REAL INSTITUTO Y OBSERVATORIO DE LA ARMADA EN SAN FERNANDO

# Investigaciones Científicas desarrolladas por el Real Instituto y Observatorio de la Armada Año 2016

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 2016

MINISTERIO DE DEFENSA

**CATÁLOGO GENERAL DE PUBLICACIONES OFICIALES**
http://publicacionesoficiales.boe.es/

Edita:

MINISTERIO DE DEFENSA
SECRETARÍA GENERAL TÉCNICA

http://publicaciones.defensa.gob.es/

© Autor y editor, 2017

NIPO: 083-15-240-9
Depósito legal: M-25.270-2015
Fecha edición: diciembre 2017
Imprime: Ministerio de Defensa

Las opiniones emitidas en esta publicación son de la exclusiva responsabilidad del autor de la misma.
Los derechos de explotación de esta obra están amparados por la Ley de la 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% reciclado libre de cloro.

EU Ecolabel
www.ecolabel.eu
100%

Foto portada:

Fachada del Edificio Principal del Real Instituto y Observatorio de la Armada en San Fernando (siglo XVIII).

Í N D I C E

**Prólogo** ..... **1**
**1. Sección de Efemérides** ..... **3**
1.1. Servicio de Efemérides ..... 3
1.2. Centro de Cálculo ..... 4
1.3.1 XXXII Curso de Geodesia del Ejército de Tierra ..... 5
1.3.3. Café con Ciencia ..... 7
**2. Sección de Astronomía** ..... **8**
2.1. Telescopio Fabra-ROA en el Montsec ..... 8
2.1.1. Antecedentes ..... 8
2.1.2. Actividades y mantenimientos realizados durante el año ..... 9
2.1.3. Actividades y resultados en el campo del SST ..... 11
2.2. Reuniones y estancias de trabajo ..... 13
2.3. Novedades de personal ..... 14
2.4. Publicaciones y Comunicaciones ..... 14
2.5. Otras actividades ..... 15
**3. Sección de Geofísica** ..... **16**
3.1. Sismología ..... 16
3.1.1. Red de Corto Período ..... 17
3.1.2. Red de Banda Ancha ..... 18
3.2. Geomagnetismo ..... 28
3.2.1. Estación Geomagnética Cortijo Garrapilos ..... 28
3.2.2. Otras actuaciones del Servicio de Geomagnetismo ..... 30
3.3. Satélites ..... 30
3.3.1. Estación de Telemetría Láser sobre Satélites Artificiales ..... 30
3.3.2. Sistema Global de Navegación por Satélite: GNSS ..... 32
3.4. Meteorología ..... 35
3.5. Observatorio Geofísico Isla de Alborán ..... 37
3.6. Proyectos de Investigación y Acciones Especiales ..... 39
3.7. Campañas ..... 42

3.7.1. Fondeo de Sismómetros de fondo marino. ..... 42
3.7.2. Campaña TopoIberia (GNSS)..... 42
3.7.3. Campaña INCRISIS..... 44
3.7.4. Campaña ZEEE-2016..... 44
3.8. Publicaciones y Comunicaciones ..... 45
3.8.1. Publicaciones..... 45
3.8.2. Comunicaciones en congresos..... 50
3.9. Estancias de trabajo ..... 54
3.10. Conferencias y Cursos..... 54
3.11. Otros temas de interés..... 54
3.11.1. Personal..... 55
**4.- Sección de Hora ..... 56**
4.1.- Servicio de Hora ..... 56
4.1.1.- Tiempo Universal Coordinado del Real Instituto y Observatorio de la Armada UTC(ROA) ..... 56
4.1.2.- Establecimiento de enlaces de tiempo ..... 64
4.2.- Servicio de Electrónica y Calibración..... 72
4.3.- Servicio de Cronometría Naval..... 76
4.4.- Proyectos de Investigación, Acciones Especiales y Complementarias 77
4.5.- Reuniones ..... 79
4.6.- Comunicaciones y pósters..... 79
4.7.- Visitas..... 80
4.8.- Otros hechos de interés..... 80
**5. Servicio de Biblioteca y Archivo ..... 84**
5.1. Fondos..... 84
5.1.1. Fondos bibliográficos (monografías y publicaciones periódicas) . 84
5.1.2. Colección de cartografía..... 85
5.1.3. Archivo Histórico..... 86
5.1.4. Colección Museográfica..... 87
5.2. Consultas y préstamos ..... 89
5.2.1. Instalaciones y servicios ..... 89
5.2.2. Usuarios externos..... 91

5.3. Otras actividades ..... 91
5.3.1. Actividades docentes y de investigación ..... 91
5.3.2. Exposiciones ..... 92
5.3.3. Comunicaciones y conferencias ..... 94
5.3.4. Publicaciones ..... 95
5.4. Personal ..... 95
5.4.1. Personal ..... 95
5.4.2. Comisiones de servicio ..... 95
**6. Escuela de Estudios Superiores de la Armada ..... 97**
6.1 Cursos impartidos ..... 97
**A. Actividad Científica ..... 99**
A.1. Publicaciones ..... 99
A.1.1. Publicaciones editadas por el Observatorio ..... 99
A.1.2. Artículos en revistas con revisor ..... 99
A.1.3. Artículos en revistas sin revisor ..... 99
A.2. Comunicaciones en congresos ..... 102
A.2.1. Nacionales ..... 102
A.2.2. Internacionales ..... 103
A.3. Participación en comités y reuniones ..... 105
A.3.1. Nacionales ..... 105
A.3.2. Internacionales ..... 107
A.4. Campañas, Calibraciones y Mantenimientos ..... 108
A.5. Estancias de Trabajo ..... 109
A.6. Proyectos de Investigación ..... 111
A.6.1. Proyectos Nacionales, Acciones Especiales y Complementarias ..... 111
A.6.2. Beca Fundación Alvargonzález ..... 115
**B. Otras actividades ..... 116**
B.1. Hechos notables ..... 116
B.2. Visitas ..... 135
B.2.1. Instituciones Civiles y Militares ..... 135
B.3. Conferencias ..... 137

B.4. Instituciones y Organismos colaboradores ..... 139
B.4.1. Nacionales ..... 139
B.4.2. Extranjeras ..... 140
B.5. Reportajes de Medios de Comunicación ..... 140

# Prólogo

La actividad del Real Instituto y Observatorio de la Armada y de la Escuela de Estudios Superiores durante el año 2016 ha sido intensa y de ello se da cumplida cuenta en el presente volumen.

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.

En las páginas que siguen se describen con suficiente detalle lo más relevante de las actividades desarrolladas durante 2016. Al margen de esta actividad, debe destacarse la recepción por parte de la Armada del nuevo edificio que albergará el Laboratorio de Hora del Observatorio. La recepción de la obra se realizó el 20 de diciembre y con ella culmina un proyecto cuyos primeros pasos se dieron en 2004 y que finalmente ha sido posible concluir, tras superar numerosos problemas durante este período.

Las nuevas instalaciones, que entrarán en servicio durante 2017, dotarán al Observatorio de los medios y el entorno de trabajo necesarios para seguir desempeñando una de las principales misiones que tiene encomendadas, el mantenimiento y difusión de la unidad básica de tiempo del SI y de la escala UTC(ROA), referencia de la hora oficial española. Además, permitirá a medio plazo incorporar la técnica de los relojes ópticos a la metrología del tiempo, lo que supondrá un notable salto cualitativo y cuantitativo y mantendrá al Observatorio en la primera línea de esta importante y relevante actividad.

En paralelo con lo anterior, durante 2016 se han realizado las gestiones oportunas para unir la parcela en la que se ubica el nuevo edificio con la parcela principal del Observatorio, unión que es fundamental, tanto para la seguridad del recinto como para el desarrollo cotidiano de la actividad de la Sección de Hora. La unión se realizará gracias al Protocolo de Intenciones de Colaboración entre el Ministerio de Defensa y el Ayuntamiento de San Fernando, firmado el 21 de diciembre, mediante el cual se cederá al Observatorio el tramo de la calle Héroes de Simancas que separa actualmente ambos recintos.

El Capitán de Navío, Comandante-Director

-Teodoro J. López Moratalla-

# 1. Sección de Efemérides

Durante el año 2016, 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.

La situación de personal es crítica. Las labores del cálculo de efemérides descansan sobre un único oficial y sobre el Jefe de Sección, que debe compaginar esta tarea con el cargo de Subdirector del Observatorio que actualmente desempeña.

En lo que respecta al Centro de Cálculo, actualmente consta con dos miembros: un Ingeniero Técnico de Arsenales y un Técnico Operativo

## 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 2016 la difusión de las efemérides astronómicas se ha realizado a través de las siguientes publicaciones periódicas:

- Almanaque Náutico 2017
  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 2017
  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.

En las Efemérides Astronómicas 2017 se ha actualizado el Sistema de Constantes Astronómicas UAI, de acuerdo con la resolución B2, sobre la “redefinición de la unidad astronómica de longitud”, adoptada en la XXVIII Asamblea General de la UAI. Entre otras recomendaciones, esta resolución elimina del sistema de constantes astronómicas

la constante gravitacional de Gauss k, incluida en los sistemas UAI 1976 y UAI 2009, en la que se basaba la definición de la unidad astronómica, y redefine la unidad astronómica au como una longitud exactamente igual a 149 597 870 700 m, en concordancia con el del sistema UAI 2009, con la categoría de constante definitoria del sistema carente de incertidumbre.

También se han incluido en este ejemplar las circunstancias locales para las capitales de provincia desde las que se podrá observar alguna fase del desarrollo del eclipse total de Sol del 21 de agosto. Para España este eclipse se desarrolla como parcial, con la puesta del Sol antes del máximo del eclipse o muy próxima a él

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 pequeños planetas Palas, Juno, Vesta, Hebe, Iris, Flora, Metis, Higía, Eunomia, Psiquis, Europa, Cibeles, Davida e Interamnia, se han generado utilizando las USNO/AE98.

En 2016, en colaboración con la UCA, se ha realizado una actualización del software ANdi (Almanaque Náutico Digital), a fin de que el mismo pueda ser ejecutado en sistemas operativos más modernos. De igual modo, y como parte de la Beca Fundación Alvargonzález, se comenzó un proyecto de ampliación y modernización de dicho software, a fin de mejorar sus prestaciones. Se prevé finalizar dicho proyecto en verano de 2017.

Además de lo anterior, 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

Con la merma de personal ya indicado, 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.
Se ha continuado con el mantenimiento de la página web del centro, en coordinación con el webmaster de la página web de la Armada. De igual modo, durante el año se procedió a la sustitución de gran parte de los ordenadores del Observatorio de sobremesa y portátiles, tanto de la red científica como de la red WAN-PG, por otros equipos de mejores prestaciones.

Se realizó la migración al sistema operativo Windows 10 de todos los ordenadores conectados a la red WAN-PG que tenían sistema operativo Windows 7. Siguiendo las indicaciones dadas desde CECISDIZ se distribuyeron las licencias asignadas a diferentes aplicaciones de la WAN-PG entre los usuarios que las requerían (Microsoft Office, Adobe Acrobat, etc.) en el nuevo sistema operativo.

Personal técnico de Telefónica realizó en las dependencias del Centro de Cálculo la instalación de una nueva línea de conexión a Internet, simétrica de 50 Mbps, para la red científica del Observatorio mediante un router que la compañía deja conectado en el Centro.

## 1.3. Otras actividades

### 1.3.1 XXXII Curso de Geodesia del Ejército de Tierra

El TN Borrallo Tirado participó como profesor de los alumnos del curso citado, del 6 al 9 de junio.

### 1.3.2 Seminario "Navegación Astronómica" en la VI Semana Naval de la Armada en Madrid

Del 19 al 23 de septiembre, dentro de las actividades de la VI Semana Naval de la Armada en Madrid, se celebró en la Escuela de Guerra Naval el seminario Navegación Astronómica. Organizado por el Real Instituto y Observatorio de la Armada, el seminario ha estado dirigido a todos aquellos interesados en la navegación, la astronomía y la historia de la ciencia, y ha despertado un gran interés. Aunque la mayoría de los participantes residían en la provincia de Madrid, los hubo que se desplazaron desde Barcelona, Jaén, Cantabria, Málaga, Granada y Guadalajara.

El seminario fue inaugurado por el CA Juan Garat Caramé, Almirante Jefe de Servicios Generales, Asistencia Técnica y Sistemas de Información y Telecomunicaciones, quien dirigió unas palabras de bienvenida a los participantes, en las que resumió los objetivos y contenido del seminario, destacando la gran acogida que tiene todos los años, y presentó a los ponentes.

Las solicitudes superaron con mucho el aforo disponible, a pesar de ser el quinto año que se celebra en Madrid. El seminario se desarrolló en horario de tarde y fue impartido por el CN. López Moratalla, coordinador del seminario, el Doctor Luis Mederos Martín, investigador científico del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, y el Doctor Francisco José González González, Director Técnico de la Biblioteca y Archivo del Real Instituto y Observatorio de la Armada.

*Figura 1.2: Inauguración del seminario Navegación Astronómica.*

*Figura 1.3: Participantes en el seminario Navegación Astronómica.*

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. Como actividad complementaria, se realizó una visita al Museo Naval la mañana del día 21.

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. Además de la medida del tiempo y del Almanaque Náutico, también se explicó el funcionamiento del sextante y los asistentes tuvieron la oportunidad de ajustar tanto los instrumentos aportados por la organización como los que llevaron algunos de ellos.

### 1.3.3. Café con Ciencia

Enmarcada en la Semana de la Ciencia 2016, 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 de diciembre se desarrolló esta actividad en la que el TN. Sergio Borrallo Tirado desayunó con alumnos de 1º de Bachiller del Colegio Compañía de María de San Fernando, con los que departió de forma distendida sobre su trabajo en el Observatorio con el tema "mirando el cielo" como punto de partida del encuentro.

*Figura 1.4: Alumnos del colegio Compañía de María, de San Fernando, 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 ha sido la elaboración de catálogos estelares mediante observaciones con instrumentos meridianos (Astrometría Meridiana). En la actualidad 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 del presente año 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 pero que pueden ser utilizados con fines divulgativos o didácticos.

## 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: Visión nocturna 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. El tiempo está distribuido en ciclos de 3 días de observación para los programas de GEOs (basura espacial geoestacionaria) y exoplanetas, mientras se intercalan diariamente la observación de las fuentes de rayos gamma, hasta el 30 de junio. A partir del 1 de julio se reestructuran los tiempos de observación destinados a cada proyecto quedando en un total de 5 días a la semana para observaciones SST y 2 dedicados al programa de exoplanetas, intercalando durante 4 días a la semana observaciones de fuentes de rayos gamma. Además, se han realizado observaciones puntuales de asteroides y cometas y observaciones de prueba para una colaboración con el Dr. Docobo de la Universidad de Santiago de Compostela (USC), en el desarrollo de la tesis doctoral de D. Jorge Gómez Crespo.

El 30% de tiempo de observación externo del TFRM queda repartido de la siguiente forma: 20% dedicado al estudio de contrapartidas ópticas de fuentes de rayos gamma (Universidad de Barcelona) y 10% para estudio de estrellas dobles y variables (USC).

En el gráfico de sectores se representa la actividad del telescopio durante el año, donde las noches no observadas se dividen en: averías, malas condiciones meteorológicas y “otros”. En el apartado “otros” se incluyen noches perdidas por mantenimientos programados o por motivos puntuales que no exigen reparación in-situ. La única avería reseñable sufrida durante este año fue la del motor eléctrico de la bomba hidráulica. Debido a un fallo en el sistema informático que controla la apertura/cierre del techo y compuerta, dos motores eléctricos quedaron inservibles; una vez modificado el código que ocasionaba el error no se han producido más incidencias.

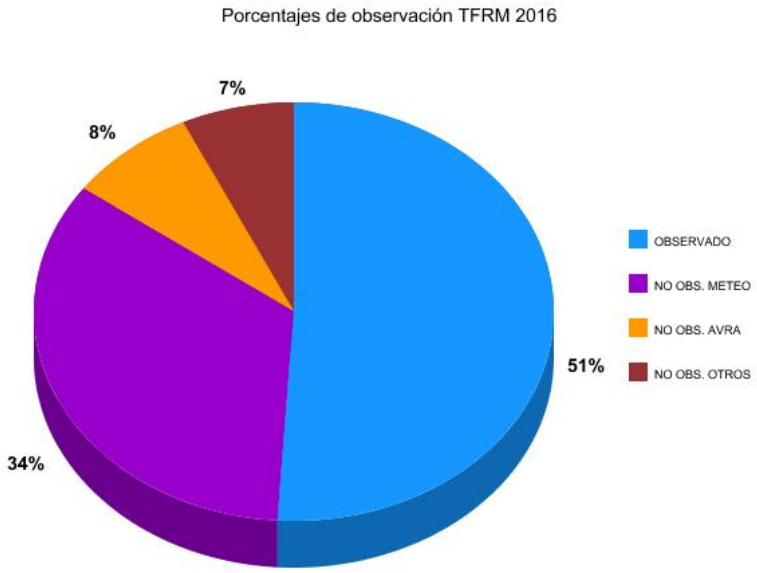


*Figura 2.3: Porcentajes de observación del TFRM durante el año 2016.*

Durante la celebración del Comité de Dirección del TFRM en el Real Observatorio de la Armada (junio del año 2015) se decide acometer la adquisición de una nueva cámara CCD. Esta nueva cámara se instala durante el mantenimiento programado la primera semana de febrero del año 2016; está dotada de un chip muy especial (conocido como *interline*) que no necesita de obturador mecánico, sino que el inicio y el final de la exposición se realiza electrónicamente. Esto proporciona una precisión en el tiempo del orden de los milisegundos que introduce una incertidumbre en la posición muy por debajo de la precisión astrométrica y por tanto, despreciable. Este nuevo chip es de 6k x 4k con un tamaño de píxel de 5.5 micras y resulta un campo de 4.2 x 2.9 grados. De esta manera, el TRFM se convierte en un telescopio único al tener una doble capacidad, como telescopio de exploración y como telescopio de seguimiento de objetos en órbita LEO.

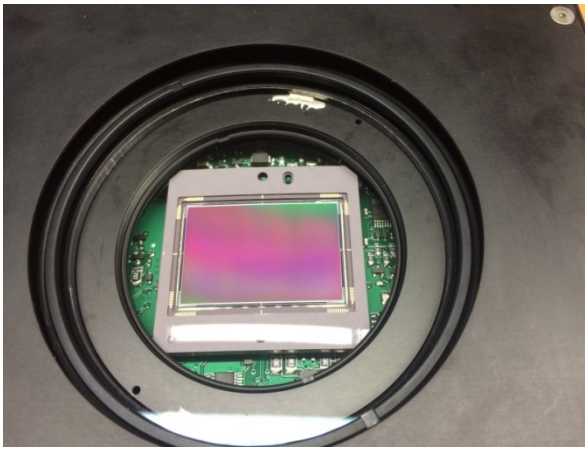

*Figura 2.4: Chip Interline de 6576 x 4384 píxeles integrado en una cámara FLI-PL29050.*

Aprovechando el cambio de cámara CCD, es enviada a la Empresa FLI, en Estados Unidos, la cámara PL16803 para que ser sustituida la placa base, con el fin de mejorar el tiempo de descarga de las imágenes, circunstancia que produce una optimización importante de la estrategia observacional, obteniendo un mayor número de imágenes durante una noche de observación, y así mejorar el número de objetos detectados. Durante dicha sustitución FLI informa que también se debe cambiar el chip ya que es incompatible con la electrónica de la nueva placa base; en esta modernización, es sustituido también el sistema de refrigeración líquido por uno ya integrado en el cuerpo de la cámara.

Debido al tamaño de las nuevas imágenes, de 56MB cada una, se decide reemplazar el disco duro del PC que controla la cámara CCD, por uno nuevo dotado de una capacidad de 500GB, para poder almacenar todas las imágenes que se generan durante una misma noche de observación; se sustituye el actual sistema operativo a CentOS y se asigna un nuevo nombre al PC, pasando a llamarse “indiccd”.

Se instala de forma complementaria al sistema de cierre/apertura automático, un nuevo sistema manual de emergencia, tanto en el techo como en la compuerta del edificio del TFRM.

*Figura 2.5: Sistema dual de cierre del techo del edificio del TFRM.*

### 2.1.3. Actividades y resultados en el campo del SST

Las actividades del ROA 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 ROA colabora en el esfuerzo internacional y especialmente europeo, para incrementar la seguridad en el espacio y es además uno de los medios que 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 catálogos. Así, ayudamos a mantener el 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 resulta que el futuro sistema SST-UE se concibe como un sistema “federado”, formado por un consorcio de 5 países, cada uno con su propio Sistema de SST (sensores y centro de control de operaciones y análisis) y cada uno representado por sus respectivas agencias espaciales. El consorcio de 5 países lo formarán Francia (CNES), Alemania (DLR), Italia (ANSI), Reino Unido (UK Space) y España (CDTI).

Del 30 mayo al 07 de junio se realiza una campaña de observación dentro del proyecto *Spanish Surveillance and Tracking* (S3T) coordinada con DeSS. Aunque la meteorología no acompaña los resultados son buenos, produciéndose 7.209 imágenes, con 1.224 tracks y 8.402 posiciones.

En julio comienza la participación del ROA en el Programa “Marco de apoyo SST de la Unión Europea” (SST-UE).

Durante el 2016 se han procesado 220.486 imágenes, tomadas en 160 noches de las 250 dedicadas a SST. En total se han detectado 260.889 posiciones de GEOs (pertenecientes a 38.078 objetos) con una media de 238 objetos por noche.

Sigue una estadística más detallada de los resultados obtenidos durante el año:

Número de noches con resultados: 160
Número de noches dedicadas: 250
Número de noches consideradas “útiles” (con número de tracks >= 100): 132

Número de tracks totales: 38.078
Media de tracks por noche: 238
Media de tracks por noche útil (>=100): 272.5

Número de posiciones totales: 260.889
Media de posiciones por noche: 1630.56
Media de posiciones por track: 6,75

La Figura 2.8, es un histograma que indica la distribución de todos los objetos detectados durante el año en función de su magnitud.

En el histograma se observa que la magnitud límite alcanzada es prácticamente de 15,5 y la mayoría de objetos detectados tienen magnitud 13.

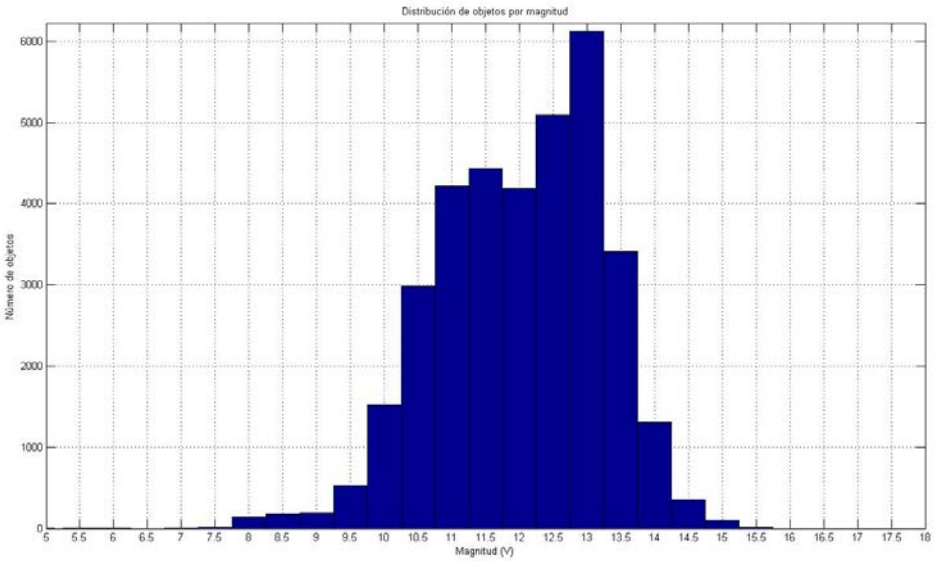


*Figura 2.8: Histograma de la distribución de los 38.078 objetos detectados durante todo el año 2016 en función de su magnitud (V).*

## 2.2. Reuniones y estancias de trabajo

Durante el año se celebran las siguientes reuniones destacables:

- El 20 y 21 de enero el CF Montojo asiste en Madrid a unas jornadas en ISDEFE sobre la “Participación del MINISDEF en el programa H2020”.
- Del 25 al 27 de enero el CF Montojo asiste a la reunión SCOOP en Deimos (Puertollano) y visita a ESAC y TBT (Cebreros).
- El 10 de febrero el CF Montojo asiste en Madrid a una reunión informativa sobre el programa SST-UE en CDTI.
- El 2 y 3 de marzo el CF Montojo asiste en Madrid a una reunión en CDTI para la negociación de los pliegos del futuro contrato SST-UE.
- El 11 de mayo el CF Montojo y el TN Canals asisten a la inauguración del observatorio DeSS en Puertollano.
- El 12 de mayo el CF Montojo pronuncia una conferencia sobre los trabajos del TFRM en la Escuela de ingenieros aeroespaciales de la Universidad Politécnica de Madrid.

- El 14 de julio el CF Montojo y el TN Canals asisten a una reunión entre MINECO-RIA en Madrid.

- Se celebra en Barcelona la VI reunión del Comité de Dirección, presidida por el Presidente de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona, el Dr. Ramón Pascual.

- Del 16 al 18 de noviembre el CF Montojo asiste al IV congreso DESEi+d 2016 en San Javier.

Durante el año se realizaron las siguientes estancias de trabajo:

- Del 01 al 09 de febrero el CF Montojo, el TN Canals y el ITA López Morcillo, se desplazan al OAdM para efectuar diversos mantenimientos. Destacar que se realiza la apertura del telescopio para cambiar la cámara CCD.

- Del 01 al 03 de marzo se produce la estancia en el OAdM del TN Canals y ITA López Morcillo para instalar y configurar dos nuevos ordenadores de la red informática del TFRM.

- Del 31 de mayo al 02 de junio el TN Canals y el ITA López Morcillo se desplazan al OAdM para repasar y renovar el cableado del baúl que contiene la electrónica de control del TFRM.

- Del 25 al 28 de noviembre el TN Canals y el ITA López Morcillo se desplazan al OAdM para efectuar comprobaciones y subsanar la incidencia en el código informático, en referencia al sistema automático de apertura/cierre del techo/compuerta del edificio del TFRM.

## 2.3. Novedades de personal

En el mes de diciembre, el ITA Vicente Blanco pasa a la situación de jubilación. El resto de la Sección de Astronomía, continúa sin variación: CF Fco. Javier Montojo Salazar, TN Lluís Canals Ros e ITA Ricardo López Morcillo.

## 2.4. Publicaciones y Comunicaciones

Aportaciones a congresos y comunicaciones:

- Montojo F. J., Núñez J., Fors O., Castillo, M., *SMOS as seen by the Telescope Fabra-ROA Montsec*, ESA, comunicación interna.

- Molotov, Igor; Schildknecht, Thomas; Zalles, Rodolfo; Rumyantsev, Vasilij; Voropaev, Viktor; Zolotov, Vladimir; Kokina, Tatiana; Montojo, Francisco Javier; Namkhai, Tungalag. Results of monitoring of the high orbits with ISON optical network**.** 41st COSPAR Scientific Assembly, 30 July-7 August 2016, Istanbul, Turkey.

- Molotov I., Schildknecht T., Montojo F.J., Rumyantsev V., Biryukov V., Zolotov V., Fakhrutdinova T., Zakhvatkin M., Voropaev V., Borovin G., Elenin L.,

Chestnov D., Kokina T., Namkhai T., Zalles R., Inasaridze R., Vikhristenko A., Buyko S., Smirnov A., Kornienko G., Erofeeva A., Wolf A., Kaplinskiy A., Rusakov O., Mokhnatkin A. Increasing of new GEO/HEO space debris discovery rate with ISON optical network.Proceedings of the 67th International Astronautical Congress (IAC), Guadalajara, Mexico, 26-30 September, 2016, IAC-16,A6,1,1,x33453

## 2.5. Otras actividades

- El 23 de enero se publica en el diario “La Vanguardia” una entrevista al TN Canals sobre proyectos desarrollados en el TFRM, centrándose en los trabajos en SST.

- El 9 de octubre el CF Montojo imparte la conferencia “Astrometría en el Real Instituto y Observatorio de la Armada” en San Fernando (Bahía Sur) para las V Jornadas Andaluzas de Astronomía (VJAA), organizadas por la RAdA (Red Andaluza de Astronomía).

- El 20 de octubre el CF Javier Montojo imparte la conferencia “La saturación del Espacio: detección y seguimiento de basura espacial con telescopios” en el Centro de Congresos de San Fernando organizada por la Real Academia de San Romualdo de Ciencias, Letras y Artes.

- El 5 de noviembre el CF Montojo asiste como ponente a las jornadas de Café con Ciencia en el ROA, enmarcadas dentro de la Semana de la Ciencia y organizadas por la Consejería de Economía y Conocimiento y la Fundación Descubre

- El 29 de noviembre se publica en el “Diario de Cádiz” una entrevista al CF Montojo sobre las actividades del ROA en SST titulada “Un cielo de chatarra”.

- El 17 de diciembre el CF Montojo pronuncia una conferencia sobre basura espacial, el TFRM y sus actividades en SST, para los alumnos de bachillerato del IES Martínez Español de Sevilla.

# 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 2016 en la Sección de Geofísica puede estructurarse en los siguientes apartados:

- Sismología.
- Geomagnetismo.
- Satélites Artificiales.
- Meteorología.
- Observatorio geofísico “Isla de Alborán”.
- Proyectos de Investigación y Acciones Especiales.
- Campañas.
- Publicaciones y Comunicaciones.
- Estancias de trabajo.
- Otros temas de interés.

## 3.1. Sismología

El registro sísmico cuenta con una amplia tradición en este Observatorio. Diversos sensores y sistemas de registro se han sucedido desde que en enero de 1898, a instancias de Mr. Milne, quedase funcionando la estación más antigua de España, con un período de 18 segundos. Péndulos horizontales bifiliares tipo Mainka, proyectados y 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 Spregnether de tres componentes, con sismómetro vertical modelo S-5100 V (1975) y sismómetros horizontales S-5100 H (1976), son los antecedentes inmediatos de la instrumentación actualmente instalada.

Para la adquisición de datos sísmicos se disponía, a comienzos de 2016, de la siguiente instrumentación permanente:

- Red de Corto Período de nueve estaciones desplegadas en las inmediaciones del Estrecho de Gibraltar.

- Red de Banda Ancha, integrada por catorce estaciones sísmicas de Banda Ancha.

Entre las actividades rutinarias del Servicio de Sismología se encuentra la reducción provisional de los sismos registrados por los equipos antes mencionados, plasmándose mensualmente en los *Boletines Provisionales de Sismos*. Una vez comprobados y recalculados los parámetros, se procede a su edición definitiva como un capítulo de los *Anales Geofísicos del Real Instituto y Observatorio de la Armada*.

En el año 2016 el personal científico y técnico de la Sección de Geofísica ha realizado un total de 12 salidas de campo, para mantenimiento y reparación de estaciones, búsqueda de emplazamientos, etc. Durante dichas salidas se procedió, asimismo, al mantenimiento y reparación de aquellas estaciones geodésicas GPS que se encuentran instaladas en los mismos emplazamientos que las estaciones sísmicas de Banda Ancha.

### 3.1.1. Red de Corto Período

La necesidad de apoyar el conocimiento de las estructuras físicas en el entorno del Estrecho de Gibraltar, aconsejaron iniciar los estudios sísmicos de dicha zona de la Península como una colaboración entre la empresa estatal SECEGSA, el Instituto Geográfico Nacional y el Real Instituto y Observatorio de la Armada, para lo cual se creó una red sísmica de corto período conocida como Red del Estrecho, que comenzó a funcionar a finales de 1986. De forma simultánea, la Red del Estrecho se complementó con la Red Telemétrica de Corto Período de este Observatorio.

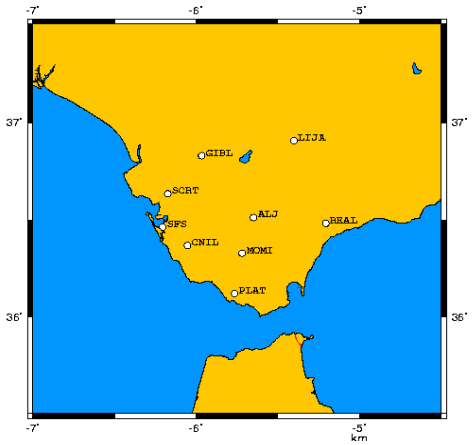


*Figura 3.1: Red Sísmica de Corto Periodo del Observatorio-Red del Estrecho.*

Desde el año 1986, la configuración inicial de la Red del Observatorio-Red del Estrecho ha sufrido, lógicamente, diversas modificaciones: se ha cambiado el emplazamiento inicial de alguna de las estaciones por la existencia de interferencias, la imposibilidad de efectuar mantenimientos en períodos invernales, la existencia de ruidos de carácter cultural, etc., y, asimismo, han sido reemplazados transmisores, estaciones de campo, sensores, etc. En la figura 3.1 se muestra su despliegue actual, significando, como en años anteriores, que continúan inoperativas las estaciones de la Sierra de San Cristóbal y de Sierra Plata.

### 3.1.2. Red de Banda Ancha

A comienzos del año 1995 se planteó una posible colaboración entre el Departamento de Geofísica de la Universidad Complutense de Madrid (UCM), el GeoforschungsZentrum (GFZ), Potsdam (Alemania) y el Real Instituto y Observatorio de la Armada en San Fernando (ROA), para la instalación de una estación de Banda Ancha en una zona próxima al ROA. Las condiciones de dicha colaboración entre el ROA, UCM y GFZ se contemplan en el *Convenio de colaboración en materia de sismología entre la Universidad Complutense de Madrid (UCM), el Real Instituto y Observatorio de la Armada (*ROA*) y el GeoforschungsZentrum (GFZ), de Potsdam, Alemania*.

Seleccionados unos túneles, antiguos polvorines, localizados en el Acuartelamiento *Cerro San Cristóbal* (El Portal, Jerez), pertenecientes al Ejército de Tierra, se procedió a partir del mes de junio de dicho año al estudio del ruido sísmico del emplazamiento. Una vez gestionadas las autorizaciones pertinentes se procedió a la instalación de una estación de banda ancha entre los días 24 y 25 de junio de 1996, en colaboración del personal del ROA, UCM y GFZ. Sus características principales eran las siguientes: Sensor: STRKEISEN STS-2 de 3 componentes; sistema de adquisición de datos "QUANTERRA Q680", de 3 canales y 24 bits de resolución; receptor de tiempo GPS y enlace telefónico vía módem. La estación quedó ya operativa desde el momento de su instalación e incorporada, con el nombre de SFUC, a la red del Observatorio, asociada a la red global GEOFON, y a través de esta red a otras redes internacionales como ORFEUS. Con fecha 29 de octubre de 2001 se procedió al traslado de la estación, desde su ubicación en el *Cerro de San Cristóbal* a los túneles del ROA, debido al vandalismo detectado en aquel recinto al ser desafectado por el Ejército de Tierra, cambiando el código de estación a SFS. Con la finalidad de que esta estación participase en el Sistema de Alerta de Tsunamis NEAMTWS (*North East Athlantic and Mediterranean Tsunami Warning System*) auspiciado por la UNESCO, entre los días 9 y 11 de febrero de 2010 se instala un sistema de comunicaciones VSAT.

A comienzos del año 1997 y en virtud de las condiciones de colaboración en materia de sismología entre el ROA, la UCM y el GFZ, plasmadas en el Convenio antes citado, se planteó la posibilidad de instalar una nueva estación sísmica de Banda Ancha, de características y condiciones similares a la anteriormente mencionada. Seleccionados unos túneles excavados en roca, antiguos polvorines de la Armada, ubicados en la E.N. La Algameca (Cartagena), y una vez comprobada la idoneidad del emplazamiento para el registro sísmico, se procedió a la instalación definitiva de dicha estación entre los días 9 y 12 de diciembre del año 1997. Esta estación sísmica, designada CART, quedó ya operativa desde el mismo instante de su instalación, incorporándose a la red de este Observatorio y como estación asociada a la Red Global GEOFON. Las características principales de esta estación son las mismas que se han señalado para la estación SFUC y en el año 2009 se conecta a la red Intranet del Ministerio de Defensa. Entre los días 7 y 11 de febrero de 2011, y con la misma finalidad que en la estación de San Fernando, se instala en la estación un sistema de comunicaciones por satélite (VSAT) y se actualiza la estación con el cambio del digitizador por uno Quanterra Q-330HR. En la figura 3.2 se puede apreciar un detalle de la instrumentación de esta estación sísmica. Asimismo, se completa la instrumentación mediante la instalación de un acelerómetro modelo Episensor. Entre los días 27 y 29 de agosto de 2013 se procede a la reinstalación del sistema VSAT, reorientando la antena y reemplazando el modem satélite debido al cambio de proveedor.

*Figura 3.2: Estación sísmica de Banda Ancha CART. A la izquierda el sistema de adquisición Q-380HR, el sistema de alimentación y el SeisComP. A la derecha la derecha la antena VSAT y la entrada al túnel.*

Con la misma finalidad antes mencionada, con que se abordó por parte del ROA, UCM y GFZ la instalación de la estación sísmica CART, a comienzos del año 1998 las tres instituciones plantean la instalación de una tercera estación sísmica de banda ancha y similares características a las de SFS y CART, en la Estación Naval de Mahón (Menorca). Dicha instalación se efectuaría al amparo del convenio de colaboración existente. La instalación definitiva, en los túneles del antiguo taller de torpedos de la citada Estación Naval, designada como *MAHO*, fue realizada entre los días 7 y 11 de junio de 1999. Una vista aérea de la zona de ubicación de la estación *MAHO* puede ser apreciado en la figura 3.3. Entre los días 23 y 29 de junio de 2011, y con la misma finalidad que en la estación de San Fernando, se instala en la estación un sistema de comunicaciones por satélite (VSAT) y se actualiza la estación con el cambio del digitizador por uno Quanterra Q-330HR. Asimismo, se instala un acelerómetro modelo Episensor. Entre el 11 y 12 de Febrero de 2015 se reorienta la antena VSAT por cambio del satélite.

