

# INVESTIGACION CIENTIFICA Y ENSEÑANZA SUPERIOR EN LA ARMADA DE ESPAÑA

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

## Los navegantes del Descubrimiento

Aunque la Navegación Astronómica se remonta a la más lejana antigüedad si se considera como tal el solo hecho de poder deducir algún dato útil de la contemplación de los astros, sólo podemos darle el nombre de Ciencia a partir del momento en que el navegante comienza a realizar medidas, más o menos precisas, a base de instrumentos de observación, capaces de conferirle algún grado de seguridad en sus travesías.

Bajo este sentido no cabe duda de que los navegantes en la época del descubrimiento se encontraban desamparados de la Ciencia Astronómica, que sólo les permitía saber cuál era su rumbo, dentro de algunos grados de incertidumbre y cuál, con idéntico error, su latitud, todo ello a causa de la imperfección de los instrumentos entonces empleados y del defectuoso conocimiento que de la posición del astro utilizado les proporcionaban las tablas o efemérides de la época.

Fenómenos tan elementales dentro de la ciencia moderna como son el movimiento de la estrella Polar, la refracción astronómica o la existencia de la declinación magnética, si no totalmente desconocidos, eran tenidos en cuenta tan groseramente que no podemos asegurar que consiguieran llegar a deducir las causas de error que provenían de su influencia.

Con los instrumentos astronómicos utilizados en aquellas navegaciones, ballestillas y astrolabios, se podía ya deducir someramente cuál era la latitud del buque aunque la mayoría de las veces, al fallar alguna de las reglas empíricas de la Astronomía de entonces, el uso de estos instrumentos aportaba tan sólo un conocimiento relativo: el de la diferencia de latitudes entre los distintos lugares navegados o visitados.

Aquellos instrumentos que hoy calificaríamos como exentos de precisión y de fiabilidad, inadecuado el primero, la ballestilla, por exigir dos visadas simultáneas, cosa que es imposible, una al horizonte y otra al sol o a la polar según los casos, e inadecuado el segundo, el astrolabio, en el que la dirección de la vertical se confiaba a la postura que adquiría su disco graduado, pese al movimiento del buque, al suspenderlo de su "colgadero", permitían no obstante obtener las latitudes con una aproximación que se aceptó como suficien-

te, durante algunos siglos, como un providencial apoyo a las navegaciones oceánicas.

El reconocer la latitud en que se encontraba el buque, en ocasiones sin ayuda de previsiones astronómicas, como cuando se observaba la estrella Polar teniendo cuidado de hacerlo en determinada postura de las guardas (estrellas beta y gama de la Osa Menor), o con observaciones de sol en el meridiano, previo el conocimiento de las alturas que el astro presentaba en un lugar determinado para la misma fecha, o bien haciendo uso de efemérides más generales aunque rudimentarias, originó un estilo especial de navegar, basado en la identificación del paralelo deseado, para, mediante corridas hacia el este o el oeste, según los casos, arribar al punto de destino y, sobre todo, en la época de los descubrimientos, asegurarse el retorno al puerto de partida.

Para la comprobación del rumbo, la segunda de las operaciones astronómicas de la época, ya que se realizaba por marcaciones a los astros, no existía instrumento alguno, por desconocerse por entonces las alidadas, aparatos de puntería que posteriormente servirían para fijar sobre la rosa el azimut del astro de referencia. Esta dirección se determinaba señalando con el brazo extendido por encima de la bitácora, la dirección del sol en su orto o en su ocaso, o bien y más generalmente, la dirección de la estrella Polar, ceremonia que por el ademán que llevaba consigo constituiría la durante algunos siglos denominada "bendición del polo".

En cuanto a las previsiones de los lugares ocupados por los astros, que hoy denominamos efemérides, necesarias para deducir con confianza la latitud y para comprobar el rumbo del buque, eran naturalmente el reflejo del estado de la Astronomía europea, una Astronomía con un mayor porcentaje de teoría y de elucubración que de experiencia, ya que faltaba aún cerca de medio siglo para la invención del anteojó, pero una Astronomía que desarrollada en España cara a la navegación había ya producido efemérides como las Tablas Alfonsinas, de nuestro Rey Sabio, y almanaques como el Perpetuo del judío toledano Zacuto (1475), que, al contener las declinaciones del sol, servirían como apoyo en la práctica de la determinación de la latitud por observaciones meridianas.

