



PRESENTACIÓN



Mario Ruiz Morales

La Teoría de la Tierra se ha considerado en todo tiempo como uno de los más importantes ramos de las ciencias, o al menos como el que tiene más íntima conexión con la existencia material del hombre... Por esta causa, parece que la primera necesidad intelectual de la especie humana era el reconocer la figura de la Tierra, determinar sus límites, y estudiar sus circunstancias.

José Mariano Vallejo y Ortega (*Compendio de Matemáticas*. 1840)

Los orígenes de la geografía astronómica, o matemática, son anteriores a la historia, puesto que los primeros pobladores de la Tierra fueron observadores de excepción, que, sin saberlo, comprobaron la rotación diaria sobre su eje, manifestada a través de la sorprendente sucesión de los ortos y ocasos del Sol, la Luna y las estrellas. Transcurrido un cierto tiempo serían también conscientes de que a lo largo del año variaba la altura del Sol para un mismo instante y lugar, otra manifestación indirecta del movimiento de la Tierra, en este caso alrededor del Sol. Es por tanto natural que ambos movimientos, de rotación y traslación, fuesen idealizados desde un primer momento, en tanto que regulaban y hacían posible el quehacer cotidiano.

Varios milenios después comenzarían las observaciones sistemáticas del cielo estrellado, posibilitándose así el descubrimiento de los planetas por sus desplazamientos aparentes y un tanto erráticos (de ahí su nombre) que los distinguirían del comportamiento regular del resto de las estrellas. En cuanto que el hombre se hizo trascendente mitificó esos astros que tanto le llamaron la atención y midió el tiempo en función de ellos, asociando el día a cada uno e introduciendo finalmente la semana. De la cualificación de aquellos astrónomos primitivos hay varias pruebas documentales e incontestables. Dos de ellas son sumamente llamativas, una es la predicción de los eclipses, llegándose incluso a fijar el saros en la antigua Caldea, y otra la orientación de la gran pirámide de Giza con las cuatro direcciones cardinales, presentando desviaciones que pueden parecer inexplicables a tenor de los instrumentos rudimentarios de la época, varios milenios antes de Cristo.

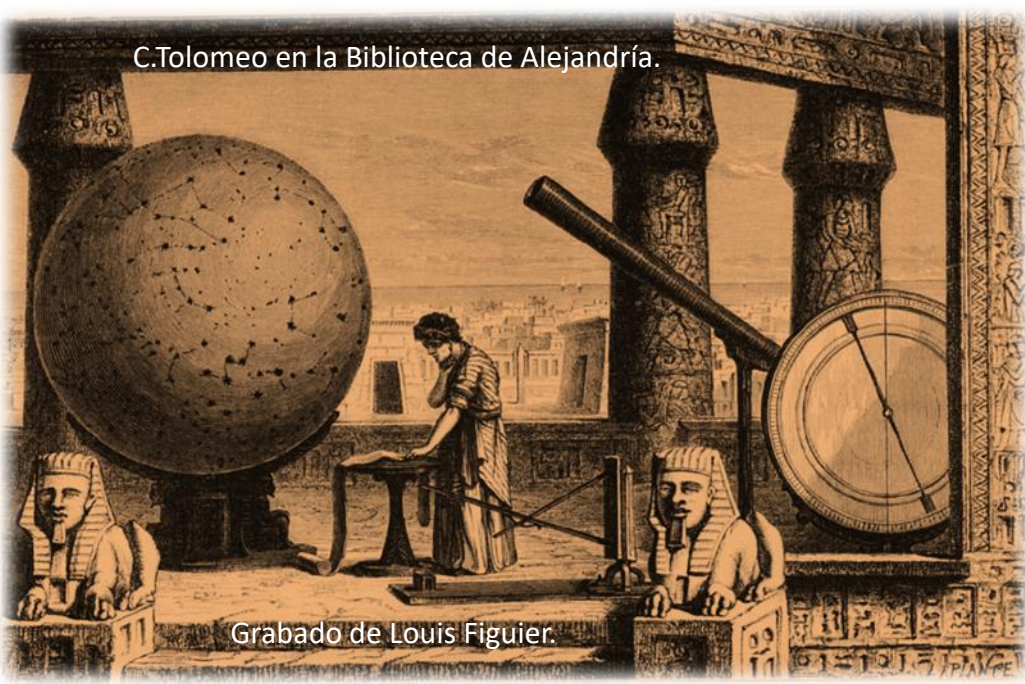
La disciplina científica de la geografía matemática hunde por tanto sus raíces en los albores de la civilización, aunque su relevancia y aplicaciones se hayan venido manteniendo hasta nuestros días. El gran geógrafo oscense Isidoro de Antillón, comentaba en el primer tercio del siglo XIX, que son tantas y tales las relaciones que hay entre las partes del cielo y de la Tierra, que no se puede emprender con aprovechamiento el estudio de la geografía sin tener por lo menos un conocimiento exacto de los movimientos de los principales cuerpos celestes. Más didáctico pretendió ser, a finales del mismo siglo, el autor Enrique Vera y González cuando afirmaba que pocos estudios hay de tan vivo interés como el de la geografía astronómica, añadiendo

“no solo es una preparación verdaderamente indispensable para las otras secciones de la ciencia geográfica, sino que por si sola constituye uno de los ramos del saber más dignos de ocupar la atención del hombre. Abarcando el universo infinito, familiariza el alma con las contemplaciones más grandiosas, y despierta ideas elevadas y sublimes. Es indispensable que la juventud sepa apreciar la inmensa importancia de estos estudios, que llevan en sí mismos la mejor de las recompensas, por cuanto permiten formar un concepto amplio y científico del Universo”.

Vera expresó, en cierto modo, el mismo sentimiento que vació Claudio Tolomeo, el último sabio de la antigüedad, en el Almagesto:

“bien sé que soy mortal y criatura de un solo día. Pero observando los serpenteantes caminos de las estrellas, me siento flotando en el aire junto a Zeus y saciado de ambrosía, el manjar de los dioses”.

C.Tolomeo en la Biblioteca de Alejandría.



Grabado de Louis Figuier.

Dos de las cuestiones más sobresalientes que han merecido la atención de los estudiosos de esta rama del saber, han sido la figura y el tamaño de la Tierra. Tres han sido los modelos físico-matemáticos que han presidido tales inquietudes científicas: la esfera, el elipsoide y el geoide. La esfericidad de la Tierra ya era defendida por los filósofos de la antigua Grecia, aunque gran parte de sus conocimientos, al respecto, les hubiesen sido transmitidos por los sacerdotes del Egipto faraónico. Algunos cronistas tan celebrados como Diodoro de Sicilia y Estrabón, defendieron que la medida de la Tierra fue un legado de la civilización egipcia. No en vano aseguraban que la apotema de la gran pirámide, el monumento geodésico por excelencia, equivalía a la décima parte del desarrollo de un minuto de meridiano; de modo que cuando se construyó ya se debía dar por supuesta la esfericidad del globo terráqueo. No obstante, la confirmación de una posibilidad realmente singular no se llevó a cabo hasta muchos siglos después, coincidiendo con la invasión de Egipto por las tropas napoleónicas. Al ingeniero geógrafo Edme François Jomard le cupo el honor de efectuar la medida correspondiente, llegando a la conclusión de que la altura oblicua de una de sus caras, es decir la apotema, era igual a $184^m.722$; un

