

CIENCIA Y NAVEGACION A FINES DEL SIGLO XVII Y PRINCIPIOS DEL XVIII

Del movimiento “Novator” a la Ilustración

Francisco José GONZALEZ GONZALEZ
Bibliotecario del Real Instituto y
Observatorio de Marina

Aunque ya cien años antes se habían comenzado a advertir algunas tendencias innovadoras en la ciencia europea, hasta el siglo XVII no podemos constatar claramente el proceso de madurez en los estudios científicos que ha recibido el nombre de “Revolución Científica”.

Con la publicación de la obra de Copérnico en 1543 se dio el primer paso para la sustitución de la antigua cosmografía descriptiva basada en los principios del geocentrismo —la Tierra es el centro del Universo— y la circularidad de los movimientos de los cuerpos, principios básicos de la cosmología ptolemaica y aristotélica. Un nuevo avance fue impulsado por Kepler, al establecer unas leyes sobre el movimiento de los planetas en las que se adoptaban las órbitas elípticas. Se inició así un período lleno de dificultades, tanto desde el punto de vista científico (demostración de la traslación y la rotación) como desde el religioso (choque del heliocentrismo con las Sagradas Escrituras). Ejemplo de estas dificultades puede ser considerado el proceso de Galileo y la necesidad de utilizar la teoría copernicana sólo como una hipótesis matemática. No obstante, la actividad científica continuó su proceso de desarrollo hasta llegar a su punto culminante con la síntesis newtoniana. Newton, con la publicación de los *Principia...* (1687) dio a conocer la ley de la gravitación universal, tras la cual los mundo terráqueo y celeste pasaban a estar sometidos a las mismas leyes físicas. De esta forma, la filosofía natural imperante y la cosmología descriptiva habían sido sustituidas por la física moderna y la mecánica celeste, gracias a la acción de personajes como Copérnico, Kepler, Galileo o Newton.

En un proceso paralelo al desarrollado en la física y la astronomía, otras ciencias fueron haciendo su entrada en la modernidad. La química, impulsada por obras como las de Robert Boyle, fue alejándose poco a poco de la alquimia. En matemáticas se inició el desarrollo de la geometría analítica y del análisis infinitesimal. En las ciencias biológicas se inauguró la fisiología moderna y la investigación microscópica registró un fuerte impulso. Las técnicas, anteriormente separadas de las teorías científicas, comenzaron un impresionante período de desarrollo al convertirse en un producto de la aplicación de las ciencias, desarrollo que no ha terminado todavía.

1. EL DESARROLLO DE LAS CIENCIAS EN ESPAÑA (SIGLOS XVI-XVII)

1.1. Tradición y renovación

En la Europa del siglo XVI, donde la tradición clásica seguía siendo la base general de las ciencias, tuvo lugar un enfrentamiento muy claro entre la tradición y la renovación. Este enfrentamiento se llevó a cabo a dos niveles diferentes. Mientras en el plano intelectual se desarrollaba la dialéctica entre las dos corrientes académicas dominantes (el escolasticismo arabizado de origen bajo-medieval y el humanismo científico partidario de la recuperación de los saberes clásicos mediante el contacto directo con los textos), se iba desarrollando, paralelamente, un aumento de las tendencias extra académicas (alquimia) y de las actividades técnicas (arquitectura, navegación, ingeniería, minería).

Al igual que en el resto de Europa, en la España del siglo XVI se verificó el triunfo de los presupuestos humanísticos, a pesar de la importancia que aún conservaba el escolasticismo. No obstante, con el paso de los años, se fue constatando un agotamiento de las expectativas despertadas por las ideas humanísticas. Es en este momento cuando se produce la Reforma Protestante y, como consecuencia, la reacción tradicionalista de la Iglesia. Justo cuando se había planteado la posibilidad de aceptar las propuestas renovadoras surgidas en las ciudades tendencias extra-académicas. De esta forma, en nuestro país, contrarreformista por excelencia, se adoptó de forma oficial la postura partidaria de marginar por sistema los planteamientos renovadores y aceptar solamente las posiciones doctrinales propias del escolasticismo. Ello significó el aislamiento para la ciencia española que, en adelante, no podría llegar a asimilar las más importantes experiencias desarrolladas en el exterior. Incluso materias en las que los españoles habían ocupado un lugar de privilegio, como el arte de navegar, quedaron estancadas respecto a los avances que se producían en otros países.

No obstante, como veremos un poco más adelante, la incomunicación con el resto de las comunidades científicas no fue el único factor explicativo de la progresiva decadencia de la ciencia española. La decadencia fue un proceso que afectó a la totalidad de la sociedad española.

1.2. Astronomía y arte de navegar

La importante hazaña española del Descubrimiento de América fue, sin duda, causa y efecto del desarrollo de la navegación en naciones como la española y la portuguesa. Parece ser que en la epopeya colombina fue utilizado el *Almanach Perpetuum* (1496) de Abraham Zacuto, judío salmantino autor de esta obra que, a pesar de sus importantes contribuciones a la astronomía y la navegación, todavía mantenía importantes aplicaciones astrológicas.

