

# DON ANTONIO DE ULLOA Y LA FORMA DE LA TIERRA

Manuel CATALÁN PEREZ-URQUIOLA  
Almirante director del Real Instituto  
y Observatorio de la Armada

## RESUMEN

Don Antonio de Ulloa y de la Torre-Giral puede definirse como un genuino representante del oficial de la Armada española ilustrado. En la mitad del XVIII los funcionarios provenían de dos clases bien diferenciadas: los cuerpos de élite formados, fundamentalmente por los procedentes de colegios mayores, academias militares y determinados batallones del ejército y aquellos otros que se formaban en otros centros y medios de carácter exclusivamente práctico en el campo laboral o en la milicia, sin contar con la protección que institucionalmente recibían los procedentes de aquellos cuerpos a los que se tenía acceso mediante exigentes pruebas de nobleza.

Una estrecha vinculación entre ministerios y cuerpos militares, con facilidad de promoción y de ascensión definió los setenta y cinco primeros años del siglo XVIII. Durante ese tiempo Ulloa consigue realizar y destacar con luz propia en sus actividades; formado en la Real Academia de Guardias Marinas, el primer cuerpo institucionalizado de las Fuerzas Armadas participó con Jorge Juan, de forma directa y destacada en la medida del arco de meridiano, primera campaña geodésica de cooperación internacional dirigida a conocer por medida directa, la verdadera forma de nuestro planeta, alcanzó destacados puestos políticos (superintendente de Huancavélica y su distrito (1758), gobernador de Luisiana (1766), así como otros de diverso carácter técnico). Pero es en el campo de la ciencia donde D. Antonio de Ulloa alcanza su máxima transcendencia histórica. Sus conocimientos y su cientifismo le hicieron destacar en diversas disciplinas, desde las que potenció el afán de la revolución científica que caracterizó al siglo XVIII en la Armada de España, promoviendo todo tipo de actividades que redundarían en el desarrollo cultural y material del país.

Pero Ulloa, además de marino, fue experto en botánica, astronomía, geología y cartografía y también destacó como matemático e ingeniero. A todo ello resulta hoy obligado añadir las actividades que desarrolló en Nueva España, donde propició, fomentó y sugirió una serie de realizaciones en relación con sus astilleros que no llegaron a materializarse y han sido en gran parte olvidadas.

## LA VISIÓN PRIMITIVA DE LA FORMA DE LA TIERRA

El descubrimiento de que la Tierra es un mundo pequeño se llevó a cabo, como tantos otros importantes descubrimientos humanos, en la ciudad egip-

cia de Alejandría. Vivía allí un hombre enciclopédico llamado Eratóstenes que reunía conocimientos de astrónomo, historiador, geógrafo, filósofo, poeta, crítico teatral y matemático. Fue director de la gran Biblioteca de Alejandría, donde un día leyó en un libro de papiro que en un puesto avanzado de la frontera meridional, en Siena, cerca de la primera catarata del Nilo, en el mediodía del 21 de junio, un palo vertical no proyectaba sombra. En aquel momento podía verse el Sol reflejado en el agua en el fondo de un pozo hondo, pues se encontraba directamente sobre las cabezas de los observadores.

Eratóstenes tuvo la intuición de observar si realmente en Alejandría los palos verticales proyectaban sombras hacia el mediodía del 21 de junio. Y descubrió que sí lo hacían postulando que la única respuesta posible era que la superficie de la Tierra está curvada. Y no sólo esto, sino que cuanto mayor fuera su curvatura, mayor debería ser la diferencia entre las longitudes de las sombras. Supuso que el Sol estaba tan lejos que sus rayos eran paralelos al llegar a la Tierra y que los palos situados formando diversos ángulos con respecto a los rayos del Sol, proyectarían sombras de longitudes diferentes.

La diferencia observada en las longitudes de las sombras hacía necesario que la distancia entre Alejandría y Siena fuera de unos siete grados a lo largo de la superficie de la Tierra. Siete grados debía ser aproximadamente una cincuentaava parte de los trescientos sesenta grados que contiene la circunferencia entera de la Tierra. Eratóstenes sabía que la distancia entre Alejandría y Siena era de unos 800 kilómetros, porque contrató a un hombre para que lo midiera a pasos. Ochocientos kilómetros por 50 dan 40.000 kilómetros: ésta debía ser pues la circunferencia de la Tierra con un error de sólo unas partes por ciento, lo que constituyó un logro notable hace 220 años al ser la primera persona que midió con precisión el tamaño de un planeta.

En la época de Eratóstenes la representación geográfica se basaba en globos que representaban la Tierra vista desde el espacio, que eran esencialmente correctos en su descripción del Mediterráneo, una región bien explorada, pero que se presentaban crecientemente inexactos a medida que se alejaban. Nuestro actual conocimiento del Cosmos repite este rasgo desagradable pero inevitable. En el siglo primero, el geógrafo alejandrino Estrabón escribió:

«Quienes han regresado de un intento de circunnavegar la Tierra no dicen que se lo haya impedido la presencia de un continente en su camino, porque el mar se mantenía perfectamente abierto, sino más bien la falta de decisión y la escasez de provisiones... Eratóstenes dice que a no ser por el obstáculo que representa la extensión del océano Atlántico, podría llegar fácilmente por mar de Iberia a la India... Es muy probable que en la zona templada haya una o dos tierras habitables... De hecho, si esta otra parte del mundo está habitada, no lo está por personas como las que existen en nuestras partes, y deberíamos considerarlo como otro mundo habitado.»

Desde los primeros historiadores la obra de Tolomeo figura, aún ahora,

entre las aportaciones más destacadas del legado histórico de nuestra Geografía. Su parte gráfica nos ha revelado la imagen geográfica del mundo conocido a comienzos de la era cristiana, mostrando el claro contraste que existió con las concepciones que siglos después reflejaron los códices medievales.

Sin embargo, los datos sobre su personalidad aparecen escasos y confusos sumidos, frecuentemente, en la servidumbre de la leyenda y donde probablemente, el legado de su obra nos ha llegado, por una casualidad de la historia, en medio de tantas aportaciones perdidas en la secuencia de los acontecimientos y de las que sólo tenemos alguna referencia, a través de su descripción en los trabajos de otros escritores. Tal es el caso de Marino de Tiro, cuyo mapa del mundo constituyó, probablemente en gran parte, la base inicial de los trabajos de Tolomeo.

De todos sus trabajos en los campos de la astronomía, matemáticas, óptica y geografía hay que destacar dos, por su posterior influencia universal, el *Almagesto* y la *Geographia o Atlas del Mundo* tal y como él lo conocía.

Tolomeo trabajó en la Biblioteca de Alejandría en el siglo II, y en su calidad de astrónomo amplió, en su *Almagesto*, la catalogación de 1028 estrellas realizadas por Hipparcos, puso nombre a las estrellas, cuantificó su brillo, razonó que la Tierra es una esfera, estableció normas para predecir eclipses, y quizás lo más importante, intentó comprender por qué los planetas presentan ese extraño movimiento errante contra el fondo de las constelaciones lejanas desarrollando un modelo de predicción para entender los movimientos planetarios y codificar el mensaje de los cielos.

Convencido Tolomeo de que la Tierra era el centro del sistema planetario, trató de explicar la aparente retrogradación de los planetas suponiendo que no sólo se movían regularmente alrededor de la Tierra, sino que además iban girando alrededor de cada punto de su órbita, a la que llamó «deferente». Todos los planetas, según él, además del de rotación alrededor de la tierra, tenían un movimiento secundario alrededor de un punto de su órbita. Al observador desde la Tierra el continuo bailar de los planetas hacía la ilusión de que iban retrocediendo en su camino, porque el movimiento alrededor del punto era más rápido que el del planeta alrededor de la Tierra. Esta explicación tenía sólo el inconveniente de que no se conformaba con la realidad.