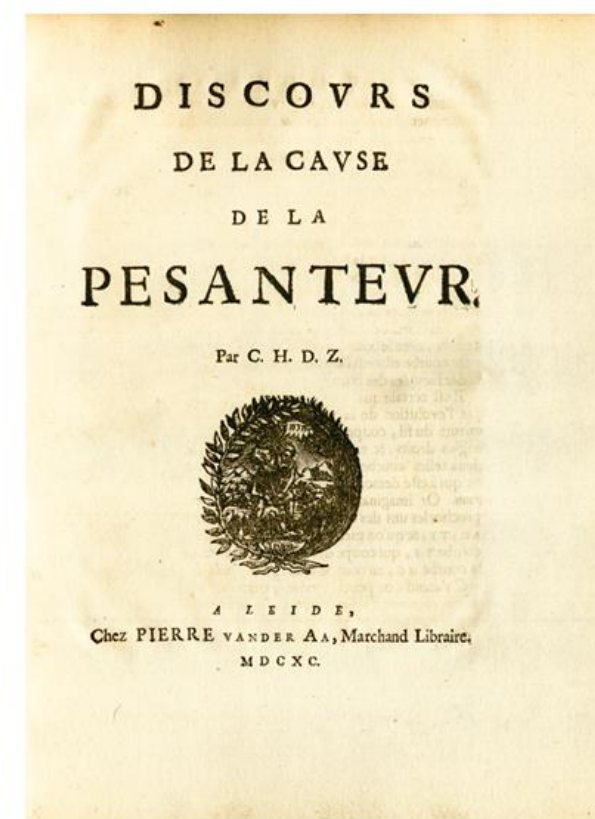
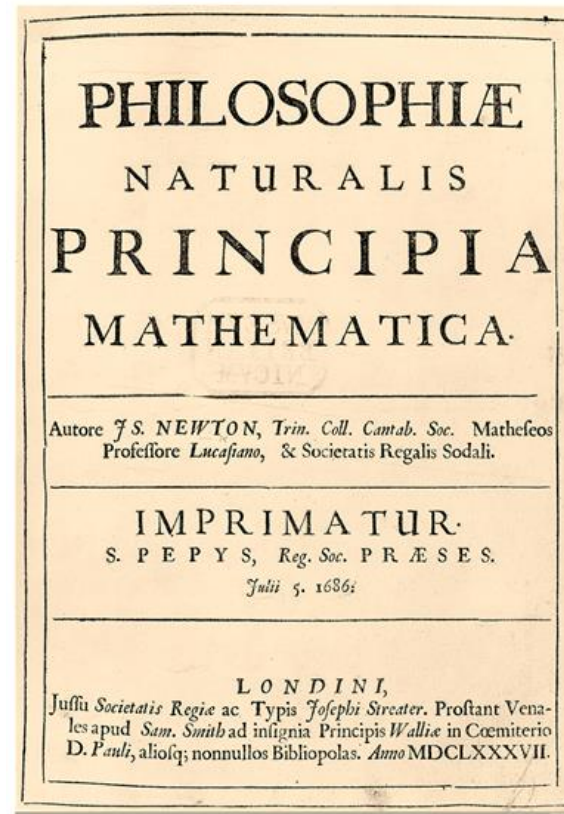
valor que coincidía con la décima parte del desarrollo de un minuto del meridiano terrestre en aquellas latitudes, alrededor de $27^o 40'$ fue el valor adoptado por el ingeniero francés.

Por supuesto que no se conservan pruebas de las supuestas medidas realizadas por los sacerdotes egipcios, debiendo avanzar para encontrarlas hasta la época de Dicearco de Mesina, es decir en torno al siglo IV antes de Cristo. Por otra parte, no es nada aventurado suponer que en la Biblioteca de Alejandría si se conservaran datos suficientes sobre aquellas primeras medidas geodésicas, que podrían haber sido recopilados por Eratóstenes en su condición de director de tan señera institución. A su renombrado intento de calcular el valor del radio de la Tierra, o el desarrollo de un grado de meridiano, ha de añadirse el protagonizado muchos años después por Posidonio, o los que fueron luego auspiciados por el califa de Bagdad al Ma'mun. El modelo esférico continuó vigente hasta después del renacimiento, a pesar de que los valores obtenidos para los radios terrestres fuesen demasiado dispares. La razón estribaba más en los defectos del instrumental empleado que la propia metodología, la cual se mantuvo invariable durante siglos: una fructífera combinación de un método astronómico y de otro geodésico-topográfico. Con el primero se determinaba la amplitud angular, de un cierto arco de meridiano, y con el segundo el valor del desarrollo lineal correspondiente.

El primer salto cualitativo en la medida de los arcos se produjo en Holanda, cuando Willebrord Snel van Royen decidió medir el desarrollo lineal de los mismos apoyándose en una triangulación geodésica, siguiendo así el ejemplo seguido por el astrónomo Tycho Brahe en el entorno de su observatorio de Uraniburgo, construido en la isla danesa de Ven. Aunque el resultado de Snellius fuese todavía muy poco fiable, si permitió que el abate francés Jean Picard lo aplicase con más éxito en Francia. Dado que los instrumentos empleados fueron de mayor exactitud (los anteojos, por ejemplo, ya disponían de cruz filar), el resultado

obtenido si se pudo considerar con el suficiente rigor geométrico. La trascendencia de esta medida, del meridiano de Francia, fue mucho más allá del ámbito exclusivamente geodésico, pues suele afirmarse con frecuencia que Isaac Newton se apoyó en el valor del radio deducido por Picard para comprobar la bondad de su ley de atracción y poder así publicar sus famosos *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*.

Dos años después, en el 1672, de que Picard culminase su medida, la Academia de Ciencias de París envió al joven astrónomo Jean Richer a la isla de Cayena, para que efectuara las observaciones previstas por Cassini I. Para ello transportó, desde la metrópoli, un péndulo de segundos, comprobando de inmediato que, en la colonia americana, el péndulo no gozaba de tan notable propiedad. Tras los oportunos ajustes logró que el péndulo batiese de nuevo segundos, tras haber disminuido la longitud del mismo. La consecuencia era obvia, el radio de la Tierra en la latitud ecuatorial de la isla era mayor que su homóloga en Francia. Con semejante descubrimiento se constató por primera vez que el modelo esférico de la Tierra no se correspondía con la observación, de un fenómeno físico tan sencillo como la oscilación del péndulo simple.



Portadas de los Principia de Newton y del Discurso de Huygens. Las iniciales C. H. D. Z. corresponden a Christian Huygens de Zuilichem.

Es probable que este experimento, tan crucial en la historia de la ciencia, también lo aprovechara, de una u otra forma, Newton cuando dedujo, a nivel teórico, que si la Tierra fuese homogénea, al verificar y girar en torno a su eje, su estado de equilibrio lo alcanzaría cuando adoptase la forma de un elipsoide de revolución con aplastamiento polar. Asimismo postuló que la intensidad de la gravedad aumentaría, al trasladarse desde el ecuador hacia los polos, proporcionalmente al cuadrado del seno de la latitud. Newton llegó incluso a fijar la relación entre los ejes ecuatorial y polar de ese nuevo modelo matemático de la Tierra: 230/229. Todavía más verosímil es que el holandés Christian Huygens, miembro fundador de la Academia de Ciencias francesa, estuviese al tanto de las experiencias pendulares de Richer, cuando leyó en 1690 su discurso sobre la causa de la gravedad y rechazó la atracción recíproca de las partículas materiales. De acuerdo con ello consideró que, en un fluido homogéneo en rotación, cada partícula solo sería atraída por el centro de la Tierra. Con ese criterio se simplificaba el problema de su forma, aunque llegase igualmente al elipsoide oblato. Sin embargo, su falsa suposición desembocó en un aplastamiento polar demasiado pequeño ($\alpha \approx 1/578$), pues la diferencia entre el eje ecuatorial y el polar la estimó en tan solo 11 km, 16 menos que la prevista por Newton. Debe concluirse por tanto que en las postrimerías del siglo XVII se cuestionó, hasta quedar superado, el modelo esférico de la Tierra y se inició la era elipsoidal de la misma.