Por otro lado, a principios del siglo XVI (1503) la Casa de Contratación de Sevilla se erigió como institución oficial centralizadora de las actividades náuticas. En ella, además de los trabajos meramente administrativos propios del control de las comunicaciones con ultramar, fueron llevadas a cabo diversas tareas relacionadas con la navegación. El Piloto Mayor, cargo creado en 1508, era el encargado de examinar a aquellos que querían ser pilotos. Pocos años más tarde, estas funciones se vieron acentuadas con la creación de los cargos de Cosmógrafo Mayor (1523) y de Catedrático de Navegación y Cosmografía (1552). En este contexto, se produjo en nuestro país un importante, y de todos conocido, auge de los trabajos referidos a cuestiones de navegación. Es ahora cuando tiene lugar la publicación de obras tan importantes para los navegantes como el *Arte de Navegar* de Pedro de Medina (Valladolid, 1545) y el *Breve compendio de la sphaera y del arte de navegar* de Martín Cortés (Sevilla, 1551).

Ya en estos años se iniciaron los primeros trabajos e investigaciones para solucionar algunos de los problemas más importantes que se les presentaban a los navegantes, como el derivado del establecimiento del valor de la declinación magnética o el planteado por la dificultad existente para la determinación de la posición geográfica, y más concretamente de la longitud, en alta mar. Este último tema, provocó un considerable esfuerzo científico y técnico, dando lugar incluso a la convocatoria de un concurso para encontrar una solución de fácil aplicación por parte de la Corona Española en 1598.

1.3. La ausencia española de la “Revolución científica”

El siglo XVII contempló el desarrollo en Europa de un complejo fenómeno histórico que, como ya hemos dicho, ha sido denominado “Revolución Científica”. Este proceso supuso la instauración de una nueva ciencia que representaba la ruptura abierta y sistemática con los métodos y teorías del saber tradicional. Ya vimos también como todas las disciplinas científicas fueron evolucionando y registrando importantes transformaciones hasta llegar al punto de partida del período científico moderno.

Sin embargo, España, que durante mucho tiempo había sido uno de los países protagonistas del desarrollo de los saberes científicos, no pudo participar en ninguna de las primeras manifestaciones maduras de la ciencia moderna, como muy bien ha señalado en diversas ocasiones el profesor López Piñero (1). Debido a los factores históricos ya aludidos, la ciencia española quedó cada vez más aislada de la evolución operada en el resto de Europa, además de ser marginada dentro de su mismo país. Cuando se produjeron los primeros intentos de poner al día las actividades científicas españolas, se comprobó que era necesario iniciar un período de aculturación del que tardaríamos varios siglos en salir.

(1) López Piñero, J. M.: *La ciencia en la historia hispánica*. (Barcelona 1982).

2. EL MOVIMIENTO RENOVADOR DEL SIGLO XVII ESPAÑOL

2.1. Breve análisis del contexto histórico

El profesor López Piñero, cuyos numerosos trabajos sobre la historia de la ciencia española todos conocemos, ha establecido una división muy acertada del siglo XVII, en lo que se refiere a la evolución de la ciencia en nuestro país (2).

En primer lugar, podemos hablar de un período comprendido entre los años 1600 y 1630, caracterizado por la continuación de las actividades científicas de la época renacentista. Por ello, el nivel de los trabajos seguía siendo, en general, bastante aceptable. No obstante, a pesar de la relativa importancia de los estudios realizados en algunas ciencias y, sobre todo, en las técnicas (náutica, minería, ingeniería militar), la actividad científica se estructuró al margen de las nuevas corrientes que ya pujaban con fuerza en otros países europeos.

En un segundo período, el de los años centrales del siglo, tuvo lugar el enfrentamiento entre los científicos españoles y aquélla que ha sido denominada como ciencia moderna. En esta situación se fueron formando dos grupos de personas, según su postura personal ante las nuevas ideas. Los moderados aceptaron las novedades, pero sin abandonar la doctrina tradicional. Los intransigentes se negaron rotundamente a cuestionar la validez de los principios de dichas doctrinas. Este último grupo fue el más numeroso y en él pueden ser incluidas personas de alto nivel intelectual, que dedicaron su vida a la defensa acérrima de las teorías tradicionales.

Frente a los tradicionalistas científicos moderados, que aceptaban los hechos más evidentes pero no se atrevían a cuestionar los principios tradicionales, surgiría en la última parte del siglo un nuevo grupo de científicos decididos a romper con los esquemas tradicionales. Fueron los primeros científicos españoles modernos en sentido estricto, y normalmente se les conoce con el nombre de “novatores”. Estos hombres, en su lucha contra los defensores de una tradición anquilosada en ideas casi medievales, aportaron a nuestra historia una serie de aspectos nada desdeñables. No sólo fueron los introductores de la nueva ciencia y de su metodología empírica, sino que fueron los defensores de la idea del progreso frente al criterio de la autoridad incuestionable, además de actuar como críticos denunciadores del atraso español en materias científicas. Fueron, en definitiva, los iniciadores de ese período de aculturación en el que España, sólo cien años después de que sus científicos hubiesen figurado a la cabeza de la ciencia europea, intentaba desesperadamente comunicarse con el resto de Europa para sumarse a un progreso del que había quedado descolgada a causa de los factores históricos ya mencionados.

(2) López Piñero, J. M.: *La introducción de la ciencia moderna en España*. (Barcelona 1969).