*Figura 3.3: Vista aérea del emplazamiento geográfico de la estación sísmica de Banda Ancha MAHO.*

Entre los días 13 y 17 de diciembre de 1999, y como una nueva colaboración entre el ROA, UCM y GFZ, se procedió a la instalación de una nueva estación sísmica de Banda Ancha y similares características a la estación SFUC, en la ciudad autónoma de Melilla. Designada como *MELI*, quedó operativa desde el momento de su instalación, incorporada a la red sísmica de este Observatorio y asociada a la red global GEOFON.

Debido al crecimiento urbano en la zona donde se encontraba instalada la estación, el ruido sísmico se fue incrementando de forma progresiva, por lo que en el segundo semestre del año 2003 se procedió al acondicionamiento de un nuevo túnel, ubicado en el casco antiguo de Melilla y dependiente del Museo de esta Ciudad, procediéndose al traslado de la estación el día 6 de febrero de 2004. En noviembre de 2007, se conecta la estación sísmica MELI a la red Internet, mediante la instalación de un router ADSL. Con la finalidad de evitar las zonas más húmedas del túnel, con fecha 14 de marzo de 2011 se procede al traslado del sensor sísmico a una nueva basada construida al efecto a la entrada del túnel. El 22 de octubre de 2015 se cambia de nuevo el emplazamiento de la estación a un antiguo polvorín sito en el cuartel "Capitán Arenas" (figura 3.4) debido al comienzo del proyecto de rehabilitación de los antiguos túneles de la ciudad autónoma. Dado que la distancia entre la nueva ubicación y la antigua es mayor al kilómetro se cambia el código a WMELI. Así mismo se cambia el sistema de adquisición Quanterra 4120 por un EarthData PS24, quedando la estación sin conexión en tiempo real, hasta que en marzo de 2016 se conecta a internet. A partir del 4 de diciembre se detecta problemas de conexión sin poder solucionarlos antes de la finalización del año.

*Figura 3.4: Vista del emplazamiento de la estación sísmica de Banda Ancha WMELI.*

Con la finalidad de mejorar el control desde el Observatorio de las estaciones sísmicas de Banda Ancha, pasando a una transmisión de datos en tiempo quías real, a mediados del año 2000 se procedió a la instalación de un PC remoto asociado a la estación SFUC (PC SeisComP), y de un PC de control en la Sección de Geofísica. Ambos ordenadores tienen implementado un software, desarrollado en lenguaje LINUX, que permite la transmisión automática de datos en períodos programables. Este sistema ha sido implementado en el resto de las estaciones de Banda Ancha al resultar satisfactorias las pruebas realizadas.

Como una nueva colaboración entre el ROA, UCM y GFZ, durante el año 2004 se desplegaron dos nuevas estaciones sísmicas permanentes de Banda Ancha, una en la Ciudad Autónoma de Ceuta y la otra en el Peñón de Vélez de la Gomera. Ambas estaciones cuentan con sensores STREKEISEN STS-2, sistemas de adquisición de datos *Earth Data Digitizers* (EDD) y PC SeisComP asociado.

En el caso de Ceuta, la estación sísmica, designada como CEU, se encontraba ubicada, hasta comienzos de 2009, en los sótanos de una torre conocida como *Torre Anyera*, dependiente de la Ciudad Autónoma. La falta de alimentación en la Torre, la carencia de conexión remota fiable para su control y transmisión de datos, y las cada vez mayores dificultades de acceso, provocaron que con fecha 14 de octubre de dicho año se

procediese al traslado de la estación al recinto del *Castillo del Desnarigado*, donde este Observatorio ya disponía de una estación GPS permanente. La estación queda nuevamente operativa desde dicha fecha. Con fecha 10 de diciembre se procede a la conexión de esta estación a la red Intranet del Ministerio de Defensa, de forma que se dispone de un sistema para su control remoto y gestión de datos.

La estación del Peñón de Vélez de la Gomera, designada como PVLZ, fue instalada el día 7 de diciembre de 2004, en una cueva existente en dicho emplazamiento del Ejército de Tierra, en el mismo lugar que se había mantenido una estación temporal de Banda Ancha en el periodo 2001-2004. El día 8 de julio de 2009 se procede a la conexión de esta estación a la red Intranet del Ministerio de Defensa.

En las figuras 3.5 y 3.6 se pueden ver los emplazamientos correspondientes a las estaciones de Ceuta (Castillo del Desnarigado) y Peñón de Vélez.

*Figura 3.5: Estación sísmica de Banda Ancha CEU: Exterior del Castillo del Desnarigado.*

*Figura 3.6: Emplazamiento geográfico de la estación sísmica de Banda Ancha PVLZ.*

Durante el año 2005, y nuevamente como una colaboración entre el ROA, la UCM y el GFZ, se instaló una nueva estación sísmica de Banda Ancha en un emplazamiento que se encuentra a las afueras de la ciudad de Málaga, en dependencias de la presa del Limonero (Cuenca Mediterránea Andaluza, Agencia Andaluza del Agua, Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía), lugar anteriormente ocupado por una estación de

corto periodo del IGN, y por una estación temporal de Banda Ancha del ROA /UCM (2001-2004). El código definitivamente asociado a la estación ha sido *EMAL*. En el año 2007 se cambió la configuración de la estación, quedando instalada con un digitizador ED PS-24 de 6 canales (que reemplaza a un digitizador Quanterra Q-730) e instalándose en el mismo emplazamiento un acelerómetro modelo Episensor (figura 3.7). Esta estación cuenta con conexión Internet ADSL. Durante el año 2016 no ha habido incidencias que destacar en esta estación.

*Figura 3.7: Sensores sísmicos de la estación de Banda Ancha EMAL.*

El día 10 de junio de 2006 se asocia a la red Western Mediterranean, una estación sísmica de Banda Ancha instalada por la Universidad de Évora (Portugal) en el recinto de dicha Universidad, con la colaboración de personal de este Observatorio. Su código es EVO, y sus características son similares a las del resto de la red WM.

Con fecha 30 de junio de 2006 se firma un Memorándum de Colaboración Científica entre el ROA, el *Institut Scientifique* de la Universidad Mohammed V-Agdal de Marruecos (ISRABAT) y la Universidad Complutense de Madrid (UCM). Al amparo de dicho Memorándum se procedió a la instalación de una estación sísmica de Banda Ancha (BB) en el recinto del Observatorio Averroes, dependiente del ISRABAT, entre los días 18 y 22 de julio de dicho año. La estación se compone de un sensor Streckeisen STS-2, un digitizador EDD (Earth Data Digitizer), un PC SeisComP, y material accesorio. La estación ha quedado incorporada a las redes *sísmicas "Western Mediterranean"* (Red ROA/UCM), y de ISRABAT, y asociada a diversas redes internacionales, con el código AVE. En marzo de 2007, queda instalada una línea Internet ADSL en dicho Observatorio que permite el acceso remoto a la estación (figura 3.8). Entre los días 21 y 25 de noviembre de 2011, y con la misma finalidad que en la estación de San Fernando, se instala en la estación un sistema de comunicaciones por satélite (VSAT) y se actualiza con el cambio del digitizador por uno Quanterra Q-330HR y la instalación de un acelerómetro modelo Episensor. Entre los días 4 y 6 de noviembre de 2103 se procede a la reinstalación del sistema VSAT.

*Figura 3.8: Esquema del túnel de estación sísmica de Banda Ancha AVE (Marruecos).*

En base al Memorándum de Colaboración Científica entre el ROA, ISRABAT y UCM, antes citado, durante el año 2007 se procedió a la instalación de una nueva estación sísmica de Banda Ancha (BB), en el recinto del Observatorio de Ifrane, dependiente asimismo del ISRABAT. La estación se compone de un sensor Streckeisen STS-2, un digitizador EDD (Earth Data Digitizer), un PC SeisComP y material accesorio. La estación ha quedado incorporada a las redes sísmicas Western Mediterranean (ROA /UCM), y de ISRABAT, y asociada a diversas redes internacionales, con el código IFR (figura 3.9). Esta estación dispone, asimismo, de conexión Internet para su control y gestión de datos.

*Figura 3.9: Observatorio y entorno de la estación sísmica IFR (Ifrane, Marruecos).*

Entre los días 2 y 6 de junio de 2008, y en base al Convenio de Colaboración Científica entre ROA, ISRABAT y UCM antes citado, se procedió a instalar una nueva estación sísmica de Banda Ancha en Tiouine (Marruecos), en un recinto dependiente del ISRABAT (figura 3.10). La estación, de características similares a las de AVE e IFR, quedó operativa desde su instalación y, designada como TIO, se encuentra asociada a la red Western Mediterranean (Red ROA /UCM), a la de ISRABAT y a diversas redes internacionales. No se dispone de conexión remota con la estación, por lo que su control y el volcado de datos se realizan mediante visitas periódicas a la misma. A comienzos del año 2010, y tras diversas averías, se procedió a reemplazar el equipamiento por los equipos de una estación sísmica de la red temporal TopoIberia (sensor Trillium 120 y digitizador Taurus de Nanometrics). En marzo de 2014 se reinstala la estación original sin tiempo real, y entre el día 25 y 29 de Mayo de 2015 se instala el sistema de comunicaciones VSAT. Debido a un problema con el sistema de adquisición la estación se encuentra inoperativa.

*Figura 3.10: Entorno de la estación sísmica de Banda Ancha TIO (Tiouine, Marruecos).*

A principios del mes de junio de 2008, la Universidad de Évora (Portugal) instala una nueva estación de Banda Ancha en Setúbal (código internacional SETU) conectada a Internet vía GPRS, integrándose en la red Western Mediterranean. Las características de esta estación son similares a las del resto de la red WM. Esta estación ha presentado muchos problemas desde su instalación y se encuentra inoperativa.

El día 26 de junio de 2010, y en virtud del convenio de colaboración entre el ROA y la UCM, se instala una estación sísmica de Banda Ancha en uno de los túneles existentes en el recinto de la Estación Radio Naval *Bermeja* situada en la Comunidad de Madrid. Designada como UCM, cuenta con equipos similares a las otras estaciones, y se encuentra asociada a la red *Western Mediterranean* (ROA /UCM), y, a través de ella a las redes internacionales. Entre los días 10 y 12 de mayo de 2011 se procede a instalar una conexión Internet en la estación.

El día 21 de octubre de 2014, y en virtud del convenio de colaboración entre el ROA y la UCM, se instala una estación sísmica de Banda Ancha en el edificio del faro de las Islas Chafarinas (figura 3.11). Designada como CHAS, cuenta con equipos similares a las otras estaciones (sistema de adquisición Quanterra Q-330HR, sensor Streckeisen STS-2, acelerómetro Episensor, un PC SeisComP y material accesorio), y se encuentra asociada a la red *Western Mediterranean* (ROA /UCM), y, a través de ella a las redes internacionales. En mayo de 2015 se conecta la estación a intranet para su integración en tiempo real.

*Figura 3.11: Vista de la islas Chafarinas.*

El día 26 de junio de 2015, y en virtud del convenio de colaboración entre el ROA y la UCM, se instala una estación sísmica de Banda Ancha en las instalaciones del INTA de "Arenosillo" (Huelva), con el código ARNO (figura 3.12), compuesta por un sensor Streckeisen STS-2.5 y un acelerómetro modelo Episensor, un digitizador Quanterra Q-330HR y un PC SeisComP, quedando conectada en tiempo real por internet.

*Figura 3.12: Vista del entorno de la estación sísmica de Banda Ancha de Arenosillo (ARNO).*

En el año 2016, dos averías relacionadas con el sistema VDSL impiden la retransmisión de los datos en tiempo real; la primera entre el 20 de abril al 6 de octubre, y la segunda desde el día 26 de noviembre sin que pueda ser reparada.

En la figura 3.13 se representa un mapa con la localización geográfica de las estaciones sísmicas de Banda Ancha de la red *Western Mediterranean (WM)* a finales de 2016.

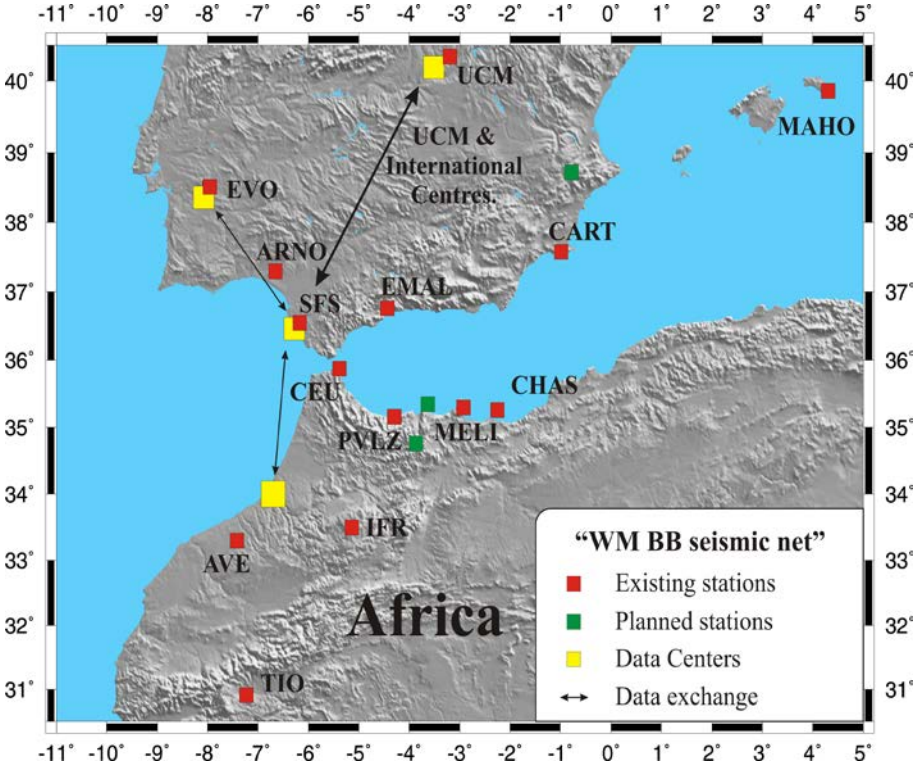


*Figura 3.13: Localización geográfica de las estaciones de la red sísmica de Banda Ancha "Western Mediterranean" (WM).*

En la figura 3.14 se muestra la evolución sísmica registrada desde el enero de 1987 hasta diciembre de 2016 y en la figura 3.15 el mapa de sismicidad para el mismo periodo.

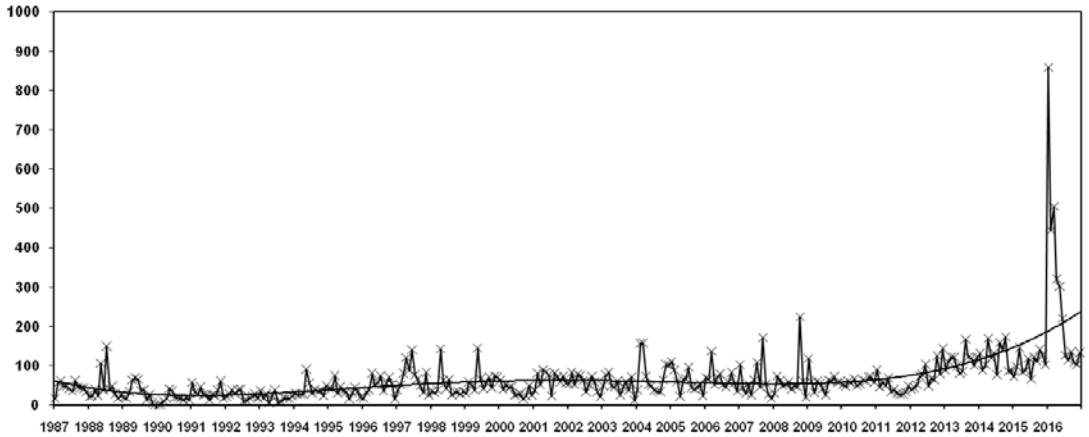


*Figura 3.14: Variación sísmica mensual para el periodo ENE87-DIC16.*

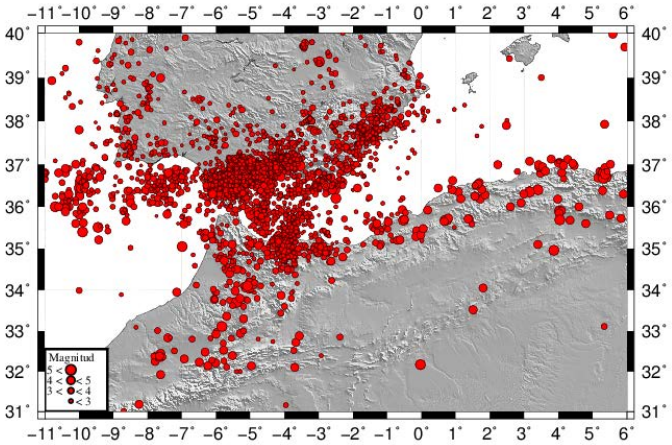


*Figura 3.15: Mapa de la sismicidad regional registrada desde Enero de 1987 hasta Diciembre de 2016.*

En las figuras 3.16 y 3.17 se resumen las localizaciones epicentrales (regionales y telesismos respectivamente) de los sismos registrados durante el año 2016.

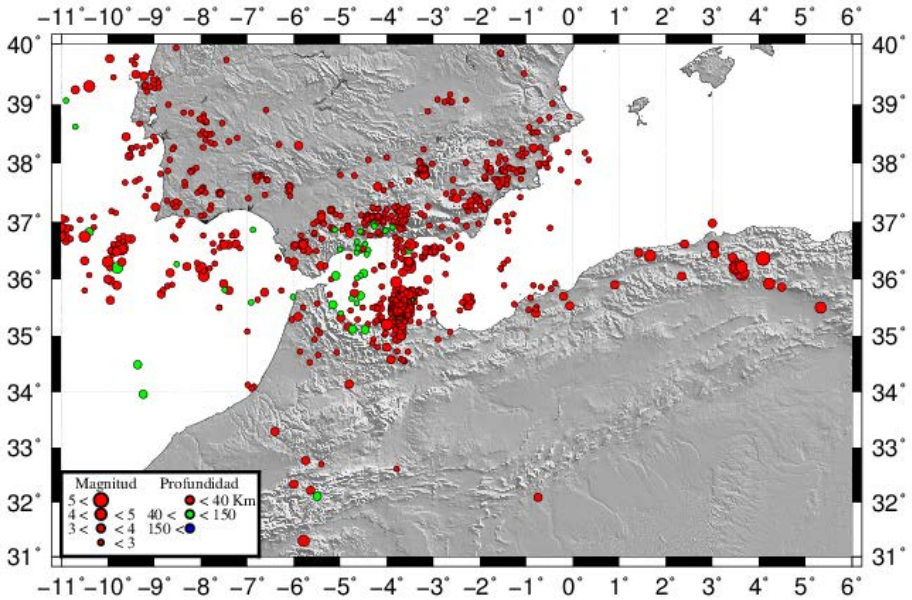


*Figura 3.16: Mapa de la sismicidad regional registrada en 2016.*

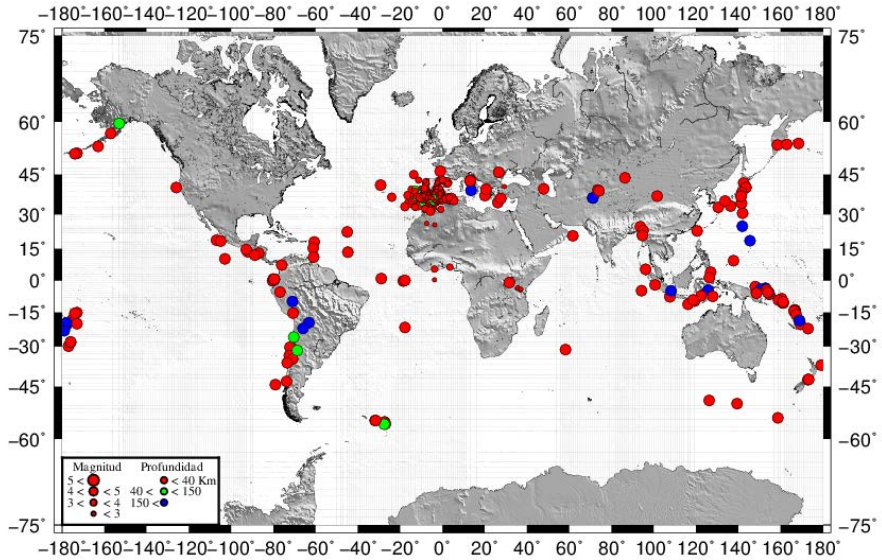


*Figura 3.17: Localizaciones epicentrales de sismos lejanos realizadas durante el año 2016.*

## 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.

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

Tal como se ha reseñado en las Memorias de Actividades de años previos, 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 la parte posterior del edificio llamado *Cortijo Garrapilos*, perteneciente al acuartelamiento *Cortijo de Vicos,* de la Yeguada Militar (Jerez), dependiente de la Secretaría General Técnica del Ministerio de Defensa. En las Memorias correspondientes a los años 2003 y 2004 se detallan las actuaciones que en dichos años se realizaron para la construcción del nuevo Observatorio Geomagnético en el recinto del citado *Cortijo Garrapilos*. Destacar que dicha construcción está basada en tres casetas de madera de diferentes tamaños (figura 3.19): caseta de observaciones absolutas, de observaciones relativas 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 un pilar externo auxiliar, para control de la evolución geomagnética del entorno. El día 14 de octubre de 2004 se comenzó el traslado de instrumentación desde el Barrio Jarana y la puesta en operatividad de la nueva estación, y el día 21 del mismo mes se recibe satisfactoriamente en el Observatorio de San Fernando el primer fichero de datos de variación del campo geomagnético correspondiente a dicha estación.

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

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

Durante el año 2011, 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 de celebración del "*XV Workshop de la Asociación Internacional de Geomagnetismo y Aeronomía (**IAGA**) sobre Observatorios magnéticos, instrumentación y tratamiento de datos*", celebrado el mes de junio de 2012, se procedió a la construcción de cinco pilares magnéticos en terrenos previamente acondicionados, situados a poniente del Observatorio.

Durante todo el año 2016 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. Para ello se han realizado mantenimientos periódicos del grupo de aire acondicionado instalado al efecto.
- Generación del informe anual.
- Se han mantenido las colaboraciones habituales con diferentes centros e instituciones internacionales, remitiendo los datos al World Data Center (WDC), British Geological Survey (BGS), red INTERMAGNET, etc.
- Se ha colaborado en la edición de los Anales de Observaciones Geofísicas del Observatorio correspondientes al año 2016, en su apartado de Geomagnetismo.
- En el mes de febrero se recibe el magnetómetro Diflux que se había remitido a la casa fabricante (Bartington) para su reparación en 2015.

*Figura 3.18: Vista exterior del Observatorio Geomagnético localizado en el Cortijo Garrapilos.*

### 3.2.2. Otras actuaciones del Servicio de Geomagnetismo

Durante el año 2016, además de las actuaciones en la estación geomagnética antes mencionadas, se realizaron otras funciones en este Servicio, entre ellas se puede destacar:

- Se ha colaborado en la edición de los Anales de Observaciones Geofísicas del Observatorio correspondientes al año 2015, en su apartado de Geomagnetismo.

- Entre los días 22 y 27 de mayo, el jefe del servicio de magnetismo, CF Manuel Catalán Morollón, participa en la campaña INCRISIS a bordo del BIO "Hespérides" para la evaluación geológica y geofísica de la zona afectada por el terremoto del 25 de enero de 2016.

- Entre el 27 de mayo y el 26 de junio se desarrolla la campaña ZEEE-2016 a bordo del BIO "Hespérides". La jefatura de la campaña corresponde este año al Observatorio. Durante la misma se realizan levantamientos de la zona norte, este y sur del Mar Balear. Aprovechando la entrada del buque en Palma de Mallorca para cambio de equipo científico, se lleva a cabo en dicho puerto la presentación de la reedición de la cartografía correspondiente a los trabajos realizados en la zona del Mar Balear y Golfo de Valencia entre 1995 y 1997. Estos productos consisten en las hojas a escala 1: 500.000 de Anomalías Geomagnéticas, Anomalías Gravimétricas (Aire Libre y de Bouguer), Batimetría y Mapa Geomorfológico; un CD con cuatro series de seis hojas (formato PDF) a escala 1: 200.000 sobre Batimetría, Anomalías Geomagnéticas, Anomalías gravimétricas (Aire Libre y Bouguer) y el mapa general del Margen continental gallego a escala 1: 500.000 (formato PDF) de Anomalías Geomagnéticas, Anomalías Gravimétricas (Aire Libre y Bouguer), Batimetría y Mapa Geomorfológico; una separata explicativa y el programa de instalación de la aplicación informática que permite la visualización de los anteriores mapas temáticos.

## 3.3. Satélites

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 azimutal de la torreta, 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). En la figura 3.19 se puede apreciar un esquema de la estación láser.

Durante el año 2016 se prosiguen realizando las observaciones programadas de la rutina diaria de seguimiento de satélites artificiales, pudiéndose observar un progresivo deterioro en el estado de varias componentes, entre ellas la cuba y los flashes del sistema, con la correspondiente pérdida en el rendimiento.

Así mismo, entre los meses de enero y febrero de 2016 se efectuó la re-aluminización del espejo.

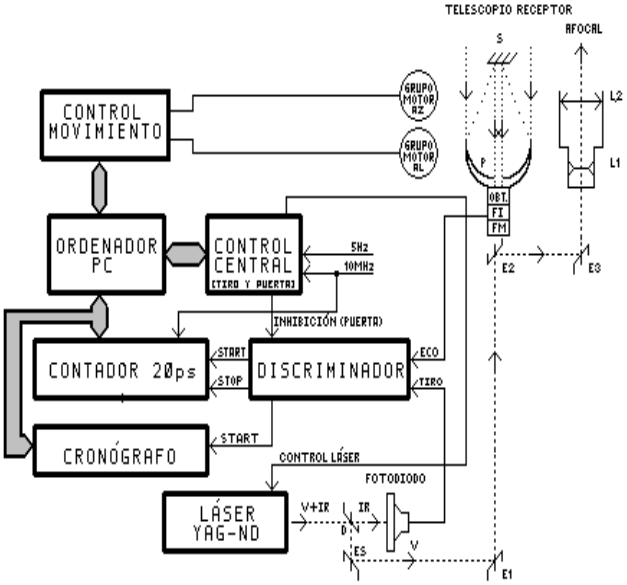


*Figura 3.19: Esquema de bloques de la Estación Láser.*

Se continúa incluyendo en la rutina de observación a los satélites inactivos (basura espacial) dentro del marco del el Proyecto de investigación titulado "*Contribución de la estación Laser de seguimiento de satélites artificiales del ROA : a) La determinación del sistema internacional de referencia terrestre, y b) al seguimiento de basura espacial*" (Referencia ESP2014-56577-P).

En la tabla 3.1 se refleja el rendimiento del sistema a lo largo del año, tanto de satélite activos como inactivos (basura espacial). Dentro de los satélites activos se especifica el número de pasos y ecos para el caso de satélites altos y LAGEOS.

| | ACTIVOS-BAJOS | | LAGEOS | | ACTIVOS-ALTOS | | BASURA | | TOTALES | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | PASOS | ECOS | PASOS | ECOS | PASOS | ECOS | PASOS | ECOS | PASOS | ECOS |
| **ENE** | 99 | 31283 | 3 | 126 | 2 | 46 | 1 | 176 | 105 | 31631 |
| **FEB** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **MAR** | 9 | 3387 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 3387 |
| **ABR** | 159 | 55862 | 4 | 138 | 4 | 155 | 6 | 374 | 173 | 56529 |
| **MAY** | 191 | 24190 | 0 | 0 | 0 | 0 | 23 | 2304 | 214 | 26494 |
| **JUN** | 340 | 89296 | 3 | 435 | 0 | 0 | 39 | 7851 | 382 | 97582 |
| **JUL** | 231 | 46011 | 0 | 0 | 0 | 0 | 45 | 8665 | 276 | 54676 |
| **AGO** | 291 | 69145 | 26 | 5870 | 0 | 0 | 43 | 7212 | 360 | 82227 |
| **SEP** | 102 | 19823 | 2 | 199 | 1 | 15 | 14 | 1431 | 119 | 21468 |
| **OCT** | 65 | 27853 | 2 | 108 | 0 | 0 | 29 | 9665 | 96 | 37626 |
| **NOV** | 19 | 4514 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 1730 | 27 | 6244 |
| **DIC** | 64 | 27233 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20 | 4422 | 84 | 31655 |
| | | | | | | | | | | |
| **TOTAL** | **1570** | **398597** | **40** | **6876** | **7** | **216** | **228** | **43830** | **1845** | **449519** |

*Tabla 3.1: Número total de pasos y ecos de satélites seguidos durante el año 2016.*

En la figura 3.20 se muestra la evolución mensual del número de pasos de los seguimientos de satélites efectuados por la estación láser.

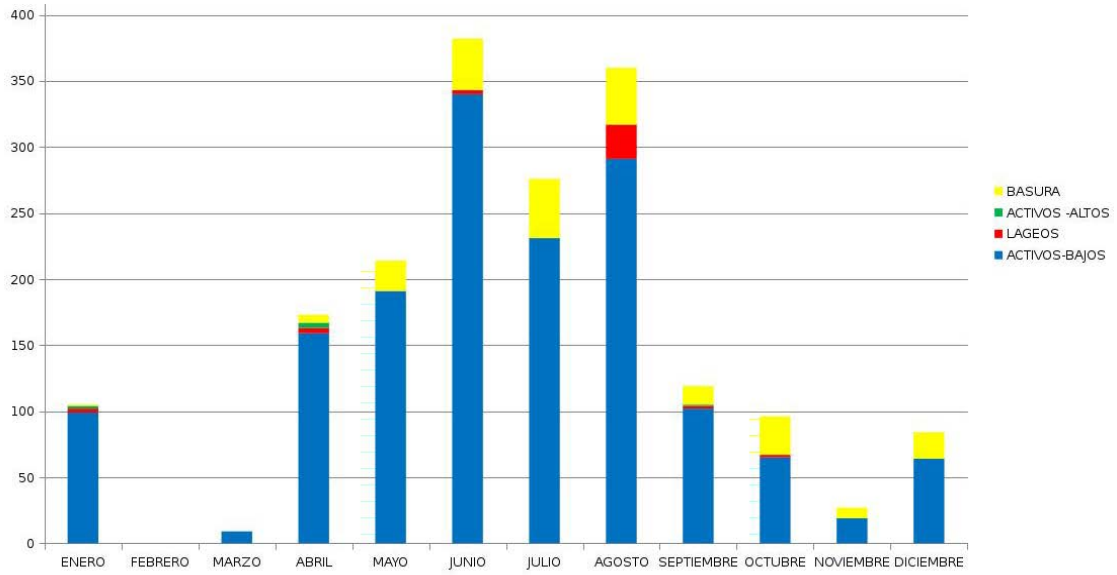


*Figura 3.20: Evolución mensual del número de pasos efectuados durante el año 2016. En Azul, satélites LEO; en Rojo, LAGEOS; en Verde, satélites HEO; y en Amarillo, satélites inactivos.*

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

Las aplicaciones principales que del Sistema Global de Navegación Satélite (GNSS) se realizan en la Sección de Geofísica, se pueden considerar agrupadas bajo los siguientes aspectos: establecimiento de redes geodésicas y estudios geodinámicos. Para el procesado de los datos se dispone del software científico *GPS Inferred Positioning System/Orbit Analysis and Simulation Software II* (GIPSY-OASISII). Este software, desarrollado por el Jet Propulsion Laboratory (JPL), dependiente de la NASA, tiene un carácter puramente científico, permitiendo obtener el máximo rendimiento a las observaciones geodésicas realizadas.

El Real Instituto y Observatorio de la Armada posee en su recinto un vértice geodésico de primer orden de la Red Española Geodésica GPS, establecida durante la Campaña EUREF'89, que ha sido reobservado en sucesivas campañas: TANGO (1991), EPOCH (1992), MAGIES (1993), IBERIA (1995), SELFII (1996), etc. A finales del año 1995 comienzan las observaciones de forma permanente en este punto fundamental. Con fecha 25 de marzo de 1996 se incorpora a la red mundial IGS, del *International GNSS Service (IGS),* con el nombre de SFER. A comienzos del año 2016 la estación SFER disponía de un receptor LEICA con entrada de frecuencia externa de 5 Mhz procedente de la base fundamental de tiempo mantenida por la Sección de Hora de este Observatorio, antena de tipo Choke-ring y PC asociado.

Por otra parte, y tal como se ha descrito en memorias precedentes, durante los años 1997, 1998 y 1999 se han instalado estaciones GPS permanentes en Cartagena (CART), Melilla (MELI) y Mahón (MAHO). Estas estaciones están integradas por receptores geodésicos TRIMBLE y antenas tipo Choke-Ring. Todas ellas se encuentran co-instaladas con las Estaciones Sísmicas de Banda Ancha, y están controladas desde el ROA vía módem telefónico, Internet, Intranet del Ministerio de Defensa o VSAT, dependiendo del emplazamiento. Con objeto de tener instalada toda la instrumentación junta, el 22 de octubre de 2015 se cambia el emplazamiento de la estación GNSS de Melilla un antiguo polvorín sito en el cuartel “Capitán Arenas” desde el cargadero de mineral de dicha ciudad autónoma, donde se encontraba instalada.

En el mes de marzo del año 2001 se procede a la instalación de una estación GPS permanente en el recinto del Instituto Andaluz de Geofísica y Prevención de Desastres Sísmicos, en Granada, similar en características a las anteriores. En noviembre de 2005 se desmontó la estación, cediéndose su emplazamiento a la Red de Estaciones de Andalucía, dependiente del Instituto Cartográfico de Andalucía (ICA) y gestionada por la Universidad de Cádiz, con el acuerdo de que los datos que genera la nueva estación estén siempre accesibles a este Centro en tiempo real, desde el mismo instante de su instalación.

El día 23 de enero de 2003 se instala una nueva estación GPS permanente en la Isla de Alborán. Debido a la corrosión ambiental existente y a las malas condiciones meteorológicas, la estación ha sufrido diferentes averías desde su instalación, optándose por su desmontaje en el año 2009. Finalmente, la estación quedó reinstalada en enero de 2010 en un mástil situado en la terraza del edificio del faro existente en la isla, y conectada a la red de intranet del Ministerio de Defensa.

El día 25 de septiembre de 2003, y dentro de las actividades del proyecto europeo ESEAS-RI (ver Memoria de Actividades correspondiente a los años 2003-2005), se instala una nueva estación GPS permanente en el Museo del Desnarigado del Ejército de Tierra en Ceuta. Desde el año 2009 es controlada remotamente a través de la red privada virtual del Ministerio de Defensa.

EL día 6 de abril de 2005 se procedió a instalar, en las proximidades de la estación sísmica de Banda Ancha del Peñón Vélez-Gomera, una estación permanente GPS compuesta de un equipo TRIMBLE NetRS y antena tipo *Choke-ring*, y conectada a la red de intranet del Ministerio de Defensa.

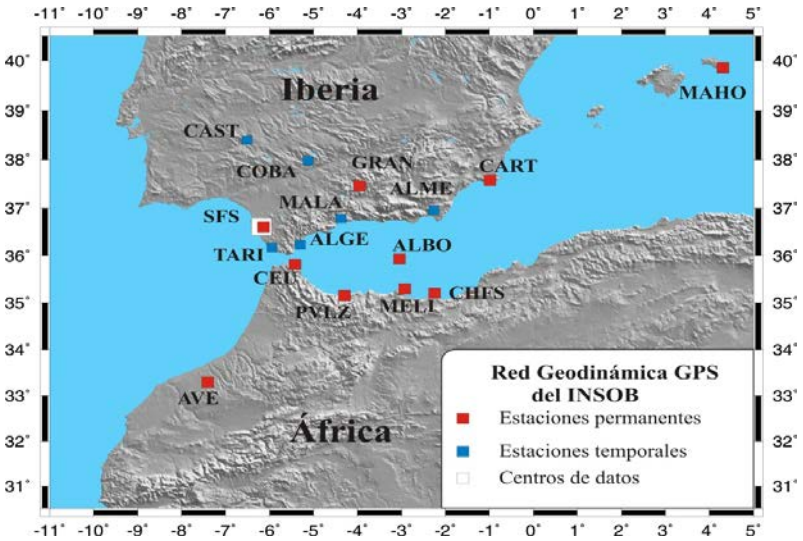


*Figura 3.21: Red GNSS, permanentes y temporales, del Observatorio.*

El día 31 de enero de 2007 se amplía la red GNSS de este Observatorio (figura 3.21), mediante la instalación de una nueva estación en el Faro de las islas Chafarinas. Esta estación está compuesta de un receptor TRIMBLE NetRS, antena Choke Ring, PC asociado de adquisición de datos y su alimentación se realiza directamente de la red eléctrica disponible. Desde mayo de 2015 se dispone de enlace remoto para la transferencia de datos mediante la red de intranet de Defensa.

El día 2 de junio de 2008, al amparo de un memorándum de entendimiento en materia de GPS entre el ROA Instituto Científico de la Universidad Mohamed V_Agdal (ISRABAT), se instala en el Observatorio de Averroes (Marruecos) una estación GPS permanente en colaboración con personal de ISRABAT, como ampliación de la Red Geodinámica del Observatorio. Las características de esta estación son similares a las del resto de estaciones de la red: Receptor TRIMBLE NetRS y antena geodésica tipo Choke-ring. Su control remoto se realiza vía VSAT, de forma coordinada con la estación sísmica co-instalada en el mismo emplazamiento.

El día 20 de diciembre de 2011 se procede a desmontar el receptor GPS TRIMBLE modelo NetRS y su correspondiente antena que se había instalado en el año 2010 en la Capitanía de Puerto de la Base Naval de Rota, con objeto de estudiar los efectos de la carga de marea oceánica en dicho puerto. El día 15 de junio de 2012, tras recuperar varios equipos averiados, se vuelve a instalar uno de ellos en la Capitanía de Puerto de la Base Naval de Rota. Dado que la antena no se ha movido de su emplazamiento mientras no ha habido receptor instalado, se retomó la serie temporal de observaciones sin mayores problemas.

Desde el punto de vista del análisis de los datos, se ha venido utilizando el modo de posicionamiento preciso de puntos desarrollado por el *Jet Propulsion Laboratory*, incluido en el software GIPSY, que es también capaz de resolver las ambigüedades. Desde diciembre de 2015, y dentro del proyecto “Galileo” del Ministerio de Defensa, se ha adquirido una licencia de uso científico para el software “Bernesse” desarrollado por la Universidad de Berna (Suiza). Esto permite investigar desde el propio ROA las similitudes y diferencias en el procesado de los datos por ambos software.