Las obras de Zacuto y de Alfonso el Sabio, verdaderas Efemérides en el moderno sentido de esta palabra, constituyen, en su estilo, una inestimable y definitiva aportación a la Astronomía práctica de la época, pero que no obstante estar ambas situadas en los orígenes del saber astronómico español, no deberán considerarse como el auténtico principio de nuestra Astronomía, por no haber nacido todavía las teorías, los métodos y el instrumental que toda ciencia del mundo físico requiere y que sólo haría su aparición en España y en nuestra Armada ya mediado el siglo dieciocho.

Pero antes de dejar del todo a nuestros navegantes del entorno del descubrimiento conviene aún unas pocas palabras sobre los medios de que dispusieron, para resaltar una vez más las dificultades de aquellas gestas marineras tan desconsideradamente criticadas por algunos a los 500 años de una efeméride española que marcó nuevos y trascendentes rumbos a la historia.

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 urgiendo la necesidad de estudiar toda una cartografía plana en la que, representando meridianos 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 en Europa, África hasta Guinea y los confines de Asia, incluyendo por el occidente de Canarias y Cabo Verde. Mas conocida es la carta hecha en Mallorca por Gabriel de Valseca, que compró Américo Vesputio en 130 ducados de oro, conteniendo los reinos y provincias de Europa, Asia, África hasta Río de Oro, describiendo en breves notas lo que se conocía de sus puertos, lugares y costumbres.

Como vemos, existía entonces un mundo bastante conocido aunque no perfectamente descrito, que era el Viejo Continente, 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 distancias navegadas basadas, por entonces, en el sistema denominado de la cadena de popa, sinónimo de la más primitiva y elemental de las correderas.

Y en esta situación, impulsados por razones prácticas y con el fin de promover los adelantos de aplicación a una navegación oceánica, se creó, a principio del siglo XVI en Sevilla, la primera Universidad que reuniría los estudios teóricos y ciencias auxiliares que la experiencia y observación de los marinos españoles fueron adquiriendo, creándose en 1503 la Casa Tribunal de Contratación en Sevilla y nombrando piloto mayor a Américo Vesputio con las obligaciones de examinar a los pilotos de la Carrera de Indias y actuar como censor del catedrático de Cosmografía y del cosmógrafo fabricante de instrumentos.

El piloto mayor y los dos cosmógrafos dirigían, junto a otros seis peritos, el tribunal para el examen y aprobación de los pilotos de Indias con la obligación de rellenar diariamente el diario de derrota, anotar sus propias observaciones, tomar la altura del Sol ante el escribano del navío, fijar la situación de los

bajos e islas que se descubriesen y entregar, al presidente y jueces de la Contratación a su regreso, el diario como testimonio.

En 1519 Martín Fernández Enciso publicó su *Suma de Geografía* para instruir al joven Emperador en el conocimiento de las tierras y provincias del Universo, e ilustrar a los pilotos que iban a descubrir nuevas tierras en los principios del arte de navegar, explicando los círculos de Ptolomeo, los períodos de los planetas, tabulando las declinaciones del Sol y el método de tomar la altura del norte.

Para poder comprender el atraso y poca fiabilidad de las Tablas usadas en la Astronomía Náutica de esa época conviene recordar algunas observaciones efectuadas en 1519 por Andrés San Martín, que intentó determinar la longitud de Río de Janeiro utilizando observaciones de la Luna respecto a Júpiter, que referidas a la conjunción del 16 de diciembre arrojaban, según las Tablas de Zacuto y de Monterregio, una diferencia de longitud a todas luces errónea y que el mismo Andrés de San Martín habría ya detectado en Sevilla al observar en esta ciudad la conjunción de Júpiter con la Luna.

Comprobó San Martín la longitud con otras observaciones que incluían las posiciones relativas de la Luna y Venus, Luna y Sol, un eclipse y otra posición de la Luna concluyendo "...en el Almanaque están errados los movimientos celestes, toque a quien toque...".

Don Pedro de Medina dedicó su *Arte de navegar* en 1545, al príncipe Felipe dividiendo su obra en 8 libros para tratar el mundo según Ptolomeo, corregido por las doctrinas de los astrónomos árabes y de Alfonso X.: La navegación. La Teoría de los vientos. La división de la guja. Las cartas de mareas. Los diez métodos para tomar la altura del Sol. Los principios de la cosmografía, la observación de la altura de los polos, bien al norte por la polar y al sur por las cuatro estrellas en forma de cruz. El séptimo libro trataba sobre la Luna y las mareas, finalizando su obra con la explicación de los días del año, climas y estaciones.

