 han visitado el Real Instituto y Observatorio de la Armada un total de 8.608 personas, distribuidas de la siguiente manera:

- 4.288 alumnos de Enseñanza Secundaria Obligatoria y de Bachiller, de 52 centros educativos nacionales y extranjeros.
- 1.302 personas durante las visitas de verano, de las cuales 606 acudieron a través de la Oficina de Turismo del Excmo. Ayto. de San Fernando.
- 230 personas en las jornadas de visita a Torre Alta.

Este Centro se ha sumado este año a diversas iniciativas tales como “La Noche de los Museos” para celebrar el Día Internacional de los Museos (20 de mayo), con la presencia de 193 personas, o “La Noche Blanca (11 de agosto), con la asistencia de otras 91 personas. La celebración de la actividad del “Número Pi” (14 de marzo) además de la ya tradicional participación con diversas actividades durante la semana de la Ciencia (4 al 17 de noviembre). “Jorge Juan. Ciencia para la Real Armada de su Majestad” es el título de la exposición temporal que, ha albergado el Real Instituto y Observatorio de la Armada, en San Fernando, y que conmemora el 250 aniversario del fallecimiento del ilustre marino y científico que lo fundó (13 de septiembre al 31 de enero) con la asistencia de 400 personas.

B.3. Conferencias

- Título: Generación de las escalas de tiempo UTC(ROA), UTC y GPST.
Visita al ROA de la Escuela de Hidrografía.
Salón de actos de la Escuela de Estudios Superiores.
Fecha: 12 de marzo de 2023.
Conferenciante: TN Manuel Sánchez.
- Título: La estación láser: seguimiento de satélites y basura espacial.
Visita al ROA de la Escuela de Hidrografía.
Salón de actos de la Escuela de Estudios Superiores.
Fecha: 13 de marzo de 2023.
Conferenciante: TN Manuel Sánchez.
- Título: Vigilancia y seguimiento de basura espacial.
III FORO SOCIOECONOMICO BAHÍA DE CÁDIZ.
Salón de Actos de la Facultad de Ciencias de la UCA Campus de Puerto Real.
Fecha: 3 de mayo de 2023.
Conferenciante: CN Antonio A. Pazos García.
- Título: La Marina de la Ilustración (Mesa Redonda).
IV Jornada Histórica de la Armada.
Museo Naval de San Fernando.
Fecha: 3 de mayo de 2023.
Ponente: CN Antonio A. Pazos García.
- Título: Tecnologías emergentes y disruptivas para la vigilancia espacial (Mesa Redonda).
Jornada Presente y futuro de las tecnologías espaciales emergentes y disruptivas (Fundación Círculo).
Escuela Téc. Superior de Ingeniería Aeronáutica y del Espacio (UPM, Madrid).
Fecha: 10 de julio de 2023.
Ponente: CN Antonio A. Pazos García.
- Título: La mar Ilustrada.
Ciclo Cultural 2023.
Club Náutico de Sevilla.
Fecha: 8 de noviembre de 2023.
Ponente: CN Antonio A. Pazos García.

- Título: Jorge Juan. Ciencia para la Real Armada de Su Majestad. Centro de Congresos y Exposiciones “Cortes de la Real Isla de León” (San Fernando).
Fecha: 23 de noviembre.
Conferenciante: D. Manuel Rivas Fernández.

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 de Radiaciones Ionizantes (LMRI) del CIEMAT.
- Observatorio Fabra.
- Real Academia de las Ciencias y las Artes de Barcelona (RACAB).
- Servicio 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 La Rioja.
- Universidad Politécnica de Cataluña (UPC).
- Universidad de Zaragoza (UNIZAR).
- Universidad Internacional Menéndez Pelayo (UIMP).
- 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).
- Centro Nacional de Estudios Espaciales (CNES, París, Francia).
- European Association of National Metrology Institutes.
- European-Mediterranean Seismological Centre (EMSC).
- European GNSS Agency (GSA).
- Federation of Digital Seismograph Networks (FDSN).
- GeoForschungsZentrum (GFZ, Potsdam, Alemania).
- German Aerospace Center (DLR).
- Institute of Radio Engineering and Electronics (IREE, República 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).
- Instituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRIM, Italia).
- Instituto Português del Mar y de la Atmósfera (IPMA, Lisboa, Portugal).
- Instituto Português da Qualidade (IPQ, Portugal).
- International Laser Ranging Service (ILRS).
- International Scientific Optical Network (ISON).
- Justervesenet (JV, Noruega).
- Laboratorio Nacional de Metrología y de Ensayos (LNE-SYRTE, Observatorio de Paris, Francia).
- Minor Planet Center (MPC).
- National Aeronautics and Space Agency (NASA, Estados Unidos de América).
- 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).
- Saudi Arabian Standards Organization (SASO, Arabia Saudí).
- Service Métrologie Scientifique (SMD, Bélgica).
- Universidad de Évora (UÉ, Évora, Portugal).
- Universidad de Potsdam (Alemania).

B.5. Reportajes de Medios de Comunicación

- El 24 de enero, Canal Sur TV, Canal Sur Radio y el Ideal de Granada, realizan entrevistas al CF Manuel Catalán.
- El 26 de enero, Onda Cero realiza entrevista al CF Manuel Catalán.
- El 9 de febrero, IB3 televisión realiza entrevista al Director del ROA.
- El 15 de febrero, Islatel TV realiza entrevista al Director del ROA.

Otras actividades

- El 17 de febrero, el diario Valencia Plaza y Plaza Radio realiza una entrevista al CF Manuel Catalán para el programa "Se van a enterar".
- El 20 de febrero, Canal Sur realiza entrevista al CC Héctor Álvarez para el programa "A vivir que son dos días".
- El 15 de marzo, el programa Gabinete de Crisis de La Sexta realiza una entrevista al CN Antonio Pazos sobre las implicaciones de la ocurrencia de un tsunami en la Base Naval de Rota.
- El 17 de abril se realiza una entrevista al CN Antonio Pazos en Canal Sur para el programa La Memoria.
- 26 de abril el CN Antonio A. Pazos García y el TN Roberto Cabices Díaz realizan una entrevista para el documental ¿Preparados para el Tsunami? de TVE.
- El 20 de junio se realiza una grabación de la Sección de Hora, y una entrevista al CF Héctor Esteban y al CC Héctor Álvarez sobre la hora oficial de España y el desarrollo de nuevos relojes ópticos, para el programa Órbita Laika de RTVE.
- El 20 de julio se realiza una grabación del programa Enclaves de Amazon Prime.
- El 9 de agosto se realiza una entrevista al TN Víctor de Ory en Onda Cádiz acerca de la lluvia de meteoritos de las Perseidas.
- El 17 de agosto se realiza una entrevista al CN Antonio Pazos en la Cadena Ser.
- El 15 de noviembre, una alumna de doble grado de periodismo realiza entrevista al CN Antonio Pazos sobre el ROA.

Otras actividades



SUBSECRETARÍA DE DEFENSA
SECRETARÍA GENERAL TÉCNICA
SUBDIRECCIÓN GENERAL
DE PUBLICACIONES
Y PATRIMONIO CULTURAL