Las esferas etéreas de Tolomeo, que los astrónomos medievales imaginaban de cristal, nos permiten hablar todavía de los distintos cielos (había un «Cielo» o esfera para la Luna, Mercurio, Venus, el Sol, Marte, Júpiter y Saturno, y otro más, un séptimo Cielo, para las estrellas). Si la Tierra era el centro del Universo, si la creación tomaba como eje los acontecimientos terrenales, si se pensaba que los cielos estaban contruidos con principios del todo ajenos a la Tierra, poco estímulo quedaba entonces para las observaciones astronómicas. El modelo de Tolomeo, apoyó la Edad de la Barbarie y contribuyó a frenar el ascenso de la Astronomía durante un milenio.

Pero Tolomeo sintió igualmente la inquietud de profundizar en la descrip-

ción gráfica de la forma del planeta. Su *Geographia*, tal y como nos ha llegado a nosotros, se compone de una serie de instrucciones de carácter cartográfico, incluyendo la determinación de sus coordenadas, abarcando algo más de 8000 puntos significativos, y una colección de mapas describiendo las zonas conocidas. Su obra trascendente se tradujo al latín por Giacomo D'Angelo da Scarperia (1406) siendo completada en sus aspectos gráficos por Lapaccino y Boninsegni.

## ASTRONOMÍA, NAVEGACIÓN Y CARTOGRAFÍA EN EL DESCUBRIMIENTO

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

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

El primer cartógrafo conocido que firma sus cartas en Mallorca es Angelino Dulcert, a quien se atribuye una carta fechada en 1339 que incluye la zona de Mesopotamia y Persia, representa el mar Negro y llega hasta el Caspio. En el Atlántico mejora posiciones anteriores llegando hasta la península Escandinava, situando al oeste de Irlanda una isla fruto de su imaginación y al sur de las islas Canarias otra que denomina *Insula Santi Brandani sive pullarum*.

La más importante, quizás, de las cartas mallorquinas es la conocida como el *Atlas Catalán de 1375*, atribuida al judío mallorquín Jafuda Cresques, relojero y constructor de instrumentos de navegación. El mapa presenta mucha semejanza con la Carta de Dulcert, mejora la representación del Norte de Africa y amplía hacia el Este la representación, utilizando información adquirida de sus familiares que recorrieron las zonas y de Marco Polo en su libro *De las cosas maravillosas*.

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 Macía de Viladestes (1413), trazada en un pergamino de cinco palmos de largo y cuatro de ancho, y comprende todo lo descubierto en Europa, Africa hasta Guinea y los confines de Asia, incluyendo por el Occidente las Canarias y Cabo Verde. Más conocida es la carta hecha en Mallorca por Gabriel de Valseca, comprada por Américo Vespuccio en 130 ducados de oro, que, con-

teniendo los reinos y provincias de Europa, Asia y Africa hasta Río de Oro, describía en breves notas sus puertos, lugares y costumbres.

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

La culminación fue sin duda el descubrimiento de América por Cristóbal Colón, y los viajes de los siglos siguientes, que completaron la exploración geográfica de la Tierra. El primer viaje de Colón está relacionado del modo más directo con los cálculos de Eratóstenes. Colón estaba fascinado por lo que llamaba la «Empresa de las Indias», un proyecto para llegar al Japón, China y la India, sin seguir la costa de Africa y navegando hacia el Oriente, sino lanzándose audazmente dentro del desconocido océano occidental; o bien, como Eratóstenes había dicho: «pasando por mar de Iberia a la India».

Colón había sido un vendedor ambulante de mapas viejos y un lector asiduo de libros escritos por antiguos geógrafos, como Eratóstenes, Estrabón y Tolomeo, o de libros que trataran de ellos. Pero para que la Empresa de las Indias fuera posible, para que las naves y sus tripulaciones sobrevivieran al largo viaje, la Tierra tenía que ser más pequeña de lo que Eratóstenes había dicho. Por lo tanto Colón hizo trampa con sus cálculos, como indicó muy correctamente la Universidad de Salamanca que los examinó. Utilizó la menor circunferencia posible de la Tierra y la mayor extensión hacia el este de Asia que pudo encontrar en todos los libros de que disponía, y luego exageró incluso estas cifras. De no haber estado las Américas en medio del camino, las expediciones de Colón habrían fracasado rotundamente.

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 y 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.

#### LA MODERNA CARTOGRAFIA. MERCATOR.

A la vez que en España se iniciaba la sistematización de los estudios astronómico-geográficos, en el resto de Europa y hasta el siglo XVI, los conocimientos geográficos habían seguido los desarrollos generales de una ciencia poco rigurosa. Las relaciones de los viajes se dirigían, generalmente, a despertar la imaginación del lector en lugar de a instruirle. La cartografía era deplorable y los límites del mundo conocido estaban limitados por el antiguo sistema de Ptolomeo, modificado por los informes de los viajeros que frecuentemente aportaban nuevos errores a los ya existentes.

El viejo mundo se encontraba dividido en tres secciones y según la cartografía de Andrea Bianco, que se conserva en San Marcos de Venecia, consistía en un gran continente partido en dos mitades desiguales por el Mediterráneo y por el Indico, extendiéndose de E. a W. jalonado por gran cantidad de islas. Africa se extendía, igualmente de E. a W. paralela a Europa y Asia, terminando al N. del Ecuador extendiéndose, la costa meridional de Asia, hacia el E. desfigurando la península indostánica y el golfo de Bengala.

Gerardo Mercator fue el mayor cartógrafo del siglo XVI. Su éxito radicó en la unión del tratamiento matemático y el trabajo de campo, lo que unido a su competencia como astrónomo instrumentista, grabador y polígrafo hicieron de él una figura trascendente en el futuro desarrollo de la geografía y de la navegación.

Su vida coincidió con la propagación de las ideas de la Reforma, lo que generó en él un alto interés por la lectura, estudio y conocimiento de las Sagradas Escrituras, y consecuentemente por Tierra Santa, que impulsó a Mercator a levantar su cartografía. Su conocimiento de la Biblia y su interés personal, le permitió modificar posiciones, corrigiendo distancias y direcciones geográficas, complementando su carta con su obra, desgraciadamente hoy perdida, *Amplísima Terre Sanctae Descriptio* que dedica al cardenal Granvela, Gran Consejero de Malina en 1537.

Aunque como cosmógrafo, Mercator fue un admirador de Ptolomeo y entusiasta estudiante de sus trabajos fue, sin embargo, un crítico corrector de su visión geográfica, cuestionando su mapa de Europa y la validez de sus ocho libros de geografía. Tras un estudio comparado de los viejos itinerarios y nuevas medidas y tras estudiar los documentos aportados por los nuevos navegantes, Mercator plantea los errores de la antigua Grecia, y que señalando la longitud desorbitada de 62° que le asignaba Tolomeo al Mediterráneo, ya

reducida a 58° en el globo de 1541, aconsejando una nueva reducción a 52° y sugiriendo la necesidad de progresar en los estudios necesarios para impulsar los nuevos métodos de determinar la longitud y, por tanto, del desarrollo astronómico.

Aunque, como hemos visto, su fama recae en sus aportaciones a las matemáticas, geografía y cartografía, Mercator es conocido, principalmente, como inventor de la proyección que lleva su nombre. Como es sabido, una proyección es la representación de una magnitud geométrica en una superficie plana, por lo que siendo evidente la imposibilidad de obtener la proyección plana de una esfera sin que exista una deformación, aparece definido como gran problema de la cartografía el encontrar una proyección que ocasione la menor deformación posible de las magnitudes que, en sus aplicaciones prácticas, resulten en cada caso fundamentales.