La validación de ese modelo matemático de la Tierra, ciertamente novedoso, no resultó fácil. En efecto, al prolongar el arco de meridiano que había medido Picard al Norte de París, los Cassini obtuvieron resultados opuestos a los previstos teóricamente, ya que el modelo derivado de sus operaciones geodésicas, y astronómicas, fue el elipsoide prolato. Así se recogió en la célebre publicación del año 1720: *De la grandeur et de la figure de la Terre*, escrita por Jacques Cassini. Inmediatamente surgió la controversia científica más virulenta de la Ilustración, en la que cartesianos y newtonianos fueron adversarios irreconciliables.

El debate quedó zanjado gracias a otra de las iniciativas de la Academia de Ciencias, pues con su patronazgo se midieron dos arcos de meridiano en latitudes tan dispares como el virreinato de Perú y Laponia. La propuesta de la primera expedición científica fue realizada por el astrónomo Louis Godin y la segunda por Pierre de Maupertuis. Aunque el viaje de la segunda comenzase en 1736, un año después que la americana, al año siguiente ya había concluido y presentado sus resultados a la referida institución científica. Los cálculos de Maupertuis no se prestaron al equívoco, puesto que el desarrollo del grado en las latitudes polares fue considerablemente mayor que el obtenido, años atrás, por Picard; es decir, la curvatura de la Tierra disminuía al crecer la latitud, de acuerdo con el modelo del elipsoide oblato. La memoria que daba cuenta del trabajo de campo apareció en el año 1739 y llevó el título siguiente: *La figure de la Terre, déterminée par les observations de Messieurs de Maupertuis...*

Como era de esperar, la Academia decidió que se volviese a medir el meridiano de Francia para certificar de ese modo el resultado de Maupertuis. Entre los años 1739 y 1740 se encargó de hacerlo Cassini de Thury, coligiendo al final de sus observaciones, y cálculos, que el desarrollo del grado de meridiano crecía con la latitud, justamente lo contrario de lo que habían asegurado sus antepasados. El volumen que recopiló toda la información se publicó en el año 1744, con la información añadida de historia natural proporcionada por el médico le Monnier, su título fue realmente extenso: *La Meridienne de l'Observatoire Royal de Paris. Vérifiée dans toute l'étendue du Royaume par de nouvelles Observations. Pour en déduire la vraie grandeur des degrés de la Terre, tant en longitude qu'en latitude, & pour y assujettir toutes les Opérations Géométriques faites par ordre du Roi, pour lever une Carte générale de la France. Suite des Mémoires de l'Académie Royales des Sciences. Année M. DCC. XI.*

Fueron tantas las desavenencias entre los miembros de la expedición francesa al ecuador americano, que no hubo una memoria conjunta en la que se resumieran los avatares, medidas y cálculos de tan relevante acontecimiento científico. El trabajo que preparó Godin parece que no llegó a publicarse, los dos marinos españoles, Jorge Juan y Antonio de Ulloa, que participaron decisivamente en la operación fueron los primeros en publicar su memoria en el año 1748: *Observaciones astronómicas y Phisicas hechas de orden de S. Mag. en los Reynos del Perú. Por D. Jorge Juan, Comendador de Aliaga en el Orden de S. Juan, Socio Correspondiente de la R. Academia de las Ciencias de París, 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 Navegación.*

Louis Godin



Pierre Maupertuis, achatando la Tierra



Un año después, apareció el trabajo de Pierre Bouguer: *La Figure de la Terre, déterminée par les observations de Messieurs Bouguer, & de la Condamine, de l'Académie Royale des Sciences, envoyes par ordre du Roy au Pérou, pour observer aux environs de l'Equateur : avec une relation abrégée de ce voyage, qui contient la description du pays dans lequel les opérations ont été faites*, un extenso título en el que se evidencia indirectamente la enemistad que mantuvo con Louis Godin. Finalmente se publicó en 1751 la memoria descriptiva redactada por C. M. de la Condamine: *Journal du voyage fait à l'Equateur servant d'introduction historique à la Mesure des trois premiers degrés du Méridien*; que como se indica en el título sirvió de introducción a este otro trabajo: *Mesure des trois premiers degrés du méridien dans l'hémisphère austral, tirée des observations de MM. de l'Académie royale des sciences de Paris envoyés par le roi sous l'équateur*. Obsérvese que tampoco figura en este caso el nombre de Louis Godín, a pesar de haber sido él quien presentó a la Academia de Ciencias la propuesta correspondiente; conviene recordar en este momento la amistad que mantuvo con los participantes españoles, la cual propiciaría su posterior traslado a Cádiz para hacerse cargo de su flamante observatorio astronómico. En cualquier caso, todas las memorias contribuyeron a la definitiva

superación de las controversias entre los partidarios del elipsoide oblato (sandía o naranja) y del prolato (melón o limón); frutas con las que asociaban por entonces a los dos modelos matemáticos.

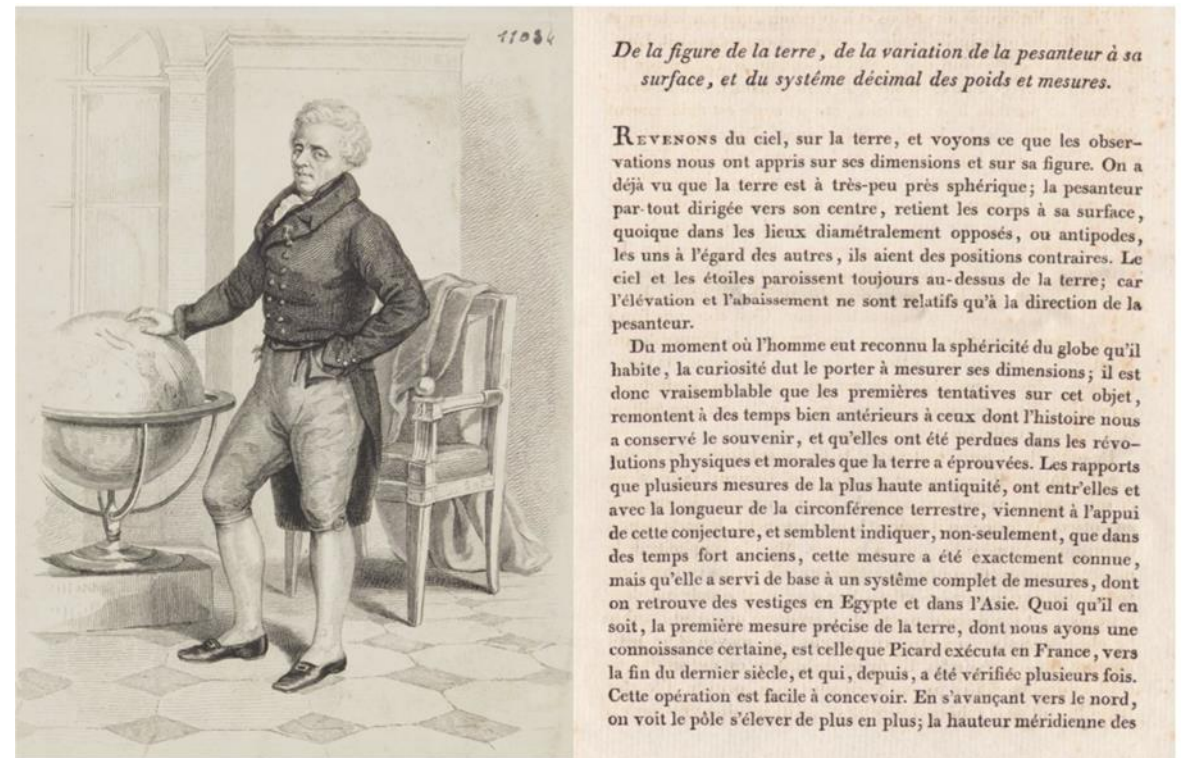
Convencida la comunidad científica del aplastamiento elipsoidal, consideró conveniente comprobar que se presentaba también en el otro hemisferio de la Tierra. La constatación del fenómeno la efectuó el astrónomo Nicolas Louis de La Caille durante el viaje que hizo al Cabo de Buena Esperanza (1752) para realizar observaciones estelares y determinar la distancia de la Tierra a la Luna. Una vez en el Cabo realizó una triangulación compuesta por cuatro triángulos, apoyados en una base de 6467,25 toesas, con cierres inferiores a los 20". La amplitud del arco de meridiano fue de 1°13'17".3, lo que le permitió calcular el desarrollo de un grado de meridiano, a una latitud media de -33°18', que resultó ser de 57037 toesas; tales resultados fueron recogidos en el libro *Journal historique du voyage fait au cap de Bonne-Espérance*, publicado en el año 1753. Con la misión del Cabo de Buena Esperanza terminaron las grandes expediciones geodésicas. La Academia de Ciencias de París recogió los frutos de todas ellas y la balanza se inclinó finalmente del lado de Newton.

