

REAL INSTITUTO Y OBSERVATORIO DE LA ARMADA EN SAN FERNANDO

Investigaciones científicas desarrolladas por el  
Real Instituto y Observatorio de la Armada  
Año 2020



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 2020**



**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, 2021

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: octubre de 2021

Maqueta e imprime: Imprenta Ministerio de Defensa

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

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

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

Foto portada:

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

ÍNDICE

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

3.5. Proyectos de Investigación .....	28
3.6. Campañas .....	29
3.7. Publicaciones y Comunicaciones .....	29
3.7.1. Publicaciones.....	29
3.7.2. Comunicaciones en congresos.....	32
3.8. Estancias de trabajo .....	32
3.9. Conferencias y Cursos.....	32
3.10. Personal.....	32
3.11. Comisiones y Reuniones .....	32
3.12. Otros .....	33
<b>4. Sección de Hora .....</b>	<b>35</b>
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.....	42
4.2. Servicio de Electrónica y Calibración.....	50
4.3. Servicio de Cronometría Naval .....	53
4.4. Proyectos de Investigación .....	54
4.4.1. Proyectos Nacionales e Internacionales .....	54
4.5. Reuniones.....	55
4.6. Publicaciones y congresos .....	55
4.7. Estancias de trabajo .....	56
4.8. Personal.....	56
4.9. Otros hechos de interés.....	57
<b>5. Servicio de Biblioteca y Archivo .....</b>	<b>61</b>
5.1. Fondos.....	61
5.1.1. Fondos bibliográficos (monografías y publicaciones periódicas) .	61
5.1.2. Archivo Histórico .....	63
5.1.3. Colección Museográfica.....	65
5.1.4. Patrimonio cultural del ROA en la Biblioteca Virtual de Defensa .	67
5.2. Consultas y préstamos .....	67
5.2.1. Instalaciones y servicios .....	67

5.2.2. Usuarios externos .....	68
5.2.3. Colaboración con la Red de Bibliotecas de Defensa .....	69
5.3. Otras actividades .....	70
5.3.1. Actividades docentes y de investigación.....	70
5.3.2. Exposiciones.....	71
5.3.3. Restauración de encuadernaciones.....	73
5.3.4. Comunicaciones y conferencias .....	74
5.4. Personal.....	75
5.4.1. Personal.....	75
5.4.2. Comisiones de servicio .....	75
<b>6. Escuela de Estudios Superiores de la Armada .....</b>	<b>77</b>
6.1 Cursos EEES y MAG impartidos .....	77
6.2 Otras actividades .....	79
<b>A. Actividad Científica .....</b>	<b>81</b>
A.1. Publicaciones .....	81
A.1.1. Publicaciones editadas por el Observatorio .....	81
A.1.2. Artículos en revistas .....	81
A.2. Comunicaciones en congresos .....	82
A.2.1. Nacionales.....	82
A.2.2. Internacionales .....	83
A.3. Participación en comités, congresos y reuniones.....	83
A.3.1. Nacionales.....	83
A.3.2. Internacionales .....	83
A.4. Campañas, Calibraciones y Mantenimientos .....	83
A.5. Cursos y Estancias de Trabajo.....	84
A.6. Proyectos de Investigación.....	84
A.6.1. Proyectos, Acciones Especiales y Complementarias .....	84
A.6.2. Beca Fundación Alvargonzález .....	86
<b>B. Otras actividades .....</b>	<b>87</b>
B.1. Hechos notables.....	87
B.2. Visitas.....	89
B.3. Conferencias .....	90

B.4. Instituciones y Organismos colaboradores..... 91

## Prólogo

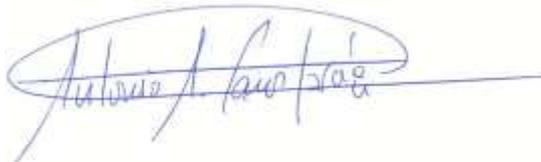
La actividad del Real Instituto y Observatorio de la Armada y de la Escuela de Estudios Superiores durante el año 2020 ha sido intensa a pesar de haber estado condicionada, debido al estado de alarma por COVID-19, por la realización de trabajo telemático de la mayoría del personal de las Secciones Científicas.

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

Como ya se mencionó, las actividades científico-técnicas desarrolladas durante 2020 han estado marcadas por la evolución de la pandemia desde la declaración del Estado de Alarma para la gestión de la situación de crisis sanitaria ocasionada por el COVID-19, el 14 de marzo. A pesar de ello, estas páginas dan cuenta de la gran actividad realizada, describiendo con suficiente detalle aquellas más notables, de las que caben destacar: las acciones realizadas por el personal del Centro de Cálculo sobre la Red Científica como consecuencia de la auditoría realizada por el equipo de Ciberdefensa de la Armada y que suponen un cambio radical en la configuración y filosofía de la red; la instalación de una antena sísmica (array) en el recinto del Observatorio para el proyecto LASNO que permanecerá desplegada hasta el primer semestre de 2021; la adecuación de la sala para el patrón óptico y el montaje e instalación de las mesas ópticas en el marco del proyecto CIROES (Construcción e Implementación de un Reloj de red Óptica de Estroncio (Sr)); la revisión por pares "*Peer Review*" del Laboratorio de Hora del ROA, superando positivamente la auditoría internacional implementada por la Asociación Europea de Institutos Nacionales de Metrología (EURAMET) que permite examinar el Sistema de Gestión de la Calidad (SGC) y la competencia técnica de un laboratorio; y por último, hay que destacar también, la gran aceptación y demanda del Seminario de Navegación Astronómica realizado por VTC, que ha cruzado el "charco", y ha tenido participantes en Sudamérica.

Finalmente, hay que mencionar, que debido a la pandemia todas las campañas geofísicas marinas han tenido que ser suspendidas y pospuestas.

El Capitán de Navío, Comandante-Director



- Antonio A. Pazos García -



## 1. Sección de Efemérides

Durante el año 2020, 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.

En septiembre de 2020 se incorpora a la Sección el TN de Ory Guimerá, tras finalizar con éxito su formación en la Escuela de Estudios Superiores del ROA y realizar el Máster en Ciencia y Tecnología Espacial en la Universidad Pública Vasca.

En lo que respecta al Centro de Cálculo, actualmente cuenta con dos Ingenieros Técnicos de Arsenales.

### 1.1. Servicio de Efemérides

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

En 2020 la difusión de las efemérides astronómicas se ha realizado a través de las siguientes publicaciones periódicas:

- **Almanaque Náutico 2021**  
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 2021**  
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.
- **Fenómenos Astronómicos 2021-2022**  
Publicación de carácter bienal que recoge los fenómenos más relevantes del Sol, la Luna y los planetas, calendario, festividades, duración de los días, etc. Es de especial interés para ciertos sectores de la sociedad española como, por ejemplo, las asociaciones de astrónomos aficionados y las editoriales de agendas.

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

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

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

## 1.2. Centro de Cálculo

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

Durante el 2020, como consecuencia de la auditoría a la Red Científica realizada por el equipo de Ciberdefensa de la Armada en el año 2019, se llevaron a cabo numerosas acciones tanto en la red científica como en los diferentes elementos informáticos que se conectan a la misma. Se indica a continuación un resumen de las actividades realizadas durante el año:

- Aplicación de un parche de seguridad de firewall Juniper en el troncal de la red científica con el soporte del personal de la Sección de Hora.
- Despliegue del servicio OpenVPN en el firewall.roa para la implementación del teletrabajo a través de Red Privada Virtual ROA.
- Creación de una DMZ para los servidores y máquinas virtuales que proveen servicios al exterior mediante la Red Científica.
- Migración y virtualización de servidor de correo roasf2.roa.es.
- Diseño, adquisición y despliegue de servidores NAS para proveer de backups en espejo entre el Centro de Cálculo y la Sección de Hora mediante una conexión dedicada de fibra óptica.
- Creación de una red dedicada de copia de seguridad entre servidores hipervisores a 1Gbps mediante switch TP-Link.
- Diseño y planificación de la nueva red para la reestructuración de la red científica ROA.
- Creación de distintas máquinas virtuales en servidores hipervisores para el control y métrica del tráfico de red (NFSEN, NTOPNG, MRTG).
- Implementación de un sistema de control de temperatura automatizado tanto dentro de los racks como en la sala de servidores del Centro de Cálculo mediante sistema Raspberry Pi y sensores SHT75, junto con su integración en un sistema

Zabbix para emisión de alertas por superación de umbrales de temperatura y humedad.

- Instalación e integración en Zabbix de un modem GSM para emisión de SMS de alerta en caso de corte de fluido eléctrico y caída de la red de comunicaciones.
- Integración de sensores de humedad y temperatura de la UPS de la sala de servidores en el sistema de alertas Zabbix.
- Integración de niveles de carga y alerta por corte de la UPS de la sala de servidores en el sistema de alertas Zabbix.
- Depuración de reglas del firewall.roa (pfsense) para su posterior migración en el proceso de reestructuración de la red.

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

### **1.3. Otras actividades**

#### **1.3.1 Seminario “Navegación Astronómica” en la X Semana Naval de la Armada en Madrid**

Del 21 de septiembre al 1 de octubre, dentro de las actividades de la X 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.

Aunque hasta ahora el Seminario se había realizado en todas sus ediciones de manera presencial, en esta ocasión, la situación de emergencia sanitaria provocada por el virus SARS-CoV-2 tuvo como consecuencia que esta última edición se desarrollará mediante videoconferencia. A pesar de los potenciales inconvenientes de un seminario telemático, este resultó ser un auténtico éxito, recibándose muchísimas más solicitudes de admisión que en años previos. Además, dada la naturaleza online del evento, se pudieron admitir a muchos más participantes que en ediciones anteriores.

El seminario fue inaugurado por el Comandante-Director del Real Instituto y Observatorio de la Armada, CN. Francisco Javier Galindo Mendoza, 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, y presentando posteriormente a los ponentes.

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

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

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



Figura 1.1: Participantes en el seminario "Navegación Astronómica".

### 1.3.2. Café con Ciencia

Enmarcada en la Semana de la Ciencia 2020, Café con Ciencia es una iniciativa organizada por la Fundación Descubre, en colaboración con las principales entidades de investigación y divulgación de Andalucía, entre las que se encuentra el Real Instituto y Observatorio de la Armada. El 9 y 12 de noviembre se desarrolló esta actividad, aunque este año su formato fue telemático debido a la situación de emergencia sanitaria. En esta edición, el TN. Sergio Borralló Tirado y el TN. Víctor de Ory Guimerá charlaron con alumnos del IES San Juan de Dios de Medina Sidonia, departiendo de forma distendida sobre su trabajo en el Observatorio con el tema "Mirando el cielo" como punto de partida del encuentro.



Figura 1.2: Alumnos de la Escuela San José, que participaron en el "Café con Ciencia".

## 2. Sección de Astronomía

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

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

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

En las instalaciones del ROA se conservan otros cuatro instrumentos (Astrolabio Danjon, Astrógrafo Gautier, Anteojo Ecuatorial Cooke y Siderostato Gautier) que ya no tienen utilidad científica. El Anteojo Ecuatorial Cooke se sigue manteniendo operativo para fines divulgativos o didácticos. Desde la Sección de Astronomía también se está trabajando en recuperar el Astrógrafo Gautier y el Siderostato Gautier con una finalidad divulgativa y didáctica, a la vez que se pretende mejorar las capacidades actuales de estos tres instrumentos para la divulgación y futuros proyectos educativos.

Durante este año se ha visto alterado el trabajo divulgativo de la Sección debido a las restricciones impuestas relacionadas con la COVID-19.

### 2.1. Telescopio Fabra-ROA en el Montsec



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

#### 2.1.1. Antecedentes

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

el año 2002, cuando se empezó a desarrollar un proyecto conjunto en colaboración con el Observatorio Fabra perteneciente a la RACAB. El proyecto consistió en la transformación de la CBN en un moderno telescopio ecuatorial de gran campo, dotado de una cámara CCD y de uso completamente remoto y robótico. Una vez finalizadas todas las modificaciones en el ROA, durante el año 2010 se trasladó desde San Fernando a su nuevo emplazamiento en el Observatorio Astronómico del Montsec (OAdM), sito en el pre-pirineo leridano. En septiembre del mismo año se inauguró oficialmente con el nombre de Telescopio Fabra-ROA en el Montsec (TFRM).



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, detección de objetos en órbita geoestacionaria (GEO), observación de campos para la detección de exoplanetas transitando estrellas tipo M y observación de la variabilidad de contrapartidas ópticas de fuentes de rayos gamma.

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

Los siguientes gráficos muestran el reparto de horas de observación para cada contrato:

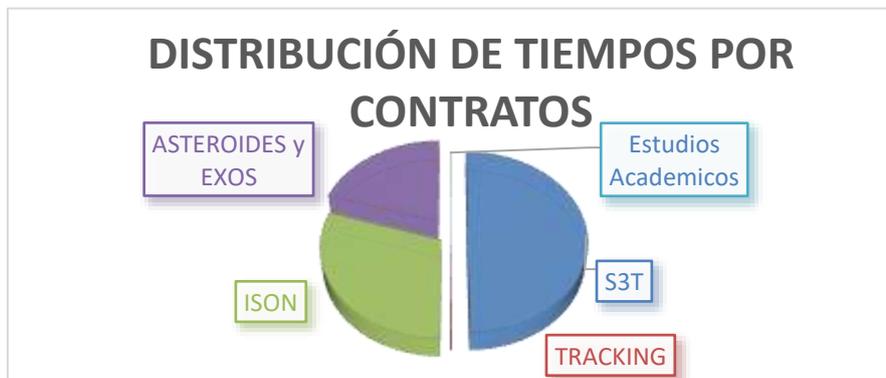


Figura 2.3: Gráficos que representan la distribución horas dedicadas a cada contrato

Durante el 2020 hubo una avería en el “switch” interno del TFRM causado por un apagón durante una tormenta. La avería fue solventada durante un mantenimiento el 1 de mayo por la parte del equipo correspondiente a la RACAB.

Durante este año también han tenido lugar otros mantenimientos, sobre todo del sistema de enfoque. Los manteamientos han sido llevados a cabo por la parte del equipo correspondiente a la RACAB, ya que la situación producida por la COVID-19 no permitía el desplazamiento ni la estancia del personal del ROA en el TFRM.

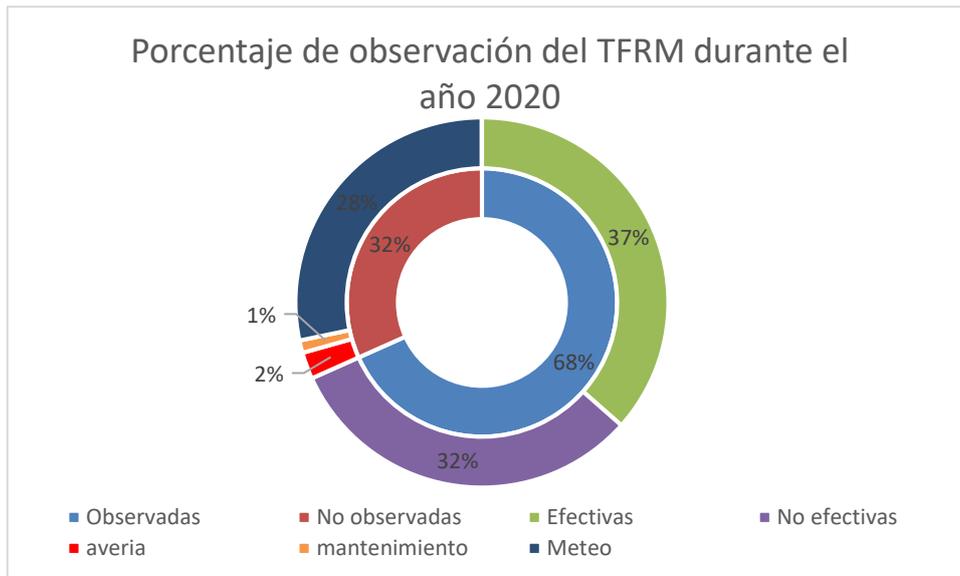


Figura 2.4: Porcentajes de observación del TFRM durante el año 2020.

Durante los días del 5 al 8 de agosto se llevaron a cabo una serie de observaciones encaminadas a capturar el cometa Neowise C/2020F3 que han aportado interesantes imágenes y datos científicos para mejorar la determinación de su órbita.

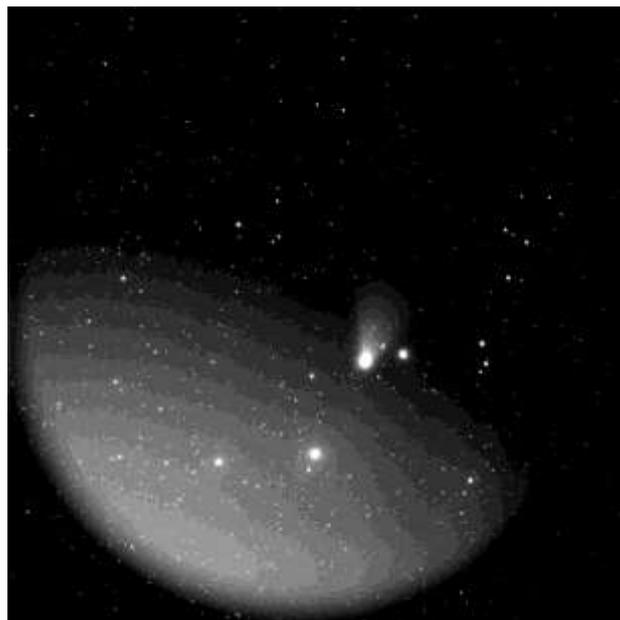


Figura 2.5: Imagen del cometa Neowise.

### 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. Aunque los métodos desarrollados son de aplicación solo a telescopios de pequeño campo, el proyecto PASAGE abrió una nueva vía de trabajo y fue el inicio de los primeros contactos con instituciones internacionales para el desarrollo de programas observacionales aplicados a la detección y seguimiento de objetos geoestacionarios no controlados (“basura espacial”) con el TFRM.

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

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

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

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

Tras una evaluación de los resultados obtenidos por el TFRM conjuntamente con el centro de control del S3T (S3TOC) y la comparativa con el resto de sensores se decide realizar un cambio en la estrategia observacional a partir del mes de marzo. El cambio de dicha estrategia se basó en disminuir los tiempos de exposición a 5 segundos y un cambio en el patrón de movimiento del telescopio en los diferentes campos a observar lo que conllevó un aumento del número de “tracks” detectados, y aunque estos eran de una menor duración, se llegó a la conclusión que era suficiente para la catalogación y correlación de los objetos detectados.

Durante el mes de octubre tiene lugar un periodo de calibración en el que participan todos los sensores de la red SST-UE.

Continúa en vigor el contrato 237/G/GRO/COPE16/8935, en su segunda prórroga, financiado con los programas Copernicus y Galileo de la Unión Europea

Durante 2020 se han procesado un total de 712.265 imágenes. De las 4.410,54 horas dedicadas a los programas de SST (ISON y SST-UE), 2.361,31 horas han sido efectivas de observación. En total se han detectado 1.283.590 posiciones de objetos GEOs, pertenecientes a 246.896 objetos, con una media de 104,57 objetos/hora efectiva.

## 2.2. Reuniones y estancias de trabajo

Debido a la actual situación de pandemia no se han realizado reuniones presenciales ni estancias de trabajo.

## 2.3. Novedades de personal

Nada que reseñar.

## 2.4. Publicaciones y Comunicaciones

- El 24 de noviembre el ITA José Luis Gutierrez Sacristán presentó de forma telemática una comunicación en el congreso DESEI-D 2020, titulada: “Problemática en la integración de los sistemas de navegación inercial de los buques con sistemas de navegación astronómica para redundancia efectiva frente a privación de servicio GNSS”.

## 2.5. Otras actividades

- En marzo de 2020, coincidiendo con el confinamiento debido a la pandemia se sube a la página de la fundación Descubre, “Ciencia en Casa. Ciencia para disfrutar en Familia” un teatro relacionado con el Cielo.
- Coincidiendo con la lluvia de estrellas de las perseidas, el TN. Pedro Azorín Montesinos realiza dos entrevistas para el programa de Cádiz Contigo en Onda Cádiz el 10 de agosto y Cadena Ser Algeciras Radio el día 11 del mismo mes.
- El 7 de noviembre el TN. Lluís Canals Ros participa en las conferencias que tuvieron lugar en el Parque Metropolitano de los Toruños y Pinar de Algaida con motivo de la VIII Semana de la Ciencia: Lo que el Universo inspira. La conferencia tenía por título: “Proyectos académicos de investigación en el Real Instituto y Observatorio de la Armada”.
- Durante la semana del 9 al 13 de noviembre el TN. Pedro Azorín Montesinos participa en las videoconferencias enmarcadas dentro de la iniciativa Café con Ciencia.
- Durante el presente año el ITA José Luis Gutierrez Sacristán ha diseñado y fabricado con el personal del taller mecánico del ROA los elementos necesarios para la montura Celestron CGEM. Estos elementos buscaban permitir el paso del meridiano con seguridad y acoplar el “encoder” (de la casa Heidenheim) en el eje de Ascensión Recta.
- El ITA José Luis Gutierrez Sacristán ha dirigido una colaboración telemática, entre los meses de mayo a octubre, con el estudiante Sergio Retuerto Gutiérrez,

de último curso de grado en Física de la Universidad de Valladolid. El estudio consistió en programar un simulador de propagación óptica a través de la atmósfera para estudiar el efecto de la refracción atmosférica en la astrometría de satélites artificiales, en relación con el “error de altura”.

- El ITA José Luis Gutierrez Sacristán ha dirigido las prácticas en la Sección de Astronomía del estudiante Jaime Rodríguez Collantes, del grado de Matemáticas de la Universidad de Cádiz. Las prácticas han consistido en la implementación en Python de los algoritmos diseñados para el Proyecto Lynx. Las prácticas se desarrollaron entre los meses de octubre de 2020 y se prolongarán hasta enero de 2021.
- A finales del año 2020 se recibe material de astronomía (telescopios, monturas, cámaras CCD, filtros, etc.) con el objetivo de poder realizar estudios científicos astronómicos y como banco de pruebas de los programas informáticos que se están desarrollando en la Sección.



Figura 2.6: Parte del material d Astronomía recibido. A la izquierda Telescopio Celestron y a la derecha telescopio “SkyWatcher” con cámara astronómica CCD QHY.

### 3. Sección de Geofísica

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

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

La actividad desarrollada durante el año 2020 en la Sección de Geofísica puede estructurarse en los siguientes apartados:

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

#### 3.1. Sismología

El registro sísmico cuenta con una amplia tradición en este Observatorio. Diversos sensores y sistemas de registro se han sucedido desde que, en enero de 1898, a instancias de Mr. Milne, quedase funcionando la estación más antigua de España, con un período de 18 segundos. Péndulos horizontales bifiliares tipo Mainka, proyectados y construidos en los talleres del Observatorio (1912), complementado posteriormente con un péndulo vertical de 100 kg y 2 segundos de período (1921) de diseño propio, sismógrafos Alfani de 5 y 8 segundos (1933), y por fin, 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 para la adquisición de datos sísmicos. La red de banda ancha, denominada "Western Mediterranean" (fig. 3.1 (A)), y la red telemétrica de corto periodo (fig. 3.1 (B)).

