



**REAL INSTITUTO Y OBSERVATORIO DE LA ARMADA
EN SAN FERNANDO**

**BOLETIN ROA
No. 17/93**

**CIENCIA Y ENSEÑANZA EN LA ARMADA
ESPAÑOLA**

**Manuel Catalán Pérez-Urquiola
Almirante Director
Real Instituto y Observatorio de la Armada**



REAL INSTITUTO Y OBSERVATORIO DE LA ARMADA
EN SAN FERNANDO

BOLETIN ROA
No. 17/93

CIENCIA Y ENSEÑANZA EN LA ARMADA
ESPAÑOLA

Manuel Catalán Pérez-Urquiola
Almirante Director
Real Instituto y Observatorio de la Armada

Edita: Servicio de Publicaciones Armada

Edita: Servicio de Publicaciones Armada
Imprime: Real Instituto y Observatorio de la Armada
San Fernando (Cádiz), Abril 1993
NIPO 098-93-010-5

CIENCIA Y ENSEÑANZA EN LA ARMADA ESPAÑOLA

Manuel Catalán. Almirante-Director del Real Instituto y Observatorio Armada

LA ASTRONOMIA PRECOLOMBINA

La esfera celeste ha supuesto a lo largo de los siglos la disposición de un sistema de referencia natural que permitió el desarrollo de la navegación lejos de la costa. Su estudio supuso el impulso de una astronomía que buscaba, a la vez que contestar a inquietudes profundamente sentidas en la mente del hombre, el desarrollo de las ciencias matemáticas y de una tecnología que pretendía, a través del cálculo de las efemérides de los astros, la determinación del posicionamiento de las naves y los levantamientos cartográficos precisos para una navegación segura.

Si el navegante necesita en general del conocimiento matemático, el Oficial de la Armada necesitó ya en el pasado, además, las bases de unas enseñanzas técnicas que fueron en España impulso al conocimiento docente y permitieron, a través de la Armada, la incorporación de España a las corrientes de la Ilustración y su presencia actual en el estudio de la geometría del Universo y los desarrollos tecnológico-docentes que ello significa y exige.

Trasladándonos hacia el pasado la astronomía es, sin duda, la más antigua de las Ciencias, que acompañó e impulsó el progreso del hombre desde sus albores hasta la civilización tecnológica actual.

La astronomía debió tener, además, una gran importancia práctica ya que, al enlazar desde sus inicios con su misterio los orígenes y futuro del hombre primitivo, permitía intuir las indemostrables correlaciones que dieron origen a las supersticiones astrológicas y hacía depender, de alguna forma, sus primitivas economías de las fechas de sus plantaciones y recolección.

Aún con anterioridad, la posición relativa de los astros debió fijar, no sólo el inicio de las migraciones de nómadas sino que, al orientar la trayectoria entre los puntos de invernada y estiaje debió fijar el origen de una cierta "navegación" terrestre, fluvial lacustre y quizá interinsular, basada en la observación de la posición relativa de las constelaciones.

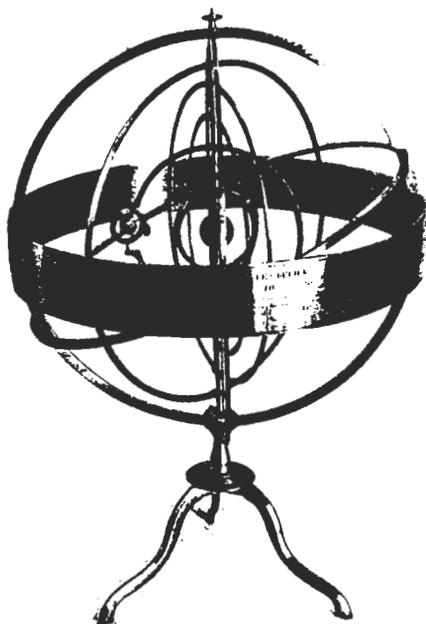


FIGURA: ESFERA ARMILAR. La esfera armilar, empleada desde la antigüedad, es una combinación de varios círculos, que pueden considerarse como los círculos fundamentales de la esfera celeste. La que aquí representamos, sigue el sistema descrito por Ptolomeo en su libro *Almagesto*, fundamentándose en observaciones más antiguas, probablemente de Hiparco. En éste, la tierra situada en el centro de la esfera celeste, no tiene movimiento alguno y los movimientos aparentes de las estrellas y planetas a su alrededor se consideran como reales. Tiene 8 armillas (Meridiano, la Luna, Mercurio, Venus, Sol, Marte, Júpiter y Saturno) y en el plano de la eclíptica una franja zodiacal.

Sin embargo, es evidente que los antiguos desconocían por completo la verdadera naturaleza de las estrellas que suponían puntos luminosos que, al impulso de la superstición, observaban inquietos y temerosos sin pretender esbozar ninguna teoría.

Quizá sean los fenicios los primeros hombres que aplicaron a la navegación las nociones de una astronomía elemental que incluía la práctica de reconocer el norte por la observación de estrellas circumpolares, estimando la posición con la observación de las Osas según las técnicas aprendidas por los caldeos.

De estas primitivas nociones Tales de Mileto trasladaría a Grecia los rudimentos de la observación astronómica con fines náuticos desarrollando, posteriormente, unas tabulaciones a partir de las que se podía estimar la latitud, o altura del polo, observando la posición relativa de las constalaciones y estrellas septentrionales.

Hipparcos fué el primero que planteó la situación de los lugares en dos coordenadas superficiales fijando en las Islas Afortunadas un "*primer meridiano*", al que debían referirse los demás.

Por inexactas que fuesen estas determinaciones es indudables que constituyeron ya, en aquellas épocas, una primera aproximación a nuestro conocimiento geográfico sobre una base astronómica.

Aristóteles refutó con firmeza la hipótesis de una Tierra plana, alegando existían constelaciones visibles en Alejandría, pero no desde Atenas, y que la sombra tanto de la Luna

como de la Tierra era circular durante los eclipses. Todos estos conceptos, hoy evidentes, eran en la época de los antiguos jonios tema de discusión en un mundo que mezclaba las verdades físicas con razonamientos puramente filosóficos.



FIGURA: EL SISTEMA SOLAR

El último gran astrónomo de la antigüedad fue Ptolomeo de Alejandría, que perfeccionó un modelo de *"Sistema del Mundo"*. Poco sabemos de su vida, pero no cabe duda de su ingenio que permitió trasladar, a la ciencia medieval, la imagen jónica de un Universo ordenado y jerárquico donde los planetas giraban alrededor de la Tierra en complicados movimientos circulares de epiciclos y deferentes permitiendo, con gran complejidad y dudosa exactitud, simular aproximadamente los observables de los planetas desde una Tierra rodeada por capas sucesivas de agua, aire y fuego, en un Universo en que una última esfera transparente engarzaba las estrellas.

Se trataba, en su conjunto, de una astronomía que reducía todos los movimientos celestes a una suma de movimientos circulares sobre esferas cristalinas, giratorias unas dentro de otras, con velocidades de rotación constantes y donde, para explicar el movimiento de los planetas, había que multiplicar el número de esferas, adoptar ejes de rotación diferentes y variar el origen de los epiciclos, ecuantes, deferentes, etc. El conjunto resultante se podía representar, e incluso reproducir, por un mecanismo parecido al de los monumentales relojes de algunas catedrales, que además de las horas indican la posición del Sol, Luna e incluso planetas. De hecho, los

antiguos construían un modelo matemático en el que la acumulación de esferas rotantes no era otra cosa que un modo intuitivo de reducir una función periódica a una suma de funciones circulares, en un procedimiento matemático parecido al actual Análisis de Fourier, confundiendo el modelo de cálculo con la realidad.

Los españoles, influídos fundamentalmente por los fenicios y partiendo especialmente desde las costas de Andalucía, fueron los primeros navegantes que se aventuraron en la antigüedad a través del Estrecho hacia las costas atlánticas del norte frecuentando, en sus pesquerías, el occidente de Africa y extendiendo sus navegaciones, según Plinio y Estrabón, quizás hasta las costas de Etiopía doblando el Cabo. Los cartagineses aprovecharon estos conocimientos en las expediciones de Himilcon hacia poniente y norte, costeano Europa, y de Hannon que navegó hacia el sur costeano las costas africanas.

Si bien es verdad que los árabes no aportaron grandes inventos o descubrimientos al progreso de la astronomía, su labor fue extraordinariamente trascendente por haber trasladado hacia la posteridad los conocimientos de la antigua Grecia.

Almanzor al recoger los libros filosóficos que se hallaban en Grecia para su traducción al árabe inició, en el 827 de nuestra era, con el "*Almagesto*" de Ptolomeo, los estudios que sirvieron posteriormente de base a los trabajos Thebit para determinar la longitud del año, y a Albagtenio para la reforma de las Tablas de Ptolomeo complementadas con unas observaciones que, corregidas dos siglos después por las observaciones de Airzacher, sirvieron de base a las Tablas Toledanas y, a Albohecen, para el estudio de un tratado del movimiento y lugar de las estrellas fijas, que traducido del árabe al español y dedicado a Alfonso el Sabio, sirvió para corregir las Tables Alfonsinas una vez concluídas y publicadas.

Este espíritu científico penetró hacia el siglo XII en los reinos de Castilla y León preparando el camino a Alfonso X que, estimando que la acumulación de errores producidos por el paso del tiempo en las Tablas de Ptolomeo hacía muy difícil su corrección, concibió la necesidad de efectuar unas nuevas convocando más de 50 sabios que, en cuatro años, generaron las famosas Tablas Alfonsinas que referían, al Meridiano de Toledo, los movimientos y fenómenos celestes. Como curiosidad cabe comentar que con la publicación de estas tablas se inició en España el uso de los números árabes en sustitución de los romanos, por entonces en uso en Europa.

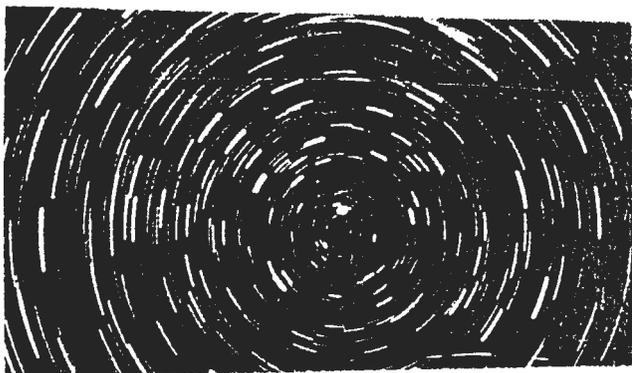


FIGURA: TRAZA DE LAS ESTRELLAS PRODUCIDO POR LA ROTACION DEL PLANETA EN EL CENTRO DE LA ESTRELLA POLAR

Las Tablas Alfonsinas estaban fundadas en la hipótesis de Ptolomeo, con alguna diferencia en el movimiento de los planetas sugerida por los astrónomos judíos y que una vez corregidas, cuatro años después de su publicación constituyeron, en su conjunto y durante más de dos siglos, la norma y pauta de todos los navegantes europeos.

En Portugal los reyes atrajeron a su servicio al conocido rabino Abraham Zacuto, natural de Salamanca y profesor de astronomía en Zaragoza, que fué nombrado astrónomo y cronista del Rey D. Manuel. La más célebre de sus obras fué su "*Almanaque Perpetuo*" cuyas efemérides o Tablas están calculadas para el meridiano de Salamanca e impresas en Valencia, y que, traducidas al latín y castellano, sirvieron de guía a los navegantes y descubridores del siglo XVI para sus observaciones de aplicación a la astronomía náutica.

ASTRONOMIA Y NAVEGACION EN EL DESCUBRIMIENTO.

Y en esta situación de unas ciencias náuticas, limitadas en su desarrollo por la imagen cosmológica de Ptolomeo, los navegantes españoles descubrieron el Nuevo Mundo desamparados, en gran parte, de las técnicas astronómicas. Fenómenos elementales como el movimiento de la Estrella Polar, la refracción, la declinación magnética, la rotación e incluso la forma de la Tierra, no sólo eran desconocidos sino que, frecuentemente, eran interpretados de forma errónea y rechazados como contrarios a la filosofía de la época.

Referente a la cartografía, la esfericidad de la tierra complicaba el trazado de las derrotas al aparecer representadas como curvas las líneas que, a rumbo constante, unían los puntos de salida y llegada, surgiendo la necesidad de inventar una cartografía plana que representando meridianos y paralelos pudieran resultar rectas las líneas de los rumbos con un error, que estimaron sería casi imperceptible, en mares de corta extensión y con pequeñas variaciones en la latitud de las travesías.

En el archivo de la Real Cartuja de Val de Cristo, junto a Segorve, se conserva una carta hidrográfica plana de origen mallorquín debida a Maciá de Viladestes (1413), trazada en un pergamino de cinco palmos de largo y cuatro de ancho comprendiendo todo lo descubierto de Europa, Africa hasta Guinea y los confines de Asia incluyendo por el occidente las Canarias y Cabo Verde. Más conocida es la carta hecha en Mallorca por Gabriel de Valseca, que compró Americo Vespuccio en 130 ducados de oro, que conteniendo los reinos y provincias de Europa, Asia y Africa hasta Río de Oro, describió en breves notas sus puertos, lugares y costumbres.

Como vemos, existía entonces un mundo bastante conocido aunque no perfectamente descrito, que era el Viejo Continente, y otro parcial e imperfectamente conocido que era el resto de la Tierra. No había nacido el cosmógrafo Mercator, que poco después descubriría la representación de su nombre, pero hay constancia de que ya disponía Magallanes de cartas cuadradas con redes de meridianos y paralelos sobre las que se llevaba la cuenta del rumbo y distancia navegada únicos elementos, aparte de la latitud, que durante muchos siglos definieron las derrotas de los buques en la mar. Aquella "*navegación de fantasía*" no podía ser más

elemental debido a que a las imperfecciones de las agujas se unía un desconocimiento casi absoluto de la declinación y otras causas, a las que habría que añadir los efectos del abatimiento por corrientes desconocidas. Esta misma o mayor incertidumbre habría de recaer, sin duda, en cuanto a la cuenta de las distancia navegadas basadas, por entonces, en el sistema denominado de la "cadena de popa", sinónimo de la más primitiva y elemental de las correderas.



FIGURA: GLOBO TERRAQUEO DE CORONELLI

En estas condiciones y al impulso del Descubrimiento fueron surgiendo las primeras objeciones a la astronomía medieval marcando en la historia del pensamiento occidental, Copérnico con su obra, una fecha decisiva sobre la que posteriormente habría de desarrollarse la revolución científica de los siglos XVII y XVIII cambiando la idea de un universo medieval, jerarquizado y cerrado, por unos planteamientos que, con su posterior desarrollo, abrieron el camino a la época espacial. Copérnico criticaba a su astronomía contemporánea la gran complejidad y poca fiabilidad con que predecía los eclipses y los movimientos observados de los planetas, en especial de Marte, observando que la hipótesis heliocéntrica, aunque inquietante como opuesto a las creencias de la época mejoraba, en simplicidad y exactitud, las predicciones de su modelo.

En el prólogo del *"Revolutionibus"* Oslander puntualizaba que los planteamientos de Copérnico respondían a una hipótesis, modelo abstracto, simple y conveniente para los cálculos, sin tener necesariamente que responder a un planteamiento real.

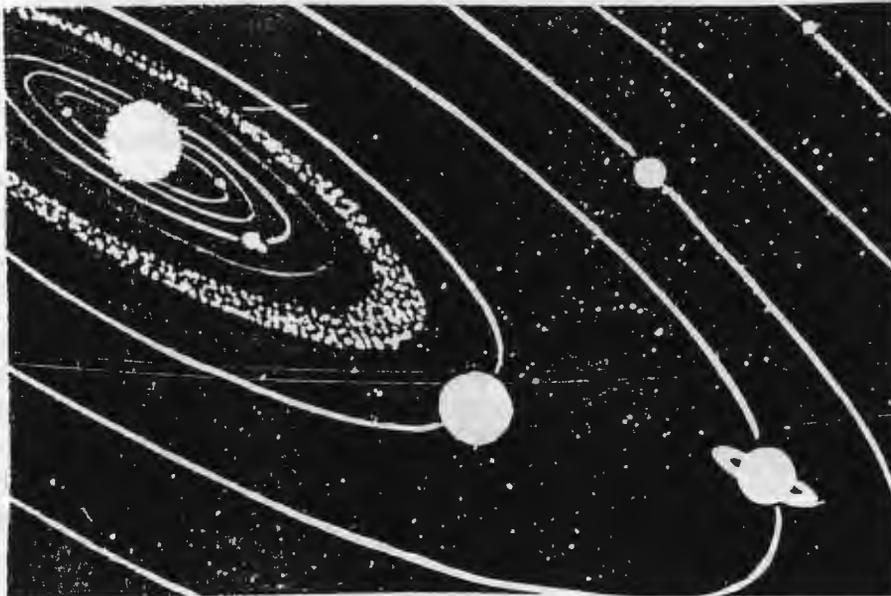


FIGURA: EL SISTEMA SOLAR CON SU ANILLO DE ASTEROIDES

Esta cuestión del valor de las hipótesis en Astronomía, que podríamos llamar en lenguaje moderno modelos matemáticos, era muy viva en los siglos XVI y XVII y el Santo Oficio al censurar el libro de Copérnico exigía hablar del nuevo sistema, no en modo absoluto, sino como un nuevo planteamiento matemático, especialmente conveniente a efectos de cálculo. La hipótesis del sistema de Copérnico era contraria a la antigua tendencia de identificar el centro de la Tierra con el del Universo. Esta identificación tenía consecuencias fundamentales y se basaba en las creencias de que todo cuerpo pesante debía caer al centro del Mundo y no apartarse de él, sugiriendo la conclusión, propuesta en el *"Almagestum Nobum"*, de postular que aún cuando se

podrían apartar la Tierra, o alguno de sus fragmentos, del centro del Mundo, al dejarlos libres caerían naturalmente al centro del Universo, que esta creencia sugería único y ligado a nuestro planeta.