Con Clairaut se produjo un salto cualitativo importante en el estudio de la forma de la Tierra, pues intuyó que con los procedimientos exclusivamente geométricos no se podía avanzar más en la correcta evaluación de su achatamiento; suya fue, en definitiva, la recomendación de introducir en su estudio un nuevo enfoque más físico que geométrico. Aunque en las mediciones del grado se efectuasen observaciones pendulares, siempre fueron de carácter puntual. El cambio se produjo verdaderamente a partir del año 1785, coincidiendo con el inicio de la malograda circunnavegación dirigida por Jean François Galaup, más conocido como conde de la Pérouse. A la expedición fue invitada la Academia de Ciencias de París, para que se realizasen diversas investigaciones durante los cuatro años que duraría el periplo. La Academia aceptó la invitación y envió al astrónomo Joseph Lepaute Dagelet para que hiciese, entre otras observaciones, medidas pendulares, donde y cuando fuese posible. Lamentablemente la expedición fracasó por el naufragio de las dos fragatas de que constaba, en el archipiélago de las islas Salomón (isla de Vanikoro); de manera que solo se dispone de las observaciones de todo tipo que fueron enviadas a Francia durante la primera mitad del periodo previsto.

La nueva metodología en el estudio físico de la figura de la Tierra fue refrendada por Pierre Simon Laplace en su monumental tratado de Mecánica Celeste, cuyo primer volumen apareció en el año 1799. Básicamente confirmó las tesis de Clairaut, al indicar que las medidas gravimétricas contribuirían decisivamente a fijar con mayor fiabilidad el valor del achatamiento por del elipsoide terrestre. A Laplace se le debió también la iniciativa de abordar la cuestión de la forma real de la Tierra desde un punto de vista más astronómico que geodésico. De acuerdo con la ley de gravitación, resultaba obvia la interdependencia entre una distribución desigual de las masas planetarias y la variación de la fuerza atractiva. En el caso de la Luna, por ejemplo, se presentaban diversas irregularidades en su movimiento que fueron analizadas detalladamente

durante el siglo XVIII, coligiéndose a finales de la centuria la existencia de otra desigualdad, periódica en este caso, que afectaba a su longitud. Pues bien a Laplace se debe la demostración de que la misma era debida a la influencia del abultamiento ecuatorial de la Tierra sobre su satélite. A él se debió también la inversión genial que le permitió deducir, a partir de ella, el valor del aplastamiento terrestre. Igualmente deben señalarse sus conclusiones análogas con relación a fenómenos más complejos: precesión y nutación.

Laplace con un globo celeste, junto al inicio del capítulo XII de su *Exposition du Systèm du Monde*, en el que desarrolla los tres epígrafes del título.



A Laplace le hubiese gustado avanzar más en sus estudios sobre la figura de la Tierra, pero se lo impidió el no conocer con fiabilidad suficiente el valor de la densidad de la Tierra. En todo caso fueron muy destacables las memorias que

presentó a la Academia de Ciencias (1783-1786), señalando en su introducción que se proponía exponer lo que habían enseñado sobre la constitución de la Tierra tanto la teoría como la observación, a la vez que determinaría lo más exactamente posible la figura que debe de suponersele, analizando fenómenos tales como la variación del ecuador a los polos, las paralajes de la Luna, los eclipses, la precesión de los equinoccios y la nutación del eje terrestre. Igual de reseñable es, en este contexto, el capítulo XII de su Exposición del Sistema del Mundo (Año IV o 1796) ya que aborda en el mismo el estudio de la figura de la Tierra, la variación de la gravedad sobre su superficie y el novedoso sistema de pesas y medidas, con el que se revolucionó la metrología.

Al comienzo de la última década del siglo XVIII se asiste en la Francia revolucionaria a una iniciativa sin parangón que pretendía lograr un sistema universal de medidas para acabar con la situación caótica por la que se atravesaba. Tras varias propuestas, la Comisión de Pesas y Medidas, creada a tal fin, decidió que la unidad básica de las medidas lineales pasaría a denominarse metro; una magnitud equivalente a la diezmillonésima parte del cuarto de meridiano terrestre. La propuesta de la comisión presidida por Lagrange incluía la inmediata medida de un arco de meridiano comprendido entre Dunquerque y Barcelona con una amplitud próxima a los $9^{\circ}5'$. Los geodestas responsables de su medida fueron Jean Baptiste Delambre y Pierre François André Mechain. Los trabajos comenzaron a finales de junio de 1792, responsabilizándose Delambre de la parte septentrional y Mechain del segmento más meridional, el cual iniciaría su tarea en España. La triangulación se apoyó sobre dos bases: Melun (6075,90 toesas) y Perpignan (6005,25 toesas), y sobre siete estaciones astronómicas en las que se medía la latitud para estudiar mejor la variación de la curvatura meridiana.

Los instrumentos de medida fueron concebidos por Jean Charles de Borda, midiéndose con ellos los ángulos, las bases y la gravedad absoluta; de entre todos ellos deben destacarse su famoso círculo repetidor, que ya había sido probado con éxito al enlazar Francia con Inglaterra, y su regla bimetálica. La observación de la cadena triangulada, que constaba de 94 triángulos con algunas diagonales, se continuó a partir de 1795 en el punto en que se había dejado, por el paréntesis obligado de la revolución, ultimándose los trabajos de campo en el año 1798. Los cálculos del desarrollo del meridiano, realizados paralelamente por una comisión en la que estaban integrados miembros de otras naciones, arrojaron los dos resultados siguientes: 551583.765 toesas y 551583.512 toesas. La comisión eligió el valor medio 551583.72 toesas, aunque Delambre propusiera fijarlo en 551584 toesas.



Círculo repetidor de Borda

La determinación de la latitud, realizada con el círculo repetidor de Borda, se logró tras observar varias estrellas que culminaban prácticamente en el cenit de las estaciones, con la disminución consabida de la refracción. No obstante observaron también las culminaciones de otras estrellas circumpolares, como la Polar, teniendo en cuenta las correcciones necesarias. La orientación de la cadena y su control se logró calculando el acimut astronómico de varios de sus lados en cinco estaciones: Watten, París, Bourges, Carcassonne y Montjuich, evidenciándose al transmitirlos la calidad de las observaciones. Quedaba pendiente la difícil cuestión del aplastamiento, imprescindible para conocer el desarrollo del cuarto de meridiano y poder definir el metro como su diezmillonésima parte. Para ello se compararon los desarrollos de grado obtenidos: Dunkerque-París (57082,61 toesas), París-Evaux (57069,31 toesas), Evaux-Carcassonne (56978,03 toesas) y Carcassonne-Montjuich (56946,62 toesas), con los previamente conocidos. Finalmente Delambre se decidió por el arco de Bouguer, reducido al nivel del mar, aunque el aplastamiento así calculado ($\alpha= 1/315$) no coincidiera con el que había propuesto antes ($\alpha= 1/308,64$). No obstante la Comisión Internacional, ya mencionada, eligió en función de sus cálculos el valor $\alpha=1/334$ y definió el metro (1799) como 443.296 líneas; la línea equivalía a 1/864 toesas.