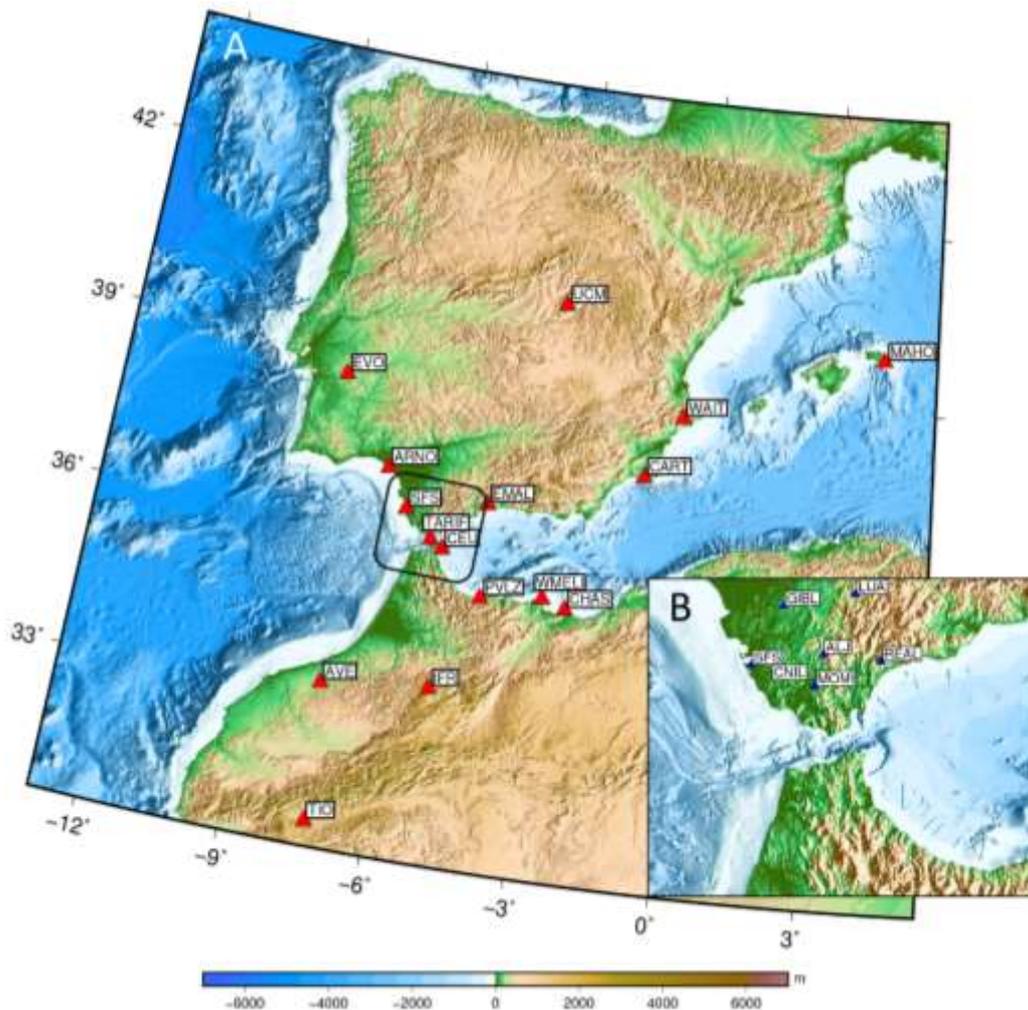


Figura 3.1:(A): Red WM (triángulos rojos). (B): Red Sísmica de Corto Periodo (triángulos azules).

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

La Tabla 3.1 resume las características de las estaciones que compone la Red de Corto Periodo.

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

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

La red sísmica de banda ancha WM (fig. 3.1 (A)) es el resultado de una colaboración entre el ROA y Universidad Complutense de Madrid (UCM), comenzando a desplegarse en 1996. Posteriormente se unieron a la red varios centros científicos y universidades extranjeros: la Universidad de Évora, el GeoforschungsZentrum (GFZ), y el Institut Scientifique de la Universidad Mohammed V-Agdal (ISRABAT).

La WM está compuesta por quince estaciones sísmicas de banda ancha. La tabla 3.2 resume el equipamiento de las estaciones sísmicas que conforman la WM, así como la estación de banda ancha "TARIF" en proceso de reinstalación y que se incorporará a la red.

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

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

### 3.1.2. Sismicidad

Durante el año 2020 se localizaron alrededor de 2000 sismos (fig. 3.2) en el área Ibero-Magrebí. Para su localización se utilizaron datos provenientes de las estaciones de la red Western Mediterranean, del Instituto Geográfico Nacional (IGN), de la red Portuguesa del Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) y de la Red del Estrecho.

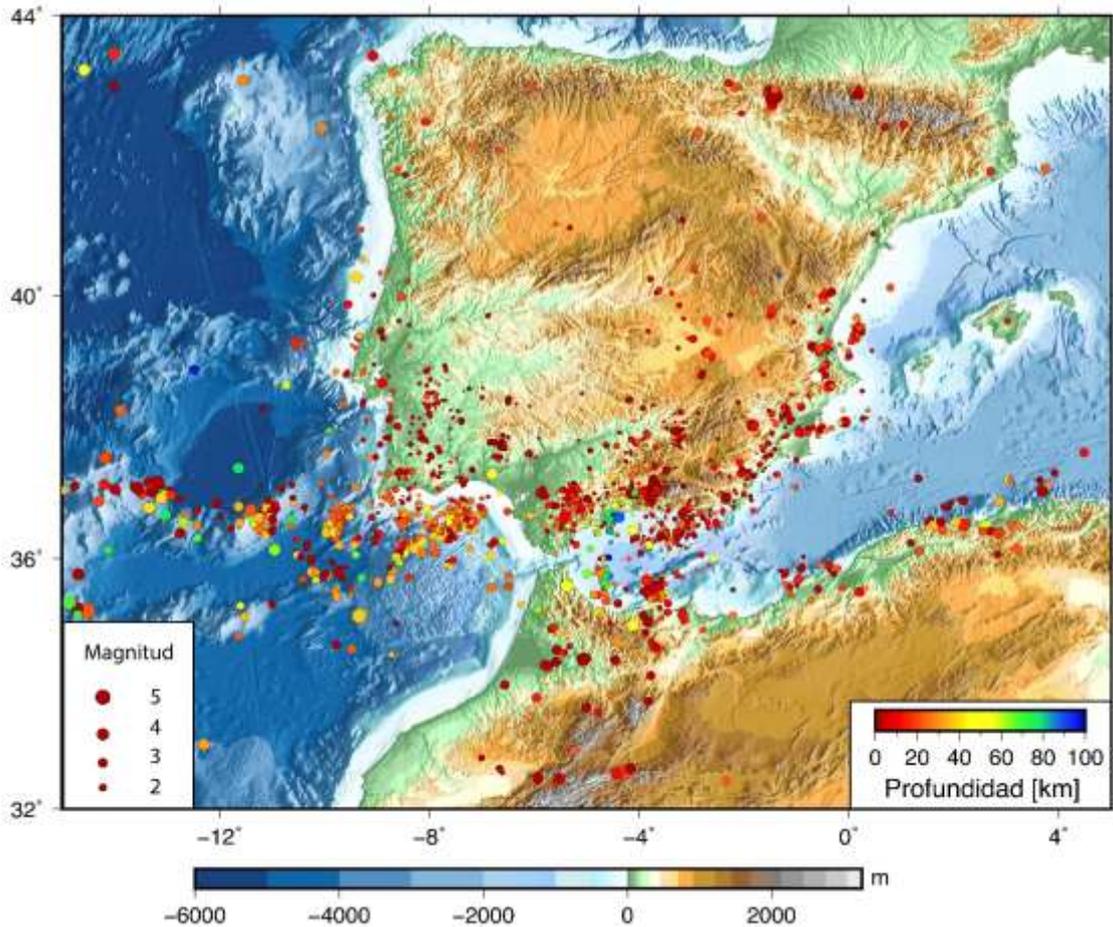


Figura 3.2: Mapa de sismicidad regional correspondientes a sismos localizados durante el año 2020. El código de colores indica la profundidad del hipocentro, mientras que el tamaño del círculo varía con la magnitud del terremoto.

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

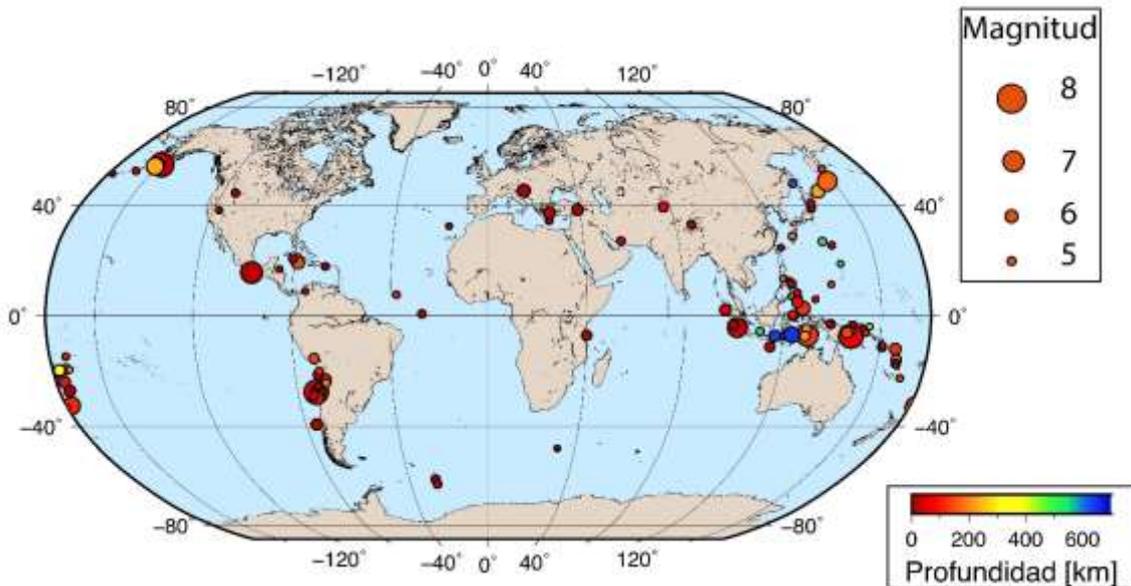


Figura 3.3: Mapa de localizaciones hipocentrales de sismos lejanos para todo el periodo del 2020.

### 3.1.3. Otras actividades del servicio de sismología

A continuación, se detallan las actuaciones llevadas a cabo a lo largo del año 2020 para mantener en operatividad las redes sísmicas (Red del Estrecho y Red WM).

El 21 de enero el personal técnico del servicio de sismología se desplazó a la estación de Conil de la Frontera (CNIL) al objeto de instalar una nueva puerta de acceso al local y realizar labores de mantenimiento.

El 28 de enero el personal técnico del servicio de sismología se desplazó a la estación de Málaga (EMAL). Tras realizar determinadas actuaciones se consigue restablecer la estación y las comunicaciones con el ROA.

El 16 de marzo en cumplimiento de las instrucciones recibidas a través de escrito de CESTIC de fecha 25 febrero de 2020 se procede a la desconexión de la estación de Ceuta de la red WAN PG.

El 24 de junio se dejan de recibir datos de la estación de Málaga. El 29 de junio se recibe la unidad seiscomp. El día 10 de julio se sustituye la fuente de alimentación y el seiscomp por otro nuevo. De esta forma la estación vuelve a quedar operativa.

El 4 de octubre se reciben 12 digitizadores DataCube 3C y 12 geófonos Mark L4C-3D del GFZ (Potsdam) que conforman el equipamiento correspondiente al proyecto LASNO. El 5 de octubre se procede a su comprobación y despliegue.

Entre el 25 y el 27 de noviembre se realizan mantenimientos y comprobaciones de los 5 OBS, chequeando la señal de tiempo y el funcionamiento de los mecanismos de liberación de los anclajes.

## 3.2. Geomagnetismo

### 3.2.1. Estación Geomagnética Cortijo Garrapilos

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

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

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

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

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

Durante el año 2011, y a través del Arsenal de la Carraca, la compañía Telefónica instaló un sistema de seguridad en las casetas. Dicho sistema consiste en una alarma externa, un conjunto de cuatro sensores volumétricos (uno por caseta más un sensor asociado

a la caseta del aire acondicionado), y tres sensores de vibración distribuidos entre el aire acondicionado externo a la caseta de electrónica, y los dos sensores de fuerza total. También en dicho año, y con motivo de la preparación del “XV Workshop de la Asociación Internacional de Geomagnetismo y Aeronomía (IAGA) sobre Observatorios magnéticos, instrumentación y tratamiento de datos”, celebrado el mes de junio de 2012, se procedió a la construcción de cinco pilares magnéticos en terrenos previamente acondicionados, situados a poniente del Observatorio.



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

Durante todo el año 2020 se realizan trabajos rutinarios y de mantenimiento relacionados con el Observatorio Geomagnético de Garrapilos, entre ellos:

- La realización semanal de dos observaciones absolutas.
- Procesado y control diario de los registros que dicho observatorio genera.
- Control de la estabilidad térmica de la caseta variométrica. Este aspecto es fundamental para asegurar la calidad de los registros variométricos.
- Se han mantenido las colaboraciones habituales con diferentes centros e instituciones internacionales, remitiendo los datos al World Data Center (WDC), British Geological Survey (BGS), red INTERMAGNET, etc.
- Se ha colaborado en la edición de los Anales de Observaciones Geofísicas del Observatorio correspondientes al año 2020, en su apartado de Geomagnetismo

### 3.2.2. Otras actuaciones del Servicio de Geomagnetismo

Durante el año 2020, además de las actuaciones en la estación geomagnética antes mencionadas, se realizaron otras funciones en este Servicio, entre ellas se destacan las siguientes:

- El día 21 de enero se determina la localización del norte magnético en el aeródromo de la B.N. de Rota.
- El día 13 de febrero comienza la remisión de los datos de variación de campo magnético al Instituto Geográfico Nacional en apoyo del estudio que desarrollan para la elaboración de un procedimiento alternativo de detección de Tsunamis en el Golfo de Cádiz.

### 3.3. Satélites artificiales

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

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

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

#### 3.3.1. Estación de Telemetría Láser sobre Satélites Artificiales

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

Durante el año 2020, se realizaron diversas actuaciones en este Servicio, entre ellas se destacan las siguientes:

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

El 29 de enero se instala un nuevo pararrayos en las inmediaciones del edificio principal del Observatorio. La posición que ocupa está dentro de la trayectoria del haz láser por lo que se introduce un sector de tiro restringido en el software de control.

El 11 de febrero comienza a prepararse la campaña de seguimientos que tendrá lugar dentro del estudio de técnicas avanzadas para la detección y seguimiento de objetos MEO y LEO (Expte. 19/2019 AB (DEGIPD/DE). Por ello se realizan pruebas de seguimiento sobre objetos no colaborativos. En la figura 3.5 se muestran los resultados de uno de esos seguimientos.

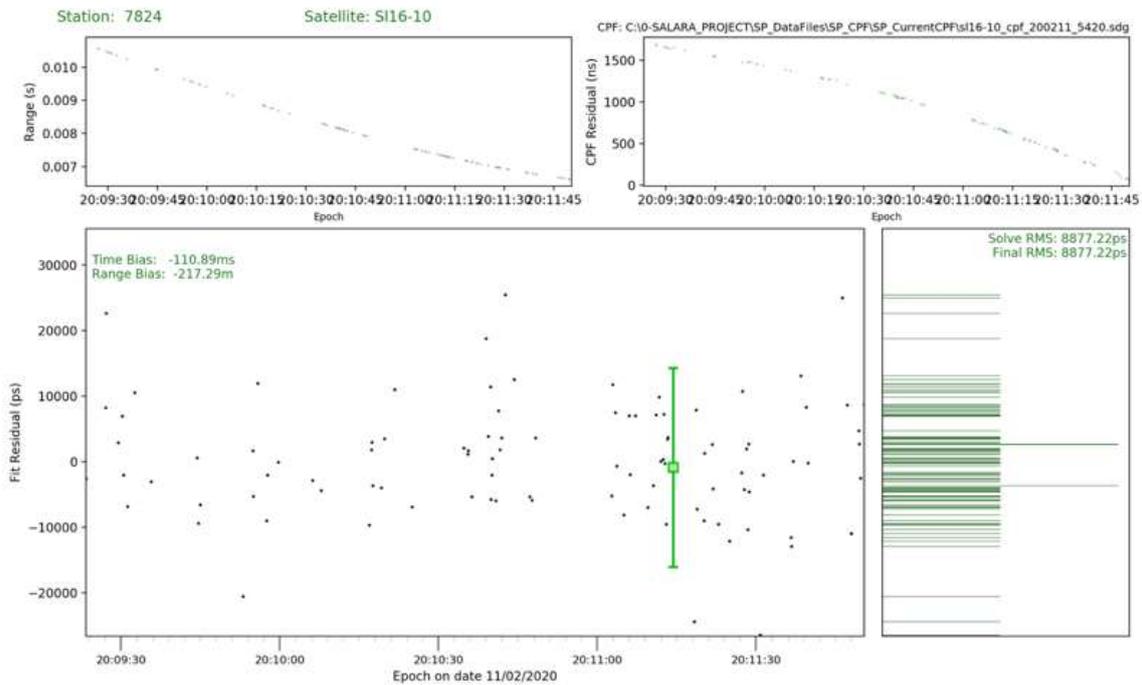


Figura 3.5: Gráficas de distancia, residuos y puntos normales del seguimiento realizado sobre el objeto S16-10 en la noche del 11 de febrero.

El 18 de febrero comienza a utilizarse un nuevo software de control integral de la estación. Entre otros subsistemas permite el control simultáneo de los bancos láser y del módulo FPGA que interactúa con el generador de puerta de distancia. En la figura 3.6 se muestra la disposición en pantalla de este nuevo software.

Tras la aprobación del Real Decreto de 14 de marzo que declara el estado de alarma en España se reducen los turnos de observación en la estación láser y se implementan medidas para prevenir el contagio.

El 30 de marzo surge una avería en el sistema de control de apuntamiento de la montura. Debido a la incidencia y a la situación excepcional causada por el COVID-19 se suspenden las observaciones no siendo posible subsanar definitivamente la avería hasta el 14 abril.

Desde el 27 de abril hasta el 15 de mayo se suceden sesiones nocturnas alternas dedicadas a seguimientos con el banco de nanosegundos, y a seguimientos con el de picosegundos.



Figura 3.6: Disposición en pantalla de la última versión de software de control integral de la estación.

Entre el 29 de junio y el 5 de julio se desarrolla una primera campaña de seguimientos sobre objetos colaborativos al amparo del proyecto 19/2019 AB (DEGIPD/DE) que tiene como objetivo principal analizar el uso colaborativo de sensores terrestres para seguimiento de objetos LEO y MEO. En dicha campaña participan las estaciones de Matera (Italia) y Graz (Austria) bajo la dirección de la empresa DEIMOS Space. En la figura 3.7 se recogen los resultados de esta campaña en cuanto a número de seguimientos y a número de ecos respectivamente, desglosado en objetos en órbita LEO y MEO.

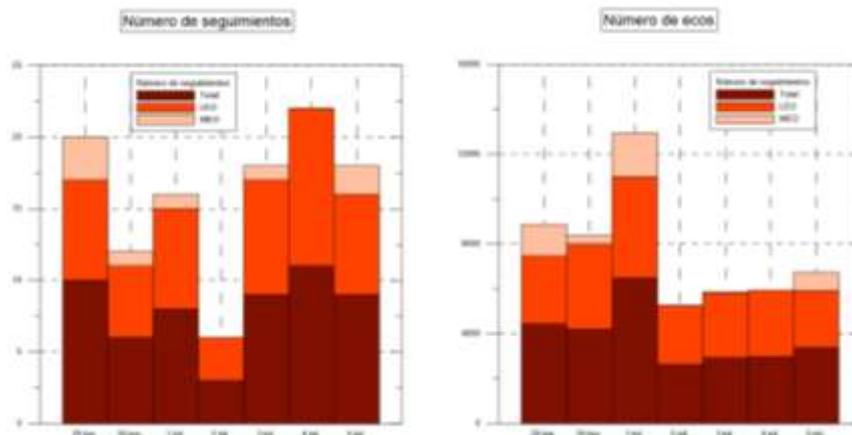


Figura 3.7: Resultados de la primera semana de la campaña de observación. Izquierda) número de seguimientos y derecha) número de ecos.

El principal objetivo de esta primera campaña consistió en lograr realizar seguimientos coincidentes desde diferentes sensores con la finalidad de analizar el impacto posterior en la determinación de la órbita (ejemplo en la figura 3.8).

(  
Entre el 27 de julio y el 3 de agosto se realiza una segunda campaña de observación, esta vez sobre objetos no colaborativos (fig. 3.8). En esta segunda campaña participa también la estación láser de Graz (Austria) y el telescopio óptico Antsy (España - Deimos). A lo largo de la misma se observan un total de siete objetos no-colaborativos.

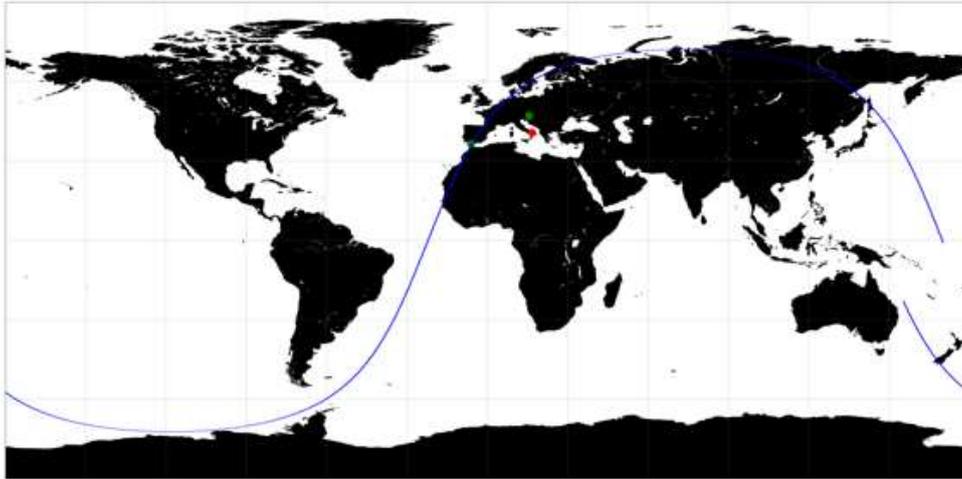


Figura 3.8: Trazado de la órbita del satélite GFO-1 durante la pasada coincidente con la estación de Graz (localización de Graz y San Fernando marcadas con un círculo de color verde) el día 4 de Julio. Estación de Matera en círculo color rojo.

A lo largo del mes de agosto se reproduce una avería en el láser 2251 lo que afecta al rendimiento de observaciones. Tras contactar con la casa fabricante, nos indican que probablemente esté relacionado con la unidad de potencia por lo que es desmontada y remitida a EKSPLA el 27 de agosto. El equipo es devuelto el 17 de septiembre tras su revisión por parte del fabricante.

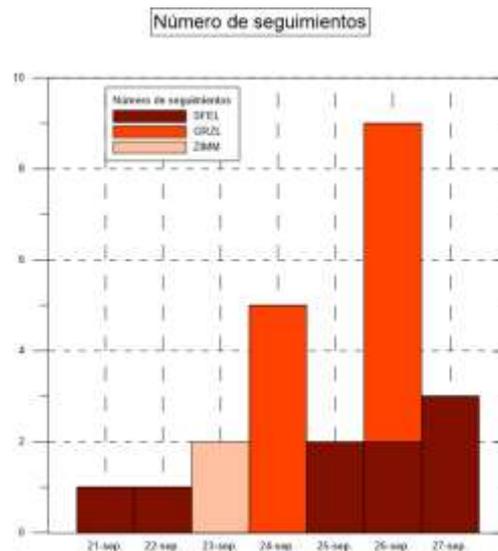


Figura 3.9: Seguimientos realizados durante la tercera campaña de observación por las estaciones de San Fernando, Graz y Zimmerwald.