Mercator profundiza en los estudios de la proyección cónica pura sugerida por Ptolomeo, que no conserva la igualdad entre los espacios, donde los paralelos son circunferencias y las distancias sólo quedan ajustadas en la dirección de los meridianos. Como primera modificación, Mercator sustituye el cono tangente a la esfera por un cono secante, cortando a la esfera sobre dos paralelos equidistantes del paralelo medio, generando una proyección que parecía disminuir las deformaciones introducidas por la cónica pura.

Mercator concibió las ventajas de una proyección que aumentará la separación entre los grados de latitud al separarse del Ecuador en la misma proporción en que los grados de longitud debían aumentarse para mantener el paralelismo de los meridianos.

En 1564 publica su famoso planisferio *Nova et ancta orbis terrae descriptio ad usum navigantium accommodata* para uso en la navegación, primer mapa con la proyección de Mercator donde meridianos y paralelos aparecen cortándose en ángulo recto. La proyección deforma las distancias, por la secante de la latitud, pero mantiene las direcciones que a rumbo constante, unen los puntos geográficos de partida y destino de las mareas.

La representación de Mercator, equivalente a la resultante de una proyección cilíndrica de la esfera terrestre, aunque deformaba las distancias mantenía las direcciones permitiendo al navegante orientar su nave a rumbo constante, uniendo los puntos de salida y destino dejando abierto, para la navegación como único problema, el de la determinación de la longitud por la observación de las estrellas. Existen dudas de que Mercator intuyó la idea física de su proyección, lo que permitió se achacara por algunos autores la paternidad de su descubrimiento, a Wright, que, simplemente explicó e introdujo mejoras en la proyección en 1590 y difundió su uso, que fue ya adoptado generalizadamente en 1630.

En su conjunto la aportación de los mapas, instrumentos e ideas de Mercator impulsaron a la geografía de su siglo más allá de la imagen clásica de Ptolomeo y fue trascendente en la historia futura por el valor inestimable en la cartografía náutica de la proyección cilíndrica de la esfera.

## LA ASTRONOMÍA HELIOCÉNTRICA. NICOLÁS COPÉRNICO.

Evidentemente la solución astronómica al problema de la situación no podía obtenerse mientras se mantuviera al sistema planetario geocéntrico, pudiendo sin embargo explicarse fácilmente el vagar de los planetas con sólo hacer el mismo sistema planetario heliocéntrico, esto es, con el Sol en el centro. Tal simple enunciación es la gloria de Copérnico. Este, además, es digno de la gloria asociada a su descubrimiento por la gran convicción con que lo expuso.

Recientemente se ha comprobado que ya en la antigüedad Aristarco de Samos y Arquímedes sospecharon que el Sol era el centro del sistema planetario, y hasta se atrevieron a anticipar esta teoría. Pero ninguno de los dos persistió eficazmente en el sistema heliocéntrico. Los escritos que se han conservado de Aristarco de Samos son geocéntricos, y Arquímedes, que es quien nos transmite la inclinación de Aristarco por el sistema heliocéntrico, no parece tampoco muy entusiasta de aquella hipótesis de su predecesor.

Copérnico criticaba a su Astronomía contemporánea la gran complejidad y poca fiabilidad con que predecía los eclipses y los movimientos observados de los planetas, en especial de Marte, observando que la hipótesis heliocéntrica, aunque inquietante como opuesto a las creencias de la época mejoraba, en simplicidad y exactitud, las predicciones de su modelo.

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

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 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 pudiera 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. (Tolomeo había tomado en consideración un modelo heliocéntrico de este tipo, pero lo desechó inmediatamente; partiendo de la física de Aristóteles, la rotación violenta de la Tierra que este modelo implicaba parecía contraria a la observación).

Copérnico apuntó la necesidad de considerar la gravedad como una propiedad de la materia imaginando la Tierra, el Sol, la Luna y los distintos planetas, no ya centros del mundo sino simples centros de gravedad. Esta hipótesis, que eliminaba el viejo concepto de centro universal, asignaba a la



materia de los cuerpos celestes su naturaleza de graves, dejando abierto el camino a que posteriormente Newton, con un mejor conocimiento de la mecánica y el apoyo de nuevos formalismos matemáticos, afronta definitivamente el problema.

Giordano Bruno contempló los planteamientos de Copérnico concibiendo, con extraordinaria intuición, un Universo en el que la Tierra no sólo quedaba simulada 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.

Copérnico, sin embargo, no es un científico moderno, pues no basó su teoría en observaciones propias ni se apoyó en hechos demostrables. No cree, como los modernos, en un Universo infinito, sino que acepta el Cosmos limitado y esférico de los griegos. Cree, como ellos, que las órbitas de los planetas son sólidas y que el movimiento esférico es el del Universo *porque es el movimiento más perfecto*. Tiene intuiciones geniales, que no demuestra, como que la Tierra gira sobre sí misma *porque el cuerpo redondo engendra naturalmente el movimiento* o que no hay diferencia esencial entre Tierra y astros *porque no hay seres viles en el Universo*. Pero tiene sobre todo una idea que enuncia con convicción: la organización del Universo responde a un orden matemático.

## LA REVOLUCIÓN CIENTÍFICA.

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; Kepler, que no estaba dotado para la observación, encontró en el material de observación de Brahe la base experimental de sus descubrimientos. Galileo abrió insospechadas posibilidades a la observación del firmamento con el uso del telescopio. Después de estos tres grandes hombres hay que esperar hasta la llegada de Newton para en el encuadre teórico de la Teoría de los Graves consolide, definitivamente, el sistema de Copérnico.

Y es 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 determinarían el mayor progreso de la Astronomía, el estímulo para la creación de los nuevos observatorios y, un siglo después, la solución definitiva de la posición en la mar.

La determinación de las latitudes, bien por altura de la estrella polar o más generalmente por alturas meridianas del Sol, cuyas efemérides eran conocidas con suficiente precisión, no presentaba por el momento una mayor dificultad, tanto para su determinación en posicionamiento fijo, como en la

mar: «...único dato de que se valían los marinos y en el que estribaba su mayor seguridad...», encontrándose en marcha progresos considerables que darían lugar a la mejora de la instrumentación de los observatorios fijos y a la aparición, en 1731, del cuadrante de reflexión de Halley, instrumento inmediato precursor del actual sextante.

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

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

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

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

## LOS OBSERVATORIOS ASTRONÓMICOS Y LA NAVEGACIÓN INSTRUMENTAL

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

El problema requería una actividad en diversos frentes, por una parte habría de desarrollarse el estudio de los procesos que permitieran determinar el tiempo en la mar, referido a un meridiano origen, bien por la observación

de sucesos simultáneos bien manteniendo la hora con mecanismos mecánicos idóneos para funcionar en el océano.

El desplazamiento rápido de la Luna con respecto a las estrellas fijas parecía menos fácil de utilizar que el girar de las agujas de un reloj, pero era más fiel al representar un reloj cósmico. Para su materialización se consideraba ideal aprovechar los instantes en que la Luna ocultara determinadas estrellas o planetas. El procedimiento adolecía del inconveniente de que este suceso era relativamente poco frecuente y debía complementarse con la medida de la distancia a la Luna de estrellas y planetas próximas a su conjunción. Su empleo quedaba subordinado al levantamiento de efemérides lunares de cierta precisión y referidas al meridiano origen.

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

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

Pocos años antes que el Observatorio de Greenwich, Luis XIV fundó el Observatorio de París, a fin de mejorar la obra de Tycho con observaciones que se completarían en el futuro en París. Picard fué enviado al Observatorio de Uraniborg con la misión de recoger información pasada y determinar las coordenadas del Observatorio de Tycho. El viaje fue especialmente útil desde un punto de vista científico al comprobar que debían corregirse las observaciones meridianas de Tycho en 18' y descubrir, de esta forma, el fenómeno de la aberración detectando, además, las correcciones aplicables a las observaciones de la Polar.