## 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 tomar 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 a 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.

En el año 2009 se instala una estación meteorológica automática en la isla de Alborán, como parte de la instrumentación desplegada en el Observatorio Geofísico instalado en dicha isla (apartado 3.5, Memoria año 2009). Esta estación ha sido desplegada en colaboración con la AEMET, tiene similares características e instrumentación a la instalada en el recinto del Observatorio y se encuentra adscrita, asimismo, a la Red Meteorológica Automática Nacional.

Como se ha indicado anteriormente, en los Anales de la Sección de Geofísica se incluyen, como un capítulo, las observaciones meteorológicas realizadas durante el año. Como resumen, y a modo indicativo, se presentan en las figuras 3.22 a 3.27 las gráficas de temperatura seca, lluvia total, viento, presión y humedad, con valores promedios correspondientes al año 2016, en la estación de San Fernando.

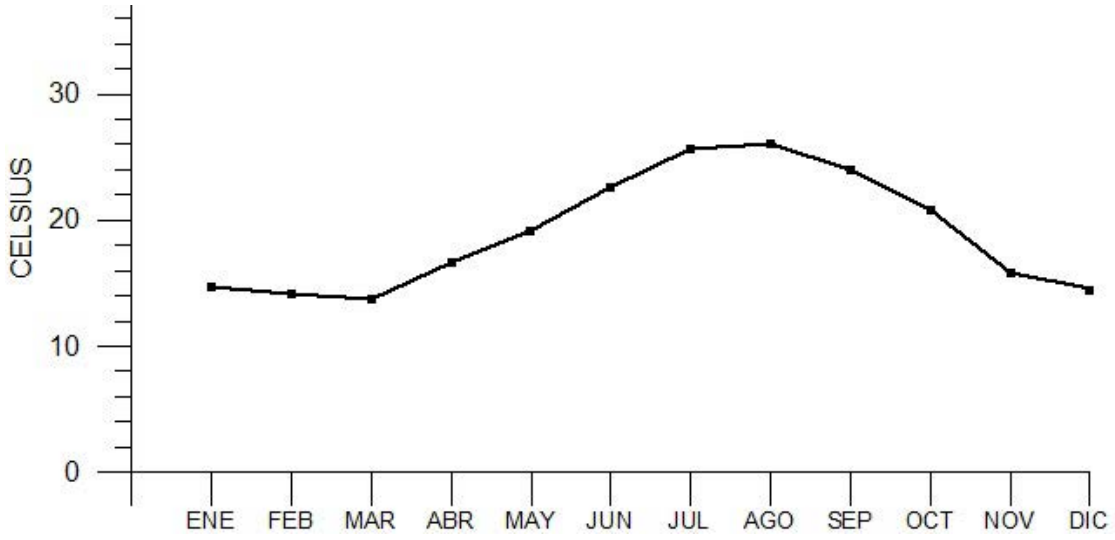


*Figura 3.22: Temperatura seca promedio en 2016.*

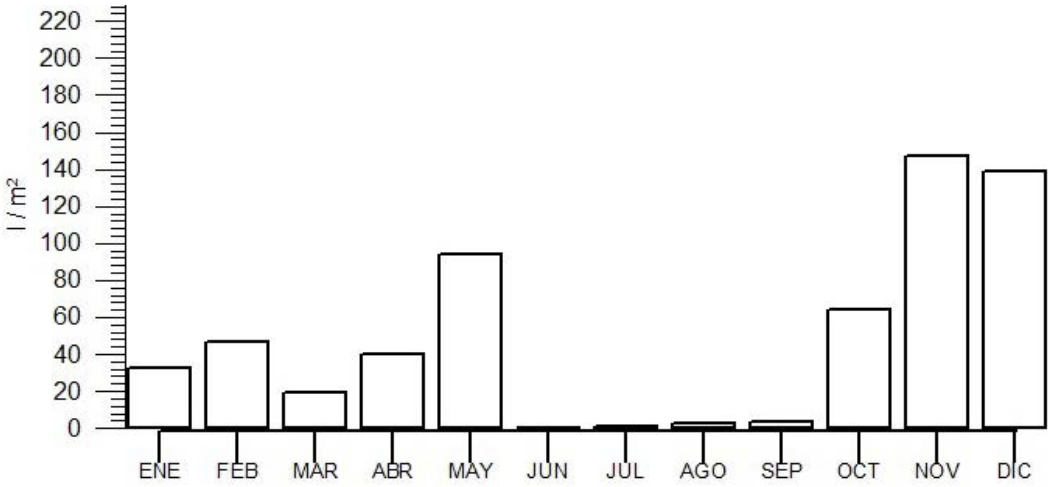


*Figura 3.23: Lluvia total en 2016.*

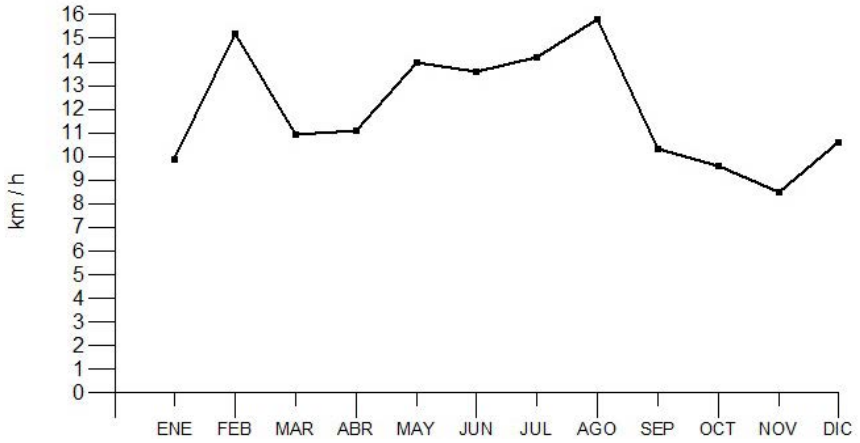


*Figura 3.24: Velocidad de viento promedio en 2016.*

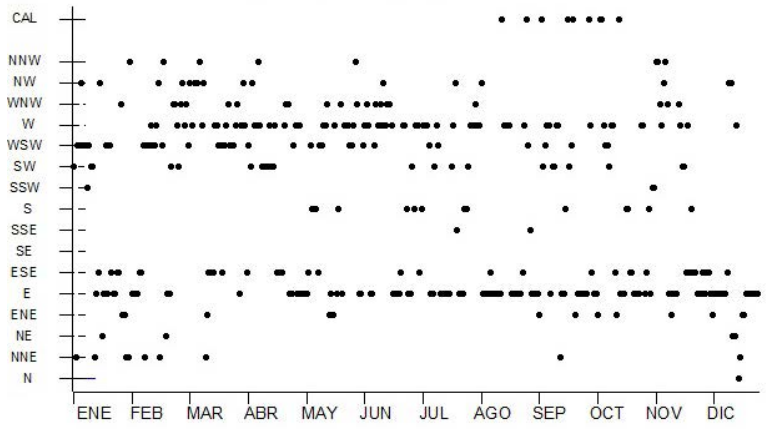


*Figura 3.25: Dirección de viento dominante en 2016 (CAL = Calma).*

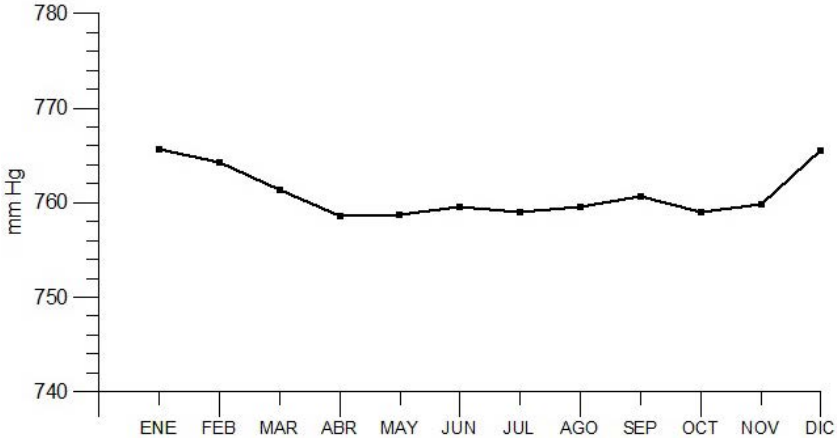


*Figura 3.26: Presión promedio en 2016.*

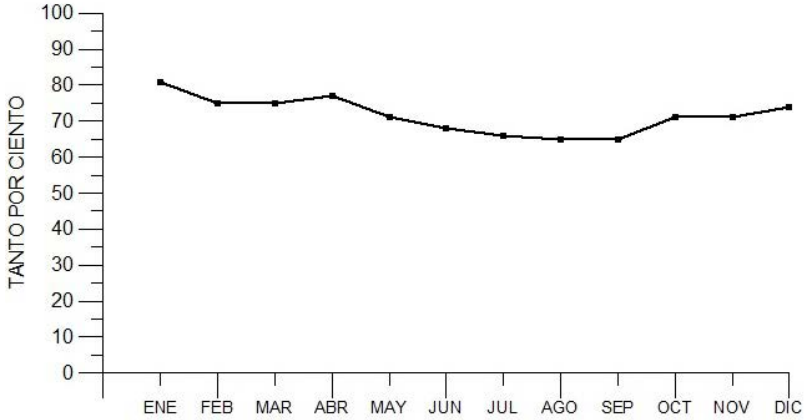


*Figura 3.27: Humedad promedio en 2016.*

## 3.5. Observatorio Geofísico Isla de Alborán

La mayor actividad sísmica en España se registra en la zona comprendida entre el Sur de la Península y las costas del Norte de África. Los sismos son habitualmente moderados pero hay numerosos antecedentes de terremotos de gran magnitud, como el denominado *terremoto de Lisboa de 1755* de magnitud próxima a 9.0, que causó miles de víctimas y cuyo tsunami asociado arrasó las costas españolas y del norte de África. De forma más reciente el terremoto de Bourmedes (Argelia), de magnitud próxima a 7.0, ocasionó miles de damnificados y generó un tsunami que causó destrozos en las costas de Baleares.

Gran parte de los epicentros de los terremotos ocurridos en esta zona se localizan en zonas marinas (figuras 3.15 y 3.16), por lo que con el fin de mejorar su determinación epicentral y disponer de datos de alta calidad en esta región, el Observatorio, con la participación de investigadores de otras Instituciones, propuso un proyecto de instalación de un Sismómetro de Fondo Marino (*Ocean Bottom Seismometer, OBS)* permanente en las inmediaciones de la isla de Alborán (OBS Alborán) (ver Memorias del Observatorio años precedentes). Este proyecto, financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación junto con la UCM, el Instituto Español de Oceanografía (IEO) y la

propia Armada, fue posteriormente modificado y ampliado de forma que se constituyese un Observatorio Geofísico multiparamétrico, submarino y terrestre, en este entorno geofísico tan singular, pasando a denominarse *Observatorio Geofísico de la Isla de Alborán*.

De forma inicial, este Observatorio contaría en la parte submarina con un sismómetro marino de tres componentes (OBS), un acelerómetro marino de tres componentes, un sensor marino de presión diferencial (DPG) y un magnetómetro fluxgate de una componente enlazados con la isla mediante un cable submarino de fibra óptica de 2 Km. de longitud, para proporcionar alimentación a los equipos y para transmisión a tierra de los datos adquiridos. Esta instrumentación se complementaría en la isla con un sistema de adquisición y gestión de datos de los datos submarinos, una estación geodésica GPS permanente y una estación meteorológica automática. Toda la información sería remitida al ROA en tiempo real vía Intranet satélite.

La estación geodésica GPS fue instalada ya a comienzos de 2009 y la campaña de instalación de la instrumentación submarina comenzó el 21 de septiembre de ese año, desarrollándose durante las siguientes dos semanas, con la participación de un total de 4 barcos, pertenecientes a la Armada y a la Secretaria General de Pesca (SEGEPESCA), contándose además con el apoyo de personal de la Unidad de Buceo de la Armada en Cádiz (UNBUDIZ), del Centro de Buceo de la Armada (CBA), de Cartagena, de SEGEPESCA y del propio ROA. La fase más crítica de la instalación correspondió al tendido del cable, que requirió trabajos tanto en mar (tendido del cable submarino, fijación del mismo, etc.) como en tierra (preparación y tendido del cable hasta el edificio del Faro de la isla, donde se alojan los equipos de tierra). El 2 de octubre se procedió a la instalación del instrumental en el fondo del mar, y comenzó la transmisión de datos a la isla.

En la segunda quincena de noviembre, y una vez comprobado el correcto funcionamiento de la instrumentación desplegada, se procedió a la instalación de los sistemas definitivos de adquisición y gestión de datos submarinos. Asimismo, se instaló la estación meteorológica automática en colaboración con la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). Desde dicha fecha, todos los datos adquiridos, sísmicos, de presión submarina, meteorológicos, GPS, etc., se podían gestionar en tiempo real en la isla y se retransmitir al centro de datos del ROA.

Estaba previsto que este Observatorio sea complementado con instrumentación adicional submarina y terrestre en fases sucesivas, en colaboración con otras instituciones. Así, durante el verano de 2011 se procedió a la instalación de un fotómetro en colaboración con la Universidad de Granada, equipo que permaneció instalado en la isla hasta el 18 de enero de 2012, día en que fue desmontado.

A comienzos del año 2010 se detectó un funcionamiento incorrecto en la instrumentación submarina, dejándose de recibir datos de la misma. El día 30 de mayo, con el apoyo del Cazaminas “Sella”, y en colaboración entre el personal técnico del ROA con la Unidad de Buceo de la Armada de Cádiz, se procedió a la recuperación a bordo de los equipos y su comprobación sobre la cubierta del buque, detectándose una entrada de agua en una de las unidades desplegadas, lo que provocó un cortocircuito y diversas averías en dicha unidad. A la vista de la situación se decidió no desplegar la instrumentación y remitirla al fabricante para su reparación dentro del periodo de garantía, cosa que se realizó durante el mes de junio. Finalmente se recibieron reparados en el mes de julio de 2011. Entre los días 17 y 18 de octubre, con la colaboración del Buque de Salvamento “Neptuno” y buceadores del CBA, se intenta

proceder a un nuevo despliegue de la instrumentación submarina, pero en las pruebas previas a dicho despliegue se detectó una falta de continuidad en el cable de fibra óptica, lo que imposibilitaría la comunicación con dicha instrumentación. Buceadores del "Neptuno" procedieron a la revisión del cable, no apreciándose externamente ningún signo de avería. A la vista de las circunstancias se decide paralizar la maniobra de despliegue y a su aplazamiento hasta una posterior comprobación y, si procede, reparación del cable. El 16 de febrero de 2012, el R/A "Mar Caribe" informa, en su diario de actividades, del enganche del cable en las uñas de su ancla tras un fondeo en las inmediaciones de la isla de Alborán. El 29 de febrero, buceadores del P/A "Infanta Cristina" confirman la rotura del cable, por lo que entre los días 22 y 25 de mayo de 2012, con la ayuda de las embarcaciones de SEGEPESCA, se procede al levantamiento del cable y a su traslado por tierra al Observatorio, donde se procede a su reparación. Finalizó el año con la instrumentación instalada en la isla funcionado de forma correcta al igual que los sistemas de control y comunicaciones, y a la espera de la mejoría de las condiciones meteorológicas y de mar, y a la disponibilidad de un buque apropiado, para proceder a un nuevo fondeo del cable y a la reinstalación del equipamiento submarino. Entre los días 04 y 09 de junio de 2013 se procede al nuevo despliegue del cable submarino y a la reinstalación del sensor sísmico, no pudiendo conectarse ambos por las malas condiciones meteorológicas y de la mar. Entre los días 14 y 17 del mismo mes, con ayuda del "Neptuno" se procede finalmente a la conexión y nivelación del sensor, quedando el sistema operativo. El día 30 de julio se produce un cortocircuito en la cocina del destacamento, provocando diversas averías eléctricas en la isla, entre ellas en la fuente de alimentación del OBS, localizada en tierra. Entre los días 17 y 19 de septiembre, se procede al cambio de dicha fuente, advirtiéndose entonces la existencia de una avería en el convertidor submarino provocada en el momento del cortocircuito, por lo que queda inoperativo el sistema.

Entre el 27 de Mayo de 2014, con la colaboración del Neptuno, se levanta el tubo de conexión a bordo y se sustituye el convertidor de corriente, así mismo se bloquea el sensor submarino mediante un cable de conexión desde superficie. Debido a que se observa una ruptura en el cierre del tubo que imposibilita la estanquidad se levantan todas las componentes submarinas para revisión y reparación. El 4 de Noviembre de 2014 se remiten a los laboratorios del fabricante (GURALP LTD) para reparación los sensores submarinos. Finaliza el año con la componente submarina inoperativa. El 19 de Mayo de 2015, con la colaboración del "Mar Caribe", se levanta el cable submarino por detectarse mal aislamiento y se traslada a los laboratorios del Observatorio para su recorrido.

## 3.6. Proyectos de Investigación y Acciones Especiales

Durante el año 2016 y dentro de la Sección de Geofísica, se han mantenido los siguientes proyectos de investigación y Acciones Especiales:

- ***Alerta Sísmica Temprana: Sistema regional e in-situ para la región Ibero-Magrebí (CGL2013-45724-C3-3-R) "ALERTES-RIM".*** Proyecto financiado por la Dirección General de Investigación y Gestión del Programa de I+D+i del Ministerio de Economía y Competitividad, cuyo investigador principal es el C.N. D. José Martín Dávila y en el que participan investigadores del ROA, de la Universidad de Cádiz (Facultad de Ingeniería Informática), del *GeoforschungsZentrum* (GFZ, Potsdam, Alemania) y del Instituto Científico de Rabat de la Universidad Mohammed V (Marruecos). Este proyecto se encuentra coordinado con otros dos proyectos, uno

del Departamento de Geofísica de la Universidad Complutense de Madrid (UCM, Subproyecto 1) y otro del Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña (ICGC, Subproyecto 2), y su plazo de ejecución es de tres años: 1 de enero de 2014 a 31 de diciembre de 2016. Los objetivos generales del proyecto, como consecuencia de los buenos resultados obtenidos en el proyecto anterior (ALERTES), son refinar las relaciones empíricas obtenidas anteriormente para el cálculo rápido de la magnitud, calcular nuevas correlaciones y ecuaciones, desarrollar un sistema SAST in-situ, la puesta en operatividad de un SAST regional implementado en SeisComP y Earthworm, estudiar la viabilidad de integrar datos GPS en el SAST regional, y realizar una microzonación en zonas de estudio seleccionadas para corregir efectos de amplificación.

- ***Geociencias en Iberia: estudios integrados de topografía y evolución 4d (TOPO-IBERIA; CSD2006-00041).*** Proyecto de excelencia tipo *CONSOLIDER* financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia (MEC), y con un plazo inicial de ejecución de 5 años (octubre 2006-octubre 2011), que fue extendido posteriormente en dos años adicionales. Finalizada dicha fecha, el proyecto ha sido nuevamente extendido temporalmente mediante una **"Acción de Dinamización de Redes de Excelencia" del Ministerio de Economía y Competitividad, con plazo de ejecución 2014-2016 (CGL2014-54582-REDC)**. Participan en Topo-Iberia diez grupos de Investigación españoles: Instituto Jaume Almera (IJA-CSIC) que actúa como coordinador; U. Complutense Madrid (UCM); U. Oviedo (UOVI), U. Granada (UGR); Instituto Geológico y Minero de España (IGME); U. Barcelona (UB); U. Autónoma de Barcelona (UAB); U. Cádiz (UCA); U. Jaén (UJA) y Real Instituto y Observatorio de la Armada (ROA). Se encuentra centrado en la zona Península Ibérica-Noroeste de África-Mar de Alborán-Golfo de Cádiz, con el objetivo de estudiar la interacción entre procesos profundos, superficiales y atmosféricos, integrando técnicas geológicas, geofísicas, geodésicas y de geocronología, en dicha zona. Este proyecto es la componente española de la amplia iniciativa *TopoEurope-Euroarray*, desarrollada a nivel europeo. El Observatorio fue el responsable de subprograma de GNSS, y participó en otros subprogramas, principalmente en: Sísmica, Base de Datos y en el de Modelos. A pesar de haber finalizado la componente instrumental, y tal y como se mencionó en punto 3.3.2 (Sistema Global de Navegación por Satélite: GNSS), la mayoría de las estaciones de la red GNSS "TOPOIBERIA" se mantienen todavía desplegadas.

- ***Contribución de la estación láser de seguimiento de satélites artificiales del ROA: a) la determinación del Sistema Internacional de Referencia Terrestre y b) al seguimiento de basura espacial. (ITRF-SFEL-BE).*** El objetivo científico fundamental es la mejora de la calidad de los datos producidos por el sistema de observación Láser de satélites con que cuenta el ROA, así como la realización de modificaciones y pruebas encaminadas al seguimiento de basura espacial. Los datos de la estación de seguimiento Láser (SLR) se aportan al Servicio Internacional de Rotación de la Tierra (IERS), a través del Servicio Internacional de Seguimiento Láser de Satélites Artificiales (ILRS), encargado de la generación de los sucesivos modelos del ITRF. Para poder ser utilizadas estas observaciones y corregir las órbitas de satélites es preciso alcanzar un nivel de precisión sub-centimétrico. Los últimos avances conseguidos en la mejora de las prestaciones del sistema, tras la ejecución de anteriores proyectos de investigación, se ven parcialmente enmascarados con el envejecimiento progresivo del equipo generador de pulsos láser, y la elevación del nivel de ruido electrónico, que llega a afectar a la precisión de las medidas. Su minimización mediante el diseño e implementación de filtros numéricos y electrónicos es uno de los objetivos planteados en este proyecto. Por

otro lado las modificaciones realizadas al actuar sobre diversos componentes del sistema, durante el tiempo de desarrollo y funcionamiento con sus correspondientes implementaciones parciales de software, han dado lugar a que en el sistema convivan programas que corren en diferentes máquinas sobre sistemas operativos tan dispares como el anticuado MS-DOS, y diferentes versiones de Windows, UNIX y Linux. Por ello se propone en este proyecto una reestructuración profunda del conjunto a través del diseño de un sistema global que integre las diferentes etapas del proceso de conformación del residuo láser utilizando un sistema operativo único, estable y con capacidad de multi-operación que permitan optimizar los tiempos de observación, disminuyendo errores y facilite los sucesivos desarrollos de la estación y la integración de nuevos módulos. Otro de los objetivos planteados surge como consecuencia de que el ROA es sensible a la creciente importancia que el seguimiento de la basura espacial va cobrando como condicionante cada vez más relevante de las actividades espaciales. Su presencia obliga a los satélites artificiales a la eventual realización de maniobras evasivas con el consiguiente consumo de combustible y reducción de su vida útil. Los elementos orbitales de los que se dispone carecen usualmente de precisión, acumulando cientos de metros e incluso kilómetros de incertidumbre, lo que conlleva a efectuar maniobras evasivas (a veces no necesarias) o, incluso, colisiones. La incorporación de medidas Láser dota de una mayor precisión en el conocimiento de dichos elementos orbitales evitando los inconvenientes mencionados, al aumentar y densificar los seguimientos sobre estos objetos.

- ***Instrumentación y Tecnologías Aplicadas al Estudio, Caracterización y Explotación Sostenible del Medio Marino (MarInTech).*** Esta acción de dinamización de “Redes de excelencia” ha sido aprobada por el Ministerio de Economía y Competitividad con la referencia **CTM2015-68804-REDT** con una duración de 2 años. La red temática MarInTech quiere proporcionar un espacio de estudio en el que científicos y tecnólogos españoles que trabajan en diferentes ramas dentro del ámbito de las Ciencias Marinas y Ambientales intercambien experiencias sobre el desarrollo y diseño de estos sistemas de medición. En esta red temática liderada por Universidad Politécnica de Catalunya (UPC), participan, además del Observatorio, la Universidad de Cádiz, la agencia estatal CSIC, el Instituto Geográfico Nacional, la Universidad Pública de Navarra, la Universitat de Girona, la Universidad de las Islas Baleares y la Universidad Politécnica de Cartagena.

- **Proyecto del Mapa Mundial de Anomalías Magnéticas (WDMAM) (2ª edición).** Es una iniciativa internacional, sin financiación propia, cuyo objetivo principal es el de 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 del servicio de magnetismo, C.F. 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 y por tanto a cumplir con el objetivo asignado al servicio de magnetismo.

- **Proyecto de infraestructura Actualización y mejora de la estación laser de seguimiento de satélites artificiales (SLR)**

Se pretende con este proyecto de infraestructura sustituir el banco láser actual por otro más moderno, y de mayor potencia. Este proyecto fue solicitado en Febrero de 2016, siendo aprobado de forma definitiva en el mes de Diciembre del mismo año.

## 3.7. Campañas

Durante el año 2016, la Sección de Geofísica ha desarrollado y participado en las siguientes campañas:

### 3.7.1. Fondeo de Sismómetros de fondo marino.

Dentro de las actividades del proyecto ALERTES-RIM (Alerta Sísmica Temprana: Sistema regional e in-situ para la región Ibero-Mogrebí), financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad, entre el 1 y 5 de Septiembre de 2015 se desplegó el "pool" conjunto ROA/UCM de OBS, "RED FOMAR", por un periodo de 8 meses al SW del cabo de San Vicente (figura 3.28). El despliegue se realizó con la colaboración del buque de la Armada "Vigía" formando una antena sísmica (array) hexagonal en fondos entre 4.500 y 4.900 metros.

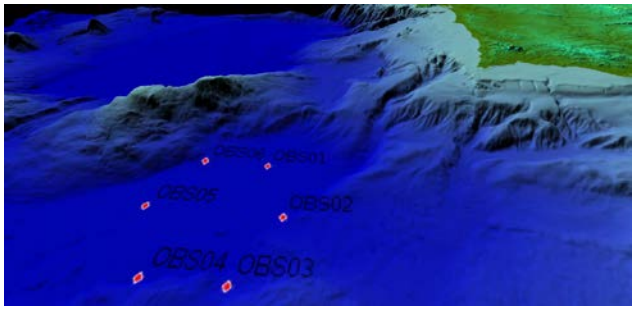


*Figura 3.28: Despliegue del array de OBS del pool RED FOMAR al SW del cabo San Vicente.*

Entre los días 25 y 28 de abril de 2016 se procedió a la recuperación de los OBS con la colaboración del buque de la Armada "Mar Caribe". Desafortunadamente, no se pudo establecer comunicaciones con el OBS 04, a pesar de ello, se le transmitió la señal acústica de liberación en dos ocasiones, sin recibir respuesta en ningún caso, y se estableció una búsqueda en superficie alrededor de la posición teórica de salida a superficie.

Posteriormente, dado que se había programado la liberación de emergencia, el 28 de junio se volvió a la zona gracias a la colaboración del buque de la Armada "La Graña", enviando nuevamente la señal acústica de liberación sin obtener respuesta y sin avistarlo durante el dispositivo de búsqueda. Debido a las malas condiciones meteorológicas la búsqueda tuvo que ser finalmente suspendida.

### 3.7.2. Campaña TopoIberia (GNSS)

Como ya se ha explicado, este Observatorio participó, como uno de los grupos contratantes, en el proyecto de excelencia tipo Consolider *TOPOIBERIA* (CSD2006-00041) que finalizó oficialmente el 31 de septiembre de 2013, y actualmente participa en la "Acción de Dinamización de Redes de Excelencia" del Ministerio de Economía y Competitividad, con plazo de ejecución 2014-2016 (CGL2014-54582-REDC). A lo largo de 2016 han permanecido desplegadas la mayoría de las estaciones GNSS (figura 3.29).

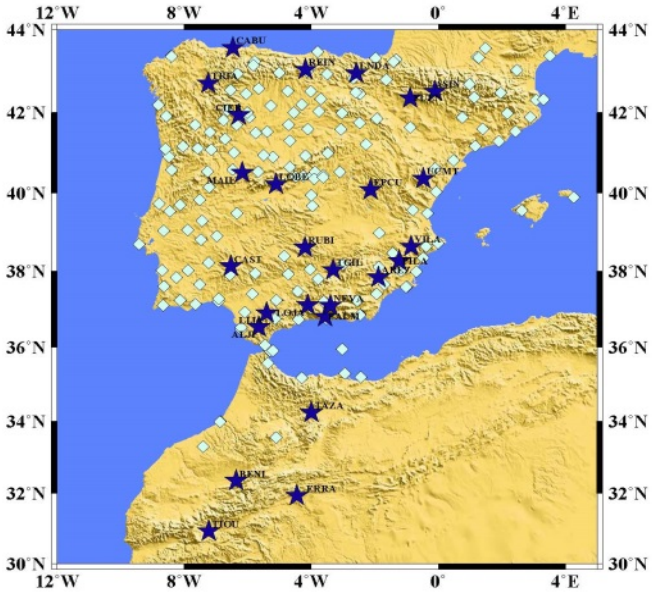


*Figura 3.29: Localización geográfica de las estaciones GPS del proyecto TopoIberia (estrellas) junto con otras estaciones GPS permanentes de la región.*

Todas las estaciones se componen de un receptor TRIMBLE NetRS, antena Geodésica Dorne Margolin de tipo Choke-ring, alimentación por paneles solares y baterías de gel, y son accesibles de forma remota por medio de telefonía GPRS

Debido a la falta de financiación desde la terminación del proyecto, se ha teniendo dificultades para el mantenimiento y obtención de datos, especialmente de los puntos situados en Marruecos, siendo notorio el apoyo brindado por el personal del Instituto Científico de Rabat (ISRABAT). En el año 2016 se continuaron los trabajos de descarga de datos de las estaciones GPS, de las que el ROA es responsable (ALJI, CAST, LIJA y LOJA en el sur de la Península y Taza, Errachidia y Beni-Mellal en Marruecos, éstas últimas en colaboración con Universidades locales). A dichas estaciones se suman aquellas que es co-responsable con el IGME (RUBI), y con la Universidad de Salamanca (CIER, LOBE y MAIL). Se continúa asimismo con el procesado rutinario de la red definida en el proyecto y al análisis de datos preliminares en coordinación con las demás instituciones implicadas en esta labor: las Universidades de Barcelona y de Jaén.

El control de ocho de las estaciones GPS localizadas en territorio español, responsabilidad directa del Observatorio, se ha podido seguir ejerciendo gracias al apoyo del Ministerio de Defensa al proporcionar tarjetas de telefonía móvil con capacidad de transmisión de datos tipo GPRS, que hacen posible mantener la conexión a internet de los receptores instalados en el campo. El proceso de descarga, control de calidad y análisis de los datos de las estaciones distribuidas por el territorio español, se ha desarrollado con normalidad, a pesar de las averías surgidas en los materiales

auxiliares de las estaciones de observación, sobre todo en lo que se refiere a las baterías y que deben achacar principalmente al desgaste normal dado el tiempo transcurrido desde su instalación.

Por otro lado, como se ha mencionado anteriormente, desde el punto de vista del análisis de los datos se están investigando las similitudes y diferencias en el procesado de los datos por los diferentes centros de análisis (ROA y las universidades de Jaén y Barcelona), para buscar el modo óptimo de integración de las diferentes soluciones que se van obteniendo. El ROA utiliza el modo de posicionamiento preciso de puntos desarrollado por el *Jet Propulsion Laboratory*, incluido en el software GIPSY, que en su versión más reciente, 6.1, es también capaz de resolver las ambigüedades, mientras que los otros dos centros analizan los datos utilizando los software Bernesse y GAMIT, en ambos casos con la estrategia de procesado de estaciones en red. Las primeras comparaciones de las soluciones obtenidas con los diferentes métodos, muestran una gran coherencia, y unos prometedores resultados.

### 3.7.3. Campaña INCRISIS

Entre el 23 y el 27 de mayo se desarrolla la campaña geofísica/geológica INCRISIS en el Mar de Alborán a bordo del BIO "Hespérides" (figura 3.30). Dicha campaña fue liderada por el Instituto de Ciencias del Mar (Barcelona), y el Instituto de Ciencias de la Tierra Andaluz (Granada). En dicha campaña participa un equipo internacional de investigadores, teniendo como objetivo el estudio de posibles inestabilidades submarinas asociadas a la zona donde se produjo el terremoto de Alhucemas del 25 de enero de 2016, y su posterior serie sísmica. A dicha campaña fue invitado a participar el CF. Manuel Catalán, jefe del servicio de magnetismo. Durante este estudio se adquirieron datos de sísmica de alta resolución, gravimetría, magnetismo, y batimetría.

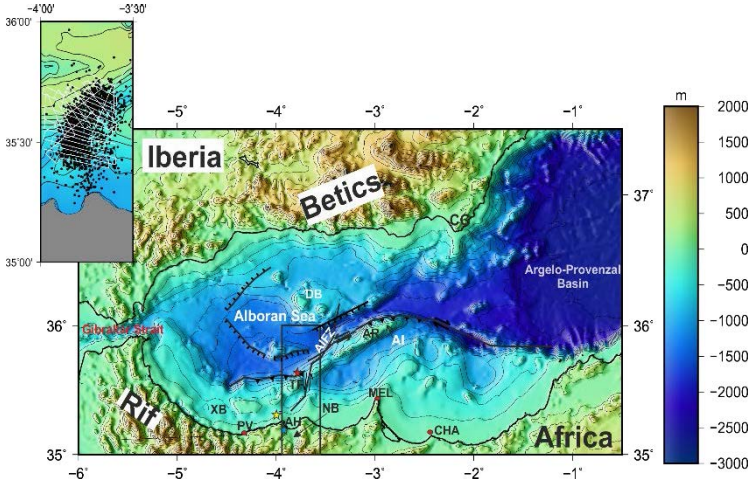


*Figura 3.30: Gráfica incluyendo la zona de estudio. Gráfica superior izda.: Se incluye en puntos negros las localizaciones epicentrales correspondientes a la serie sísmica (Enero-Abril 2016), y en trazo blanco la derrota seguida por el BIO "Hespérides" durante la campaña INCRISIS.*

### 3.7.4. Campaña ZEEE-2016

Entre el 27 de mayo y el 26 de junio se participa en la decimoséptima campaña, dentro del Proyecto de investigación de la Zona Económica Exclusiva Española, en la Zona Económica Exclusiva del Mar Balear. La campaña se realizó a bordo del BIO *Hespérides* y se utilizaron los siguientes sensores: el sondador multihaz EM-120, el monohaz EA-

600, gravímetro Bell Aerospace BGM-3, Magnetómetro Marino Sea-Spy, correntímetro doppler y la sonda paramétrica TOPAS PS 18, y el magnetómetro fluxgate triaxial que a modo de prueba se llevó durante la campaña.

La Jefatura de la Campaña corrió a cargo del Real Instituto y Observatorio de la Armada, participando personal del Instituto Hidrográfico de la Marina, del Instituto Geológico y Minero de España, la Universidad Complutense de Madrid, de la Universidad de Cádiz, del Instituto Español de Oceanografía, y el Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra como organismo invitado.

En la figura 3.31 se presenta un resumen de las zonas de interés dentro del proyecto ZEEE en el entorno de la península e islas Baleares.

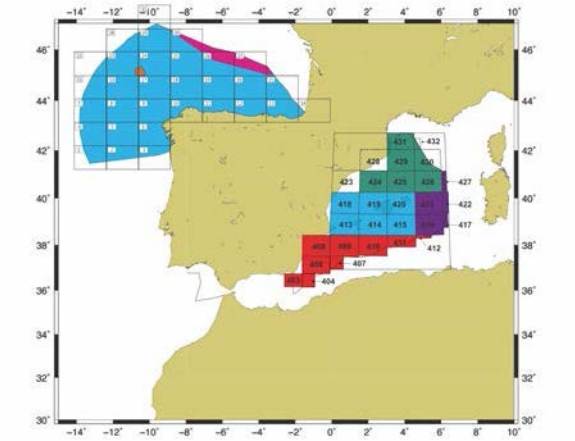

*Figura 3.31: Zonas de interés de la ZEEE en el Norte de la Península y mar Balear.*

A lo largo de la campaña, han podido cubrirse las Hojas 406, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 417, y 422. Así como parcialmente las Hojas 403, 404, 416, 421, 425 y 426. En la figura 3.32 se muestran las líneas efectuadas.

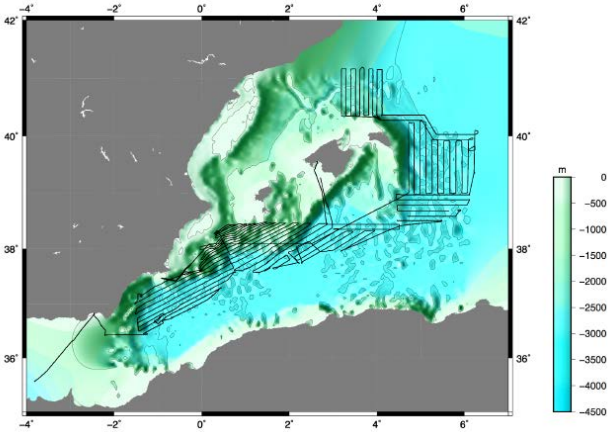

*Figura 3.32: Líneas efectuadas durante la ZEEE-16.*

## 3.8. Publicaciones y Comunicaciones

### 3.8.1. Publicaciones

- **Título:** Statistical analysis of the oceanic magnetic anomaly data.
  **Revista:** Geophysical Journal International.
  **Autores:** A. de Santis, F.J. Pavón-Carrasco, F. Ferraccioli, M. Catalán, T. Ishihara.
  **Estado:** En revisión.
  **Resumen:**
  Utilizando los valores de anomalías magnéticas oceánicas obtenidos a partir del proyecto del mapa mundial de anomalías magnéticas se analizan estos tanto en el tiempo y el espacio, al objeto de averiguar si obedecen a algún tipo de distribución estadística, detectando que responden a una distribución de Laplace. En este trabajo se propone una explicación física al motivo que pudiera justificar este hecho, comparando los resultados obtenidos con los proporcionados por dos modelos globales del campo magnético litosférico.