Una vez llegados a este punto, es preciso que hagamos una reflexión sobre el estado general de la España del XVII. Las últimas investigaciones históricas en este período, en especial del reinado de Carlos II, han dejado bien claro que se produjo entonces una quiebra de las estructuras del estado de los Austrias. La decadencia de las ciencias y la ruptura de los “novatores” con la defensa intransigente de las doctrinas establecidas por la Contrarreforma sólo fueron parte de los diversos factores que nos evidencian esta situación de crisis. No hay más que echar un vistazo a la demografía (redistribución de la población en favor de la periferia), a la economía (hundimiento económico de Castilla y lento proceso de recuperación comercial en la Corona de Aragón) y a los asuntos políticos (pujanza del fenómeno neoforalista) para comprender que algo estaba comenzando a cambiar en las estructuras del estado, y la ciencia no podía ser ajena a este fenómeno.

Por otro lado, el cultivo de la ciencia resultaba bastante problemático, dada la desfavorable situación de las instituciones dedicadas a tal menester. Muchos centros de investigación y enseñanza creados en el Renacimiento habían desaparecido (como la Academia de Matemáticas de Madrid, clausurada en 1625) y otras, como la “Casa de Contratación de Sevilla”, que había sido cuna de importantes estudios sobre náutica, astronomía y matemáticas, entraron en un largo período de letargo. También las universidades, que conservaban la misma estructuración que en el siglo anterior en lo referente a los estudios científicos, registraron un importante descenso en la calidad de sus enseñanzas. Muchas de sus cátedras más importantes (cirugía, astronomía, matemática) permanecieron vacantes por períodos largos de tiempo, mientras que las restantes estaban dominadas por partidarios de las posturas intransigentes. Ejemplo claro de la decadencia de las universidades es la evolución del número de alumnos en la de Salamanca, donde pasaron de siete mil en el siglo XVI a dos mil en los últimos años del XVII. La única institución creada en esta centuria que llegó a alcanzar un cierto relieve fue el Colegio Imperial de Madrid, de la Compañía de Jesús, destinado a la formación de los primogénitos de la nobleza, en cuya cátedra de matemáticas trabajaron personajes de la talla de Juan Carlos de la Faille y José de Zaragoza. En lo que se refiere a la náutica no hemos de olvidarnos de señalar la fundación del Colegio de San Telmo de Sevilla, creado en 1681, del que hablaremos con detenimiento más adelante.

La deficiencia de los centros de investigación y el control de los mismos por parte de los tradicionalistas intransigentes dio lugar a que los partidarios de la renovación tuviesen que recurrir a la fundación de tertulias independientes y a la protección de clérigos y nobles de mentalidad preilustrada. Entre estos últimos, destaca por su importancia Juan José de Austria, muy conocido por su participación en los asuntos políticos de la época y por su apoyo sin reservas a los tradicionalistas moderados y a los “novatores”. Así, poco a poco, toda una serie de tertulias y asambleas, auspiciadas por los nobles y dedicadas hasta entonces a las artes y la literatura, vieron como los temas científicos comenzaban a tomar verdadera importancia en

sus periódicas reuniones, siendo éste uno de los signos más evidentes del nacimiento de una nueva mentalidad, la pre-ilustrada, antecedente directo de la Ilustración del XVIII. En Valencia se reúnen desde 1687 diversos renovadores en casa de Baltasar de Iñigo, entre los que destacan Juan Bautista Corrachán y Tomás Vicente Tosca. En Sevilla hacen lo mismo en casa del médico Juan Muñoz y Peralta, cuya tertulia fue convertida en Regia Sociedad de Medicina y otras Ciencias tras la aprobación de sus estatutos por Carlos II en 1700.

Conforme iba acabando el siglo y aumentaba la presión de los “novatores”, el sector intransigente acentuó su intolerancia, llegando a justificar posturas verdaderamente anacrónicas y a negarse a admitir cualquier tipo de novedades. Mientras tanto, los tradicionalistas más moderados tomaban posturas de transición que les permitiesen aceptar algunas de las innovaciones que ya aparecían como indiscutibles. El enfrentamiento fue bastante fuerte en las ciencias biológicas y químicas. Sin embargo, la situación era bastante más complicada para los renovadores de las ciencias matemáticas, astronómicas y físicas, pues uno de sus elementos teóricos fundamentales, la teoría heliocéntrica, estaba expresamente prohibido y condenado por las instancias oficiales —no olvidemos que todavía en 1748 Jorge Juan tuvo problemas con la censura de la Inquisición a causa de la introducción de la citada teoría en una de sus obras—. Ello dio lugar a que ninguno de los partidarios de la renovación se atreviera a defender abiertamente la teoría copernicana, a pesar de ser partidarios de ella, teniendo que recurrir a complicados artificios para poder usarlas en sus trabajos.

2.2. La renovación en las matemáticas, la física y la astronomía

Los aspectos renovadores en las vertientes matemáticas, físicas y astronómicas de la ciencia española del XVII no disfrutaron de las características uniformes que se habían desarrollado en las ciencias biológicas y químicas. Mientras que en estas últimas se produjo un verdadero movimiento renovador, que actuó en diversos puntos del país y en unas fechas bastante concretas, no ocurrió así en las primeras, sobre las que pesaba como una losa la ya citada prohibición de la teoría heliocéntrica. Además, el enfrentamiento llegaba a alcanzar a las doctrinas teológicas cuando los nuevos conceptos de la física se oponían a la visión aristotélica del mundo que permanecía íntimamente ligada a la metafísica.