Copérnico apuntó la necesidad de considerar la gravedad como una propiedad de la materia imaginando la Tierra, el Sol, la Luna y los distintos planetas, no ya centros del mundo, sino simples centros de gravedad. Esta hipótesis, que eliminaba el viejo concepto de centro universal, asignaba a la materia de los cuerpos celestes su naturaleza de graves, dejando abierto el camino a que posteriormente Newton, con un mejor conocimiento de la mecánica y el apoyo de nuevos formalismos matemáticos, afrontara definitivamente el problema.

Giordano Bruno completó los planteamientos de Copérnico concibiendo, con extraordinaria intuición, un Universo en el que la Tierra no sólo quedaba asimilada a los planetas, sino que el Sol era una estrella más en un todo de estrellas. Bruno opuso el infinito de su universo a lo finito de los planteamientos medievales. Universo infinito y unidad en la naturaleza.

LA NUEVA ASTRONOMIA

Bruno y Copérnico, con sus planteamientos, dejaron abierto el camino a la ciencia moderna y a las observaciones de alta precisión de Tycho Brahe. Tycho fue un observador dotado de una técnica experimental sin precedente. Sus planteamientos astronómicos distaban de ser modernos, su universo mantenía las esferas clásicas, pero había conseguido construir un observatorio, dotado de nuevos instrumentos, que fue la admiración de sus contemporáneos. Ideó dispositivos muy originales para mejorar al máximo la estabilidad instrumental y evitar en lo posible el efecto del paralaje. Tycho, que era un gran organizador, hizo que no faltase un taller mecánico, un laboratorio de química e incluso una imprenta para las publicaciones del Observatorio, organizando con sus asistentes y personal auxiliar del Observatorio la observación sistemática de las estrellas para corregir y revisar todas las tablas astronómicas basadas, en aquellos tiempos, en las de nuestro Rey Alfonso y que al datar de 1257, necesitaban urgentemente una revisión.

Kepler trató de ajustar la dinámica planetaria a las asombrosas observaciones de Tycho, precisas dentro del minuto, definiendo en sus leyes orbitales las reglas de unos movimientos planetarios válidos en nuestros días en cálculo de órbitas en primera aproximación.

Kepler observó varios cometas, entre ellos el Halley en 1607, organizando observaciones astrométricas generalizadas para determinar, lo mejor posible, la variación diaria de su paralaje. Con este cúmulo de datos no solamente confirmó que el cometa no era sublunar, sino que al intentar formarse una idea de su órbita cuando se alejaba del Sol, estimó que por efecto de su gran excentricidad, el fragmento de órbita coincidía aproximadamente con una recta.

La importancia real de estas observaciones quizás fue que Kepler, día a día, determinó su distancia y posición en el espacio interplanetario, usando ya la hipótesis del sistema copernicano.

Con el material acumulado por Tycho determinó Kepler exactamente la órbita de Marte y postuló la ley de las áreas rompiendo, definitivamente, con los movimientos circulares que durante milenios habían prevalecido y limitado el desarrollo de la astronomía ofreciendo, posteriormente a Newton, la posibilidad de confirmar sus leyes de la gravitación.

Galileo introdujo, por primera vez, el complemento de los instrumentos ópticos marcando, con su pequeño telescopio, el símbolo de la nueva astronomía. Entre 1610 y 1619, la actividad de Galileo fue particularmente eficaz, observó la Luna, describió sus montañas, estudió sus sombras y estimó que sus alturas eran muy superiores a las cordilleras terrestres. Estudió la luz reflejada en la Luna y concluyó que brillaba por reflejo, igual que cualquier otro planeta.

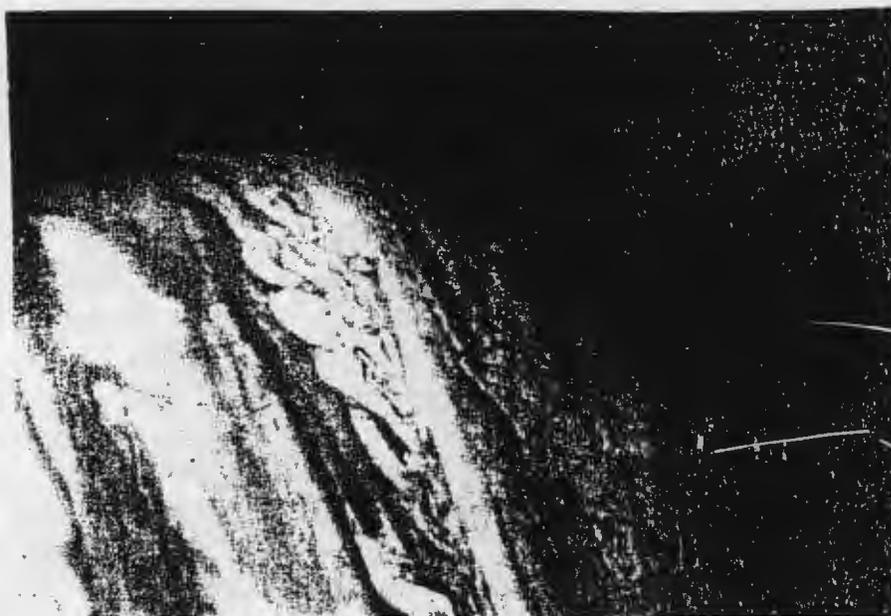


FIGURA: GRAN MANCHA DE JUPITER

El 7 de enero de 1610 Galileo, durante una observación de Júpiter, vió tres nuevos astros en las proximidades del planeta. Al día siguiente vió dos, y tres días más tarde cuatro, adquiriendo la convicción de que se trataba de satélites del planeta levantando, en unión y observación simultánea con Kepler, las tablas de su posición y períodos. Durante todo un período sideral de Júpiter se sucedieron las observaciones incorporando un rudimentario micrómetro a su telescopio para determinar la separación de Júpiter y los parámetros de sus órbitas.

La importancia filosófica del descubrimiento de estos satélites fue básica para rechazar la hipótesis de Ptolomeo. Si otro planeta, distinto de la Tierra, era base de un sistema planetario el protagonismo de nuestro planeta desaparecía. Posteriormente observó Saturno, sin poder descubrir su anillo, que encontró difuminado en lo que definía como un planeta triple. La esperanza de Galileo tenía mucho que ver con la astronomía náutica ya que, de conocerse las

efemérides de los satélites de Júpiter, se dispondría de un método accesible para datar, en nuestro planeta, los fenómenos simultáneos y observables a nivel global, necesarios para calcular las longitudes de los lugares.

Peirsec, consejero del Parlamento de Provenza y alumno de Galileo durante diez años, ensayó la determinación de algunas longitudes por el método de observar las ocultaciones de los satélites de Júpiter, con resultados desalentadores, debido a la baja fiabilidad de las ampolletas en la medida del tiempo, por lo que recurrió al establecimiento en el Mediterráneo oriental de una red de observaciones de luna que permitió corregir la cartografía oriental.

Los trabajos de Kepler, Copérnico, Tycho y Galileo supusieron el principio de la moderna astronomía y su elevación al nivel científico. El pequeño libro de Galileo "*Sidereus Nuncius*" causó estupor entre los astrónomos. Se anunció la existencia de otros objetos que el ojo humano no había alcanzado a vislumbrar; de repente se hizo realidad que en la Luna había montañas, la naturaleza de las manchas del Sol, la extraña forma de Saturno, se podía seguir en el espacio la misteriosa evolución de los cometas iniciando, de esta forma, los primeros estudios de la física de los astros y el nacimiento de las ciencias astrofísicas.

Como es frecuente en todas las ciencias, estos cambios revolucionarios en la astronomía de comienzos del siglo XVII tuvieron lugar en muy pocos decenios, siendo la afortunada coincidencia de tres grandes astrónomos lo que la hizo posible. Tycho Brahe fue su organizador y meticuloso observador; Kepler, que no estaba dotado para la observación, encontró en el material de observación de Brahe la base experimental de sus descubrimientos. Galileo abrió insospechadas posibilidades a la observación del firmamento con el uso del telescopio. Después de estos tres grandes hombres hay que esperar hasta la llegada de Newton para en el encuadre teórico de la Teoría de los Graves, consolide, definitivamente, el sistema de Copérnico.

Y es junto en el instante en que la Astronomía se establece como Ciencia, cuando inmediatamente se la utiliza en su más prometedor aplicación: la de proporcionar cada vez con más rigor y de la forma más completa los elementos que precisa el marino para obtener la dirección y situación de su nave, siendo, precisamente, los esfuerzos realizados para resolverlos lo que determinarían el mayor progreso de la Astronomía, el estímulo para la creación de los nuevos observatorios y, un siglo después, la solución definitiva de la posición en la mar.

EL PROBLEMA DE LA DETERMINACION DE LAS LONGITUDES

La determinación de las latitudes, bien por altura de la estrella polar o más generalmente por alturas meridianas del sol, cuyas efemérides eran conocidas con suficiente precisión, no presentaba por el momento una mayor dificultad tanto para su determinación en posicionamiento fijo, como en la mar: "... *Único dato de que se valían los marinos y en el que estribaba su mayor seguridad ...*", encontrándose en marcha progresos considerables que darían lugar a la mejora de la instrumentación de los observatorios fijos y a la aparición, en 1731, del cuadrante de reflexión de Halley, instrumento inmediato precursor del actual sextante.

La observación de la longitud en la mar era, como hemos visto el problema a resolver, teniendo el navegante que deducir esta coordenada con la cuenta de su estima durante su derrota y atribuirla al puerto de llegada.

Un promedio de las longitudes declaradas por los distintos navegantes venía, en la mayor parte de las ocasiones, a representar oficialmente la longitud de los puertos menos importante aunque, gracias a las iniciativas de los geógrafos, empezaban ya a aparecer cartas, cada vez mejor fundamentadas, conteniendo puntos determinados con precisión sobre bases de observación astronómica.

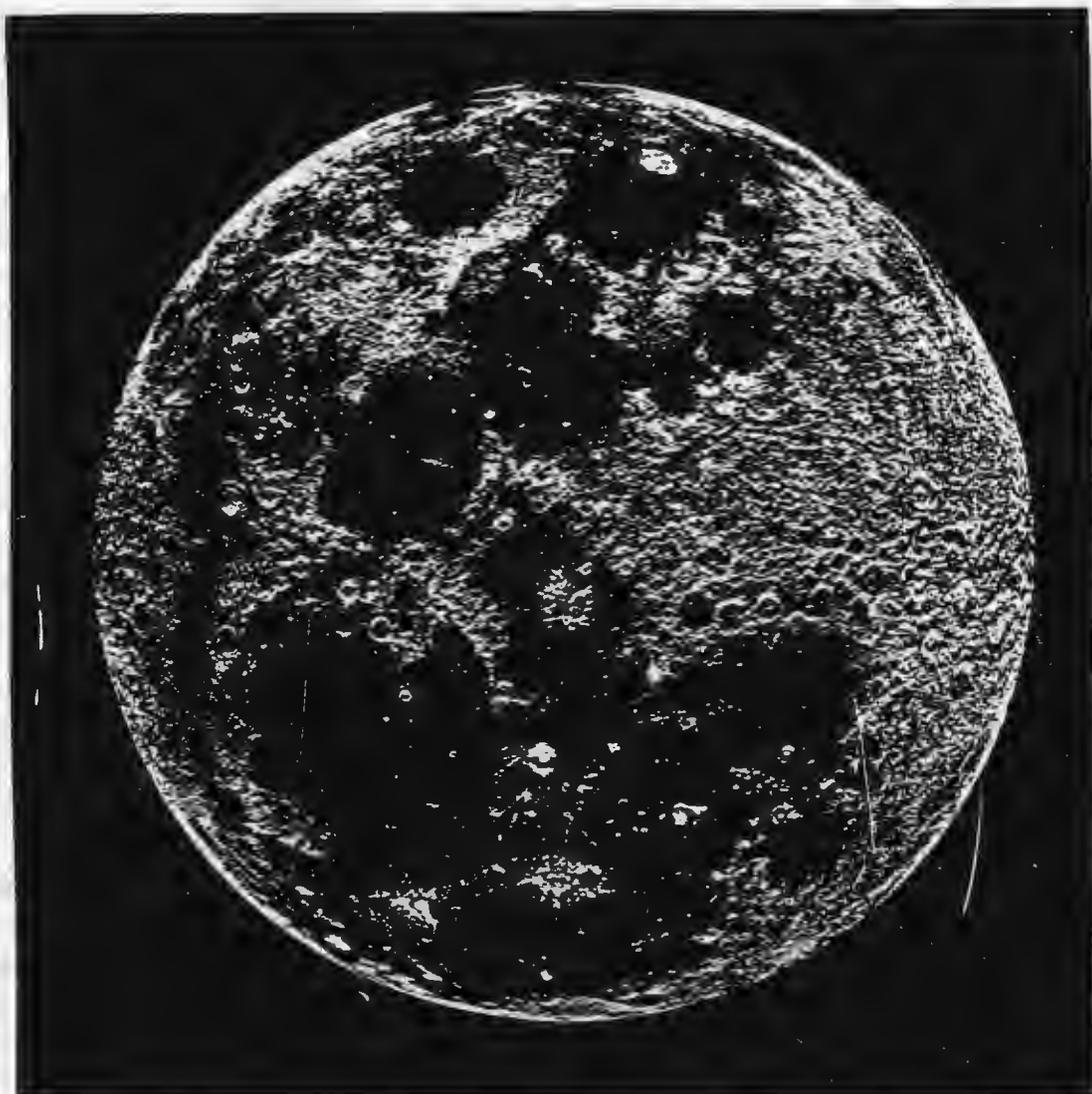


FIGURA: Vista de la luna. Inicialmente y a efectos de definir el tiempo se la consideró como un posible reloj cósmico.

El problema de las longitudes está ligado al giro de la Tierra y se plantea de un modo muy sencillo: la diferencia en longitud es precisamente la diferencia de la hora de paso de un mismo astro por el meridiano de cada lugar. Dado que para conocer esta diferencia es siempre preciso que los péndulos o relojes de las estaciones que hacen la observación del astro se hayan sincronizado previamente, aparece el concepto de la sincronización a distancia como gran problema de todos los tiempos, que entonces había que efectuar mediante la anotación de la hora de observación de un mismo fenómeno astronómico bien definido y visible en las dos estaciones, del cual fuera susceptible deducir una simultaneidad. En general el fenómeno a observar sería un eclipse, la ocultación de un planeta o estrella por la luna, el paso de un planeta por el disco solar y las ocultaciones múltiples de Júpiter y de sus satélites.

Ya Americo Vespuccio había considerado que el movimiento de la Luna entre las estrellas, aunque era un posible candidato, conllevaba la dificultad de conocer su posición con precisión suficiente y la complejidad en la reducción de sus cálculos, lo que explicaba el fallo de los intentos efectuados en los siglos XVI y XVII.

En este estado de la ciencia, Carlos II decide crear un Observatorio Real en Greenwich, en la embocadura del Támesis con la misión fundamental de resolver los problemas de la navegación e impulsar su progreso abordando definitivamente la determinación de las longitudes; nombrando a Flamsteed "Astrónomo Real" con una pensión anual de 100 libras y el encargo de plantear y desarrollar los programas astronómicos útiles para la navegación.

El problema requería una actividad en diversos frentes, por una parte habría de desarrollarse el estudio de los procesos que permitieran determinar el tiempo en la mar, referido a un meridiano origen, bien por la observación de sucesos simultáneos bien manteniendo la hora con mecanismos mecánicos idóneos para funcionar en el océano. El desplazamiento rápido de la luna con respecto a las estrellas fijas parecía menos fácil de utilizar que el girar de las agujas de un reloj, pero era más fiel al representar un reloj cósmico. Para su materialización se consideraba ideal aprovechar los instantes en que la luna ocultara determinadas estrellas o planetas. El procedimiento adolecía del inconveniente de que este suceso era relativamente poco frecuente y debía complementarse con la medida de la distancia a la luna de estrellas y planetas próximas a su conjunción. Su empleo quedaba subordinado al levantamiento de Efemérides lunares de cierta precisión y referidas al meridiano origen.

Para la determinación de la posición de los astros y sus distancias relativas Newton había diseñado un octante de reflexión, que sería desarrollado por Hadley incorporando un tornillo micrométrico que permitió medir los movimientos del espejo móvil, y orientable, para permitir en una sola visual la posición del horizonte y la estrella.

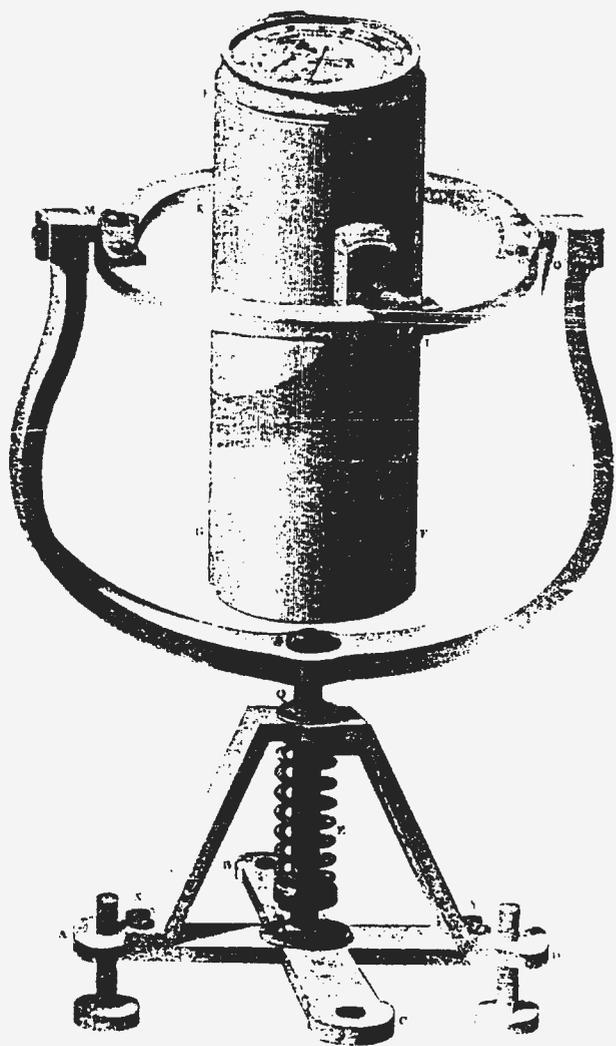


FIGURA: Cronómetro marino. Construido por F. Berthoud en 1787 (Museo Naval). Le Roy y Berthoud en refiada competencia llegan a perfeccionar los cronómetros hasta tal punto que el método basado en su uso luchó ventajosamente con el de las distancias lunares. Esta lámina, que representa el sistema de suspensión ideado por F. Berthoud para este tipo de relojes, pertenece a su tratado de relojes marinos, publicado en París en 1773.