A su regreso a París volvió acompañado por el joven astrónomo danés Olans Römer, constituyéndose la plantilla de astrónomos junto a Auzont y Huygens, teniendo como director a Cassini. En 1675 se descubren los anillos de Saturno, se establecen medidas precisas de los eclipses de Júpiter observando un retraso según las ocultaciones se produzcan en oposición o conjunción. Römer tuvo el mérito de interpretar correctamente estos retardos obteniendo una primera medida de la velocidad de la luz.

## CIENCIA Y TECNOLOGÍA EN LAS BASES DE LA ILUSTRACIÓN

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 EVOLUCIÓN DEL PENSAMIENTO CIENTÍFICO Y SU INFLUENCIA EN LOS SISTEMAS DEFENSIVOS NACIONALES. 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. Más el país que dió 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.

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

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

Esta falta de orden completamente desfavorable para nuestras armas y que se

hizo patente durante la guerra de Sucesión atraído, como dijimos, la atención de Felipe V y cuando por el Tratado de Utrecht 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, dió la homogeneidad que la enseñanza y formación de los oficiales necesitaba para la unificación de las Armadas (1714); al subsistir hasta entonces dos escuelas, lo que hacía que mientras los oficiales de las armadas del Mediterráneo con una mayor formación matemática consideraban la maniobra en un plano secundario, los que servían en las del océano eran maniobristas y más marineros, no teniendo otra ciencia que su instrucción y experiencia a bordo. Tal diversidad de ideas originaba polémicas, enfrentamientos y una falta de esa cohesión que nuevamente aparecería un siglo más tarde.

## LA MEDIDA DEL ARCO DE MERIDIANO

Intuida desde la antigüedad, como hemos visto, la esfericidad de la Tierra razones científicas y estratégicas relacionadas con la delimitación de límites y fronteras aconsejaron a comienzos del siglo XVI, profundizar en el conocimiento por medida directa de su forma y tamaño exacto, problema que el holandés Wildebrand Snellio intentó resolver desde 1615 mediante la medida del arco de meridiano terrestre con el método de la triangulación.

Todos los cálculos que se efectuaron en el siglo XVII partían del supuesto de que la Tierra era una esfera perfecta. Por ello la determinación del valor de un grado debía permitir la medida de la circunferencia terrestre. Pero los trabajos que se efectuaron debían magnitudes bien diferentes para el grado del meridiano: mientras Snellio obtuvo 57.033 toesas, el jesuita Juan Bautista Riccioli lo establecía en 62.650, estos diferentes resultados tenían que constituir un acicate para la ciencia porque, como dice Jorge Juan,

«... a primera vista se descubre la enorme diferencia de estas dos célebres medidas, que es de 5.617 toesas por grado, y hacen a la tierra casi la octava parte mayor por la una que por la otra...»

y añade:

«... intolerable era la duda, que nace necesariamente de esta diferencia, sobre un supuesto tan importante a la Geografía y Navegación, o por decirlo mejor, de que depende como de principio».

La realización de una triangulación lo más extensa posible se convirtió en un objetivo fundamental de los trabajos. En este sentido se orientaron los esfuerzos de la Academia de Ciencias de París, calculando en 1669-1670 el astrónomo J.B. Picard las distancias entre París, Molveosine, Sourdon y

Amiens, obteniendo un valor de 54.706 toesas para el grado terrestre.

Pero la expedición de Richer a los dominios franceses de América ecuatorial, en 1672, supuso una novedad inesperada: el descubrimiento de que en Cayenna era preciso disminuir la longitud del péndulo para que el reloj marcara exactamente igual que en París, siendo Newton y Huyguens los que interpretaron correctamente este descubrimiento.

Newton interpretó el ensanchamiento ecuatorial del globo como resultado de la fuerza centrífuga producida al rotar el planeta sobre su eje:

«... dicha fuerza debe aumentar en proporción a la circunferencia de la curva que describe, por lo cual, siendo el círculo ecuatorial el mayor de los existentes, será ahí donde la fuerza centrífuga alcanzaría su valor máximo, disminuyendo luego progresivamente hasta desaparecer en los polos. Por ello la misma cantidad de materia, sometida en toda la tierra a la ley de la gravedad, debería pesar menos en el ecuador al estar ahí la superficie del planeta más alejada del centro circunstancia que obliga a Richer a acortar el péndulo en aquellas latitudes...».

El fuerte achatamiento polar del planeta Júpiter, mucho más veloz en su rotación que la tierra, avalaba y servía a la vez para confirmar la validez de la tesis newtoniana.

Los franceses, por otro lado, impugnaron la interpretación de Newton. Los trabajos de triangulación iniciados por Picard debían extenderse a la medida del meridiano de París en todo el territorio francés. En 1700, Jacques Cassini fue encargado de completar estos trabajos prolongándolos por el sur hasta Colliure y luego por el norte hasta Dunkerque.

Los resultados obtenidos por él al comparar la medida del arco meridional con el septentrional fue que los grados del primero tenían mayor longitud que los del segundo y que por consiguiente la Tierra debía estar, en contra de la opinión de los ingleses, achatada por el ecuador. Repetidos los trabajos con la colaboración de su hijo y la de la Hire, Maraldi, Couplet y Chazelles, se confirmaron los anteriores resultados:

«... El resultado de seis operaciones hechas en 1710, 1713, 1718, 1733, 1734, 1735 fue siempre la tierra es alargada y no chata hacia los polos...».

A partir de este momento franceses e ingleses se enfrentaron en una disputa en la que los primeros mezclaron motivaciones de orgullo nacional, ya que para la Academia de Ciencias de París dudar de las conclusiones de los Cassini pasó a considerarse como «antipatrio».

Newton reargumentó que la longitud del meridiano de Francia era demasiado reducida para que pudiera observarse diferencia apreciable entre los grados del norte y del sur. Intervinieron en la polémica De Mairan (1720) y otros matemáticos franceses, los cuales repitieron los cálculos con el péndulo

y apoyaron las conclusiones de Cassini; Des-Aiguilliers en Inglaterra, apoyando a Newton desde las páginas de las *Philosophical Transactions* (1726); y Clairaut con su *Theorie de la figure de la Terre tirée des principes de la Hydrostatique* (1743) demostró geoméricamente lo contrario.

El litigio llegó a trascender la pura confrontación entre dos posiciones científicas. A las primeras fricciones dialécticas siguió un pronto planteamiento institucional que afectaba a los valores de las tradiciones científicas nacionales y que interesó a todas las Academias y sociedades de Europa, pero sobre todo a la Academia Francesa, a través de sus Memorias, y la *Royal Society* en el *Philosophical Transaction* que adoptaron una beligerancia que suplantaba la crítica por la defensa de una pretendida ortodoxia de carácter corporativo y nacionalista.

Los partidarios de Descartes, aducían contra los defensores del principio de gravitación universal, objeciones a la fiabilidad de las medidas, sugiriendo implicaciones teológicas y políticas que desquiciaron la polémica.

Consideraban que las hipótesis de Newton estaban llenas de connotaciones ateas, difícilmente aceptables por una comunidad científica cuyo lento proceso de secularización no deseaba entrar en conflicto con la Iglesia.

Los términos de la polémica tuvieron su eco también en España, donde el padre Feijoo y el padre Sarmiento, buenos conocedores de la vida intelectual francesa, tomaron claramente partido por la tesis de Cassini, aunque matizando el primero que "una observación debajo de la Equinocial quitaría toda duda".

La realización de las expediciones hacia las tierras equinociales surgió así naturalmente como el medio más adecuado para resolver este fundamental problema, y decidir de manera definitiva la polémica. La propuesta realizada en este sentido por La Condamine recibió el apoyo del conde de Maurepas, ministro de Marina de Luis XV; y las relaciones dinásticas con España como lugar para las observaciones.