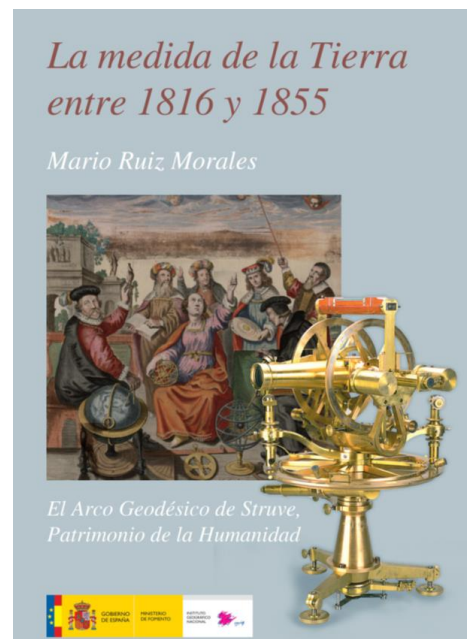
Delambre por su parte siguió insistiendo en su tesis, definiendo el metro como 443,328 líneas, a tenor de su propia fórmula

$$m = 443.9271 - 27,70019 \alpha + 378,942 \alpha^2.$$

Sin embargo, de acuerdo con el dictamen de la Comisión resultaban 107 metros para el cuarto del meridiano, equivalentes a 5130740 toesas, aunque hoy día se admita que su desarrollo sea de 10001965,7 metros y se comprenda la imposibilidad de conseguir una precisión de 10^{-7} con una incertidumbre de 10 toesas en un arco de 551584. En cualquier caso, a mediados del año 1799, Etienne Lenoir, un afamado

constructor de instrumentos científicos, ya había fabricado los prototipos correspondientes. Los cuales fueron presentados por Jan Hendrick van Swinden, en nombre de la Comisión, al Consejo de los Quinientos y al de Ancianos, el día 3 de julio de 1799; quedando entonces constituido el Sistema Métrico Decimal, también conocido después como Sistema Métrico.

Una de las medidas geodésicas más celebradas del siglo XIX fue la que dirigió el alemán Friedrich Georg Wilhelm von Struve (1793-1864), entre 1816 y 1855, contando para ello con la ayuda del general Karl Tenner. Struve, uno de los más grandes astrónomos del siglo XIX, fue el responsable de la medida del gran arco ruso, un arco de meridiano con una amplitud de $25^{\circ}20'$ comprendido entre el Danubio y el Mar Glacial Ártico. Para ello se proyectó y se observó una cadena de 258 triángulos, sin contar con los necesarios para las redes de ampliación de las siete bases establecidas; las cuales fueron medidas con un instrumento construido bajo su dirección y que estaba compuesto por cuatro reglas de hierro forjado con una longitud próxima a los 3.9 metros.



Portada del libro en el que se recopila gran parte de la información contenida en las memorias escritas por F. G. W. von Struve. (Centro Nacional de Información Geográfica. Edición digital.2015)

En el año 1860, comparando la magnitud del desarrollo de su arco con los previamente hallados en otras latitudes, obtuvo Struve su propio elipsoide, cifrando sus parámetros característicos en $\alpha = 1/294.73$ y $a = 6378.2983$ km; antes había fijado en 57136 toesas el correspondiente a un grado de su meridiano. El referido arco sirvió para estructurar la red geodésica de la antigua URSS que Struve y, más tarde, Tenner diseñaron de acuerdo con el sistema francés, conformando cuadriláteros con unas dimensiones de alrededor de 200 km y con estaciones de Laplace en cada intersección de cadena, al tiempo que se procuraba enlazar con las redes de los países limítrofes. En el año 1860 se publicó en San Petersburgo la obra que resumía el trabajo realizado: *Arc du méridien de 25° 20' entre le Danube et la mer Glaciale mesuré depuis 1816 jusqu'en 1855*. La institución de la que dependían todas las competencias geodésicas fue, desde que se empezaron los trabajos, el gran Observatorio de Pulkovo; bajo la responsabilidad del propio Struve, quien había sido nombrado su director, por el zar Nicolás I, en el año 1817. En la publicación que se acaba de presentar, editada por el CNIG, se ofrece como anexo un resumen de la historia de ese gran observatorio astronómico.

Poco después de que iniciase Struve sus observaciones geodésicas hizo lo propio el mayor genio de los últimos tiempos, es decir Carl Friedrich Gauss; el cual dedujo, en el reino de Hannover, que el grado del meridiano comprendido entre Göttingen y Altona tenía un desarrollo de 57127 toesas. Para ello realizó las pertinentes observaciones de las cadenas triangulares que previamente había proyectado, compensándolas después por el método de los mínimos cuadrados que él mismo ideó; la misma compensación que hizo años atrás con ocasión de la triangulación que observó en los alrededores de Brunswick, su ciudad natal, entre los años 1803 y 1807. En las cadenas citadas efectuó además una nivelación trigonométrica,

calculando el coeficiente de refracción como promedio de 28 observaciones; su valor lo hizo público, en Hannover, durante el mes de Enero de 1823 ($K=0.1306$). Los cálculos anteriores aparecerían después en su publicación *Berliner astronomisches Jahrbuch für 1826*. Todo parece indicar que fue en los trabajos que realizara en el año 1820, cuando empleó por primera vez el heliotropo que había inventado, un instrumento que se utilizaría ampliamente durante las primeras observaciones angulares efectuadas en la red geodésica española. Dentro de este apartado de geodesia práctica debe mencionarse igualmente el método de alturas iguales que ideó en 1808 para determinar simultáneamente la longitud y la latitud.

La contribución de Gauss a la geodesia dinámica fue igualmente sobresaliente, reconociendo en el año 1828, al igual que había hecho antes Laplace (1802) y haría después Bessel (1837) que el modelo elipsoidal no es válido si se pretende obtener una gran exactitud. Lo que se traduce en la necesidad de considerar otra superficie que se ajuste mejor a la forma real de la Tierra, ya que en el supuesto de no considerar las desviaciones de la vertical pueden surgir incertidumbres en los cálculos de los parámetros elipsoidales muy superiores a la precisión de las observaciones. A esa nueva superficie se refería Gauss cuando en su publicación *Determinación de la diferencia de latitud entre los Observatorios de Göttingen y Altona* (1828) afirmaba: “lo que llamamos la superficie de la Tierra en el sentido geométrico no es más que esa superficie que intersecta en todos lados la dirección de la gravedad en ángulos rectos, y parte de la cual coincide con la superficie de los océanos”. La primera y quizás la más clara y sucinta definición del geoide, una palabra que acuñaría años después (1873) su alumno Johann Benedikt Listing, profesor de Física en la Universidad de Göttingen. Listing fue uno de los pioneros en el estudio de las ondulaciones del geoide, llegando a fijar entre 800 m y 1km la magnitud de las mismas; valores que no serían fiablemente revisados hasta el desarrollo de la geodesia espacial, a finales del pasado siglo XX.

THEORIA
MOTVS CORPORVM
COELESTIVM

IN
SECTIONIBVS CONICIS SOLEM AMBIENTIVM

AVCTORE

CAROLO FRIDERICO GAUSS



HAMBVRGI SVMMIVS FRID. PERthes ET I. H. BessER
1809.