En el mismo año, en Cádiz, Martín Cortés ordenaba su *Breve compendio de la esfera y del arte de navegar* dedicado al Emperador e incluyendo en sus tres partes: Los principios generales de la cosmografía de aplicación a la navegación. Los movimientos del Sol y la Luna incluyendo los efectos de sus oposiciones, conjunciones, eclipses, mareas, y finalmente la composición y uso de instrumentos, incluyendo las cartas de mareas, fabricación de las agujas, construcción y uso del astrolabio y ballestillas. La obra se reimprimió muchas veces y se tradujo posteriormente al inglés por Ricardo Edén, a requerimiento de sus navegantes.

Incluía Martín Cortés, como nueva y fundamental idea, la de suponer que la variación magnética se producía por la acción de un polo magnético distinto del mundo, sentando, de esta forma, las bases para el desarrollo posterior de estas hipótesis por Santa Cruz, Norman, Halley, Le Monier, Buffon y Lalande.

Alfonso de Santa Cruz, con la finalidad de examinar ciertos libros e instrumentos de metal hechos por Pedro Apiano, con los que se pretendía observar

la longitud, dedicó a Felipe II su obra *De las longitudes* estimando que al ser el método de los eclipses de Sol y Luna difícil, de cálculo inexacto y sólo útil para determinar las posiciones de islas y puertos, podría estudiarse como nuevo método el observar las variaciones de la aguja. La regularidad de esta variación, a partir del meridiano de Cabo Verde, hizo que Santa Cruz ideara obtener la longitud determinando con una aguja azimutal la dirección de la línea meridiana respecto a la aguja.

Expone como método, teóricamente acertado pero a todas luces impracticable entonces, el utilizar relojes ajustados a 24 horas de muchas formas, unos con ruedas de acero y pesas, otros con cuerda de vihuela y acero, otros de arena como las ampollitas, otros controlando el fuego por medio de mechas empapadas en aceite y, tan iguales, que su duración fuera exactamente 24 horas.

Su fundamento se basaba en que, conocida exactamente en el puerto de salida la hora por medio de una observación astronómica, y arreglando con ella el reloj, era claro que, averiguando, por otra operación semejante, la hora en el punto de llegada daría, comparado con el reloj, la diferencia de longitud entre ambos puntos. Todo ello exigía una precisión en los relojes que desgraciadamente no podía esperarse de su construcción, idea o materiales. Varios siglos habían de pasar para ello.

Ensayó y propuso igualmente instrumentos y métodos para determinar la longitud por distancias de la luna a las estrellas o planetas siguiendo las indicaciones de Juan Vernerio y Apiano, método que rechazó posteriormente a la vista de la imperfección de las tablas lunares e instrumentos.

Analizando el valor científico de todas estas ideas cabe pensar que el mérito teórico de sus planteamientos fallaba ante un desarrollo instrumental siempre limitado por la tecnología de cada época.

## **La revolución copernicana**

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 opuesta 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.

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 aun cuando se pudieran 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 para 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 astronomía**

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 meticoloso observador; Ke-

pler, 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 que el encuadre teórico de la teoría de los Graves consolide, definitivamente, el sistema de Copérnico.

Y es justo en el instante en que la astronomía se establece como ciencia, cuando inmediatamente se la utiliza en su más prometedora 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 determinaría 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.

### **Ciencia y tecnología en las bases de la Ilustración**

Como estamos viendo 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 y 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.

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 sólo una mayor precisión en las observaciones astronómicas, sino el desarrollo de los teodolitos e instrumentos de campo que los desarrollos cartográficos requerían.

### La fundación de la Compañía 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. Mas 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 la 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 imenensa 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, quizá 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 dio 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, dio 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 aparacería 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 don Juan José Navarro, a la sazón de guarnición en 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 dio lugar a una complicada superposición de estructuras, la militar y la docente, cuyas rela-

ciones 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.

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 cabe 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 mas 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 Voltaire, 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.

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.

La participación de estos dos marinos españoles fue 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).

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 mismos 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.