Poco después, en 1735, a propuesta de Maupertuis se decidió también una expedición con el mismo objetivo hacia las tierras polares, eligiéndose el territorio sueco de Laponia para ese fin.

La expedición de Laponia, dirigida por Maupertuis, estuvo construida por los matemáticos Clairaut y Camus, los astrónomos Le Monnier y el abate Outhier, a los que se unió en Suecia Celsius, profesor de Astronomía en Upsala. La expedición realizó rápidamente sus trabajos entre mayo de 1736 y agosto de 1737 en el curso del río Tonea, estableciendo la longitud del grado de meridiano en 57437.9 toesas. Los resultados, publicados en una memoria de la Academia de Ciencias de París en 1738 y en la *Relation du voyage de Maupertuis* permitieron afirmar el achatamiento polar y confirmar así la tesis de Newton, que Maupertuis había ya admitido en 1732.



## LA EXPEDICIÓN A LA AMÉRICA ECUATORIAL

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, Jorge Juan y 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.

Jorge Juan opinaba que se eligió la zona del actual Ecuador:

«...al no existir otro país más adecuado que el de la provincia de Quito, en la América Meridional, porque entre todos los países que la Equinoccial contaba en Asia y en Africa, o se hallaban ocupados por pueblos bárbaros o no tenían la extensión necesaria para el intento...».

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.

Resulta difícil conocer cuáles debieron ser los motivos de Estado que interesaron tan directamente a Patiño en el proyecto, innegablemente con miras más allá que las estrictamente científicas y de prestigio. Juan y Ulloa, aunque innegablemente elegidos entre los alumnos más brillantes de la Compañía de Guardiamarinas, eran simplemente alumnos que, dirigidos por Cedillo hubieron de realizar un cursillo intensivo Físico-Matemático como fase previa a su incorporación a la Campaña científica más transcendente de su época. Incluso el mismo Cedillo en su *«Tratado de Cosmographia y nautica»* publicado muchos años después, en 1748, dudaba de las hipótesis de Newton y las comparaba con las cartesianas acerca del sentido físico y transcendente del aplanamiento terrestre manifestándose crítico respecto al

trabajo de sus antiguos alumnos.

Posiblemente el principal interés de Patiño se centraba en las posibilidades que esperaba del punto cuarto de su instrucción, menos técnico y centrado en mejorar el conocimiento de la realidad político-administrativa de las colonias y particularmente del Virreinato, convencido de la capacidad de los dos jóvenes oficiales Jorge Juan y Ulloa de observar con criterio, analizar objetivamente e informar de la situación y soluciones.

Con independencia de sus misiones administrativas y de espionaje la participación de estos dos marinos españoles desde el comienzo de la campaña 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 precedimientos más fiables, entre los experimentados, determinando las diferencias horarias de observación de un mismo fenómeno en dos lugares cuyos péndulos se hayan previamente regulados por el paso meridiano del sol en cada lugar.

Eligieron Juan y Ulloa, 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 nuestros satélites.

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, Yaruqui, Quito y Guarico) ampliando con aportación inestimable la corta lista de longitudes con que contaba la geografía (menos de cien) y cuyo conocimiento habría de ser fundamental para documentar, posteriormente, los límites de demarcación con Portugal en la zona del Orinoco.

Pero, como es conocido, 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.

Como base métrica de las triangulaciones se eligió el llano de Yaruqui, desde la hacienda de Oyambaro hasta el extremo de la de Caramburu, decidiendo dividirse en grupos que medirían la base por separado, en sentidos encontrados. Uno de los grupos quedó compuesto por Godin y Jorge Juan y el otro por La Condamine, Bouguer y Ulloa.

Nada más terminar la extensión de la base de referencia se planteó abordar la medida de la serie de triángulos que comprendían todo el enorme valle interandino entre Quito y Cuenca divididos nuevamente en los dos grupos comenzando, Juan y Godin, formando triángulos hacia el sur luchando de continuo con el tiempo nuboso que los retenía semanas en cada vértice, lo que sumado a las caminatas y escaladas hacían la tarea extraordinariamente lenta.

Al final de las triangulaciones, y para detectar errores, midieron directamente, en veintidós días, la línea horizontal desde Los Baños hasta Guanacauri, que estimaron en 6.197 toesas, 3 pies y 8 pulgadas. Esta misma base calculada geoméricamente arrancando desde la de Yaruqui y a través de toda la triangulación se había estimado en 6.196 toesas, 3 pies y 7 pulgadas, coincidencia excepcional para la época ya que el error estimado disminuyó al corregir por las diferencias de dilataciones, al ser Yaruqui mucho más frío que Cuenca.

Bouguer con Ulloa, La Condamine y el ingeniero Verguin, que hasta entonces había abordado el señalamiento de los vértices, midieron en direcciones opuestas la base de Alparupasca-Chian en el llano de Tarqui. Las medidas se cerraron con la diferencia de una Toesa, error discutiblemente achacable a las triangulaciones, ya que nuevamente las medidas no estaban corregidas por diferencias de dilataciones.

Terminados los trabajos de triangulaciones faltaba reducir los resultados al nivel del mar. Godin y Jorge Juan, sin cometer mayor error dieron por buenas las nivelaciones del barómetro de mercurio, para cada estación. Bouguer y Ulloa, muy atinadamente, quisieron intentar la nivelación triangulando, además hacia la mar, a través del río Esmeralda. Finalmente tuvieron que desistir al comprobar que Pichincha no era visible desde la desembocadura del Inca y teniéndose que conformar con las lecturas del barómetro de mercurio y una experiencia de medida del período del péndulo en una pequeña isla que desde entonces se llama del Observatorio.

Conocida la extensión del meridiano por triangulación, faltaba determinar astronómicamente el arco que comprendía para obtener el valor lineal del grado próximo al Ecuador. Godin, ayudado por Ulloa y Juan, construyó un telescopio especialmente diseñado para observar las estrellas zenitales, con vistas a su instalación en un observatorio situado próximo a Cuenca, mientras La Condamine y Bouguer lo establecían al sur en la hacienda de Mama-Tarqui.

Ulloa participó con su grupo en la calibración de los instrumentos detectando con Jorge Juan la corrección por aberración que ya había sugerido Bradley años antes y cuyos formalismos y teoría se encontraban en pleno proceso de discusión científica y establecimiento.

En este estado de la campaña el virrey de Lima solicitó que Juan y Ulloa se trasladaran a Lima con la finalidad de participar en su sistema defensivo, frente a la amenaza que suponía la presencia en aquellas zonas de la flota del almirante inglés Anson.

Previa a su partida los dos oficiales solicitaron a Godin que les dejase su instrumento, con vistas a poder completar posteriormente por su cuenta y solos las observaciones a su regreso de la misión defensiva que se les había asignado y que permitiría a Juan y a Ulloa recorrer las costas del Pacífico sudamericano estudiando su flora, fauna, minerales y observar, directamente la situación del virreinato.

Mientras tanto Godin, deseoso como Juan y Ulloa de ampliar la triangulación para disminuir los errores de la observación astronómica, eligió como observatorio en vez de uno cercano a Caraburu, uno más al norte en Pueblo Viejo de Mira, doce leguas arriba de la base de Yaruqui y que Bouguer ya había recorrido en 1737, encontrándolo excelente, aunque excesivamente dificultoso de establecer por encontrarse muy alejado.

Bouguer que, siguiendo a Godin, había transformado su instrumento en un telescopio zenital acordó observar al Sur las mismas estrellas, en las constelaciones de Orión y Acuario, que Godin observaba al Norte, mientras La Condamine las efectuaba en Quito, utilizando un telescopio mural.

Las observaciones se terminaron el 31 de enero de 1743 resultando la longitud del grado de meridiano, según los cálculos de los académicos franceses, 56.753 toesas para Bouguer, 56.750 para La Condamine mientras que según Godin era 56.747.