En los años centrales del siglo nos encontramos con dos destacadas individualidades del movimiento renovador de las matemáticas, la física y la astronomía: Juan Caramuel (1606-1682) y José de Zaragoza (1627-1679), dos autores que sirvieron de base al proceso de renovación que se iría acentuando en las décadas finales del siglo.

Caramuel, que permaneció la mayor parte de su vida en el extranjero, ha de ser considerado como un “español fuera de España”, pues su producción

científica no estuvo integrada en la realidad española de la época. Doctor en Teología y obispo en Italia, no puede ser considerado un científico profesional ya que su numerosa producción escrita abarca temas tan distintos como la teología, la musicología o la ciencia. Sin embargo, su interés para nosotros reside en el hecho de que su mentalidad se mostró totalmente abierta a las nuevas tendencias científicas en unas fechas relativamente tempranas, ejerciendo así una importante función de comunicador entre las corrientes modernas y los españoles dedicados a estas ciencias. Dentro de su obra enciclopédica, sus contribuciones fueron realmente interesantes en los campos matemáticos y astronómicos.

José de Zaragoza, por el contrario, dedicó todos sus esfuerzos a los temas matemáticos y astronómicos, además de estar totalmente inmerso en la España de aquellos años. Miembro de la Compañía de Jesús, trabajó como profesor en algunos de sus colegios. En Mallorca mantuvo relaciones con Vicente Mut, conocido por ser uno de los más importantes astrónomos prácticos del XVIII español. Tras algunos años en Valencia, donde publicó sus primeras obras, fue enviado al Colegio Imperial de Madrid, donde permaneció hasta la muerte. Frente a sus trabajos matemáticos, que presentaban algunos defectos y limitaciones, Zaragoza fue autor de importantes estudios astronómicos que ayudaron a introducir en España, de la mejor manera posible, los avances de las nuevas corrientes. En sus obras se comprueba que fue un gran astrónomo práctico con un magnífico conocimiento de la astronomía europea del momento. Aunque evita en todo momento admitir la teoría heliocéntrica, se puede observar con claridad en sus trabajos el uso de una metodología de carácter empírico totalmente moderna (intenta fundamentar las hipótesis con datos de observaciones astronómicas) y una evidente negación de las bases de la cosmología clásica.

La enseñanza de las matemáticas y la astronomía había desaparecido casi por completo en las universidades de Salamanca, Alcalá de Henares y Valladolid. En Madrid, un extranjero tuvo que suceder a José de Zaragoza en su cátedra. Este panorama, con el que se llega a los últimos años del siglo, es sin embargo bastante distinto en otras zonas del país. En algunas ciudades de la periferia, como Palma de Mallorca, Valencia, Sevilla o Cádiz, parece que hubo una disposición más favorable al progreso de las ciencias. En Mallorca destacaron dos importantes astrónomos prácticos: Vicente Mut y Miguel Fuster. En Valencia se desarrolló la tertulia de Baltasar de Iñigo, en la que pronto destacaron dos jóvenes científicos cuyas obras se proyectarían ya hacia los primeros años del siglo XVIII: Juan Bautista Corachán y Tomás Vicente Tosca. Corachán fue el primer titular de la cátedra de matemáticas de la Universidad de Valencia y entre sus obras podemos destacar, sin duda, los *Avisos del Parnaso*, en la que, mediante un diálogo entre los representantes de la tradición y los partidarios de las tendencias modernas, aprovecha para situarse a favor de la renovación y de la experiencia como criterio científico. Por otro lado, Tosca fue autor del importante *Compendio Matemático*, obra en nueve volúmenes redactada a finales del XVII, de ahí su desco-

nocimiento de algunos de los avances ocurridos después de 1680 (aportaciones de Leibniz y Newton sobre el cálculo infinitesimal, obra óptica de Huygens). En Cádiz residía por entonces Antonio Hugo de Omerique, nacido en Sanlúcar de Barrameda en 1634, conocido por la publicación de una obra titulada *Analysis Geométrica* (1698) de la que sólo apareció la primera parte y que constituye, según algunos autores, “una de las pocas producciones científicas de carácter auténticamente original” publicadas en aquella época.

2.3. La renovación de las técnicas: la náutica

El movimiento renovador que hasta ahora hemos descrito, contribuyó también, en gran manera, a dignificar los trabajos técnicos —no debemos olvidar que el trabajo era considerado como una deshonra por las clases dominantes en el Antiguo Régimen— y al acercamiento entre la ciencia y la técnica, de forma que las aplicaciones prácticas de la primera fuesen consideradas como ciencias aplicadas. En este terreno fue muy importante el papel desarrollado por el Padre Zaragoza, quien, al igual que otros renovadores como Tosca y Corachán, colaboró muy activamente en la resolución de numerosos problemas técnicos.