Efectuadas las observaciones astronómicas sobre los mismos astros que en Cuenca hallaron como valor del grado 56.767,788 toesas, ó 123.203 varas de Burgos, verificando de la comparación de estos resultados con los de Maupertuis y Cassino en Laponia y Francia respectivamente, que la Tierra era achata-do por los polos, como predecía Newton. Ciento sesenta y seis años después se revisaron las observaciones y medidas por una Comisión del Instituto Geográfico del ejército francés, con el resultado de confirmar la medida de Jorge Juan como la más exacta. Es de resaltar, finalmente, que en su informe de la expedición y al tratar sobre el heliocentrismo, Jorge Juan hace la salvedad, cara a la Inquisición, de incluir la frase "Pero aunque esta hipótesis sea falsa..."

Los marinos españoles fueron los primeros en publicar los resultados científicos de los trabajos llevados a caso 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.

La otra obra fundamental que surgió en España como la 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 Cádiz

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.

Y es entonces cuando Jorge Juan, en la plenitud de su creatividad, propuso y consiguió del Marqués de la Ensenada la creación de un observatorio, anejo a la Compañía de Guardias Marinas, con la clara misión de incorporar a España al floreciente marco de la astronomía europea en la época de la Ilustración.

El almirante Julio Guillén Tato describe así el Castillo de la Villa, sede de este primer Real Observatorio de la Armada en Cádiz: *...su cercanía a la bahía, con playa a ella por levante, la elevación notable del Monturrio y lo escarpado de su banda del sur, inaccesible a posibles enemigos, hicieron lógicamente de esta parte de la isla gaditana lugar propio para establecer aquí verdaderas acrópolis...*

Don Vicente Tofiño, director tras el académico Francés Godín, explica cómo se hizo la instalación del Observatorio en el Castillo: *...La pieza destinada para las observaciones astronómicas es una sala que tiene 11,5 varas en cuadro y está formada sobre la espesa y fuerte bóveda de un torreón antiguo, cuya construcción y figura dan bastantes señas de ser obra de los romanos... Por otra parte del sur se descubre el horizonte del mar, regularmente limpio y claro, por la bondad del clima y bella situación de Cádiz...*

Adolfo de Castro, ya en 1858, escribió sobre el Castillo de la Villa este pesimista augurio que la realidad del paso de los siglos ha ido confirmando: *...Jorge Juan fundó en Cádiz el Real Observatorio Astronómico, en el castillo de los Guardias Marinas, llamado en otro tiempo de la Villa, y del que hoy sólo se conserva el solar; y del que mañana apenas se conservará la memoria...*

En 1753, con los instrumentos y libros que Jorge Juan habrá adquirido en París y Londres, inicia su trabajo científico el Real Observatorio de la Armada en Cádiz, con un prestigio internacional que, basado en la personalidad de don Jorge Juan, mejoró gracias a la calidad de sus trabajos y observaciones.

Como se ha indicado, los primeros años del naciente observatorio coincidieron con el desarrollo y adopción de los instrumentos claves de la navega-

ción: el sextante y el cronómetro. El primero apareció en 1731 con un cierto aspecto de círculo de reflexión y a tiempo para ser estudiado y descrito por Ulloa, incorporado a la expedición a la América Hispana para la medida del grado de Meridiano.

El cronómetro, solución definitiva al problema de las latitudes, fue adoptado en la Armada tras informe favorable de Jorge Juan, que asignó como una misión importante y adicional, al naciente Observatorio *..la de obtener, estudiar y difundir la hora para la navegación....*

Nada más ser nombrado director del Observatorio el académico francés, compañero de Jorge Juan en la expedición, don Luis Godín fue comisionado con la finalidad de ir asignando longitudes más exactas a los distintos lugares geográficos, ordenándosele que *...pasase a Trujillo a observar el eclipse de sol que había de suceder el 16 de octubre de 1753, con el fin de fijar la longitud de aquella ciudad, comparando esta observacion con las que se hiciesen en París y Lisboa...* Se pretendía contribuir de esta forma a ir reuniendo información de calidad en la que apoyar el futuro levantamiento de la carta geográfica de España.

Fallecido Godín en 1760, fue nombrado para sustituirle en la dirección de la compañía de Guardias Marinas y del Real Observatorio don Vicente Tofiño, que al realizar el Atlas Marítimo de España puede ser considerado, con razón, el auténtico padre de la Hidrografía española.