Entre el 21 y el 27 de septiembre se realiza una tercera campaña de observación, nuevamente sobre objetos no colaborativos (fig. 3.9). En esta campaña participan los observatorios de Graz (Austria) y Zimmerwald (Suiza).

La semana del 28 de septiembre al 2 de octubre se trabaja en la resolución de un problema relacionado con la señal de sincronismo externo en el banco láser de picosegundos. El día 2 queda resuelto, detectándose en esa misma fecha un fallo en el cronógrafo. Durante el mes de octubre y noviembre se trabaja en la recuperación de dicho equipo, así como en la puesta a punto de un sistema alternativo de datación del pulso láser de salida basado en el módulo contador de eventos. Finalmente, el 17 de noviembre quedan subsanadas todas las incidencias reanudando los seguimientos nocturnos el 24 de noviembre tras concluir un periodo de pruebas.

En la figura 3.10 se refleja el rendimiento de la estación a lo largo del año. Es pertinente destacar que la avería en el sistema de datación de tiempo afectó negativamente al rendimiento de la estación durante los últimos meses del año.

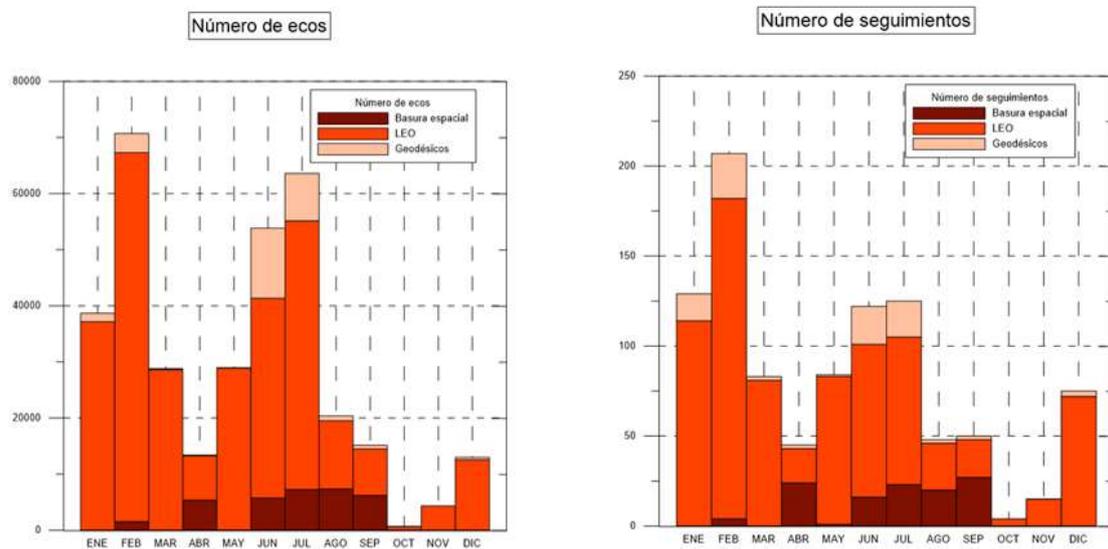


Figura 3.10: Número de ecos y número de seguimientos obtenidos a lo largo de 2020 desglosados en las categorías: basura espacial, LEO (satélites de órbita baja) y geodésicos.

### 3.3.2. Sistema Global de Navegación por Satélite: GNSS

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

#### Red ROA

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

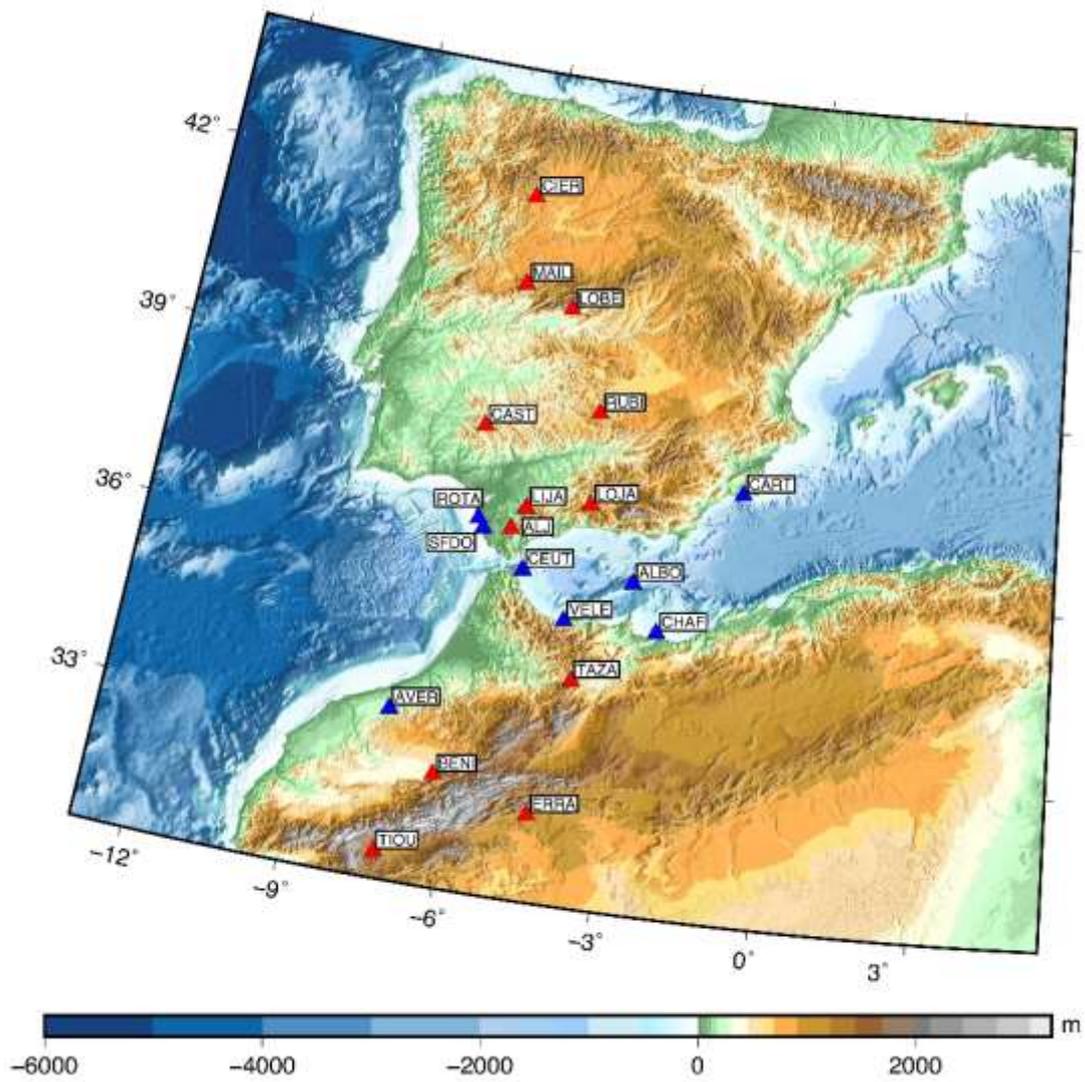


Figura 3.11: Distribución de estaciones de la Red ROA (triángulos azules) y de las estaciones de la Red Topo-Iberia de responsabilidad del ROA (triángulos rojos).

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

Tabla3.3: Listado de Estaciones de la Red ROA

### Red Topo-Iberia

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

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

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

Al objeto de realizar mantenimientos de estas estaciones se han llevado a cabo diversas salidas al campo, tal y como se relaciona a continuación:

El 22 de enero personal de la Sección se traslada a la estación de Aljibe. Tras efectuar unas actuaciones menores se consigue restablecer su operatividad.

El 29 de enero personal de la Sección se traslada a la estación de Lijar. Se realizan actuaciones sobre el sistema de comunicaciones y de alimentación eléctrica. Finalmente queda operativa, restableciéndose la comunicación con el ROA.

A lo largo del mes de enero y febrero se comprueba que la estación de Lijar registra de forma anómala, registrando tan solo durante algunos periodos al día y en ellos recibiendo pocos satélites. El día 20 de febrero se traslada al emplazamiento personal técnico. Se realizan diversas pruebas, decidiendo finalmente sustituir la antena por una diferente. La estación quedó registrando correctamente. El 29 de abril las comunicaciones con la estación quedan interrumpidas.

El 2 de marzo se interrumpen las comunicaciones con la estación de Cabezarrubias.

El 11 de marzo personal de la Sección se traslada a la estación de Loja. Se restituye el mástil de comunicaciones que se encontraba abatido en el suelo. Se realizan diversas actuaciones: sustitución de baterías, actualización del firmware del módulo receptor, y

volcado de datos. Asimismo, se realizan pruebas de comunicaciones tratando de establecer contacto con el ROA. No se consiguen establecer por mala cobertura de telefonía móvil. Finalmente, la estación quedó registrando correctamente, pero sin capacidad de control remoto.

El 16 de marzo en cumplimiento de las instrucciones recibidas a través de escrito de CESTIC de 25 de febrero de 2020 se procede a la desconexión de las estaciones de Ceuta y Rota de la red WAN PG.

El 25 de febrero se cede un equipo receptor GPS Trimble NETRS a la Universidad de Cádiz para su uso en la estación GPS de Doñana. El 16 de diciembre fue devuelto.

El 4 de mayo, siguiendo las indicaciones de los centros de datos, cesa el envío de los ficheros en formato RINEX2 de las observaciones de la estación GPS SFER. Continúa el envío en formato RINEX3 como se venía produciendo hasta la fecha.

El 2 de mayo se interrumpen las comunicaciones con la estación de Sierra de Aljibe, recuperándose estas el 8 de mayo.

El 8 de mayo se interrumpen las comunicaciones con la estación de Tiouine debido a un problema de alimentación de los equipos, quedando resuelto el día 12 de mayo.

A lo largo de los meses de abril y mayo se realizan pruebas con una tarjeta M2M al objeto de mejorar la conectividad de aquellas estaciones desplegadas en el campo en emplazamientos donde la cobertura Vodafone es pobre. El 16 de junio se instala un prototipo basado en un ordenador raspberry PI en la Sección de Geofísica a modo de pruebas.

El día 5 de agosto personal de la Sección de Geofísica se traslada a la estación de Aljibe para reemplazar la tarjeta de comunicaciones antigua por la tarjeta M2M.

El 16 de diciembre se traslada a la B.N. de Rota personal de la Sección de Geofísica para llevar a cabo el volcado de datos de la estación, y para instalar una antena GPRS de modo que se restituya el envío de datos en tiempo real.

### **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 2020 y dentro de la Sección de Geofísica, se han mantenido los siguientes proyectos de investigación:

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

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

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

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

2008) al objeto de monitorizar la situación volcánica de la isla. El investigador Principal del proyecto es el CF. Dr. Manuel Catalán.

- **Proyecto del Mapa Mundial de Anomalías Magnéticas (WDMAM) (2ª edición).**  
Es una iniciativa internacional, sin financiación propia, cuyo objetivo principal es el recopilar datos de anomalías magnéticas adquiridos a lo largo de décadas, por Instituciones, Organismos, Universidades e Industria de diversos países, de forma que pueda generarse un mapa mundial de las anomalías magnéticas que proporcione una perspectiva completa a la comunidad científica. Las instituciones directoras del programa son la Asociación Internacional de Geomagnetismo y Aeronomía (IAGA) y la Comisión para la Carta Geológica Mundial (CCGM) contando con la participación de 12 instituciones de diversos países. El Observatorio (a través del Jefe de la Sección de Geofísica, CF. Dr. Manuel Catalán) y el Instituto de Física del Globo en París (Francia) son los encargados de su ejecución. Esta colaboración internacional permite mejorar el conocimiento del campo magnético terrestre.
- **Proyecto Landslide assessment in the Spanish Navy Observatory (LASNO).**  
Este proyecto se desarrolla al amparo del marco de la colaboración que mantiene el ROA, en materia de sismología y procesado de datos de sismómetros de fondo marino (OBS), con el GeoForschungsZentrum (GFZ, Potsdam) y la Universidad de Potsdam. El proyecto consiste en la realización de un despliegue de un array sísmico de pequeña apertura, compuesto por doce geófonos en las inmediaciones del ROA. El objetivo principal de este despliegue es llevar a cabo un estudio de las estructuras geológicas susceptibles de desencadenar deslizamientos del terreno y ocasionar daños en el edificio principal del ROA.

Como se ha mencionado en el apartado 3.1.3, el despliegue de la antena sísmica (array) se realizó en octubre de 2020 y continúa desplegado para la toma de datos. El investigador Principal del proyecto es el TN. Roberto Cabieces.

### 3.6. Campañas

Durante el año 2020 como consecuencia de la situación de pandemia COVID-19, no se han llevado a cabo campañas científicas.

### 3.7. Publicaciones y Comunicaciones

#### 3.7.1. Publicaciones

- **Título:** Magnetic anomaly map of the NW Iberian continental margin and the adjacent abyssal plains.  
**Revista:** Journal of Maps, 16(2). 680-688. DOI 10.1080/17445647.2020.1806123.  
**Autores:** M. Druet, M. Catalán, J. Martín-Davila, Y. M. Martos, A. Muñoz-Martín, J.L. Granja-Bruña, A. Maestro.  
**Resumen:** El margen noroeste de Iberia es un margen continental hiperextendido, formado durante la apertura del Océano Atlántico Norte donde posteriormente se produjo una inversión tectónica parcial a lo largo de la Orogenia Alpina. Esta sucesión de episodios tectónicos determina la firma magnética del margen. El Proyecto de la Zona Económica Exclusiva española realizó siete campañas de un mes entre 2001 y 2009. Para ampliar y densificar la cobertura espacial, hemos utilizado datos del Mapa Mundial de Anomalías Magnéticas Digitales. En este artículo se describe la metodología utilizada para

la adquisición y el procesamiento de los datos de campo magnético, así como se ofrece una descripción de la zona de estudio de acuerdo al mapa obtenido.

- **Título:** Unveiling Powell Basin's Tectonic Domains and Understanding Its Abnormal Magnetic Anomaly Signature. Is Heat the Key?  
**Autores:** M. Catalán, Y.M. Martos, J. Galindo-Zaldivar, L. F. Pérez, F. Bohoyo.  
**Revista:** *Frontiers in Earth Science*. 1-17, DOI 10.3389/feart.2020.580675.  
**Resumen:** La ruptura de la litosfera continental que finalmente conduce a la formación de cuencas oceánicas es un proceso complejo condicionado por diferentes factores, como la reología y la estructura térmica de la litosfera subyacente, así como por la dinámica astenosférica subyacente. Todos estos procesos, se pueden reconocer mejor en pequeñas cuencas oceánicas. La Cuenca Powell es una de estas cuencas que limita al norte con el sur de la dorsal del Scotia, al este con el microcontinente de las Orcadas del Sur, y al oeste con la Península Antártica. Comúnmente es aceptado que esta cuenca se forma entre el Oligoceno y el Mioceno. No obstante, la pequeña amplitud de sus anomalías magnéticas dificulta una determinación clara de este extremo. Tal y como se apunta anteriormente, esta cuenca es un marco ideal para analizar las diferentes fases de expansión y finalmente de ruptura que conducen desde una corteza continental inalterada a la formación de un dominio oceánico. Para identificar los diferentes límites tectónicos extensivos durante la formación de la Cuenca Powell se han utilizado diferentes fuentes: magnetismo, gravedad, perfiles sísmicos multicanal y datos batimétricos. Asimismo, se ha utilizado sísmica y datos de batimetría para estimar la señal de subsidencia tectónica total. Esta última señal ha demostrado ser útil para delinear los diferentes regímenes tectónicos presentes desde la ruptura temprana hasta la formación de fondo marino oceánico. Los resultados obtenidos, junto con el análisis de los datos magnéticos existentes, han sido utilizados para delimitar el dominio oceánico y comparar con los dominios propuestos por otros autores. Este método podría aplicarse en cualquier otra cuenca o margen para ayudar a delimitar sus límites. Finalmente, se analiza el papel que un ramal astenosférica procedente del Arco de Scotia ha podido jugar en la evolución de la firma de anomalía de esta cuenca oceánica.
- **Título:** Bootstrapping Swarm and observatory data to generate candidates for the DGRF and IGRF-13.  
**Autores:** F. J. Pavón-Carrasco, S. Marsal, J. M. Torta, M. Catalán, F. Martín-Hernández, J. M. Tordesillas.  
**Revista:** *Earth, Planets and Space*. 1-14. DOI 10.1007/s00024-019-02380-4.  
**Resumen:** Siguiendo las directrices marcadas por el grupo de trabajo V-MOD de la Asociación Internacional de Geomagnetismo y Aeronomía (IAGA), la 13ra generación de Campo Geomagnético Internacional de Referencia (IGRF) ha sido publicada a principios de 2020. En este sentido y de acuerdo a las recomendaciones de la IAGA, se presenta en este trabajo uno de los modelos presentados como candidatos para dicho IGRF-13. Para ello se han utilizado datos de los satélites Swarm, así como los datos de la red de observatorios geomagnéticos obtenidos a lo largo de 2019. Para generar el modelo candidato se han extrapolado los coeficientes de Gauss correspondientes al campo principal, así como su variación secular, a la época 1 de enero de 2020. Adicionalmente se propone un modelo definitivo de referencia geomagnética (DGRF) para 2015.0 utilizando los mismos tipos de datos pero desplazando la ventana de tiempo 6 meses antes y 6 meses después de esa fecha. Para modelar conjuntamente datos satelitales y terrestres, se han seguido los

procedimientos clásicos, así como aplicado los filtros usuales. Los problemas relacionados con la falta de homogeneidad en las distribuciones espaciales y temporales de los datos de Swarm han sido soslayados aplicando un nuevo enfoque basado en el análisis “bootstrap”. Ello ha posibilitado estimar tanto los coeficientes de Gauss como sus incertidumbres.

- **Título:** Focal parameters for earthquakes of SW Saint Vincent Cape using inland and OBS stations.

**Autores:** R.Cabieces, E. Buforn, A. Pazos, S. Cesca.

**Revista:** Pure Appl. Geophys. **177**, 1761–1780 (2020).  
<https://doi.org/10.1007/s00024-020-02475-3>

**Resumen:** La precisión en la localización de terremotos con foco oceánico es por lo general pobre. Por ello, es necesario posicionar estaciones en un amplio rango de distancias y acimuts para mejorar la estimación de su localización hipocentral. La utilización de sismómetros de fondo marino (OBS) ayuda a compensar los problemas derivados de esta deficiente cobertura en acimut, así como los provocados por la imprecisión en la obtención de tiempos de llegada a diferentes distancias. Otro aspecto importante a tener en cuenta es la limitación inducida por las imprecisiones de los modelos de velocidades sísmicas en la litosfera oceánica. Este trabajo cubre varios aspectos, la influencia y la mejora en la localización, con la implementación de un algoritmo de relocalización no lineal, después de agregar registros OBS. También se analiza la influencia de un modelo de velocidades sísmicas 3D. Las relocalizaciones obtenidas en este trabajo se comparan con las proporcionadas por el boletín del Instituto Geográfico Nacional. Adicionalmente, se calcula el mecanismo focal de una selección de terremotos y se analizan en el contexto geodinámico de la región de estudio. En este artículo se demuestra como los registros OBS y el uso de modelos 3D, disminuyen sustancialmente la incertidumbre en la localización, mejorando sustancialmente el error en la determinación de la profundidad.

- **Título:** Slowness vector estimation over large-aperture sparse arrays with the Continuous Wavelet Transform (CWT): Application to Ocean Bottom Seismometers

**Autores:** R. Cabieces, F. Krüger, A. Garcia-Yeguas, A. Villaseñor, E. Buforn, A. Pazos, A. Olivar-Castaño, J. Barco.

**Revista:** Geophysical Journal International, Volume 223, Issue 3, December 2020, Pages 1919–1934, <https://doi.org/10.1093/gji/ggaa427>

**Resumen:** Este trabajo presenta una nueva metodología diseñada para estimar el vector de lentitud en antenas sísmicas de fondo marino de gran apertura. La Transformada Wavelet Continua (CWT) se usa para convertir las trazas incoherentes originales que atraviesan la antena sísmica, en funciones impulsivas, coherentes y adaptadas a la apertura de la antena. Posteriormente, estas funciones se convierten al dominio de frecuencia para realizar un stack coherente y de este modo poder estimar el vector lentitud aparente. En este trabajo se demuestra que el método CWT, puede detectar señales sísmicas y estimar el vector de lentitud de terremotos regionales, con alta precisión y robustez en condiciones de baja relación señal ruido. Para comprobar la validez de la metodología, se compara el rendimiento del método CWT con el de una solución alternativa, basada en el algoritmo STA/LTA y también con el método de la envolvente del sismograma, los cuales tienen la capacidad de obtener una detección y estimación del vector lentitud muy rápidas pero menos fiables que el método CWT.

### 3.7.2. Comunicaciones en congresos

- **Título:** The World Digital Magnetic Anomaly Map, version 2.1.  
**Congreso:** European Geoscience Union (EGU) 2020.  
**Fecha:** 4 al 8 mayo 2020.  
**Autores:** J. Dymant, Y. Choi, V. Lesur, A. García-Reyes, M. Catalán, T. Ishihara, T. Litvinova, M. Hamoudi.
- **Título:** Deep Learning P and S wave phase picking of Ocean Bottom Seismometer (OBS) data.  
**Congreso:** European Geoscience Union (EGU) 2020.  
**Fecha:** 4 al 8 mayo 2020.  
**Autores:** Luis Fernandez-Prieto, Antonio Villaseñor, and Roberto Cabeceas.

### 3.8. Estancias de trabajo

- Entre el 17 y 18 de febrero el Ingeniero Adolfo García Marín, investigador del Observatorio de Yebes efectúa una estancia de trabajo para conocimiento y adiestramiento en el funcionamiento y operación de la estación de seguimiento telemétrica láser.

### 3.9. Conferencias y Cursos

- El TN Roberto Cabeceas es designado alumno del X Curso Conjunto de actualización para el ascenso a Capitán de Corbeta. Este curso consta de tres fases: una primera fase no-presencial realizada entre 30 de marzo al 29 de mayo, una segunda fase, presencial, entre el 3 y el 27 de noviembre, y una tercera fase, no-presencial, desarrollada entre el 30 de noviembre y el 16 de diciembre.
- Entre el 26 y 30 de octubre el TN. Manuel Sánchez asiste al curso de aptitudes pedagógicas impartido en el Escuela Militar de Ciencias de la Educación en Madrid.
- El 26 de noviembre el CF. Manuel Catalán imparte telemáticamente dos conferencias dentro de la Cátedra Almirante Don Juan de Borbón, curso organizado por el CESEDEN y la Universidad Complutense de Madrid. La primera titulada "El Real Observatorio de la Armada" y la segunda titulada "El Plan de investigación de la ZEEE".

### 3.10. Personal

- El 1 de septiembre se incorpora al Servicio de Geomagnetismo el TN. Julián Fiz Barrena.