FIGURA: Cronómetro del siglo XVIII construido por Arnold. Pieza clave en la navegación para la determinación de longitudes. (Museo Naval).

Para la determinación y mantenimiento mecánico del tiempo se impulsó el desarrollo del cronómetro marino dotado de un movimiento por cuerda elástica controlando su marcha por una espiral solidaria a la masa oscilante. Propuesto por Huygens en 1675 este dispositivo fue adoptado por Leroy, Berthoud y condujo, finalmente, al desarrollo del cronómetro marino de Harrison y a su cobro del premio acordado de 20.000 florines.

Pocos años antes que el Observatorio de Greenwich Luis XIV fundó el Observatorio de París, a fin de mejorar la obra de Tycho con observaciones que se completarían en el futuro en París.

Picard fué enviado al Observatorio de Uraniborg con la misión de recoger información pasada y determinar las coordenadas del Observatorio de Tycho. El viaje fue especialmente útil desde un punto de vista científico al comprobar que debían corregirse las observaciones meridianas de Tycho en 18' y descubrir, de esta forma, el fenómeno de la aberración detectando, además, las correcciones aplicables a las observaciones de la Polar.

A su regreso a París volvió acompañado por el jóven astrónomo danés Olans Römer constituyéndose la plantilla de astrónomos junto a Auzont y Huygens teniendo como director a Cassini.

En 1675 se descubren los anillos de Saturno, se establecen medidas precisas de los eclipses de Júpiter observando un retraso según las ocultaciones se produzcan en oposición o conjunción. Römer tuvo el mérito de interpretar correctamente estos retardos obteniendo una primera medida de la velocidad de la luz.

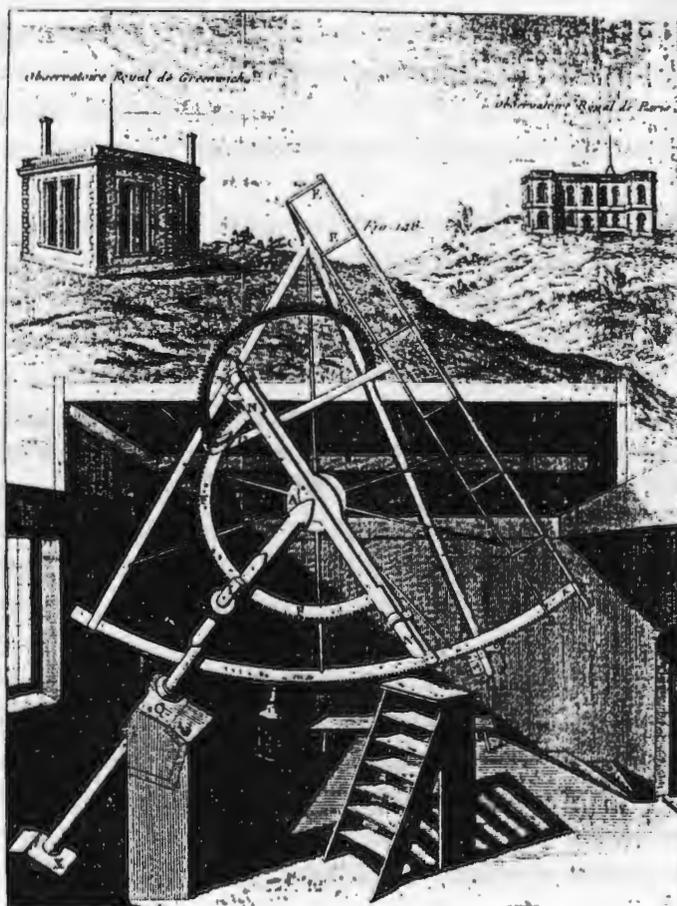


FIGURA: CUADRANTE MURAL DEL OBSERVATORIO DE GREENWICH. Este Observatorio fundado por Carlos II de Inglaterra, tenía como misión fundamental impulsar el proceso de la navegación. M. de La Lande, "Astronomie", París 1771. (Observatorio Astronómico Nacional).

CIENCIA Y TECNOLOGIA EN LAS BASES DE LA ILUSTRACION

Es interesante observar que la solución del problema de la posición en la mar fue la que indujo a que, además de los diferentes intentos para desarrollar una relojería más exacta se efectuara un gran esfuerzo para mejorar el conocimiento de las efemérides astronómicas, todo ello a fin de resolver el problema de la longitud. Estos esfuerzos condujeron a resultados positivos gracias a tres situaciones de gran importancia que tuvieron lugar, casi simultáneamente, en la segunda mitad del siglo XVII principios del XVIII.

En primer lugar, la creación de organizaciones científicas para investigación astronómica que condujo a la fundación de los observatorios astronómicos de la Ilustración. Primero París (1667), después Greenwich (1675) y posteriormente el Real Observatorio de la Armada en Cádiz (1753) creados, todos ellos, para resolver el problema de la longitud en la mar.



FIGURA: TELESCOPIO REFRACTOR DOLLOND. Al fondo el barómetro y el guarda tiempos constituían la instrumentación astronómico-geodésica clásica. Real Instituto y Observatorio de la Armada.

En segundo lugar y gracias a la contribución de un gran número de astrónomos, matemáticos y físicos, se plantearon los principios necesarios para una investigación que culminó en la publicación de Newton "**Principia**", que condujo al descubrimiento de leyes de aplicación directa al movimiento de los cuerpos terrestres y al desarrollo de una relojería que resolviera, en su conjunto, tanto los problemas teóricos como los prácticos presentados. No debe olvidarse que la investigación de la relojería para la determinación de la longitud estaba subordinada a un proyecto más amplio que recaía sobre el mismo número y grupo de hombres, cual era la de investigar y deducir las bases teóricas de las leyes del movimiento y establecer, de forma científica, las teorías de Copérnico sobre las bases de una mecánica moderna.

En tercer lugar y finalmente, estas fundaciones condujeron a una importante revolución tecnológica de la que nacieron nuevos profesionales y técnicos en el campo de la óptica, de la mecánica y de la cronometría que produjeron nuevos y más precisos instrumentos para la medida del tiempo y de los ángulos, de aplicación a los telescopios graduados haciendo posible no solo una mayor precisión en las observaciones astronómicas, sino el desarrollo de los teodolitos e instrumentos de campo que los desarrollos cartográficos requerían.

LA FUNDACION DE LA COMPAÑIA DE GUARDIAMARINAS

Por otra parte, el siglo XVIII conoce un nuevo tipo de enfrentamientos bélicos. Aparecen los ejércitos permanentes, y la milicia se profesionaliza. La guerra se hace más técnica; ya no es suficiente, como en otras etapas, armar a una flota a partir de buques mercantes. Los barcos de guerra son máquinas altamente especializadas y, en consecuencia, deben diseñarse de acuerdo con su futura función. Un verdadero buque de guerra *-un "navío de línea"*, como se le denominaba, debía ser lo suficientemente robusto y bien armado como para soportar y sostener un duelo artillero a corta distancia con otro del mismo género, a veces superiormente artillado. La formación de combate denominada "**línea de fila**" venía a sustituir a la antigua línea de frente, que desembocaba en una lucha al abordaje; ahora la parte ofensiva del buque se desplazaba desde el frente al costado, lo cual implicaba aumentar considerablemente el número de cañones transportados. Otros modelos de buques, con menos cañones, debían diseñarse para otras misiones distintas al enfrentamiento en primera línea.

De esta forma y ante la necesidad de sostener una flota con fines exclusivamente militares, con toda la infraestructura de mantenimiento y operatividad que conlleva, se hizo indispensable la creación de cuerpos de oficiales permanentes, de desiguales características según las naciones. Al mismo tiempo, se regularon formas de aprendizaje y adiestramiento, tanto más desarrolladas cuanto más se complicaba el manejo del buque y el "**arte**" de la guerra. Así, en la segunda mitad del siglo XVII, Dinamarca y Suecia ya configuraron cuerpos de oficiales que recibían una instrucción de índole práctica. Más el país que dio a sus oficiales una instrucción más sistemática y una formación más teórica fue Francia. En 1669, Colbert crea una "**Compagnie des Gardes de la Marine**" que, aunque disuelta dos años después, aparecería de nuevo, en 1683. Sus miembros recibían su instrucción teórica básica en tierra, visitaban arsenales, y finalmente recibían prácticas en el mar, constituyendo la mayor parte de la oficialidad de la armada francesa. En Holanda e

Inglaterra tales enseñanzas no existían, o en todo caso eran de índole estrictamente práctica, aunque se favorecía la formación de cuerpos de oficiales estables; en esta última nación, a fines del siglo XVII, se instituyeron programas de *"media paga"* para los oficiales sin misión concreta en un momento dado.

En España, hasta el momento, no existía un cuerpo de oficiales permanentes y éstos obtenían sus puestos en las distintas armadas por la antigüedad y la experiencia (lo que no implicaba necesariamente una buena formación) y, en el caso de la carrera de Indias, muchas veces por la compra del cargo.

Sin embargo, por la extensión y separación de sus territorios, en pocas naciones, como en España, era más necesario y acuciante el disponer de una Armada profesional y competente por lo que una vez asegurado en el trono, por la batalla de Almansa, el Rey Felipe V, dirigió sus primeros desvelos a la Marina y, comprendiendo la falta de organización de que adolecía tanto en material como en personal, emprendió la inmensa tarea de reorganizarla y dotarla convenientemente, encauzando su camino al estado floreciente que alcanzó durante el reinado de Carlos III.

Podemos considerar que hasta comienzos del siglo XVIII en el origen de casi todos nuestros desastres navales se encontraba la difícil composición de nuestras múltiples Armadas. Las Armadas, tenían casi siempre carácter eventual, se armaban cuando la necesidad lo requería, desarmándose luego que la tensión bélica había terminado, desembarcando sus dotaciones de guerra precisamente cuando ya habían contraído algún hábito de mar, y renovándose por consiguiente, a cada nueva empresa con mandos que normal e indistintamente recaían unas veces en verdaderos hombres de mar, formados en las mismas naves que posteriormente capitaneaban y otras veces, quizás más frecuentes alcanzaban los mandos como premio a unos servicios no siempre fruto de una experiencia naval.

Esta falta de orden completamente desfavorable para nuestras armas y que se hizo patente durante la guerra de sucesión atrajo, como dijimos, la atención de Felipe V y cuando por el Tratado de Utrech el orden quedó restablecido en la península, se rodeó de personalidades ilustres a los que dió su Real apoyo para la restauración de nuestro poder naval.

En este sentido la creación de la "Compañía de Guardiamarinas" en 1717 fue un gran paso pedagógico porque, a más de subsanar la falta de un centro docente de esta índole, dió la homogeneidad que la enseñanza y formación de los oficiales necesitaba para la unificación de las Armadas (1714); al subsistir hasta entonces dos escuelas, lo que hacía que mientras los Oficiales de las Armadas del Mediterráneo con una mayor formación matemática consideraban la maniobra en un plano secundario, los que servían en las del Océano eran maniobristas y más marineros, no teniendo otra ciencia que su instrucción y experiencia a bordo. Tal diversidad de ideas originaba polémicas, enfrentamientos y una falta de esa cohesión que nuevamente aparecería un siglo más tarde.

Para garantizar el nivel docente quiso Patiño dotar del profesorado conveniente a la Real Compañía nombrando Primer Alférez al capitán de granaderos D. Juan José Navarro, a la sazón de guarnición de Tarifa. La idea de Patiño era orientar la nueva institución hacia la formación de un personal que, además de recibir el adiestramiento militar clásico y propio de una academia castrense, adquiriese los conocimientos científicos necesarios para estar preparado en caso de tener que asimilar e introducir, en nuestro país, aquellas novedades científicas que pudiesen tener una aplicación práctica y positiva en cualquiera de los aspectos relacionados con la Armada. Esto dió lugar a una complicada superposición de estructuras, la militar y la docente, cuyas relaciones dieron lugar a problemas durante las etapas iniciales del funcionamiento de la Academia.

La **Instrucción** dada por Patiño para la organización de la Academia, estableció un plan de estudios en el que durante dos períodos semestrales, tenían cabida las siguientes materias: geometría, trigonometría, cosmografía, náutica, fortificación, artillería, armamento, manejo de fusil, evolución militar, construcción naval y maniobra de naos. Una vez superado este período académico, los cadetes embarcaban para ejercitarse en el pilotaje y la hidrografía. Un piloto sería el encargado de enseñarles a construir la rosa de los vientos, formar el diario de navegación, observar la máxima altura del Sol, determinar la longitud, usar la corredera y las cartas de navegación, además de realizar ejercicios militares y prácticas de artillería.

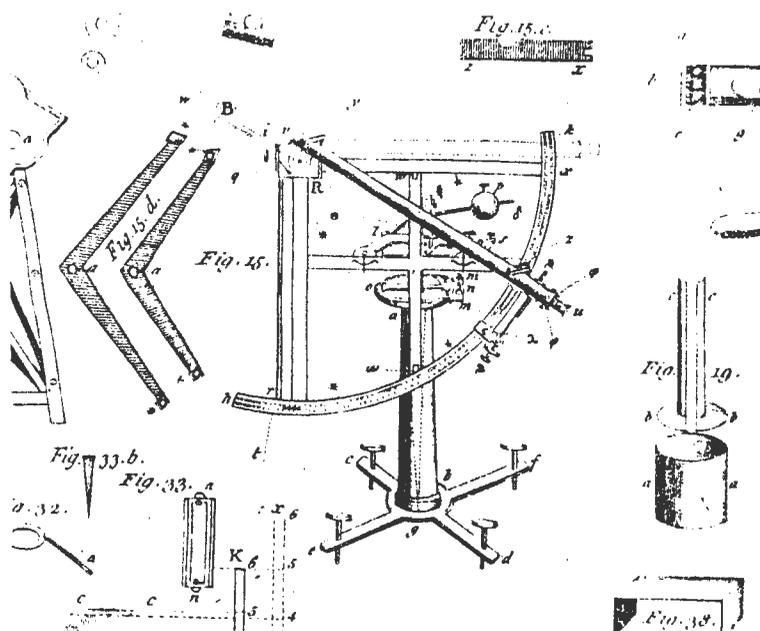


FIGURA: CUADRANTE. Empleado en las expediciones científicas como instrumento de observación astronómica.

La realidad no fue inicialmente tan perfecta y los futuros oficiales no llegaron a cursar con detenimiento todas las materias. No obstante, el camino hacia la formación de oficiales se había iniciado y parecía claro que la nueva Academia iba a lograr lo que no había podido conseguir el

Colegio de San Telmo: la formación de personas con una excelente preparación técnica y conocimiento del pilotaje. La elección de Francisco Antonio de Orbe, Piloto Mayor de la Casa de la Contratación, y de Pedro Manuel Cedillo, profesor del Colegio de San Telmo, como primeros responsables de la institución gaditana iba encaminada, sin lugar a dudas, hacia ese objetivo.

En 1734, Diego Bordick, "**Brigadier Ingeniero Director de los Ejércitos de S.M.**", redactó un plan de estudios, avanzado en lo que se refiere a las materias matemáticas y al sistema de estudio. Este nuevo plan intentaba sustituir al antiguo método de lectura diaria de las lecciones por un modelo más favorable a la controversia y a la discusión de los puntos peor comprendidos por parte de los alumnos.

El principal problema que continuaba planteado residía en las tensiones entre la Comandancia de la Compañía de Guardias Marinas y la Dirección de la Academia.

La evolución de la Academia de Guardias Marinas y de los planes de estudio de los futuros oficiales tuvo un hito importante en la aprobación de las **Ordenanzas de S.M. para el gobierno militar, político y económico de su Armada Naval** (Madrid, 1748), en las que fueron incluidos algunos artículos relativos a la organización de la institución docente gaditana. En primer lugar, se intentó poner fin a la tensión existente entre el director de la Academia y el Comandante de la Compañía. Para ello se decidió someter al primero de ellos a las disposiciones relativas a la organización emanadas de la Comandancia de la Compañía. Las enseñanzas volvieron a ser estructuradas, planteando como objetivo básico de la institución la formación de los Guardiamarinas en todo lo referente a la navegación y tecnología naval para lo que se insistía en el estudio teórico de todas las ciencias que se consideraran necesarias afianzando con ello, como veremos, la trascendente aportación de la Armada en el desarrollo científico de la Ilustración.

LA MEDIDA DEL ARCO DE MERIDIANO

Por aquella época nuestra concepción de la forma de la Tierra se encontraba en profunda revisión Newton afirmaba era aplanada por la acción de la fuerza centrífuga, de la misma opinión era Huygens pero la oposición de otros científicos había adquirido señalados aspectos de rivalidad científica entre Inglaterra y Francia que forzaron el que para salir de dudas se organizaran dos acciones. Por un lado hacer mediciones geodésicas en latitudes muy separadas y por otro abordar experiencias de medidas del período del péndulo libre.

Como antecedente de la polémica debe recordar que en 1672 Ritcher, enviado por Luis XIV, se trasladó a Cayena con un reloj de péndulo recién patentado por Huygens, observando que las oscilaciones eran más lentas allí que en las latitudes europeas, lo que se interpretó era coherente con el mayor radio de la Tierra en el Ecuador. Estas observaciones avivaron las discusiones que alcanzaron tonos muy agrios al intervenir Voltair, partidario de Newton, amigo de la Condamine y enemigo de Maupertius, todo sirvió de acicate para plantear en los comienzos del siglo XVIII las dos principales campañas geodésicas que se habían realizado hasta entonces.

La primera expedición fue llevada a cabo por Maupertuis acompañado de Camus, Monnier, Outhier y Celsius, que en menos de un año, confirmaron inicialmente el achatamiento polar comparando sus medidas con el grado de París.