- **Título:** Space Debris tracking at San Fernando Laser station.
  **Revista:** Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica, 48, 103-106, 2016
  **Autores:** M. Catalán, M. Quijano, A. Pazos, J. Martín-Davila, L.M. Cortina.
  **Resumen**
  En los próximos años todo lo relacionado con la basura espacial constituirá un asunto de la mayor importancia para la sociedad. Este problema plantea serias dificultades a las misiones actualmente operativas, y en general a cualquier otra que en el futuro vaya ser puesta en órbita. La posibilidad de realizar seguimientos precisos sobre este tipo de objetos constituye un primer paso hacia la solución. No obstante ello ya implica un desafío científico. La primera gran dificultad que se presenta a la hora de obtener datos procedentes de un seguimiento sobre estos objetos, lo constituye el hecho de que las efemérides presentan una precisión pobre que dificulta su localización. Recientemente se ha abierto un nuevo campo de trabajo a nuestra estación de telemetría Láser: el seguimiento de satélites artificiales colaborativos inactivos. Actualmente trabajamos en cooperación con el Servicio Internacional de estaciones Láser realizando seguimientos sobre este tipo de objetos que permiten incrementar la de la "Zona Económica Exclusiva Española" Mar Balear y Golfo de Valencia, precisión de sus efemérides. En este artículo se muestran los resultados obtenidos entre Mayo y Diciembre de 2015 con nuestra estación Láser.

- **Título:** Making a better magnetic map.
  **Revista:** EOS, 97, https.77doi.org/10.1029/2016EO054645.
  **Autores:** M. Catalán, J. Dyment, Y. Choi, M. Hamoudi, V. Lesur, E. Thebault, A. de Santis, T. Ishihara, J. Korhonen, T. Litvinova, J. Luis, B. Meyer, P. Milligan, M. Nakanishi, S. Okuma, M. Pilkington, M. Purucker, D. Ravat, C. Gaina, S. Maus, Y. Quesnel, R. Saltus, P. Taylor.
  **Resumen**
  A magnetic anomaly map provides information on the distribution of magnetization contrasts, which, in turn, provides insight into the processes that formed various structures in Earth's lithosphere (and possibly into the uppermost mantle). The WDMAM, with its global coverage, offers a continent-scale perspective, which makes possible a more comprehensive and robust interpretation of geological structures, including areas that are covered in ice or sediment. This map provides a deeper understanding of our planet that cannot be captured through other conventional global data sets, and it offers a unique window to the geodynamic history of our planet.

- **Título:** Evaluation of using R-SCHA to simultaneously model main field and secular variation multilevel geomagnetic data for the North Atlantic
  **Revista:** Physics of the Earth and Planetary Interiors. 263, 55-68. 2017
  **Autores:** Angela Talarn, J. Pavón-Carrasco, J.Miquel Torta, Manuel Catalán.
  **Resumen**
  One efficient approach to modelling the Earth's core magnetic field involves the inclusion of crossover marine data which cover areas lacking in observatory and repeat station data for epochs when precise three-component satellite magnetic field measurements were not common. In this study, we show how the Revised Spherical Cap Harmonic Analysis (R-SCHA) can appropriately provide a continuous time field model for the North Atlantic region by using multilevel sets of geomagnetic data such as marine, repeat station, observatory, and satellite data. Taking advantage of the properties of the R-SCHA basis functions we can model the radial and horizontal variations of the main field and its secular variation with the most suitable spatial and temporal wavelengths. To assess the best compromise between the data fit and the model roughness, temporal and spatial regularization matrices were implemented in the modelling approach. Two additional strategies were also used to obtain a satisfactory regional model: the opportunity to fit the anomaly bias at each observatory location, and constraining the regional model to the CHAOS-6 model at the end of its period of validity, i.e. 1999–2000, allowing a smooth transition with the predictions of this recent model. In terms of the root mean square error, the degree of success was limited partly because of the high uncertainties associated with some of the datasets (especially the marine ones), but we have produced a model that performs comparably to the global models for the period 1960–2000, thus showing the benefits of using this regional technique.

- **Título:** Las anomalías magnéticas, tan útiles, tan olvidadas.
  **Revista:** Revista de la Asociación Española para la enseñanza de las Ciencias de la Tierra. Aceptado, en prensa.
  **Autores:** M. Catalán, Y. Martos.
  **Resumen**
  Nuestro planeta posee un campo magnético propio (denominado "campo principal") capaz de protegerlo de la influencia de las partículas de alta energía que procedentes del Sol, se dirigen hacia nosotros. El estudio de este campo magnético constituye la rama más antigua de las que componen la geofísica.
  Las rocas de la corteza terrestre también influyen en las medidas del campo magnético terrestre. Estas pequeñas perturbaciones del campo magnético causadas por las rocas de la litosfera (corteza más parte del manto superior), reciben el nombre de anomalías magnéticas. Aunque son de pequeña magnitud si se comparan con las del campo principal que se genera en el núcleo terrestre, tienen una gran importancia en muchas líneas de investigación en Ciencias de la Tierra. En geodinámica por ejemplo el estudio de estas anomalías en los fondos oceánicos condujo a la formulación de la Teoría de la Tectónica de Placas en la década de los años 60 del siglo pasado, y sigue constituyendo una excelente herramienta para perfilar el movimiento pasado de las placas tectónicas. También son muy útiles en la rama de prospección para la detección de algunos recursos minerales, facilitando en algunos casos datos casi más relevantes que otras técnicas (caso de entornos volcánicos). Adicionalmente presentan la ventaja de que la realización de estudios basados en esta disciplina son muy sencillos y económicos, proporcionando información acerca de la

distribución de minerales con independencia de que estos estén cubiertos por capas kilométricas de hielo, sedimentos o agua.
En este artículo se plantean algunos fundamentos relacionados con estas anomalías, así como algunos casos sencillos que pueden ser utilizados a modo de primera aproximación a esta técnica. También se presenta el Proyecto del Mapa Mundial de Anomalías Magnéticas que actualmente es la iniciativa más importante en esta disciplina.

- **Título:** Precise OBS location at the sea bottom in active seismic profiles using the air gun-shot records.
  **Revista:** Proceedings, 7th INTERNATIONAL WORKSHOP ON MARINE TECHNOLOGY, pp 86-91, Martech October 2016. ISBN: 978-84-617-4152-6
  **Autores:** A. Pazos, J.L. Granja Bruña, J.M. Davila, A. Carbó-Gorosabel, R. Cabieces, A. Rodríguez-Zurrunero, J. Santos Loaisa,J. M. Gorosabel Araus, J. Quijano, M.Ambros.
  **Resumen**
  The Norcaribe campaign, in November – December 2013, funded by Spanish Ministry of Innovation and Science (Norcaribe Project CGL2010-17715), was performed on board of the Spanish research vessel “Sarmiento de Gamboa” around the Hispaniola island, also with the participation of the Dominic Republic Navy patrol vessels and several Haiti and Dominic Republic institutions. During the campaign, a 200 km long, wide-angle refraction seismic profile was carried out crossing the Beata ridge. The air gun signal (5100 ci) was recorded by 15 OBS s deployed along the seismic line in water depths between 2.300 meters and 4.320 meters. To obtain the section records, the OBS position is needed, usually the deployment location is used, but the OBS can drift while is sinking due to the deep oceanic currents. The recovery locations at surface could provide information about the drift, assuming a constant sea current since the deployment to the recovery, but it is imprecise. In this work we show a method to obtain a precise location of the OBS at the sea bottom using a high-resolution bathymetry and the OBS record of the closest air gun shots of the profile. Also, the preliminary results for the Norcaribe campaign (Beata ridge profile) are shown.

- **Título:** ALERTES: An Earthquake Early Warning System for the Ibero-Maghrebian region
  **Revista:** Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Vol 31, Proceedings of the ECGS & ESC/EAEE Joint Workshop: Earthquake and Induced Multi-Risk Early Warning and Rapid Response, pp 31-40.
  **Autores:** E. Buforn, A. Pazos, A. Roca, M. Carranza, J. M. Dávila, A. Udías, A. Zollo, M. López and the ALERTES team
  **Resumen**
  This paper presents the main results obtained in the ALERTES project aimed to develop an EEWS for the Ibero-Maghrebian region. The occurrence of large and destructive earthquakes, in this region, such as those of Lisbon 1755 or Boumerdes (Algeria) 2003, justifies the development of an EEWS. We have checked empirical correlations to homogenize the different magnitude scales used. Specific correlations between!", Pd and Mw have been developed. The study of the blind zone for SW Iberia shows the feasibility of an EEWS for the region. Results obtained from a prototype of EEWS developed for the region and the PRESTo software show the utility of an EEWS for the region.

- **Título:** Estructura superficial y procesos activos en el margen submarino del norte de La Española (República Dominicana): Resultados preliminares

**Revista:** Geo-Temas 2016, Vol. 16, Nº 2, 295-298. Sociedad Geológica de España.
**Autores:** A. Rodríguez-Zurrunero, J. L. Granja Bruña, A. Muñoz-Martín, A. Carbó-Gorosabel, L. Gómez de la Peña, M. Gómez Ballesteros, J.M. Gorosabel-Araus, A. Pazos, M. Catalán, M. Druet y P. Llanes.

**Resumen**
El margen submarino del norte de La Española registra el proceso de colisión activa entre los Bancos de las Bahamas y el arco isla. Esta colisión ha producido numerosos terremotos causando cuantiosos daños en la costa norte de la isla. La campaña NORCARIBE (2013) combinó la adquisición sistemática de datos geofísicos de todo el margen subductivo, especialmente en la zona de República Dominicana, proporcionando una información continua y de alta resolución. Esta información ha permitido estudiar con detalle la variación transversal y longitudinal del margen subductivo caracterizado por la Fosa de la Española (FE) y el Cinturón Deformado Septentrional (CDS). Este margen compresivo presenta una estructura imbricada convergencia hacia el norte y segmentada por zonas de transferencia limitando la longitud máxima de las fallas inversas. Existen numerosas evidencias de deformación activa que deben ser consideradas en futuros estudios sobre la evaluación de la peligrosidad sísmica y tsunamigénica en la región, así como para la evaluación de recursos marinos y la ordenación del territorio de la República Dominicana.

- **Título:** Nueva interpretación del relleno sedimentario de la Cuenca de San Pedro (Offshore de la República Dominicana) en base a nuevos datos sísmicos
**Revista:** Geo-Temas 2016, Vol. 16, Nº 2, 300-303. Sociedad Geológica de España.
**Autores:** J.M. Gorosabel-Araus, J.L. Granja Bruña, A. Carbó-Gorosabel, L. Gómez la Peña, A. Rodríguez-Zurrunero, A. Muñoz-Martín, A. Pazos, M. Gómez-Ballesteros, M. Druet y P. Llanes
**Resumen**
Los nuevos datos de sísmica de reflexión multicanal 2D adquiridos en la Cuenca de San Pedro (margen sudeste de la República Dominicana), junto con antiguos perfiles sísmicos reprocesados, han permitido llevar a cabo un detallado análisis y revisión de la estratigrafía sísmica. Los nuevos datos sísmicos aportan nuevas precisiones sobre la evolución de la cuenca sugiriendo un origen de al menos Eoceno Superior, en lugar de Mioceno. La nueva interpretación se basa en la correlación onshore-offshore de un nivel guía de abanicos bien desarrollado, con los eventos tectónicos constreñidos tierra y asociados a la colisión con los Bancos de las Bahamas con el arco isla el Eoceno Medio.

**Título:** Análisis de la aurora boreal observada desde la fragata Álvaro de Bazán (F-101), 6-7 de marzo de 2016.
**Revista:** Revista General de Marina
**Autores:** R. Cabieces y M. Herraiz
**Resumen**
Durante los días 6 y 7 de marzo del 2016 en las costas noruegas, la fragata Álvaro de Bazán pudo observar una aurora boreal espectacular. El origen de este fenómeno físico es descrito con detalle, desde su comienzo en el sol hasta su interacción con el campo magnético terrestre. También se detallan los efectos en las partículas procedentes del sol sobre la ionosfera y como se puede medir en la actualidad una tormenta geomagnética. Por último, se explica los posibles

perjuicios que una tormenta de este tamaño podría causar en las telecomunicaciones de un buque de la Armada.

**Título:** Sistema de Alerta Sísmica Temprana ALERTES-SC3 desarrollado en el ROA.
**Revista:** EL RIESGO DE MAREMOTOS EN LA PENÍNSULA IBÉRICA A LA LUZ DE LA CATÁSTROFE DEL 1 DE NOVIEMBRE DE 1755. Instituto Español para la Reducción de los Desastres, IERD 2016
**Autores:** A. Pazos, M. López de Mesa, C. Rioja, J.M. Dávila, A. Morgado, J. Gallego, E. Buforn, A. Cibeira, M. Carranza, R. Cabieces, L. Lozano, J.V. Cantavella, A.Strollo, F. Carrilho y W. Hanka.
**Resumen**
La imposibilidad actual de prevenir la ocurrencia de eventos sísmicos en cualquier parte del planeta nos fuerza a buscar fórmulas de alerta sísmica temprana que permitan al menos que, tras la detección de un terremoto por parte de las distintas redes sismográficas, nos podamos adelantar a su impacto con la mayor inmediatez posible, minimizando así sus efectos. La medición de las ondas primarias, cuya llegada se anticipa a las ondas secundarias en función de la distancia, aun cuando sea en unos pocos segundos, puede permitir la interrupción automática de circulación de trenes, aterrizaje de aviones, procesos industriales u otras actividades peligrosas durante y después de un evento sísmico de cierta magnitud. El sistema ALERTES-SC3, desarrollado por el Real Observatorio de la Armada (ROA) en colaboración con la Universidad de Cádiz (UCA) es un ejemplo de alerta sísmica temprana «real» que podría reducir las consecuencias catastróficas de un terremoto

### 3.8.2. Comunicaciones en congresos

- **Título**: "Curie isotherm map of Scotia Arc from near surface magnetic anomaly data".
  **Congreso**: EGU General Assembly 2016. Vienna.
  **Fecha:** 17 al 22 de Abril 2016
  **Autores**: M. Catalán, Y. Martos, J. Galindo-Zaldivar.

- **Título: "**Tracking on non-active collaborative objects from San Fernando Laser Station".
  **Congreso**: EGU General Assembly 2016. Vienna.
  **Fecha:** 17 al 22 de Abril 2016
  **Autores**: M. Catalán, M. Quijano, Luis M. Cortina, A. Pazos, J. Martín Davila

- **Título**: "THE SEISMIC BROAD BAND WESTERN MEDITERRANEAN (WM) NETWORK AND THE OBS FOMAR POOL: Current state and OBS activities".
  **Congreso**: EGU General Assembly 2016. Vienna.
  **Fecha:** 17 al 22 de Abril 2016
  **Autores**: Pazos, A.; Davila, J.M.; Buforn, E.; Bezzeghoud, M.; Harnafi, M.; Mattesini, M.; Caldeira, B.; Hanka, W.; Strollo, A.; El Mounib, L.; Roca, A.; López de Mesa, M.; Dahm, T. and Cabieces, R.

- **Título**: "ALERTES-SC3 Early Warning System prototype for South Iberian Peninsula: on-site approach".
  **Congreso**: EGU General Assembly 2016. Vienna.
  **Fecha:** 17 al 22 de Abril 2016

**Autores**: A. Pazos García, M. López Mesa, J. Gallego Carrasco, J. Martín Dávila, C. Rioja del Río, A. Morgado, A. Vera, A. Cibeira, R. Cabieces, A. Strollo and M.Carranza.

- **Título**: "OBS FOMAR POOL: Gibraltar and ALERTES-RIM experiments".
  **Congreso**: EGU General Assembly 2016. Vienna.
  **Fecha:** 17 al 22 de Abril 2016
  **Autores**: Pazos, A.; Davila, J.M.; Buforn, E.; Cabieces, R.; Santos, J.; Sandoval, N.; Roca, A. and Dahm, T.

- **Título**: "ALERTES-SC3: an EEWS prototype for south Iberia peninsula".
  **Congreso**: EGU General Assembly 2016. Vienna.
  **Fecha:** 17 al 22 de Abril 2016
  **Autores**: Pazos, A.; López de Mesa, M.; Davila, J.M.; Gallego, J.; Rioja, C.; Morgado, A.; Hanka, W.; Strollo, A.; Cibeira, A.; Cabieces, R.; Carranza, M.; and ROA Seismic group.

- **Título**: "Real time PPP approach with troposphere estimation using ultra rapid JPL products. Applications to GNSS in seismology in ALERTES-RIM system".
  **Congreso**: EGU General Assembly 2016. Vienna.
  **Fecha:** 17 al 22 de Abril 2016
  **Autores**: Ángel Cibeira Urtiaga, Manuel Berrocoso, Jorge Gárate, Antonio Pazos.

- **Título**: " El Proyecto del Mapa Digital Mundial de Anomalías Magnéticas".
  **Congreso**: 9 Asamblea Hispano – Portuguesa de Geodesia y Geofísica..
  **Fecha:** 28 al 30 Junio 2016
  **Autores**: M. Catalán, J. Dyment, y WDMAM Task Force,.

- **Título**: " Seguimiento sobre basura espacial utilizando técnicas Láser".
  **Congreso**: 9 Asamblea Hispano – Portuguesa de Geodesia y Geofísica..
  **Fecha:** 28 al 30 Junio 2016
  **Autores**: M. Catalán, Y. Martos, J. Galindo-Zaldivar.

- **Título**: "Estudio comparativo de subsidencia en pequeñas cuencas oceánicas".
  **Congreso**: 9 Asamblea Hispano – Portuguesa de Geodesia y Geofísica..
  **Fecha:** 28 al 30 Junio 2016
  **Autores**: A. Sierra, M. Catalán, Y. Martos, M.L. Osete

- **Título**: "La structure crustale de la mer de d'Alboran: apports des données gravimétriques et magnétométriques".
  **Congreso**: Congrés International La sismicité de la Region d'Al Hoceima: évaluation des aléas et de la vulnérabilité. Al Hoceima (Marruecos)
  **Fecha**: 16 al 17 Julio 2016.
  **Autores**: M. Catalán.

- **Título**: "New interpretation of the depositional systems of the San Pedro basin based on new seismic data (southern Dominican republic offshore margin)".
  **Congreso**: International Conference and Exhibition AAPG-SEG, BARCELONA.
  **Fecha**: 3 al 6 Abril 2016.
  **Autores**: Jose Miguel Gorosabel, Andrés Carbó Gorosabel, José Luis Granja Bruña, Álvaro Rodríguez Zurrunero, Alfonso Muñoz Martín, Laura Gómez De La Peña, Antonio Pazos

- **Título**: "New constraints on the sedimentary and tectonic evolution of the San Pedro basin (southern Dominican republic offshore margin), new opportunities for the hydrocarbon exploration?"
  **Congreso**: International Conference and Exhibition AAPG-SEG, BARCELONA.
  **Fecha** : 3 al 6 Abril 2016.
  **Autores**: Jose Miguel Gorosabel, Andrés Carbó Gorosabel, José Luis Granja Bruña, Álvaro Rodríguez Zurrunero, Alfonso Muñoz Martín, Laura Gómez De La Peña, Antonio Pazos

  **Título**: "Localización hipocentral de terremotos a partir de datos de estaciones sísmicas en tierra y OBS".
  **Congreso**: 9ª Asamblea Hispano Portuguesa (España)
  **Fecha** : 28 al 30 Junio 2016.
  **Autores**: Cabieces, R.;Buforn, E.;Pazos, A.; Cantavella, J.V.

- **Título**: "Diseño y desarrollo de un sistema de bajo coste para la alerta sísmica temprana <<in situ>>".
  **Congreso**: 9ª Asamblea Hispano Portuguesa (España)
  **Fecha** : 28 al 30 Junio 2016.
  **Autores**: Vera-Herrera. Ángel, Pazos-García. Antonio, Morgado-Estévez. Arturo and Rioja-Del-Río. Carlos.

- **Título**: "ALERTES-SC3: Un prototipo de Sistema de Alerta Sísmica Temprana para la región Ibero-Mogrebí".
  **Congreso**: 9ª Asamblea Hispano Portuguesa (España)
  **Fecha** : 28 al 30 Junio 2016.
  **Autores**: M.López Mesa, J.Martín Dávila, A.Pazos García, J.Gallego Carrasco, C.Rioja del Río, A.Morgado.

- **Título**: "La red sísmica "Western Mediterranean" (WM): 20 años de contribución al conocimiento de la región Ibero-Mogrebí".
  **Congreso**: 9ª Asamblea Hispano Portuguesa (España)
  **Fecha** : 28 al 30 Junio 2016.
  **Autores**: J.Martín Davila, E. Buforn, A. Pazos, A. Udías, M. Harnafi, M. Benzzeghoud, A. Strollo, R. Cabieces, M. Matessini, D. El Ouai, B. Caldeira, W. Hanka.

- **Título**: "Analysis of the shallower structure and active process in the northern Hispaniola offshore margin (Dominican Republic) based on new geophysical data: Preliminary results".
  **Congreso**: 9ª Asamblea Hispano Portuguesa (España)
  **Fecha** : 28 al 30 Junio 2016.
  **Autores**: A. Rodríguez-Zurrunero, J. L. Granja Bruña, A. Muñoz-Martín, A. Carbó-Gorosabel, L. Gómez de la Peña, M. Gómez Ballesteros, J.M. Gorosabel-Araus, A. Pazos, M. Catalán, M. Druet, P. Llanes.

- **Título**: "New sedimentary analysis of the San Pedro Basin (South-eastern Dominican Republic margin) based on reflection seismic data".
  **Congreso**: 9ª Asamblea Hispano Portuguesa (España)
  **Fecha** : 28 al 30 Junio 2016.
  **Autores**: Gorosabel-Araus, J.M., Granja-Bruña, J.L., Carbó-Gorosabel, A., Gómez-Peña, L., Rodríguez-Zurrunero, A., Muñoz-Martín, A., Pazos, A.

- **Título**: "ALERTES-SC3 and ALERTES-site: an Earthquake Early Warning System for south Iberia".
  **Congreso**: ESC 35th General Assembly 2016. Trieste.
  **Fecha** : 4 al 10 Septiembre 2016.
  **Autores**: Antonio Pazos, Mireya López Mesa, Javier Gallego Carrasco, Carlos Rioja del Rio, Arturo Morgado, and José Martín Davila.

- **Título**: "ALERTES: An Earthquake Early Warning System for the Ibero-Maghrebian region".
  **Congreso**: ESC 35th General Assembly 2016. Trieste.
  **Fecha** : 4 al 10 Septiembre 2016.
  **Autores**: Elisa Buforn, Antonio Pazos, Antoni Roca, Marta Carranza, José Martín Dávila, Aldo Zollo, Mireia López, and the ALERTES Team

- **Título**: "A method to obtain an OBS precise location at the sea floor in active and passive experiments".
  **Congreso**: ESC 35th General Assembly 2016. Trieste.
  **Fecha** : 4 al 10 Septiembre 2016.
  **Autores**: Antonio Pazos, José Luis Granja Bruña, José Martín Davila, Roberto Cabieces, and Andrés Carbó Gorodabel.

- **Título**: "Shallower structure and active process in the northern Hispaniola offshore margin (Dominican Republic): Preliminary results".
  **Congreso**: IX Congreso Geológico de España, Huelva.
  **Fecha** : 12 al 14 Septiembre 2016.
  **Autores**: A. Rodríguez-Zurrunero, J. L. Granja Bruña, A. Muñoz-Martín, A. Carbó-Gorosabel, L. Gómez de la Peña, M. Gómez Ballesteros, J.M. Gorosabel-Araus, A. Pazos, M. Catalán, M. Druet, P. Llanes.

- **Título**: "New interpretation of the sedimentary infill of the San Pedro basin based on new seismic data (Dominican Republic offshore)".
  **Congreso**: IX Congreso Geológico de España, Huelva.
  **Fecha** : 12 al 14 Septiembre 2016.
  **Autores**: Gorosabel-Araus, J.M., Granja-Bruña, J.L., Carbó-Gorosabel, A., Gómez-Peña, L., Rodríguez-Zurrunero, A., Muñoz-Martín, A., Pazos, A. Gómez Ballesteros, Druet, P. Llanes.

- **Título**: "Precise OBS location at the sea bottom in active seismic profiles using the air gun shot records".
  **Congreso**: 7th MARTECH Workshop. Barcelona.
  **Fecha** : 26 al 28 Octubre 2016.
  **Autores**: A. Pazos, J.L. Granja Bruña, J.M. Davila, A. Carbó-Gorosabel, R. Cabieces, A. Rodríguez-Zurrunero, J. Santos Loaisa, J. M. Gorosabel Araus, J. Quijano, M.Ambros.

- **Título**: "Existing/recent collaboration between OBS facilities".
  **Congreso**: ORFEUS Annual Observatory Coordination meeting. Dubrovnik.
  **Fecha** : 25 al 28 Octubre 2016.
  **Autores**: A. Pazos.

## 3.9. Estancias de trabajo

- Entre el 21 y el 23 de marzo el Lcdo. en grado en Ciencias Geológicas, Juan Martín de Blas, realiza una estancia de trabajo en la Sección de Geofísica al objeto de trabajar en su trabajo de fin de Máster bajo la dirección del CF. Manuel Catalán.

- Entre el 22 y el 26 de febrero, y entre el 1 y el 22 de julio, la Lcda. en grado de Ciencias Físicas, Andrea Sierra Martinez, realiza estancias en el Real Observatorio, al objeto de trabajar en su trabajo de fin de Máster bajo la dirección del CF. Manuel Catalán.

- Desde el 20 de Junio al 29 de Julio (ambos inclusive) de 2016, Doña Yolanda del Pro Díaz, alumna de la Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid, ha realizado prácticas en la sección de Geofísica de este Observatorio, para desarrollar el modelado 2-D del perfil de refracción de gran ángulo “Cresta de Beata”.

## 3.10. Conferencias y Cursos

- Entre el 25 y 29 de enero el TN Ángel Cibeira Urtiaga realiza el curso de usuario del software Bernese en la Universidad de Berna.

- El día 1 de Febrero de 2016, el CF. Dr. Antonio A. Pazos García, Jefe de la sección de Geofísica del Real Instituto y Observatorio de la Armada (ROA), impartió la conferencia “El riesgo sísmico en el Golfo de Cádiz: Avances en los sistemas de alerta temprana” en la Facultad de Ciencias Experimentales de la Universidad de Huelva.

- El día 13 de Julio de 2016, el CF. Dr. Antonio A. Pazos García, Jefe de la sección de Geofísica del Real Instituto y Observatorio de la Armada (ROA), impartió la conferencia “Los Terremotos y el Real Observatorio de la Armada, ¿es posible alertar de la inminencia de un terremoto antes de la llegada de sus ondas destructivas?” en el Campus Científico de Verano CEI.Mar 2016 de la Universidad de Cádiz.

- El día 29 de Julio de 2016, el CF. Dr. Antonio A. Pazos García, Jefe de la sección de Geofísica del Real Instituto y Observatorio de la Armada (ROA), impartió la conferencia “Los Terremotos y el Real Observatorio de la Armada, ¿es posible alertar de la inminencia de un terremoto antes de la llegada de sus ondas destructivas?” dentro de las actividades organizadas por el Ayuntamiento de Cádiz con motivo de la “Gran Regata 2016”.

## 3.11. Otros temas de interés

- Es presentado en la Universidad de Madrid. por Andrea Sierra Martínez, el trabajo titulado “Estudio comparativo de subsidencia térmica en cuencas oceánicas” para optar al título de Máster en Meteorología y Geofísica bajo la dirección del CF. Manuel Catalán y la Dra. Yasmina Martos.

- Es presentado en la Universidad de Granada, por Esther Rojo Perez, el trabajo titulado “La validación de un procedimiento, basado en un magnetómetro de tres componentes embarcado, para incrementar el conocimiento de las anomalías magnéticas de nuestro planeta” para optar al título de Máster en Geofísica y Meteorología bajo la dirección del CF. Manuel Catalán y la Dra. Yasmina Martos.

- Es presentado en la Universidad de Granada, por Juan Martín de Blas, el trabajo titulado “Estructura profunda del Caribe: raíces litosféricas y corrientes de la Astenosfera” para optar al título de Máster en Geofísica y Meteorología bajo la dirección del CF. Manuel Catalán y la Dra. Yasmina Martos.

- El CF Manuel Catalán Morollón participa como vocal científico en la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología, es nombrado miembro evaluador científico de la Fundación García-Siñeriz y representante de este Observatorio dentro del grupo de cartografía marina y ante el CDTI.

- Es presentado en la Universidad Complutense de Madrid, por el TN Roberto Cabieces Díaz, el trabajo de fín de Máster titulado “Localización hipocentral de terremotos a partir de datos de estaciones sísmicas en tierra y OBS”, para optar al título de Máster en Meteorología y Geofísica bajo la dirección de la Catedrática en Ciencias de la Tierra la Dra. Elisa Buforn Peiró y el Dr. Maurizio Mattesini.

### 3.11.1. Personal

- El 1 de agosto se incorpora al servicio de sismología el TN D. Roberto Cabieces Díaz.

- El día 28 de septiembre, la diplomada Dña. Mireya López Mesa finaliza el contrato en vigor ligado al proyecto ALERTES-RIM.

# 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, marca SIGMA TAU, Mod. MHM-2010.

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 (B.O.E. 282) y por el Real Decreto 648/1994 de 15 de abril (B.O.E. 103), que declaran al Laboratorio del Real Instituto y Observatorio de la Armada 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 1 de enero a 0h UTC hasta el 31 de enero a 0h UTC, el valor de DUT1 diseminado con las señales de tiempo fue de +0,1 segundos. Desde esta fecha hasta el 24 de marzo a 0h UTC, el valor de DUT1 diseminado fue de 0,0 segundos, pasando a ser -0.1 segundos hasta el 19 de mayo a 0h UTC, -0,2 segundos hasta el 1 de septiembre a 0h UTC, de -0,3 segundos hasta el 17 de noviembre a 0h UTC y de -0,4 segundos desde esta fecha hasta el final de año.

El día 31 de diciembre de 2016, se introduce un segundo intercalar, quedando establecida la diferencia entre UTC y TAI en −37 segundos a partir de esta fecha, y el valor de DUT1 en +0,6 segundos.

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

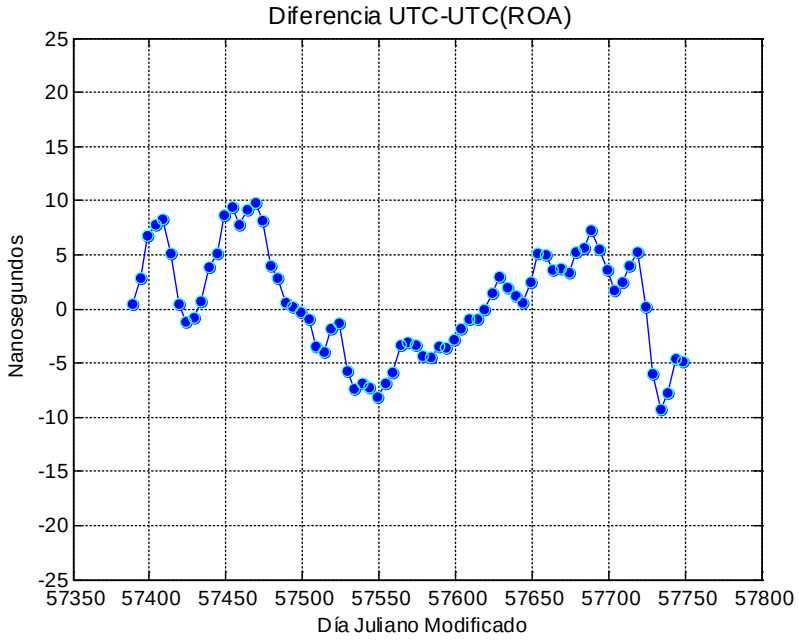


*Figura 4.1: Comparación de la escala de tiempo UTC(ROA) en 2016, según datos de la Circular T.*

La señal de frecuencia procedente del Máser de Hidrógeno activo, marca SIGMA TAU, Mod. MHM-2010, núm. de serie 0100000236, convenientemente disciplinada a través del Generador Auxiliar de Salida, Mod. AOG-110, núm. de serie 0100000052, 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 ±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.

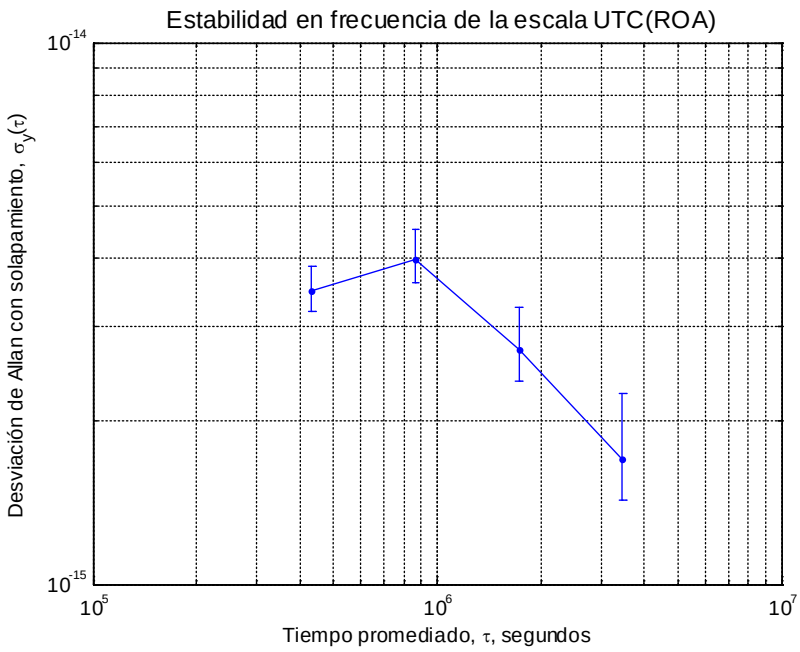


*Figura 4.2: Estabilidad en frecuencia de la Escala UTC(ROA).*

Como se aprecia, para un periodo de integración de cinco días la estabilidad en frecuencia ofrece un valor de $3{,}48 \times 10^{-15} \pm 0{,}78 \times 10^{-15}$ ($k = 2$), en tanto que la estabilidad en tiempo es de $8{,}69 \times 10^{-10} \pm 1{,}94 \times 10^{-10}$ ($k = 2$).

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, que fue aprobado en el plenario del Consejo Superior de Metrología del 24 de septiembre de 2009 (en la actualidad permanece en vigor la revisión 06, del 23 de noviembre de 2016, desglosada y dedicada expresamente a laboratorios asociados). El R.D. 244/2016, de 3 de junio, por el que se desarrolla la nueva Ley de Metrología, en vigor desde el 8 de junio, establece entre otros aspectos la manera en que se organiza la metrología en

España, indicando los criterios de designación, las misiones y responsabilidades de los laboratorios asociados entre los que se encuentra el Observatorio.

La Comisión de Laboratorios Asociados al CEM está constituida, además del ROA, por otras cinco instituciones con amplia tradición metrológica y experiencia en determinadas magnitudes, y que por razones de especialización científica y técnica son designados por real decreto del Consejo de Ministros como tales y como depositarios de patrones nacionales de las unidades de ciertas magnitudes, complementando la labor del propio CEM. En concreto, estas instituciones desarrollan y mantienen los patrones de la unidad básica de intensidad luminosa y de Flujo Luminoso (Laboratorio de Fotometría y Radiometría del Instituto de Óptica "Daza de Valdés", perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas –CSIC–), de la humedad, Potencia, Ruido y Atenuación en Alta Frecuencia 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).

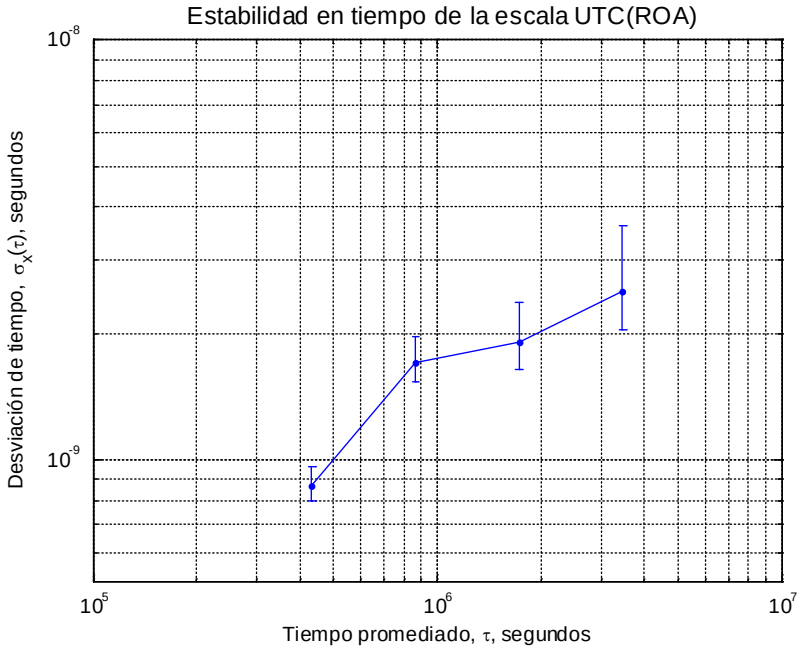


*Figura 4.3: Estabilidad en tiempo de la Escala UTC(ROA).*

A este respecto hay que reseñar la visita de seguimiento que el TN. ING. Juan Manuel González realiza en el mes noviembre al Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes; dentro del turno anual de visitas establecido por la Comisión de Laboratorios Asociados al CEM, al objeto de verificar el sistema de gestión de la calidad en el ámbito de su actividad metrológica. Del mismo modo, también se verifica el sistema de calidad de la Sección de Hora, durante la visita de seguimiento realizada a finales del mes de noviembre, y que fue llevada a cabo por el Dr. Salustiano Ruiz González, Jefe de Servicio del Centro Español de Metrología, y por el Dr. Robert Benyon Puig, Director del Centro de Metrología y Calibración del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial, y la auditoría interna realizada a mediados de diciembre al Laboratorio de Hora del Observatorio.

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 CCTF WG on GNSS TT, constituido para asesorar al CCTF sobre el estado del arte en sistemas de transferencia de tiempo y frecuencia GNSS, y realizar las recomendaciones relativas a la calibración de estos sistemas, al procesamiento de datos, a las señales disponibles y a los últimos avances científicos y tecnológicos en este campo.