### 3.11. Comisiones y Reuniones

- Entre el 6 y 7 de febrero, el TN. Roberto Cabeceas participa en unas reuniones en el Instituto Andaluz de Geofísica sobre técnicas de tratamiento de información sísmica utilizando sismómetros de fondo marino.
- El 21 de febrero el CF. Manuel Catalán presenta el Proyecto de investigación antártico ElGeoPower en la OCS del AJEMA en Madrid.

- El 27 de mayo se celebra telemáticamente la XII reunión del Grupo de Cartografía Marina participando el CF Manuel Catalán.
- El 24 y 25 de noviembre el CF. Manuel Catalán, y los TTNN Julián Fiz y Victor de Ory participan en la Reunión preparatoria de la campaña antártica dirigida por el Comité Polar Español. Esta se celebra telemáticamente.
- El 26 de noviembre se celebra telemáticamente la XIII reunión del Grupo de Cartografía Marina participando el CF Manuel Catalán.

### **3.12. Otros**

- El 3 de diciembre el periódico “La Vanguardia” publica un artículo titulado “La órbita terrestre- millones de balas invisibles a 25.000 km/h en el espacio” en el que cita la actividad del Observatorio.  
(<https://stories.lavanguardia.com/ciencia/20201202/30070/la-basura-espacial>).



## 4. Sección de Hora

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

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

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

## 4.1. Servicio de Hora

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

La escala de tiempo UTC(ROA) que mantiene el Servicio de Hora, se materializa físicamente por un Máser de Hidrógeno activo, 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 dice:

#### *3.- Patrón Nacional de la Unidad de Tiempo.*

*El Patrón nacional de Tiempo, conservado, mantenido y custodiado, 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 Conferencia General de Pesas y Medidas (1967) para la definición del segundo.*

*Está conservado mediante un conjunto de relojes atómicos de cesio con una incertidumbre relativa estimada de  $10^{-13}$  en un tiempo de integración superior a  $10^5$  s.*

*Partiendo del Patrón Nacional de Tiempo, el ROA ha creado la Escala de Tiempo Nacional, que tiene por denominación UTC(ROA). La datación de un suceso en la Escala UTC(ROA) se efectúa con una incertidumbre estimada de 10 ns.*

*La Escala de Tiempo UTC(ROA) está permanentemente contrastada con la Escala de Tiempo Universal Coordinado, UTC, mantenida por el Bureau Internacional de Pesas y Medidas.*

Este laboratorio contribuye a la elaboración de la escala de Tiempo Atómico Internacional (TAI) mediante la toma de datos extraídos de las observaciones efectuadas utilizando una estación VSAT en banda Ku, junto a un módem SATRE de ensanchamiento de espectro, siguiendo lo establecido por la recomendación ITU-R TF.1153 para la técnica de transferencia de Tiempo y Frecuencia mediante doble encaminamiento o dos vías (TWSTFT). 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.

Los receptores GPS de tiempo han quedado desplazados a un segundo plano, empleándose en la actualidad como enlaces de reserva en lo que respecta a la contribución al TAI.

Desde el 2 de mayo a 0h UTC de 2019 (Bulletin D núm. 140 del IERS), el valor de DUT1 ha sido de -0,2 segundos, permanecido inalterado durante todo el 2020. Este hecho puede ser debido a cambios en la redistribución de la masa terrestre (tanto interna como externa), que compensen en cierta medida la componente secular de desaceleración de la rotación terrestre por fricción de marea.

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

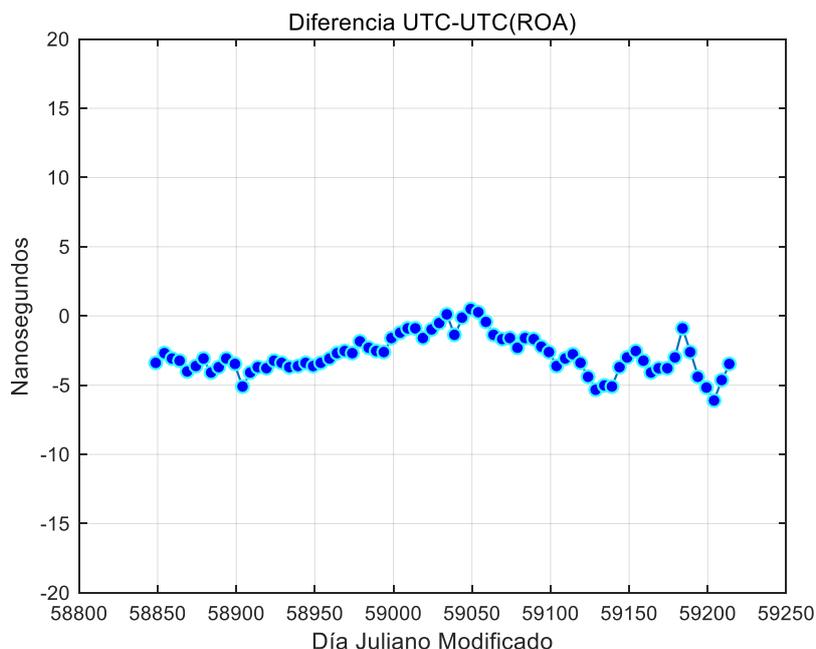


Figura 4.1: Comparación de la escala de tiempo UTC(ROA) en 2020, según datos de la Circular T.

## Sección de Hora

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 Auxiliar de Salida, 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 calculados para mantener la exactitud de UTC(ROA) dentro de  $\pm 100$  ns respecto de UTC, conforme a la recomendación del Comité Consultivo para la Definición del Segundo, (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.

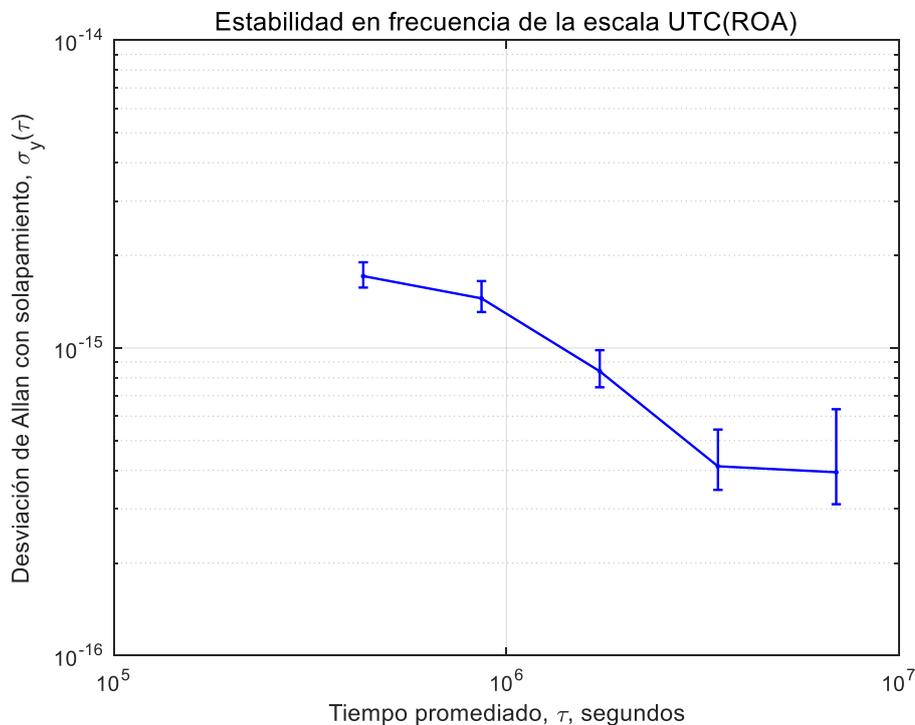


Figura 4.2: Estabilidad en frecuencia de la Escala UTC(ROA).

Como se aprecia en ambas figuras, para un periodo de integración de cinco días, la estabilidad en frecuencia ofrece un valor de  $1,71 \times 10^{-15} \pm 0,33 \times 10^{-15}$  ( $k = 2$ ), en tanto que la estabilidad en tiempo es de  $4,27 \times 10^{-10} \pm 0,82 \times 10^{-10}$  ( $k = 2$ ).

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

junio, establece entre otros aspectos la manera en que se organiza la metrología en España, indicando los criterios de designación, las misiones y responsabilidades de los laboratorios asociados entre los que se encuentra el Observatorio.

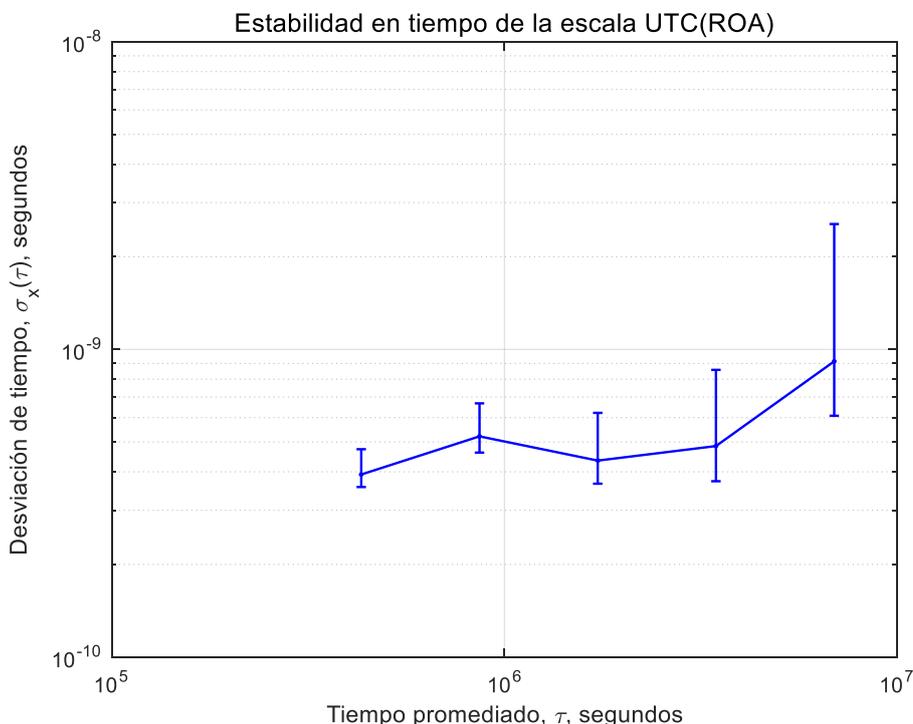


Figura 4.3: Estabilidad en tiempo de la Escala UTC(ROA).

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

El 28 de abril se publica en el BOE el Real Decreto 493/2020, que modifica el Real Decreto 2032/2009, por el que se establecen las unidades legales de medida, implanta las definiciones de las unidades, sus nombres y símbolos, así como las reglas para la formación de sus múltiplos y submúltiplos de conformidad con los acuerdos de la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM) y la normativa de la Unión Europea.

A este respecto, hay que reseñar la visita de supervisión por teleconferencia que el CC. ING. Juan Manuel González realiza en el mes de diciembre al Laboratorio de Metrología

de Radiaciones Ionizantes, dentro del turno anual de visitas establecido por la Comisión de Laboratorios Asociados al CEM, al objeto de verificar el sistema de gestión de la calidad en el ámbito de su actividad metrológica. Del mismo modo, también se verifica el sistema de calidad de la Sección de Hora, durante la visita de supervisión telemática realizada a finales del mes de noviembre, y que fue llevada a cabo por el Dr. Salustiano Ruiz González, Jefe de Servicio del Área de Magnitudes Dinámicas y de Conteo del Centro Español de Metrología y por el Dr. Tomás Vicente Mussons, Jefe del Laboratorio de Temperatura y Humedad del Centro de Metrología y Calibración del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial, y la auditoría interna realizada al Laboratorio de Hora del Observatorio (LHROA) por el entonces responsable de calidad suplente ITA Jesús Martínez 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 el año 2010 su andadura en el sistema de posicionamiento global Galileo, formando parte del Proyecto TVF –*Time Validation Facility*– (TVF V2), destinado a validar el comportamiento de los relojes del sistema Galileo y de su escala de tiempo (GST), y actuar como proveedor de servicio de tiempo provisional, proporcionando al Centro de Control Galileo (PTF) la predicción UTC-GST y el disciplinado en frecuencia necesario para asegurar la diferencia entre ambas escalas en los límites exigidos. La misión, enmarcada dentro de las operaciones de la *Time Geodetic Validation Facility (TGVF)*, se extendió hasta finales de 2017 donde el subsistema TVF ampliaba sus cometidos con la provisión de servicio temprano, la validación del servicio de tiempo y el desarrollo de productos asociados para usuarios externos.

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

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

Desde agosto de 2018, el ROA participa como parte del consorcio GRC-MS (*Member States*), liderado por el Centro de Estudios Aeroespaciales Francés (CNES) junto a una amplia mayoría de los estados miembros de la UE, para atender las sucesivas ayudas específicas anuales (SG) de dicha convocatoria mediante dos paquetes de trabajo (WP) relacionados con el tiempo, WP1.1 “*Reference Stations*” y WP3.3 “*Open Service Time*”

*Performance*". Después de dos años de contribución, actualmente se colabora sobre la ayuda SG#3 iniciada en septiembre de 2020.

Por otra parte, en el marco de EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay*), el ROA forma parte del consorcio denominado *EGNOS Service Performance Monitoring Support* (SPMS) para atender las sucesivas ayudas específicas (SG) derivadas de la convocatoria GSA/GRANT/EGNOS/01/2014. Actualmente, se colabora tras dos etapas productivas, en la cuarta ayuda (SG#4) iniciada en noviembre de 2020 y finalización estimada en, consistente en la monitorización del servicio de tiempo en *Open Service* (OS) y *Safety of Life* (SoL), cubriendo la zona sur-oeste de Europa (Figura 4.4) dentro del WP 1.1 "*EGNOS Navigation Performance*".

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

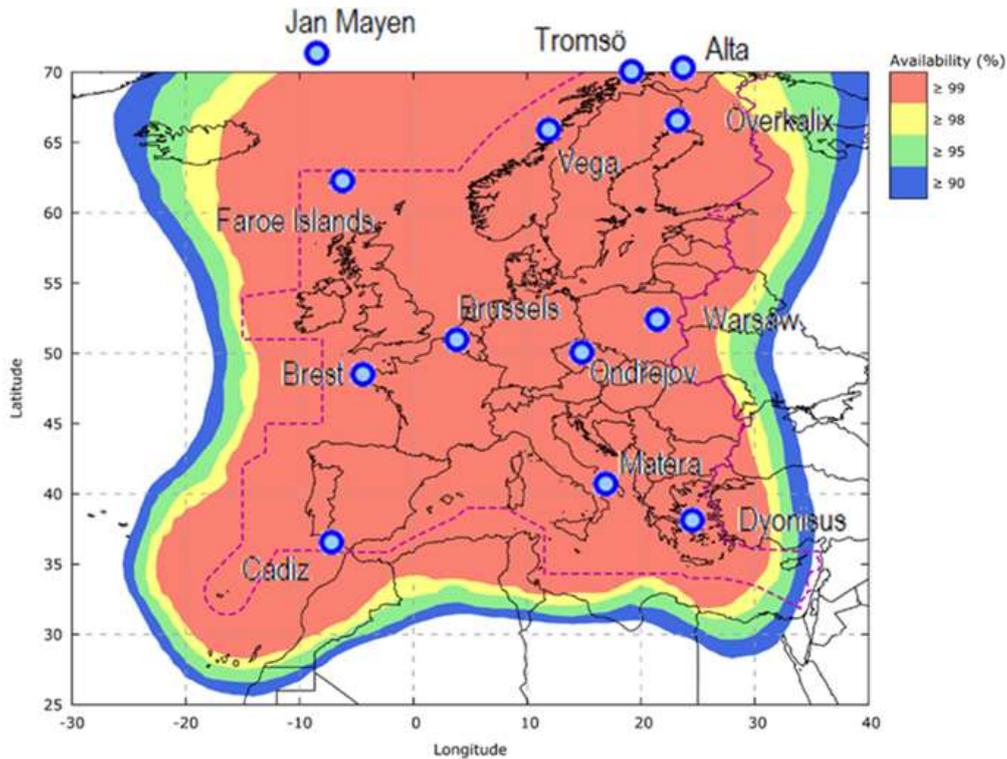


Figura 4.4: Cobertura del servicio con la inclusión de la estación ROA al consorcio SPMS EGNOS.

Por otra parte, a lo largo de todo el año se ha venido participando regularmente en la generación de "UTC rápida" (UTC<sub>r</sub>). Esta solución permite acceder semanalmente a una estima de UTC a través de la diferencia respecto de la escala del laboratorio participante (UTC(k)) a las 0h UTC de cada día, facilitando la monitorización del comportamiento de la realización local de UTC (UTC(k)).

La Figura 4.5 muestra los resultados de la comparación de UTC(ROA) con UTC<sub>r</sub>, 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.

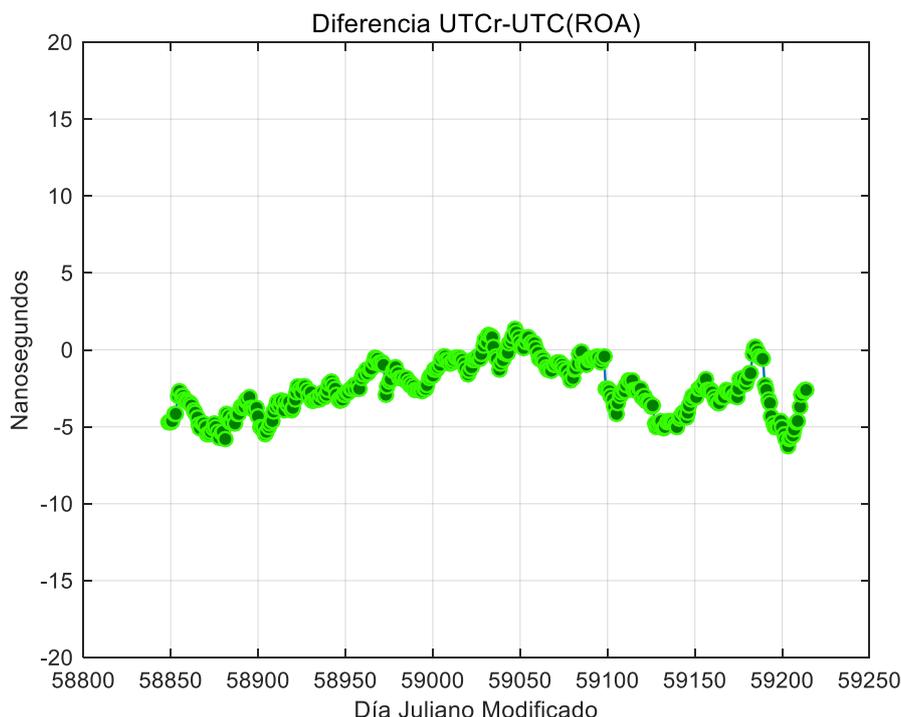


Figura 4.5: Escala de tiempo UTC(ROA) referida a UTCr. Datos proporcionados por el BIPM (<ftp://tai.bipm.org/UTCr/Results/>).

En la actualidad, alrededor de 50 laboratorios, de entre los 80 que regularmente contribuyen en la realización de UTC, participan en este proyecto facilitando datos a diario. La característica de calidad de esta escala alcanza los valores a priori esperados: la desviación de UTCr respecto de UTC se mantiene ahora por debajo de 2 ns. Durante todo el año y de forma ininterrumpida, el BIPM publica la escala UTCr como producto oficial propio. No obstante lo anterior, únicamente la Circular T proporciona trazabilidad formal a UTC.

#### 4.1.2. Establecimiento de enlaces de tiempo

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

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

Durante todo el año se han mantenido las mismas frecuencias del enlace europeo, 14260,15 MHz (Tx.) y 10960,15 MHz (Rx.), y las del enlace transoceánico, 14046,59 MHz (Tx.) y 11489,06 MHz (Rx.). El sistema está compuesto por dos estaciones independientes y plenamente operativas. Ambas están constituidas por un modem SATRE (números de serie 426 y 448), transceptor en banda Ku extendida y antena Prodlin de 2.4 m. En la figura 4.6 se muestra la ubicación de las antenas en la azotea del nuevo laboratorio.



Figura 4.6: Antenas de la estación 1 (izqda.) y estación 2 (dcha.) del sistema TWSTFT, en la azotea del laboratorio.

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

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

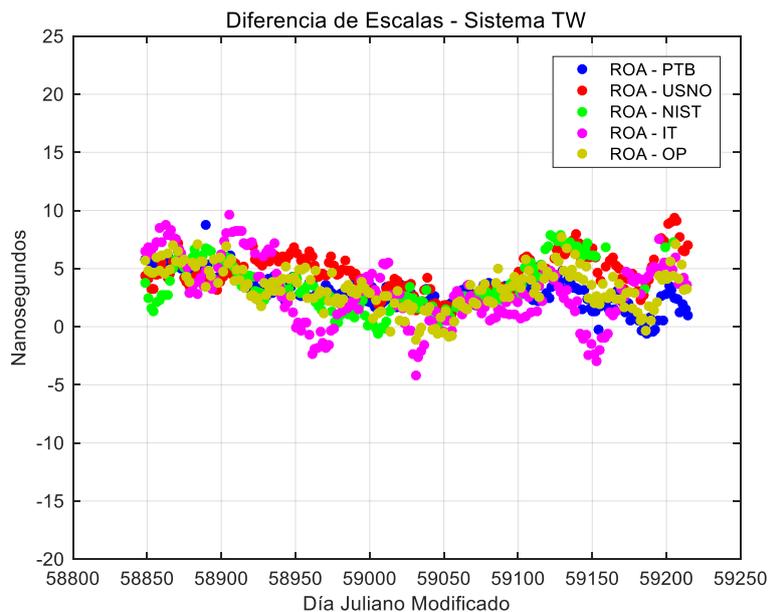


Figura 4.7: Intercomparación de la escala UTC(ROA) con los principales laboratorios europeos y norteamericanos mediante TWSTFT utilizando el satélite TELSTAR 11N.

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

Durante el mes de marzo de 2020, el ROA ha liderado una campaña de calibración con la Instalación de Tiempo Preciso Galileo (PTF2-Alemania, figura 4.8), que quedó pendiente de realizar durante la campaña de calibración de 2019 y en la que se han visto involucradas el resto de instituciones participantes en el proyecto GSOP: *Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica* INRIM-Italia, *Observatoire de Paris* OP-Francia, *Research Institutes of Sweden* RISE-Suecia y PTB-Alemania, PTF1-Italia, además del ROA, y la estación fija de referencia perteneciente al socio industrial contratado y ubicada en su sede en Stuttgart-Alemania.



Figura 4.8: Estación portátil TWSTFT en el PTF2 (Stuttgart-Alemania).

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.

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

### **Sistema SDR.**

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

Los resultados obtenidos hasta ahora, muestran un rendimiento superior o al menos similar en comparación con las mediciones de los Modem SATRE para todos los enlaces de tiempo. De hecho, para los enlaces continentales donde los efectos diurnos son de mayor entidad, el SDR TWSTFT demuestra una reducción del ruido de entre el 50% y el 70%, y de un 35% para los enlaces intercontinentales de larga base, por ejemplo, en el enlace Europa-EE.UU., donde los efectos diurnos son de menor entidad.

El ROA dispone de dos sistemas SDR plenamente operativos, que le permiten llevar a cabo estudios relativos a los efectos de las condiciones ambientales sobre este sistema de transferencia, al igual que las perturbaciones generadas por el resto de estaciones participantes.