En enero de 1744 regresó Jorge Juan de Lima y el 14 de febrero se le unió Ulloa planeando y realizando, conjuntamente, la prolongación de doce leguas de triángulos hacia el norte para llevar la triangulación a Pueblo Viejo, en donde Godin había dejado su instrumento zenital de 20 pies. Comenzaron por el vértice de Pambamarca y repitieron la estación de Guapulo, ambas a más de 4.000 metros de altura. Ulloa terminó esta parte del trabajo observando los vértices de Guapulo, Campanario, Cosín, y Pueblo Viejo de Mira, punto más septentrional de la meridiana medida y localización del observatorio de Godin.

El instrumento construido fijaba con herrajes el anteojo a un tablón robusto, suspendiéndolo del techo por medio de una bola, a modo de rótula, que dejaba el anteojo próximo a la vertical y permitía observar en las proximidades del Zenit quitando varias tejas a la techumbre del observatorio. Cerca del ocular se fijaba un pequeño sector, de seis a siete grados, indicando con una plomada la distancia zenital de la estrella observada. El sector se situaba en el plano del meridiano, marcando con precisión ajustando unos tornillos micrométricos fijos a una consola de madera muy robusta que subía del suelo.

Efectuadas las observaciones astronómicas sobre los mismos astros, que en Cuenca obtuvieron Jorge Juan y Ulloa como resultado 56,767.788 toesas equivalentes a 123.203 varas de Burgos. Estos resultados se compararon con los obtenidos por Maupertuis y Cassini en Laponia y Francia respectivamente comprobando instrumentalmente que la Tierra es achatada por los polos, como predecía Newton y como consecuencia de la rotación terrestre.

Ciento sesenta y seis años después una comisión del Instituto Geográfico del Ejército francés rehízo las observaciones comprobando que las observaciones más acertadas y exactas fueron las efectuadas por los marinos españoles Jorge Juan y Antonio de Ulloa.

## EL INCIDENTE DE LAS PIRÁMIDES

Curiosamente, y mientras se desarrollaban los trabajos de medida del meridiano, razones de protagonismo científico con matices nacionalistas, complicaron la armonía en que debían desarrollarse las investigaciones.

Para atender a la expectación despertada en el mundo científico europeo por la expedición, la Academia de Ciencias francesa, junto con la de Inscripción y Bellas Letras redactaron un texto que debería figurar en los monumentos conmemorativos que deberían construirse en los extremos de los linderos que fijaban los límites de la base fundamental, para mantener hacia el futuro el recuerdo de la campaña.

El texto preparado fue agriamente ironizado por Voltaire:

«... Toda la Academia en pleno... ha concluido que se iba a medir un arco de meridiano bajo un arco de ecuador. Notará usted que los meridianos van de norte a sur y sostengo, por tanto, que la Academia de Bellas Letras en pleno ha cometido el mayor error y recuerda cuando la Academia francesa ordenó imprimir la bella frase: Desde los polos helados hasta los polos ardientes...¿Consideran Vds. lo que esto significa?...»

El texto inicial debía ser corregido y ello permitía comunicar a los marinos españoles el tratamiento que consideraban debía dárseles en la lápida. En agosto de 1740 la redacción de la lápida conmemorativa había generado un duro enfrentamiento entre La Condamine y Jorge Juan, adoptando Godin una postura intermedia y conciliadora.

La Condamine proponía incluir a los marinos españoles con la palabra «*asistentibus*», cambiaba posteriormente por la de «*auxiliantibus Georgio Juan et Antonio de Ulloa navis bellicae primi ordinis vicepraefectis*» y, finalmente por «*...cooperantibus...*» que Jorge Juan igualmente no admitió por razones de prestigio individual y nacional, proponiendo, alternativamente que sus nombres deberían figurar junto al de los académicos.

En la discusión inicial intervinieron el resto de los académicos franceses afirmando Godin en respuesta a insinuaciones poco laudatorias de Bouguer:

«... lo que Vd. afirma acerca de los oficiales españoles es erróneo y me encargan les indique que no quiere D. Jorge trabajar con Vds., añadiendo que si yo llego a morir o a ausentarme del trabajo por cualquier causa continuará y acabará con D. Antonio; tienen un cuarto de círculo y con éste o con el instrumento que mandé construir o con otro parecido o mejor que construya, terminarán la campaña...»

Aprovechó La Condamine la llamada hecha por el virrey a Juan y Ulloa,

para participar en la misión defensiva de los mares del Sur, para que con cierto apoyo de la Audiencia, conseguir que el 2 de diciembre de 1740 la Real Audiencia autorizase el levantamiento de las pirámides conmemorativas. Sin embargo, el intento de crear una situación irreversible falló al admitir la Audiencia, el 26 de septiembre de 1741, admitieron el recurso presentado por Juan y Ulloa en base a que el texto presentado ofendía a la Corona española y descendía a un segundo plano el papel de sus representantes.

El conflicto se resolvió, finalmente, el 1 de septiembre de 1742 sin que nadie quedara satisfecho, por lo que la Audiencia de Quito temiendo el riesgo de verse arrastrada a un proceso de tinte nacionalista incluía una frase que la ponía a buen recaudo:

«...dentro de dos años han de traer sus resoluciones confirmación del Real y Supremo Consejo de Indias...»

La sentencia, como hemos visto quedaba supeditada a la aprobación de la Metrópoli en base a consideraciones, fundamentalmente políticas. La primera acción de Ensenada en agosto de 1746 constituyó un serio apercibimiento para la Audiencia quiteña indicando:

«...que ha sido del desagrado de S.M. la tolerancia mantenida en ese particular...»

Meses después, y bajo el consejo de Juan y Ulloa, se optó por la alternativa de enviar el texto escrito en el que se indicaba que Felipe V y Luis XIV, en este orden, auspiciaban la misión del Perú con la participación de Godin, Bouguer y La Condamine junto a Juan y Ulloa, oficiales de la Armada y *Mathematicis Disciplinis Eruditi*, avalando que los guardiamarinas que iniciaron la campaña en 1734 se habían convertido, en 1747, en científicos con reconocimiento Real y equiparando las contribuciones de las naciones y participantes.

La expedición geodésica más que resolver una polémica suscitada por la obra de Newton venía a tener efectos políticos e institucionales muy precisos. América podía ser explorada ahora desde la perspectiva de un nuevo agente colonial que, con los atributos del método y del rigor científico, garantizaba un conocimiento más objetivo y sensible a las nuevas necesidades del comercio y de la cultura europea. Simultáneamente, aun de manera tímida y algo indeterminada, el paso de los expedicionarios había introducido en el Reino de Quito ciertas novedades que podían implicar cambios estructurales en el gobierno y en la sociedad coloniales.

La expedición, pues, se perfila hacia mediados de siglo como una singular institución científica, fácilmente adaptable a la deficiente realidad cultural de América y útil a las exigencias de información especializada, propias de una metrópoli que avanzaba hacia formas más complejas de organización de la empresa colonial.

La presencia de Antonio de Ulloa en América no fue indiferente a la realidad

social, cultural o política de la colonia. Además de reconocer el territorio, con técnicas de exploración astronómica, realizando muy notables observaciones sobre la naturaleza vegetal, geográfica, antropológica o etnográfica del país y sus pobladores. Nada hay de sorprendente en este interés polifacético y objetivo en quienes venían avalados por su condición de oficiales ilustrados orgullosos de la superioridad de sus hábitos e instituciones y avalados por el reconocimiento de las utilidades de sus trabajos.