Desde mediados del año 2010, y hasta finales de 2012, la Sección de Hora tomó 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 necesario en frecuencia para mantener la diferencia entre ambas escalas en los límites que se han especificado. Esta contribución, que fue enmarcada dentro de las operaciones de la misión GIOVE / TGVF, ha dado paso a la fase actual, de despliegue completo de la capacidad operativa Galileo (Galileo FOC), en la que el subsistema TVF realiza prácticamente la misma tarea, aunque con mayores exigencias que hasta el momento: Apoyo a la provisión de servicio temprano y a los servicios operativos iniciales, y validación del servicio de tiempo y de productos para usuarios externos.

Las operaciones TGVF, cuya finalización estaba prevista para finales del 2016, se han extendido a solicitud de la Agencia Espacial Europea hasta finales de 2017. Asimismo, a lo largo del año se han realizado las actuaciones oportunas para continuar participando durante la explotación del sistema como parte del operador del Servicio Galileo, encargado de operar y mantener el sistema Galileo (segmentos de tierra y espacio), bajo una relación contractual con la Agencia GNSS Europea (GSOp – GSA). Finalmente el proyecto fue adjudicado a mediados del mes de diciembre al consorcio formado por las empresas Spaceopal, Telespazio y el Centro Aeroespacial Alemán (DLR), en el que el ROA también es parte integrante, por lo que queda asegurada su participación en este trascendental proyecto durante al menos los próximos once años.

En el mes de febrero, la 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. La subvención va a ser financiada en base a los presupuestos de la Unión Europea (UE) y va a tener una duración de 4 años.

A lo largo del año se sientan las bases para la creación de un único consorcio, bajo la denominación GRC-MS (*Member States*), liderado por el Centro de Estudios Aeroespaciales francés (CNES) y que cuenta con la presencia de una amplia mayoría de los estados miembros de la UE, entre ellos España a través del ROA y del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

Recientemente la GSA ha comunicado a este consorcio su evaluación favorable e invitación a proseguir con la fase de preparación del proyecto. Este proyecto, de ámbito europeo, se enmarca dentro de las actividades científicas propias de la Sección de Hora de este Centro. El ROA pretende participar en dos paquetes de trabajo relacionados con

el tiempo. Concretamente, se proporcionarán datos y realizará un análisis de estos, conforme a los WP1.1 "*Reference Stations*" y WP3.3 "*Open Service Time Performance*". Asimismo, es de interés para este Observatorio la participación en este proyecto, pues permitirá mantener la colaboración con los principales centros europeos en el campo del tiempo y la frecuencia, facilitando el intercambio de información y experiencias con dichos centros.

En este mismo orden de cosas, desde el mes de septiembre el ROA es candidato firme a formar parte de otro consorcio, ya iniciado en 2014, y liderado igualmente por CNES, esta vez en el marco de EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay System*), para atender la segunda llamada del GSA/GRANT/EGNOS/01/2014 EGNOS Service Performance Monitoring Support (SPMS) que tendrá una duración dos años.

La contribución del ROA en el consorcio SPMS para esta segunda llamada consiste en monitorizar el servicio de tiempo EGNOS en la zona sur-oeste de Europa (ver Figura 4.4) para OS y Safety of Life (SoL), para lo cual se contribuye aportando datos dentro del WP 1.1 "EGNOS Navigation Performance". A fecha 31 de diciembre, no se dispone de comunicación formal de la GSA sobre la adjudicación de dicha llamada, lo que se interpreta implícitamente como que recaerá en el mismo consorcio que lo venía haciendo hasta la fecha.

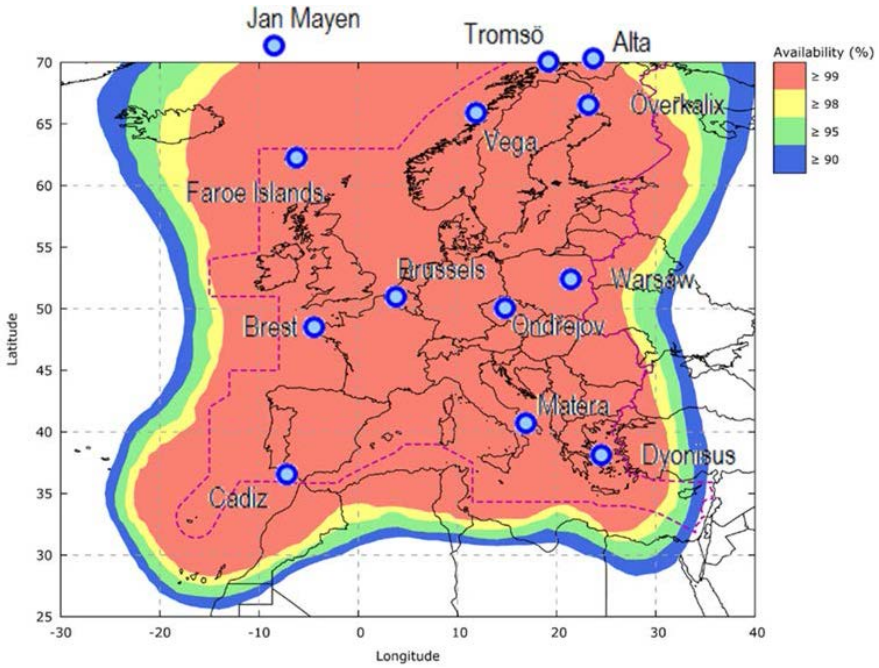


*Figura 4.4: Cobertura del servicio con la inclusión de la estación ROA al consorcio SPMS EGNOS*

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

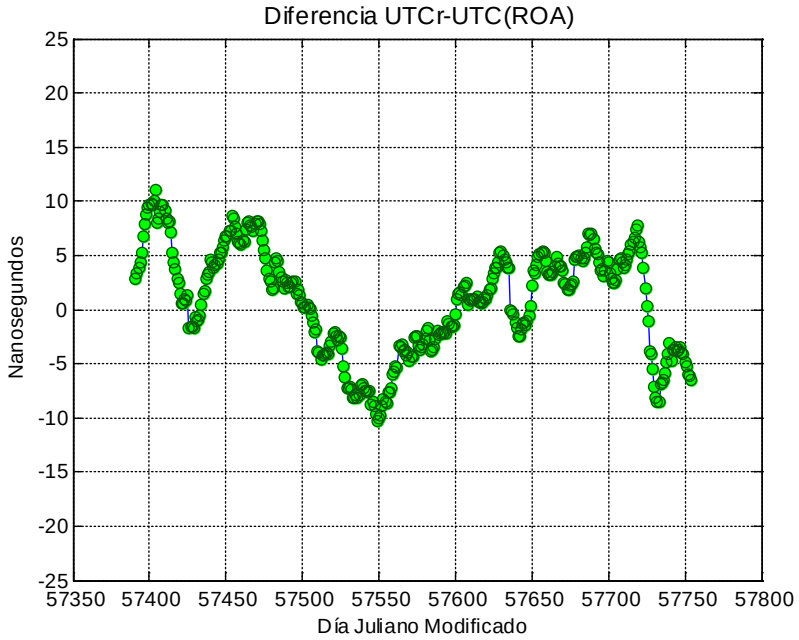


*Figura 4.5: Escala de tiempo UTC(ROA) referida a UTCr. Datos proporcionados por el BIPM (ftp://tai.bipm.org/UTCr/Results/).*

La Figura 4.5 muestra los resultados de la comparación de UTC(ROA) con UTCr, que a diferencia de la comparación con UTC, está disponible en un tiempo diferido menor (cada miércoles se publican los datos semanales de lunes hasta el domingo anterior) y proporciona una estima con una periodicidad de un día.

En la actualidad, alrededor de 48 laboratorios, de entre los 75 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.

Desde el mes de diciembre, el Observatorio colabora en la fase de experimentación del software de desarrollo de GMV para transferencia de tiempo y disciplinado de reloj. La prueba trata de replicar las operaciones TVF utilizando la transferencia de tiempo basada en Galileo en lugar de hacerlo con GPS. Participan en dicho experimento los cinco laboratorios nacionales de tiempo que participan en el Galileo TVF.

El Observatorio inauguró su bola de señales horarias el 1 de mayo de 1878. Su adquisición fue establecida por una Real Orden fechada dos años antes, que dispuso la adquisición de una bola de tiempo y su reloj motor de sistema electromagnético, para que desde el Observatorio se diese diariamente el tiempo medio a los buques surtos en la bahía de Cádiz y en los caños de La Carraca. El aparato fue construido en Londres, donde ya existía una cierta experiencia en la fabricación de este tipo de mecanismos, de uso generalizado en las costas europeas y norteamericanas.

A partir del primero de mayo de 1878, la caída de la bola marcó todos los días la señal correspondiente a las 01 horas 00 minutos 00 segundos de tiempo medio astronómico de San Fernando (13:00). El sistema empleado para ello era el siguiente: a las 12:50 se izaba

la bola en el mástil, permaneciendo en esta posición hasta ser liberada por el mecanismo de relojería a la hora convenida. Gracias a este sistema, los barcos y dependencias de la Armada que podían observar directamente la bola instalada en la azotea del Observatorio, tuvieron la posibilidad de poner en hora sus cronómetros y equipos horarios durante las últimas décadas del siglo XIX y las primeras del siglo XX.

Este dispositivo, si bien sigue estando operativo aunque ya relegado a un papel meramente rememorativo, venía presentando un funcionamiento anómalo durante las maniobras de izado y arriado de la bola. Al objeto de subsanar estos fallos, durante el mes de mayo se realiza un recorrido a fondo de los elementos electromecánicos, a la vez que se le sustituye el motor eléctrico, al encontrase su freno mancornado al eje.

*Figura 4.6: Izado del mástil de la bola una vez finalizado el recorrido general de todo el sistema.*

### 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.).

La transferencia de tiempo de dos vías constituye en la actualidad 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.

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. Este enlace fue calibrado

por primera vez en julio de 2014, mediante una estación móvil de sus mismas características. Hasta entonces había sido calibrado mediante técnicas basadas en GPS, lo que había limitado su capacidad de medida al asignársele una elevada incertidumbre. Esta calibración ha permitido reducir la incertidumbre tipo B hasta un valor en el entorno de 1 nanosegundo, cinco veces inferior a la que estuvo en vigor hasta entonces.

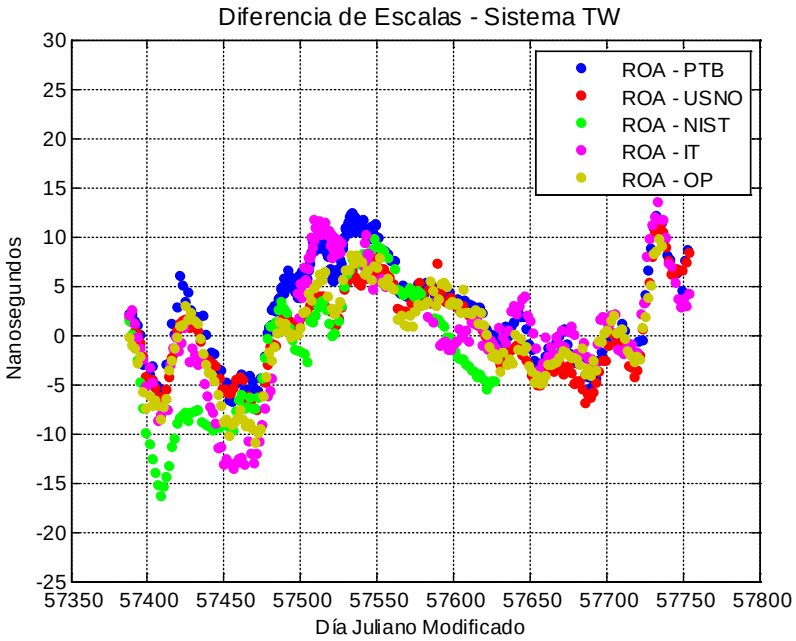


*Figura 4.7: Intercomparación de la escala UTC(ROA) con los principales laboratorios europeos y norteamericanos mediante TWSTFT utilizando el satélite TELSTAR 11N.*

Durante la primavera de 2016, se ha vuelto a calibrar este enlace. El ROA lideró nuevamente esta campaña de calibración, lo que ha implicado la contratación de una estación transportable (Figura 4.8) y parte del equipo humano de apoyo, la planificación de la campaña en coordinación con todas las instituciones participantes (Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica INRIM-Italia, Observatoire de Paris OP-Francia, Physikalisch-Technische Bundesanstalt PTB-Alemania y Technical Research Institute of Sweden SP-Suecia, además del ROA), la organización de las visitas a las Instalaciones de Tiempo Preciso Galileo (PTF1-Italia y PTF2-Alemania) y a la estación fija de referencia perteneciente al socio industrial contratado y ubicada en su sede en Stuttgart-Alemania, y la elaboración de los informes finales para la Agencia Espacial Europea (ESA) y BIPM.

*Figura 4.8: Estación portátil TWSTFT en el INRIM y en el ROA.*

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. Esto supondrá que los relojes del Observatorio sigan contribuyendo en la misma medida en la realización de UTC, viéndose consolidadas al mismo tiempo las capacidades de medida y calibración (CMC), y consecuentemente la calidad de los servicios de calibración que lleva a cabo como Laboratorio de Referencia Nacional.

En definitiva, se sigue formando parte del reducido grupo de laboratorios (actualmente 8), con una incertidumbre igual o mejor de 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.

**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 doble encaminamiento (TWSTFT) en aquellos laboratorios que disponen de ambas capacidades. Ambos 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 2000805, con recepción L1, L2, GPS/GLONASS (configurable a GPS/GALILEO L1, L5), 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 3007633 y 3008013, 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. El receptor n/s 3007633 constituye la estación IGS (*International GNSS Service*), con denominación ROAP, desde el 30 de septiembre de 2015.
iv. Un PolaRx5TR PRO, n/s 3013868, 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.

Gracias a la participación en los proyectos pilotos PRS (*Public Regulated Service*) Galileo, y por mediación directa de la Dirección General de Armamento y Material (DGAM, MINISDEF), se suministra a mediados de octubre un nuevo Máser de Hidrógeno activo, marca SIGMA TAU, Mod. MHM-2010, núm. de serie 0100000332, y un Generador de Salida Auxiliar, Mod. AOG-110, núm. de serie 0100000127, al objeto de asegurar la participación del ROA en la validación del comportamiento de los relojes del sistema Galileo y de su escala de tiempo "Galileo System Time" (GST), permitiéndole asimismo participar en estudios futuros de proyectos de I+D relativos al programa PRS.

*Figura 4.9: Personal del ROA y de la empresa Datatronics durante la puesta en servicio del nuevo Máser de Hidrógeno.*

El servicio PRS 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 importantes de Galileo, que proporciona un valor añadido en comparación con otros sistemas de navegación por satélite.

Actualmente, el proyecto Galileo se encuentra en la fase de despliegue de su plena capacidad operativa, lo que supone mayores exigencias en los equipos de medida a utilizar para su validación. Hay que reseñar especialmente el incremento requerido en cuanto a número de sistemas de transferencia de tiempo disponibles y, fundamentalmente, respecto a la variación promedio permitida en las escalas de tiempo de apoyo para adquirir trazabilidad metrológica, que ha sido fijada en 1 ns/día. Esto exige la utilización continua de un máser de hidrógeno y un sintetizador de frecuencia de altas prestaciones, y gracias al nuevo equipamiento, esta exigencia queda cubierta.

Durante todo el año se ha colaborado con el laboratorio nacional de tiempo y frecuencia italiano, INRIM (Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica), 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 y USNO 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 ODTS (Orbit Determination & Time Synchronization), y PPP (Precise Point Positioning). ODTS es una solución de red que requiere un conjunto de estaciones distribuidas por la 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 del *master clock* 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 referencia con respecto a la escala GPS generada por los receptores multicanal. La referencia empleada en todos los casos fue UTC(ROA).

De forma similar a lo ocurrido con el enlace de dos vías, durante el 2016 se realizaron dos calibraciones consecutivas de los sistemas GPS. La primera liderada por el BIPM, en la que participaron los tres laboratorios europeos del Grupo 1: OP, PTB y ROA, y la segunda liderada por OP, dentro del marco de Galileo FOC TVF. La incertidumbre tipo B estimada para ambas calibraciones se encuentra en el entorno de los 2 nanosegundos. Los resultados de la calibración del BIPM fueron implementados en el mes de septiembre, implicando un salto de +2 ns en los datos CGGTTS del PolaRx3 y de -5.9 ns en los del GTR50. En la cabecera de estos ficheros también se ha incluido la referencia a esta calibración: Cal_Id=1001-2014.

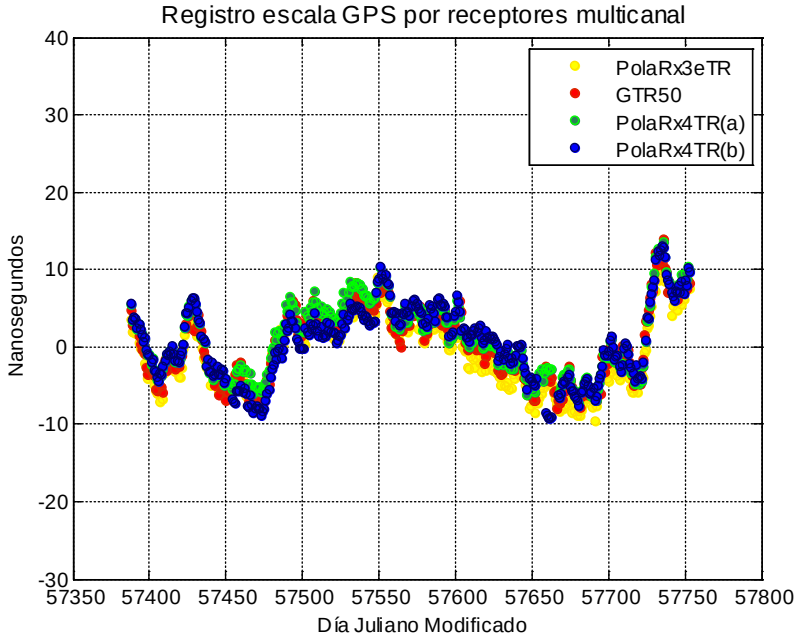


*Figura 4.10: Comparación de la salida de tiempo de receptores GPS multicanal durante el año 2016.*

En el mes de febrero comenzó oficialmente la primera campaña de calibración G1-G2 GNSS de EURAMET, liderada por el ROA, y que comprendió a los siguientes laboratorios de tiempo nacionales: BIM (Bulgaria), UME (Turquía), BOM (Macedonia), DMDM (Serbia), IMBH (Bosnia y Herzegovina) e INRIM (Italia). La Figura 4.11 muestra el recorrido final realizado por el sistema viajero del ROA. Como consecuencia de los retrasos generados por la entrada y salida de países extracomunitarios, la citada campaña se extendió durante más de 6 meses.

*Figura 4.11: Campaña G1G2 EURAMET liderada por el ROA. Año 2016.*

A diferencia de las calibraciones realizadas hasta ahora, en las que se había utilizado un único receptor geodésico, en esta campaña se incorporó otro receptor geodésico de similares características pero de distinto fabricante, además de una serie de mejoras como la incorporación de un contador de intervalos SR620, de un distribuidor PPS y de un distribuidor de frecuencia, que asegurasen un nivel constante a la entrada de los receptores antes mencionados. Se incluyeron asimismo un distribuidor activo de señal antena y un panel de interconexiones con conectores BNC, todo ello distribuido en un rack de 19 pulgadas de pequeña altura, con protección externa semirrígida para preservar el sistema durante la duración del ejercicio. La Figura 4.12 muestra el aspecto frontal y trasero del sistema, en vísperas del inicio de la campaña.

*Figura 4.12: Fotografías delantera y trasera del sistema viajero utilizado en la campaña 2016 de calibración GPS.*

**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 privada virtual en 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.

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

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 Real Instituto y Observatorio de la Armada 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 y minuto.roa.es. En la actualidad, el servicio atiende aproximadamente a setenta 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, establecido 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” (±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 (Real Observatorio de la Armada) 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 tiempo y frecuencia basado en Rb disciplinado a GPS FLUKE 910R – Tecnalia Research & Innovation (ROA-015/16).
- 1 Sistema de tiempo y frecuencia basado en Rb disciplinado a GPS FLUKE 910R – Laboratorio Oficial de Metrología de Galicia (ROA-016/16).
- 1 Receptor GPS SICE 1402 – Sociedad Ibérica de Construcciones Eléctricas S.A. (ROA-017/16).

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 XLi (R02682) - TELEFÓNICA DE ESPAÑA SAU (ROA-002/16, ROA-005/16, ROA-009/16, ROA-018/16).
- 1 Sistema de tiempo y frecuencia XLi (R05748) - TELEFÓNICA DE ESPAÑA SAU (ROA-003/16, ROA-006/16, ROA-010/16, ROA-019/16).
- 1 Patrón de Rubidio 8040C - ROHDE & SCHWARZ (ROA-004/16, ROA-007/16, ROA-014/16, ROA-020/16).

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.

*Figura 4.13: Sustitución del tubo de Cesio del patrón de tiempo y frecuencia del CEM, realizada en el ROA.*

El día 8 de julio se realiza una importante acción de mantenimiento sobre el patrón de cesio del CEM. El tubo de este reloj, se encontraba prácticamente agotado, después de un funcionamiento ininterrumpido durante casi ocho años, y tuvo que ser reemplazado por uno nuevo de idénticas características. Como se muestra en la Figura 4.13, el trabajo fue realizado por dos ingenieros técnicos del laboratorio, con amplios conocimientos en metrología de tiempo y frecuencia y un bagaje importante de aprendizajes previos. A su finalización se procedió a realizar las pruebas iniciales de verificación y puesta en funcionamiento, resultando enteramente satisfactorias. También se realizó la calibración de exactitud y estabilidad en frecuencia, cuyos resultados fueron reflejados en el siguiente certificado:

- 1 Patrón de Cesio Symmetricom 5071A, Opt. 001 (ROA-013/16).

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:

**INTA-Centro de Ensayos Torregorda**

- 1 Sistemas de tiempo y frecuencia basado en rubidio disciplinado a GPS FLUKE 910R (ROA-001/16).
- 1 Contador y analizador FLUKE PM 6690 (ROA-021/16).

**Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial "ESTEBAN TERRADAS"**

- 1 Patrón de Cesio Symmetricom 5071A-C001 (ROA-008/16, mediante la técnica CV).

**Centro Logístico de Transmisiones – CLOTRA**

- 1 Patrón de Cesio Agilent 5071A (ROA-011/16, mediante la técnica CV).

**Laboratorio Central de Metrología y Calibración**

- 1 Patrón de Rubidio 8040C (ROA-012/16).

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, que previamente fue 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 todo ese campo antes citado.

El CEM está integrado en la Asociación Metrológica Europea (EURAMET), a la que pertenecen un total de 37 países europeos, además de la propia Comisión Europea. Dentro de esta organización, 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 2 de Marzo se celebró en Helsinki, (Finlandia) la reunión anual del Comité Técnico de Tiempo y Frecuencia de EURAMET. Durante la reunión se analizaron los resultados de los proyectos de cooperación en curso, entre los que se encuentra la calibración de enlaces de tiempo mediante los sistemas de navegación global por satélite GNSS. El CC. 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 conmina a los tres laboratorios europeos del Grupo 1 (OP, PTB y ROA), a realizar cuanto antes una campaña de calibración GPS entre los laboratorios clasificados como Grupo 2.

Asimismo, se mostraron y discutieron diferentes proyectos europeos externos a EURAMET y de interés para el comité técnico (entre los que merece especial mención el referente a la "Regulación Financiera Europea y la Trazabilidad en Tiempo"), el estado actual de otros proyectos de cooperación del propio comité técnico (a destacar entre estos el referente a la "Preparación de la guía EURAMET para la evaluación de laboratorios de calibración usando señales GPS para trazabilidad de tiempo y frecuencia", la "Transferencia de Tiempo usando enlaces de Fibra Óptica", la "Monitorización del comportamiento de receptores GNSS", o el "Estudio piloto de comparación de Intervalo de Tiempo"), o los del Programa de Investigación de Metrología Europea (EMRP) en ejecución. Asimismo, en referencia al Programa de Metrología Europeo para la Innovación e Investigación (EMPIR), se presentaron los avances en relación con las nuevas estrategias de diseminación de tiempo preciso y con los patrones de nueva generación para la industria, y se discutieron posibles propuestas a la convocatoria de Apoyo a proyectos de Impacto diseñados para aumentar el impacto de proyectos iMERA-Plus y EMRP finalizados.

La Comisión de Laboratorios Asociados al Centro Español de Metrología (CEM) se reunió varias veces durante el año. Las reuniones fueron presididas por el nuevo Director del CEM, el Sr. José Manuel Bernabé Sánchez, que sustituye desde el 16 de febrero al Sr. D. Fernando Ferrer Margalef, por haber alcanzado la edad de jubilación. Los temas debatidos tuvieron como máximo exponente el desarrollo normativo de la nueva Ley de Metrología mediante real decreto, las últimas noticias sobre el programa

EMPIR y la convocatoria 2016, y la iniciativa de creación de una Plataforma Tecnológica en Metrología.

Consciente del creciente protagonismo que está adquiriendo la unidad básica de tiempo en el sistema internacional de unidades, y de las modélicas instalaciones que en los próximos meses pasarán a albergar el laboratorio de Hora del Observatorio, en el que se genera y mantiene el patrón nacional de la mencionada unidad y la escala de tiempo base de la hora legal española, el Director del Centro Español de Metrología (CEM) y Vicepresidente del Consejo Superior de Metrología ha querido reconocer y apoyar estas circunstancias proponiendo la organización del próximo Congreso Español de Metrología en la ciudad de San Fernando. Previamente a ello, visitó el Observatorio junto al Director de la División Científica y de RR.II. del CEM, para entrevistarse con la Dirección del Observatorio y conocer de primera mano la actual Sección de Hora, el estado de la obra del nuevo edificio de Hora y las instalaciones municipales candidatas a acoger el VI Congreso Español de Metrología.

*Figura 4.14: Visita a la actual Sección de Hora.*

El 13 de julio el Observatorio acogió la primera reunión del Comité de Organización del VI Congreso Español de Metrología, que se celebrará en San Fernando del 7 al 9 de junio de 2017. El comité, presidido por el Director del CEM, está integrado por dos personas en representación del Ayuntamiento de San Fernando, entre los que se encuentra el concejal de presidencia del citado Ayuntamiento, y otras trece personas en representación de diversos agentes en el campo de la metrología, entre ellos, el presidente de la Asociación Española para la Calidad (AEC), el Director General de la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), el Jefe del Departamento de Laboratorios y Certificación de Producto de ENAC (Entidad Nacional de Acreditación), el Jefe de la División de Metrología de Verificaciones Industriales de Andalucía S.A., y diferentes responsables de metrología del propio CEM y procedentes de empresas y universidades: Iberdrola, Contazara, IK4 Tekniker, CLSIM o Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid. El representante por parte de Armada es el CN. Galindo, Jefe de la Sección de Hora.

El escenario elegido es el Centro de Congresos “Cortes de la Real Isla de León”, si bien se ha previsto que las sesiones plenarias se desarrollen en el Real Teatro de las Cortes de San Fernando. Los objetivos propuestos son los siguientes:

- Diseminar los últimos avances en metrología y tecnología de las medidas desarrollados en el país.
- Divulgar la importancia de la metrología y sus implicaciones en la industria, la I+D y la sociedad.
- Hacer conocer la relevancia de las medidas como una herramienta imprescindible para la calidad de los productos y los procesos.
- Mantener vivo un foro de discusión e intercambio de información en torno a la metrología.
- Contribuir a la mejora de las medidas y la reducción de sus incertidumbres.
- Incrementar el nivel tecnológico y la formación de los técnicos en metrología.
- Divulgar el marco jurídico e institucional en el que se desenvuelven las actividades metrológicas.

*Figura 4.15: Foto de familia de los miembros del Comité Organizador del VI Congreso Español de Metrología, durante la primera reunión del comité en San Fernando.*

El Comité Organizador del VI Congreso Español de Metrología volvió a reunirse en San Fernando el día 30 de septiembre.

La Sección ha iniciado en el mes de mayo el proceso de revisión de sus CMC, al objeto de actualizar las capacidades declaradas como laboratorio asociado a EURAMET bajo el Acuerdo de Reconocimiento Mutuo del Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM-MRA), relativo a los patrones nacionales de medida y a los certificados de calibración emitidos por los laboratorios metrológicos nacionales. Las CMC vigentes en la actualidad fueron aprobadas en el 2007.

## 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 que mejora el control del material existente en buques y dependencias, facilitando las tareas administrativas que esta función lleva consigo.

Se reconoció el material del cargo de relojería de la Unidad Buceo de Canarias, consistente en una colección de 24 relojes de pulsera para buceadores. De entre estos,

once relojes resultaron inútiles, y el resto pudo ser reparado y remitido a su unidad una vez realizada y superada la prueba preceptiva de estanqueidad.

Se efectuó reparación, calibración y ajuste a las Centrales Horarias del BE Juan Sebastián de Elcano y LHD Juan Carlos I.

Se ha efectuado el recorrido y puesta a punto a un total de 12 repetidores de centrales horarias y de 114 elementos de relojería y cronometría, de entre los cuales fueron declarados inútiles cinco relojes de helicóptero de la Flotilla de Aeronaves y un cronógrafo mecánico procedente del B/H Tofiño. Este último fue sustituido por uno digital procedente del depósito.

Se hace entrega, en concepto de auxilio, de un reloj de mamparo al BE Juan Sebastián de Elcano y otro a la Escuela Naval Militar.

La Oficina de Normalización núm. 57, Instrumentos y equipos cronométricos, ha estado siempre muy ligada al Servicio de Cronometría Naval. En el mes de febrero se produjo el relevo en la presidencia y secretaría, quedando designados para estos cargos el CC (CGA-EOF) D. Héctor Esteban y del TN (CIA-ETO) D. Juan Manuel González, respectivamente.

## 4.4.- Proyectos de Investigación, Acciones Especiales y Complementarias

Durante el año 2016 y dentro de la Sección de Hora, se han mantenido los siguientes Proyectos de Investigación, Acciones Especiales y Acciones Complementarias:

- **AMIGA6 (AYA2015-65973-C3-1-R):**
  Proyecto encaminado a la investigación y desarrollo de técnicas de transferencia de tiempo y frecuencia mediante fibra óptica. El proyecto encaja dentro del proyecto genérico AMIGA (Análisis del Medio Interestelar en Galaxias Aisladas): “gas en el interior y en el entorno de las galaxias”, y se dedica a la preparación científica para el SKA (Square Kilometre Array) y a 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 el investigador Manuel Rodríguez Álvarez, perteneciente al Dpto. de Arquitectura y Tecnología de Computadores de la Universidad de Granada (UGR) es el director del subproyecto llamado: AMIGA6: *gas in and around galaxies. Preparation for SKA science and contribution to the design of the SKA data flow - Signal and Data Transport* del IAA, 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.

- **Calibración de equipos de “sellado de tiempo” (Proyecto 917 EURAMET)**

Proyecto acordado en el seno de EURAMET, coordinado por Jan Cermák, del Institute of Radio Engineering and Electronics (IREE). El proyecto está encaminado a realizar las siguientes tareas:

- Diseño y realización de un ordenador sincronizado a un Pulso Por Segundo externo trazable a UTC. El ordenador proporcionará 1 PPS que permita verificar la incertidumbre de sincronización mediante un contador de intervalos de tiempo.
- Diseño y realización de un sistema basado en PC que implemente un servicio de time-stamping.
- Experimentos entre los ordenadores anteriores interconectados directamente y a través de red a varios puntos de acceso. Evaluación de incertidumbres.
- Evaluación de diferentes servidores de time-stamping en diferentes puntos de acceso.
- Elaboración de procedimiento(-s) de calibración.

- **Preparación de una guía EURAMET para la evaluación de laboratorios de calibración que emplean señales GPS para adquirir trazabilidad en tiempo y frecuencia. (Proyecto 1130 EURAMET).**

  Proyecto coordinado por Peter Whibberley, del Laboratorio de Física Nacional del Reino Unido, en el colaboran los Instituto Metrológicos Nacionales de Tiempo y Frecuencia italiano, finlandés y alemán, además del Observatorio.

  Este proyecto tiene por objetivo examinar el borrador desarrollado por el grupo de expertos de corriente continua y baja frecuencia (DC-LF) de Cooperación Europea para la Acreditación (EA WG DC-LF), haciendo las enmiendas necesarias y publicando el documento como una Guía de Calibración de EURAMET.

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

  Proyecto coordinado por el CN. Don Francisco Javier Galindo Mendoza 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.

## 4.5.- Reuniones

Se participó en las siguientes reuniones:

- Reunión de la Comisión de Seguimiento del Convenio MDEF (ROA) - FNMT-RCM, Madrid, 19 de enero.
- Reunión PTTI y CCTF WG on TWSTFT, Monterey, EEUU, del 24 al 30 de enero.
- Reunión del Grupo de Trabajo PRS de Defensa, DGAM, Madrid, 25 de enero.
- Reunión del programa GRC, Bruselas, Bélgica, 17 de febrero.
- Reunión del Subcomité Técnico de Calibración núm. 2 (Tiempo y Frecuencia) ENAC, Madrid, 25 de febrero.
- Reunión EURAMET TC-TF, Espoo, Finlandia, 1 y 2 de marzo.
- Reunión CLA-CEM, Tres Cantos, Madrid, 3 de marzo.
- Reunión consorcio GRC-MS, París, Francia, 22 de marzo.
- Foro Europeo de Tiempo y Frecuencia, York, Reino Unido, del 5 al 7 de abril.
- Reunión del grupo de trabajo interministerial GNSS, Ministerio de Fomento, Madrid, 22 de abril.
- Reunión CLA-CEM, ENAGAS, Zaragoza, 27 de abril.
- Reunión ROA-INTA, San Fernando, 10 de mayo.
- Reunión ROA-CEM y Ayuntamiento de San Fernando, San Fernando, 17 de mayo.
- Reunión del Grupo de Trabajo PRS de Defensa, GMV, Madrid, 9 de junio.
- Reunión CLA-CEM - AEC, Madrid, 7 de julio.
- Reunión de constitución del Comité de Organización del VI Congreso Español de Metrología, San Fernando, 13 de julio.
- Reunión del Comité de Organización del VI Congreso Español de Metrología, San Fernando, 30 de septiembre.
- 2ª Feria de Otoño SINFOTON, Madrid, 20 de octubre.
- Grupos de Trabajo y Jornadas Técnicas de RedIRIS, Valencia, 14 al 18 de noviembre.
- Reunión ROA-ESSP, San Fernando, 16 de noviembre.
- Reunión CLA-CEM, INTA, Torrejón de Ardoz, 16 de noviembre.
- Visita de supervisión al CIEMAT, Madrid, 16 de noviembre.
- Reunión del Grupo de Trabajo PRS de Defensa, DGAM, Madrid, 2 de diciembre.
- Reunión proyecto SPMS EGNOS, Bruselas, Bélgica, del 6 al 7 de diciembre.
- Reunión de la Comisión de Seguimiento del Convenio MDEF (ROA) - FNMT-RCM, San Fernando, 14 de diciembre.

## 4.6.- Comunicaciones y pósters

F.J. Galindo, H. Esteban, A. Bauch, D. Piester, I. Sesia, J. Achkar, K. Jaldehag, C. Rieck y R. Píriz, “European TWSTFT Calibration Campaign 2014 of UTC(k) Laboratories in the Frame of Galileo FOC TGVF”, Proceedings of the 47th Annual Precise Time and Time Interval Systems and Applications, pp. 243-257, 25-28 de enero de 2016.

Z. Jiang, D. Matsakis, V. Zhang, H. Esteban, D. Piester, S.Y. Lin, E. Dierikx, "A TWSTFT Calibration Guideline and the use of a GPS Calibrator for UTC TWSTFT link Calibrations", Proceedings of the 47th Annual Precise Time and Time Interval Systems and Applications, pp. 231-242, 25-28 de enero de 2016.

H. Esteban, "Project 1156. EURAMET G1G2 calibration organized by ROA", EURAMET TC-TF, Espoo (Finlandia), 1-2 de marzo de 2016.

H. Álvarez, J. Galindo, A. Velasco y P. Corredera "Calibración de células de absorción como referencias de longitud de onda", 2ª Feria de Otoño SINFOTON, Madrid, 20 de octubre 2016.

C. Vélez, J. Galindo, A. Velasco y P. Corredera "Implementación y caracterización de un oscilador óptico en rubidio atómico para metrología de frecuencias", 2ª Feria de Otoño SINFOTON, Madrid, 20 de octubre 2016.

H. Álvarez "Papel preponderante del ROA en la calibración europea de los enlaces de tiempo entre laboratorios nacionales de tiempo y frecuencia", IV Jornadas sobre Seguridad, Defensa, Tecnologías Matemáticas y Computacionales, A Coruña, 3 y 4 de noviembre.

## 4.7.- Visitas

- Gral. Div. CIEA D. Moisés Fernández Álvaro, Subdirector General de Coordinación y Planes del INTA, 10 de mayo.
- D. Jose Manuel Bernabé, Director del Centro Español de Metrología, y D. Jose Ángel Robles, Director de la División Científica y de RR.II. de la misma institución, 17 de mayo.
- Comité de Organización del VI Congreso Español de Metrología: D. Conrado Rodriguez (Ayuntamiento de San Fernando), D. Daniel Gonzalez (Ayuntamiento de San Fernando), Dña. Dolores del Campo (CEM), D. Ignacio Cáceres (Junta de Andalucía), D. José Luis Borrego (ENAC), D. Avelino Brito (AENOR), D. Enrique García (VEIASA), D. Miguel Udaondo (AEC), D. Jesus de Vicente (ETSII - UPM), D. Manuel Alegría (CLM), D. Antonio Gutierrez (IK4 TEKNIKER), D. Javier Gascón (CONTAZARA) y D. Nicolás Arcauz (IBERDROLA), 13 de julio y 30 de septiembre.
- D. José Manuel Álvarez y D. Carlos Joaquín Hernando, representantes de la empresa European Satellite Services Provider (ESSP), 16 de noviembre.
- Dr. Emilio Prieto Esteban, Jefe del Área de Longitud del Centro Español de Metrología, 22 de noviembre.
- D. Juan Luis López Chico, Ingeniero de Proyectos de la Dirección de Sistemas de Información y D. José Francisco Jerez Fores, Jefe de Servicio del Área Técnica de CERES, de la FNMT-RCM, 14 de diciembre.