### **Global Positioning System (GPS).**

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

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

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

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

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

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

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

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



Figura 4.9: Estación IGS con denominación ROAG.

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

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

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

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

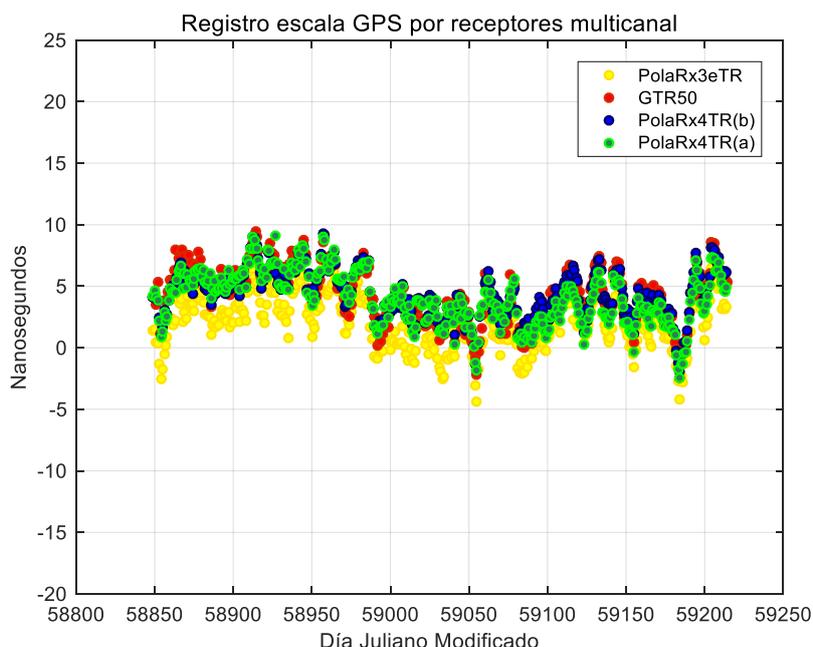


Figura 4.10: Diferencias entre la escala UTC(ROA) y la escala GPS durante el año 2020.

En la figura 4.11 se muestran las diferencias entre la escala UTC(ROA) y las diferentes escalas de referencia GNSS. Cabe reseñar además de la gran variación observada en la escala Beidou, la degradación del servicio Galileo acaecida durante la madrugada del día 14 de diciembre, generada por una pérdida de sincronismo y que afectó a toda la constelación. Esta circunstancia fue informada por la GSA mediante la NAGU (*NOTICE ADVISORY TO GALILEO USERS*) número 2020021.

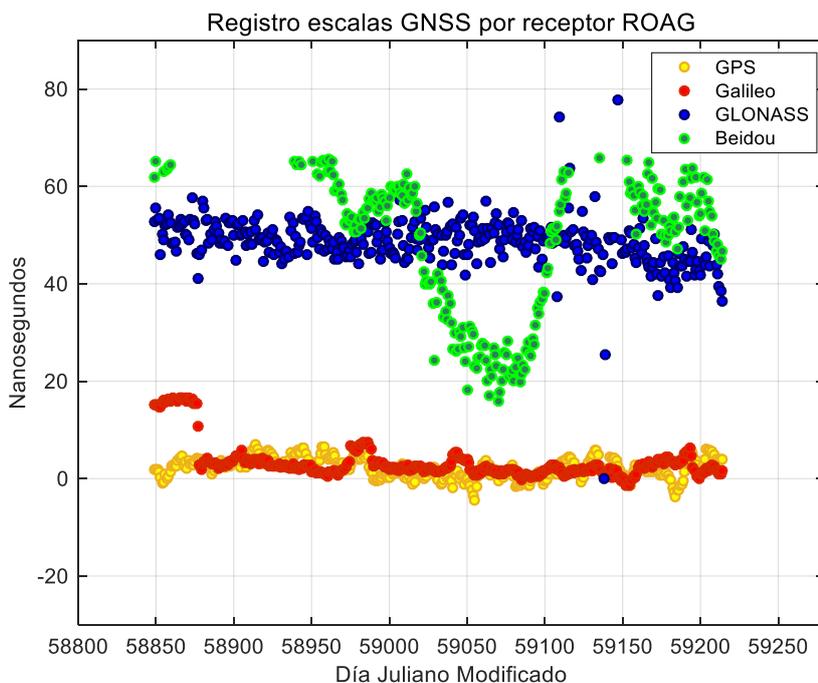


Figura 4.11: Diferencias entre la escala UTC(ROA) y las escalas GNSS durante el año 2020.

En el mes de septiembre se realiza una nueva campaña de calibración G1-G2 GNSS, en el seno de EURAMET (Cal\_Id = 1201-2020), con el laboratorio de tiempo SMD de Bélgica. Los tres elementos que integran la estación GNSS (antena, cable de antena y receptor geodésico), fueron enviados desde Bélgica. En la figura 4.12 se muestran estos tres componentes, durante la calibración en la Sección de Hora.



Figura 4.12: Estación GNSS de SMD (Bélgica) constituida por una antena PolaNt Choke Ring B3/E6 (antena color blanco, dcha.), un receptor PolaRx5TR (izq.) y 100 m de cable de antena FSJ2-50.

### **Diseminación de tiempo vía conexión telefónica.**

La Sección de Hora ha utilizado su sistema de diseminación de tiempo por vía telefónica, elaborado en la Universidad Técnica de Graz, Austria, conectado a una línea telefónica de la red de la Armada, para posibilitar el uso de este servicio a nivel nacional e internacional. El número asignado es el 956 599 429 y el programa de comunicaciones que permite sincronizar un ordenador de tipo PC, está disponible en la URL:

[ftp://ftp.roa.es/pub/hora/hora\\_roa.zip](ftp://ftp.roa.es/pub/hora/hora_roa.zip)

El ROA viene ofreciendo este servicio gratuito de sincronismo mediante conexión telefónica que permite que cualquier ordenador dotado de módem telefónico pueda sincronizarse a la Hora Legal Española, con una precisión de algunos milisegundos.

El formato de línea de código suministrado permite al usuario conocer, además de la fecha y hora, el aviso de cambios de horarios de invierno a verano y viceversa, el Tiempo Universal Coordinado, la corrección DUT1, la fecha juliana modificada y el avance del pulso de sincronismo.

### **Sincronización de redes de ordenadores.**

Se ha mantenido la sincronización de la red local del ROA en un orden inferior al milisegundo.

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

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

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

En el ámbito del convenio de colaboración suscrito en diciembre de 2006 entre el Ministerio de Defensa (ROA) y la Fábrica Nacional de Moneda y Timbre – Real Casa de

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

## 4.2. Servicio de Electrónica y Calibración

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

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

- 1 Sistema de T/F basado en rubidio disciplinado a GPS TimeTech GPS-DISOS RB 0052 – VEIASA (ROA-007/20).
- 1 Sistema de T/F basado en rubidio disciplinado a GPS TimeTech REFGEN RB 0015 – DEKRA (ROA-008/20).
- 1 Sistema de T/F basado en rubidio disciplinado a GPS PENDULUM GPS 12R/170 – AFC Ingenieros (ROA-016/20).
- 1 Sistema de T/F basado en rubidio disciplinado a GPS FLUKE 910R – Laboratorio Oficial de Metrología de Galicia. (ROA-024/20).
- 1 Sistema de T/F basado en rubidio disciplinado a GPS FLUKE 910R – TRESKAL Ibérica de Calibración S.L. (ROA-026/20).
- 1 Sistema de T/F basado en rubidio disciplinado a GPS FLUKE 910 – ASSI Sistemas e Instrumentación S.L. (ROA-025/20).
- 1 Contador de segundos digital P157B 04-118-3 – ELECSAN S.A. (ROA-005/20).
- 5 Servidores de tiempo NTP disciplinados a GPS TS19 – Ingemation Ingeniería S.L. (ROA-009/20, ROA-010/20, ROA-011/20, ROA-022/20 y ROA-023/20).

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 Symmetricom XLi (Q69929) – TELEFÓNICA DE ESPAÑA SAU (ROA-001/20, ROA-012/20, ROA-018/20, ROA-028/20 y ROA-035/20).
- 1 Sistema de tiempo y frecuencia Symmetricom XLi (R05747) – TELEFÓNICA DE ESPAÑA SAU (ROA-002/20, ROA-013/20, ROA-19/20 y ROA-29/20).
- 1 Sistema de tiempo y frecuencia Symmetricom 8040C (C015445) – ROHDE & SCHWARZ (ROA-003/20, ROA-014/20, ROA-20/20 y ROA-032/20).
- 1 Sistema de tiempo y frecuencia Microchip Technology INC. SyncServer S650 SCA202000028 – TELEFÓNICA DE ESPAÑA SAU (ROA-030/20).
- 1 Sistema de T/F basado en cuarzo disciplinado a GPS TimeTech GPS-DISOS – Instituto de Óptica “Daza de Valdés” (ROA-034/20).
- 1 Generador de Funciones RIGOL DG4162 – Instituto de Óptica “Daza de Valdés” (ROA-037/20).
- 1 Counter/Analyser MENLO SYSTEMS FXM50 – Instituto de Óptica “Daza de Valdés” (ROA-038/20).

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:

#### **Centro de Ensayos “Torregorda”**

- 1 Counter/Timer/Analyser FLUKE PM 6690/051 (ROA-036/20).

#### **Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial “ESTEBAN TERRADAS”**

- 1 Patrón de Cesio Hewlett Packard 5071A-001 3228A00155 (ROA-017/20, mediante la técnica CV).

#### **Laboratorio Radiofrecuencia Campus “Marañosa”**

- 1 Patrón de rubidio disciplinado a GPS Pendulum-Symmetricom 12R-8040C (ROA-004/20, ROA-015/20, ROA-21/20 y ROA-31/20, mediante la técnica CV).

#### **Centro Logístico de Transmisiones**

- 1 Patrón de cesio Agilent Technologies 5071A US39301832 (ROA-027/20, mediante la técnica CV).

### Flotilla de aeronaves

- 2 Patrones de Rubidio Symmetricom 8040C (ROA-006/20 y ROA-033/20).

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

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

El CEM está integrado en la Asociación Metroológica 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 1 y 7 de julio, se celebra por vía telemática la reunión anual del Comité Técnico de Tiempo y Frecuencia de EURAMET. Participan una treintena de científicos de los principales laboratorios europeos que tienen como misión, al igual que el ROA, mantener y difundir la escala de tiempo de sus respectivos países. La Oficina Internacional de Pesas y Medidas fue representada por su máxima autoridad en el área, la Directora de la Sección de Tiempo y Gravimetría Dra. Patrizia Tavella.

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

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

Durante el acto de clausura de este comité, toma la palabra su Presidente, el Dr. Peter Whibberley del NPL, e informa que una vez transcurridos los cuatro años establecidos para el desempeño de sus funciones, cesa de su cargo, no sin antes agradecer a todos los integrantes de este comité su colaboración y apoyo recibidos. Durante el mes de diciembre y tras varias deliberaciones, se nombra por unanimidad como presidente de esta comisión al Dr. Joseph Achkar de SYRTE-OP.

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

La Sección de Hora ha finalizado un largo proceso de revisión de sus CMCs, una vez publicadas en la Base de Datos Comparaciones Clave del BIPM (KCDB).

### 4.3. Servicio de Cronometría Naval

Se ha continuado con el control de los cargos de relojería y cronometría de la Armada con la ayuda de una aplicación informática y la posterior publicación en la intranet de la de Armada de un enlace que permite la gestión telemática del material existente en buques y dependencias, como se muestra en la figura 4.13, facilitando las tareas administrativas entre los usuarios y la Sección de Cronometría.

Se entregan en concepto de auxilio dos relojes de bitácora ARGO NAVIS al patrullero “Arnomendi”. Asimismo, se efectuó reparación, ajuste y comprobación de una Central Horaria STF del BAC “Cantabria”.

Se recibe, en concepto de entrega definitiva la totalidad del cargo de cronometría naval del submarino “Mistral” por su próxima baja en la Lista Oficial de Buques de la Armada (LOBA).

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

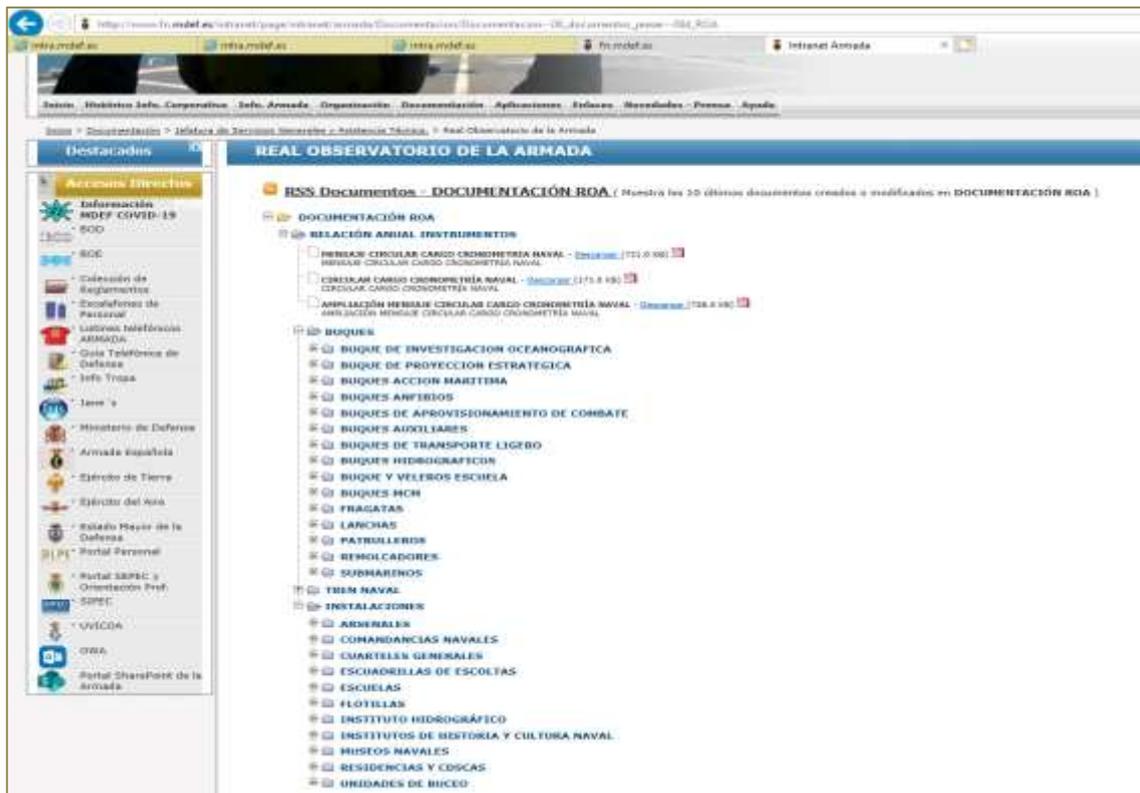


Figura 4.13: Publicación de cargos de relojería y cronometría en la intranet de la de Armada.

## 4.4. Proyectos de Investigación

### 4.4.1. Proyectos Nacionales e Internacionales

Durante el año 2020, se han iniciado/mantenido los siguientes Proyectos de Investigación:

▪ **AMIGA7:**

Continuación del proyecto AMIGA6, que se extenderá desde el 01 de enero de 2019 hasta el 31 de diciembre de 2021. Proyecto encaminado a la investigación y desarrollo de técnicas de transferencia de tiempo y frecuencia mediante fibra óptica. El proyecto se circunscribe al genérico AMIGA (Análisis del Medio Interestelar en Galaxias Aisladas): “gas en el interior y en el entorno de las galaxias”, enfocado en la preparación científica del SKA (Square Kilometre Array) y en la contribución al diseño del flujo de datos. SKA constituye en la actualidad un nuevo desafío para la Astronomía.

AMIGA está dirigido por la Doctora Lourdes Verdes-Montenegro Atalaya, investigadora responsable del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA). Este proyecto se presenta como coordinado, en el que los investigadores Dr. Antonio Javier Díaz Alonso y Dr. Manuel Rodríguez Álvarez, pertenecientes al Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores de la Universidad de Granada (UGR) son los investigadores principales del subproyecto llamado: AMIGA7: “Entornos extremos de galaxias con los precursores de SKA - desde el diseño del flujo de datos hacia su construcción-transporte de datos y señales”, en el que participa asimismo el ROA.

Los trabajos están encaminados al uso de redes de fibra para proporcionar servicio de sincronismo y de frecuencia basada en White Rabbit.

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

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

En base a la recomendación del Comité Consultivo de Tiempo y Frecuencia (CCTF) en su reunión de 2009, aunque el Buró Internacional de Pesas y Medidas 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 Tiempo Atómico Internacional, 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 Observatorio.

▪ **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 el intervalo de tiempo. Se basa en un experimento relativo al Proyecto EUROMET 828, donde se demostró que el retardo de un cable no estaba bien definido, y que su valor dependía significativamente de la forma de las señales transmitidas.

## 4.5. Reuniones

Se participó en las siguientes reuniones y comités:

### Nacionales:

- Del 19 al 20 de febrero, el CF. Héctor Esteban Pinillos viaja a Madrid, para asistir a la reunión del grupo de trabajo de señales GNSS celebrada en el EMA.

### Internacionales:

- Del 3 de febrero al 3 de abril, el TN. Héctor Álvarez Martínez viaja a París (Francia) para realizar un curso en el departamento de *Systèmes de Référence Temps Espace* (SYRTE) del Observatorio de París (OP), sobre estabilización de láseres mediante cavidades ultraestables.

## 4.6. Publicaciones y congresos

### Artículos en revistas:

- **Título:** Accurate laser frequency locking to optical frequency combs under low-signal-to-noise-ratio conditions  
**Autores:** C. Guo, M Favier, N. Galland, V. Cambier, H. Álvarez-Martínez, M. Lours, L. De Sarlo, M. Andia, R. Le Targat and S. Bize.  
**Revista:** Review of Scientific Instruments 91, 033202 (2020).

- **Título:** La Armada y la metrología de tiempo: el camino hacia una nueva redefinición del segundo  
**Autores:** H. Álvarez-Martínez y H. Esteban Pinillos.  
**Revista:** Revista General de Marina, octubre 2020.

#### Congresos Internacionales

- **Título:** Spectral purity transfer at the  $1E-18$  level and frequency chain assessment with three different optical frequency combs.  
**Congreso:** Precise Time and Time Interval Systems and Applications – Institute of Navigation (PTTI-ION).  
**Lugar:** P. Hyatt Regency Mission Bay, 21 – 24 enero 2020, San Diego, CA (EE.UU.).  
**Autores:** Héctor Álvarez-Martínez, Christian Baerentsen, Yann Le Coq, Rodolphe Le Targat.

### 4.7. Estancias de trabajo

Del 23 de agosto al 31 de octubre, el TN. Héctor Álvarez Martínez viaja a París (Francia) para realizar una estancia de trabajo en el SYRTE-OP, y seguir especializándose en el desarrollo de láseres ultraestables y en la transferencia de pureza espectral entre patrones ópticos de tiempo y frecuencia.

### 4.8. Personal

Como resultado del proceso selectivo iniciado en mayo de 2018 y concluido en el mes de diciembre de 2019 (BOE Núm. 303), en el mes de enero ha embarcado ITA D. Jaime Gonzalo Cafranga Bohorquez. En el mes de diciembre se jubila anticipadamente el ITA D. Ildefonso García Fraga.

#### Formación del personal clave de la Sección

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

Un oficial está realizando la tesis doctoral con título “Caracterización de medidas mediante peine de frecuencias ópticas y transferencia de pureza espectral para relojes ópticos”, en la *Sorbonne Université* de París (antigua *Université Pierre et Marie Curie*), cuyos trabajos y desarrollos alcanzados se corresponden perfectamente con la primera fase del proyecto CIROEs, teniendo prevista la defensa para mediados del año 2021, por lo que a su finalización ejercerá el liderazgo de esta fase.

Por otra parte, dos oficiales más se encuentran realizando el segundo año de Máster (curso 2020-2021) en la especialidad de Fotónica por la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), al objeto de alcanzar una base amplia y sólida en diferentes áreas de la fotónica, así como profundizar en los fundamentos teóricos y experimentales de la óptica cuántica y no lineal, circuitos fotónicos e ingeniería óptica. A su finalización, uno de ellos realizará el trabajo de fin de máster con título “*Towards degenerate Fermi gases of strontium atoms*” en el Instituto de Ciencias Fotónicas (ICFO) de Barcelona, quien se

integrará posteriormente en el núcleo de trabajo del reloj óptico; mientras que el otro realizará una estancia de investigación de un año de duración en el Observatorio de París (18SIB05-RMG2), que versará sobre el enfriamiento de átomos mediante radiación láser, dentro del programa EMPIR ROCIT: “Robust optical clocks for international timescales”.

Finalmente, se tiene previsto que un Ingeniero Técnico de Arsenales comience el año 2021 una estancia de investigación de 6 meses de duración, a realizar en el NPL (*National Physical Laboratory*) del Reino Unido, bajo el mismo proyecto ROCIT (18SIB05-RMG1), referente al sistema de control ARTIQ basado en dispositivos FPGA, con el fin de simplificar y aunar el control de los diferentes dispositivos involucrados en el funcionamiento de un reloj óptico, bajo una misma plataforma software.

#### 4.9. Otros hechos de interés

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

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



Figura 4.14: Sistema de Referencia Óptico (ORS) y peine de frecuencias ópticas del proyecto CIROEs.

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

Durante todo el 2020 la empresa Ingemation ha realizado varias actuaciones en el Laboratorio de Hora (LHROA), previa adecuación de una nueva sala para el reloj óptico. Concretamente ha llevado a cabo el montaje e instalación de las mesas ópticas, además de proporcionar todos los entregables correspondientes a la presente anualidad, conforme con lo especificado en los pliegos de cláusulas administrativas particulares y de prescripciones técnicas del contrato. En la figura 4.14 se muestra la sala del reloj óptico, donde pueden apreciarse el peine de frecuencias y el sistema de referencia óptico, elementos clave para poder acometer la primera fase de desarrollo del proyecto.

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

### Revisión por pares del Laboratorio de Hora

Durante los días 17 y 18 de noviembre se celebró por videoconferencia la revisión por pares "Peer Review" del Laboratorio de Hora del ROA (figura 4.14). Se trata de un mecanismo internacional de auditoría implementado por la Asociación Europea de Institutos Nacionales de Metrología (EURAMET) que permite examinar el Sistema de Gestión de la Calidad (SGC) y la competencia técnica de un laboratorio.

Como su propio nombre indica, este tipo de auditorías se realiza por parejas de laboratorios, institutos nacionales de metrología que son referencia en sus propios países, puesto que no existe ninguna institución por encima de estos laboratorios que pueda realizar este tipo de tareas. Las auditorías en sí las realizan expertos de reconocido prestigio y demostrada experiencia, procedentes de otros laboratorios europeos. En esta ocasión, el equipo auditor estuvo compuesto por el Director Técnico del laboratorio de Tiempo y Frecuencia del Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica italiano, Ing. Ezio Dragone, y el Director Técnico del laboratorio de Tiempo y Frecuencia del Instituto Português da Qalidade Sr. Carlos Pires.



Figura 4.15: Personal técnico y de calidad del ROA durante la realización de la auditoría.