Había en Quito un reducido número de ricos hacendados que, junto a algunos miembros de la Compañía de Jesús y a ciertos funcionarios ilustrados, mantenían vivo el interés por la cultura europea. Sus trabajos de reconocimiento del territorio, ya fuese al servicio de intereses misioneros o de carácter administrativo, exigían conocimientos técnicos cuya dimensión científica no podía ser reconocida en la colonia. Los expedicionarios, sin embargo, supieron pronto apreciar la utilidad de estos esfuerzos y aprovechar las posibilidades que este acercamiento les brindaba, en provecho del conocimiento de la situación real de las colonias y de los peligros que acechaban su futuro y que media centuria después desembocarían en el definitivo conflicto y ruptura con España.

#### EL REGRESO A ESPAÑA DE JORGE JUAN Y ANTONIO DE ULLOA

A la finalización de la campaña los oficiales españoles se trasladaron a Lima, embarcando en El Callao hacia Europa en buques franceses, considerados más seguros dada la situación de enfrentamiento bélico existente con Inglaterra.

La fragata *Deliverance*, en la que viajaba Antonio de Ulloa, fue apresada por la armada inglesa en Loisbourg, siendo enviado preso de guerra Ulloa a Inglaterra, por tratarse de un oficial español, teniendo tiempo suficiente para arrojar al mar todos los manuscritos que de una u otra forma se referían a la administración de Indias y que por ello pudieran haber resultado comprometidos para España.

Ulloa pudo, desde el primer momento, identificarse como miembro de la expedición científica a la medida del meridiano, siendo tratado por ello con destacadas consideraciones tanto por sus aprehensores como por el propio Almirantazgo indicando en su *Relación histórica* que la armada inglesa no pretendía ofender a las ciencias ni a sus profesores sino, antes bien, se gloriaba en protegerlas.

Una vez desembarcado del navío *Sunderland* en Portsmouth el 23 de diciembre de 1745 Antonio de Ulloa fue trasladado a Londres, donde presentó sus manuscritos a Folkes, entonces presidente de la Real Sociedad Geográfica siendo leídos por el mismo presidente en las Asambleas de 8 y 29 de mayo de 1746, siendo nombrado Antonio de Ulloa *fellow* de la Real Sociedad el 11 de diciembre del mismo año.

Jorge Juan regresó en la fragata *Lys*, desembarcando en Brest y trasladándose a París bajo los auspicios y presentación de los hermanos Jussieu, uno de ellos participante en la campaña, siendo propuesto, asombrosamente, y no sin reticencias, unos días después, por su antiguo contrincante en el incidente de las

pirámides, La Condamine, como miembro correspondiente de la Real Academia de Ciencias en 26 de enero de 1746.

## LA PUBLICACIÓN DE LOS RESULTADOS

Los marinos españoles fueron los primeros en publicar los resultados científicos de los trabajos llevados a cabo durante la expedición, en unas obras que pueden ser consideradas como una de las más importantes aportaciones de la ciencia española a la Ilustración. *Las Observaciones astronómicas y físicas* (Madrid 1748), redactadas por Jorge Juan, constan de nueve libros en los que, además de tratar sobre la determinación de la medida del arco de meridiano en el Ecuador, se presentan los resultados de diversas observaciones físicas y astronómicas realizadas durante el tiempo que duró la expedición. El carácter copernicano de muchas de las argumentaciones de Jorge Juan trajo como consecuencia algunos problemas con la Inquisición. Francisco Pérez de Prado, el Inquisidor General, exigió que, al citar las teorías de Newton y Huygens sobre el movimiento de la Tierra, se explicase que se trataba de algo condenado por la Iglesia. Tras algunas gestiones, se llegó a la solución intermedia de añadir la frase ...«aunque esta hipótesis sea falsa»..., después de mencionar las citadas teorías.

A pesar de estos obstáculos, los marinos españoles consiguieron, como ya se ha dicho, que la edición de los resultados de la expedición de llevarse 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 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, sólo 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 publicado hasta 1826 en Inglaterra bajo el título de *Noticias secretas de América*. Aunque el objeto



# OBSERVACIONES

ASTRONOMICAS, Y PHISICAS

HECHAS

DE ORDEN DE S. MAG.

EN

## LOS REYNOS DEL PERÙ

*Por D. JORGE JUAN Comendador de Aliaga en el Orden de S. Juan, Socio Correspondiente de la R. Academia de las Ciencias de Paris, y D. ANTONIO DE ULLOA, de la R. Sociedad de Londres, ambos Capitanes de Fragata de la R. Armada;*

DE LAS QUALES SE DEDUCE

## LA FIGURA, Y MAGNITUD DE LA TIERRA,

Y SE APLICA

## A LA NAVEGACION.



IMPRESSO DE ORDEN DEL REY NUESTRO SEÑOR  
EN MADRID

POR JUAN DE ZUÑIGA, Año M.D.CC.XL.VIII.

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.

## LA DEMARCACIÓN DE LÍMITES CON PORTUGAL

La demarcación de los límites entre los dominios coloniales de España y Portugal representaba una constante fricción desde la firma del Tratado de Madrid en 1750, por lo que en 1747 el marqués de la Regalía interesó de Jorge Juan y Ulloa la elaboración del libro *Disertación Histórica y Geográfica sobre el meridiano de la demarcación* tratando de documentar la pertenencia del Marañón en base al nacimiento del río, su cauce, desagüe al mar, descubrimiento considerando sus varios nombres, Amazonas, Marañón, Orellana e incluir los estudios geográficos efectuados en anteriores precedentes, fundamentalmente de las expediciones de los geógrafos en 1681, documentadas científicamente con las observaciones efectuadas por Juan y Ulloa en la medida del meridiano y en los viajes efectuados calculando, en cada ocasión, nuevas coordenadas.

En las negociaciones con Portugal y a la vista de las presiones a que estaban sometidas las misiones de Napo, Ucayali y Pastaza, se consideraba la necesidad de acometer la revisión de la línea de demarcación con una base objetiva basada en la observación astronómica y sus traslados topográficos.

Para Juan y Ulloa, la demarcación debía fundamentarse en dos cuestiones básicas que ellos cifraron en la diferencia de longitudes entre América y Africa seguida de la definición del punto de las Islas de Cabo Verde al que referir el punto de partida de las 350 leguas del Tratado de Tordesillas y que Juan y Ulloa consideraron preferible asignar al centro del archipiélago en lógico beneficio de los intereses españoles.

## 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 implan-



# DISSERTACION

HISTORICA, Y GEOGRAPHICA

S O B R E E L *MERIDIANO*  
*de Demarcacion* entre los Dominios de  
*España*, y *Portugal*, y los parages por  
donde passa en la *America Meridional*,  
conforme à los *Tratados*, y derechos  
de cada Estado, y las mas seguras, y  
modernas observaciones:

POR DON JORGE JUAN  
*Comendador de Aliaga, en el Orden de San*  
*Juan*, y DON ANTONIO DE ULLOA  
*Capitanes de Navio de la Real Arma-*  
*da*, de la *Real Sociedad de Lóndres*,  
y *Socios correspondientes de la Real*  
• *Academia de las Ciencias*  
*de París:*



IMPRESSA DE ORDEN

DEL REY NUESTRO SEÑOR:

En Madrid, en la Imprenta de Antonio  
Marin, año de M.DCC.XLIX.

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

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

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

En la Armada la fundación del Observatorio permitió que los oficiales más adelantados pudiesen completar con observaciones los conocimientos teóricos de astronomía impartidos en el centro permitiendo con ello, que al cabo de unos años, el observatorio terminara convirtiéndose en una de las instituciones primordiales de proporcional al Estado y al 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 Guardiamarinas, que recogía la posibilidad de que aquellos alumnos que demostrasen su capacidad en los primeros cursos, pudieran aplicarse al estudio de las ciencias matemáticas más abstractas, siguiendo las inclinaciones naturales de cada uno de ellos. Es en este punto donde podemos encontrar, seguramente, el germen de aquello que, sólo unos años más tarde, sería conocido con el nombre de Estudios Mayores de los oficiales de la Marina.