## 4.8.- Otros hechos de interés

<u>Alta de la Sección de Hora en el programa Sensores y sistemas de INstrumentación basados en tecnologías FOTÓNicas (SINFOTON).</u>

Se trata de un programa de actividades de I + D entre grupos de investigación de la Comunidad de Madrid, financiado por la Comunidad de Madrid y cofinanciado con

Fondos Estructurales. Dicho programa nace con el fin de desarrollar sistemas de instrumentación y sensores a partir de tecnologías fotónicas.

El consorcio está compuesto por diversos grupos de universidades públicas, del Consejo Superior de Investigaciones Científicas y de laboratorios de la Red de Laboratorios de la Comunidad de Madrid, y cuenta con un gran número de grupos asociados entre los que se encuentra el Observatorio.

La experiencia y líneas de investigación activas de los grupos participantes en diversos campos de interés relacionados con el desarrollo de patrones ópticos y de los sistemas de transferencia de tiempo basados en fibra óptica, van a facilitar la incipiente labor de I + D basada en tecnología óptica, que necesariamente debe acometer el Observatorio en los próximos años.

La Sección de Hora del Observatorio es grupo asociado a SINFOTON desde el mes de abril.

Situación del personal clave de la Sección

En junio, dos oficiales han finalizado con aprovechamiento sendos másteres en las universidades de Salamanca y Complutense de Madrid, y han pasado destinados a la Sección de Hora. Dichos másteres son: Máster en Física y Tecnología de los Láseres (USAL) y Máster sobre Nuevas Tecnologías Electrónicas y Fotónicas (UCM). Aunque la situación actual es beneficiosa para la Sección de Hora, la realidad es que en los próximos 5 años se prevé el cese por jubilación (o prejubilación en algún caso) de 4 ingenieros técnicos. No obstante lo anterior, se trabaja para que estas plazas se cubran lo más rápido posible.

Nuevo edificio para la Sección de Hora

En el mes de diciembre, el Instituto de Vivienda, Infraestructura y Equipamiento de la Defensa (INVIED) entrega a la Armada el nuevo edificio para la Sección de Hora, quedando pendiente el último paso de entrega al uso al Observatorio. No obstante lo anterior, antes de este último hito, es necesario acometer una serie pruebas y verificaciones del conjunto de instalaciones y servicios, quedando prevista la inauguración hacia el mes de septiembre de 2017.

El edificio se ha construido en el recinto del Observatorio, pero en una parcela aneja conocida como Finca San José y que está separada de la principal por una calle vecinal.

Paralelamente, desde la Sección se iniciaron los trámites para el acopio del mobiliario: bancadas de patrones de tiempo y frecuencia, bancos de laboratorio y taller, bastidores y mobiliario de oficina entre otros. La tramitación de los expedientes comienza en febrero, culminando en el mes de diciembre.

Al objeto de permitir la integración del nuevo edificio en el recinto militar del Observatorio y garantizar su seguridad, se está redactando un protocolo de intenciones entre el Ministerio de Defensa y el Ayuntamiento, para ceder al Observatorio un tramo de la calle Héroes de Simancas en la zona que discurre desde la parte alta del parque del Barrero, hasta las viviendas que dan a Pery Junquera.

Por su parte Defensa, habilitará una vía de paso alternativa para evitar así que quede suprimido un derecho de paso efectivo.

*Figura 4.16: Foto del nuevo edificio en construcción realizada durante el mes de noviembre.*

Divulgación en medios de comunicación

En el mes de febrero se publica en la revista "Universo" un reportaje titulado "En busca del tiempo perfecto", con la participación del CN Galindo, Jefe de la Sección, entre otros entrevistados. Universo es una revista de divulgación científica de Servimedia para el Servicio Bibliográfico de la ONCE, que se edita en audio y braille para personas ciegas.

El 6 de octubre se lleva a cabo una entrevista al Jefe de Sección, por parte de la productora audiovisual Polar Star Films, con sede en Barcelona, para un largometraje documental con título provisional "El tiempo es dinero", dirigido por la directora alemana Cosima Dannoritzer. "El tiempo es dinero" es una coproducción entre 10 televisiones europeas incluyendo Arte (Francia/Alemania), RTS + SRF (Suiza), RTV (Eslovenia), Servus TV (Austria), TVC + TVE (España), TVP (Polonia), Yes TV (Israel) e YLE (Finlandia), para el que se seguían negociando nuevos contratos con organizaciones de radio y televisión tan potentes como NHK, Japón.

El 29 de diciembre se efectúa una entrevista sobre el segundo intercalar para la sección "Futuro" del diario digital El Independiente. Dicha entrevista dio lugar a la noticia http://www.elindependiente.com/futuro/2016/12/31/segundo-intercalar-2016-nochevieja/ y al podcast con una versión extendida de la entrevista.

Otras actividades de carácter docente

A lo largo de 240 horas, hasta el mes de mayo, la alumna de la Universidad de Cádiz Marta Guitart Cordero lleva a cabo las prácticas curriculares correspondientes a la asignatura 40209047 PRÁCTICAS EXTERNAS II, de la titulación GRADO EN MATEMÁTICAS. Dirige las prácticas el Jefe de Sección, bajo el título "Detección de anomalías en enlaces de tiempo para comparación a distancia de relojes de precisión."

El día 22 de abril, el CN. Galindo pronuncia dos conferencias a los alumnos de la Especialidad Complementaria de Hidrografía para Oficiales y para Suboficiales, la primera de ellas relativa a Escalas de Tiempo, y la segunda versando sobre Osciladores

y Generadores: Caracterización de osciladores, Osciladores de Cuarzo, Resonadores y Patrones Ópticos. Cada una de ellas de una hora y quince minutos de duración.

Entre los días 25 de abril y 14 de mayo, se desarrolla la programación a distancia del Master en Metrología 2016 de la Universidad Politécnica de Madrid, Módulo de Especialización, submódulo M131 patrones nacionales de electricidad y tiempo y frecuencia. Imparte la parte correspondiente al tiempo y la frecuencia el CN. Galindo.

Durante los días 7 y 8 de junio, se impartieron charlas relacionadas con la metrología de tiempo y frecuencia al XXXII Curso de Geodesia del Ejército de Tierra. El día 7, el CC. Esteban se ocupó de dos sesiones tituladas “Generalidades: Osciladores y generadores” y “Sincronismo a partir de Receptores GPS”. El día 8, el CN. Galindo pronunció una charla sobre la Escala de tiempo UTC(ROA). Todas ellas de unos 55 minutos de duración.

# 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 establece la vigente organización del Real Instituto y Observatorio de la Armada, establece que el *Servicio de Biblioteca y Archivo* será el encargado de todo lo relacionado con el patrimonio histórico de la Institución, ya sea bibliográfico (Biblioteca), documental (Archivo) o científico (Colección de Instrumentos Antiguos).

## 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, cuando en 1798 el Observatorio de Marina fue trasladado a su nuevo emplazamiento en la Isla de León, en el edificio construido por el Marqués de Ureña ya se reservó una sala para ubicación de la Biblioteca.

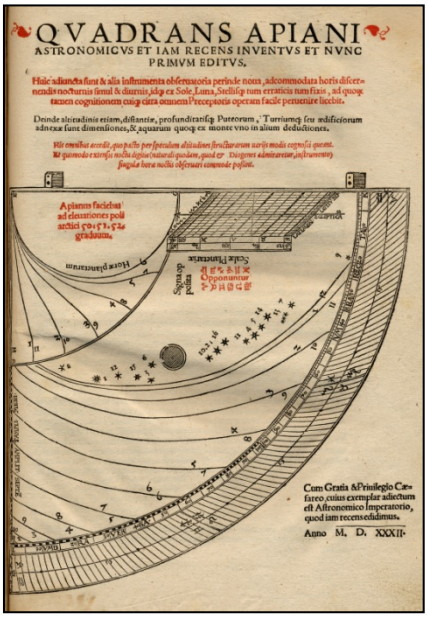


*Figura 5.1: Petrus Apianus, Quadrans Apiani astronomicus (1532)*

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 de un 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. En esa época, la relevancia de esta Biblioteca era ya de tal importancia que, cuando ese mismo año se organizan en Madrid la Biblioteca Central de Marina y el Museo Naval, el Observatorio tiene que ceder a estas nuevas instituciones más de tres mil volúmenes. A lo largo del siglo XX la expansión de la Biblioteca continuó a buen ritmo, hasta el punto de que sus dependencias ocupan hoy día la mayor parte del edificio principal del Observatorio. En la actualidad, sus más de 30.000 volúmenes, incluida la importante colección de publicaciones periódicas, 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.

La Biblioteca del Real Observatorio de la Armada contaba, a fines de 2016, con 30.079 volúmenes catalogados, incluido el fondo antiguo. A lo largo de este año, ingresaron 51 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 más que considerable de publicaciones periódicas de carácter científico que, con bastante regularidad, llegan a San Fernando, de unos treinta países de todo el mundo, gracias al intercambio con las publicaciones editadas por el Observatorio.

### 5.1.2. Colección de cartografía

La Biblioteca del Observatorio conserva además una interesante colección de material cartográfico, compuesta principalmente por cartografía náutica de las costas españolas de los siglos XVIII y XIX. Hace ya algunos años, la necesidad de preparar una nueva tirada del *Inventario de Mapas, Cartas y Planos* publicado en 1976, hizo pensar en la posibilidad de mejorar ese instrumento de trabajo procediendo a una verdadera catalogación de los mapas conservados. Gracias a los contratos del INEM gestionados por la entonces llamada *Subdirección General de Patrimonio Histórico-Artístico* del Ministerio de Defensa, el proceso de descripción catalográfica de la colección de cartas, mapas y planos del Observatorio finalizó durante el segundo semestre de 2001. El catálogo de la colección, fue publicado y puesto a disposición de los investigadores durante los primeros meses de 2002.

*Figura 5.2: Consulta de materiales cartográficos digitalizados*

Más adelante, la Colección de Cartografía fue completamente digitalizada, gracias a un proyecto de colaboración con el *Archivo Naval del Mediterráneo* 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 de 2 TB LaCie Ethernet Disk XP, 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). Durante el segundo semestre de 2011 se incorporaron a la colección 485 nuevos mapas catalogados por el personal contratado para el Archivo. Con estas nuevas incorporaciones, la colección de Cartografía del ROA pasó a estar formada por 3.968 unidades cartográficas, todas ellas catalogadas, aunque estas últimas incorporaciones no han podido ser incluidas hasta ahora en ningún proyecto de digitalización y están, por tanto, pendientes de digitalizar.

Una parte de la colección cartográfica digitalizada, formada por 720 hojas de la Carta del Cielo, está disponible para su consulta en la Biblioteca Virtual de Defensa, una herramienta en la que el Ministerio de Defensa pone a disposición de los usuarios de internet la colección digital de los magníficos fondos que se custodian en los archivos, las bibliotecas y los museos militares. El resto de las imágenes digitales de la colección cartográfica del ROA está a disposición de los investigadores en la sala de consulta del centro.

### 5.1.3. 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 se realizó el último trabajo de incorporación de fondos, 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. El resultado

de este trabajo fue la incorporación al Archivo de 342 cajas/legajos (cerca de 43 metros lineales de documentación).

*Figura 5.3: Sala VIII (Cálculos del Almanaque y Placas de la Carta del Cielo)*

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 en el ROA (mayo/junio), se han añadido al Archivo 104 nuevas cajas con documentación. Como consecuencia, 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.

### 5.1.4. 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, dentro de las colecciones patrimoniales de la Armada, a la Colección Museográfica del Real Observatorio de la Armada, integrada tanto por la Colección de Instrumentos Antiguos como por el resto de los bienes culturales del ROA dados de alta en el Sistema MILES como fondos patrimoniales.

*Figura 5.4: Calculadora electromecánica Marchant (Nº INV. ROA: 0346/PH)*

En relación con los fondos patrimoniales es importante destacar 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, estaba dirigido a la digitalización del patrimonio cultural de tres instituciones militares consideradas por el Ministerio como instituciones culturales: 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 del ROA. 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 la colección patrimonial, procediéndose a la digitalización de las 738 piezas que en ese momento estaban dadas de alta en el Sistema MILES como bienes del patrimonio histórico del ROA.

*Figura 5.5: Imagen del proceso de digitalización de instrumentos antiguos*

Además, durante las primeras semanas de 2016 finalizaron los trabajos relacionados con la digitalización de las matrices de grabado de la Carta del Cielo, 403 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.

A lo largo de 2016 se han incorporado a la colección museográfica del Observatorio 20 nuevas piezas de la Colección de Instrumentos Antiguos y 403 matrices de grabado en cobre pertenecientes al proyecto de la Carta del Cielo.

## 5.2. Consultas y préstamos

### 5.2.1. Instalaciones y servicios

Tradicionalmente, el principal servicio ofrecido por la Biblioteca 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 2016 se han efectuado un total de 660 préstamos internos a personal del Observatorio y 67 préstamos en sala a usuarios externos

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. Existen un total de 50 puestos de lectura repartidos en seis salas. Otras tres salas están dedicadas, además de al depósito de fondos, a la exposición de libros e instrumentos científicos antiguos. 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.

Durante 2016 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. La aplicación de gestión adquirida para implementar el Catálogo Colectivo de la RBD fue *AbsysNET*, siendo la Biblioteca del Real Instituto y Observatorio de la Armada una de las primeras en efectuar la exportación de sus bases de datos al nuevo sistema. La Armada está representada actualmente en la Red por 11 bibliotecas, que tienen como centro de referencia técnica a la Biblioteca del Observatorio, cuyo responsable, Francisco José González ejerce desde 2010 como *Director Técnico de la Subred Orgánica de las Bibliotecas de la Armada*.

*Figura 5.6: Sala de investigadores del Servicio de Biblioteca y Archivo*

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).

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 Educación, Cultura y Deporte, la Biblioteca del Real Instituto y Observatorio de la Armada continuó, durante 2016, 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 457 volúmenes de la Biblioteca del Observatorio. El trabajo de digitalización (más de 200.000 páginas) desarrollado en 2008, 2009, 2010 y 2011 por la empresa *Digibis*, a iniciativa de la *Subdirección General de Coordinación Bibliotecaria* del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, está interrumpido desde 2012 como consecuencia, sin duda, de los recortes presupuestarios que han afectado a todos los niveles de la Administración General del Estado.

### 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.

Desde hace algún tiempo, se viene elaborando un fichero de usuarios que ha permitido contabilizar, durante 2016, el uso de la Biblioteca por 9 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.

## 5.3. Otras actividades

### 5.3.1. Actividades docentes y de investigación

Durante 2016, 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 UCA*, 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.**

## 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 Marinos 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, en la página Web del Observatorio se han mantenido 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).

Las salas de la biblioteca han acogido exposiciones de libros y documentos preparadas con motivo de diversas visitas y reuniones científicas, como la presentación del Calendario Conmemorativo del 250 aniversario de la constitución del Ayuntamiento de San Fernando (24 de febrero), la visita de los responsables y profesores de los Centros Universitarios de la Defensa (4 de abril), la visita del Director del Centro Español de Metrología (9 de mayo), la reunión científica IEO-IHM-ROA (19 de mayo) o va reunión en el ROA del Máster de Arqueología Náutica y Subacuática de la UCA (16 de diciembre).

Durante el año 2016, el Observatorio cedió piezas de su patrimonio cultural a las siguientes exposiciones:

***Exposición "Las expediciones Malaspina: doscientos años de investigaciones oceánicas"*** *(Cádiz, Castillo de San Sebastián, junio 2015 / enero 2016)*

*Nº Inventario: 0061/PH*
*Nombre: Octante*
*Constructor: Spencer, Browning & Rust*
*Lugar y fecha: Londres, 1794*
*Descripción: Instrumento astronómico usado en navegación*

***Nº Inventario: 0213 / PH***
*Nombre: Cronómetro marino*
***Constructor: French***
***Lugar y fecha: Londres, [entre 1850 y 1858]***

*Nº Inventario: 0089/PH*
*Nombre: Anteojo acromático con montura ecuatorial*
*Constructor: Dollond*
*Lugar y fecha: Londres, 1789*

*Nº Inventario: 0123 / PH*
*Nombre: Heliómetro para anteojo acromático*
*Constructor: Dollond*

*Lugar y fecha: [Londres, 1789]*

*Nº Inventario: 0085/PH*
*Nombre: Cuarto de círculo*
*Constructor: Ramsden*
*Lugar y fecha: Londres, 1789*

*Figura 5.7: Imagen de la exposición "Las expediciones Malaspina"*

***Exposición "Dueños del mar, señores del mundo"*** *(Madrid, Museo Naval, noviembre 2015 / febrero 2016)*

*Nº Inventario: 0059/PH*
*Título: Teodolito astronómico*
*Autor: Repsold*
*Lugar y fecha: Hamburgo, 1861*

*Nº Inventario: 0103/PH*
*Título: Transportador de ángulos*
*Autor: Baleato*
*Lugar y fecha: Ferrol, finales del siglo XVIII*

*Nº Inventario: 0106/PH*
*Título: Compás de elipses*
*Autor: [Baleato]*
*Lugar y fecha: [Ferrol], finales del siglo XVIII*

*Nº Inventario: 0121/PH*
*Título: Nivel geodésico*
*Autor: Ertel*
*Lugar y fecha: Múnich, finales del siglo XIX*

*Nº Inventario: 0141/PH*
*Título: Transportador de ángulos*
*Autor: Troughton & Simms*
*Lugar y fecha: Londres, [1860]*

*Nº Inventario: 0150/PH*
*Título: Transportador de ángulos (Station pointer)*
*Autor: Troughton & Simms*
*Lugar y fecha: Londres, [anterior a 1882]*

*Nº Inventario: 00261/M*
*Título: Plano de la Bahía de Cádiz levantado en 1870*
*Autor: Comisión Hidrográfica de la Península*
*Lugar y fecha: Madrid : Dirección de Hidrografía, 1874*

*Nº Inventario: 01028/M*
*Título: Plano del puerto de Cavite*
*Autor: Comisión Hidrográfica de Filipinas*
*Fecha: Madrid : Dirección de Hidrografía, 1874*

*Nº Inventario: 01432/M*
*Título: Plano del puerto de Santiago de Cuba*
*Autor: Comisión Hidrográfica de las Antillas*
*Fecha: Madrid : Dirección de Hidrografía, 1883*

*Figura 5.8: Imagen de la exposición "Dueños del mar, señores del mundo"*

### 5.3.3. Comunicaciones y conferencias

Conferencia.
*Marinos astrónomos en el Cádiz del siglo XVIII: el Real Observatorio de Cádiz*
Universidad de Cádiz. Ciclo de conferencias Gran Regata 2016 (Cádiz, julio, 2016).

Conferencia.
*La navegación astronómica a través de la historia. El problema de la longitud*
VI Seminario "Navegación Astronómica".
Semana Naval de la Armada, Escuela de Guerra Naval (Madrid, septiembre, 2016).

Conferencia.
*Instrumentos náuticos. Evolución histórica*
VI Seminario "Navegación Astronómica".
Semana Naval de la Armada, Escuela de Guerra Naval (Madrid, septiembre, 2016).

Conferencia.
*La navegación astronómica a través de la historia. El problema de la longitud*
Museo Naval (Madrid, septiembre, 2016).

Conferencia.
*Instrumentos náuticos. Evolución histórica*
Museo Naval (Madrid, septiembre, 2016).

Conferencia.
*Métodos de navegación e instrumentos náuticos en la Edad Moderna (siglos XV-XVIII)*
Máster de Arqueología Náutica y Subacuática de la Universidad de Cádiz.
Real Observatorio de la Armada (San Fernando, diciembre, 2016).
Ponencia (2 horas lectivas).

### 5.3.4. Publicaciones

Monitoring the solar radius from the Royal Observatory of the Spanish Navy during the last quarter of millennium / J.M. Vaquero, M.C. Gallego, J.J. Ruiz-Lorenzo, T. López-Moratalla, V.M.S. Carrasco, A.J.P. Aparicio, F.J. González-González and E. Hernández-García
**Solar Physics** (Berlín), v. 219 (2016), nº 6, 1599-1612.
ISSN: 0038-0938

Monitoring the solar radius from the Royal Observatory of the Spanish Navy during the last quarter of millennium / J.M. Vaquero, M.C. Gallego, J.J. Ruiz-Lorenzo, T. López-Moratalla, V.M.S. Carrasco, A.J.P. Aparicio, F.J. González-González and E. Hernández-García
**Space Climate 6 4.-7.4.2016 Levi, Finnish Lapland Abstracts** (Levi, Finlandia) (2016), 110. (http://www.spaceclimate.fi/SC6/absbook.pdf)

## 5.4. Personal

### 5.4.1. Personal

Durante 2016, el personal asignado al Servicio de Biblioteca y Archivo fue el siguiente:

Francisco José González González (Técnico Superior de Bibliotecas), Director Técnico.
Francisco López Vico (Jefe de Negociado), Biblioteca y Archivo.
Mercedes Espada Bordes (Jefa de Negociado), Biblioteca y Archivo (hasta 31/10/2016).

### 5.4.2. Comisiones de servicio

T.S. Francisco José González.
Madrid, VI Seminario Navegación Astronómica (19/20 septiembre).

T.S. Francisco José González.
Madrid, Jornada Técnica de Bibliotecas (3 noviembre)

# 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 por un lado con la propia Enseñanza Naval Militar (Compañía Náutica de Guardia Marinas), y por otro lado con las primeras prácticas de la Astronomía Náutica en España (Observatorios Astronómicos). Lazo, este último, que estará llamado a perpetuarse. Su historia puede seguirse a través de la legislación de cada época. Si bien ha tenido discontinuidades, se puede decir que los Estudios Superiores en Ciencias, siempre han estado ligados al Observatorio, primero en Cádiz y más tarde (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 requieren 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) con una duración de dos años, 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, Master en Astronomía y Geofísica, 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 impartidos

A lo largo del año 2016, se han impartido los siguientes cursos:

- XXIX Curso de Estudios Superiores en Ciencias Físico-Matemáticas. (Ciclo Básico)

  Este curso, de dos años de duración, comenzó el 1 de septiembre de 2014 y finalizó el 14 de julio de 2016.

  Alumnos: TN. D. Manuel Ángel Sánchez Piedra.
  TN. D. Pedro Azorín Montesinos.

- XXX Curso de Estudios Superiores en Ciencias Físico-Matemáticas. (Ciclo Básico)

  Este curso, de dos años de duración, comenzó el 1 de septiembre de 2016 y finalizará el 13 de julio de 2018.

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

- XX Curso de Especialización Máster en Astronomía y Geofísica.

  Este curso, de dos años de duración, comienza el 1 de septiembre de 2014 y finalizó el 14 de julio de 2016, siendo desarrollado el segundo año en Universidades Españolas.

  Alumnos: TN. D. Héctor Álvarez Martínez.
  TN. Dña. María del Carmen Vélez López.
  TN. D. Roberto Cabieces Díaz.

Los cursos anteriores han sido impartidos por los siguientes profesores:

- CN. D. José Martín Dávila.
- CN. D. Teodoro López Moratalla.
- CN. D. Francisco J. Galindo Mendoza.
- CF. D. Antonio Pazos García.
- CF. D. Manuel Catalán Mogollón.
- CF. D. Francisco Montojo Salazar.
- CC. D. Héctor Esteban Pinillos.
- TN. D. Sergio Borrallo Tirado.
- TN. D. Lluis Canals Ros
- TN. D. José Ángel Cibeira Urtiaga.
- TN. D. Héctor Álvarez Martínez.
- TN. Dña. María del Carmen Vélez López.
- TN. D. Roberto Cabieces Díaz.
- SB (ERS) D. Luis Batanero Guerrero.
- SB. (ADS-PRG) D. Rafael Márquez García.
- Técn. Sup. Dr. Francisco José González González.

# A. Actividad Científica

## A.1. Publicaciones

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

A lo largo del año 2016, se realizaron las siguientes publicaciones oficiales:

- Almanaque Náutico 2017, con suplemento para la navegación aérea.
- Efemérides Astronómicas 2017.
- Anales 2015. Observaciones Meteorológicas, Sísmicas y Geomagnéticas.
- Investigaciones Científicas desarrolladas por el Real Instituto y Observatorio de la Armada en el año 2015.
- Boletín ROA 01/2016. Beca Fundación Alvargonzález. Prototipo hardware de bajo coste para la alerta temprana sísmica “on-site”. Don Ángel Vera Herrera.

### A.1.2. Artículos en revistas con revisor

- Núñez J., Núñez A., Montojo F. J., Condominas M., *Improving Space Debris Detection in GEO ring Using Image Deconvolution*, Advances in Space Research, Vol. 56, n. 2, Pages 218–228. DOI 10.1016/j.asr.2015.04.006(2015).
- Título: Statiscal analysis of the oceanic magnetic anomaly data..
  Revista: Geophysical Journal International.
  Autores: A. de Santis, F.J. Pavón-Carrasco, F. Ferraccioli, M. Catalán, T. Ishihara.

### A.1.3. Artículos en revistas sin revisor

- Título: Radiografía de un margen continental utilizando campos potenciales y espesor de sedimentos.
  Revista: Boletín Geológico y Minero. 126, 515-532, 2015. .
  Autores: M. Catalán, Y.M. Martos, J. Martín-Davila, A. Muñoz, A. Carbó, M. Druet..
- Título: Space Debris tracking at San Fernando Laser station.
  Revista: Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica.
  Autores: M. Catalán, M.Quijano, A. Pazos, J. Martín-Davila, L.M. Cortina.
- Título: Separata explicativa de la “Zona Económica Exclusiva Española” Mar Balear y Golfo de Valencia.
  Edita: Real Instituto y Observatorio de la Armada.
  Autores: José Martín Davila, M. Catalán, M. larrán, IHM (Personal de la Sección de Hidrografía), A. Carbó, A. Muñoz, J.L. Granja, M. Gómez Ballesteros, J. Acosta, O. Tello, A. Maestro, E. Llave.

- Título: CD de la *Zona Económica Exclusiva Española* mar Balear y Golfo de Valencia.

- Numeración Hoja: 413, 414, 415, 418, 419 y 420.
  Escala: 1: 200.000
  Temática: Anomalías Geomagnéticas.
  Edita: Real Instituto y Observatorio de la Armada.
  Publica: Ministerio de Defensa - Secretaría Gral. Técnica.

- Numeración Hoja: 400 B
  Escala: 1: 500.000
  Temática: Mapa general de Anomalías Geomagnéticas del Mar Balear y Golfo de Valencia.
  Edita: Real Instituto y Observatorio de la Armada.
  Publica: Ministerio de Defensa - Secretaría Gral. Técnica.

- Numeración Hoja: 413, 414, 415, 418, 419 y 420.
  Escala: 1: 200.000
  Temática: Anomalías Gravimétricas de Aire Libre.
  Edita: Real Instituto y Observatorio de la Armada.
  Publica: Ministerio de Defensa - Secretaría Gral. Técnica.

- Numeración Hoja: 100 A
  Escala: 1: 500.000
  Temática: Mapa general de Anomalías Gravimétricas de Aire Libre del Mar Balear y Golfo de Valencia.
  Edita: Real Instituto y Observatorio de la Armada.
  Publica: Ministerio de Defensa - Secretaría Gral. Técnica

- Numeración Hoja: 413, 414, 415, 418, 419 y 420.
  Escala: 1: 200.000
  Temática: Anomalías Gravimétricas de Bouguer.
  Edita: Real Instituto y Observatorio de la Armada.
  Publica: Ministerio de Defensa - Secretaría Gral. Técnica.

- Numeración Hoja: 100 A.
  Escala: 1: 500.000
  Temática: Mapa general de Anomalías Gravimétricas de Bouguer del Mar Balear y Golfo de Valencia.
  Edita: Real Instituto y Observatorio de la Armada.
  Publica: Ministerio de Defensa - Secretaría Gral. Técnica.

- Título: Subduction and volcanism in the Iberia-North Africa collision zone from tomographic images of the upper mantle.
  Revista: Tectonophysics, Vol. 663, pp. 238-249.
  Autores: A. Villaseñor, S. Chevrot, M. Harnafi, J. Gallart, A. Pazos, I. Serrano, D. Córdoba, J.A. Pulgar, P. Ibarra.

- Título: Modeling the Crust and Upper Mantle in Northern Beata Ridge (CARIBE NORTE project). .
  Revista: Pure and Applied Geophysics 10/2015; doi10.1007/s00024-015-1180.10, 10/2015.

Autores: D. Núñez, D. Córdoba, M.O. Cotilla, A. Pazos.

- Título: A Regional Approach for Earthquake Early Warning in South West Iberia: A Feasibility Study.
  Revista: Bulletin of the Seismological Society of America. 105-2A, pp. 560-567. 04/2015.
  Autores: A. Pazos, N. Romeu, L. Lozano, Y.Colom, M. López, X. Goula, J.A. jara, J.V. Cantavella, A. Zollo, W. Hanka, F. Carrilho.

- Título: Crustal structure of the Betic-Rif system, western Mediterranean, from local earthquake tomography.
  Revista: Tectonophysics.643, pp.94-105. 07/03/2015.
  Doi:10.1016/j.tecto.2014.12.015.
  Autores: L. El Moudnib, A. Villaseñor, M. Harnafi, J. Gallart, A. Pazos, I. Serrano, D. Córdoba, J.A. Pulgar, P. Ibarra, M.M. Himmi, M. Chourak.

- Título: Crustal thickness and images of the lithospheric discontinuities in the Gibraltar arc and surrounding areas.
  Revista: Jeophysical Journal International. 203-3, pp. 1804-1820. 2015. DOI: 10.1093/gji/ggv390.
  Autores: F. de Lis Mancilla, D. Stich, J. Morales, R. Martín, J. Díaz, A. Pazos, D. Córdoba, J.A. Pulg.

- Título: Automatización del estudio del ruido sísmico registrado en una estación de banda ancha mediante la utilización del software Matlab.
  Revista: Boletín ROA, 3/2015, pp. 33-41.
  Autores: J.M. Muñoz, A. Pazos.

- Título: Software autónomo basado en el programa autopick de SeisComP para la alerta sísmica temprana mediante análisis de ondas P.
  Revista: Boletín ROA 3/2015 pp. 5-14.
  Autores: A. Vera, D.J. Rosa, J. Alcántara, J. Relinque, A. Pazos, C. Rioja, A. Morgado.

- Título: *Alertes-SC3*: Un prototipo de EEWS implementado en SeisComp3. Aplicación en el Sur-Oeste de la Península Ibérica.
  Revista: Boletín ROA 3/2015, pp. 15-22.
  Autores: M. López, A. Pazos, J. Martin, J. Gallego, C. Rioja, A. Morgado.

- Título: *SMOS as seen by the Telescope Fabra-ROA Montsec*.
  Revista: ESA, comunicación interna.
  Autores: F. J. Montojo, J. Nuñez, O. Fors, M. Castillo.

- Título: *Inasaridze R. New subsystem of the ISON optical network to improve the conjunction analysis.*
  Revista: Proceedings of the 66th International Astronautical Congress.
  Autores: I. Molotov, V. Zolotov, T. Fakhrutdinov, V. Rumyantsev, T. Schildknecht, A. Matkin, T. Namkhai, A. Vikhristenko, F. J. Montojo, T. Kokina, R. Zalles, R. Inasaridze.

- Título: La cartografía náutica española en el siglo XIX: La Dirección de Hidrorafía y las comisiones hidrográficas (1797-1908).
  Edita: Real Instituto y Observatorio de la Armada.

Autores: José Martín Davila, M. Catalán, M. larrán, IHM (Personal de la Sección de Hidrografía), A. Carbó, A. Muñoz, J.L. Granja, M. Gómez Ballesteros, J. Acosta, O. Tello, A. Maestro, E. Llave.

- Montojo F. J., Núñez J., Fors O., Castillo, M., *SMOS as seen by the Telescope Fabra-ROA Montsec*, ESA, comunicación interna.

- Molotov, Igor; Schildknecht, Thomas; Zalles, Rodolfo; Rumyantsev, Vasilij; Voropaev, Viktor; Zolotov, Vladimir; Kokina, Tatiana; Montojo, Francisco Javier; Namkhai, Tungalag. Results of monitoring of the high orbits with ISON optical network**.** 41st COSPAR Scientific Assembly, 30 July-7 August 2016, Istanbul, Turkey.

- Molotov I., Schildknecht T., Montojo F.J., Rumyantsev V., Biryukov V., Zolotov V., Fakhrutdinova T., Zakhvatkin M., Voropaev V., Borovin G., Elenin L., Chestnov D., Kokina T., Namkhai T., Zalles R., Inasaridze R., Vikhristenko A., Buyko S., Smirnov A., Kornienko G., Erofeeva A., Wolf A., Kaplinskiy A., Rusakov O., Mokhnatkin A. Increasing of new GEO/HEO space debris discovery rate with ISON optical network.Proceedings of the 67th International Astronautical Congress (IAC), Guadalajara, Mexico, 26-30 September, 2016, IAC-16,A6,1,1,x33453

## A.2. Comunicaciones en congresos

### A.2.1. Nacionales

- Autores: M. Catalán, M. Quijano, L.M. Cortina, A. Pazos, J. Martín-Davila. .
  Título: *Measuring ranges to space debris from San Fernando laser ranging station.*
  Congreso: 4th workshop on robotic autonomous observatories.
  Lugar: Torremolinos, del 28 de septiembre al 2 de octubre de 2015.

- Autores: A. Pazos, J.M. Davila, E. Buforn, R. Cabieces, and ROA seismic group.
  Título: *The ROA and UCM OBS pool (FORMAR Network) and other OBS activities.*
  Congreso: 6th International Workshop on Marine Technology – Martech Workshop 2015.
  Lugar: Cartagena, del 15 al 17 de septiembre de 2015.

- Autores: A. Pazos, M. López de Mesa, C. Rioja, J.M. Davila, A. Morgado, J. Gallego, E. Buforn, A. Cibeira, M. Carranza, R. Cabieces, L. lozano, J.V. Cantavella, A. Strollo, F. Carrilho, W. Hanka.. .
  Título: *Sistema de Alerta Sismica Temprana ALERTES-SC3 desarrollado en el ROA.*
  Congreso: JORNADAS TÉCNICAS. El riesgo de maremotos en la Península Ibérica a la luz de la catástrofe del 1 de noviembre de 1755.
  Lugar: Cádiz, del 29 al 30 de octubre de 2015..

- Autores: M. Catalán. .
  Título: *El Ártico y la Antártida, estrategia científica en los lugares más fríos y hostiles de nuestro planeta.*

Congreso: III Jornadas sobre seguridad, Defensa, Tecnologías Matemáticas y Computacionales.
Lugar: La Coruña. Del 12 al 13 de noviembre de 2015.

### A.2.2. Internacionales

- Autores: A. Carbó-Gorosabel, J.L. Granja, A. Rodríguez, L. Gómez de la Peña, A. Muñoz-Martín, M. Gómez, J.M. Gorosabel, S. Espinosa, A. Pazos, M. Catalán, H.Y. Rodríguez, J.L. Nuñez, S. Muñoz, U. S. Ten, J. Quijano, P. Llanes, J. Martín, and M. Druet.
  Título: New observations of the active deformation along the oblique collision/subduction boundary zone between the North American and Caribbean plates (northern Hispaniola offshore margin).
  Congreso: EGU General Assembly 2015.
  Lugar: Viena (Austria), 12 al 17 de Abril 2015.

- Autores: J. Dyment, V. Lesur, Y. Choi, M. Hamoudi, E. Trébault, and M. Catalán.
  Título: *Release of the World Digital Magnetic Anomaly Map version 2 (WDMAM v2).*
  Congreso: EGU General Assembly 2015.
  Lugar: Viena (Austria), 12 al 17 de Abril 2015.

- Autores: A. Cibeira, J. Gárate, L. Mendoza.
  Título: *ROA´s Rel Time GNSS Network and its viability in Alertes-Rim system*.
  Congreso: European Geophysical Unnion General Assembly.
  Lugar: Viena (Austria), 12 al 17 de Abril 2015.

- Autores: A. Carbó-Gorosabel, J. L. Granja, A. Rodríguez, L. Gómez de la Peña, A. Muñoz-Martín, M. Gómez, J.M. Gorosabel, S. Espinosa, A. Pazos, M. Catalán, H.Y. Rodríguez, J.L. Nuñez, S. Muñoz, U.S. ten Brink, J. Quijano, P. Llanes, J. M. Davila, M. Druet.
  Título: *New observations of the active deformation along the oblique collision/subduction boundary zone between the North American and Caribbean plates (northern Hispaniola offshore margin).*
  Congreso: European Geophysical Unnion General Assembly.
  Lugar: Viena (Austria), 12 al 17 de Abril 2015.

- Autores: A. Pazos, N. Romeu, L. Lozano, Y. Colom, M. López Mesa, X. Goula, J. A. Jara, J.V. Cantavella, J. M. Davila, A. Zollo, W. Hanka, F. Carrilho, M. Carranza, E. Buforn and A. Cibeira.
  Título: *ALERTES EEWS for South Iberia: feasibility and prototype.*
  Congreso: European Geophysical Unnion General Assembly.
  Lugar: Viena (Austria) del 12 al 17 de abril de 2015.

- Autores: M. Catalán, Y. Martos, J.Galindo-Zaldivar.
  Título: *Curie isotherm map of Scotia arc from near Surface magnetic anomaly data.*
  Congreso: IUGG 26th General Assembly 2015.
  Lugar: Praga (República Checa), 22 de junio al 2 de Julio 2015.

- Autores: A. Pazos, E. Buforn, J.M. Davila, A. Udías, W. Hanka, A. Strollo, M. Mattesini, M. Benzzeghoud, M. Harnafi, A. Cibeira, R. Cabieces, J. Prian, J. Quijano, S. Crespillo, B. Caldeira, D. El Ouai, and ROA seismic group.

Título: *The seismic broad band Western Mediterranean network and other instrumentation in the Western Mediterranean region.*
Congreso: 26th General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG).
Lugar: Praga (República Checa), del 22 de junio al 6 de julio de 2015.

- Autores: T. Ishihara, M. Catalán, M. Nakanishi.
  Título: *Compilation and leveling of a new global marine magnetic anomaly data set.*
  Congreso: IUGG 26th General Assembly 2015.
  Lugar: Praga (República Checa), 22 de junio al 2 de Julio 2015.