Venditor

PARISIIS ap. TRoütel & Wüster. LONDINI ap. R. H. EVERE.
STOCKHOLMIAE ap. A. WILBORG. PETERSBURGII ap. KLOSTERMANN.
HAMBVRI ap. BARTH. FRANKVRI ap. MOLLER, LAMBERT & C.
ANSTADTANI in libreria: Koenig- und Indolent-Comptoir, etc.



Bestimmung
des
Breitenunterschiedes

zwischen den
Sternwarten von Göttingen und Altona

durch
Beobachtungen am Ramsdenschens Zenithsector

VON

Carl Friedrich Gauss,

Rektor der Göttingen- und Universität-Ordnung, R. Grande, Kaiserlichen Hofrath; Professor der Arithmetik und
Director der Sternwarte in Göttingen, Mitglied der Akademien und Societäten von Berlin, Göttingen,
Erlangen, Göttingen, London, München, Neapel, Paris, Petersburg, Stockholm, etc.
Aussenordnungen, Naturforscher, Kellnerischen, Ludovici Astronomischen u. s.

Göttingen,
bei Vandenhoeck und Ruprecht.
1828.

Dos de las publicaciones más señaladas de Carl Friedrich Gauss. En la primera incluyó la metodología propia de los mínimos cuadrados y en la segunda la definición de geoide.

Otra de las figuras que contribuyó decisivamente al protagonismo de la geodesia alemana fue el matemático Friedrich Wilhelm Bessel, el cual midió, entre los años 1831 y 1836, parte del meridiano de Trunz; encontrando que el grado, de la entonces denominada Prusia oriental, equivalía a 57,144 toesas. La operación se describió en su libro *Gradmessung in Ostpreussen und ihre Verbindung*, publicado en 1838, clave para el posterior estudio de la geodesia. En él se detallaba la cadena triangular, entre Trunz y Memel, que permitió enlazar las redes de varios países europeos con la del Oriente de Rusia; para la medida de las bases empleó Bessel su propia regla, resultando para la de Königsberg una longitud de 1822 m.

El cálculo del desarrollo del arco le permitió definir su modelo elipsoidal en 1841, mediante las constantes $a = 6377.397155$ km y $\alpha = 1/299.1528$; empleándose desde entonces en numerosas representaciones cartográficas. Asimismo merece destacarse como verdaderamente notable su péndulo, que mandó fabricar al afamado constructor, y astrónomo, Johann Georg Repsold; cuya principal innovación fue la introducción de la corrección necesaria para que batiera segundos. El péndulo de Bessel se empleó a partir de entonces, de forma generalizada, para mediciones absolutas de la gravedad, tal como recomendaba la AIG, todavía en 1864.

Siete años después, en 1849, publicaría el matemático y físico irlandés George Gabriel Stokes su meritorio trabajo geodésico *On the variation of gravity on the Surface of the Earth*. En él demostró que dados cuerpos limitados por superficies de nivel sensiblemente esféricas, de igual masa y centro, rotando en torno al mismo eje con igual velocidad, era posible determinar la distancia entre puntos de uno y otro si se conocían los campos gravitatorios respectivos. Así pues, elegido el elipsoide de referencia como origen y evaluando el campo por la fórmula de Clairaut, la anomalía de la gravedad permitiría representar el geoide sobre el elipsoide mediante una integral doble; supuesta conocida dicha anomalía en toda la superficie. Esa integral es indiscutiblemente la más importante de la geodesia física, en tanto que permite obtener el geoide por vía gravimétrica, habiendo supuesto el mayor avance en este campo desde las aportaciones de Laplace y Legendre. Otra de las contribuciones geodésicas de Stokes fue su conocido teorema, de importancia innegable en el estudio del potencial gravitatorio y en el área más amplia del análisis vectorial. Se constata así como a mediados del siglo XIX ya era posible, al menos a nivel teórico, pasar del elipsoide al geoide; sin embargo faltaba todavía la multiplicación de medidas astronómicas, geodésicas y gravimétricas, que aún continúan practicándose en la actualidad.

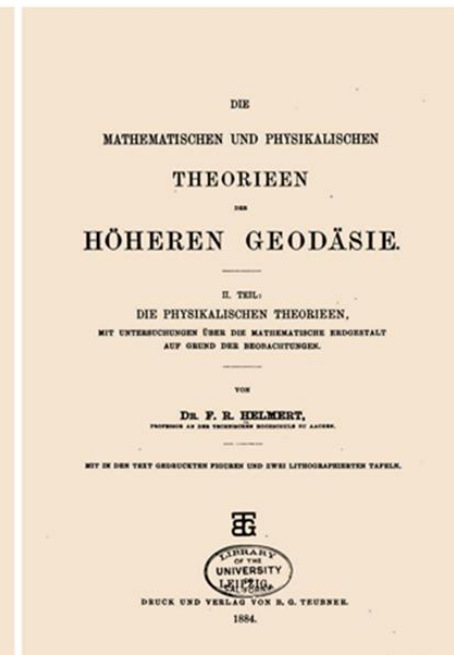
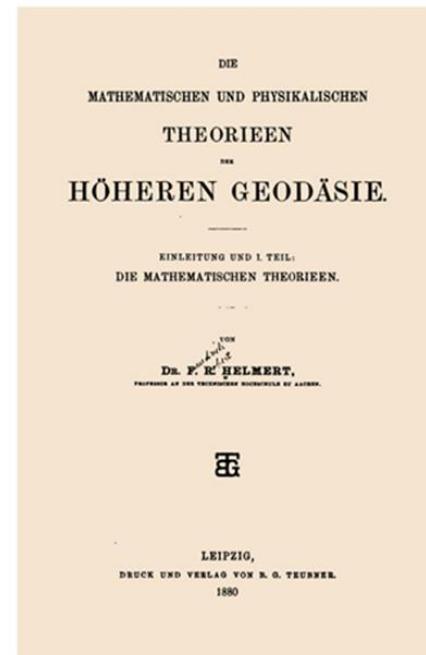
Aunque las medidas anteriores contribuyeran en mayor o menor proporción a la aparición de nuevos elipsoides, no aportaron novedad alguna en relación a los valores de los parámetros previamente fijados: alrededor de 6738 km para el semieje mayor y una magnitud comprendida entre 1/293 y 1/300 para el aplastamiento.

Habida cuenta que los parámetros de los modelos elipsoídicos eran diferentes y las discrepancias no eran achacables a los posibles errores cometidos en las observaciones, se llegó a la conclusión de que la figura de la Tierra solo podía considerarse elipsoídica con un cierto grado de aproximación. Por otra parte se evidenció la necesidad de recurrir a otra metodología para lograr mejores ajustes. Es sabido que con el nuevo procedimiento la zona objeto de estudio no fue ya lineal sino que pasó a tener una cierta extensión, abarcando en ocasiones grandes superficies; de ahí que fuera pronto conocido como método de las áreas (en contraposición con el método de los arcos), consiguiéndose así los primeros elipsoides realmente próximos al geode y por tanto unas representaciones fiables del mismo. El nuevo método fue preconizado en Alemania aunque, por primera vez, se aplicase sistemáticamente en los Estados Unidos.

Los trabajos de Friedrich Robert Helmert tuvieron lugar a finales del siglo XIX y comienzos del pasado siglo XX, siendo uno de los geodestas más distinguidos de los tiempos modernos. No en vano pasó a la posteridad por los dos volúmenes de su obra más conocida: Die mathematischen und physikalischen Theorien der höheren Geodäsie. En ella consideró a la Geodesia como la ciencia de la medida y representación de la superficie terrestre, una definición muy cierta pero que hoy día conviene complementar: El problema de la Geodesia es determinar la figura y el campo de gravedad externo de la Tierra y de otros cuerpos celestes, en función del tiempo; al igual que, determinar el elipsoide terrestre medio a partir de observaciones realizadas sobre y exteriormente a la superficie de la Tierra (Fischer 1975 a.). A Helmert se debió también la idea de suponer prolongado el geode bajo los continentes e identificarlo como la forma matemática de la Tierra, cuando decidió estudiarlo entre los años 1880 y 1884. Helmert introdujo la simplificación del llamado esferoide normal, truncando el desarrollo del potencial de la gravedad que es la

expresión analítica del geode; la simplificación puede continuar si se adopta como modelo matemático el elipsoide de revolución, denominado elipsoide terrestre a propuesta suya.