La segunda expedición debía trasladarse a la zona de Perú y medir el arco de meridiano en las proximidades del Ecuador. La expedición, dirigida por La Condamine, estaba integrada por Bouguer, Godin, Jussieu, Seniergues, Verguin, Odonnais, Hugot Couplet y el dibujante Morainville incorporando a este grupo a dos jóvenes Guardiamarinas de la Armada española, Don Jorge Juan y Don Antonio de Ulloa. Su participación en la misión fue dispuesta por Felipe V por razones de prestigio nacional, al hallarse en sus dominios la zona del levantamiento.



FIGURA: JORGE JUAN Y SANTACILIA (1713-1773), cosmógrafo y astrónomo que tomó parte en la expedición para medir el arco de meridiano en Perú y fue el fundador en 1752 del Real Observatorio Astronómico de la Armada.

Entre las instrucciones dadas por José Patiño en 1735 a los jóvenes marinos designados para cumplir la comisión estaban las siguientes: "... formar el diario de la navegación a América, colaborar en las observaciones de los franceses, levantar planos de ciudades, puertos y fortificaciones, calcular la posición geográfica de los lugares visitados y hacer observaciones de vientos, corrientes y profundidades ...".

En líneas generales, puede decirse que los expedicionarios debían llevar a cabo dos tipos de acciones. En primer lugar, los trabajos geodésicos y cartográficos, dirigidos al reconocimiento de una amplia zona de terreno. En segundo lugar, los trabajos estrictamente astronómicos dirigidos a la determinación precisa del meridiano y la amplitud del arco recorrido con la intención de obtener la longitud de un grado de meridiano. La idea de la expedición era, como ya se ha dicho, obtener esta medida y comparar sus resultados con los obtenidos en Laponia para poder cuantificar la variación de la curvatura de la superficie terrestre según la latitud y, con ello, la forma del planeta.



FIGURA: CARTA DE LA LUNA REALIZADA POR JORGE JUAN PARA LA DETERMINACION DE LAS LONGITUDES

La participación de estos dos marinos españoles fué altamente destacada, aprovechando cuantos desplazamientos efectuaron para calcular con la mayor precisión las latitudes de los lugares que viajaban con instrumentos de mediano porte cuyas teorías estudiaban y describían, constituyendo una serie de más de 40 latitudes de excelente precisión correspondiente a distintos puntos del continente americano.

Para la determinación de las longitudes, que como hemos visto era el problema crucial de la época, utilizaron los dos procedimientos más fiables, entre los experimentados, determinando las diferencias horarias de observación de un mismo fenómeno en dos lugares diferentes cuyos péndulos se hayan regulados por el paso meridiano del sol en cada lugar.

Eligió Jorge Juan, como fenómeno preferente, las ocultaciones de los satélites de Júpiter y los instantes en que la sombra de la Tierra iba alcanzando los distintos puntos observables de la topografía lunar durante los eclipses de 1736, 1737, 1739 y 1740. Para la mayor precisión en la determinación de estos lugares levantó Jorge Juan una excelente carta de la topografía lunar que figura en lugar destacado en la cartografía histórica de nuestro satélite.

Las observaciones de estos fenómenos esporádicos fueron observados simultáneamente en Observatorios europeos y condujeron a conocer por métodos científicos, las longitudes de 7 lugares respecto al Meridiano de París (Cartagena, Lima, Santo Domingo, Petit Grave, Yaruquí, Quito y Guarico) ampliando con aportación inestimable la corta lista de longitudes con que contaba la geografía (menos de cien).

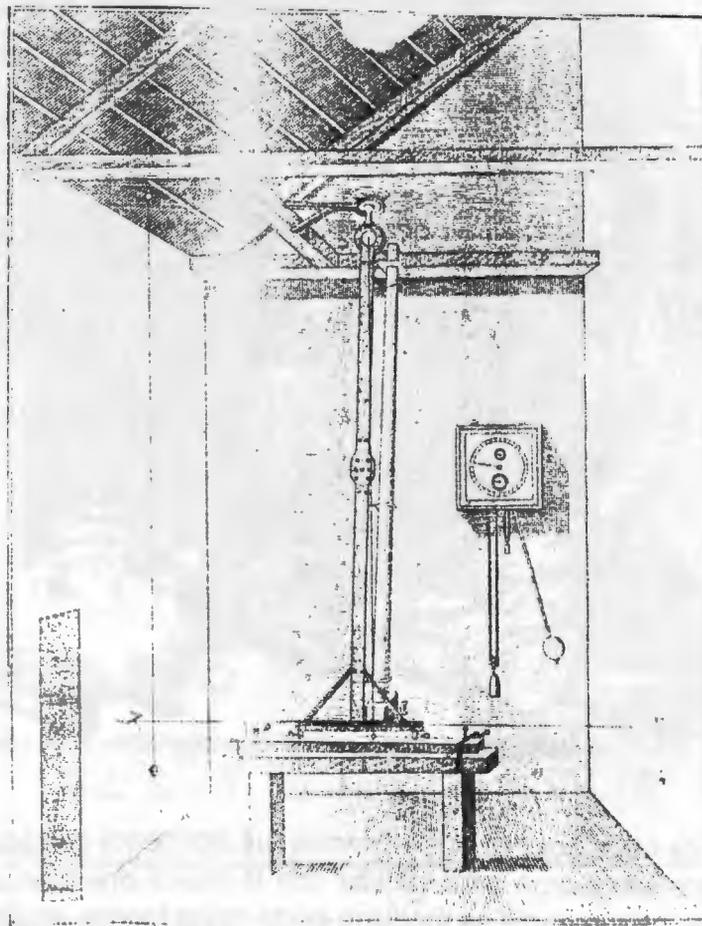


FIGURA: REPRESENTACION GRAFICA DEL TELESCOPIO DISEÑADO POR CODIN Y JORJE JUAN para observar la culminación de estrellas zenitales, lámina extraída de la obra de Bougue "La figure de la terre", publicada en París en 1749.

El verdadero objetivo de la expedición era la medida del arco de meridiano midiendo la distancia norte-sur entre los puntos extremos de una base (vértices de Cuenca y Pueblo Viejo) para compararla con la diferencia en latitud obtenida para estos mismo vértices por procedimientos astronómicos. Los trabajos se extendieron muchos años y confirmaron el aplanamiento de la tierra y el efecto sobre ella de su rotación.

Los marinos españoles fueron los primeros en publicar los resultados científicos de los trabajos llevados a cabo durante la expedición, en unas obras que pueden ser consideradas como una de las más importantes aportaciones de la ciencia española a la Ilustración. Las *Observaciones astronómicas y físicas ...* (Madrid 1748), redactadas por Jorge Juan, constan de nueve libros en los que, además de tratar sobre la determinación de la medida del arco de meridiano en el Ecuador, se presentan los resultados de diversas observaciones físicas y astronómicas realizadas durante el tiempo que duró la expedición. El carácter copernicano de muchas de las argumentaciones de Jorge Juan trajo como consecuencia algunos problemas con la Inquisición. Francisco Pérez de Prado, el Inquisidor General, exigió que, al citar las teorías de Newton y Huygens sobre el movimiento de la Tierra, se explicase que se trataba de algo condenado por la Iglesia. Tras algunas gestiones, se llegó a la solución intermedia de añadir la frase ..."aunque esta hipótesis sea falsa"..., después de mencionar las citadas teorías. A pesar de estos obstáculos, los marinos españoles consiguieron, como ya se ha dicho, que la edición de los resultados de la expedición se llevase a cabo en España antes que en Francia. Bouguer publicaría su obra titulada *La figure de la Terre* en 1749 y La Condamine haría lo mismo con su libro *Mesure des trois premiers degrés du méridien* en 1751.

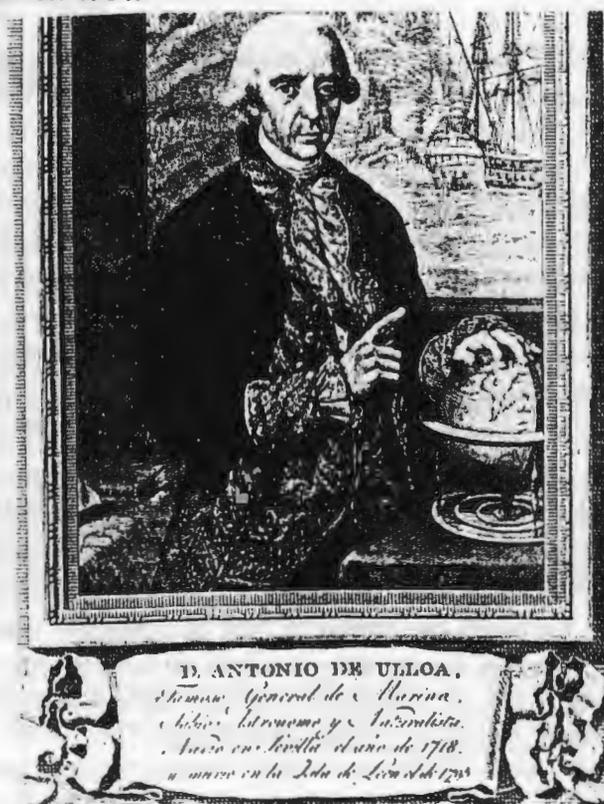


FIGURA: ANTONIO DE ULLOA (1716-1795). En compañía de Jorge Juan forma parte de la expedición al Perú para la medición del meridiano.



OBSERVACIONES
ASTRONOMICAS Y PHYSICAS,
hechas de Orden de S. M.

FIGURA: JUAN, JORGE Y ULLOA, ANTONIO. "Observaciones astronómicas y físicas hechas de orden de S.M. en los reynos del Perú"

La otra obra fundamental que surgió en España como consecuencia directa de la expedición es la *Relación histórica del viaje ...* (Madrid, 1748), formada por cuatro volúmenes y redactada por Antonio de Ulloa. Se trata de una de las grandes obras científicas escritas sobre América en el siglo XVIII, solamente comparable, según Horacio Capel, a la realizada medio siglo más tarde por Alejandro Humboldt. La *Relación histórica del viaje ...*, recoge, además del relato del viaje de los expedicionarios y de la descripción de los lugares visitados, numerosas observaciones sobre vientos, mareas, variaciones de la aguja y características de la navegación por las costas del Pacífico en la América del Sur.

Aunque tenga poco que ver con los aspectos científicos, no podemos dejar de hacer mención a la existencia de otro importante fruto de la expedición de Juan y Ulloa. Paralelamente a las misiones científicas que les fueron encomendadas, los dos jóvenes oficiales de la Marina redactaron un informe reservado y que podría haber sido fundamental en los acontecimientos del siguiente siglo, sobre la situación política y militar de los territorios americanos. Este informe, entregado para uso exclusivo del Gobierno y de los altos funcionarios de la Administración de las Indias, no fue divulgado hasta su publicación en 1826 en Inglaterra bajo el título de *Noticias secretas de América*. Aunque el objeto principal del informe era la descripción de la situación administrativa, política y económica de los territorios de la Corona, las *Noticias secretas de América* incluían informes dedicados al análisis del estado de los puertos y de las flotas de la costa del Pacífico. Juan y Ulloa redactaron una detallada descripción general de las fuerzas navales asignadas a la zona del Mar del Sur, que sirvió para poner en evidencia los enormes problemas y deficiencias que tenía la defensa de las plazas americanas y el mantenimiento del poder español en sus extensos territorios. Otro aspecto importante puesto en relieve por el informe de los dos marinos españoles fue el referente a la mala administración y al consecuente despilfarro económico. La toma de contacto con la situación negativa de la administración americana, caracterizada por el desorden y la venta de cargos, fue el primer paso dado por el gobierno español para actuar con propiedad a la hora de aplicar en América las reformas ilustradas que ya se estaban llevando a cabo en España.

EL REAL OBSERVATORIO DE CADIZ

Continuando con los aspectos científicos de la expedición al regreso de Jorge Juan y Ulloa de la mencionada expedición, y a la vista de la publicación de sus resultados, favorables a las teorías defendidas por Newton, el gobierno de Fernando VI fue tomando conciencia de la necesidad de implantar en España uno o más centros donde se llevasen a cabo investigaciones científicas de carácter astronómico. La difusión de las teorías newtonianas habían colocado a la física y la astronomía en la vanguardia de la ciencia moderna. La astronomía, concretamente, se había convertido en una disciplina científica con un gran prestigio social y un importante grado de institucionalización, características que fueron haciéndose cada vez más patentes conforme avanzaba el siglo.



FIGURA: EL MARQUES DE LA ENSENADA FUE EL PRIMER PROMOTOR DEL PROYECTO DE LA ACADEMIA DE LAS CIENCIAS. Bajo su gobierno surge ya sólido el gran impulso que intenta recrear una gran armada y dotarla de los medios materiales e intelectuales adecuados.

Y en este estado de sensibilidad hacia el desarrollo de una Armada con base científica, Jorge Juan obtuvo del Marqués de la Ensenada la fundación en el seno de la Compañía de Guardia Marinas, de un Observatorio Astronómico, utilizando los fondos que se invertían en financiar los estudios en Londres de los alumnos más aventajados, logrando de esta forma que en 1753 con los instrumentos y libros que Jorge Juan había adquirido en París y Londres inicia su trabajo científico el Real Observatorio de Cádiz, con un prestigio internacional que, nacido con su fundación por la personalidad de Jorge Juan, progresó con la calidad de sus aportaciones.

El Real Observatorio de Cádiz no solo marcó el inicio del estudio sistemático de la Astronomía en España sino que, atendiendo sus necesidades náuticas y científicas, sirvió de camino natural para la entrada del conocimiento científico impulsando la modernización de la ciencia española.

Si establecemos que el equipamiento básico de un observatorio astronómico del "setecientos" debía estar compuesto por un cuarto de círculo mural, un anteojo de pasos y un péndulo astronómico, puede decirse que en España no existió ningún establecimiento de este tipo hasta la fundación del Real Observatorio de Cádiz.

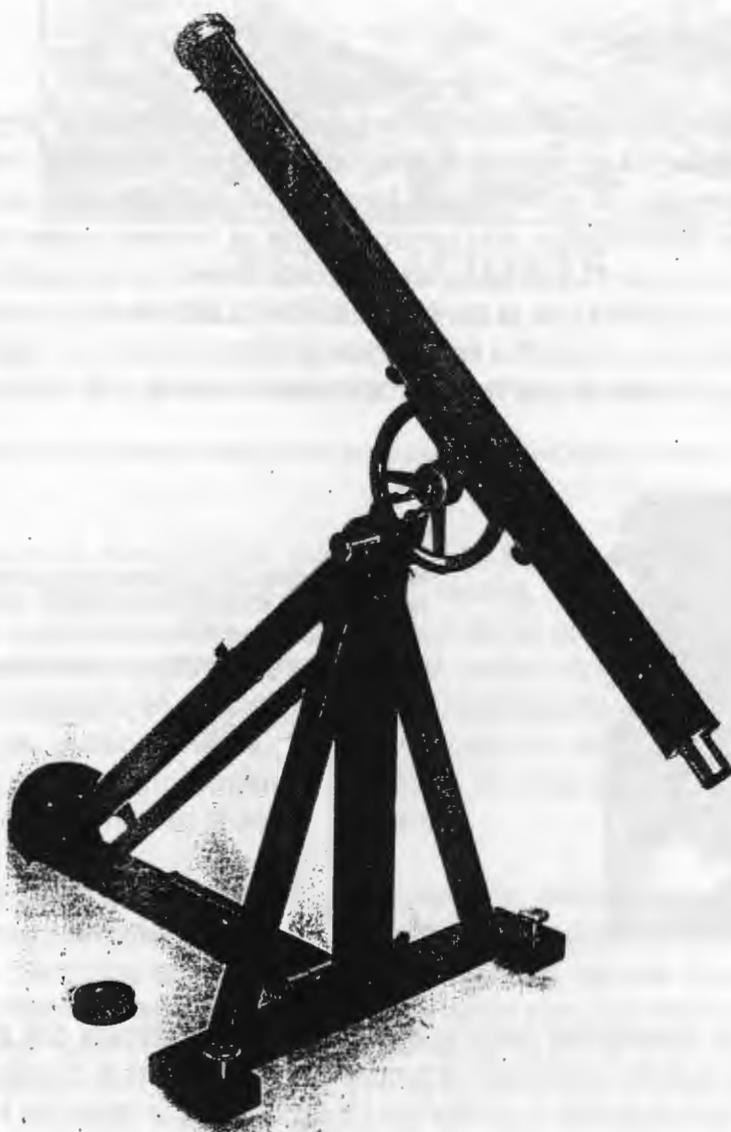


FIGURA: EN EL ANTEOJO ACROMATICO UNA SERIE DE LENTES DISPUESTAS DE FORMA ADECUADA PERMITEN SUPERAR LAS ABERRACIONES CROMATICAS. Este, dada sus características, fue empleado por Tofiño en el levantamiento de las cartas del *"Atlas geográfico de las costas de España"*. (Real Instituto y Observatorio de la Armada).

En la Armada la fundación del Observatorio permitió que los oficiales más adelantados pudiesen completar con observaciones los conocimientos teóricos de astronomía impartidos en el centro permitiendo con ello, que al cabo de unos años, el observatorio terminara convirtiéndose en una de las instituciones científicas más características de la Ilustración española, con el objetivo primordial de proporcionar al Estado y a la Marina personal capacitado para tomar las riendas de los proyectos científicos y técnicos de la segunda parte del dieciocho.

En estas circunstancias, tras la aprobación de las Ordenanzas de 1748 y al impulso del

Observatorio se elaboró un nuevo plan de estudios para la Academia de Guardias Marinas, que recogía la posibilidad de que aquellos alumnos que demostrasen su capacidad en los primeros cursos, pudieran aplicarse al estudio de las ciencias matemáticas más abstractas, siguiendo las inclinaciones naturales de cada uno de ellos. Es en este punto donde podemos encontrar, seguramente, el germen de aquello que, solamente unos años más tarde, sería conocido con el nombre de Estudios Mayores de los oficiales de la Marina.



FIGURA: ATLAS MARITIMO DE ESPAÑA. Encargado a Tofiño en 1783 y publicado seis años más tarde; se puede considerar como el punto de partida de la moderna cartografía española. (Museo Naval).