- Autores: M.Catalán, E. Rojo, Y. Martos.
  Título: *Using a ship three component magnetometer (SCTM) to improve our knowledge of magnetic anomalies of the Southern ocean.*
  Congreso: IUGG 26th General Assembly 2015.
  Lugar: Praga (República Checa) 22 junio al 2 de julio 2015.

- Autores: A. Maldonado, M. Catalán, J. Galindo-Zaldívar, Y.M. Martos, A. A. Schreider.
  Título: *Eocene organized oceanic spreading during the initial development of the southwestern Scotia Sea (Antarctica).*
  Congreso: XII International Symposium on Antarctic Earth Science-Goa.
  Lugar: India, 13 al 17 de Julio 2015.

- Autores: A. Pazos, J.M. Davila, E. Buforn, C. Rioja, M. Benzzeghoud, M. Harnafi, W. Hanka, M. López de Mesa, A. Morgado, A. Strollo, D. El Ouadi, J. Saul, M. Mattesini, J. Gallego, B. Caldeira, A. Cibeira, R. Cabieces, and ROA Seismic group.
  Título: *The WM Network, an example of regional collaboration, and the ALERTES-SC3 EEWS prototype.*
  Congreso: The XXXVI International Workshop on Seismicity and Earthquake Engineering in the Extended Mediterranean Region.
  Lugar: Ravenna (Italia), 26 al 29 de octubre 2015.

- Autores: M. Catalán, M. Quijano, L.M. Cortina, A. Pazos, J. Martín-Davila.
  Título: *Measuring ranges to space debris from San Fernando laser ranging station.*
  Congreso: 2015 ILRS Technical Workshop.
  Lugar: Matera (Italia), 26 al 30 de octubre 2015.

- Autores: A. Pazos, M. López de Mesa, J. Gallego, C. Rioja, J.M. Davila, A. Morgado, W. Hanka, J. Saul, A. Strollo, A. Vera, A. Cibeira, R. Cabieces, and ROA Seismic group.
  Título: *A prototype of an EEWS for south Iberia: ALERT-SC3..*
  Congreso: Earthquake and induced multi-risk early warning and rapid response (ECGS workshop 2015).
  Lugar: Luxemburgo, del 18 al 20 de noviembre de 2015.

- Autores: L. Mendoza, A. Pazos, M. Becker.
  Título: *GPS capabilities for Tsunami Early-Warning: Expected Vertical Load in Coastal GPS receivers due to a Tsunami like the 1775 Lisbon Tsunami.*

Congreso: Earthquake and induced multi-risk early warning and rapid response (ECGS workshop 2015).
Lugar: Luxemburgo, del 18 al 20 de noviembre de 2015.

- Autores: Y. Choi, V. Lesur, J. Dyment, M. Hamoudi, E. Theabult, M. Catalán, WDMAM Task Force, WDMAM evaluators and WDMAM data contributors.
  Título: *World Digital Magnetic Anomaly Map version 2 (WDMAM v.2) – released for research and education.*
  Congreso: AGU Fall meeting.
  Lugar: San Francisco (USA) del 14 al 18 de diciembre de 2015.

## A.3. Participación en comités y reuniones

### A.3.1. Nacionales

- Del 17 al 19 de enero, el CN. José Martin Davila se traslada a Madrid, para asistir a la reunión de la Comisión de Seguimiento del convenio MINISDEF con FNMT-RCM (Fábrica Nacional de Moneda y Timbre –Real Casa Moneda) y a la reunión del proyecto de investigación "Alertes-RIM".
- Del 18 al 19 de enero, el CN. Francisco J. Galindo Mendoza viaja a Madrid para particpar en la reunión de la Comisión de Seguimiento del convenio MINISDEF con FNMT-RCM.
- Del 24 al 25 de enero, el TN. Juan M. González Sánchez viaja a Madrid para asistir a la reunión del grupo de trabajo PRS Defensa.
- Del 24 al 27 de enero, el CN. José Martín Davila viaja a Madrid para asistir a la reunión del proyecto Alertes RIM, y a la reunión en la Universidad Complutense de Madrid.
- Del 3 al 4 de febrero, el CF. Manuel Catalán Morollón acude en Madrid a la reunión de la Fundación Española de Ciencia y Tecnología (FECYT).
- Del 9 al 10 de febrero, los CC.FF. Manuel Catalán Morollon y Francisco Montojo Salazar asisten en Madrid a una reunión del programa Space Surveillance and Tracking (SST).
- Del 10 al 12 de febrero, el CN. José Martin Dávila y el CF. Antonio A. Pazos García asisten en Barcelona a la reunión del proyecto TopoIberia-Iberray.
- El 15 de febrero el CN. José Martin Davila acude en Sevilla a la reunión de la Fundación Descubre.
- Del 17 al 19 de febrero, el CN. José Martin Davila viaja a Madrid para participar en la reunión EPOS (European Plate Observing System).
- Del 17 al 21 de febrero, el CF. Antonio A. Pazos García se traslada a Madrid para participar en la reunión EPOS.
- Del 24 al 25 de febrero, el CN. Francisco J. Galindo Mendoza participa en Madrid en la reunión del Subcomité Técnico de calibración número 2 de la ENAC (Entidad Nacional de Acreditación).
- Del 24 al 25 de febrero, el CF. Antonio Pazos García acude en Madrid a la reunión de la Comisión Técnica de alerta de tsunamis.

- Del 2 al 3 de marzo, los CC.FF. Manuel Catalán Morollon y Francisco J. Montojo Salazar asisten en Madrid a la reunión del programa Space Surveillance and Tracking (SST).
- El 3 de marzo, el CN. Francisco J. Galindo Mendoza viaja a Madrid para participar en la reunión de la comisión de laboratorios asociados al CEM (Centro Español de Metrología).
- Del 30 de marzo al 1 de abril, el CN. José Martin Davila asiste en Madrid a la reunión Topoiberia-Iberarray.
- Del 11 al 12 de abril, el CF. Manuel Catalán Morollón asiste en Madrid a la reunión de la Fundación Española de Ciencia y Tecnología (FECYT).
- Del 26 al 29 de mayo, el CN. José Martin Davila acude a la reunión Iberarray celebrada en Madrid.
- Del 21 al 22 de abril, el TN. Juan M. González Sánchez acude en Madrid a la reunión del grupo de trabajo interministerial GNSS.
- Del 26 al 28 de noviembre, el CN. Francisco J. Galindo Mendoza asiste en Madrid a la reunión de la comisión de laboratorios asociados al CEM.
- Del 4 al 5 de mayo, el CF. Manuel Catalán Morollón asiste en Madrid a la reunión del grupo de trabajo de cartografía marina.
- D4el 26 al 29 de mayo, el CN. José Martín Davila acude en Barcelona a la reunión Iberarray.
- Del 8 al 10 de junio, el TN. Juan M. González Sánchez viaja a Madrid para asistir a la reunión grupo trabajo PRS Defensa.
- Del 13 al 14 de junio, el TN. Lluis Canals Ros acude en Madrid a la reunión del proyecto de exploración y vigilancia espacial con el telescopio TFRM.
- Del 13 al 15 de junio, el CF. Antonio Pazos García y el CF. Francisco J. Montojo Salazar asisten en Madrid a la reunión convocada por el MINECO.
- Del 15 al 19 de junio, el CN José Martín Davila participa en la reunión anual del comité de dirección del convenio RACAB-ROA, celebrada en Barcelona.
- Del 17 al 18 de junio el CF. Francisco J. Montojo Salazar asiste en Barcelona a la reunión del Comité de Dirección del TFRM (Telescopio Fabra-Roa Montsec).
- Del 23 al 26 de junio el CN. Teodoro López Moratalla acude en Granada a la reunión de la Fundación Descubre.
- El 6 y 7 de julio, el CN Francisco Javier Galindo Mendoza acude en Madrid a la reunión de los laboratorio asociados al CEM.
- Del 18 al 19 de julio, el CF. Manuel Catalán Morollón participa en Madrid en la reunión de la Fundación Española de Ciencia y Tecnología (FECYT).
- Del 8 al 10 de septiembre, el CN. José Martín Davila asiste en Madrid a la reunión de la Universidad Complutense de Madrid, asimismo realiza gestiones en el Cuartel General de la Armada relacionadas con actividades en el ROA.
- Del 20 al 21 de septiembre, el CF. Manuel Catalán Morollón acude en Madrid a la reunión del tribunal de premios García Siñeriz.
- Del 25 al 26 de octubre, el CF. Antonio Pazos García asiste en Madrid a la reunión del proyecto del Alertes-RIM.
- Del 25 al 26 de octubre, el CF. Manuel Catalán Morollón acude a una reunión de la Fundación Española de Ciencia y Tecnología (FECYT).

- Del 25 al 30 de octubre, el CN. José Martín Davila asiste en Madrid a la reunión del proyecto Alertes-RIM. Posteriormente se traslada a Barcelona para participar al Workshop Martech.
- Del 2 al 3 de noviembre, El CF. Antonio A. Pazos García, participa Madrid en la reunión de la Comisión Técnica sobre riesgos de Tsunamis.
- Del 6 al 8 de noviembre, el CF. Antonio A. Pazos García asiste en Oviedo a la reunión del proyecto Topoiberia-Iberarray.
- Del 6 al 9 de noviembre, el CN. José Martin Davila acude en Oviedo a la reunión del proyecto Topoiberia-Iberarray.
- Del 15 al 16 de noviembre, el CN. Francisco J. Galindo Mendoza asiste en Madrid a la reunión de la comisión de laboratorios asociados al CEM.
- Del 16 al 17 de noviembre, el CF. Manuel Catalán Morollón acude en Madrid a una reunión con objeto de participar en el grupo de trabajo de cartografía marina.
- Del 16 al 18 de noviembre, el CF. Francisco J. Montojo Salazar asiste en San Javier (Murcia) para presentar un comunicado sobre sus actividades en SST.
- Del 29 al 30 de noviembre, el CF. Antonio A. Pazos García acude en Madrid a la reunión del proyecto Alertes-RIM.
- Del 29 de noviembre al 1 de diciembre, el CN. José Martin Davila asiste en Madrid a la reunión del proyecto Alertes-RIM.
- El 1 de diciembre, el CF. Antonio A. Pazos García acude en Madrid a la reunión del proyecto Alertes-RIM.
- Del 1 al 2 de diciembre, el TN. Juan M. González Sánchez viaja a Madrid para asistir a la reunión grupo trabajo PRS Defensa.

### A.3.2. Internacionales

- Del 24 al 30 de enero, el CN. Francisco J. Galindo Mendoza se traslada a Monterrey (EEUU) a las reuniones de Responsables de Laboratorios Nacionales de Tiempo y Frecuencia a nivel nacional.
- Del 15 al 18 de febrero, el TN. Juan M. González Sánchez viaja a Bruselas (Bélgica) para asistir a la reunión del programa Galileo.
- Del 29 de febrero al 3 de marzo, el CC. Héctor Esteban Pinillos asiste en Espoo (Finlandia) a la reunión del Comité Técnico de Tiempo y Frecuencia (TC-TF) de la Asociación Metrológica Europea (EURAMET).
- Del 21 al 23 de marzo, el TN. Juan M. González Sánchez se traslada a Paris (Francia) para asistir a la reunión de los representantes del Grupo de trabajo del programa Galileo.
- Del 15 al 18 de julio, el CF. Manuel Catalán Morollón viaja a Alhucemas (Marruecos) para asistir a la reunión de trabajo de la campaña INCRISIS.
- Del 5 al 7 de diciembre, el TN. Juan M. González Sánchez asiste en Bruselas a la reunión de seguimiento del servicio SPMS (Service Performance Monitoring Support).

## A.4. Campañas, Calibraciones y Mantenimientos

- Del 11 al 12 de febrero, el CF. Antonio A. Pazos Garcia viaja a Mahón para realizar el mantenimiento y reparación de la estación sísmica de Mahón.
- Del 24 de febrero al 3 de marzo, el CF. Javier Montojo Salazar, el TN. Lluis Canals Ros y el ITA Ricardo Lopez Morcillo viajan a Lérida para efectuar el mantenimiento y mejoras en el sistema de control del telescopio FABRA-ROA, instalado en el observatorio astronómico del Montsec.
- El 19 de marzo, el TM Lab. Jesus Quijano Junquera y el TS Lab. José A. Peña García efectúan el mantenimiento de la estación sísmica de Tarifa.
- El 9 de abril, el TS Lab. José A. Peña Garcia y el TM Lab. Jesus Quijano Junquera llevan a cabo el mantenimiento y la reparación de la estación GPS Loja, instalada en Granada.
- El 14 de abril, el TN. Nicolás Calvo-Fernández Vicente y el TS Lab. Francisco J. Gallego Carrasco realizan el mantenimiento de las estaciones sísmicas y GPS de Melilla y Peñones.
- Del 14 al 16 de abril, el TN. Nicolás Calvo-Fernández Vicente, el TM Lab. Jesus Quijano Junquera, el TS Lab. Antonio Peña Garcia y el TS Lab. Francisco J. Gallego Carrasco efectúan el mantenimiento de las estaciones sísmicas y GPS de Melilla y Peñones, así como la preparación de un nuevo emplazamiento.
- Del 5 al 7 de mayo, el TN Ángel Cibeira Urtiaga y el TM Lab. Jesus Quijano Junquera llevan a cabo la reparación y el mantenimiento de la estación GPS el Maillo en Salamanca.
- El 14 de mayo, el TM Lab. Jesus Quijano Junquera y el TS Lab. José A. Peña Garcia efectúan la reparación y mantenimiento de las estaciones GPS y sísmica de Aljibe en Alcalá de los Gazules.
- Del 18 al 20 de mayo, el CF. Antonio A. Pazos Garcia realiza la recogida del cable submarino del OBS Alboran.
- El 19 de mayo, el TN. José A. Cibeira Urtiaga viaja a Melilla para efectuar el mantenimiento de las estaciones sísmicas y GPS Melilla.
- Del 19 al 20 de mayo, el TM Lab. Jesus Quijano Junquera y el TS Lab. José A. peña Garcia llevan a cabo el mantenimiento y volcado de datos de las estaciones sísmicas y GPS Melilla.
- Del 25 al 29 de mayo, el CF. Antonio A. Pazos Garcia viaja a Marrakech (Marruecos) para instalar comunicaciones VSAT en la estación sísmica de Tiouine.
- El 26 de mayo, el TS Lab. Guillermo Muñoz-Delgado Serrano y el TS Lab. José A. Peña García realizan el mantenimiento de la estación GPS y estación sísmica de Lijar.
- Del 2 al 3 de junio, el TM Lab. Jesus Quijano Junquera y el TS Lab. José A. Peña Garcia realizan la instalación de la nueva instalación sísmica Arenosillo instalada en Huelva.
- El 1 de junio, el CF. Manuel Catalán Morollon y el TN. Roberto Cabieces Díaz embarcan en el BIO “Hespérides” para participar en la campaña ZEEE-15, desembarcando el 16 de junio.

- El 16 de junio, el TM Lab. Jesus Quijano Junquera y el ITA Manuel Larran Román embarcan en el BIO "Hespérides" para participar en la campaña ZEEE-15, desembarcando el 28 de junio.
- El 16 se septiembre, el TS Lab. Guillermo Muñoz-Delgado Serrano y el TS Lab. José A. Peña Garcia efectúan la reinstalación de la estación sísmica de Tarifa.
- Del 20 al 23 de octubre, el CF. Antonio A. Pazos García, el TM Lab. Jesus Quijano Junquera y el TS Lab. José A. Peña Garcia viajan a Melilla para llevar a cabo el cambio de emplazamiento, de las estaciones sísmicas y GPS de Melilla e Islas Chafarinas.
- El 1 de diciembre, el TS Lab. Guillermo Muñoz-Delgado Serrano y el TS Lab. José A. Peña Garcia realizan la reparación y mantenimiento de la estación sísmica de Lijar.
- El 15 de diciembre, el SG1 Manuel Lavilla Lobato y el TS Lab. José A. Peña Garcia efectúan el mantenimiento de la estación sísmica de Tarifa.

## A.5. Estancias de Trabajo

- Del 20 al 21 de enero el CF. Manuel Catalán Morollón y el CF. Francisco J. Montojo Salazar participan en las jornadas Minisdef H2020 celebradas en Madrid.
- Del 23 al 30 de enero, el TN. Ángel Cibeira Urtiaga viaja a Berna (Suiza), para participar en el Meeting Bernese sobre procesado y análisis datos GNSS.
- Del 25 al 27 de enero, el CF. Francisco J. Montojo Salazar participa en Madrid en el Workshop SCCOP y a la reunión de seguimiento del proyecto TBT.
- El 28 de marzo, el CN. José Martin Davila viaja a Sevilla con motivo de la presentación del Plan Investigación, Desarrollo e Innovación de la Junta de Andalucía.
- Del 4 al 8 de abril, el CC Héctor Esteban Pinillos y el TN Juan Manuel González Sánchez, asisten en York (Reino Unido) al Foro Europeo Tiempo y Frecuencia.
- Del 17 al 20 de abril, el CF. Manuel Catalán Morollón participa en la asamblea anual de la Unión Europea de Geociencias (EGU) celebrada en Viena (Austria).
- Del 18 al 24 de abril, el CN José Martín Davila, asiste en Viena (Austria) a la asamblea anual de la Unión Europea de Geociencias (EGU).
- Del 28 al 29 de abril, el CN. José Martín Davila viaja a Madrid, para impartir una conferencia en el Curso sobre investigación de fondos oceánicos y sus aplicaciones en seguridad y defensa. Asimismo asiste a la reunión del proyecto Alertes.
- Del 10 al 13 de mayo, el CF. Francisco J. Montojo Salazar realiza una visita de trabajo al Observatorio de Deimos (DESS), instalado cerca de Puertollano, como parte del equipo de trabajo del Proyecto Simulación de sistemas espaciales complejos de la UPM de Madrid.
- El 6 de junio, el CN José Martín Davila y el CF Antonio A. Pazos García, viajan a Tarifa para asistir al acto sobre los Proyectos de enlace fijo en el Estrecho de Gibraltar.

- Del 9 al 11 de junio, el CN José Martín Davila, acude a Palma de Mallorca para realizar la presentación de resultados del Plan de Investigación Científica Zona Económica Exclusiva Española (ZEEE).
- El 14 de junio, el TN. Ángel Cibeira Urtiaga participa en las Jornadas sobre enlaces submarinos celebradas en Tarifa.
- Del 27 al 29 de junio, el CN José Martín Davila acude a la asamblea Hispano Portuguesa de Geodesia y Geofísica, celebrada en Madrid.
- Del 27 al 30 de junio, la TS Lab Mireya López Mesa asiste a la asamblea Hispano Portuguesa de Geodesia y Geofísica, celebrada en Madrid.
- El 1 de septiembre, el TS Lab Guillermo Muñoz-Delgado Serrano y el TS Lab Jose A. Peña García se desplazan a Lijar para la reparación y mantenimiento de la estación sísmica.
- Del 6 al 10 de septiembre, el CF. Antonio A. Pazos García participa en la European Seismological Commission General Assembly celebrada en Trieste (Italia).
- Del 17 al 24 de septiembre, el CN. Teodoro López Moratalla participa en Madrid, en el seminario de navegación astronómica de la VI Semana Naval de la Armada.
- Del 18 al 23 de septiembre, la TN. María del Carmen Vélez López viaja a Madrid para realizar la presentación del trabajo final de máster universitario.
- Del 19 al 21 de septiembre, el Tit. Sup. Francisco González González participa en el seminario de navegación astronómica de la VI Semana Naval de la Armada, celebrada en Madrid.
- Del 9 al 13 de octubre, el CF. Manuel Catalán Morollón viaja a Postdam (Alemania) para asistir al 2016 ILRS Technical Workshop, organizado por el International Laser Rangin Service (ILRS).
- Del 20 al 21 de octubre, el TN. Hector Álvarez Martínez y la TN. María del Carmen Vélez López, viajan a Madrid para participar en las jornadas SINFOTON-CM donde efectúan la presentación de trabajos de investigación en tecnológicas fotónicas.
- Del 26 al 28 de octubre, el CN. Teodoro López Moratalla asiste como conferenciante a las III Jornadas de Historia Marítima celebradas en Madrid.
- Del 27 al 29 de octubre, el CF. Antonio A. Pazos García viaja a Dubrovnik (Croacia) para participar en el Workshop Observatory Coordination Meeting.
- Del 2 al 4 de noviembre, el CN. José Martin Davila asiste como conferenciante a las IV Jornadas sobre Seguridad, Defensa, Tecnologías matemáticas y computacionales, celebradas en La Coruña.
- Del 2 al 5 de noviembre, el TN. Héctor Álvarez Martínez viaja a La Coruña para asistir como conferenciante a las IV Jornadas sobre Seguridad, Defensa, Tecnologías matemáticas y computacionales.
- Del 15 al 16 de noviembre, el TN. Juan M. González Sánchez realiza una visita de supervisión al laboratorio del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT).
- Del 13 al 16 de diciembre, el CF. Antonio A. Pazos García, el CF. Manuel Catalán Morollón y el ITA. Manuel Larrán Román viajan a la estación láser de Borowiec (Polonia) en sesiones de trabajo sobre la estación láser.

# A.6. Proyectos de Investigación

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

Durante el año 2016, se han iniciado/mantenido los siguientes Proyectos de Investigación y Acciones Especiales:

- **AMIGA6 (AYA2015-65973-C3-1-R):**
  Proyecto encaminado a la investigación y desarrollo de técnicas de transferencia de tiempo y frecuencia mediante fibra óptica. El proyecto encaja dentro del proyecto genérico AMIGA (Análisis del Medio Interestelar en Galaxias Aisladas): "gas en el interior y en el entorno de las galaxias", y se dedica a la preparación científica para el SKA (Square Kilometre Array) y a 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 el investigador Manuel Rodríguez Álvarez, perteneciente al Dpto. de Arquitectura y Tecnología de Computadores de la Universidad de Granada (UGR) es el director del subproyecto llamado: AMIGA6: *gas in and around galaxies. Preparation for SKA science and contribution to the design of the SKA data flow - Signal and Data Transport* del IAA, 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.

- **Calibración de equipos de "sellado de tiempo" (Proyecto 917 EURAMET)**
  Proyecto acordado en el seno de EURAMET, coordinado por Jan Cermák, del Institute of Radio Engineering and Electronics (IREE). El proyecto está encaminado a realizar las siguientes tareas:

  - Diseño y realización de un ordenador sincronizado a un Pulso Por Segundo externo trazable a UTC. El ordenador proporcionará 1 PPS que permita verificar la incertidumbre de sincronización mediante un contador de intervalos de tiempo.
  - Diseño y realización de un sistema basado en PC que implemente un servicio de time-stamping.
  - Experimentos entre los ordenadores anteriores interconectados directamente y a través de red a varios puntos de acceso. Evaluación de incertidumbres.
  - Evaluación de diferentes servidores de time-stamping en diferentes puntos de acceso.
  - Elaboración de procedimiento(-s) de calibración.

- **Preparación de una guía EURAMET para la evaluación de laboratorios de calibración que emplean señales GPS para adquirir trazabilidad en tiempo y frecuencia. (Proyecto 1130 EURAMET).**

  Proyecto coordinado por Peter Whibberley, del Laboratorio de Física Nacional del Reino Unido, en el colaboran los Instituto Metrológicos Nacionales de Tiempo y Frecuencia italiano, finlandés y alemán, además del Observatorio.

  Este proyecto tiene por objetivo examinar el borrador desarrollado por el grupo de expertos de corriente continua y baja frecuencia (DC-LF) de Cooperación Europea para la Acreditación (EA WG DC-LF), haciendo las enmiendas necesarias y publicando el documento como una Guía de Calibración de EURAMET.

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

  Proyecto coordinado por el CN. Don Francisco Javier Galindo Mendoza 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.

- ***Alerta Sísmica Temprana: Sistema regional e in-situ para la región Ibero-Magrebí (CGL2013-45724-C3-3-R) "ALERTES-RIM".*** Proyecto financiado por la Dirección General de Investigación y Gestión del Programa de I+D+i del Ministerio de Economía y Competitividad, cuyo investigador principal es el C.N. D. José Martín Dávila y en el que participan investigadores del ROA, de la Universidad de Cádiz (Facultad de Ingeniería Informática), del *GeoforschungsZentrum* (GFZ, Potsdam, Alemania) y del Instituto Científico de Rabat de la Universidad Mohammed V (Marruecos). Este proyecto se encuentra coordinado con otros dos proyectos, uno del Departamento de Geofísica de la Universidad Complutense de Madrid (UCM, Subproyecto 1) y otro del Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña (ICGC, Subproyecto 2), y su plazo de ejecución es de tres años: 1 de enero de 2014 a 31

de diciembre de 2016. Los objetivos generales del proyecto, como consecuencia de los buenos resultados obtenidos en el proyecto anterior (ALERTES), son refinar las relaciones empíricas obtenidas anteriormente para el cálculo rápido de la magnitud, calcular nuevas correlaciones y ecuaciones, desarrollar un sistema SAST in-situ, la puesta en operatividad de un SAST regional implementado en SeisComP y Earthworm, estudiar la viabilidad de integrar datos GPS en el SAST regional, y realizar una microzonación en zonas de estudio seleccionadas para corregir efectos de amplificación.

- ***Geociencias en Iberia: estudios integrados de topografía y evolución 4d (TOPO-IBERIA; CSD2006-00041).*** Proyecto de excelencia tipo *CONSOLIDER* financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia (MEC), y con un plazo inicial de ejecución de 5 años (octubre 2006-octubre 2011), que fue extendido posteriormente en dos años adicionales. Finalizada dicha fecha, el proyecto ha sido nuevamente extendido temporalmente mediante una **"Acción de Dinamización de Redes de Excelencia" del Ministerio de Economía y Competitividad, con plazo de ejecución 2014-2016 (CGL2014-54582-REDC)**. Participan en Topo-Iberia diez grupos de Investigación españoles: Instituto Jaume Almera (IJA-CSIC) que actúa como coordinador; U. Complutense Madrid (UCM); U. Oviedo (UOVI), U. Granada (UGR); Instituto Geológico y Minero de España (IGME); U. Barcelona (UB); U. Autónoma de Barcelona (UAB); U. Cádiz (UCA); U. Jaén (UJA) y Real Instituto y Observatorio de la Armada (ROA). Se encuentra centrado en la zona Península Ibérica-Noroeste de África-Mar de Alborán-Golfo de Cádiz, con el objetivo de estudiar la interacción entre procesos profundos, superficiales y atmosféricos, integrando técnicas geológicas, geofísicas, geodésicas y de geocronología, en dicha zona. Este proyecto es la componente española de la amplia iniciativa *TopoEurope-Euroarray*, desarrollada a nivel europeo. El Observatorio fue el responsable de subprograma de GNSS, y participó en otros subprogramas, principalmente en: Sísmica, Base de Datos y en el de Modelos. A pesar de haber finalizado la componente instrumental, y tal y como se mencionó en punto 3.3.2 (Sistema Global de Navegación por Satélite: GNSS), la mayoría de las estaciones de la red GNSS "TOPOIBERIA" se mantienen todavía desplegadas.

- ***Contribución de la estación láser de seguimiento de satélites artificiales del ROA: a) la determinación del Sistema Internacional de Referencia Terrestre y b) al seguimiento de basura espacial. (ITRF-SFEL-BE).*** El objetivo científico fundamental es la mejora de la calidad de los datos producidos por el sistema de observación Láser de satélites con que cuenta el ROA, así como la realización de modificaciones y pruebas encaminadas al seguimiento de basura espacial. Los datos de la estación de seguimiento Láser (SLR) se aportan al Servicio Internacional de Rotación de la Tierra (IERS), a través del Servicio Internacional de Seguimiento Láser de Satélites Artificiales (ILRS), encargado de la generación de los sucesivos modelos del ITRF. Para poder ser utilizadas estas observaciones y corregir las órbitas de satélites es preciso alcanzar un nivel de precisión sub-centimétrico. Los últimos avances conseguidos en la mejora de las prestaciones del sistema, tras la ejecución de anteriores proyectos de investigación, se ven parcialmente enmascarados con el envejecimiento progresivo del equipo generador de pulsos láser, y la elevación del nivel de ruido electrónico, que llega a afectar a la precisión de las medidas. Su minimización mediante el diseño e implementación de filtros numéricos y electrónicos es uno de los objetivos planteados en este proyecto. Por otro lado las modificaciones realizadas al actuar sobre diversos componentes del sistema, durante el tiempo de desarrollo y funcionamiento con sus correspondientes implementaciones parciales de software, han dado lugar a que en el sistema

convivan programas que corren en diferentes máquinas sobre sistemas operativos tan dispares como el anticuado MS-DOS, y diferentes versiones de Windows, UNIX y Linux. Por ello se propone en este proyecto una reestructuración profunda del conjunto a través del diseño de un sistema global que integre las diferentes etapas del proceso de conformación del residuo láser utilizando un sistema operativo único, estable y con capacidad de multi-operación que permitan optimizar los tiempos de observación, disminuyendo errores y facilite los sucesivos desarrollos de la estación y la integración de nuevos módulos. Otro de los objetivos planteados surge como consecuencia de que el ROA es sensible a la creciente importancia que el seguimiento de la basura espacial va cobrando como condicionante cada vez más relevante de las actividades espaciales. Su presencia obliga a los satélites artificiales a la eventual realización de maniobras evasivas con el consiguiente consumo de combustible y reducción de su vida útil. Los elementos orbitales de los que se dispone carecen usualmente de precisión, acumulando cientos de metros e incluso kilómetros de incertidumbre, lo que conlleva a efectuar maniobras evasivas (a veces no necesarias) o, incluso, colisiones. La incorporación de medidas Láser dota de una mayor precisión en el conocimiento de dichos elementos orbitales evitando los inconvenientes mencionados, al aumentar y densificar los seguimientos sobre estos objetos.

- ***Instrumentación y Tecnologías Aplicadas al Estudio, Caracterización y Explotación Sostenible del Medio Marino (MarInTech).*** Esta acción de dinamización de “Redes de excelencia” ha sido aprobada por el Ministerio de Economía y Competitividad con la referencia **CTM2015-68804-REDT** con una duración de 2 años. La red temática MarInTech quiere proporcionar un espacio de estudio en el que científicos y tecnólogos españoles que trabajan en diferentes ramas dentro del ámbito de las Ciencias Marinas y Ambientales intercambien experiencias sobre el desarrollo y diseño de estos sistemas de medición. En esta red temática liderada por Universidad Politécnica de Catalunya (UPC), participan, además del Observatorio, la Universidad de Cádiz, la agencia estatal CSIC, el Instituto Geográfico Nacional, la Universidad Pública de Navarra, la Universitat de Girona, la Universidad de las Islas Baleares y la Universidad Politécnica de Cartagena.

- **Proyecto del Mapa Mundial de Anomalías Magnéticas (WDMAM) (2ª edición).** Es una iniciativa internacional, sin financiación propia, cuyo objetivo principal es el de 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 del servicio de magnetismo, C.F. 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 y por tanto a cumplir con el objetivo asignado al servicio de magnetismo.

- **Proyecto de infraestructura Actualización y mejora de la estación laser de seguimiento de satélites artificiales (SLR)**

Se pretende con este proyecto de infraestructura sustituir el banco láser actual por otro más moderno, y de mayor potencia. Este proyecto fue solicitado en Febrero de 2016, siendo aprobado de forma definitiva en el mes de Diciembre del mismo año.

### A.6.2. Beca Fundación Alvargonzález

Por Resolución 600/38168/2014, de 9 de diciembre (BOE 13/2015), del Almirante Jefe del Estado Mayor de la Armada, se publicó la convocatoria de la Beca de la Fundación para el año 2015, a la que se presentaron siete candidatos.

Por Resolución 600/38055/2015, de 4 de mayo (BOE 134/2015), del Almirante Jefe del Estado Mayor de la Armada, se concedió la Beca 2015 de la Fundación a Don Ángel Vera Herrera, para la realización del Proyecto: “Prototipo hardware de bajo coste para la alerta sísmica temprana “on-site”.

# B. Otras actividades

## B.1. Hechos notables.

- Uno de los primeros hechos notables del año 2016 tiene lugar el día 1 de febrero; el CF Antonio A. Pazos García, doctor en ciencias y Jefe de la Sección de Geofísica del Real Instituto y Observatorio de la Armada (ROA), pronunció en la Universidad de Huelva la conferencia "El riesgo sísmico en el Golfo de Cádiz: Avances en los sistemas de alerta temprana". El acto se celebró en la Facultad de Ciencias Experimentales y tuvo una gran repercusión en los medios de comunicación, especialmente sensibles con el tema a causa de los recientes terremotos producidos en el Mar de Alborán.

*Figura B.1: El CF. Pazos García, durante la conferencia en la Universidad de Huelva*

La primera parte de la conferencia se centró en el análisis de la sismicidad del entorno del Golfo de Cádiz, y en especial en la provincia de Huelva, producida por la cercanía del límite de contacto entre las placas Euroasiática y Africana. Aunque la región se caracteriza por una sismicidad moderada, con hipocentros superficiales (inferiores a 50km de profundidad) o intermedios (entre 50 y 150 km), no podemos olvidar que históricamente se han producido grandes terremotos, siendo el máximo exponente el terremoto de Lisboa del 1 de noviembre de 1755, que originó el famoso Maremoto de Cádiz.

A continuación, el CF Pazos habló sobre los sistemas de alerta sísmica temprana (EEWS por sus siglas en inglés). Expuso las principales ideas en que se basan este tipo de sistemas (operativos en países como Japón y EE.UU.) y su viabilidad para el Sur de España, y explicó el prototipo ALERTES-SC3, sistema que actualmente se encuentra en fase de pruebas en tiempo real. Este prototipo se ha desarrollado en el ROA, dentro del marco del proyecto de investigación ALERTES-RIM, en el que también participan la Universidad Complutense de Madrid (UCM) y el Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña. El sistema ALERTES-SC3 analiza los primeros segundos de la onda P (onda no destructiva que se detecta en primer lugar), de donde se pueden estimar los parámetros del terremoto; esta estimación permite disponer de unos segundos que

pueden ser muy valiosos para alertar de la inminente llegada de las ondas S, causantes de los daños.
Aunque a primera vista pueda parecer que disponer de tan solo unos pocos segundos es insuficiente, éste es un tiempo valiosísimo que pude salvar vidas y mitigar daños. A modo de ejemplo en cuanto a seguridad personal, la alerta avisaría de un terremoto potencialmente peligroso y se podría buscar un refugio más sólido o simplemente proteger la cabeza antes de la caída de objetos; también serviría para sistemas automáticos de frenado de trenes, como en Japón, para abortar el aterrizaje o despegue de aviones y un largo etcétera.
Finalmente, el CF Pazos hizo una breve reseña, comparando el terremoto de Alhucemas de 2004 con la actividad sísmica reciente y señalando cómo el sistema ALERTES-SC3 había funcionado correctamente.

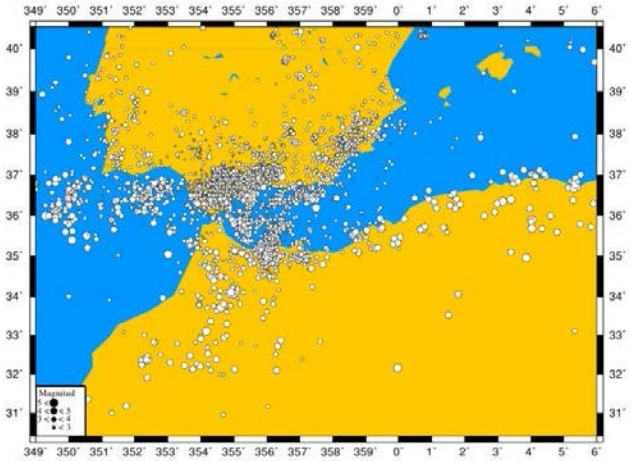


*Figura B.2. Sismos detectados en la zona, entre 1987 y 2014, por los sensores del Real Instituto y Observatorio de la Armada.*

- El día 9 de febrero, el Almirante de la Flota, Excmo. Sr. Don Francisco Javier Franco Suanzes, visitó el Real Instituto y Observatorio de la Armada. A su llegada, Observatorio fue recibido por el Director del centro, CN. José Martín Davila y saludó a la dotación del Observatorio, que se encontraba formada en el atrio del Edificio Principal.

*Figura B.3. El Almirante de la Flota con la dotación del Real Observatorio*

A continuación, en el salón de actos de la Escuela de Estudios Superiores, el Director expuso brevemente la organización, misiones y actividades del Observatorio, tras la cual el Almirante recorrió las instalaciones del Centro, recibiendo las explicaciones de los responsables de las secciones y servicios que componen la estructura investigadora del Centro.

Durante el recorrido, el Almirante visitó asimismo las obras del nuevo edificio de la Sección de Hora. Previamente, subió a la terraza de Torrealta, desde donde el Director del Observatorio le explicó el estado del desarrollo de las mismas. El nuevo edificio constará de dos plantas, que albergarán laboratorios, despachos, etc., y un sótano, en el que una cámara de Faraday alojará al conjunto de patrones atómicos con los que se elabora la escala Tiempo Universal Coordinado, UTC(ROA), que es la base de la hora legal española.

*Figura B.4. Visita a las actuales instalaciones de la Sección de Hora.*

*Figura B.5 y B.6. Visita a Torrealta y panorámica del nuevo edificio y alrededores desde la propia Torre*

Tras visitar en el Edificio Principal la colección de instrumentos, el salón del Círculo Meridiano y la Biblioteca, el Almirante firmó el Libro de Honor del Observatorio, en el despacho del Director.

*Figura B.7. Firma del ALFLOT en el Libro de Honor del Observatorio.*

- Gracias al apoyo económico y técnico de la Subdirección General de Publicaciones y Patrimonio Cultural del Ministerio de Defensa, se ha procedido a clasificar e inventariar esta colección de planchas, que se han restaurado y limpiado con materiales estables y reversibles, a fin de preservarlas y facilitar futuras intervenciones. El proceso se ha completado con la catalogación y digitalización de las planchas, que se incluirán en la Biblioteca Virtual de Defensa.

*Figura B.8. Trabajos de limpieza y restauración.*

Con este trabajo se ha completado el tratamiento de restauración y conservación del material del proyecto de la Carta del Cielo, material que tiene un gran valor como patrimonio científico y que constituye una colección documental única de la participación de España en este proyecto científico internacional.