Para definir ese elipsoide terrestre como la superficie matemática que mejor se adaptaba al geode, impuso Helmert las condiciones siguientes: tener el mismo volumen y eje de rotación que el geode, coincidir su centro geométrico con el de gravedad de la Tierra y, por último, ser mínima la suma de los cuadrados de las distancias entre cada uno de los puntos de la superficie del geode y el correspondiente al elipsoide. Así surgió un método ideado por él (1880) para determinar el geode y que se conoce con el nombre de Nivelación Astronómica o Astrogeodésica, el cual permite obtener perfiles del mismo y dibujarlo mediante curvas de nivel sobre el elipsoide. Este método de nivelación fue aplicado por primera vez en la región alemana de Harz bajo la dirección de Helmert, el cual demostraría en el año 1899 que las repetidas ondulaciones del geode con relación al elipsoide eran menores de 100 metros.



Los dos tomos de la Geodesia de Helmert, una referencia bibliográfica obligada hasta su reedición en 1962.

Los trabajos gravimétricos realizados por Helmert aparecen en sus inicios asociados a la figura del general austriaco Robert Daublebsky von Sterneck y a las numerosas medidas de la gravedad que efectuó con su propio péndulo en los Alpes tiroleses. Los cálculos del primero, haciendo intervenir los datos de 37 estaciones situadas a lo largo de una línea de 356 kilómetros, tuvieron gran repercusión cuando aparecieron publicados en 1892: *Die Schwerkraft im Hochgebirge insbesondere, in den Tyroler Alpen, in geodätischer und geologischer Beziehung*. (A.I.G. Berlín, 1890), ya que se volvían a evidenciar los déficit máxicos observados años atrás por John Henry Pratt. La justificación del fenómeno dada por Helmert era análoga a la defendida por Clarence Edward Dutton (el antepaís se hunde y las montañas se elevan). El proceso designado por el geólogo americano con el nombre de isostasia, encontró una acogida muy favorable sobre todo en los Estados Unidos, influenciada quizás por los trabajos que publicó al efecto J. F. Hayford: *The Geodetic Evidence of Isostasy (1906)*, *The Earth a Failing structure (1907)* y *The relation of Isostasy to Geodesy, Geophysics and Geology (1911)*.

Dos imágenes de Helmert, una de cuando era joven y otra observando el péndulo



Helmert fue también, en 1901, uno de los primeros geodestas en aplicar las relaciones de Clairaut para determinar gravimétricamente el elipsoide, utilizando a tal fin múltiples observaciones (alrededor de 1500 valores de la gravedad, previamente corregidos por la reducción al aire libre. Así dedujo para la gravedad y para el aplastamiento polar los valores siguientes:

$$g = 978.046(1+0.005302 \text{ sen}^2\varphi -0.000007 \text{ sen}^2 2 \varphi) \text{ gals}, \alpha=1/298.3,$$

aunque en su publicación de 1915 (*Neue Formeln für den Verlauf der Schwerkraft im Meeresniveau beim Festlande*) rectificara ambos:

$$g = 978.052(1+0.005285 \text{ sen}^2 \varphi -0.000007 \text{ sen}^2 2 \varphi) \text{ gals}, \alpha=1/296.7.$$

Los estudios geodésicos de Helmert se refirieron además a la determinación de los parámetros del elipsoide mediante métodos astronómicos, basándose en las perturbaciones del movimiento de la Luna en latitud y longitud obtuvo para el aplastamiento el valor $1/298.8 \pm 2.2$. Señalemos asimismo que a través de la medida de la paralaje lunar, y supuesto un valor dado para el citado aplastamiento, puede calcularse el semieje mayor del elipsoide; con tal procedimiento obtuvo Helmert los valores siguientes:

$$a=6378830 \text{ metros, con } \alpha=1/299.26$$

$$a=6381360 \text{ metros, con } \alpha=1/289.76$$

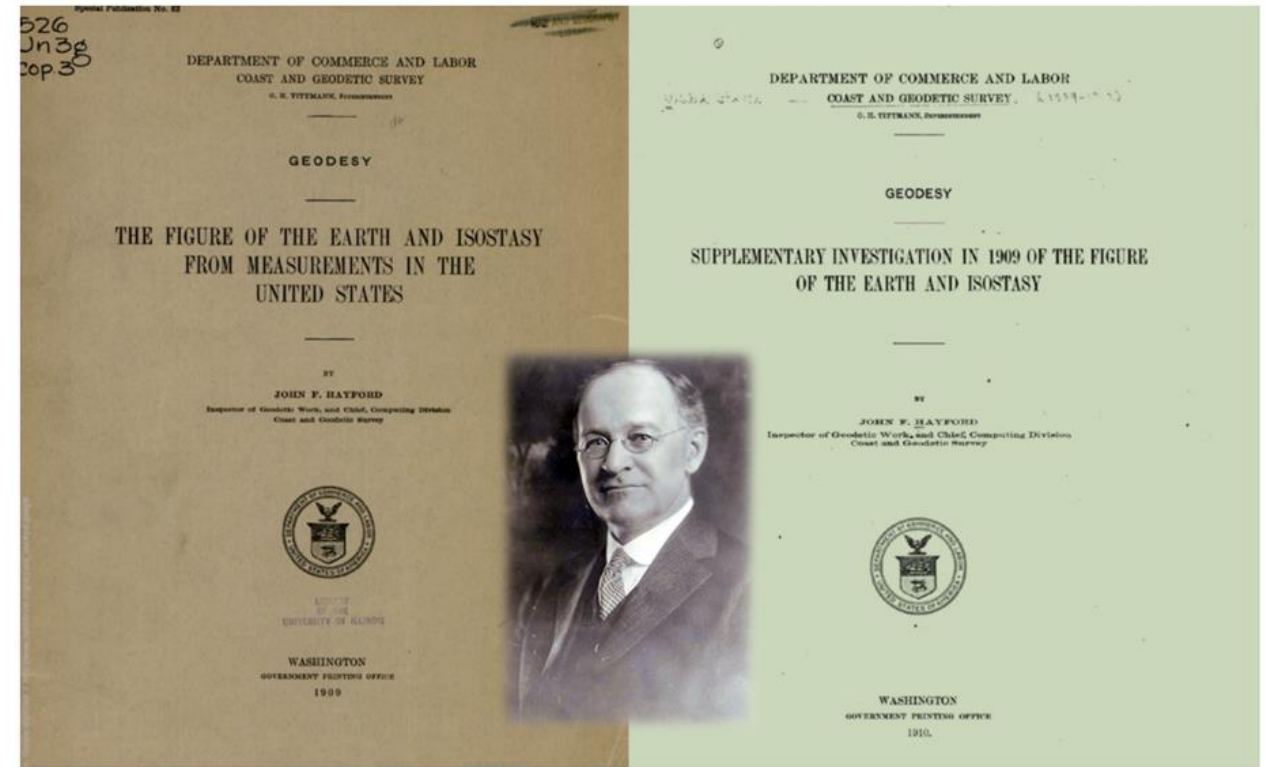
Es lógico que Helmert analizara también el método de los arcos para encontrar los parámetros geométricos del elipsoide, demostrando con sus investigaciones que el semieje encontrado por Bessel parecía demasiado pequeño mientras que el aplastamiento obtenido por Clarke resultaba demasiado grande. Los resultados hallados por él,

también en 1907 fueron: $a=6378200$ m y $\alpha=1/298.3$, si bien el aplastamiento lo rectificaría en el año 1915, atendiendo a más y modernas observaciones. En cuanto a la magnitud del radio ecuatorial, también lo modificó en esas mismas fechas en función del promedio de los seis obtenidos por las medidas de arcos realizadas en Europa, Asia y África, llegando así al valor $a = 6378192 \pm 94$ m.