Dentro de este capítulo dedicado al desarrollo de las técnicas es donde corresponde hacer mención al estado de la navegación y los estudios con ella relacionados. De nuevo seguimos a López Piñero (3) cuando piensa que la náutica es la única de las técnicas incluidas en la vertiente matemática, física y astronómica de las ciencias que puede acogerse sin demasiados problemas a la periodificación establecida para el movimiento renovador en las ciencias biológicas y químicas. Así pues, podemos distinguir tres fases bien diferenciadas en la evolución de la náutica durante el siglo XVII:

1. Un primer tercio del siglo en el que continúa la vigencia de las grandes obras hechas por los españoles en el Renacimiento, incluso a nivel europeo.

2. Unos años centrales en los que la tradición anterior se hunde y los estudios de náutica desaparecen hasta de la Casa de Contratación de Sevilla.

3. Una parte final de la centuria marcada por un importante resurgir de los estudios dedicados a la navegación. Es ahora, en 1681, cuando se crea el Colegio de San Telmo en Sevilla, y también cuando aparecen dos figuras destacadas en esta materia: Francisco Seijas y Lobera y Antonio de Gaztañeta Iturrizaga. Seijas navegó por gran parte del mundo y realizó una importante actividad cartográfica, dejando manuscritos algunos trabajos de matemáticas y metalurgia; en su principal obra, el *Theatro naval hidrográfico*

(3) Ibidem.

(Madrid, 1688), estudia las corrientes, las mareas y los vientos, además de las variaciones de la aguja. Gaztañeta, con su *Norte de la Navegación* (Sevilla, 1692), introdujo importantes novedades técnicas en la náutica española, como el cuadrante de reducción, la corredera y la utilización de la proyección esférica de Mercator.

3. LA ASTRONOMIA Y NAVEGACION EN LA PRIMERA PARTE DEL SIGLO XVIII

3.1. Los nuevos instrumentos

Después de la difusión de las novedades aportadas a la ciencia por Newton, sobre todo la formulación de la ley de la gravitación universal, se abrió un amplio panorama para el desarrollo de la mecánica celeste y de la astronomía observacional, proceso que fue acompañado por interesantes avances en las técnicas de construcción de instrumentos.

A lo largo de todo el siglo XVII se fue constatando un importante cambio en la precisión de la instrumentación científica. El proceso, iniciado por Tycho Brahe con sus trabajos para la fabricación de nuevos instrumentos y el aumento de su precisión, continuó con la invención del telescopio refractor, utilizado en 1610 por Galileo, al que se le fueron añadiendo con el paso de los años, modificaciones y perfeccionamientos (micrómetros, retículo filiar). De esta forma, mientras la construcción de instrumentos astronómicos de precisión se iba especializando y profesionalizando, los aparatos tradicionales fueron cayendo en desuso. Sin embargo, los telescopios refractores presentaban dos dificultades para su utilización como aparatos de precisión: la aberración esférica (indefinición del astro observado) y la aberración cromática (halo de luz alrededor del astro). Los estudios dirigidos a solucionar estos problemas llegaron a un punto importante cuando, en 1688, Newton construyó el primer telescopio refractor, libre de los errores provocados por la aberración. No obstante, aunque sus ventajas eran considerables, su difícil construcción determinaría que no fuesen utilizados con asiduidad hasta finales del siglo XVIII (Herschell). Los telescopios refractores irían evolucionando, mientras tanto, hacia la precisión con la construcción de los primeros anteojos acromáticos.

Uno de los principales temas de investigación de los astrónomos del siglo XVIII fue la determinación de las posiciones de los astros, para lo cual era necesario establecer el valor de sus coordenadas ecuatoriales: la declinación y la ascensión recta. El cuarto de círculo, instrumento consistente en un cuarto de círculo fijo situado en el meridiano del observatorio, permitía medir la altura angular de los astros sobre el horizonte en el momento de su paso por dicho meridiano, por lo que se convertía en un aparato muy útil en la determinación de la declinación. No era, sin embargo, tan preciso a la hora de observar la ascensión recta, de ahí la introducción de un nuevo instru-

mento, el instrumento de pasos, consistente en un anteojo fijado perpendicularmente a un eje que gira y permite su movimiento en el plano del meridiano. Este instrumento, especializado en la observación del paso de los astros por el meridiano del lugar de observación, y por tanto muy útil en las determinaciones de la ascensión recta, necesitaba como complemento un péndulo de precisión que permitiese fijar con exactitud el instante preciso de la efemérides.

Tenemos ya, después de este breve repaso a la evolución de los instrumentos, las bases de lo que sería la instrumentación mínima de un observatorio astronómico en los inicios de la Ilustración: algún anteojo para la observación de los fenómenos astronómicos extra-meridianos y los instrumentos necesarios para la construcción de catálogos de posiciones estelares: el cuarto de círculo, el anteojo de pasos y el péndulo astronómico.

3.2. Hacia la navegación astronómica

Desde que, en el período del Renacimiento, se realizaran las grandes navegaciones que llevaron a América a los europeos y permitieron la expansión de los imperios coloniales de España y Portugal, la náutica no había registrado grandes mejoras ni progresos espectaculares. Los navegantes seguían contando con muy pocos medios para poder realizar una travesía segura: la brújula (que no marcaba el norte debido al error provocado por la declinación magnética), la posibilidad de establecer con facilidad la latitud, algunas cartas náuticas (generalmente imperfectas) y unos relojes no muy exactos. La distancia recorrida se calculaba mediante la estima de la velocidad, para lo que los navegantes ingleses introdujeron el uso de la corredera. Por tanto, la navegación por el océano continuaba siendo bastante complicada, especialmente por el desconocimiento de un método seguro para poder determinar la posición geográfica del buque.