Entre 1760 y 1768, etapa en la que Gerardo Henay ocupó la dirección de la Academia, poco se hizo en materia astronómica, pero aunque el Observatorio había quedado aislado, las actividades hasta entonces desarro-

lladas generaron una expectativa internacional que no sería totalmente defraudada. En efecto, si en Cádiz no era posible por el momento regular un plan sistemático de tareas, en cambio resultaba más asequible participar en alguna de las grandes empresas astronómicas del momento. Las autoridades de marina, por otra parte, sí eran sensibles a estos requerimientos de la Academia de Ciencias de París, y no dudaron en apoyar política y financieramente la inclusión de Observatorio de Cádiz en la observación de dos tránsitos de Venus por el disco solar acaecidos en el siglo XVIII. Igualmente, tampoco dejarían de ordenar la mayor hospitalidad hacia las expediciones francesas que recalaron en la bahía gaditana durante los viajes de prueba de los primeros cronómetros marinos construidos por Berthoud o Le Roy. Ambas cuestiones eran de gran importancia para la astronomía y la náutica y, en nuestra opinión, influirían decisivamente en la modificación del tono deprimido al que se veía abocado el Observatorio.

#### ANTONIO DE ULLOA EN AMÉRICA

Tras participar en algunas campañas científicas en el Observatorio y desempeñar diferentes cargos técnicos y políticos (superintendente de Huancavélica y su distrito (1758), gobernador de Luisiana (1766), así como otros de diverso carácter). Antonio de Ulloa llegó a Nueva España mandando una de aquellas flotas, la última que salió de Cádiz en mayo de 1776.

Ulloa sale de Cádiz en 1776 dirigiendo, nada menos, que la Flota de Indias; uno de los cargos de mayor honor y responsabilidad que podían alcanzarse en la Armada dirigiendo 17 navíos durante 79 días sin contratiempo alguno, que le permitieron mantener reunidos a barcos de diferente velamen y capacidad.

A pesar del breve tiempo que Ulloa estuvo en el virreinato (julio del 76 a enero del 78), su dinamismo alcanza una notable actividad, que puede resumirse bajo la triple perspectiva del fomento del conocimiento, las mejoras geográficas y la promoción de la arquitectura naval.

El virrey Bucarelli, al conocer el nombre del almirante de la Flota, proyecta la realización de esta imperiosa necesidad; el establecimiento de un astillero no lejos de Veracruz. La política naval de Bucarelli se centra tanto en hacer de San Blas una base naval sobre la costa pacífica, como en la promoción de una política expansionista hacia el norte de Nueva España.

Ulloa, que había participado con Jorge Juan en la construcción de los arsenales y astilleros de Cartagena y de El Ferrol, era el técnico indicado para hacer efectiva la política naval de Bucarelli. Desde el arribo de la flota a Veracruz, una comisión formada entre otros por Miguel de Corral, ingeniero militar, y Joaquín de Aranda, marino, que recorría los lugares idóneos recogiendo la mayor cantidad posible de datos para escoger el sitio sobre el que se levantaría los edificios pertinentes.

Durante un año esta comisión recorrió las zonas del río Alvarado,

Tlacotalpan, Coatzacoalcos y el istmo de Tehuantepec hasta el mar del Sur. Sobre ellas se levantaron mapas y planos, se elaboraron informes analizando su infraestructura, elementos demográficos y recursos económicos; la calidad, número y abundancia de maderas y la salubridad de la zona.

Con estos resultados, unidos al proyecto de Ulloa, se estudió las posibilidades de construcción de la factoría. En razón de la importancia de este proyecto, el virrey consiguió de la Secretaría de Indias que el almirante Ulloa pudiese abandonar Veracruz para llegar a Méjico.

Durante los meses de julio y agosto de 1777, Ulloa y la comisión, a la que se unió el virrey como técnico militar, además, de primera autoridad, analizaron los informes, estudiando las ventajas e inconvenientes de los terrenos y áreas inspeccionados, escogiéndose Tlacotalpan como lugar idóneo para el astillero que tanto habría podido ayudar a la Marina española en el seno mexicano.

Cuando el proyecto del astillero en Tlacotalpan llegó a la Secretaría de Indias, quedó arrinconado y archivado, no por ineficaz o improcedente, sino, en gran medida, por haber sido fomentado por hombres del equipo anterior y caer fuera de los objetivos del nuevo orden.

Durante su estancia en Veracruz atendió simultáneamente los levantamientos hidrográficos y cartográficos a lo largo de la costa novohispana del Golfo, atento a formar el plano hidrográfico de la costa, desde Veracruz a Tampico, que sería obra importante para corregir la defectuosa cartografía de la zona.

Durante esta misma estancia en Nueva España, fue Ulloa, una vez más, testigo de un terremoto, que analizó y midió mientras se ocupaba asimismo del puerto y sus obligaciones como Jefe de la Flota de la Nueva España.

Le preocupaban las causas del fenómeno e investigaba sobre sus efectos, que había tenido ocasión de experimentar primero durante su estancia en Sudamérica para la medida del arco de meridiano y posteriormente en Cádiz, donde observó y describió el maremoto que siguió al gran terremoto que asoló las costas del Golfo de Cádiz el 1 de noviembre de 1755.

Así, escribe sobre el terremoto del 15 de octubre de 1777:

«... sucedió a la hora en que la luna entró en cuadratura. El termómetro de Mr. Reaumur marcaba a las 6 de la mañana 22<sup>273</sup> que, en este clima, es moderado de calor. A las 5 había llovido algo. El barómetro, a las 9 del día, estuvo en 27 pulgadas 10<sup>1/2</sup> líneas, que es la altura media a que sube el mercurio, y el viento era por el Norte moderado. A las 6 había algunas nubes; a las tres de la tarde el termómetro estaba en 23°, el barómetro en la propia altura; el viento Norte, regular, que llaman "de marca", y la atmósfera clara. A las 11 de la noche no se reconocía novedad en el termómetro, ni en el barómetro. El viento estaba por el Noroeste y era algo más recio de lo que había estado en el día.

Por estas observaciones se ve no haberse notado cosa particular en

la atmósfera en el día que precedió (...), sólo se advirtió alguna opacidad en la atmósfera, que no es extraordinario por suceder lo mismo cuando reinan los vientos de la parte del Norte o del Noroeste.

El terremoto se distinguió por la poca duración y la dirección que tuvo. La duración del terremoto no pasó de un minuto y, creo que no duró tanto. En este corto intervalo no quedó edificio, ni grande, ni pequeño, que no se cuarteasen por varias partes. Y así era consiguiendo la ruina. A la fuerza de la tierra era consecuente el movimiento del mar, pero siendo la dirección del N.O. al S.E. la misma que hace la costa y la ondulación fue en esta propia, sin dar lugar a que el flujo y reflujo se hiciese para la parte del mar y de ésta para la de la tierra. Así sólo se notó que las olas se internaron por la playa adentro cosa de seis varas más de lo regular; de lo contrario era inevitable otro accidente semejante al del Callao (1746), con la diferencia que aquí en Veracruz navíos y gente de tierra y del castillo de San Juan de Ulúa hubieran perecido. Dios ha sido servido, por sus misericordias, libertarnos de esta total ruina...».

Su regreso a España lo hizo Antonio de Ulloa al mando de la última Flota de Indias llevándole su permanente espíritu científico a tratar de mejorar la posición geográfica del cabo San Vicente aprovechando la coincidencia de un eclipse.

Finalizaba así la larga trayectoria en Sudamérica de Antonio de Ulloa y de la Torre-Guiral, que participó en su juventud en la mayor empresa geodésica de la historia, que desarrolló su actividad científica y técnica en la España de la Ilustración, estudió la flora, la fauna y la mineralogía, descubrió el platino, gobernó La Luisiana y mandó como almirante las últimas flotas que uniendo América con España marcaban, anticipadas unos años, el fin de una época.