Concluida la revisión por pares, el equipo auditor se ha pronunciado muy positivamente respecto al SGC del laboratorio, refiriéndose a la satisfactoria competencia técnica del

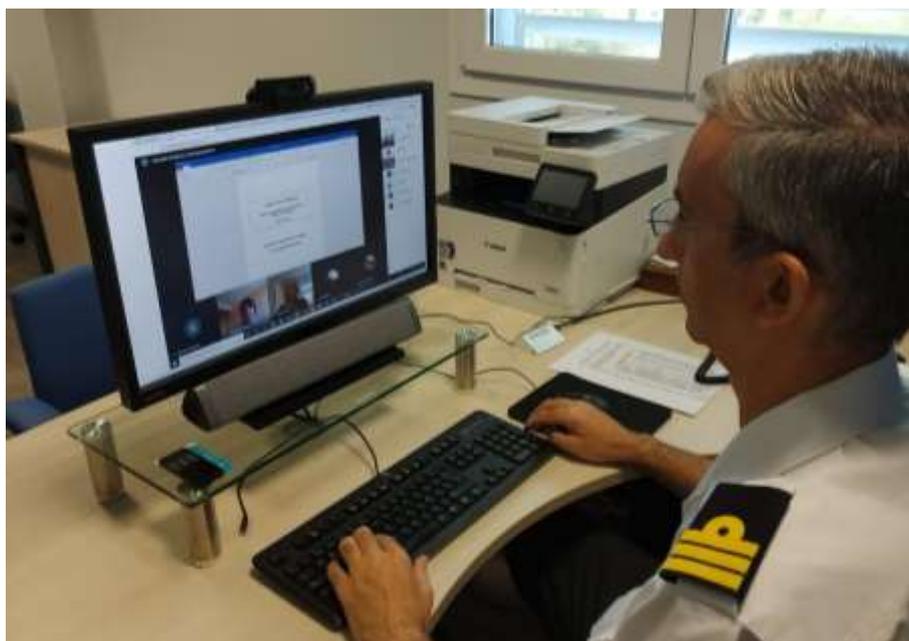
personal, a su alta motivación y a la notable organización y ejecución de los trabajos. La valoración general manifestada en el Informe Final evidencia que se dispone de un SGC adecuado y adaptado a los requerimientos generales establecidos en la norma ISO/IEC 17025:2017 (competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración), en conformidad con los requisitos del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo del Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM-MRA), en cuyo marco normativo, los institutos metroológicos nacionales demuestran la equivalencia internacional de sus patrones de medida.

De esta manera, ha quedado reforzada la confianza en el patrón de la unidad básica de tiempo y en su escala de tiempo UTC(ROA), así como en sus Capacidades de Medida y Calibración (CMC) y en los Certificados de Calibración emitidos que derivan de dichas capacidades, por lo que se prolonga durante cinco años más la confianza en la eficacia de dicho sistema.

### **Tribunal de tesis doctoral organizado por el Politecnico di Turin (Italia)**

Durante la mañana del miércoles 22 de julio, el CF. Dr. Héctor Esteban, Jefe de la Sección de Hora, asiste como miembro del tribunal internacional de tesis doctoral organizado por el Politecnico di Turin, a la lectura y defensa por parte de D. Wei Huang de la tesis titulada "Improved PPP for time and frequency transfer and real-time detection of GNSS satellite clock frequency Anomalies". El acto fue realizado telemáticamente, ante la imposibilidad de la celebración presencial debido a la situación actual de la Covid-19.

Este tipo de colaboración en el ámbito académico nacional como internacional, se engloba dentro las actividades y cometidos del personal científico del ROA en posesión del título de Doctor, y con acredita experiencia investigadora en campos afines al programa de doctorado realizado por el doctorando, como ocurre con la presente participación, al estar encuadrada en unas de las áreas fundamentales de su actividad científica, como es la metrología de tiempo y frecuencia y los sistemas globales de navegación por satélite GNSS.



*Figura 4.16: CF. Esteban durante la firma del acta de la defensa de tesis doctoral.*

**Café con Ciencia**

Los días 9 y 11 de noviembre, el CF Héctor Esteban Pinillos asiste, por VTC, como ponente a las jornadas de Café con Ciencia en el ROA, enmarcadas dentro de la XX Semana de la Ciencia y organizadas por la Consejería de Economía y Conocimiento y la Fundación Descubre. Siendo el científico encargado de la mesa titulada “Custodios del tiempo”.

## 5. Servicio de Biblioteca y Archivo

La Instrucción de Organización número 1/2011, de 27 de enero, del entonces Almirante Jefe de Servicios Generales, por la que se estableció la vigente organización del Real Instituto y Observatorio de la Armada, asignó al Servicio de Biblioteca y Archivo las funciones relacionadas con el patrimonio histórico y cultural de la Institución, ya sea bibliográfico (Biblioteca), documental (Archivo) o museológico (Colección Museográfica).

### 5.1. Fondos

#### 5.1.1. Fondos bibliográficos (monografías y publicaciones periódicas)

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



Figura 5.1: Albumasar, *Introductorium in astronomia* (1489).

Durante el siglo XIX se produjo un continuo incremento de los fondos bibliográficos del Observatorio, motivado esencialmente por tres causas: la recogida de obras de otros centros de la Armada, el encargo de libros al extranjero y el intercambio de publicaciones con otras instituciones. A partir de 1856, la creación del Curso de Estudios Superiores con sede en el Observatorio, siguiendo la tradición iniciada en el siglo anterior, cuando determinados oficiales de la Armada llevaban a cabo los llamados estudios mayores, fue origen de la adquisición de un importante número de libros de carácter especializado para las nuevas necesidades docentes. A lo largo del siglo XX la expansión de la Biblioteca continuó a buen ritmo, hasta el punto de que sus dependencias terminaron ocupando la mayor parte del edificio principal del Observatorio. En la actualidad, sus

fondos forman una de las más interesantes bibliotecas científicas del país, inseparable del quehacer científico del Observatorio y de las tareas docentes de la Escuela de Estudios Superiores de la Armada.



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

La Biblioteca del Real Observatorio de la Armada contaba, a fines de 2019, con 30.355 volúmenes catalogados, incluido el fondo antiguo. A lo largo de este año, ingresaron 44 nuevos volúmenes en la Biblioteca, la mayoría procedentes de donaciones de otras instituciones y de intercambios con otros centros. Las publicaciones periódicas representan una parte importante del material que entra en la Biblioteca. A las suscripciones que se mantienen, hay que añadir un número considerable de publicaciones periódicas de carácter científico que, con bastante regularidad, llegan a San Fernando, de diversos países de todo el mundo, gracias al intercambio con las publicaciones editadas por el Observatorio.

Además de monografías y publicaciones periódicas, la Biblioteca del Observatorio conserva una interesante colección de material cartográfico, compuesta principalmente por cartografía náutica de las costas españolas de los siglos XVIII y XIX. Después de varios años de trabajo, el proceso de descripción catalográfica de la colección de cartas, mapas y planos del Observatorio finalizó durante el segundo semestre de 2001. Unos meses más tarde, a principios de 2002, fue publicado y puesto a disposición de los investigadores el catálogo de la colección. Esta colección de materiales cartográficos fue completamente digitalizada, gracias a un proyecto de colaboración con el Archivo Naval de Cartagena desarrollado a lo largo de los años 2007 y 2008. Los 28.800 archivos digitales obtenidos a lo largo del proceso de digitalización están almacenados en dos discos duros externos instalados en el Centro de Cálculo del Observatorio y accesibles mediante la red local. Uno de ellos (CARTO1) contiene las imágenes de la colección y el otro está destinado a almacenar la copia de seguridad (CARTO2).

Más adelante, durante el segundo semestre de 2011, se incorporaron a la colección 485 nuevos mapas, que fueron catalogados por el personal contratado para el Archivo. Con estas nuevas incorporaciones, la colección de Cartografía del Real Observatorio de la

Armada pasó a estar formada por 3.968 unidades cartográficas. Todas ellas están debidamente catalogadas, aunque estas últimas incorporaciones no han podido ser incluidas hasta ahora en ningún proyecto de digitalización.

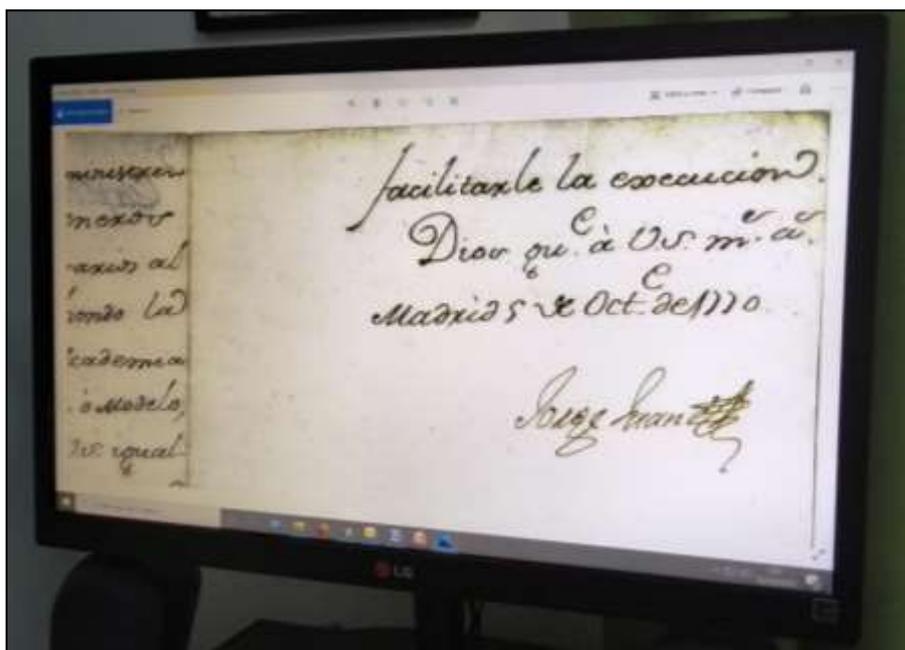


Figura 5.3: Consulta en pantalla de materiales cartográficos digitalizados.

### 5.1.2. Archivo Histórico

El Archivo Histórico del Observatorio, integrado en el Subsistema Archivístico de la Armada, contiene documentación sobre el acontecer administrativo y científico de la institución desde 1768 en adelante. Durante la segunda mitad del año 2013, gracias a la asistencia técnica “Incorporación al Archivo Histórico de documentación procedente del Archivo Científico de la Sección de Geofísica del Real Instituto y Observatorio de la Armada (ROA) en San Fernando (Cádiz)”, promovida desde la Subdirección General de Publicaciones y Patrimonio Cultural y desarrollada por personal de la empresa Normadat, se incorporaron al Archivo 342 cajas/legajos (cerca de 43 metros lineales de documentación). A lo largo del año 2016, gracias a la colaboración de Antonio Ruiz Herrera, alumno del Máster de Patrimonio Histórico de la Universidad de Cádiz que realizó en el ROA sus prácticas de empresa, se llevó a cabo la última incorporación de fondos al Archivo (104 nuevas cajas con documentación). A partir de entonces, el Archivo Histórico del Observatorio quedó formado por un total de 2.178 cajas, 1.111 libros manuscritos y 90 legajos de gran tamaño.

Durante 2018 y 2019 se llevaron a cabo nuevas transferencias de documentación procedente de las secciones del Centro. Durante las últimas semanas de 2020 se ha procedido a la integración de estos fondos en el Archivo Histórico (aproximadamente 25 metros lineales) y a la actualización de su Inventario, gracias a una asistencia técnica promovida por la Subdirección General de Publicaciones y Patrimonio Cultural y desarrollada por personal de la empresa Ingemation.



Figura 5.4: Depósito del Archivo del Real Instituto y Observatorio de la Armada.

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

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

Durante los últimos meses de 2020 se ha recuperado parte de la parte más antigua de esta colección de 287 cajas, cuyas placas no están inventariadas ni catalogadas, además de no estar almacenadas de la forma más conveniente. El trabajo realizado, que se ha podido llevar a cabo gracias a una asistencia técnica promovida por la Subdirección General de Publicaciones y Patrimonio Cultural, consiste en el inventariado de las placas, identificando la técnica fotográfica utilizada y el objeto o fenómeno fotografiado. Además, se ha procedido a la limpieza de los materiales y al estudio del estado de degradación de los fondos, finalizando con su almacenamiento en envoltorios de papel con ph neutro y en cajas de conservación para materiales fotográficos.

El segundo grupo de material fotográfico, las fotografías en papel, está integrado por un número aún sin determinar de fotografías en blanco y negro y en color. A lo largo de 2018 se inició la catalogación y digitalización de una gran parte de la colección de fotos en blanco y negro (unos 1.000 registros, mediante una asistencia técnica de la empresa Ascirect gestionada por la Subdirección General de Publicaciones y Patrimonio Cultural del Ministerio de Defensa).



*Figura 5.5: Caja con placas fotográficas de la observación de un eclipse.*

### **5.1.3. Colección Museográfica**

A finales de 2015 fue creada la Red de Museos de Defensa mediante la Orden de Defensa número 2532/2015 de 18 de noviembre, en la que se definen los procedimientos para la gestión de los bienes muebles del Patrimonio Histórico Español adscritos al Ministerio de Defensa. Según esta disposición oficial, se entiende por colección museográfica el conjunto de bienes culturales que, sin reunir todos los requisitos necesarios para desarrollar las funciones propias de un museo, están organizadas siguiendo criterios museológicos, tienen un régimen de visitas establecido y disponen de medidas de conservación y seguridad. Como consecuencia de ello, la mencionada Orden reconoció a la Colección Museográfica del Real Observatorio de la Armada como una de las colecciones patrimoniales de la Armada. Esta colección museográfica está integrada tanto por la Colección de Instrumentos Antiguos como por el resto de los bienes culturales del Centro dados de alta en el Sistema MILES como fondos patrimoniales. A fines de 2020 la colección estaba formada por un total de 1.250 piezas, destacando especialmente la incorporación a la misma de dos objetos construidos por la casa Carl Zeiss: unos prismáticos de guerra construidos en los Países Bajos como consecuencia de las restricciones impuestas a Alemania tras la Primera Guerra Mundial y una Mesa Medidora de placas Ascorecord adquirida en 1976 para la medición de las últimas series de placas fotográficas realizadas con el Astrógrafo Gautier.



Figura 5.6: Prismáticos Nedinsco / Carl Zeiss (Nº Inv. ROA 1249/PH).

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

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

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

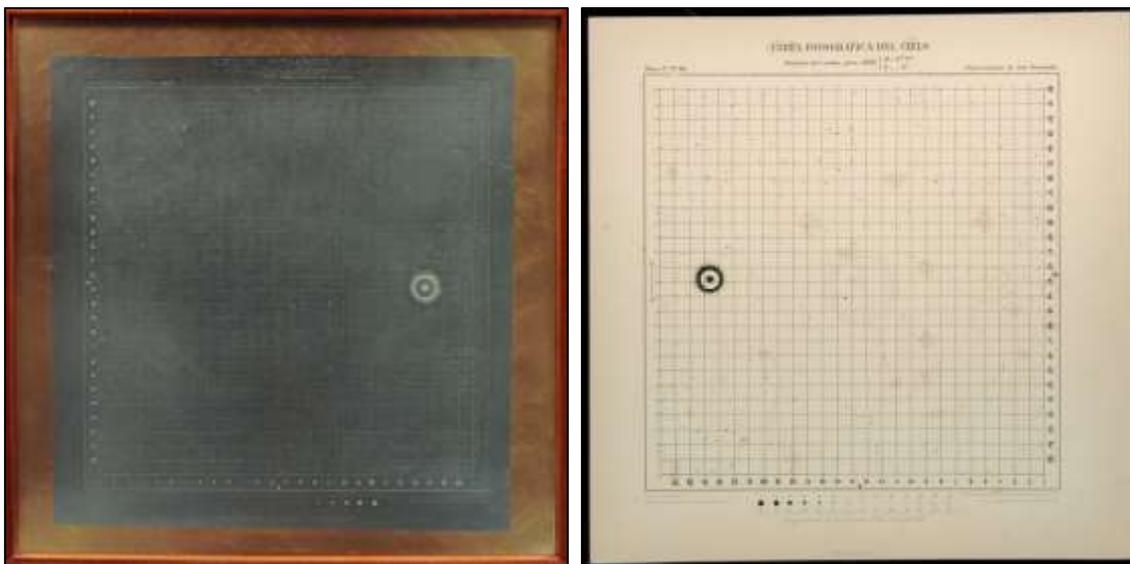


Figura 5.7: Matriz de grabado de la Carta del Cielo, y su correspondiente hoja de papel.

#### 5.1.4. Patrimonio cultural del ROA en la Biblioteca Virtual de Defensa

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

Durante 2020, el Real Instituto y Observatorio de la Armada ha contribuido a esta iniciativa con las imágenes de los libros de la Biblioteca digitalizados para el proyecto de la Biblioteca Virtual del Patrimonio Bibliográfico Español, las piezas de la Colección Museográfica y, por último, de los materiales correspondientes al proyecto de la Carta del Cielo. Con estos últimos, la Biblioteca Virtual de Defensa ha creado un micrositio en el que se pueden encontrar las imágenes digitales relacionadas con el citado proyecto: los instrumentos de observación y medición, las placas de vidrio con los registros fotográficos, el Catálogo Astrofotográfico de San Fernando, las hojas impresas de la Carta Fotográfica del Cielo correspondientes a la zona de San Fernando (720 hojas) y la colección de las planchas de cobre (matrices de grabado) usadas para imprimir las hojas impresas de la Carta Fotográfica del Cielo (413 planchas).

## 5.2. Consultas y préstamos

### 5.2.1. Instalaciones y servicios

Tradicionalmente, el principal servicio ofrecido por la Biblioteca a sus usuarios es el préstamo de publicaciones en tres modalidades: préstamo a las Secciones, préstamo a los alumnos de Estudios Superiores y préstamo en sala de consulta. El personal

científico y técnico del Observatorio utiliza principalmente los fondos modernos de la Biblioteca, que son aprovechados para el mejor desarrollo de sus proyectos y trabajos de investigación. El préstamo en sala, utilizado esporádicamente por el personal del Observatorio, se lleva a cabo casi siempre con los usuarios externos a la Biblioteca. A lo largo de 2020 se ha mantenido un total de 486 préstamos activos al personal y las secciones del Observatorio.

La consulta del catálogo, el préstamo en sala, el préstamo a las distintas secciones, la fotocopia y la reproducción digital están autorizados, y se realizan con normalidad. El personal de la Biblioteca desarrolla sus tareas profesionales en una sala de trabajo, contigua a la sala de consulta, donde se encuentran los ficheros informatizados, y las obras de referencia.

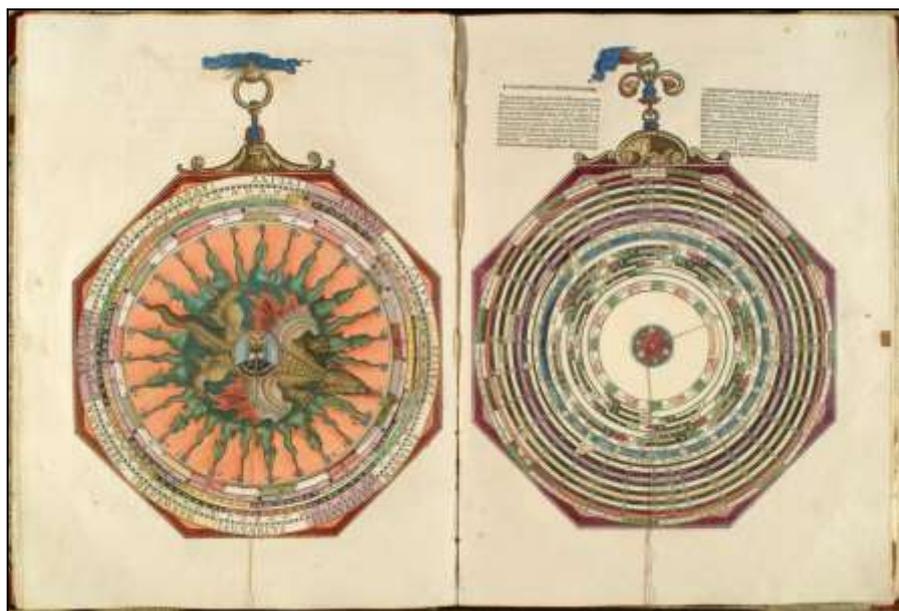


Figura 5.8: Apiano, *Astronomicum caesareum* (1540).

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

### 5.2.2. Usuarios externos

En cumplimiento de la normativa vigente, cualquier investigador externo puede tener libre acceso a la consulta de los fondos de la Biblioteca y del Archivo Histórico, acreditando su condición de investigador o estudiante universitario, y aceptando unas normas similares a las exigidas en otros centros de investigación bibliográfica y documental. Aunque no en gran número, es constante la presencia de este tipo de personas que encaminan sus trabajos hacia la elaboración de artículos y publicaciones o hacia la redacción de tesinas y tesis doctorales.

Nuestro fichero de usuarios nos ha permitido contabilizar, durante 2020, el uso de la Biblioteca por 12 nuevos investigadores externos, interesados en el desarrollo de tesis doctorales, trabajos de investigación histórica normalmente relacionados con historia de

la ciencia, expediciones ilustradas, instrumentación científica y estudios específicos de matemáticas, física, astronomía, geofísica y geodesia, tanto en su desarrollo histórico como en su temática actual.



*Figura 5.9: Sala de investigadores del Servicio de Biblioteca y Archivo.*

### **5.2.3. Colaboración con la Red de Bibliotecas de Defensa**

Como en años anteriores, se ha continuado avanzando en la organización de la Red de Bibliotecas de Defensa. Desde un primer momento, la Unidad de Coordinación Bibliotecaria del Ministerio de Defensa (Subdirección General de Publicaciones y Patrimonio Cultural) ha contado con la Biblioteca del Real Instituto y Observatorio de la Armada como una de las integrantes de esta red. En 2020 las doce bibliotecas de la Armada integradas en la Red tuvieron como centro de referencia técnica a la Biblioteca del Observatorio, cuyo responsable, Francisco José González, ejerció hasta fin de 2020 como Director Técnico de la Subred Orgánica de las Bibliotecas de la Armada. Desde la Biblioteca del ROA se ha colaborado habitualmente con las asistencias técnicas gestionadas por la Subdirección General de Publicaciones y Patrimonio Cultural para la catalogación de fondos bibliográficos pertenecientes a la Biblioteca Naval de San Fernando y al Instituto Hidrográfico de la Marina.

Por otro lado, y como consecuencia de las gestiones realizadas por la Unidad de Coordinación Bibliotecaria del Ministerio de Defensa ante la Subdirección General de Coordinación Bibliotecaria del Ministerio de Cultura y Deporte, la Biblioteca del Real Instituto y Observatorio de la Armada continuó, durante 2020, su colaboración con el Catálogo Colectivo del Patrimonio Bibliográfico y con la Biblioteca Virtual del Patrimonio Bibliográfico. El Catálogo Colectivo del Patrimonio Bibliográfico responde a un programa conjunto del citado Ministerio y las Comunidades Autónomas, de acuerdo con la Ley 16/1985 de Patrimonio Histórico, cuyo objetivo es la descripción y localización de libros y otros fondos bibliográficos, depositados en bibliotecas e instituciones españolas públicas o privadas, que por su antigüedad, singularidad o riqueza forman parte del Patrimonio Histórico Español.

Esta colaboración se ha completado, como en años anteriores, con la participación de la Biblioteca del Observatorio en la Biblioteca Virtual del Patrimonio Bibliográfico, un

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



Figura 5.10: Imagen de una consulta de fondos en la Biblioteca Virtual de Defensa.