Remontándonos en la historia, a finales del siglo XIX, y por iniciativa del Observatorio de París, se puso en marcha un proyecto pionero de colaboración internacional en Astronomía conocido como la Carte du Ciel, con el objetivo utilizar técnicas fotográficas para elaborar un Catálogo Astrofotográfico de estrellas y confeccionar el que sería el primer Atlas Celeste obtenido por medio de la fotografía.
El trabajo se repartió entre 18 observatorios de todo el mucho y el Observatorio de la Armada se encargó de la franja de la esfera celeste comprendida entre las declinaciones 3° S y 9° S. Para ello se utilizó el astrógrafo Gautier, telescopio que llegó a San Fernando en 1889 y que sigue instalado en su ubicación original.

Para elaborar la Carta del Cielo de la zona asignada al Observatorio, se realizaron 720 exposiciones con placas de vidrio, técnica fotográfica de la época. A partir de ellas, se prepararon las planchas de cobre que se utilizaron como matrices de grabado para imprimir las hojas del atlas celeste. En el Archivo del Observatorio se conservan, tanto la colección de las placas de vidrio, convenientemente digitalizadas, como una colección completa de las 720 hojas impresas.

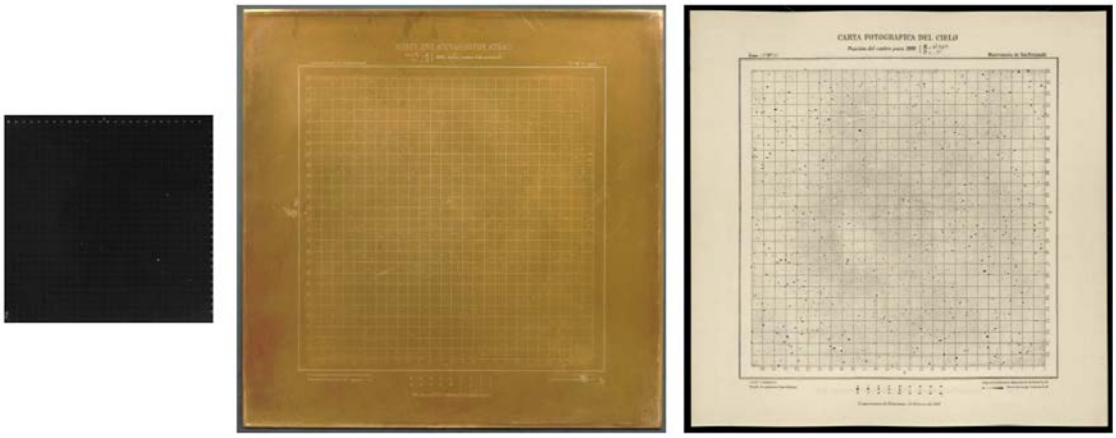


*Figura B.9. Materiales del proyecto de la Carta del Cielo: placa fotográfica de vidrio, matriz de grabado de cobre y hoja de la Carta en papel. El tamaño de las imágenes es proporcional al real.*

También se conservan 403 planchas de cobre, que estaban en bastante mal estado debido al tiempo transcurrido.

- Durante la primera semana de febrero se ha efectuado el cambio de la cámara CCD del Telescopio Fabra-ROA en el Montsec (TFRM), sustituyéndola por una especialmente apta para la observación de objetos de movimiento rápido, como satélites artificiales y basura espacial en órbitas bajas. La operación ha sido realizada por personal de la Sección de Astronomía del Real Instituto y Observatorio de la Armada (ROA) y de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona (RACAB).

*Figura B.10. El TFRM en el Observatorio Astronómico del Montsec, situado en el Prepirineo Leridano, a 1570 m de altura sobre el nivel del mar.*

El TFRM es el resultado de la modernización de la antigua Cámara Baker-Nunn (CBN) del ROA, con la que comenzó la participación de España en la era espacial. Este telescopio, del tipo "cámara Schmidt", fue instalado en el Observatorio en junio de 1958, diez meses después del lanzamiento del Sputnik, gracias a un acuerdo de colaboración con la Smithsonian Institution de EE.UU., y se utilizó hasta 1979 para la detección y seguimiento de satélites artificiales. La modernización y robotización de la CBN se realizó íntegramente en este Observatorio y, tras un breve período de pruebas en San Fernando, en 2010 se trasladó al Observatorio Astronómico del Montsec, en el Prepirineo Leridano, gracias al convenio de colaboración firmado con la RACAB.

La principal actividad que el ROA desarrolla con el TFRM es la detección y seguimiento de basura espacial, lo que internacionalmente se conoce como SST (Space Surveillance and Tracking). Éste es uno de los campos de interés de la Agencia Espacial Europea (ESA), con la que el TFRM ha colaborado, y está en fase de desarrollo dentro de la Unión Europea, donde se prevé que España participe a través del proyecto S3T (Spanish Space Surveillance and Tracking), en el que el TFRM tiene un papel destacado.

La nueva cámara monta un CCD interline, que controla el inicio y fin de las exposiciones de forma electrónica, prescindiendo del habitual obturador mecánico. Con ello se consigue una precisión en el datado temporal de las observaciones diez veces superior al anterior, lo que permite el seguimiento de objetos celestes rápidos, situados en órbitas bajas (LEO, por sus siglas en inglés).

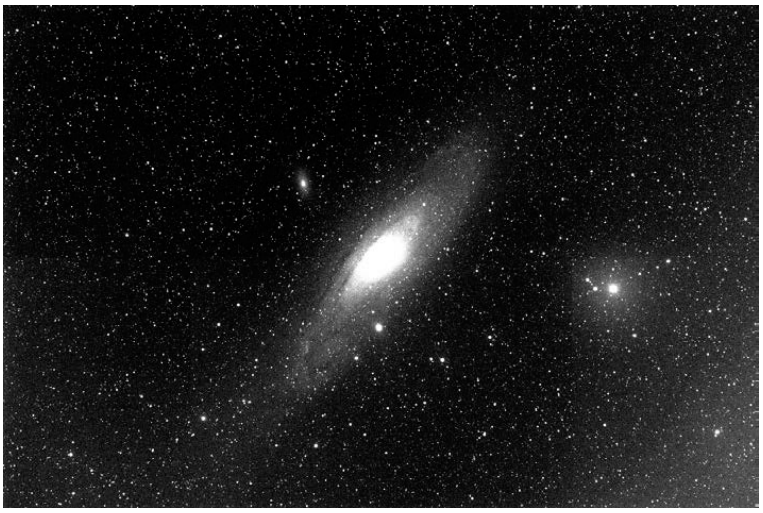

*Figura B.11. Imagen astronómica de la galaxia M31 (Andrómeda) obtenida con el TFRM la noche del 8 de febrero, una vez colimado el sistema óptico. El gran campo de este telescopio (4.2º x 2.9º) lo hace especialmente apto para detectar un gran número de objetos, tanto en órbita terrestre (satélites y basura espacial), como en órbita solar (cometas y asteroides).*

- El día 4 de Abril, y a petición del Excmo. Ayuntamiento de San Fernando, tiene lugar en la Biblioteca del Real Observatorio la presentación a los medios de comunicación del calendario conmemorativo del 250 aniversario de la creación del Ayuntamiento de la Villa de la Real Isla de León. Con este calendario, el Ayuntamiento repasa la historia de los últimos 250 años de San Fernando, recordando algún hecho notable ocurrido en la ciudad en cada uno de los días del año.

El Acto fue copresidido por la Alcaldesa de San Fernando, Ilma. Sr. Dª Patricia Cavada Montañés, y el Director del Observatorio, CN., Ilmo. Sr. CN D. José Martín Davila.

*Figura B.12. Firma de la Alcaldesa de San Fernando en el Libro de Honor del Observatorio*

Acompañada del Primer Teniente de Alcaldesa, D. Francisco J. Romero Herrera, y los ex alcaldes de San Fernando D. José Loaiza García, D. Manuel Mª de Bernardo Foncubierta y D. Antonio Moreno Olmedo, la Alcaldesa se trasladó en primer lugar al despacho del Director, donde firmó en el Libro de Honor del Observatorio.

El acto de presentación comenzó con unas palabras de bienvenida pronunciadas por el Director del Observatorio, que resumió la larga trayectoria científica del Centro, que desde sus orígenes ha trabajado con la determinación del tiempo, y su imbricación con la ciudad de San Fernando. La Alcaldesa agradeció al Observatorio y a la Armada el haber accedido a la celebración en una institución tan ligada a la historia de la ciudad y realizó la presentación del calendario a los numerosos medios de comunicación acreditados. Seguidamente intervinieron el Primer Teniente de Alcaldesa y los tres ex alcaldes presentes que, respectivamente, recordaron un hecho de la historia de la ciudad de especial significado para ellos.

*Figura B.13. Intervenciones del Director del Observatorio y de la Alcaldesa de San Fernando*

Tras la finalización del acto, los asistentes recibieron una breve explicación del Bibliotecario, D. Francisco José González González, sobre algunos libros significativos expuestos para la ocasión, y realizaron unas fotos de familia en la escalinata del Edificio Principal del Observatorio.

*Figura B.14. Foto de los asistentes al acto de presentación*

- Entre los días 25 a 28 del mes de Abril, el ATF “Mar Caribe”, con la colaboración de personal del Real Instituto y Observatorio de la Armada, efectuó las operaciones de recuperación de los sismómetros de banda ancha de fondo marino (Ocean Bottom Seismometer, OBS).

Estos equipos sísmicos se fondearon a primeros de septiembre de 2015 a una profundidad de entre 4500 y 4800 metros, y han estado registrando datos durante casi 8 meses. Los sismómetros se desplegaron en forma de array hexagonal (antena sísmica), a distancias de entre 90 y 130 millas al SW del cabo de San Vicente, en las proximidades de los epicentros de los terremotos de Lisboa de 1755, que originó el maremoto de Cádiz, y el terremoto de 28 de Febrero de 1969, de magnitud 7,2.

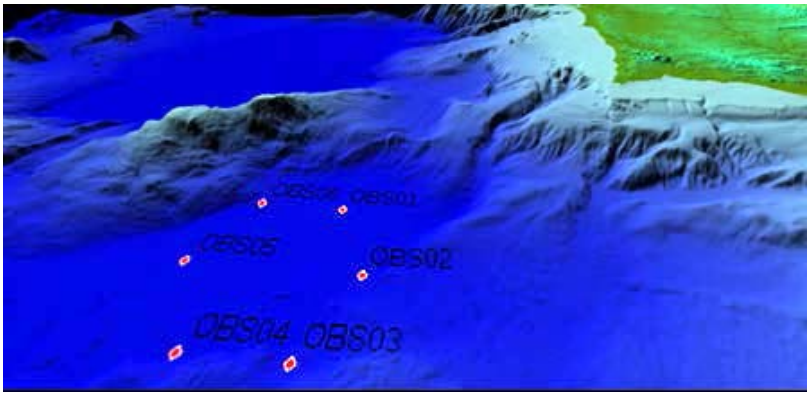


*Figura B.15. Visita de la batimetría de la zona de las posiciones de fondeo del array de OBS en forma hexagonal, al SW del cabo San Vicente.*

Este despliegue se enmarca dentro del proyecto ALERTES-RIM, financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad, que tiene como objetivo fundamental el registro de la sismicidad de esta zona, potencialmente generadora de grandes terremotos (aunque no frecuentes), permitiendo una mejor localización al incrementar la cobertura acimutal y obteniendo registros cercanos a las fuentes sísmicas. El apoyo prestado por la Armada a este proyecto es vital, ya que sin el despliegue de medios materiales y humanos efectuado, no sería posible realizar este tipo de registros.

Como operación previa a la recogida, se estableció comunicación con los OBS mediante señales acústicas y se determinó su locación precisa, gracias a una triangulación realizada en base a distancias medidas desde diversas posiciones. Los equipos abandonan el fondeo al recibir el código de liberación, transmitido mediante un transducer acústico largado por el buque. Desde la profundidad a la que estaban fondeados, los OBS tardaron unos noventa minutos en subir a superficie.

Hay que destacar la profesionalidad y efectividad del personal del ATF "Mar Caribe" en todas las labores de establecimiento de comunicaciones, localización en superficie y posterior recuperación y estiba a bordo de los equipos, así como en la ayuda en la triangulación para estimar de forma precisa la posición de los OBS en el fondo.
Se han recuperado cinco de los seis OBS fondeados. El OBS04 no se ha pudo recuperar, debido a que no se logró establecer la comunicación acústica. La recuperación se hará a finales de junio, gracias al sistema de liberación de emergencia del que dispone, que fue programado antes del fondeo para que se libere de forma automática el 29 de Junio a las 12:00 horas UTC.

*Figura B.16. Recogiendo un OBS a bordo del ATF "Mar Caribe".*

- El viernes 6 de mayo, tiene lugar en el atrio del Edificio Principal del centro el Solemne Acto de Lectura de Leyes Penales con Imposición de Condecoraciones, presidido por el Almirante Jefe de Servicios Generales, Asistencia Técnica y Sistemas de Información y Telecomunicaciones (AJESACIS), CA., Excmo. Sr. Don Cristóbal González-Aller Lacalle.

  Tras la lectura del artículo del Código Penal y las Reales Ordenanzas, el AJESACIS impuso dos Cruces del Mérito Naval y una Cruz de la Orden de San Hermenegildo. Uno de los condecorados fue la Profesora Dra. Elisa Buforn Peiró, Catedrática de la Universidad Complutense de Madrid (UCM), que ha colaborado activamente con el ROA y con la Armada durante más de treinta años, en los que se han desarrollado numerosos proyectos de investigación conjuntos. Estos proyectos han culminado en diversas aplicaciones científicas y, de forma muy relevante, en el desarrollo de un prototipo de Sistema de Alerta Símica Temprana (ALERTES), realizado bajo los proyectos ALERTES y ALERTES_RIM, actualmente en vigor, con aplicaciones de uso civil en el campo de los riesgos naturales. Todo ello ha permitido desplegar una red sísmica de Banda Ancha de forma conjunta entre el ROA y al UCM, que es referencia internacional en la zona.

Realizada la imposición de condecoraciones, la profesora Buforn pronunció unas palabras de agradecimiento, tras las cuales el AJESACIS felicitó a los condecorados, así como al personal del ROA, por la labor científico-técnica que realizan y que redunda en el prestigio de la Armada y de España. Para finalizar el acto, el Director del ROA, CN José Martín Davila, agradeció al Almirante el haber presidido el acto, dándole el realce requerido, y resumió la dilatada relación de la Profesora Buforn y del UCM con el Observatorio.

*Figura B.17. Imposición de la Cruz del Mérito Naval a la Dra. Elisa Buforn y al CF. Catalán Morollón, Jefe del Servicio de Geomagnetismo del ROA.*

*Figura B.18. Foto de grupo del personal que asistió al Acto.*

- El día 17 de mayo se celebra en una reunión en el Observatorio en la que participaron los directores del Instituto Español de Oceanografía (IEO), del Instituto Hidrográfico de la Marina (IHM) y del Real Instituto y Observatorio de la Armada (ROA), junto con otros miembros de dichas instituciones.

  En la reunión se trataron fundamentalmente temas relacionados con las campañas Zona Económica Exclusiva Española (ZEEE), que son responsabilidad del Ministerio de Defensa y en las que, además del IHM y el ROA, que son las instituciones ejecutoras del Plan ZEEE, también intervienen como instituciones colaboradoras el IEO, la Universidad Complutense de Madrid, el Instituto Geológico y Minero y la Universidad de Cádiz.

*Figura B.19. Instantánea del grupo durante la reunión de trabajo.*

  La Zona Económica Exclusiva es la franja marítima que se extiende hasta 200 millas náuticas de la costa, en la que el Estado tiene derechos de soberanía para exploración y explotación de los recursos naturales. El objetivo de estas campañas es obtener información detallada de esa zona de vital importancia, mediante el cartografiado del fondo y la realización de exploraciones geofísicas que permitan el conocimiento de los fondos marinos.

  Las campañas se suelen desarrollar durante un mes al año, normalmente a bordo del BIO Hespérides, y su dirección se alterna entre el IHM y el ROA. El IEO ha participado de forma activa desde la primera campaña ZEEE, realizada en 1995, y mantiene unas magníficas relaciones con las dos instituciones de la Armada. La campaña de 2016, que será la número 22, se desarrollará del 27 de mayo al 26 de junio y realizará levantamientos de zonas del Mar Balear y del Golfo de Valencia.

  La reunión se prolongó durante gran parte de la mañana y tras ella se realizó una rápida visita a las instalaciones del Observatorio.

- El día 17 de mayo visita el Real Instituto y Observatorio de la Armada el Director del Centro Español de Metrología (CEM), D. José Manuel Bernabé Sánchez, que tomó posesión de su cargo en febrero de este año. Vino acompañado por el Director de la División Científica y de Relaciones Institucionales del CEM, D. José Ángel Robles Carbonell.

Tras una reunión con la Dirección del ROA, en la que se trataron temas relacionados con la habitual colaboración entre ambas instituciones, se realizó una visita a las instalaciones del Observatorio y a las obras del nuevo edificio que albergará a la Sección de Hora.

*Figura B.20. Visita a la antesala de patrones atómicos de la actual Sección de Hora, instrumentos que próximamente serán trasladados al nuevo edificio*

La relación entre el ROA y el CEM está muy consolidada en el tiempo y actualmente está regulada por el Real Decreto 1308/1992, de 23 de octubre, por el que se declara al Laboratorio del Real Instituto y Observatorio de la Armada como laboratorio depositario del Patrón Nacional de Tiempo y laboratorio asociado al Centro Español de Metrología, y por la Ley 32/2014, de 22 de diciembre, de Metrología, en cuyo artículo 17 establece que los laboratorios asociados actuarán en el campo metrológico bajo la coordinación funcional del Centro Español de Metrología.

Su artículo 4 dice asimismo que “la hora oficial se establecerá, por real decreto, con referencia a la escala de tiempo universal coordinado materializada por el Real Instituto y Observatorio de la Armada en San Fernando”.

El patrón nacional de la unidad básica de tiempo (el segundo) y el de intensidad luminosa (responsabilidad el Instituto de Óptica del CSIC) son las únicas unidades básicas del Sistema Internacional de unidades, que no mantiene directamente el CEM.

- El día 13 de julio se celebra en el Real Instituto y Observatorio de la Armada la reunión de constitución del Comité de Organización del VI Congreso Nacional de Metrología, que se celebrará en San Fernando en junio de 2017.

El Congreso Nacional de Metrología se organiza cada cuatro años y habitualmente se centra en tres vertientes metrológicas: la metrología científica, la metrología industrial (aplicada, de la salud y del medio ambiente) y la metrología legal. La reunión se desarrollará fundamentalmente en Centro de Congresos Cortes de la Real Isla de León, si bien se ha previsto que las sesiones plenarias se desarrollen en el Real Teatro de las Cortes de San Fernando. Se prevé la participación de unos cuatrocientos especialistas de las diversas ramas de la metrología.

*Figura B.21. Comité de Organización del VI Congreso Nacional de Metrología*

Tal y como se acordó en la constitución del Comité de Organización, en esta edición se pretende poner de manifiesto la importancia de la Metrología como garantía de calidad y seguridad para la sociedad, prestando especial atención a difundir, acercar y mentalizar a la ciudadanía de su relevancia en la vida diaria, para lo que está previsto realizar actividades divulgativas que comenzarán varias semanas antes de la celebración del congreso.

El Comité de Organización está presidido por el Director del CEM y lo componen altos responsables de las instituciones involucradas en la organización, como la Asociación Española para la Calidad (AEC), la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC), la División de Metrología de Verificaciones Industriales de Andalucía S.A., universidades y empresas. Por parte del Ayuntamiento de San Fernando participa el Concejal de Presidencia, Conrado Rodríguez Ruiz, y la representación del Observatorio la ostenta el CN Francisco Javier Galindo Mendoza, Jefe de la Sección de Hora. Una vez finalizada la reunión, el comité visitó a los dos edificios mencionados, que se emplearán como sede del congreso.

- Del 19 al 23 de septiembre, dentro de las actividades de la VI Semana Naval de la Armada en Madrid, se celebró en la Escuela de Guerra Naval el Seminario de Navegación Astronómica. Organizado por el Real Instituto y Observatorio de la Armada, el seminario ha estado dirigido a todos aquellos interesados en la navegación, la

astronomía y la historia de la ciencia, y ha despertado un gran interés. Aunque la mayoría de los participantes residían en la provincia de Madrid, los hubo que se desplazaron desde Barcelona, Jaén, Cantabria, Málaga, Granada y Guadalajara.

*Figura B.22. Inauguración del Seminario de Navegación Astronómica*

El seminario fue inaugurado por el CA Juan Garat Caramé, Almirante Jefe Accidental de Servicios Generales, Asistencia Técnica y Sistemas de Información y Telecomunicaciones, quien dirigió unas palabras de bienvenida a los participantes, en las que resumió los objetivos y contenido del seminario, destacando la gran acogida que tiene todos los años, y presentó a los ponentes.

El número de participantes se limitó a un máximo de 60, para permitir una relación profesor-alumno directa y ágil. No obstante, su trascendencia será con seguridad mucho mayor, dadas las diversas procedencias de los asistentes y la difusión que habitualmente realizan en sus distintos ámbitos. Con este seminario, la Armada ha transmitido una imagen de profesionalidad, seriedad y organización, y al mismo tiempo de cercanía. Además, dentro de la temática del seminario han quedado patentes dos de las responsabilidades contraídas por la Armada: el cálculo y edición del Almanaque Náutico y el mantenimiento y difusión de la hora oficial española.

Las solicitudes superaron con mucho el aforo disponible, a pesar de ser el sexto año que se celebra en Madrid. El seminario se desarrolló en horario de tarde y fue impartido por el Capitán de Navío Teodoro López Moratalla, coordinador del seminario y Subdirector del Real Instituto y Observatorio de la Armada, el Doctor Luis Mederos Martín, Investigador Científico del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, y el Doctor Francisco José González González, Director Técnico de la Biblioteca y Archivo del Real Instituto y Observatorio de la Armada.
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. Como actividad complementaria, se realizó una visita al Museo Naval la mañana del día 21.

Las demás 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. Además de la medida del tiempo y del Almanaque Náutico, también se explicó el funcionamiento del sextante y los asistentes tuvieron la oportunidad de ajustar tanto los instrumentos aportados por la organización como los que llevaron algunos de ellos.

*Figura B.23. Participantes en el VI Seminario de Navegación Astronómica*

- Entre los días 7 y 17 de noviembre, se celebraron en el Real Instituto y Observatorio de la Armada diversas actividades correspondientes a la “Semana de la Ciencia 2016”.

  Esta iniciativa, organizada por la Consejería de Economía y Conocimiento de la Junta de Andalucía y coordinada por la Fundación Descubre, tiene como finalidad la difusión de la ciencia y el conocimiento en distintos ámbitos de la sociedad. Las actividades programadas han servido para divulgar parte del potencial científico de la Armada y la labor desarrollada en el Observatorio, dando una imagen de cercanía y profesionalidad. Con una excelente climatología, han participado 209 personas en las siguientes actividades:

  - Café con Ciencia, el día 9. Gratificante actividad en la que cuatro investigadores del Observatorio compartieron desayuno con alumnos de ESO y bachiller de centros educativos de San Fernando. En un ambiente distendido, los jóvenes recibieron información de cómo es la vida de un científico y plantearon numerosas preguntas sobre el área de trabajo del anfitrión.

*Figura B.24. Uno de los colegios participantes en la actividad "Café con Ciencia"*

- Visitas a la Estación de Seguimiento y Telemetría Láser del Observatorio, los días 10 y 17, en las cuales los visitantes pudieron conocer el funcionamiento de la Estación y sus fundamentos más importantes.

*Figura B.25. Visita a la Estación Láser del ROA*

- Observación astronómica, con la colaboración de la Agrupación Astronómica de San Fernando, los días 7 y 8. En estas observaciones se pudo contemplar la galaxia Andrómeda y la Luna en todo su esplendor.

*Figura B.26. Observación astronómica desde el telescopio Cooke.*

Como en años anteriores, los visitantes se han sentido atraídos por la labor científica del Observatorio y por su preparación técnica; este actividad sirve de reconocimiento hacia el trabajo y buen hacer de este Centro de la Armada que destaca por su proyección en el seno de la comunidad científica nacional e internacional, su apoyo a las unidades de nuestras Fuerzas Armadas y su cercanía hacia la población civil, que se canalizan a través de estas actividades y las propias visitas de grupos que se realizan prácticamente a diario.

- El día 21 de noviembre realiza la visita oficial al Real Instituto y Observatorio de la Armada el Consejero de Economía y Conocimiento de la Junta de Andalucía, Excmo. Sr. D. Antonio Ramírez de Arellano. A su llegada, el Consejero fue recibido por el Director del Observatorio, CN José Martín Davila, al que acompañaban la Alcaldesa de San Fernando, Excma. Sra. Dª Patricia Cavada Montañés, y el Subdirector, CN Teodoro J. López Moratalla.

  La visita comenzó con una explicación inicial del Director sobre la historia de este centro científico de la Armada y sobre la labor científico-técnica que actualmente desarrollan las secciones de Astronomía, Efemérides, Geofísica y Hora. El Consejero recibió información detallada de cada una de ellas durante el recorrido, en el que se incluyeron las obras

*Figura B.27. Foto delante del Edificio Principal. El Sr. Consejero, en primera fila, en el centro.*

Tras visitar en el Edificio Principal la colección de instrumentos, el salón del Círculo Meridiano y la Biblioteca, el Consejero firmó el Libro de Honor del Observatorio, en el despacho del Director.

*Figura B.28. Visita a las diferentes Secciones del Observatorio y a la Biblioteca.*

*Figura B.29. El Consejero de Economía y Conocimiento de la Junta de Andalucía firma en el Libro de Honor del Observatorio.*

En declaraciones a los medios de comunicación, el Consejero calificó al Observatorio como "un centro científico de primer nivel, producto de la apuesta por el conocimiento desde hace más de dos siglos" y como "referente para el impulso que se quiere dar a la innovación en Andalucía".

## B.2. Visitas

### B.2.1. Instituciones Civiles y Militares

- 26 de enero — Asociación de fibromialgia.
- 09 de febrero — Excmo. Sr. Almirante de la Flota
- 19 de febrero — Asociación de Mayores de San Fernando.
- 26 febrero/01 marzo — Alumnos CAES de la ESUBO.
- 09 de marzo — Inspectores Jefes de la Agencia Tributaria en Andalucía.
- 11 de marzo — Asociación de navegantes de Andalucía.
- 15 de marzo — Grupo de Ateneo de Jerez.
- 17 de marzo — Asociación ADACCA.
- 29 de marzo — CPAP Mayores de San Fernando.
- 07 de abril — Aula de Mayores de la UCA.
- 09 de abril . — Personal del servicio de urgencias del Hospital “Puerta del Mar” (Cádiz)
- 12 de abril — Asociación ADACCA.
- 14 de abril — Delegado Director ISFAS San Fernando, con Auditores.
- 15 de abril — XXXVI Promoción Intendencia E.T.
- 21 de abril . — OAP San Fernando y Orientadores Escolares Secundaria de la Provincia de Cádiz.
- 21 de abril — Secretario General del IMSERSO.

- 22 de abril — Alumnos de la Escuela de Hidrografía de la Armada
- 22 de abril . — Alumnos Máster “Geofísica y Meteorología” de la Universidad de Málaga.
- 22 de abril — Descendientes del Contralmirante Wenceslao Benítez.
- 26 de abril — Aula de Mayores de la Universidad de Cádiz.
- 27 de abril — Asociación de Mujeres Sordas de San Fernando.
- 28 de abril — Asociación ADACCA.
- 28 de abril — Club de baloncesto de San Fernando.
- 30 de abril — IX Promoción IMECAR.
- 05 de mayo — Equipos Directivos Centros Universitarios de la Defensa.
- 13 de mayo — Alumnos de Astrometría de la Universidad de Málaga
- 13 de mayo — Alumnos de Matemáticas de la Universidad de Cádiz.
- 15 de mayo — Comisarios de Policía de Andalucía.
- 17 de mayo — Grupo Cultural “Jóvenes Olímpicos” de Jerez.
- 23 de mayo — Asociación ADACCA.
- 28 de mayo — II Promoción de Intervención de Defensa.
- 30 de mayo — Jefe Gabinete de Prensa del Ministerio de Defensa.
- 31 de mayo — Asociación Astronómica de Sabadell.
- 03 de junio — Grupo “Cruz Roja” de Jerez.
- 09 de junio — Alumnos Curso de Hidrografía de la ESHIDRO.
- 10 de junio — Grupo de Mayores del Ayto. de Montellano (Sevilla).
- 14 de junio — C.E.P.E.R “Pintor Zuloaga”
- 23 de junio — Alumnos de la ENM
- 05 de julio — Grupo Juvenil. del Ayuntamiento de Villamartín.
- 06 de julio — Observación nocturna. OAP San Fernando.
- 21 de julio — Proyecto “Ilusiones”. Ayto. San Fernando.
- 29 de julio — Buque Escuela “Américo Vespucci”
- 30 de agosto — I Batallón de Desembarco del Tercio de Armada.
- 24 de septiembre — CCVI Conmemoración 24 de septiembre de 1810.
- 02 de octubre — Encuentro Escuelas Taurinas de Andalucía.
- 07 de octubre — Jornadas Cervantinas.
- 09 de octubre — X Aniversario SAES en San Fernando.
- 10 de octubre — Vicealmirante Jaramillo (Armada Colombiana)
- 11 de octubre — Día de la Fiesta Nacional. Jornada de Puertas Abiertas.
- 14 de octubre — Visita RSEM (Jornadas Cervantinas).
- 28 de octubre — Asociación Cultural “Dr. López Romasanta” (Sevilla)
- 07 de noviembre — Observación Astronómica.
- 08 de noviembre — Observación Astronómica.
- 09 de noviembre — Semana de la Ciencia. Café con Ciencia.
- 10 de noviembre — General Director de Sanidad de la Armada.
- 14 de noviembre — Grado en Matemáticas. Universidad de Sevilla.
- 16 de noviembre — Aula de Mayores de Morón. Universidad de Sevilla.
- 16 de noviembre — Jornadas SICI del Ejército de Tierra.
- 18 de noviembre — Grado en Matemáticas. Universidad de Granada.

- 21 de noviembre . Consejero de Economía de la Junta de Andalucía y autoridades municipales
- 16 de diciembre . Grupo de voluntariado de Cruz Roja. Hospital "Puerta del Mar"
- 16/19 de diciembre Máster "Arqueología subacuática".
- 20 de diciembre Reunión Nacional Anual "Laboratorios MSD".

Durante el año 2016 han visitado el Real Instituto y Observatorio de la Armada un total de 6080 personas, según el siguiente desglose:

- 48 Institutos de Educación Secundaria, que han aportado un total de 1801 alumnos.
- 1368 turistas, de los cuales 764 han sido derivados desde la Oficina de Turismo
- Se han atendido un total de 20 visitas institucionales, que han aportado un total de 501 visitantes.
- 2410 personas han acudido al centro con grupos de Centros Universitarios, Ateneos y Asociaciones Culturales,…

## B.3. Conferencias

- Escuela de Estudios Superiores, alumnos de primer año del Master en Astronomía, Geodesia y Geofísica.
  Fecha 7 de mayo de 2015.
  Conferenciante: Dra. Yasmina Martos.

- Título: *La navegación astronómica a través de la historia. El problema de la longitud.*
  Semana Naval de la Armada en Madrid. Escuela de Guerra Naval.
  Fecha 21 de septiembre de 2015.
  Conferenciante: Titulado Superior D. Francisco José González González

- Título: *Instrumentos náuticos. Evolución histórica.*
  Semana Naval de la Armada en Madrid. Escuela de Guerra Naval.
  Fecha 21 de septiembre de 2015.
  Conferenciante: Titulado Superior D. Francisco José González González.

- Título: *Astrometría en el Real Instituto y Observatorio de la Armada. ..*
  V Jornadas Andaluzas de Astronomía (VJAA).
  Fecha: 09 de octubre de 2015.
  Conferenciante: CF. D. Javier Montojo Salazar.

- Título: *La saturación del Espacio: detección y seguimiento de basura espacial con telescopios.*
  Real Academia de San Romualdo (San Fernando).
  Fecha: 20 de octubre de 2015.
  Conferenciante: CF. D. Javier Montojo Salazar.

- Título: *La navegación astronómica y los instrumentos náuticos a través de la historia.*
  Ciclo de conferencias ESI.
  Escuela Superior de Ingeniería de la UCA (Puerto Real).

Fecha: 23 de octubre de 2015.
Conferenciante: Titulado Superior D. Francisco José González González.

- Título: *Café con Ciencia*.
  Semana de la Ciencia.
  Real Instituto y Observatorio de la Armada.
  Fecha: 5 de noviembre de 2015.
  Conferenciante: CF. D. Javier Montojo Salazar.

- Título: *Cinco siglos circunnavegando el planeta.*
  Ciclo *Las expediciones Malaspina*.
  Castillo de Santa Catalina (Cádiz).
  Fecha: 12 de noviembre.
  Conferenciante: Titulado Superior D. Francisco José González González.

- Título: *El Ártico y la Antártida, estrategia científica en los lugares más frios y hostiles de nuestro planeta.*
  Ciclo II Jornadas sobre seguridad, Defensa, Tecnologías matemáticas y computacionales.
  Universidad de La Coruña
  Fecha: 12 de noviembre.
  Conferenciante: CF. D. Manuel Catalán.

- Título: *Basura espacial, el TFRM y sus actividades en SST.*
  IES Martínez Español de Sevilla..
  Fecha: 17 de diciembre de 2015.
  Conferenciante: CF. D. Javier Montojo Salazar.

## B.4. Instituciones y Organismos colaboradores

### B.4.1. Nacionales

- Instituto de Astrofísica de Canarias.
- Instituto de Astrofísica de Andalucia.
- Instituto Geológico y Minero de España.
- Instituto Español de Oceanografía.
- Centro Español de Metrología.
- Observatorio Fabra.
- Real Academia de las Ciencias y las Artes de Barcelona.
- Sociedad Española de Estudios para la Comunicación fija a través del Estrecho de Gibraltar.
- Observatorio Virtual Español.
- Universidad de Cádiz.
- Universidad de Barcelona.
- Universidad Politécnica de Madrid (UPM).
- Universidad de Sevilla.
- Universidad de La Rioja.
- Universidad de Murcia.
- Universidad Internacional Menéndez Pelayo.
- Universidad Complutense de Madrid.
- Universidad Pública de Navarra.
- Universidad Politécnica de Madrid.
- Universidad de Granada.
- Instituto Jaume Almera.
- Ayuntamiento de San Fernando.
- Servicio Geográfico del Ejército.
- Autoridad Portuaria de Gijón
- Entidad Nacional de Acreditación (ENAC).
- Servicio de Información en Metrología, Calibración y Ensayo (SIMCE).
- Fundación Alvargonzález.
- Fundación Campus de Excelencia de Investigación del Mar.
- Fundación Descubre.

### B.4.2. Extranjeras

- Universidad Nacional de San Juan. Argentina.
- Observatorio Astronómico Félix Aguilar. Argentina.
- Observatorio de la Côte d'Azur. Francia.
- Observatório Nacional de Rio de Janeiro. Brasil.
- Observatorio de Antalya. Turquía.
- Georgia Institute of Technology, Atlanta, EE.UU.
- Centro de Investigaciones de Astronomía (CIDA, Venezuela).
- Buró Internacional de Pesas y Medidas (Sèvres, Francia).
- Observatorio Nacional de Tokio.
- Observatorio Naval de Washington (Washington, DC, EE.UU.).
- Instituto Nazionale di Ricerca Metrologica (Turín, Italia).
- Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Braunschweig, Alemania).
- Institute of Photonics and Electronics (Praga, Rep. Checa).
- *GeoforschungsZentrum* (GFZ, Potsdam, Alemania).
- Woods Hole Oceanographic Institute (WHOI-USGS)

## B.5. Reportajes de Medios de Comunicación

- El 23 de enero se publica en el diario "La Vanguardia" una entrevista al TN Canals sobre proyectos desarrollados en el TFRM, centrándose en los trabajos en SST.

- Durante el mes de febrero se publica en la revista "Universo" un reportaje titulado "En busca del tiempo perfecto", con la participación del CN Galindo, Jefe de la Sección de Hora.

- El 6 de octubre se lleva a cabo una entrevista al Jefe de la Sección de Hora, CN. Galindo Mendoza, por parte de la productora audiovisual Polar Star Films, con sede en Barcelona, para un largometraje documental con título provisional "El tiempo es dinero", dirigido por la directora alemana Cosima Dannoritzer. "El tiempo es dinero" es una coproducción entre 10 televisiones europeas incluyendo Arte (Francia/Alemania), RTS + SRF (Suiza), RTV (Eslovenia), Servus TV (Austria), TVC + TVE (España), TVP (Polonia), Yes TV (Israel) e YLE (Finlandia).

- El 11 de noviembre se realiza entrevista radiofónica del CN. Martín Davila, Comandante-Director, sobre el tema de "basura espacial".

- El 16 de noviembre, se lleva a cabo una entrevista para Radio Nacional de España, para el programa que se emite en directo: "España, vuelta a vuelta". Para ello el CN. Martín Davila se desplaza a los estudios de RNE en Cádiz. Tema: "basura espacial".

- El 20 de noviembre se publica en el periódico “El Faro de Vigo” un reportaje realizado al Comandante-Director, CN. Martín Davila, sobre la “basura espacial”.

- El 29 de noviembre se publica en el “Diario de Cádiz” una entrevista al CF Montojo sobre las actividades del ROA en SST titulada “Un cielo de chatarra”.

- El 29 de diciembre se efectúa una entrevista al CF. Galindo Mendoza sobre el segundo intercalar para la sección “Futuro” del diario digital El Independiente.

- El 27 de diciembre se entrevista al TN Roberto Cabieces Díaz, de la Sección de Geofísica, para su inclusión en un documental sobre “terremotos” por parte de la productora “Savitel”.

- El 31 de diciembre se entrevista al CN Fco. Javier Galindo Mendoza, Jefe de la Sección de Hora, sobre “el segundo intercalar” por parte del “Independiente”.

PUBLICACIONES
Pd
DE DEFENSA

GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE DEFENSA

SECRETARÍA
GENERAL
TÉCNICA

SUBDIRECCIÓN GENERAL
DE PUBLICACIONES
Y PATRIMONIO CULTURAL