En 1764 observó el eclipse anular de sol del 1 de abril, con cuyos datos se determinó como longitud del Observatorio de Cádiz la de 34'24" al occidente del Observatorio de París.

El 3 de junio de 1769 se produjo el paso de Venus por el Sol, del cual escribió La Lande: *...en Cádiz, Tofiño, comandante de los guardias marinas, observó el contacto interno a 7h. 2m. 30s. pero no fue hasta los 7h. 4m. 0s. cuando se vio sensiblemente la luz del sol acostado del borde de Venus...*

Al día siguiente, el 4 de junio, observó el eclipse de sol, del que dice Pigré: *...Cádiz, según el fin del eclipse observado por don Vicente Tofiño, está 34'37", 5 más al occidente que París...* Como puede verse, el contacto de la entrada en Venus daba, por tanto, una longitud más occidental a esta ciudad debido, probablemente, a que por estar el Sol en Cádiz muy próximo al horizonte la observación se vio muy dificultada.

Fruto de la labor de Tofiño fueron los dos volúmenes con las observaciones astronómicas hechas en el Real Observatorio entre 1773 y 1777, elaborados en colaboración con José Varela y Ulloa.

La obra tiene una introducción en la que se da una idea escueta del Observatorio, sus instrumentos, métodos empleados en las observaciones y precauciones tomadas para cerciorarse de su exactitud.

Por ese trabajo, Tofiño fue nombrado miembro de la Academia de Ciencias de París como corresponsal de Jean-Charles Borda.

En 1783 se encargó a Tofiño la elaboración del Atlas Marítimo de España, colaborando en su realización un nutrido número de prestigiosos oficiales de

nuestra Armada: Dionisio Alcalá Galiano, José Vargas Ponce, José Espinosa y Tello, Alejandro Belmonte, Julián Canelas y José María Lanz. El atlas consta de tres partes: derrotero de las costas de España en el Mediterráneo y su correspondiente de África, derrotero de las costas de España en el océano Atlántico y de las islas Azores o Terceras, y Atlas Marítimo de España. El derrotero de las costas de España incluye una breve historia de la geografía y una descripción de la metodología utilizada por la comisión.

Para la determinación de coordenadas se acordó combinar los observaciones marítimas con las terrestres y establecer una cadena de triangulación con bases cuidadosamente medidas, situando los vértices principales en observatorios desde los que se pudiese determinar exactamente la longitud observando los satélites de Júpiter. Se fijó el estado de los ocho relojes Berthoud del Real Observatorio de Cádiz, adoptándose las medidas necesarias para conocer la hora en cualquier momento. Se utilizaron además los instrumentos adquiridos en Londres por Jacinto Magallanes: *...Un cuarto de círculo, un péndulo y dos anteojos acromáticos para las observaciones celestes, un teodolito, cadenas y agujas para las gráficas, un círculo de reflexión, un barómetro marino y otros instrumentos...* La obra quedó concluida en 1789, impulsándose con la documentación, matrices y cartas levantadas por Tofiño y la comisión por él dirigida, la creación del Depósito Hidrográfico.

En la Armada, en el apartado docente, 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 pudiesen 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.

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, pro-

poniendo 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.

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 Carelas, 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 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 estudios más extensos y profundos 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.

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, dio 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 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.

Como 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 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 la Academia 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.

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, dio 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 Churrua.

#### *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) y rectificaron las posiciones geográficas de Puerto Rico, La Guayra, Portobello y Veracruz, entre otras.

### **La expedición de Malaspina**

La expedición más característica de la Ilustración Española fue 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<sup>a</sup> Dolores Higuera, las misiones asignadas a la expedición fueron:

- Determinar los puertos y fondeaderos mas 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.

### **El traslado del observatorio a la Isla de León**

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.

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.

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, fue la batalla de Trafalgar (1805), donde la sumisión política a los planes de Napoleón dio lugar a una tremenda derrota

material y sobre todo 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 fue utilizada y destruida en las campañas terrestres, mientras los navíos se deshacían materialmente amarrados en los arsenales que la Ilustración creó y vio 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 vio 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).

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.

Y no es hasta 1845 cuando nuevamente se inaugura el Colegio Naval en la población militar de San Carlos, 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.