## 5.3. Otras actividades

### 5.3.1. Actividades docentes y de investigación

Durante el curso académico 2019-2020, el Director Técnico de Biblioteca y Archivo Histórico, T.S. Francisco José González, continuó formando parte del equipo docente e investigador del Máster Oficial de Arqueología Náutica y Subacuática de la Universidad de Cádiz. De igual forma, durante este mismo curso académico ha continuado con su labor como profesor responsable, en calidad de profesor asociado, de la asignatura cuatrimestral Historia de la Ciencia, incluida en el Máster de Astronomía y Geofísica impartido en la Escuela de Estudios Superiores en Ciencias Físico-Matemáticas de la Armada, en la que colabora como profesor desde el curso académico 2007-2008.

Durante 2020, el Director Técnico de Biblioteca y Archivo Histórico, T.S. Francisco José González, continuó formando parte del Grupo de Estudios del Siglo XVIII de la Universidad de Cádiz, en el que ingresó en 1993 en calidad de investigador (doctor en historia), y del Consejo de Redacción de la revista editada por el citado grupo con el título de Cuadernos de Ilustración y Romanticismo (ISSN: 1132-8304). Este grupo de investigación, adscrito al Departamento de Historia, Geografía y Filosofía de la Universidad de Cádiz (Facultad de Filosofía y Letras), está subvencionado por el Plan Andaluz de Investigación de la Junta de Andalucía (Grupo nº 1153, Programa de Promoción General del Conocimiento) y tiene como principal objetivo el estudio de las relaciones existentes entre el siglo XVIII español y el europeo. Por otro lado, desde enero de 2013, es miembro de la Red de Expertos del Proyecto Campus de Excelencia Internacional en Patrimonio concedido por el Ministerio de Ciencia e Innovación (CEB09-

0032) a las universidades andaluzas, coordinadas por la Universidad de Jaén. Además, durante 2020, ha continuado ejerciendo como miembro del Consejo de Redacción de Trocadero. Revista del Departamento de Historia Moderna, Contemporánea, de América y del Arte de la Universidad de Cádiz.



*Figura 5.11: Cuarto de círculo Ramsden, en la exposición del Parque de las Ciencias.*

Por otro lado, durante el mes de febrero se recibió de la Universidad Nacional de Colombia para la participación del Director Técnico de Biblioteca y Archivo en la Cátedra La astronomía y la ciencia en Colombia durante la transición de la Colonia a la República (1804-1822), en la que debía impartir unas ponencias sobre la colección de instrumentos del Real Instituto y Observatorio de la Armada, además de colaborar en el diagnóstico del estado de las colecciones históricas del Observatorio Nacional de Colombia. Sin embargo, como consecuencia de las restricciones de movimientos impuestas por la pandemia de la COVID-19, esta colaboración, prevista para el mes de noviembre de 2020, no ha podido ser llevada a cabo

### **5.3.2. Exposiciones**

El fondo antiguo de la Biblioteca del Real Instituto y Observatorio de la Armada, está compuesto por importantes obras y documentos de un interés muy especial para la historia de la ciencia. Algunos de los ejemplares más representativos de estos fondos están expuestos en unas vitrinas distribuidas por todas las salas de la Biblioteca. La actual exposición, titulada Los libros de los Marineros de la Ilustración, 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).



Figura 5.12: Embalaje del material destinado a la exposición en el Parque de las Ciencias.

Además, durante 2020 el Real Instituto y Observatorio de la Armada cedió piezas de su patrimonio cultural a la exposición temporal titulada *Tocar el cielo, explorar el espacio*, que permanecerá abierta en el Parque de las Ciencias de Granada hasta el año 2021. Los fondos prestados fueron los siguientes:

*Nº Inventario: 0117 / PH*

*Nombre: Astrolabio astronómico*

*Constructor: Autor desconocido*

*Lugar/fecha: Madrid, [copia de un original de 1563]*

*Descripción: Instrumento astronómico*

*Nº Inventario: 0084/PH*

*Nombre: Cuarto de círculo*

*Constructor: Ramsden*

*Lugar/fecha: Londres, 1789*

*Descripción: Instrumento astronómico usado en navegación*

*Nº Inventario: 0127/PH*

*Nombre: Espectroscopio estelar*

*Constructor: Browning*

*Lugar/fecha: Londres, [1873]*

*Descripción: Instrumento astronómico*

*Nº Inventario: 0458/FOT*

*Nombre: Imagen de la separación de la cápsula espacial Apollo VIII (S-IVB)*

*Autor: [Oscar Rodríguez]*

*Lugar/fecha: San Fernando, Satellite Tracking Satellite S.A.O., 1968*

*Descripción: Fotografía en blanco y negro*

Nº Inventario: 0459/FOT

Nombre: *Imagen de la separación de la cápsula espacial Apollo VIII (S-IVB)*

Autor: [Oscar Rodríguez]

Lugar/fecha: San Fernando, Satellite Tracking Satellite S.A.O., 1968

Descripción: *Fotografía en blanco y negro*

Nº Inventario: 0460/FOT

Nombre: *Imagen de la separación de la cápsula espacial Apollo VIII (S-IVB)*

Autor: [Oscar Rodríguez]

Lugar/fecha: San Fernando, Satellite Tracking Satellite S.A.O., 1968

Descripción: *Fotografía en blanco y negro*

Nº Inventario: 0461/FOT

Nombre: *Imagen de la separación de la cápsula espacial Apollo VIII (S-IVB)*

Autor: [Oscar Rodríguez]

Lugar/fecha: San Fernando, Satellite Tracking Satellite S.A.O., 1968

Descripción: *Fotografía en blanco y negro*

Nº Inventario: 0462/FOT

Nombre: *Imagen de la separación de la cápsula espacial Apollo VIII (S-IVB)*

Autor: [Oscar Rodríguez]

Lugar/fecha: San Fernando, Satellite Tracking Satellite S.A.O., 1968

Descripción: *Fotografía en blanco y negro*

### 5.3.3. Restauración de encuadernaciones

Los trabajos de limpieza de los libros y los depósitos de las tres primeras salas de la Biblioteca, llevados a cabo en 2019, permitieron establecer una relación de los fondos bibliográficos con deterioros importantes en su encuadernación que necesitan una urgente intervención para proteger su contenido mediante la restauración de sus encuadernaciones. Aunque, en general, el papel de las páginas se encuentra en buen estado, se detectaron muchos volúmenes con roturas y deformaciones en la parte superior del lomo, puntas de encuadernación golpeadas, cofias deterioradas, guardas deterioradas, encuadernaciones sueltas, tomos carentes de lomo y algunas roturas, además de algún deterioro por suciedad acumulada. De ahí que sea necesario emprender un proceso de restauración de encuadernaciones siguiendo un orden de prioridad marcado tanto por la intensidad del deterioro como por el valor y la antigüedad de la obra a tratar.



Figura 5.13: Antes y después de la restauración del Atlas de Labillardière.

Como consecuencia de ello, durante 2020 se ha procedido a la restauración de las encuadernaciones de tres volúmenes, que se ha centrado especialmente en reforzar enlomados, reparar guardas, consolidar puntas y cofias, reparar roturas y encuadernaciones sueltas. Las obras elegidas, restaurada por la empresa Encuadernaciones Alés de Sevilla, fueron las siguientes:

*Sign.: 06217*

*Título: Relation du voyage à la recherche de La Pérouse (Tomo I)*

*Autor: Jacques Julien Houtou de La Billardière*

*Lugar: Paris, Chez H. J. Jansen*

*Fecha: 1799*

*Sign.: 06218*

*Título: Relation du voyage à la recherche de La Pérouse (Tomo II)*

*Autor: Jacques Julien Houtou de La Billardière*

*Lugar: Paris, Chez H. J. Jansen*

*Fecha: 1799*

*Sign.: 06219*

*Título: Atlas pour servir à la relation du voyage à la recherche de La Pérouse*

*Autor: Jacques Julien Houtou de La Billardière*

*Lugar: Paris, Chez H. J. Jansen*

*Fecha: 1799*

#### **5.3.4. Comunicaciones y conferencias**

*Métodos e instrumentos de navegación en las expediciones marítimas de la Edad Moderna*

V Semana de la Ciencia

I.E.S. López de Arenas (Marchena, febrero, 2020)

Conferencia.

*Los Ingenieros de la Armada y el Real Observatorio: su formación científica en los Cursos de Estudios Superiores (siglos XIX y XX)*

Clausura del Curso Académico 2019-2020 de la Promoción XLI de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Armas Navales (Madrid, julio, 2020).

Videoconferencia.

*La navegación astronómica a través de la historia. El problema de la longitud*

X Seminario "Navegación Astronómica". Semana Naval de la Armada.

Real Instituto y Observatorio de la Armada (San Fernando, septiembre, 2020).

Videoconferencia.

*Instrumentos náuticos. Evolución histórica*

X Seminario "Navegación Astronómica". Semana Naval de la Armada.

Real Instituto y Observatorio de la Armada (San Fernando, septiembre, 2020).

Videoconferencia.

*Métodos de navegación e instrumentos náuticos en la Edad Moderna (siglos XV-XVIII)*

V Máster de Arqueología Náutica y Subacuática de la Universidad de Cádiz.

Real Instituto y Observatorio de la Armada (San Fernando, noviembre, 2020).

Videoconferencia (2 horas lectivas).

## **5.4. Personal**

### **5.4.1. Personal**

Durante 2020, el personal asignado al Servicio de Biblioteca y Archivo fue el siguiente:

Francisco José González (Técnico Superior de Bibliotecas), Director Técnico.  
Francisco López Vico (Jefe de Negociado), Biblioteca y Archivo.

Cabe destacar que el Director Técnico pasará al retiro voluntario a principios del año 2021, dejando vacante ese puesto.

### **5.4.2. Comisiones de servicio**

T.S. Francisco José González.  
Granada, Parque de las Ciencias (enero).

T.S. Francisco José González.  
Marchena, I.E.S. López de Arenas (febrero).

T.S. Francisco José González.  
Sevilla, Encuadernaciones Alés (junio).

T.S. Francisco José González.  
Sevilla, Encuadernaciones Alés (julio).



*Figura 5.14: Sala VIII (Cálculos del Almanaque y Placas de la Carta del Cielo)*



## **6. Escuela de Estudios Superiores de la Armada**

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

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

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

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

### **6.1 Cursos EESS y MAG impartidos**

A lo largo del año 2020, se han impartido los siguientes cursos:

- XXII Máster en Astronomía y Geofísica (MAG):

Este curso, de dos años de duración, comenzó el 1 de septiembre de 2018 y finalizó el 31 de julio de 2020, cursándose el segundo año en las Universidades de Madrid y del País Vasco (septiembre 2019 a julio 2020).

Alumnos:      TN. D. Victor de Ory Guimerá.  
                    TN. D. Julián Fiz Barrena.

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

Este curso, de dos años de duración, comenzó el 2 de septiembre de 2019 y finalizará el 30 de julio de 2021. El 15 de julio finalizó el primer año cursado en la EES, y en septiembre de este año comenzó el segundo año en universidades españolas, dos oficiales en la Universidad Politécnica de Cataluña y uno en la Universidad Complutense de Madrid.

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

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

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

Alumnos: AN. D. Pedro Luis Ortega Pérez.

AN. D. Rafael Carrillo Navarro.

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

- CN. (Reserva) D. José Martín Dávila. (Profesor titular).
- CN. (Reserva) D. Jorge Garate Pasquín. (Profesor Asociado).
- CN. D. Francisco J. Galindo Mendoza.
- CN. D. Antonio A. Pazos García.
- CF. D. Manuel Catalán Morollón.
- CC. D. Héctor Esteban Pinillos.
- CC. ING. Don Juan Manuel González Sánchez (Profesor Asociado).
- CC. D. Lluís Canals Ros.
- CC. D. Sergio Borralló Tirado.
- TN. D. Héctor Álvarez Martínez.
- TN. Dña. María del Carmen Vélez López.
- TN. D. Roberto Cabieces Díaz.
- TN. D. Victor de Ory Guimerá (desde agosto de 2020).
- TN. D. Julián Fiz Barrena (desde agosto de 2020).
- ITA. D. Jose Manuel Suarez Rodriguez de Arellano (Profesor Asociado).

Hay que destacar que a partir del 14 de marzo, con la declaración del estado de alarma ocasionado por la pandemia por COVID-19, tanto el XXII como el XXIII Máster en Astronomía, Geofísica y Hora se impartieron de forma telemática, y la mayoría de profesores de la EES pasaron a una situación de confinamiento domiciliario realizando trabajo de forma telemática utilizando diversas aplicaciones gratuitas de internet, no restableciéndose una situación de nueva normalidad hasta el comienzo del nuevo curso escolar 2020-2021, en septiembre de 2020, donde ha primado la enseñanza presencial, pero teniendo previsto el cambio a la enseñanza virtual caso de la aparición de brotes de COVID-19.

A pesar de tener que adaptar las guías docentes a la enseñanza virtual, se ha podido alcanzar el 99% del programa, incluyendo prácticas. Solamente se vieron afectados los plazos de presentación de los trabajos de fin de máster (TFM) del XXII MAG en las respectivas universidades, y alguna práctica del 1<sup>er</sup> año del XXIII MAGH que se realizaron en el mes de septiembre antes de empezar en las correspondientes universidades.

En julio cesa el CN. (Reserva) D. José Martín Davila, perdiendo un profesor titular de gran experiencia y prestigio, y en agosto se incorporan a la Escuela como profesores titulares el TN. Victor de Ory y el TN. Julián Fiz.

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



*Figura 6.1: Inauguración del curso 2020-2021 en la Escuela de Estudios Superiores.*

## **6.2 Otras actividades**

El 9 de marzo, el Director de la Escuela, CN. D. Francisco Javier Galindo Mendoza, junto con el Subdirector Jefe de Estudios, CN. D. Antonio A. Pazos García, asistieron al acto, presidido por la Exma. Sra. Ministra de Defensa, de nombramiento como reservistas de honor de las FAS al Excmo. Sr. Ministro de Ciencia e Innovación, D. Pedro Duque, junto a otros científicos de renombre como, entre otros, el investigador Mariano Barbacid. El acto se celebró en el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) “Esteban Terradas”.

El 3 de septiembre, en colaboración con el Centro Geográfico del Ejército y en el marco de las actividades programadas para el XXXIV Curso de Geodesia del E.T., varios profesores de la Escuela de Estudios Superiores impartieron diversas conferencias sobre los campos de actividad del ROA, a las que asistieron, además, los alumnos del XXXII Curso de EESS.



*Figura 6.2: XXXIV Curso de Geodesia del E.T*



## A. Actividad Científica

### A.1. Publicaciones

#### A.1.1. Publicaciones editadas por el Observatorio

A lo largo del año 2020, se realizaron las siguientes publicaciones oficiales:

- Almanaque Náutico 2021, con suplemento para la navegación aérea.
- Anales 2019. Observaciones Meteorológicas, Sísmicas y Geomagnéticas.
- Boletín ROA 01/2020.- Beca Fundación Alvargonzález 2019. “DEGORAS project: Prototipo de sistema hardware y software libre para la gestión, control y monitorización de estaciones de telemetría láser”.
- Efemérides Astronómicas 2021.
- Fenómenos Astronómicos 2021-2022.
- Investigaciones Científicas desarrolladas por el Real Instituto y Observatorio de la Armada en el año 2019.

#### A.1.2. Artículos en revistas

A lo largo del año 2020, el personal científico del Real Instituto y Observatorio de la Armada ha publicado un total de 10 artículos (ver los apartados correspondientes de las secciones científicas para más información) en revistas nacionales e internacionales:

- **Título:** El maremoto que viene.  
**Autores:** A. Pazos García y F.J. Galindo Mendoza.  
**Revista:** Revista General de Marina, enero-febrero 2020.
- **Título:** Magnetic anomaly map of the NW Iberian continental margin and the adjacent abyssal plains.  
**Revista:** Journal of Maps (publicado el 30 agosto de 2020).  
**Autores:** M. Druet, M. Catalán, J. Martín-Davila, Y. M. Martos, A. Muñoz-Martín, J.L. Granja-Bruña, A. Maestro.
- **Título:** Unveiling Powell Basin’s Tectonic Domains and Understanding Its Abnormal Magnetic Anomaly Signature. Is Heat the Key?  
**Autores:** M. Catalán, Y.M. Martos, J. Galindo-Zaldivar, L. F. Pérez, F. Bohoyo.  
**Revista:** Frontiers in Earth Science. 1-17, DOI 10.3389/feart.2020.580675.
- **Título:** Bootstrapping Swarm and observatory data to generate candidates for the DGRF and IGRF-13.  
**Autores:** F. J. Pavón-Carrasco, S. Marsal, J. M. Torta, M. Catalán, F. Martín-Hernández, J. M. Tordesillas.  
**Revista:** Earth, Planets and Space. 1-14. DOI 10.1007/s00024-019-02380-4.

- **Título:** Focal parameters for earthquakes of SW Saint Vincent Cape using inland and OBS stations.  
**Autores:** R.Cabieces, E. Buforn, A. Pazos, S. Cesca.  
**Revista:** Pure and Applied Geophysics (publicado en marzo de 2020).
- **Título:** Accurate laser frequency locking to optical frequency combs under low-signal-to-noise-ratio conditions  
**Autores:** C. Guo, M Favier, N. Galland, V. Cambier, H. Álvarez-Martínez, M. Lours, L. De Sarlo, M. Andia, R. Le Targat and S. Bize.  
**Revista:** Review of Scientific Instruments 91, 033202 (2020).
- **Título:** Alerta por Terremoto: Unos segundos que pueden salvar vidas.  
**Autores:** A. Pazos García.  
**Revista:** Revista General de Marina, junio 2020.
- **Título:** Una triple perspectiva del impacto de las investigaciones espaciales en el conocimiento de nuestro planeta.  
**Autores:** Francisco Javier Galindo Mendoza.  
**Revista:** Revista MAPPING, Vol 29, 200, 58-59, marzo-junio 2020.
- **Título:** La Armada y la metrología de tiempo: el camino hacia una nueva redefinición del segundo  
**Autores:** H. Álvarez-Martínez y H. Esteban Pinillos.  
**Revista:** Revista General de Marina, octubre 2020.
- **Título:** Slowness vector estimation over large-aperture sparse arrays with the Continuous Wavelet Transform (CWT): Application to Ocean Bottom Seismometers.  
**Autores:** R. Cabieces, F. Krüger, A. Garcia-Yeguas, A. Villaseñor, E. Buforn, A. Pazos, A. Olivar-Castaño, J. Barco.  
**Revista:** Geophysical Journal International, Volume 223, Issue 3, December 2020, Pages 1919–1934, <https://doi.org/10.1093/gji/ggaa427>.

## A.2. Comunicaciones en congresos

A lo largo del año 2020, el personal científico del ROA ha presentado un total de 3 comunicaciones, 1 en congresos nacionales y 2 en congresos internacionales:

### A.2.1. Nacionales

- **Autores:** José Luis Gutierrez Sacristán.  
**Título:** Problemática en la integración de los sistemas de navegación inercial de los buques con sistemas de navegación astronómica para redundancia efectiva frente a privación de servicio GNSS.  
**Congreso:** VIII Congreso Nacional de I+D en Defensa y Seguridad (DESEi+D 2020)  
**Lugar:** VTC, 24 de noviembre.

### A.2.2. Internacionales

- **Autores:** J. Dymant, Y. Choi, V. Lesur, A. García-Reyes, M. Catalán, T. Ishihara, T. Litvinova, M. Hamoudi.  
**Título:** The World Digital Magnetic Anomaly Map, version 2.1.  
**Congreso:** European Geoscience Union (EGU) 2020.  
**Lugar:** VTC, 4 al 8 mayo 2020.
- **Autores:** Luis Fernandez-Prieto, Antonio Villaseñor, and Roberto Cabeieces.  
**Título:** Deep Learning P and S wave phase picking of Ocean Bottom Seismometer (OBS) data.  
**Congreso:** European Geoscience Union (EGU) 2020.  
**Lugar:** VTC, 4 al 8 mayo 2020.

### A.3. Participación en comités, congresos y reuniones

#### A.3.1. Nacionales

- Entre el 6 y 7 de febrero, el TN. Roberto Cabeieces participa en unas reuniones en el Instituto Andaluz de Geofísica sobre técnicas de tratamiento de información sísmica utilizando sismómetros de fondo marino.
- Del 19 al 20 de febrero, el CF. Héctor Esteban Pinillos viaja a Madrid, para asistir a la reunión del grupo de trabajo de señales GNSS celebrada en el EMA.
- El 21 de febrero el CF. Manuel Catalán presenta el Proyecto de investigación antártico ElGeoPower en la OCS del AJEMA en Madrid.
- El 27 de mayo se celebra telemáticamente la XII reunión del Grupo de Cartografía Marina participando el CF Manuel Catalán.
- El 24 de noviembre, el ITA. José Luis Gutierrez Sacristán participa en el VIII Congreso Nacional de I+D en Defensa y Seguridad (DESEi+D 2020) celebrado de forma telemática.
- El 24 y 25 de noviembre el CF. Manuel Catalán, y los TTNN Julián Fiz y Victor de Ory participan en la Reunión preparatoria de la campaña antártica dirigida por el Comité Polar Español. Esta se celebra telemáticamente.
- El 26 de noviembre se celebra telemáticamente la XIII reunión del Grupo de Cartografía Marina participando el CF Manuel Catalán.

#### A.3.2. Internacionales

- Del 3 de febrero al 3 de abril, el TN. Héctor Álvarez Martínez viaja a París (Francia) para realizar un curso en el departamento de *Systèmes de Référence Temps Espace* (SYRTE) del Observatorio de París (OP), sobre estabilización de láseres mediante cavidades ultraestables.

### A.4. Campañas, Calibraciones y Mantenimientos

- El 21 de enero el personal técnico del servicio de sismología se desplazó a la estación de Conil de la Frontera (CNIL) al objeto de instalar una nueva puerta de acceso al local y realizar labores de mantenimiento.

- El 28 de enero el personal técnico del servicio de sismología se desplazó a la estación de Málaga (EMAL). Tras realizar determinadas actuaciones se consigue restablecer la estación y las comunicaciones con el ROA.
- Durante el mes de marzo, el ROA ha liderado una campaña de calibración con la Instalación de Tiempo Preciso Galileo (PTF2-Alemania).
- El 16 de marzo en cumplimiento de las instrucciones recibidas a través de escrito de CESTIC de fecha 25 febrero de 2020 se procede a la desconexión de la estación de Ceuta de la red WAN PG.
- El 24 de junio se dejan de recibir datos de la estación de Málaga. El 29 de junio se recibe la unidad seiscomp. El día 10 de julio se sustituye la fuente de alimentación y el seiscomp por otro nuevo. De esta forma la estación vuelve a quedar operativa.
- El 4 de octubre se reciben 12 digitizadores DataCube 3C y 12 geófonos Mark L4C-3D del GFZ (Potsdam) que conforman el equipamiento correspondiente al proyecto LASNO. El 5 de octubre se procede a su comprobación y despliegue.
- Entre el 25 y el 27 de noviembre se realizan mantenimientos y comprobaciones de los 5 OBS, chequeando la señal de tiempo y el funcionamiento de los mecanismos de liberación de los anclajes.