Para poder fijar la posición geográfica de un lugar cualquiera, todos sabemos que se necesita determinar con exactitud sus dos coordenadas: latitud y longitud. El cálculo de la primera fue resuelto sin muchos problemas, pues la latitud de un lugar coincide con la altura del polo celeste, identificado por medio de la estrella polar, en dicho lugar, por lo que bastaba con observar su altura para obtener con suficiente precisión dicha coordenada. La longitud, por el contrario, era mucho más difícil de calcular, pues para ello era preciso observar el mismo fenómeno celeste en dos puntos diferentes y extraer la diferencia horaria entre ambas observaciones. Muchos fueron los métodos propuestos a lo largo del siglo XVII para solucionar este problema, pero la mayoría de ellos resultaron de imposible aplicación en la mar, incluso el ideado por Galileo mediante la observación de las efemérides de los satélites de Júpiter.

No es de extrañar, pues, que el problema de hallar la situación de las naves en alta mar, y en cualquier momento del viaje, se convirtiese en un obje-

tivo de primera magnitud para los gobiernos europeos de la época. La primera nación que tuvo conciencia de la necesidad imperiosa de solucionar este asunto fue España, dado que eran cuantiosos los daños económicos ocasionados por la pérdida de los navíos en la carrera de Indias. La Corona Española ofreció en 1598 un importante premio en metálico para aquella persona que aportase un método seguro, preciso y practicable para la determinación de la longitud en el mar. Esta convocatoria estuvo vigente durante los reinados de Felipe III y Felipe IV y a ella se presentaron, entre otros, Galileo, Luis de Fonseca, Arias Loyola, M.F. van Langren y José de Moura.

La iniciativa tomada por el gobierno español fue secundada rápidamente por aquellos países que también tenían intereses en ultramar, como Holanda, Francia e Inglaterra. El Parlamento inglés creó el Board of Longitude, oficina encargada de verificar las propuestas que obtendrían un premio de veinte mil libras si conseguían con su método una precisión mayor al medio grado de error.

A pesar de todo, las dos únicas alternativas que aparecían como más viables, la utilización de cronómetros marinos para conseguir un exacto cálculo de la diferencia horaria y el método de la observación de las distancias lunares, contribuyeron a hacer cada vez más patente la necesidad de que los navegantes recurriesen a la astronomía.

Los cronómetros marinos

El procedimiento de la utilización de relojes para la determinación de la longitud había sido propuesto ya en el siglo XVI (Fernando Colón, Gemma Frisius), aunque no pudo ser aplicado con aprovechamiento hasta que la precisión de la relojería alcanzó un determinado nivel. El procedimiento consistía en llevar en el barco un reloj con la hora del meridiano del lugar de partida, que había de ser comparada con la hora local obtenida mediante observaciones astronómicas. La diferencia entre ambas, medida en unidades de arco, era la que establecía la diferencia de longitud con el lugar de origen.

Los primeros trabajos destinados a aumentar la precisión de los relojes fueron emprendidos en la segunda mitad del siglo XVII por Huygens y Hooke. El primer cronómetro marino, considerado como tal, fue el presentado por el relojero inglés John Harrison al premio otorgado por el Parlamento en 1735. Después de probarlo, con muy buenos resultados, en un viaje a Lisboa realizado durante el año siguiente, obtuvo una ayuda oficial para continuar con sus trabajos, lo que le permitió construir dos nuevos relojes, de los que el cronómetro número 3 resultó ser el más preciso, con un error inferior al tercio de grado, haciéndole acreedor al premio en 1764.

En Francia, mientras tanto, Ferdinand Berthoud trabajaba también en este mismo asunto, siguiendo los pasos de Harrison. De esta forma, la necesidad de solucionar un problema de la navegación contribuyó directamente

al desarrollo de la relojería de precisión, mientras que ésta favorecía la solución de la practicabilidad de un método que, aunque conocido desde bastante tiempo atrás, no había podido ser aplicado hasta entonces. Así pues, a mediados del siglo XVIII los cronómetros se fueron haciendo habituales en las prácticas náuticas y cartográficas de los navegantes europeos.

El método de la observación de las distancias lunares

La confección de los primeros catálogos precisos de posiciones estelares, el perfeccionamiento de los conocimientos sobre el movimiento de la Luna y la nueva generación de instrumentos aparecidos a principios del siglo XVIII, hicieron factible un nuevo método para la determinación de la longitud, ideado por astrónomos y marinos: la observación de las distancias lunares.