Sin embargo, los primeros intentos por articular de forma definitiva los Estudios de Ampliación, que debían realizar aquellos oficiales que hubiesen demostrado su aptitud en la Academia de Guardias Marinas, mediante la continuación de sus estudios y la práctica de la astronomía en el Real Observatorio de Cádiz, se produjeron cuando, en 1773, Vicente Tofiño y Francisco Javier Winthuysen propusieron escoger anualmente un pequeño grupo de cadetes para potenciar su formación. Diez años después, en 1783, el capitán-comandante de la Compañía de Guardias Marinas, Miguel Gastón, repitió la iniciativa, proponiendo que algunos oficiales quedasen agregados, a tal efecto, en la Compañía bajo su mando. A partir de entonces, durante los años 1783 y 1784, se fue definiendo una nueva actitud ante los llamados Estudios Mayores, en la que los observatorios de las Academias, especialmente el de Cádiz, debían desempeñar un papel muy importante.



FIGURA: CARTA ESFERICA DE LAS COSTAS DE ESPAÑA, DESDE EL CABO SAN VICENTE A LA PUNTA DE EUROPA, parte de la gran obra cartográfica llevada a cabo por Vicente Tofiño desde el Real Observatorio de la Armada y publicada en 1786. (Servicio Geográfico del Ejército).

Así las cosas, una Real Orden de 29 de mayo de 1783 aceptó una propuesta mediante la cual los oficiales José de Espinosa, Alejandro Beluzonti, Julián Ortiz Canelas y José de Vargas Ponce quedaban destinados en el Observatorio bajo la responsabilidad de Vicente Tofiño, director de la Academia de Guardias Marinas desde 1768. Inmediatamente, se encomendó a éste la redacción de un método de estudios y tareas para los trabajos en el establecimiento de los citados oficiales, que serían ayudados por otros tres que, perteneciendo a la Compañía, se habían ofrecido voluntariamente: Joaquín Fidalgo, Francisco Muñoz y Joaquín Francisco Fidalgo. No obstante, tres

años más tarde, el curso de estudios mayores no se había establecido todavía, por lo que Francisco Javier Winthuysen, Comandante Interino de la Compañía, instó a Tofiño para que los cuatro oficiales que continuaban agregados para realizarlos (José de Espinosa, Julián Ortiz Canelas, José María Lanz y Juan Bernacci) se ejercitasen en la teoría y práctica de la astronomía, y manejo de sus instrumentos, formando un diario con la marcha del péndulo contrastado con el paso de los astros por el meridiano.

Por otro lado, Cipriano Vimercati, Director de la Academia de Guardias Marinas de Ferrol desde su fundación en 1776, consiguió que le fuese aprobado, en febrero de 1788 un "plan de operaciones" para establecer un curso de astronomía en el Observatorio de dicha ciudad. Este plan, que recogía y estructuraba las tareas a llevar a cabo en dicho Observatorio, comenzaba así:

Primeramente se dividirán los oficiales que están agregados a esta Compañía de Guardias Marinas y concluyeron los estudios teóricos de Cálculo y Astronomía, de suerte que distribuidos por semanas ... Y en las semanas que vacasen de la obligación de observatorio atenderán a instruirse en otros objetos según la inclinación particular de cada uno, o a proseguir en hacer un estudio más extenso y profundo de la Astronomía y Navegación ...

Sin embargo, este proyecto no pudo ser desarrollado, pues, dada la escasa dotación instrumental del Observatorio de Ferrol, una Real Orden de 19 de noviembre de ese mismo año expresó la necesidad de que los oficiales allí destinados se trasladaran a Cádiz para poder realizar las prácticas astronómicas.



FIGURA: JOSE MAZARREDO Y SALAZAR (1745-1812). Uno de los máximos responsables de las actividades y progreso de la Armada Española del último cuarto del siglo XVIII.

Fue a partir de entonces cuando se dejó notar la acción de José de Mazarredo, al ordenar una Instrucción provisional del método de servicio y tareas de los oficiales destinados al Real Observatorio de Cádiz, en la que se establecían de forma clara y precisa las funciones del personal adscrito a dicho establecimiento.

En la larga introducción que precede a sus 26 artículos, Mazarredo expresó su convencimiento de que era absolutamente imprescindible el que algunos oficiales se dedicasen plenamente a la astronomía por un período continuado de tres a cuatro años, tras los cuales podrían escoger entre quedarse fijos en el Observatorio o solicitar otro destino. Esa era, para él,

la única forma de conseguir que la Marina conservase su aportación nacional fundamental en lo referente a la astronomía, los observatorios y su papel destacado en las expediciones científicas.

LAS EXPEDICIONES ILUSTRADAS

Resultado de la actividad docente fue la inquietud científica que impulsó, desde la Compañía de Guardiamarinas las expediciones marítimas del dieciocho español con el principal objetivo de la exploración de las zonas marginales o fronterizas de los territorios ultramarinos. Se trataba de explorar algunas zonas de las costas Atlánticas y Pacíficas de América que, al ser poco conocidas, permanecían sin defensas y estaban siendo objeto de los intereses de otras potencias europeas.

La proliferación de viajes de exploración sufragados por otras potencias europeas, que pretendían tomar posesión de determinados puntos claves en las rutas marítimas, dió lugar a una reacción de carácter nacionalista y de prestigio, contrario a que los extranjeros se atribuyesen el descubrimiento de tierras que ya habían sido pisadas por los españoles. Por esta causa, el carácter secreto y defensivo de los viajes llevados a cabo durante la primera parte del siglo, fue sustituido paulatinamente por una actitud mucho más favorable a la divulgación de los conocimientos adquiridos, de los lugares visitados y de los resultados científicos obtenidos.

Por otro lado, la preocupación por mejorar las comunicaciones marítimas entre puntos distantes de las posesiones españolas hizo patente la necesidad de mejorar el conocimiento de la realidad geográfica de muchas tierras que, aunque pertenecían teóricamente a la Corona española, aún no habían sido colonizadas. Era preciso, pues, corregir la cartografía, establecer con precisión las longitudes y latitudes de los principales puertos y ciudades y mejorar, en lo posible, la viabilidad de las grandes rutas comerciales. Según ha constatado en alguno de sus trabajos Francisco de Solano, durante los reinados de Felipe V, Fernando VI, Carlos III y Carlos IV, se llevaron a cabo 19 grandes expediciones transoceánicas. sus objetivos fueron muy variados, pero en todas ellas los Oficiales de la Armada jugaron un papel protagonista, pues se convirtieron en verdaderos exploradores de costas y territorios todavía poco conocidos.



FIGURA: ALCALA GALIANO (1762-1805). Uno de los más importantes científicos de la Marina del siglo XVIII que recorrió América en diversas expediciones y posteriormente desarrolló una importante labor cartográfica, científica y organizativa. (Museo Naval)

Según González y Berrocoso y buscando la motivación práctica de las expediciones, no se debería olvidar el hecho de que tras la progresiva liberalización del comercio ultramarino, culminada en 1778 con la aprobación del Reglamento de Libre Comercio, se multiplicó el número de buques españoles en las aguas americanas y filipinas. Ello trajo como consecuencia una reciente demanda de derroteros más exactos y de determinaciones de las posiciones geográficas de las escalas intermedias. No podemos olvidar que, durante estos años, se produjo la paulatina transición de la navegación tradicional a la navegación astronómica (por métodos científicos). Los nuevos métodos e instrumentos fueron puestos al servicio del espíritu ilustrado y crítico, que pretendía resolver los enigmas geográficos y mejorar las condiciones del tráfico marítimo.

Entre los numerosos trabajos hidrográficos emprendidos por oficiales de la Armada, tanto en las costas de la Península como en América y otras posesiones de la Corona, merece una mención especial el trabajo hidrográfico por excelencia del siglo XVIII, el Atlas Marítimo de las Costas Españolas "levantado por Vicente Tofiño entre 1783 y 1789. Vicente Tofiño, Director de las Academias de Guardias Marinas, y sus colaboradores formados en el Real Observatorio de Cádiz, llevaron a cabo una impresionante labor hidrográfica, plasmada en dos derroteros, uno de la costa atlántica y otro de la mediterránea, y en la confección de la cartografía correspondiente publicada como atlas marítimo.



FIGURA: FELIPE BAUZA Y CAÑAS (1764-1834). Trabajó con Tofiño en el Atlas Marítimo de España, y formó parte como cartógrafo de la expedición Malaespina. En la última etapa de ésta, desembarcó en El Callao y atravesó los Andes y la Pampa Argentina hasta Buenos Aires; a partir de los datos recopilados publica la "*Carta esférica de la América Meridional*" y la descripción de numerosos lugares del interior. Nombrado director del Depósito Hidrográfico, salva su archivo llevándoselo a Cádiz durante la invasión francesa. Sus estudios geográficos y cartográficos le dieron fama mundial. (Museo Naval).

No obstante, el esfuerzo hidrográfico español del XVIII no terminó ahí. Las Secretarías de Indias y de Marina no dudaron en impulsar el reconocimiento y estudio de aquellas rutas marítimas consideradas de importancia para la navegación de los españoles. Entre estas expediciones y campañas hidrográficas podríamos destacar las siguientes:

** Expedición a la costa NO. de América.*

Partiendo del apostadero de San Blas, creado en 1768 como plaza fuerte y base de la Armada, una expedición, dirigida en 1774 por Juan Pérez, y otra en 1775 al mando de Bruno de Heceta, comandante de la Fragata "Santiago", con el objetivo de comprobar la existencia de asentamientos rusos y explorar la costa hasta los 65° de latitud norte.

** Exploración del Estrecho de Magallanes.*

Para conocer en profundidad el estrecho de Magallanes, y decidir si era una ruta de navegación más conveniente que el rodear el Cabo de Hornos utilizado hasta entonces, dió lugar a una expedición en 1785 al mando de Antonio de Córdoba en la Fragata "Santa María de la Cabeza". En 1788 una nueva expedición en los paquebotes "Santa Casilda" y "Santa Eulalia", continuó los trabajos anteriores con la participación de Cosme de Churruca.

** Reconocimiento de las costas de Cuba.*

Ventura Barcaiztegui, Comandante del Paquebote "Santa Casilda", llevó a cabo en 1788 una campaña para el levantamiento de la costa de Cuba.

** Expediciones del Atlas Marítimo de América Septentrional.*

Para los estudios hidrográficos de las costas americanas fueron organizadas dos divisiones con dos bergantines cada una. La primera de ellas, formada por los bergantines **Descubridor** y **Vigilante**, a las órdenes de Cosme de Churruca, se dedicó al levantamiento de las costas de las Antillas de Barlovento. La segunda división, con los bergantines **Empresa** y **Alerta**, al mando de Joaquín Francisco Fidalgo, cartografió las Antillas de Sotavento y las costas de Tierra Firme y Venezuela.

** Expedición al Seno Mejicano.*

En 1802 Ciriaco Ceballos efectuó el levantamiento de las cartas correspondientes a la provincia de Yucatán (Seno Mejicano) rectificaron las posiciones geográficas de Puerto Rico, La Guayra, Portobelo y Veracruz, entre otras.



FIGURA: ALEJANDRO MALASPINA (1754-1810). Organizador y comandante de la más importante expedición científica de todo el siglo XVIII. A lo largo de cinco años recorrió todas las costas americanas del Pacífico, desde Alaska hasta el Cabo de Hornos, diversos archipiélagos, Australia, Nueva Zelanda y Filipinas, llegando a tocar las costas chinas. La pléyade de científicos incorporados a la expedición contribuirá de forma notable a incrementar los conocimientos sobre el continente americano. (Museo Naval).

LA EXPEDICION DE MALASPINA

La expedición más característica de la Ilustración Española fué la de Alejandro Malaspina desarrollada a fines del siglo XVIII.

El viaje fue preparado entre octubre de 1788 y julio de 1789, fecha en la que partieron de Cádiz dos corbetas de nueva construcción, la **Descubierta** y la **Atrevida**, con 102 personas de dotación cada una de ellas. Los objetivos de partida para la expedición abarcaban desde el levantamiento cartográfico de costas y puertos hasta la recolección de datos sobre situación y costumbres de los indígenas, determinación de posiciones geográficas y estudios zoológicos y botánicos. Según M^a Dolores Higuera, las misiones asignadas a la expedición fueron:

- * Determinar los puertos y fondeaderos más idóneos para la Marina Militar.
- * Estudiar la eficacia y seguridad de las rutas marítimas.
- * Informar sobre la capacidad defensiva de los puertos.
- * Informar sobre el estado de los establecimientos de otras potencias.
- * Cartografiar las costas americanas del Océano Pacífico.
- * Estudiar la flora y la fauna de los lugares visitados.
- * Estudiar la situación política y económica de los virreinos.

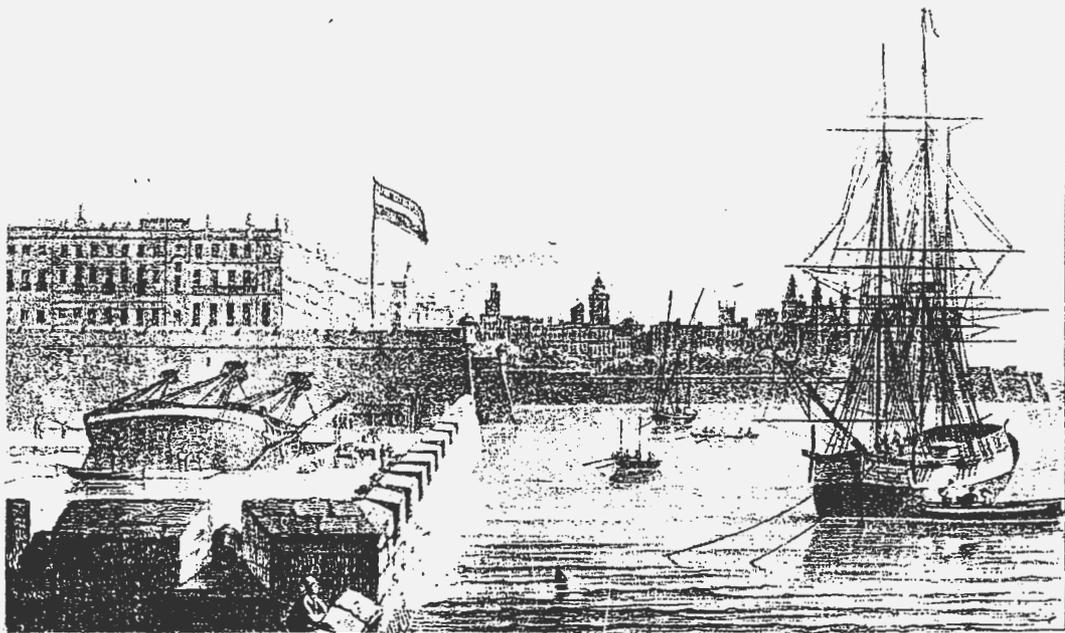


FIGURA: SALIDA DE CADIZ DE FINALES DEL XVIII DE LAS CORBETAS "ATREVIDA" Y "DESCUBIERTA". LA EXPEDICION DE MALASPINA FUE DOTADA INSTRUMENTALMENTE EN EL OBSERVATORIO Y SUPUSO LA CULMINACION CIENTIFICA DE LA ARMADA DE LA ILUSTRACION

EL TRASLADO DEL OBSERVATORIO A LA ISLA DE LEON

Como resultado de estas actividades científicas y docentes, durante la segunda mitad del siglo XVIII y coincidiendo con los momentos más álgidos del reformismo borbónico y del impulso oficial a las actividades científicas, el Observatorio de la Armada se convirtió en una escuela práctica de astronomía para marinos científicos, que gracias a esta preparación podrían participar en las importantes expediciones cartográficas de finales de siglo. Esta fue la principal misión de los llamados "Estudios Mayores", curso de ampliación y especialización por el que fueron pasando la mayor parte de los oficiales científicos de la Marina Ilustrada. Por otro lado, bajo el mando de

Vicente Tofiño se llevaría a cabo el primer programa sistemático español de observaciones astronómicas, desarrollado entre 1773 y 1776, cuyos primeros resultados vieron la luz unos años más tarde.

A finales de siglo y siguiendo el progreso de las nuevas instalaciones del Departamento Marítimo el Real Observatorio de la Armada fue trasladado, en 1793, a un nuevo edificio que se había construido, en la Isla de León, hoy San Fernando. Allí se continuaron con éxito, durante el siglo XIX, los trabajos iniciados en Cádiz. No obstante, en la última década del siglo XVIII, todavía hubo tiempo para que en Cádiz se pusieran los cimientos de uno de los trabajos que han marcado la existencia de esta institución hasta nuestros días. A finales del XVIII, razones de diverso tipo (prácticas, políticas, científicas), llevaron al gobierno a ordenar la confección de un Almanaque Náutico Español. La necesidad acuciante, manifestada por los marinos, de dejar a un lado la dependencia de unas tablas de origen francés o inglés, su difícil adquisición y motivaciones de prestigio nacional influyeron en esta decisión.