## **A.5. Cursos y Estancias de Trabajo**

- El TN. Roberto Cabieces es designado alumno del X Curso Conjunto de actualización para el ascenso a Capitán de Corbeta. Este curso consta de tres fases: una primera fase no-presencial realizada entre 30 de marzo al 29 de mayo, una segunda fase, presencial, entre el 3 y el 27 de noviembre, y una tercera fase, no-presencial, desarrollada entre el 30 de noviembre y el 16 de diciembre.
- Del 23 de agosto al 31 de octubre, el TN. Héctor Álvarez Martínez viaja a París (Francia) para realizar una estancia de trabajo en el SYRTE-OP, y seguir especializándose en el desarrollo de láseres ultraestables y en la transferencia de pureza espectral entre patrones ópticos de tiempo y frecuencia.
- Entre el 26 y 30 de octubre el TN. Manuel Sánchez asiste al curso básico de aptitudes pedagógicas impartido en el Escuela Militar de Ciencias de la Educación en Madrid.

## **A.6. Proyectos de Investigación**

### **A.6.1. Proyectos, Acciones Especiales y Complementarias**

Durante el año 2020, se han mantenido, iniciado o propuesto los siguientes proyectos de investigación, un total de 32 actividades incluidas en el Plan de Actividades de Investigación Científica y Técnica de la Armada 2020 (PAICTA 2020):

- (12/2018) Seguimiento de satélites artificiales por técnicas laser y GNSS. Ver apartado 3.3.

## *Actividad Científica*

- (13/2018) Observatorio sismológico de la Armada. Ver apartado 3.1.
- (14/2018) Plan de Investigación hidrográfico-oceanográfico de la Zona Económica Exclusiva Española (ZEEE). Ver apartado 3.6.
- (15/2018) WDMAM: Proyecto del Mapa Mundial de Anomalías Magnéticas (2ª edición). Ver apartado 3.5.
- (16/2018) Investigaciones marinas utilizando técnicas geofísicas.
- (18/2018) Observatorio Geomagnético de la Armada. Ver apartado 3.2.
- (19/2018) Convenio específico entre el MINISDEF y la FNMT-RCM, objeto establecer servicio fechado digital.
- (20/2018) Proyecto 1156 EURAMET: Calibraciones de enlaces GPS en apoyo del CCTF-K001.UTC. Ver apartado 4.1.1.
- (21/2018) Protocolo Actuación MINISDEF y MAPAMA objeto de establecer un servicio certificación fecha y hora.
- (22/2018) Acuerdo Colaboración ROA y Colegio Registradores Propiedad y Mercantiles España.
- (23/2018) Protocolo Actuación MINISDEF y MHAP para servicio certificación fecha y hora.
- (24/2018) Diseminación de tiempo, en abierto, vía NTP y vía telefónica.
- (25/2018) Contribución a la realización de UTC Rápida (UTCr).
- (26/2018) Realización y mantenimiento de UTC (ROA), base de la hora legal española. En relación con esta actividad, se ha participado en el Proyecto 1485 EURAMET "Comparación suplementaria: Medidas de Intervalo de Tiempo". Ver apartado 4.1.1.
- (28/2018) Servicio de calibración a clientes en tiempo y frecuencia.
- (29/2018) Convenio Marco colaboración entre el MINISDEF y Vodafone España, para el suministro y certificación de la Fecha y Hora oficial.
- (30/2018) Cálculo, edición y difusión de efemérides astronómicas. Ver apartado 1.1.
- (35/2018) Support for the Galileo Reference Centre-ROA.
- (36/2018) Galileo Service Operator (GSOp).
- (37/2018) EGNOS Service Performance Monitoring Support (SPMS). Ver apartado 4.1.1.
- (09/2019) Operación y mantenimiento de los sensores del Sistema de Vigilancia SST aportados por España al marco de apoyo de SST a la UE.

- (10/2019) Alerta sísmica temprana.
- (11/2019) Construcción e Implementación de un reloj de red óptica de estroncio (SR) (CIROES).
- (12/2019) LYNX. Software de reducción astrométrica para la detección de basura espacial en operaciones de exploración en órbita GEO.
- (13/2019) ELGeoPower: Estructura litosférica y geodinámica de Powell-drake-Bransfield Rift. Ver apartado 3.5.
- (14/2019) AMIGA7: Entornos extremos de galaxias con los precursores de SKA desde el diseño del flujo de datos hacia su construcción. Ver apartado 4.1.1.
- (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.
- (32/2020) Actualización del sistema de apuntamiento de la estación de telemetría láser del ROA (AMELAS).
- (33/2020) Estructuras del Margen Noroeste Ibérico: Influencia de la herencia tectónica en la extensión e inversión alpinas (MARIBNO).
- (34/2020) LASNO: Proyecto Landslide assessment in the Spanish Navy Observatory. Ver apartado 3.5.
- (35/2020) Evaluación sobre el riesgo de maremoto en las bases de la Armada. Proyecto piloto para la B. N. de Rota (MARROTA).

#### **A.6.2. Beca Fundación Alvargonzález**

La Beca Real Instituto y Observatorio de la Armada correspondiente al año 2020 fue concedida a Don Pablo Bernal Sánchez, por su proyecto: "JOSÉ RODRÍGUEZ LOSADA Y LA ARMADA ESPAÑOLA A TRAVÉS DEL REAL INSTITUTO Y OBSERVATORIO DE LA ARMADA EN SAN FERNANDO".

## B. Otras actividades

### B.1. Hechos notables.

- El viernes 7 de agosto, se celebró la “Noche del Patrimonio” a iniciativa del Excmo. Ayuntamiento de San Fernando con el fin de revitalizar la actividad cultural en la ciudad y su entorno en la bahía de Cádiz, tras el confinamiento por el estado de alarma derivado del COVID-19.



*Figura B.1: Vista nocturna del Edificio Principal del Observatorio*

En este evento no podía faltar el Real Instituto y Observatorio de la Armada (ROA), al disponer de colecciones documentales y museográficas sin igual en la comarca, albergadas en el magnífico edificio de estilo neoclásico que constituye asimismo una joya patrimonial, siendo uno de los edificios históricos más valorados y visitados de la Bahía. Con la apertura de sus puertas en horario nocturno, ha proporcionado al visitante una perspectiva del Centro diferente respecto de la que habitualmente puede disfrutarse.



*Figura B.2: Grupo de visitantes en la sala central de la Biblioteca Principal del ROA*

## Otras actividades

- El 3 de septiembre de 2021, se recibe la visita del XXXIV Curso de Geodesia del E.T. del Centro Geográfico del Ejército. En el marco de las actividades programadas, varios profesores de la Escuela de Estudios Superiores impartieron diversas conferencias sobre los campos de actividad del ROA. Posteriormente se realizó una visita al Centro, sus instalaciones y patrimonio.



Figura B.3: Conferencia del director sobre la visión general del ROA y sus actividades

- Del 21 de septiembre al 1 de octubre, dentro de las actividades de la X Semana Naval de la Armada en Madrid, se ha celebrado el seminario “Navegación Astronómica” que tradicionalmente organiza el Real Instituto y Observatorio de la Armada (ROA). Este seminario se ha desarrollado por primera vez en formato de videoconferencia, condicionado por la situación de emergencia sanitaria que se vive a causa del virus SARS-CoV-2, lo que lejos de haber sido un hándicap, se ha convertido en una oportunidad para todos aquellos que en circunstancias normales no pueden asistir de manera presencial por dificultades laborales, o por la exigencia económica que les supone el desplazamiento y estancia en Madrid durante una semana.

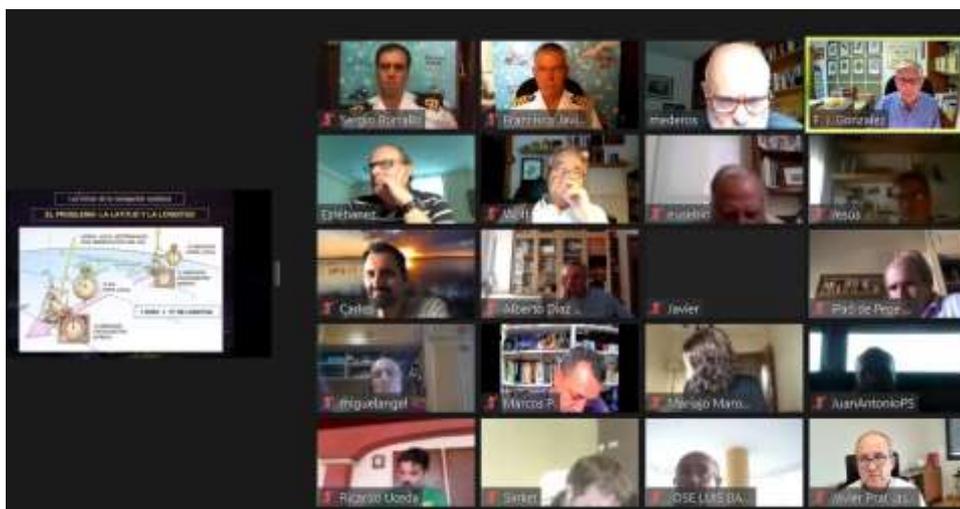


Figura B.4: Sesión durante el X seminario de Navegación Astronómica

## Otras actividades

El seminario se desarrolló en horario de tarde, de lunes a jueves, y fue impartido por el Capitán de Navío Francisco Javier Galindo Mendoza y el Teniente de Navío Sergio Borralló Tirado, ambos Director y responsable de la Sección de Efemérides Astronómicas del ROA respectivamente, que además se encargaron de coordinar la planificación y el desarrollo del evento; el Doctor Luis Mederos Martín, Investigador Científico del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y el Doctor Francisco José González González, Director Técnico de Biblioteca y Archivo Histórico del ROA.

- Del 2 al 15 de noviembre se celebró la XX Semana de la Ciencia para acercar el día a día de dedicación a la ciencia y a la investigación de los centros científicos, a alumnos de los centros escolares. El Café con Ciencia, una de las actividades más significativa de dicha semana, se llevó a cabo entre los días 9 y 12 de noviembre, por VTC, con alumnos de 4º de ESO o bachillerato de diversos colegios e institutos. En total se celebraron 8 Cafés con Ciencia, 2 sesiones por mesa: “Custodios del tiempo”, “Telemetría láser”, “Mirando al cielo” y “basura espacial”.

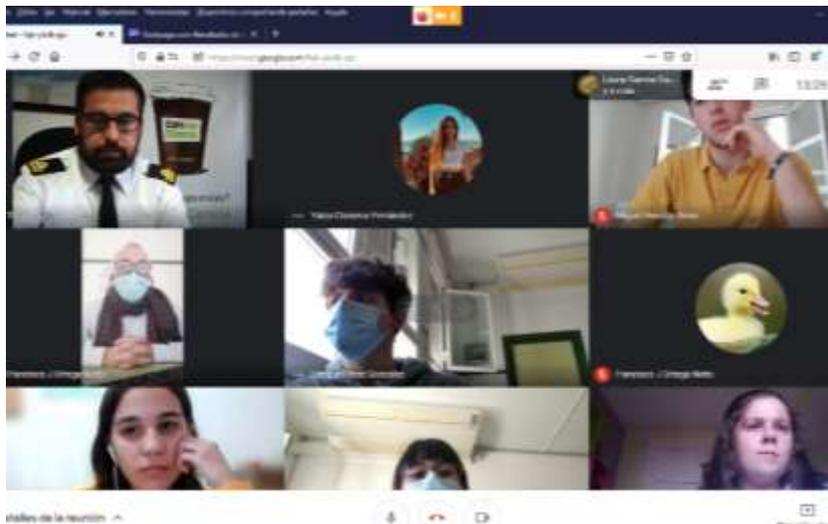


Figura B.5: Participantes en el Café con Ciencia de la Mesad de telemetría láser

## B.2. Visitas

### B.2.1. Autoridades Civiles y Militares

- Embajador argentino Exmo Sr Carlos Serlase (17 de enero)
- 2º Alardiz (2 de junio)
- Embajador de España en Japón (11 de agosto)
- Subdelegada de Gobierno en Andalucía (3 de septiembre)
- General Vicente Torres Vázquez (27 de octubre)

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

- 13 de enero                    Grupo Seguridad Base Naval de Rota
- 3 de junio                    Coronel Javier González Vázquez
- 12 de junio                    CN Luis Montero
- 10 de agosto                    Exma. Subdirectora General de Publicaciones y Patrimonio cultural Dña Margarita García

## Otras actividades

- 13 de agosto Coronel (Retiro) Arturo Cañas
- 27 de agosto Coronel Angel Umbría
- 3 de septiembre Antiguos alumnos XXXIV Curso DIGEO
- 12 de octubre Candidatos Reservistas Escuela de Suboficiales de la Armada
- 16 de octubre CN (Retiro) Juan Carlos Coma Sanmartín

### B.2.3. Otras visitas reseñables

- AFEMEN, Asociación de Familiares de enfermos mentales.
- Aula de Mayores, UCA.
- Ayuntamiento de Cádiz, Área de Patrimonio.
- CODICE, Comité para la Divulgación de la Ciencia y el Espacio.
- Colegio de Procuradores de Cádiz.
- COSTUS QUEDADAS, Grupo Sociocultural.
- Delegación de Hacienda.
- Fundación Endesa: Aula de las Estrellas.
- La Paz II, Centro de Mayores.
- Observatorio Astronómico de Albuixech (Valencia).
- ONCE, Delegación Territorial de Sevilla.
- Proyecto Hombre.

En el año 2020, debido al estado de alarma por motivo del COVID-19, las visitas han permanecido cerradas entre el 13 de marzo y el mes de junio, además de se ha reducido enormemente el número de visitas y aforos. A pesar de ello, han visitado el Real Instituto y Observatorio de la Armada 2687 personas, distribuidas de la siguiente manera:

- 1050 alumnos de Enseñanza Secundaria Obligatoria y Bachiller de 25 centros educativos nacionales e internacionales.
- 1116 personas durante las visitas de verano, de las cuales 605 acudieron a través de la Oficina de Turismo del Excmo. Ayto. de San Fernando.

Este Centro se ha sumado este año a diversas iniciativas tales como “La Noche de los Museos” que se celebró virtualmente, debido al confinamiento, con la publicación de un video promocional. Asimismo, se participó en la “Noche del Patrimonio”, celebrada en la noche del 7 de agosto, con cuatro pases, completándose el aforo ofrecido. Otras actividades complementarias de divulgación que se llevan a cabo de manera habitual, no se han realizado por las medidas de prevención ante el Covid-19.

### B.3. Conferencias

- Título: Métodos e instrumentos de navegación en las expediciones marítimas de la Edad Moderna  
V Semana de la Ciencia.  
I.E.S. López de Arenas (Marchena).  
Fecha: febrero de 2020.  
Conferenciante: Dr. Francisco José González González
- Título: Antonio de Ulloa, descubridor del platino  
E.T.S. Ingenieros de Minas y Energía-UPM.  
Escuela de Guerra Naval.  
Fecha: 5 de marzo de 2020.  
Conferenciante: CN. Francisco Javier Galindo Mendoza

## Otras actividades

- Título: Los Ingenieros de la Armada y el Real Observatorio: su formación científica en los Cursos de Estudios Superiores (siglos XIX y XX). Clausura del Curso Académico 2019-2020 de la Promoción XLI de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Armas Navales (Madrid). VTC.  
Fecha: julio de 2020.  
Conferenciante: Dr. Francisco José González González
- Título: Sincronismo a partir de Receptores GNSS. Curso Geodesia ET. Real Instituto y Observatorio de la Armada.  
Fecha: 3 de septiembre de 2020.  
Conferenciante: CF. Héctor Esteban Pinillos
- Título: Proyectos académicos de investigación en el ROA. VIII Semana de la Ciencia: Lo que el Universo inspira. Parque Metropolitano de los Toruños y Pinar de Algaida El Puerto de Santa María.  
Fecha: 7 de noviembre.  
Conferenciante: TN. Lluís Canals Ros
- Título: Métodos de navegación e instrumentos náuticos en la Edad Moderna (siglos XV-XVIII) V Máster de Arqueología Náutica y Subacuática de la Universidad de Cádiz. VTC.  
Fecha: noviembre de 2020.  
Conferenciante: Dr. Francisco José González González
- Título: Retos de la Investigación espacial y en el espacio. Mesa plenaria I CONGRESO DESEI+D 2020. VTC.  
Fecha: 24 de noviembre de 2020.  
Conferenciante: CN. Francisco Javier Galindo Mendoza
- Título: El Real Observatorio de la Armada. Cátedra Almirante Don Juan de Borbón. VTC.  
Fecha: 26 de noviembre.  
Conferenciante: CF. Manuel Catalán Morollón
- Título: El Plan de investigación de la ZEEE. Cátedra Almirante Don Juan de Borbón. VTC.  
Fecha: 26 de noviembre.  
Conferenciante: CF. Manuel Catalán Morollón

## B.4. Instituciones y Organismos colaboradores

### B.4.1. Nacionales

- Ayuntamiento de San Fernando.
- Centro para el Desarrollo Tecnológico e Industrial (CDTI).

## Otras actividades

- 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 Internacional Menéndez Pelayo (UIMP).
- Universidad de La Rioja.
- Universidad Politécnica de Cataluña (UPC).
- Universidad Politécnica de Madrid (UPM).
- Servicio de Información en Metrología, Calibración y Ensayo (SIMCE).
- Vodafone España.

### B.4.2. Extranjeras

- Agencia Espacial Europea (ESA).
- Austrian Academy of Sciences (ÖAW, Viena, Austria).
- Buró Internacional de Pesas y Medidas (BIPM, Sèvres, Francia).
- Centre National d'Études Aéronautiques (CNES, París, Francia).
- European Association of National Metrology Institutes (EURAMET).
- 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 Photonics and Electronics (Praga, Rep. Checa).

## Otras actividades

- 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 Portugués 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).
- Laboratorio Nacional de Metrología y de Ensayos (LNE-SYRTE, Observatorio de París, Francia).
- Minor Planet Center (MPC).
- National Aeronautics and Space Agency (NASA, Estados Unidos de América).
- National Metrology Institute of Sweden (Boras, Suecia).
- National Physical Laboratory (NPL, Reino Unido).
- Observatorio Naval de Washington (USNO, EE.UU.).
- Observatories & Research Facilities for European Seismology (ORFEUS).
- Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB, Alemania).
- Reducing Earthquake Losses in the Extended Mediterranean Region (RELEMR). UNESCO.
- Research Institutes of Sweden (RISE, Suecia).
- Service Métrologie Scientifique (SMD, Bélgica).
- Universidad de Évora (UE, Évora, Portugal).
- Universidad de Potsdam (Alemania).

### B.5. Reportajes de Medios de Comunicación

- El 14 de enero se realizan entrevistas al CN. Francisco Javier Galindo Mendoza, comandante-director del ROA, y al CF. Héctor Esteban Pinillos, Jefe de la Sección de Hora, para el documental “Artesanos del tiempo” de la serie “Hecho a Mano” de Canal Sur.
- El 10 de marzo se publica en el Confidencial Digital, con el título "La Armada se prepara para hacer frente a un maremoto en la base de Rota", la entrevista realizada al CN. D. Antonio A. Pazos García el 7 del mismo mes.
- El 11 de abril se publica, en La Razón, un artículo con título: “El reloj más preciso del mundo marcará la hora oficial de España”, relativo al proyecto del reloj de red óptica de estroncio que está desarrollando la Sección de Hora.
- El 2 de mayo se emite en el programa Gente de Andalucía de Canal Sur una entrevista al CN. Comandante-Director del Real Instituto y Observatorio de la Armada, D. Francisco Javier Galindo Mendoza, sobre una visita virtual al Observatorio de la Armada de San Fernando
- El 4 de mayo, el Diario de Cádiz publica el artículo “Más de 1,5 millones para dotar al Observatorio de la Armada del reloj más preciso”, referido al desarrollo del primer reloj de red óptica de estroncio que se está realizando en las nuevas instalaciones de la Sección de Hora.
- El 5 de mayo se realiza la entrevista radiofónica, de Canal Sur Radio, al Jefe de la Sección de Hora sobre los trabajos de mejora de la precisión de la hora que se están realizando en la Sección de Hora del ROA.

## Otras actividades

- El día 5 de mayo, se realiza entrevista radiofónica para el programa de “La ventana” de la Cadena SER, para dar a conocer cómo se genera y custodia la Hora Oficial de España, y el nuevo desarrollo de un reloj de red óptica de laboratorio.
- El 6 de mayo se publica en la cadena SER, una entrevista al CN. Director, Francisco Javier Galindo Mendoza, bajo el título “El ROA potencia sus estudios del tiempo con la compra del reloj más preciso del mundo”.
- El 18 de mayo, el Observatorio participa en la iniciativa "Guardianes de nuestro Patrimonio" con motivo de “la Noche de los Museos”. La Oficina de Turismo de San Fernando publica en diferentes medios (youtube, Facebook, etc.) un reportaje del director técnico de biblioteca y archivos, Dr. Francisco J. González González.
- El 2 de julio se realiza una entrevista para el programa Cádiz contigo, de Onda Cádiz (TV), al TN. Sergio Borralló Tirado sobre “Fenómenos astronómicos verano 2020”.
- El día 10 de agosto, coincidiendo con la lluvia de estrellas de las perseidas, el TN. Pedro Azorín Montesinos realiza una entrevista para el programa “Cádiz Contigo” de Onda Cádiz.
- E 11 de agosto, con motivo de con la lluvia de estrellas de las perseidas, el TN. Pedro Azorín Montesinos realiza una entrevista para la Cadena Ser Algeciras Radio.
- El 31 de agosto se publica en diversos diarios y plataformas la nota de prensa remitida en relación con las observaciones realizadas por la Sección de Astronomía del tránsito del cometa “Neowise C7 2020 F3”.
- El 25 de septiembre se realiza una sesión fotográfica en el Centro, con motivo de la presentación de la nueva colección de diseños de ropa 2020/2021 del diseñador D. Salvador Egea González.
- El 5 de octubre, el TN. Lluís Canals Ros, Jefe de la Sección de Astronomía, es entrevistado para RTVE en relación a la basura espacial.
- Durante la mañana del día 23 de octubre se realiza la grabación de un reportaje para el programa de España Directo de TVE, relativo al cambio de hora y la escala UTC(ROA), base de la hora oficial española. Se emite durante la tarde de ese mismo día.
- El 27 de octubre, la productora INNOVA FILMS realiza grabaciones del Observatorio para un vídeo promocional de los recursos naturales y patrimoniales de la Isla a petición del Ayuntamiento de San Fernando.
- El 20 de noviembre se realiza un informe para un dossier de prensa, remitido al gestor del Programa Nacional Antártico, sobre el proyecto liderado por este Observatorio, que se realizará en la próxima campaña antártica, como parte de uno de los objetivos de divulgación que marca el Ministerio de Ciencia e Innovación en todas las convocatorias de proyectos.

### *Otras actividades*

- El 25 de noviembre se realiza una entrevista de la Vanguardia al CF. Manuel Catalán Morollón, para aclarar dudas sobre basura espacial para la realización de un reportaje titulado “La órbita terrestre- millones de balas invisibles a 25.000 km/h en el espacio” en el que cita la actividad del Observatorio, y que se publica el 3 de diciembre.
- El 2 de diciembre se realiza una grabación de imágenes del Observatorio de RTV Ceuta para el programa “Ceutíes por Andalucía”.
- El 23 de diciembre, Canal Sur realiza grabaciones, tanto del edificio del Laboratorio de la Sección de Hora como del Edificio Principal del Observatorio, para incluir en el programa especial nochevieja de Andalucía Directo.
- El 26 de diciembre se emite en el programa “La Observadora” de RNE, presentado por Dña. Teresa Viejo, una entrevista de carácter biográfico y profesional al director del Observatorio, CN. Francisco Javier Galindo Mendoza.