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 científica. Se consideraba para ello que no



*Guardiamarina Quirico Aristizábal y Sequeira (1791-?)  
Museo Naval, Madrid*



*Guardiamarina Enrique Godínez y Miura (1845-1866)*  
*Museo Naval, Madrid*

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.

En 1885 se produjo nuevamente 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 necesaria 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.

Los cursos siguieron impartiendo 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 quedaría 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, seguirá en el local en 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.

## **Reorganización y presente**

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 ofi-

ciales 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 4.<sup>a</sup> 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.

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 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 Centro 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.

### **El Real Instituto y Observatorio de la Armada en el presente de la Astronomía**

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 habría 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 posibilitó 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.

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.

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 a la navegación.

En estos últimos años se está asistiendo al desarrollo de una nueva técnica astronómica que se basa en el descubrimiento de que algunos pulsares poseen períodos particularmente estables. Los pulsares de milisegundos se denominan así porque el período de sus pulsos radios está en el orden de varios milisegundos.

Un pulsar es una estrella de neutrones extremadamente densa, debido a que su masa es del orden de la del sol y está concentrada en una esfera de una decena de kilómetros de radio.

En estas condiciones los campos magnéticos son muy intensos creando una magnetosfera muy importante con campos eléctricos potentes entre los extremos polares de la estrella. Además y conforme a las teorías actuales, las nubes de electrones generadas en la superficie de las estrellas son aceleradas a lo largo de las líneas del campo magnético, por un proceso físico complejo, generando una emisión de radio intensa y dirigida, preferentemente, a lo largo del eje del campo magnético.

Si como consecuencia de lo anterior se admite que este período es constante con el tiempo, habríamos definido una escala de tiempo uniforme y cósmica donde las variaciones aparentes que se observan son debidas, únicamente, a

los movimientos del observador; y en particular al movimiento orbital de la Tierra alrededor del sol, al que se sobrepone como ocurre con toda medida desde Tierra, el efecto perturbador de nuestra atmósfera.

Todo ello deja entrever una tecnología que asombraría a los astrónomos que en el pasado buscaban una técnica adecuada, que permitiera generar el reloj preciso que necesitaban para resolver el eterno problema de la determinación de la longitud. El reloj existía, estaba sobre ellos, era un reloj cósmico más allá de nuestro sistema Solar en el interior profundo de las Galaxias.

También estamos viviendo la época de la automatización de los programas de los propios instrumentos de observación, lo que nos permite trabajar con el ordenador, sin mirar por el ocular, eliminando, de este modo, al más primitivo de todos nuestros instrumentos astronómicos; el ojo..., y estamos presenciando, también, nuevos descubrimientos en nuestra peculiar astronomía al ver cómo se multiplican por algunas unidades la precisión de nuestras observaciones y por miles de millones la precisión de anteriores medidas del tiempo. Y sobre todo, estamos asistiendo a la aparición de nuevas técnicas arrolladoras como son las observaciones rádar sobre los satélites artificiales y los planetas, las técnicas interferométricas dentro de las grandes bases terrestres y las medidas telemétricas dentro del sistema solar, empleando impulsos láser o rádar, técnicas en las que ya estamos trabajando.

Y en esta situación aparece la realidad del presente, y dentro de él, como empresa inmediata de una Astrometría Óptica Española, que realizada desde la Armada se encuentra en la base de la moderna Astronomía Óptica Europea, materializada actualmente en las observaciones del Roque de los Muchachos con el Círculo Meridiano Automático Carlsberg, enriquecido, a todo el Universo, con la situación en el Hemisferio Sur del nuevo Círculo Meridiano Automático de la Armada en San Fernando, que conjuntamente y automatizados al mismo nivel, permitirán en el futuro ampliar la metrología del Cielo hasta aquellas magnitudes actualmente vedadas a la observación de los satélites.

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 sus análisis. Los trabajos científicos de observación exigen un trabajo continuo que, para mejorar en rendimiento, o por necesidades 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 e Industria. 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 y los microprocesadores cambiando, no sólo los modelos industriales de producción y los sistemas, sino, evidentemente, los métodos y niveles tecnológicos e incluso la vida individual y, quizá en el futuro la forma de trabajo.

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 en la ya lejana época de la Compañía de Guardiamarinas, que vio nacer y crecer la Armada de la Ilustración y que desde entonces ha ofrecido a España durante 240 años la continuidad de su esfuerzo inteligente.