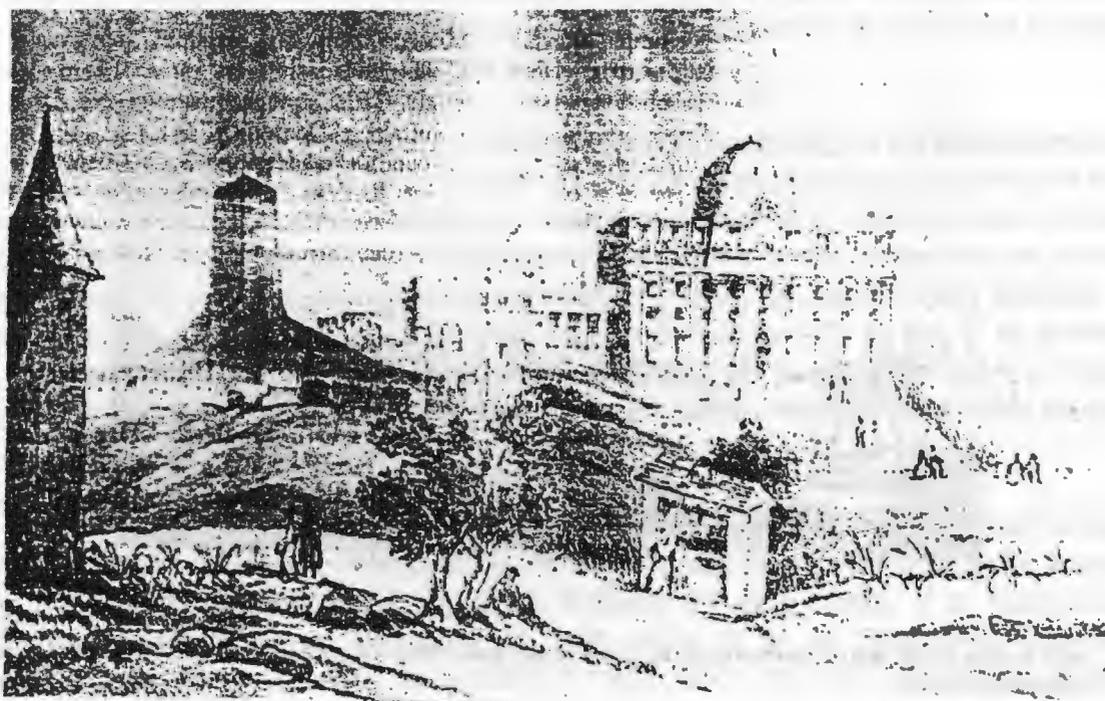


FIGURA: GRABADO DEL REAL OBSERVATORIO DE LA ARMADA EN LA ISLA DE LEON (1792)

En 1792 fue publicado por primer vez un Almanaque Náutico, colección de efemérides astronómicas precisas para uso de los navegantes, que liberaba a los marinos españoles de la dependencia de las publicaciones extranjeras como el **Nautical Almanac**, Inglés o la **Connaissance des Temps** francesa. En España, los trabajos para la elaboración de esta publicación fueron encargados al único establecimiento científico entonces capacitado para llevarlos a cabo: el Real Observatorio de Cádiz.

El primero se publicó en 1792 e incluía los datos sobre el reciente planeta Herchel antes de que aparecieran en el "Nautical Almanac" inglés; este planeta es Urano que, recientemente descubierto, aún conservaba el nombre de su descubridor.

El siglo XIX marcó con sus crisis alternativas la actividad científica y docente del nuevo observatorio, siendo muy diversos los factores que incidieron en la negativa evolución de la Marina española durante los primeros años del siglo XIX. La buena situación naval española que había sido conseguida gracias a los grandes esfuerzos de los gobiernos ilustrados se vino abajo debido a la confluencia de factores políticos y técnicos. Por un lado, habría que tener en cuenta la negativa influencia del apoyo a las acciones antibritánicas de Napoleón y de la pérdida de las posesiones americanas. Por otro lado, no podemos olvidar la situación creada por las importantes innovaciones técnicas aplicables a la navegación, surgidas como consecuencia de la revolución industrial que dieron lugar, en un corto espacio de tiempo, al paso de la navegación a vela a la de vapor y de los barcos de madera a los buques metálicos y acorazados.



FIGURA: EN EL ATAQUE A CADIZ POR LOS ABSOLUTISTAS DEL DUQUE DE ANGULEMA (1823) FUE BOMBARDEADA LA CIUDAD POR LA ESCUADRA DEL ALMIRANTE DUPERRE.

Dos acontecimientos históricos de envergadura marcaron el fin de la potencia naval de la Marina Ilustrada que tantos años había costado organizar. El primero de ellos, y el más citado, fué la batalla de Trafalgar (1805), donde la sumisión política a los planes de Napoleón dió lugar a una tremenda derrota material y sobretodo moral para la potencia naval española. Así estaban las cosas cuando estalló la Guerra de la Independencia, en la que gran parte de la infraestructura técnica y de personal de la Armada fué utilizada y destruída en las campañas terrestres, mientras los navíos se deshacían materialmente amarrados en los arsenales que la Ilustración creó y vió crecer.

Esta negativa situación que acabamos de describir incidió, sin lugar a dudas, junto a otros factores, en la impotencia demostrada por España a la hora de controlar el proceso emancipador de los territorios americanos. Como consecuencia de ello, España se vió privada de materias primas y del mercado americano justo en el momento en que había comenzado a desarrollarse la revolución industrial. La Marina, que había llegado a ser una de las más potentes del mundo durante la segunda mitad del siglo precedente, tuvo que conformarse entonces con un papel secundario y con una crisis de identidad en la que llegó a ser puesta en duda la necesidad de mantenerla como tal, una vez perdidas las posesiones de ultramar. Ello explica que la política seguida por los ministros de Marina durante el reinado de Fernando VII (Salazar y Vázquez Figueroa), fuese encaminada a salvar los restos de la potencia naval del XVIII, más que a reformarla o revitalizarla.

El proceso de degradación de la Marina fue continuo a lo largo de toda la primera mitad del siglo XIX. Aunque se mantuvo su estructura orgánica, diseñada en la época ilustrada y basada en tres grandes departamentos marítimos divididos en comandancias, la política de reducción de gastos provocada por la penuria económica del Estado dio lugar a una escasez de buques y a una drástica reducción de personal, que se vio plasmada incluso en el cierre tras su traslado a la Isla del León de la Academia de Guardias Marinas (1828).

La profunda crisis hizo olvidar por algún tiempo la necesidad de los estudios superiores en la Marina. No obstante, la leve recuperación iniciada con la Regencia de M^a Cristina de Borbón, dio lugar a nuevas acciones en este sentido por parte del Gobierno. En 1834 el Ministro de Marina, José Vazquez Figueroa, que ya había desempeñado el mismo cargo en los años de la invasión francesa, comenzó a realizar gestiones para el establecimiento de unos Estudios Mayores, que él mismo había intentado restaurar en los años de la Regencia. De esta forma, el 10 de mayo de 1834, Vázquez Figueroa comunicó al Director del Observatorio, Sánchez Cerquero, un dictamen acerca de las personas que debieran ser profesores, los planes de estudio, los libros de texto, el local, los sueldos y el reglamento.

El Observatorio desde que, en 1804, había consagrado su independencia funcional como Institución Científica había ido olvidando sus inicios docentes para convertirse en un importante centro de investigación astronómica, cuyos trabajos en este campo y la publicación del Almanaque Náutico le habían situado a un nivel similar al de los principales observatorios extranjeros. Justo en el momento de decidirse la restauración del Curso de Estudios Superiores, se estaba produciendo por impulso del Director Sánchez Cerquero, una importante renovación en los instrumentos del establecimiento, con la adquisición e instalación del Anteojo de Paso y del Círculo Mural construídos por Thomas Jones.

Todo ello produjo una reacción negativa de José Sánchez Cerquero ante el intento gubernamental de restablecer la actividad docente justificando su oposición, alegando su falta de preparación para hacerse cargo de tal empresa, sin partir de una enseñanza naval básica de calidad.

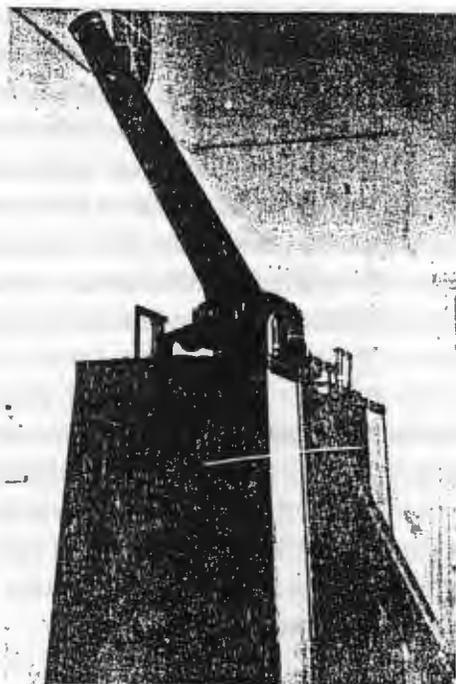


FIGURA: Anteojo de Paso Jones. Real Instituto y Observatorio de la Armada (San Fernando, 1822)

Aprovechando la ocasión que le brindaban sus superiores, al pedirle opinión sobre temas como el plan de estudios o los libros de texto, el Director del Observatorio presentó un proyecto de reforma de la enseñanza superior en la Marina que, de haber sido llevada a cabo, sin duda hubiese adelantado unos años la recuperación que se produjo durante el reinado de Isabel II. Según las ideas presentadas en dicha contestación, Sánchez Cerquero veía en la reforma de la enseñanza elemental de los Oficiales de la Marina el primer paso para poder llegar a establecer un Curso Superior con visos de continuidad. La reforma propuesta preveía el establecimiento de cuatro cuerpos facultativos de oficiales de la Armada (general, artillería, ingenieros y astrónomos), cuyos integrantes necesitarían un conocimiento serio de las matemáticas, especialmente en aritmética, álgebra, geometría elemental y trigonometría esférica y rectilínea. Una vez concluidos estos estudios elementales, los oficiales aventajados de los cuerpos de Ingenieros y Astrónomos, deberían de realizar el Curso de Estudios Mayores. Las disciplinas que los oficiales tendrían que cursar de forma común serían **"álgebra superior finita y su aplicación a la geometría, cálculo diferencial, integral, de variaciones y de diferencias finitas, geometría superior y descriptiva, mecánica analítica de sólidos y líquidos"**. A ellas habría que añadir una serie de materias específicas para cada cuerpo: astronomía y geodesia para los ingenieros, y artillería extensa, delineación y geodesia para el cuerpo de artillería.

Además, para que todo este plan produjese unos resultados satisfactorios, Sánchez Cerquero se mostró partidario de sustituir los libros de texto utilizados hasta entonces, tanto en la enseñanza elemental, en la que se utilizaba la obra de Gabriel Ciscar *Curso de estudios*

elementales de Marina (Madrid 1803), como en los superiores, para los que se recomendaban libros ya empleados por Tofiño.

Aún cuando en 1845 se inaugura nuevamente el Colegio Naval en la Población Militar de San Carlos, la oposición de Sánchez Cerquero motivó su sustitución por Francisco de Paula culminando, en R.O. de 26 de septiembre de 1856, una serie de intentos y alternativas desarrollados para restablecer en el Observatorio de Marina de San Fernando un Curso de Estudios Superiores, con la intención de continuar la tradición iniciada por Jorge Juan, en que como se ha indicado impulsó la creación de unos "Estudios Mayores" impartidos en las Academias de Guardias Marinas con el apoyo de sus observatorios.

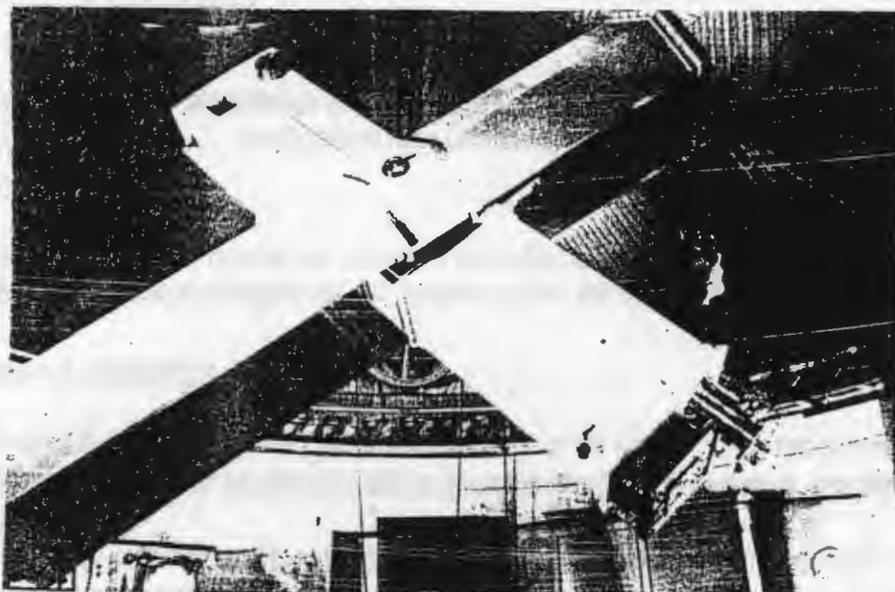


FIGURA: ASTROGRAFO DE LA CARTA DEL CIELO. Para la generación del "Catálogo de entrada del Hipparcos" se volvieron a utilizar placas con este instrumento clásico. (Real Instituto y Observatorio de la Armada).

Las razones de estos estudios en el ambiente de discreta recuperación de la época residían en que la Armada necesitaba para su restauración un cierto número de oficiales que añadiesen a lo aprendido en el Colegio Naval Militar una serie de conocimientos científicos básicos, de forma que pudiesen encargarse de los trabajos y comisiones científicas. Se consideraba para ello que no había en la Armada otro establecimiento más adecuado que el Observatorio de San Fernando, convertido por entonces en uno de los centros científicos más importantes en la España de aquellos días.

En 1871, siendo ya Director del Observatorio, Cecilio Pujazón presentó un proyecto de reforma del curso, basado en las siguientes medidas, algunas ya propuestas con anterioridad:

1. Fijar en cuatro años su duración y en ocho el número de alumnos.
2. Exigir a los alumnos tres años de embarco en la clase de alférez de navío y la calificación de aptos para dichos estudios.
3. Utilizar a los oficiales que terminasen el curso en destinos donde pudiesen ampliar los conocimientos en él adquiridos.

Sus superiores aceptaron estas propuestas y decidieron cambiar la denominación del curso que, a partir de entonces, recibiría el nombre de Curso de Estudios de Ampliación de Marina. El plan de estudios quedaba a cargo de los profesores del Observatorio que debían impartir las siguientes materias:

1er. Año

Algebra, geometría analítica, geometría descriptiva, alemán, química y dibujo.

2º. Año

Cálculo infinitesimal, mecánica racional, física general (teoría de las máquinas de vapor), francés, dibujo, economía política y derecho administrativo.

3er. Año

Astronomía, teoría mecánica de los movimientos de los bajeles, arquitectura naval, inglés y dibujo.

4º. Año.

Geodesia, teoría del calor, teoría de máquinas de vapor, teoría de mecánica de los buques, idiomas y dibujo, prácticas de observaciones y cálculos de astronomía y geodesia.

En 1885 se produjo una reestructuración de los sistemas de enseñanza de la Armada que terminó afectando muy directamente al Curso de Estudios Superiores establecido en el Observatorio, curso que tuvo que desaparecer al suspenderse con carácter general el ingreso de alumnos en las Escuelas y Academias de la Marina.

Al año siguiente, ante las necesidades surgidas para cubrir las bajas naturales de personal, se hizo necesario la apertura de algún centro de enseñanza e instrucción donde se pudieran cursar los estudios que facultasen a los oficiales de Marina y de una academia donde pudieran proceder a su especialización. Así nacieron la Escuela Naval Flotante, instalada en la fragata "Asturias" y nuevamente la Academia de Ampliación de San Fernando, en la que se integraron los Estudios Superiores, además de los cursos de Ingenieros y Artillería.

A finales de 1884 se solicitó de Cecilio Pujazón, Director del Observatorio, una propuesta de medidas para organizar la nueva academia. Tras esta primera fase informativa, y de acuerdo con lo propuesto por el mencionado oficial y por la Junta Consultiva del Ministerio de Marina, fue publicada una Real Orden (3.2.1885) en la que se establecía la organización de una Academia de Estudios de Ampliación, que debía estar unida al Observatorio. Continuando el desarrollo de la

política de reestructuración, otras órdenes promulgadas a lo largo de ese mismo año establecieron el plan de estudios y las normas para el ingreso en el curso de ampliación. Los alumnos de la nueva institución lo serían a petición propia o por orden del Gobierno, seleccionados de entre los alféreces de navío con más de un año de embarco en buque armado y los tenientes de navío con menos de 35 años de edad, que figurasen en el primer quinto de su promoción a oficial o superasen un examen previo.

El plan de estudios que debían seguir estos alumnos fue establecido mediante una Real Orden fechada en febrero de 1885. Según esta instrucción, la Academia de Ampliación de San Fernando impartiría cursos de dos años de duración y cinco especialidades distintas. Los grupos quedaron organizados de la siguiente forma:

PRIMER GRUPO (ASTRONOMIA)

1er. Año

Astronomía general, esférica y práctica; física y química; inglés y alemán; dibujo lineal y topográfico.

2º Año

Astronomía teórica, mecánica celeste y astrofísica, física cósmica y óptica; inglés y alemán; dibujo lineal y topográfico.

SEGUNDO GRUPO (GEODESIA E HIDROGRAFIA)

1er. Año

Astronomía general, esférica y práctica; física y química; inglés y alemán, dibujo lineal y topográfico.

2º. Año

Geodesia, hidrografía, teoría de mareas y teoría de cartas, meteorología general y oceanografía, inglés y alemán, dibujo lineal y topográfico.

TERCER GRUPO (INGENIEROS)

1er. Año

Principios generales de la teoría de las máquinas, estudio de los motores, las transmisiones y los regulares, física y termodinámica, inglés y alemán, trabajos gráficos.

2º. Año

Resistencia de materiales, máquinas de vapor y máquinas auxiliares, química general y combustibles, inglés y alemán, trabajos gráficos.

CUARTO GRUPO (INGENIEROS)

1er. Año

Mecánica aplicada a las construcciones, resistencia de materiales y teoría de las construcciones de madera y de hierro, trazado general del buque y aparejos, física y botánica, inglés y alemán, trabajos gráficos.

2º. Año

Arquitectura naval técnica, hidrodinámica, resistencia de cuerpos flotantes, estabilidad y teoría del movimiento de los buques, química general, inglés y alemán, trabajos gráficos.

QUINTO GRUPO (ARTILLERIA)

1er. Año

Balística, física, química, termodinámica, mecánica aplicada y resistencia de materiales, inglés y alemán, dibujo lineal y topográfico.

2º. Año

Industria militar, sustancias explosivas y artillería en general, inglés y alemán, dibujo lineal y topográfico.

Los cursos siguieron impartándose hasta que el plan de cierre de las Academias de Marina determinó, por R.O. de 2 de Abril de 1901, que: "... la Academia de Ampliación quedará cerrada el 30 del mes actual y excedente todo el personal dependiente de la misma ... El material quedará a cargo del Observatorio de San Fernando, aunque para evitar gastos de traslado e instalación, seguirán en el local que actualmente se encuentra".