El desplazamiento de la Luna respecto a las estrellas podía ser utilizado como un cronómetro universal, más incómodo pero más preciso que los descritos anteriormente. La práctica de este método, consistente en observar la distancia angular de la Luna a un astro de referencia (Sol o estrella) y las alturas de ambos sobre el horizonte, aprovechando los instantes en que nuestro satélite ocultaba determinadas estrellas o planetas, era bastante complicada para aquéllos que no fuesen astrónomos profesionales pues, disponiendo de estos datos y conociendo la hora local de la observación, había que efectuar una serie de correcciones sobre la distancia observada (refracción y paralaje) que necesitaban cálculos muy complejos. Pensando en la utilidad que el procedimiento podía tener para los navegantes, algunos astrónomos trabajaron desde fines del XVII en la confección de una serie de tablas para ser usadas en su aplicación. En ello trabajaron hombres como Newton, Halley o Mayer. El problema comenzaría a vislumbrar una solución hacia mediados del siglo XVIII, cuando Mayer publicase unas tablas, con cuya redacción definitiva de 1764 se alcanzó una fiabilidad muy parecida a la del método de los relojes de Harrison.

Aunque la mayoría de los marinos tradicionales no vio con buenos ojos la introducción de unos métodos científicos cuya aplicación y cálculos les parecían inasequibles, los astrónomos y navegantes ilustrados consiguieron imponer en la práctica náutica estos nuevos métodos que librarían a la navegación de la inseguridad de la estima.

4. LA SITUACION EN LA ESPAÑA DE LOS PRIMEROS AÑOS DEL XVIII

4.1. La nueva política científica

El siglo XVIII significó para nuestro país importantes cambios en todos los aspectos. Tras la instauración de la dinastía borbónica y el final de la

Guerra de Sucesión, se abrió un período de paz y crecimiento económico en el que el nuevo monarca, Felipe V, llevó a cabo una política encaminada hacia la recuperación de España como potencia política y económica de primer orden.

Para ello era indispensable impulsar el desarrollo de las ciencias y las técnicas de tal forma que pudiesen alcanzar un nivel parecido al que ya existía en el resto de Europa. Sin embargo, como ya hemos visto con anterioridad, el respeto a la tradición era aquí mucho más fuerte y las universidades no parecían dispuestas a adaptarse a las nuevas corrientes científicas imperantes en el mundo.

Para salir de esta situación, los primeros gobiernos ilustrados tuvieron que actuar en varios frentes, entre los que podríamos destacar, siguiendo al profesor Vernet (4), los siguientes:

1. Felipe V estableció un sistema de apoyos para que algunas personas pudiesen estudiar en el extranjero, algo que se convertiría en práctica habitual en la segunda mitad de la centuria y que rompería con la política iniciada por Felipe II al publicar la Real Pragmática que prohibía salir de España a estudiar y a enseñar.
2. La contratación de técnicos y profesores extranjeros cuando se hacía necesario suplir la carencia de especialistas españoles en los temas más modernos.
3. La atenuación de la fuerza represiva de la censura en materias científicas, de forma que pudiese darse la libre circulación de obras científicas y la traducción de importantes libros extranjeros.
4. La creación de nuevas instituciones científicas que sustituyesen a las inadaptadas universidades en la investigación. La protección estatal a todo tipo de instituciones modernas dio lugar, de esta forma, a la institucionalización de numerosas tertulias privadas.

Con esta nueva política científica, los primeros gobiernos ilustrados sentaron las bases de un desarrollo científico y técnico cuyos frutos comenzaron a madurar a partir de la segunda mitad del siglo XVIII, etapa muy importante de la historia de la ciencia española de la que hoy no nos corresponde hablar.

4.2. La evolución de las enseñanzas náuticas

Como se vio anteriormente, al analizar el desarrollo de la náutica en la España del XVII, en los últimos años de este siglo tuvo lugar un importante resurgir de los estudios dedicados a la navegación, resurgir que en el plano

(4) Vernet Ginés, J.: Historia de la ciencia española (Madrid, 1976).

institucional se vio plasmado en la creación en Sevilla del Colegio de San Telmo (1681). Este centro, imbuido de las características típicamente modernas impulsadas por el movimiento renovador, sirvió de claro antecedente a otras instituciones científicas y docentes creadas durante el Siglo de las Luces.

En este colegio tuvieron acogida muchachos huérfanos y abandonados, generalmente hijos de personas relacionadas con el mar. Eran instruidos, en régimen de internado, con la intención de formarlos profesionalmente para tomar parte en las travesías de la carrera de Indias. Durante un período de cinco a seis años aprendían a leer, escribir y contar, además de recibir nociones de construcción naval, artillería, cosmografía y navegación. Pasado este tiempo de enseñanzas teóricas eran embarcados en navíos que viajaban a Levante o a las Indias.

La importancia de la labor desarrollada por esta institución sevillana, en la que con una mentalidad totalmente moderna se impartían las enseñanzas técnicas necesarias para la navegación, tendría sus frutos unos años más tarde, cuando durante el siglo XVIII se produjese el reforzamiento de la Marina, pues la mayor parte de las tripulaciones de los buques españoles había pasado por ella.

4.3. La reforma de la marina

La instauración de la dinastía borbónica significó, ya lo hemos dicho, una importante transformación en las estructuras del estado español. La base central de la política de los primeros gobiernos del siglo fue la consecución del fortalecimiento de España como potencia europea. La Marina, olvidada por el estado durante el siglo anterior, fue desde entonces una de las instituciones clave en una nación que, como la nuestra, necesitaba mantener y dominar las comunicaciones oficiales y comerciales con el imperio ultramarino. El nombramiento de Patiño, en 1717, como Intendente General de Marina fue el primer paso en este sentido. Bajo su responsabilidad tuvieron que ser cometidas una serie de urgentes medidas encaminadas a la creación de una flota nacional de carácter militar y toda la infraestructura de su organización y mantenimiento. Paralelamente, dadas las nuevas características de la guerra y los ejércitos y de los buques en ella empleados, se comenzó a regular una nueva forma de aprendizaje para aquellos que iban a defender desde el mar los intereses de la Corona.