Al día siguiente se ordenó que, al no ser de utilidad para el Observatorio los aparatos y publicaciones de los gabinetes de Física, Química, Industria y Artillería, se devuelvan a la Junta Facultativa de Artillería de la Armada.

LA HIDROGRAFIA Y ASTRONOMIA A PRINCIPIOS DE SIGLO EN LA ARMADA

La R.O. de 28 de junio de 1908 dispone que "... en tanto no se determina la reapertura de la "Academia de Ampliación de Estudios de Marina" se establezca, en el vapor "Urania", una Academia para que en ella hagan unos pocos Oficiales los estudios teóricos y prácticos necesarios para poder desempeñar, como oficiales, el servicio hidrográfico".

La citada orden determina las reglas para realizar estos estudios, fijando las materias de enseñanza, libros de texto, duración del curso, etc. Y en lo referente a exámenes ordena: "Exámenes. Se hará cada año ... un examen muy detenido de la labor realizada por los alumnos ... expresando cuando se trate del primer año, si debe o no seguir el segundo y si de este segundo si está o no en disposición de ser examinado para optar a la certificación de aptitud de

la especialidad, ante una Junta compuesta del Director del Observatorio de Marina como Presidente, el Subdirector del mismo y el Jefe u Oficial Profesor del Curso".

Como consecuencia, desde 1910 a 1927 hubo siete promociones, siendo declarados aptos para desempeñar destinos de Oficiales Hidrógrafos un total de veinte aspirantes.

El Real Decreto de 7 de Diciembre de 1927 creó en el Observatorio la 4ª Sección con el nombre de Sección de Hidrografía.

En Diciembre de 1928, se celebraron en el Observatorio los exámenes para proveer plazas de aspirantes a cartógrafos, aprobándose el 9 de Abril de 1929, el programa de estudios de los especialistas de Hidrografía, dividiéndolo en dos grupos, el primero, con una duración de dos años, para cursar materias Físico-Matemáticas, de Geodesia, de Hidrografía, Oceanografía y Meteorología. El segundo grupo atendía, con preferencia, a la Astronomía, Mecánica Celeste y Astrofísica.

Las dos últimas promociones fueron las de 1929/1932 y 1933/1935, de las que formaron parte trece nuevos oficiales alumnos que habían realizado el Curso en la Academia de Ingenieros Hidrógrafos.

Otra actividad docente que ha estado siempre vinculada al Observatorio ha sido la formación de su personal técnico. La publicación de los primeros Almanques Náuticos en el primitivo Observatorio de Cádiz, determinó la existencia de los Calculadores, con independencia de los observadores encargados de las tareas astronómicas.

Durante el siglo XIX existen estas dos escalas, hasta 1873 en que se forman el Cuerpo de Astrónomos.

El Reglamento de 29 de mayo de ese año, en su artículo 32 determinaba que: "El ingreso en la clase de Astrónomos se verificará precisamente, en clase de meritorio y previo exámen ante una Junta formada por el Director, Subdirector y tres Astrónomos Jefe".

Y el artículo 36: "Las vacantes de Astrónomos se cubrirán por rigurosa antigüedad. Los Ayudantes, para obtener el ascenso a Astrónomos de 3ª clase necesitarán probar, en exámen, estar en posesión de un curso de Mecánica, otro de Física, otro de Astronomía y traducir, correctamente, los idiomas inglés y alemán".

El Reglamento de 7 de Febrero de 1924, declara a extinguir al personal de Astrónomos volviendo a constituirse las Escalas de Observadores y Calculadores. Este Reglamento especifica que mediante exámen oposición se accederá a la categoría de Aspirante estableciendo dos cursos académicos comunes para Observadores y Calculadores y un tercero sólo para Observadores.

REORGANIZACION Y PRESENTE 1945-1980

En 1945, y mediante Ley de 15 de Mayo, se produce la reorganización del Instituto y Observatorio de Marina. Esta Ley recoge la tradición y señala las misiones del Observatorio, que con algunas variaciones, están en vigor en la actualidad.

En la parte expositiva la citada Ley expresa: "... Además de su fundamental labor en el campo de las Ciencias Astronómicas, el Instituto debe de realizar la doble tradición que arranca desde los primeros años de su existencia cual es la de proporcionar a los Oficiales de la Armada, los conocimientos trascendentales para seguir de cerca los descubrimientos del ingenio humano de aplicación a la Marina ...".

A la Escuela se le reconoce rango de Enseñanza Superior, cubriendo sus Diplomados, fundamentalmente, puestos de Investigación y Profesorado en la Armada, especializándose posteriormente, una proporción elevada de sus alumnos en Centros y Universidades españolas y extranjeras.

Posteriormente, y con la finalidad de que la formación integral de los Ingenieros Navales se realizara en España, se reglamentaron en los años 1948, 1966, 1971 y 1979, convalidaciones de estudios para los Alumnos del Cuerpo General y Máquinas que hubieran cursado los dos primeros años del Curso de Estudios Superiores.

Entre 1950 y 1955 se realiza en la Escuela un curso de Formación Físico-Matemática para las nuevas promociones de Ingenieros de Armas Navales estableciéndose a partir de 1968 un curso, fundamentalmente matemático, para los futuros Ingenieros Electricistas y Electrónicos de la Armada como fase previa a su especialización en otros Centros docentes.

Se reorganiza finalmente en 1970, con el nombre de Escuela de Estudios Superiores en Ciencias Físico-Matemáticas y manteniendo su rango de Centros de Enseñanza Superior, para cumplir, fundamentalmente, las misiones fundamentales de:

- * Formar el núcleo de un Profesorado cualificado para las Escuelas Superiores de la Armada.
- * Dar una preparación Físico-Matemática Superior a aquellos Jefes y Oficiales que, como parte de su formación, lo precisan.
- * Formar y especializar al personal Científico y Técnico del Instituto y Observatorio de Marina.
- * Asesorar al Estado Mayor de la Armada en el campo de las ciencias Físico-Matemáticas.

Para el cumplimiento de estas misiones la enseñanza en la Escuela se desarrolla, actualmente, en los siguientes ciclos:

CURSO DE ESTUDIOS SUPERIORES EN CIENCIAS FISICO-MATEMATICAS

Con una duración de tres años está planificado de modo que, cursado en su totalidad o en parte, eleve el nivel de preparación científica de grupos de Jefes y Oficiales seleccionados.

Actualmente su plan de estudios comprende las siguientes materias cuyo contenido se detalla en las páginas del cuestionario que se indica:

PRIMER AÑO	SEGUNDO AÑO	TERCER AÑO
Análisis Matem. I Mecánica I Algebra Probab. Estadíst. Química Física Atomica y Nuclear Termodinámica Mec. Estadística Dibujo Técnico y Sistemas de Representación	Análisis Matem. II Mecánica II Cálculo Numérico Programación Trans. del Calor Mecán. de Fluídos Física del Estado Sólido (Electrónica de Dispositivos) Electromagnetismo Automática Sistemas Digitales Sistemas Lineales, Digitales y Analógicos.	Análisis Matem. III Física Nuclear: Tecnología de Reactores. Mecánica Cuántic. I Mecánica Cuánt. II Optica: A: Geometría B: Física C: Láser Práct. Programación Laboratorio Sist. Digitales Inglés Astronomía Geodesia Geomagnetismo Geofísica General

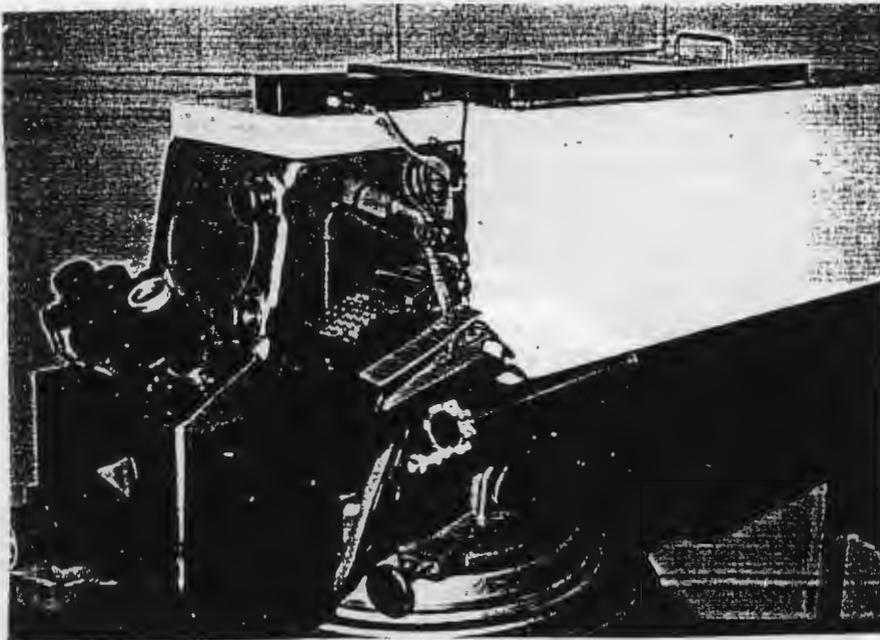


FIGURA: ASTROLABIO IMPERSONAL DANJON MODIFICADO EN EL REAL INSTITUTO Y OBSERVATORIO DE LA ARMADA COMO ASTROLABIO SOLAR.

Las enseñanzas desarrolladas en los dos primeros años, con ligeras variaciones cubren las materias impartidas a los Oficiales-Alumnos de los Cuerpos de Ingenieros de la Armada que han de seguir su especialización, en sus respectivas Escuelas Técnicas Superiores de Ingenieros.

CICLO DE ESPECIALIZACION EN ASTRONOMIA Y GEOFISICA

Con una duración de dos años tiene por finalidad la especialización de Jefes y Oficiales titulados en Estudios Superiores en Ciencias Físico-Matemáticas de la Armada, para desempeñar cargos científicos en el Instituto y Observatorio de Marina.

Su plan de estudios actual comprende las siguientes materias cuyo contenido se detalla en las páginas del cuestionario.

PRIMER AÑO	SEGUNDO AÑO
Astronomía Mecánica Celeste Geodesia Geofísica Gravimetría Electrónica Digital	Geodesia Espacial Sismología Geomagnetismo Laboratorio de Electrónica Digital Instrumentación y Prácticas

LA ASTRONOMIA ACTUAL

Han transcurrido casi cuatro siglos desde que Copérnico sentó las bases del heliocentrismo y, tras su lenta preparación de centurias, la Astronomía ha experimentado, en estas últimas décadas, un desarrollo esencial que nos permite vivir nuevamente muchos aspectos de aquella época de la Ilustración.

Como hemos visto, las bases de la astronomía surgen tras el invento del telescopio, que permitió extender la visión humana destruyendo, empíricamente, el viejo modelo de orden y jerarquía que durante miles de años había pervivido. Se observó que la Luna tenía cráteres, había un anillo alrededor de Saturno. Venus presentaba fases observables. Júpiter tenía satélites. Marte presentaba variaciones de color estacionales, había manchas solares, las estrellas no estaban solas, algunas aparecían en pares, otras en cúmulos regionales, había nebulosas brillantes y oscuras, proponiendo Herschel un modelo en el que la estructura de nuestra galaxia alcanzaba 100.000 años luz.

Los fundamentos de la Mecánica Celeste afianzaron las predicciones de la Moderna Astrometría, pudiendo preverse en posición, y posteriormente observar, nuevos planetas que completaron nuestro Sistema Solar.

Finalmente, y ya en nuestro siglo, la física atómica y nuclear permitió el nacimiento de una nueva ciencia, la Astrofísica, siguiendo el desarrollo de la Astrofotografía y la Espectroscopia abriendo, nuevas puertas, a la comprensión del Universo con la posibilidad de estudiar, en la distancia, la composición química y el estado físico de los cuerpos celestes.

En nuestro siglo el desarrollo de los telescopios y fotomultiplicadores permitió al hombre profundizar más allá de nuestra galaxia, si el ojo humano hubiera abarcado el margen de frecuencia de los radiotelescopios veríamos el brazo espiral de la galaxia a través de nubes de Hidrógeno neutro y nubes moleculares.

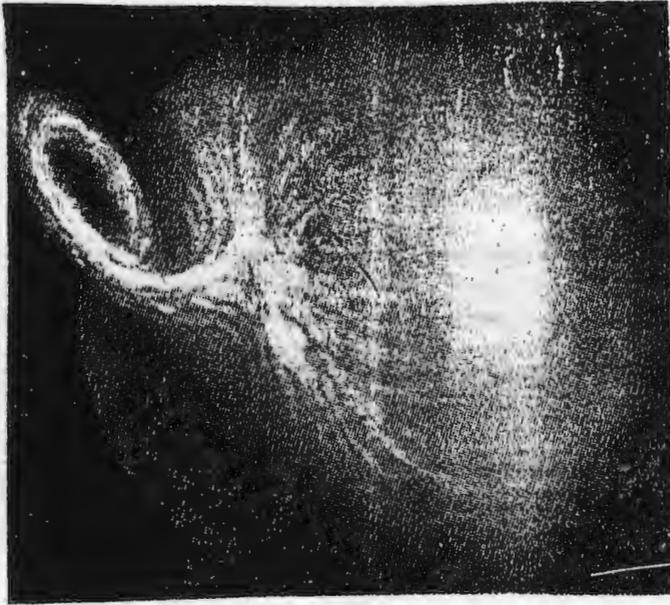


FIGURA: Conjunto Estelar Binario

En segundo lugar hay una distribución homogénea de radiofuentes en el firmamento habiéndose confirmado, a través de púlsares, la existencia de las estrellas de neutrones obviamente algunas de ellas externas a nuestra galaxia. Se han descubierto los cuásares, objetos de tipo galáctico de apariencia estelar en cuyo interior se desarrollan procesos físicos que, con su violencia, evidencian en los siglos los primeros pasos de la génesis del Universo.



FIGURA: GALAXIA ESPIRAL. Las galaxias lejanas y los cuasares definen un sistema de referencia casi inercial donde las precisiones actuales de observación no alcanzan, a veces, a detectar sus movimientos propios.

La época espacial ha permitido el aterrizaje en diversos planetas de nuestro sistema solar y, prácticamente la totalidad del espectro, ha sido estudiado por sondas espaciales desde el espacio exterior y sin interponerse la atmósfera.

Además y, dado que la luz viaja a una velocidad finita, podemos en cierto sentido mirar un poco hacia el pasado. Si observamos el sol lo veremos, no como es ahora, sino como era hace 8 minutos cuando la luz, que ahora nos llega, dejó su superficie.

Pero hasta cierto punto es evidente que no podemos sólo con nuestro ojo mirar muy atrás hacia nuestros orígenes. Las estrellas más brillantes que vemos en el cielo están lo suficientemente cerca como para verlas ahora como eran solamente hace unos pocos años dentro, quizás, del límite de nuestras vidas; incluso los objetos más distantes que podemos observar a simple vista los vemos como eran hace quizás, un millón de años más o menos, cuando el Universo e incluso los habitantes de la tierra eran bastante iguales a como son ahora.

Pero las cosas son muy diferentes cuando observamos una fotografía del cielo tomada por uno de los grandes telescopios de la Astronomía Moderna, se vé en esa fotografía millones de galaxia como nuestra Vía Láctea, cada una es un archipiélago de miles de millones de estrellas.

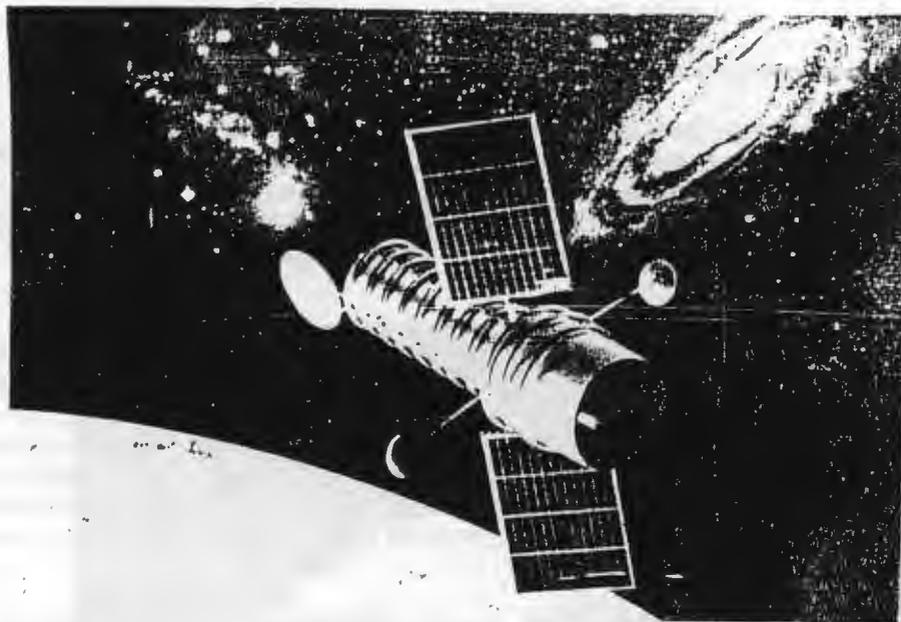


FIGURA: VISTA ARTISTICA DEL TELESCOPIO ESPACIAL PUESTO EN ORBITA PARA EL DESARROLLO DE UNA ASTRONOMIA EXTRAGALACTICA.

Estas galaxias se extienden hasta distancias enormes en todas las direcciones y se están separando unas de otras a gran velocidad; la distancia entre cualquier par de galaxias típicas, en el presente se está doblando cada diez billones de años más o menos.

Matemáticamente, podemos seguirle la pista, hacia atrás en el tiempo, a esta expansión, e identificar un momento en el pasado hace alrededor de 10 billones de años cuando la densidad del Universo era casi infinita, a ésto le llamamos el origen del Universo en su fase actual. Las galaxias más lejanas que vemos ahora en fotografías astronómicas, están tan alejadas, que las estamos viendo como eran en un principio cercano al origen de nuestro Universo.

Evidentemente el Universo era diferente en aquel tiempo, no sólo estaban las galaxias varias veces más cerca entre sí que ahora, habiéndose separado desde entonces por la expansión general del Universo, sino que las galaxias en sí eran muy diferentes a las actuales.

Muchas más tenían núcleos activos, conocidos como cuásares, que emiten cientos de veces más energía que galaxias normales enteras desde una región del espacio no mucho más grandes que nuestro sistema solar.

Estos cuásares son enormemente interesantes desde un punto de vista científico, sobre todo porque el mecanismo más plausible que se ha propuesto para la producción de toda esa energía es el colapso gravitatorio de materia hacia el interior de los agujeros negros.

Es quizás una de las grandes decepciones y retos de la Astrofísica, el que hoy, más de 20 años después del descubrimiento de las características extraordinarias de los cuásares, todavía, no tengamos confirmación observacional directa de que están potenciando de hecho los agujeros negros. Lo que ocurre, simplemente, es que nadie plantea otras posibilidades más plausibles, quizás futuras observaciones y nuevas teorías puedan mejorar esta situación.

El estudio de los cuásares, no solo es interesante en sí mismo, sino como reliquia de un pasado remoto que nos informa de las materias que se encuentran entre ellos y nosotros.

Cuando se separa la luz de estos cuásares en los colores que la componen, y se observan con un espectrómetro, se encuentran gran cantidad de líneas oscuras indicando que la luz de estos cuásares, está siendo absorbida, en transiciones atómicas específicas, en las nubes de materia intergaláctica o en los halos de galaxias que se interponen a lo largo de la línea de nuestra visión.

Estas líneas espectrales están siendo muy estudiadas para comprender mejor la evolución de la materia del universo, en tiempos remotos poco después de que la luz que ahora vemos dejó los cuásares.

Por otra parte en los límites más lejanos de nuestra visión nos parece alcanzar, un tiempo pasado cuando los cuásares no habían empezado todavía a brillar donde nuestro conocimiento se desvanece y alcanzamos rápidamente la débil frontera que son los últimos límites de nuestros telescopios.

Allí, medio en sombras, encontramos que el Universo está lleno de un débil susurro de radio emitido, creemos, cuando el Universo tenía sólo un millón de años y producido por un gas caliente que llenó el Universo, en aquel tiempo, con una temperatura de cerca de 3.000° ; la mitad de la que ahora tiene la superficie del Sol.

Este ruido de radio se ha enfriado, desde entonces, por la expansión del Universo a una temperatura de 3° K. La intensidad del ruido de radio es sorprendentemente uniforme a través del cielo, y está siendo cuidadosamente estudiado con reflectores de microonda buscando, pequeñas fluctuaciones espaciales que podrían revelar el comienzo de la concentración de los grumos de materia a partir del vapor caliente que llenó el Universo. Estos grumos con el tiempo se condensarían más y más hasta formar galaxias y estrellas.

Las observaciones actuales son ya casi capaces de poder detectar esas condensaciones que, deberían haber estado presentes cuando las ondas de radio que vemos ahora, fueron emitidas en el principio de los tiempos.

Con todos estos hechos observados el conocimiento actual del hombre le permite postular razonablemente los fenómenos que gobiernan la realidad física en un entorno limitado del espacio y del tiempo.

Sin embargo, a mayores distancias del orden de 10.000 millones de años luz continúen siendo escasas las posibilidades de nuestro conocimiento, forzando a que el progreso científico actual deba revisar las teorías de la Física y actualizar los métodos matemáticos.



FIGURA: OBSERVATORIO ASTRONÓMICO DEL ROQUE DE LOS MUCHACHOS (INSTITUTO ASTROFÍSICO DE CANARIAS). El Real Instituto y Observatorio de la Armada lleva la participación de España en el Programa de Astrometría Meridiana.

LOS OBSERVATORIOS NAVALES EN EL FUTURO

En estas condiciones y resueltos los problemas primarios de la Astronomía Náutica, los observatorios navales han abordado otros problemas y desarrollado otros procedimientos que antes se consideraron secundarios y que hoy adquieren relieve en bien de la ciencia.

Al aumentar las precisiones aparece en la Astrometría, con relevancia especial, la necesidad de definir sus sistemas de referencia, abriendo el progreso a los estudios de la dinámica Tierra-Luna; las leyes que rigen nuestro Sistema Solar, base de las efemérides; los movimientos de los planos fundamentales, precesión y nutación, mediante observaciones del sol y Astros; la medida y análisis de la rotación de la Tierra; la mejora de las posiciones y movimientos propios del actual sistema de referencia estelar con observaciones meridianas y su posterior extensión a magnitudes altas por medios fotográficos; el perfeccionamiento de los catálogos; la conexión del sistema de referencia fundamental con el sistema definido por la radioastronomía sobre la posición de fuentes en nuestra galaxia, y con el sistema cuasi inercial que proporcionan los objetos extragalácticos; el estudio y perfeccionamiento del Tiempo Atómico Internacional, referencia del parámetro tiempo y base de la escala de frecuencias; la geodesia espacial y las aplicaciones de los satélites a la geodinámica, geofísica, potencial terrestre, mecánica celeste y fundamentalmente la navegación.



FIGURA: CIRCULO MERIDIANO AUTOMATICO DEL REAL INSTITUTO Y OBSERVATORIO DE LA ARMADA. Con las mismas características que el del Roque de los Muchachos es uno de los cuatro operativos a nivel mundial. Se pretende su instalación en la Estación de altura del Observatorio "Felix Agullar" (Universidad de San Juan-Argentina) con vistas a estudiar conjuntamente la Astrometría de ambos hemisferios.

En las figuras se presenta el Circulo Meridiano Automático del Real Instituto y Observatorio de la Armada y una vista de las instalaciones de la Estación de Altura en San Juan (Argentina), en su situación actual.

El desarrollo de los relojes atómicos en la década de los sesenta, y la subsiguiente definición del segundo a partir de la resonancia del cesio, permitió a la Humanidad disponer finalmente de una base para las medidas de tiempo, cuyas características sobrepasaban las posibilidades de los métodos astronómicos. Los fenómenos ligados al movimiento de los astros pasan entonces a ser estudiados sobre estas nuevas bases, en lugar de definir ellos la propia medida, adaptándose la "Oficina Internacional de Pesas y Medidas" (BIPM) a los nuevos métodos y asumiendo la responsabilidad de definir el Tiempo Atómico Internacional (TAI) a partir de los mejores relojes existentes en los laboratorios de distintos países.

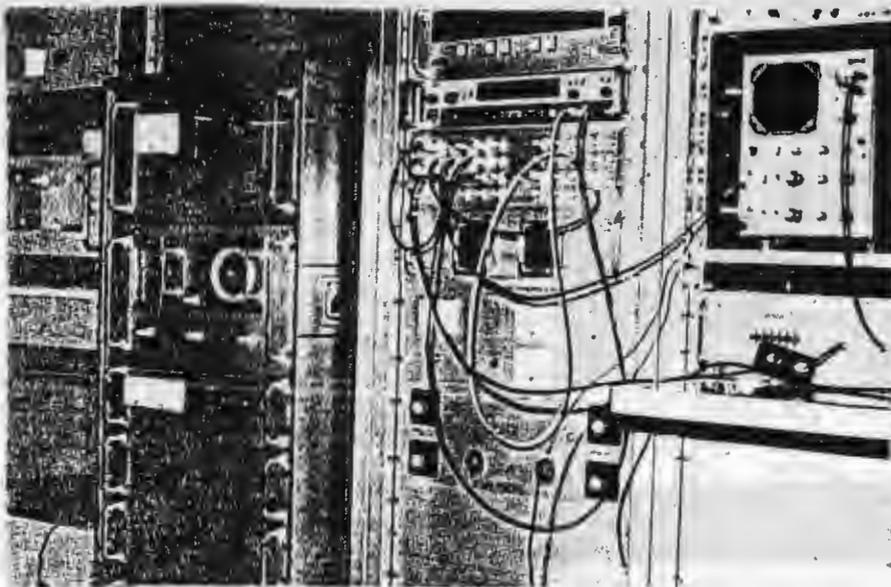


FIGURA: RELOJ ATOMICO DE CESIO (REAL INSTITUTO Y OBSERVATORIO DE LA ARMADA). El Patrón Nacional de Tiempo y Frecuencia define la hora española a través del Tiempo Universal Coordinado de San Fernando UTC-SF que cuenta, actualmente, con 7 relojes atómicos de Cesio y dos Rubidíos, estación de Observación GPS y los periféricos metrologógicos adecuados.

El TAI y el Tiempo Universal Coordinado (UTC) (escala práctica de medida basada en el TAI, apta además para determinados usos ligados con la rotación de la Tierra) son hoy las referencias universales estando constantemente ligados, a este TAI, las escalas de los observatorios, siendo sus relojes parte integralmente de ella, y conociéndose la diferencia de la escala local UTC y el TAI, en todo momento, con un error menor que el microsegundo. Ello se consigue mediante tres procedimientos: estudio permanente de las emisiones Loran-C, sincronización permanente con los satélites que componen el Global Positioning System, y transportes internacionales de la hora.

Quisiera resaltar, finalmente, una serie de hechos básicos que justifican e impulsan la presencia directa de la Armada en todas estas técnicas.

La experiencia muestra que los desarrollos astronómicos no sólo han facilitado el progreso teórico, sino que la realización práctica de sus investigaciones exigen llevarse a cabo en condiciones de alto progreso tecnológico al adquirirse la información en medios de un alto nivel de ruido. Los métodos de filtrado de esta información pueden aplicarse a la resolución de numerosos problemas industriales y militares. Las señales recibidas desde el remoto espacio o reflejadas en un satélite son extraordinariamente débiles, y a partir de ellas debe extraerse la información y efectuar su análisis. Los trabajos científicos de observación exigen un trabajo continuo que, para mejorar en rendimiento, o por exigencias de la velocidad de reacción exigida, sólo pueden resolverse a través de una automatización de procedimientos y sistemas. Los medios y métodos son de aplicación inmediata a la ciencia, la industria y la defensa. Los métodos espaciales han exigido reducir el tamaño y el peso de las piezas sin reducir el nivel de servicio. Todo ha conducido en el próximo pasado a desarrollos espectaculares que, como las aplicaciones electrónicas de la física del estado sólido, condujeron a los sistemas híbridos, circuitos integrados e impulsaron el diseño de los chips, cambiando no sólo los modelos industriales de producción y los sistemas de armas, sino evidentemente los métodos y niveles tecnológicos e incluso la vida individual y quizá, en el futuro, la forma de trabajo.

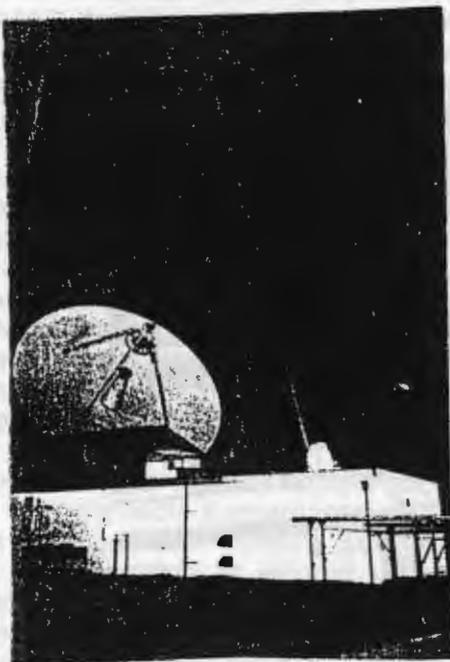


FIGURA: ESTACION LASER. El Real Observatorio de la Armada colabora con su estación de seguimiento de satélites artificiales al mantenimiento de las órbitas de los satélites con alta precisión con referencia al geocentro.

Las ciencias y técnicas en que trabaja el Observatorio están estrechamente correlacionadas con las tecnologías, óptica, electrónica, microondas, ordenadores y fotomultiplicadores.



FIGURA: EL BUQUE OCEANOGRÁFICO DE LA ARMADA "LAS PALMAS" QUE APOYO ACTIVAMENTE LAS PRIMERAS ETAPAS DE LAS EXPEDICIONES ANTÁRTICAS ESPAÑOLAS.

El rendimiento práctico del Observatorio está relacionado con las necesidades de la Marina, de la que depende funcionalmente a través del Estado Mayor de la Armada. El EMA estudia las líneas de investigación y las propuestas de actualización del Observatorio bajo el punto de vista del potencial científico o técnico que ellas pueden aportar a la Armada y ordena, a su vez, los distintos estudios y trabajos que deben realizarse en el Observatorio, destinados a cubrir determinadas necesidades de la Marina. El resultado de este continuo intercambio de iniciativas y necesidades es una serie de "productos", unos de carácter científico y otros de carácter práctico, que sitúan a nuestro Instituto a caballo entre la ciencia pura y la ciencia aplicada.

Y para finalizar, cabe hacer una última reflexión sobre el Observatorio y su aportación directa en el campo docente. La visión asombrosa de Jorge Juan concibió en el pasado los beneficios de unir ciencia y enseñanza. El Observatorio nació en el seno de la Academia de Guardiamarinas, como laboratorio para estimular el conocimiento práctico de los futuros oficiales. Con su traslado y crecimiento en San Fernando, el Observatorio ofreció la posibilidad de unir nuevamente ciencia y enseñanza básica superior. El investigador permanente une los

conocimientos teóricos y prácticos de un investigador activo, continuamente actualizado en los temas concretos de los fundamentos prácticos de las bases de la ingeniería. Queda de esta forma asegurada no sólo la evidencia de una economía eficacia-coste, sino lo que es más importante, la calidad, evolución y continuidad de una actividad docente superior que nació durante la Ilustración y que desde ella, ha ofrecido a España durante 240 años la continuidad de su esfuerzo inteligente.



FIGURA: REAL INSTITUTO Y OBSERVATORIO DE LA ARMADA EN SAN FERNANDO, A LOS 240 AÑOS DE SU FUNDACION.

BOLETIN R.O.A.

NUMEROS PUBLICADOS

- 1/86: F.J. González
Catálogo de las obras antiguas de autores españoles. 1.- Astronomía.

- 1/87: F.J. González
Catálogo de las obras antiguas de autores españoles. 2.- Astronomía náutica y navegación.
- 2/87: M. Catalán
San Fernando. Tradición y futuro.
- 3/87: M. Catalán.
Astronomía y Navegación.
- 4/87: (Biblioteca)
Relación de publicaciones ingresadas durante 1987.

- 1/88: M. Catalán
Astronomía, Geodesia y Navegación en la Armada española de la Ilustración en el Real Observatorio de la Marina de Cádiz.
- 2/88: C.G. Polavieja, F. J. González, J. Merino
El Archivo Histórico del Real Instituto y Observatorio de la Armada. Guía e inventario.
- 3/88: (Sección de Astronomía)
Observaciones fotográficas de pequeños planetas. Años 1977, 1978, 1983, 1984 y 1985.
- 4/88: F.J. González
Los incunables de la Biblioteca del Instituto y Observatorio de Marina.
- 5/88: F.J. González
El Real Observatorio de Cádiz (1753-1798): Documentos conservados en el Archivo Histórico del Real Instituto y Observatorio de la Armada en San Fernando.
- 6/88 (Sección de Astronomía)
Catálogo NPZT de San Fernando. Equinoccio 1950.0
- 7/88: M. Sánchez
I: Rotación de la Tierra. Astrolabio Danjon. II: La utilización de satélites en el seguimiento de la rotación de la Tierra.

- 9/92: M. Catalán
La medida del valor absoluto y variaciones del campo geomagnético, con magnetómetros de protones y bombeo óptico.
- 10/92: M. Catalán
La constelación de satélites del Sistema Global de Posicionamiento.
- 11/92: M. Catalán
Aplicaciones de los satélites al estudio del océano.
- 12/92: M. Catalán
La Geodinámica y los satélites artificiales.

- - - - -

- 1/93: M. Berrocoso
Desarrollo de una red geodésica mediante técnicas GPS: Planificación observación, procesado y ajuste.
- 2/93: A. Salazar
Migración de Programas y Ficheros desde el HP-A700 a MICRO-VAX para Catálogos Estelares, Efemérides Astronómicas, Almanaque Náutico, Almanaque Náutico Reducido y Fenómenos Astronómicos.
- 3/93: M. Boloix
Aplicaciones Físicas de las Transformadas Integrales
- 4/93: M. Boloix
Elementos de Cálculo Tensorial y Aplicaciones
- 5/93: Francisco J. González, M^a Paz Gutiérrez, José M^a Merino
Catálogo de la Biblioteca del Real Observatorio de la Armada (siglos XV-XVIII)
- 6/93: Memoria de Actividades del Real Instituto y Observatorio de la Armada en San Fernando 1992
- 7/93: M. Catalán
Teledetección por Satélites
- 8/93: Francisco José González
Cecilio Pujazón y el Observatorio de Marina (1869 - 1891)
- 9/93: M. Berrocoso
Estudio General del Fenómeno de Mareas Terrestres
- 10/93: M. Berrocoso, José L. Muiños, Ramón Rodríguez-Villamil
Enlace Geodésico San Fernando - Isla de La Palma
- 11/93: M. Berrocoso, J. Quijano, JA. Peña
Posicionamiento Geodésico de la Red Sísmica del Estrecho y la del Real Instituto y Observatorio de la Armada Mediante Observaciones de Satélites GPS (Global Positioning System)

- 12/93: M. Berrocoso
Decodificación de Ficheros Procedentes de Observaciones GPS,
Aplicaciones
- 13/93: Francisco J. González
La Biblioteca del Real Instituto y Observatorio de la Armada
La Colección Cartográfica
- 14/93: Francisco J. González
Instrumentos del Real Observatorio de San Fernando Destinados a la
Expedición Malaspina
- 15/93: Francisco J. González, M. Berrocoso
Instrumentos Magistrales para la Astrometría Española en el siglo XIX:
El Observatorio de San Fernando
- 16/93: M. Berrocoso, Francisco J. González
Los Instrumentos Científicos de la Marina Española: El Real Observatorio
de la Armada y la Dotación Instrumental de las Expediciones Ilustradas
y de las Comisiones Hidrográficas
- 17/93: M. Catalán
Ciencia y Enseñanza en la Armada Española