De ese interés por reclutar y preparar un cuerpo de oficiales de la marina de carácter profesional surgió, gracias al fuerte impulso de Patiño y sus sucesores en el cargo, la creación de una academia para la formación de los cadetes. La mísera situación de la Armada y sus oficiales en los últimos años del siglo precedente, había provocado un enorme desinterés de la nobleza por su integración en la Marina. Sin embargo, la nueva política abierta en este sentido trajo consigo la apertura en 1717 de la Academia de Guardias

Marinas de Cádiz, destinada a la formación de “una oficialidad instruida en consonancia con las nuevas exigencias del arte de navegar y de la guerra” (5).

La primera novedad en la estructura de la nueva institución sería la división de sus enseñanzas, y así lo recogió la *Instrucción* otorgada por Patiño en 1717, en teóricas (a desarrollar en las dependencias) y prácticas (estudiadas en el posterior período de embarque). Así pues, la enseñanza técnica debía estar unida a una fuerte formación matemática que permitiese a los futuros oficiales poder asimilar sin problemas los continuos progresos científicos desarrollados en el extranjero. En el primer período, el escolar, los cadetes recibirían el adiestramiento militar y los conocimientos de matemáticas, cosmografía, náutica, fortificación, artillería y construcción naval. Después, en el período de embarque, y supervisados por un piloto, deberían aprender todas aquellas materias que entraban en las funciones de un marino profesional: construcción de la rosa de los vientos, formación de un diario de navegación, observación de la altura máxima del Sol, determinación de la latitud, uso de la corredera y cartas de navegación, y los cambios de mareas.

No obstante, pese a los grandes esfuerzos realizados por los profesores de matemáticas elegidos al efecto: Francisco Antonio de Orbe, Piloto Mayor de la Casa de Contratación y Pedro Manuel Cedillo, profesor en el Colegio de San Telmo de Sevilla, parece ser que la resistencia de los alumnos a conceder importancia a los temas matemáticos y técnicos fue uno de los principales problemas con los que hubo de enfrentarse la dirección del nuevo centro.

De todas formas, los estudios realizados por Lafuente y Sellés (6) sobre la fundación y desarrollo de esta institución, han demostrado que, a pesar de la gran cantidad de materias científicas y náuticas contenida en los programas, los cadetes no llegaron nunca a un nivel muy elevado de conocimientos. El plan de Patiño nunca fue llevado a la práctica en su totalidad, por eso hacia 1734 se hizo necesaria una reestructuración, llevada a cabo por Diego Bordick, en un intento de regular con mayor detalle los contenidos de la formación teórica que los alumnos recibían en la clase de matemáticas, aplicando una nueva filosofía dirigida hacia la consecución de unos oficiales capaces de discernir y pensar lógicamente. Es ahora, cuando pasa a un primer plano la importancia de la resolución de problemas prácticos y la superación de las posturas dogmáticas.

Este proceso de evolución en la modernidad de los conocimientos impartidos en la nueva academia se había iniciado ya algunos años antes con la presencia en la misma de personajes como Pedro Manuel Cedillo y Juan José Navarro, autor de algunos trabajos teóricos bastante innovadores relacionados con la navegación. A partir de la década de los cuarenta tiene lugar la definitiva ordenación de la estructura del centro. Todo lo relativo a la vida

(5) Lafuente, A.; Sellés, M.: *El Observatorio de Cádiz*. (1753-1831). (En prensa).

(6) *Ibidem*.

académica y docente fue adquiriendo un protagonismo cada vez más decisivo. El nombramiento de Rodrigo Pedro de Urrutia como comandante de la Compañía de Guardias Marinas supondría una decantación definitiva del centro como institución preferentemente científica al servicio de las necesidades técnicas de la Armada, lo que, a su vez, posibilitaría la reactivación de las actividades de carácter docente y la futura creación del Observatorio. Fue un proceso lento en el que influiría decisivamente la acción de Jorge Juan, Comandante de la Compañía a partir de 1751.

Almanach
perpetuus exactissime
nuper emēdatū omniū
celi motuum cum addi-
tionib⁹ in eo factis te-
nens complementum.

Cum Gratia et Privilegio.

Portada del *Almanach Perpetuum* de Abraham Zacuto (Venecia, 1502).

Breue compendio de la sphaera y de la arte de
 nauegar con nuevos instrumentos y reglas exemplificado
 con muy subtiles demonstraciones: compuesto por Martin
 Cortes natural de burjalaroz en el reyno de Aragon y de
 presente vezino de la ciudad de Cadiz: dirigido al inuictissi-
 mo Monarcha Carlo Quinto Rey de las Espanias etc.
 Señor Nuestro.



Portada del *Breue compendio de la sphaera...* de Martín Cortés (Sevilla, 1551).



Portada del *Regimiento de navegación* de Andrés García de Céspedes (Madrid, 1606).



Portada del *Norte de la navegación...* de Antonio de Gaztañeta (Sevilla, 1692).