Si bien el método astronómico-geodésico de las áreas fue ideado por Helmert, su primera realización práctica se debió al ingeniero civil y geodesta norteamericano John Fillmore Hayford, en calidad de Inspector de los Trabajos Geodésicos y Jefe de la División de Cálculo. Las medidas en las que se apoyó, fueron las que sirvieron para establecer las redes geodésicas y astronómicas de Estados Unidos, cuyos cálculos se realizaron a partir del Datum situado en Kansas: *Meades Ranch*. Al final del proceso había que calcular los valores más probables no solo del semieje mayor y del aplastamiento del elipsoide, sino también de la profundidad de la superficie de compensación isostática.

Una vez planteadas diversas profundidades de compensación para comprobar experimentalmente cuál de las diferentes estructuras satisfacía mejor la totalidad del sistema de ecuaciones, se aceptó como valor más probable una profundidad de 113.7 kilómetros. El algoritmo de cálculo empleado fue el de los mínimos cuadrados, publicándose los primeros resultados en el año 1909 con el título: *Figure of the Earth and isostasy from measurement in the United States* (Washington, 1909) y los complementarios un año más tarde: *Supplementary investigation in 1909 of the Figure of the Earth and Isostasy*. El resultado de cálculos tan laboriosos (sin el auxilio de la informática o de calculadoras Hayford tuvo en William Bowie a un estrecho colaborador, pues se convirtió en el impulsor principal de las campañas gravimétricas, terrestres y marítimas. De esa forma recopiló numerosas observaciones que demostraban la correlación entre las anomalías de la gravedad y los diferentes aspectos del relieve topográfico, validando por tanto la isostasia como un fenómeno geológico. Junto a Hayford calculó las tablas que permitían hallar la profundidad de compensación isostática, las cuales aparecieron dentro de la memoria que presentaron en 1912: *The effect of topography and isostatic compensation upon the intensity of gravity*. Por otra parte, ambos geodestas colaboraron además en la determinación gravimétrica del aplastamiento terrestre, llegando a los valores siguientes: 1/298.4 (1912) y 1/297.4 (1917).

No es muy conocido el hecho de que el citado elipsoide de Hayford pasó a denominarse internacional, y a ser el prototipo de los elipsoides cartográficos, a raíz de la resolución tomada por el Comité Ejecutivo de la Sección de Geodesia de la Unión Geodésica y Geofísica Internacional, reunido en Madrid el 24 de Septiembre de



1924, pocos días antes de celebrarse allí la segunda Asamblea General. La reunión se celebró en Madrid atendiendo a la recomendación que hizo en su momento el Ingeniero Geógrafo español José Galbis Rodríguez, que contaba con la autorización expresa del Director General del Instituto Geográfico y Estadístico. Las sesiones de la Asamblea propiamente dicha tuvieron lugar entre los días 1 y 8 de octubre en el Salón del Congreso de los Diputados, cedido por el Gobierno a petición del propio Galbis.

La metodología de Hayford fue seguida en años sucesivos por otros geodestas. Así procedería Wiekko Alexanteri Heiskanen, quien analizando los datos europeos y los procedentes de Estados Unidos hizo una importante labor de síntesis entre los años 1925 y 1935; así pudo proponer nuevos modelos elipsoidales, que mejoraban los anteriores. Igual de sobresaliente fue su determinación gravimétrica del Geoide, durante su estancia en la Universidad Estatal de Ohio, fruto de un proyecto de investigación realizado entre los años 1950 y 1957, apoyándose en los datos proporcionados por numerosas medidas de la gravedad. El resultado lo publicó en el año 1957 con el nombre de Geoide de Columbus, referido solo al hemisferio Norte y construido sobre el elipsoide de Hayford, con una equidistancia de dos metros entre las curvas de nivel. Otros resultados de su programa fueron que el aplastamiento terrestre en el hemisferio Norte era menor que en el Sur, un fenómeno que sería confirmado más tarde por la Geodesia espacial.

Otro de los geodestas que empleó el método de las áreas para estudiar la forma y dimensiones del elipsoide terrestre más probable, fue el ruso Feodosy Nikolaevich Krasovsky. Para ello utilizó las medidas realizadas en la extensa red geodésica y de estaciones astronómicas existente en la desaparecida URSS, disponibles hacia el año 1930. Su

primera conclusión de que el elipsoide de Bessel, que se había venido usando hasta entonces, no era el que mejor se ajustaba a la zona estudiada, por poseer un semieje ecuatorial demasiado pequeño, fue plenamente ratificada por los estudios posteriores; cifrándose la discrepancia en torno a los 850 metros. Estos estudios fueron dirigidos por él mismo y realizados por miembros del Instituto Superior de Ingenieros Geodestas, Aerofotogrametras y Cartógrafos de Moscú, destacando sobre todos el gran trabajo del ingeniero Aleksandr Aleksandrovich Izótov. El programa se efectuó durante diez años, recomendándose en 1940 un nuevo elipsoide para la URSS, que fue aprobado por el Consejo de Ministros del 7 de Abril de 1946, asignándole el nombre de Krasovsky e identificándolo por los parámetros: semieje mayor $a = 6378345 \pm 60$ m y aplastamiento $\alpha=1/298.3$. Fue esta determinación la más exacta realizada hasta entonces al haber hecho intervenir, por primera vez, en la misma los datos de las triangulaciones y los de la también extensa red gravimétrica, además de incluir observaciones de Europa Occidental y de los Estados Unidos.



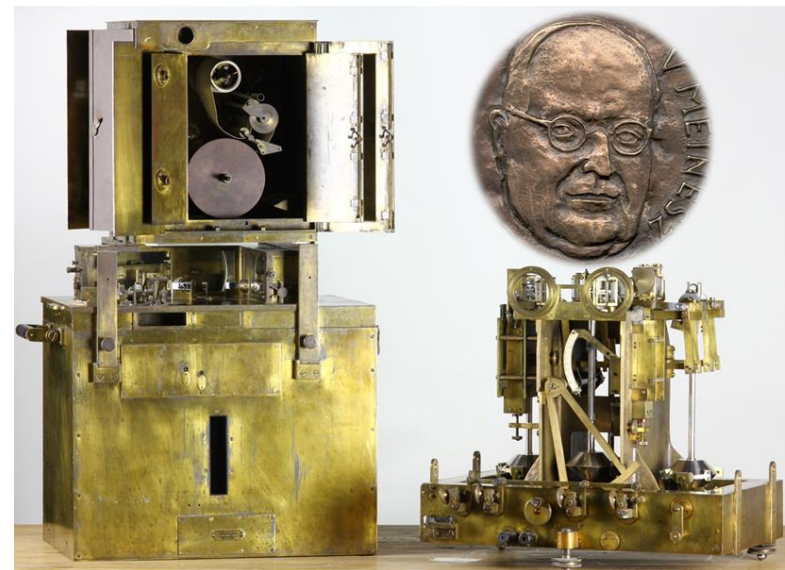
Universidad Estatal de Geodesia y Cartografía (Moscú). Se ha superpuesto la imagen del joven geodesta F. N. Krasovsky

De esa forma, la zona objeto de estudio alcanzó los 20 millones de kilómetros cuadrados aproximadamente. Su triangulación, en gran parte posterior a 1930, se realizó de acuerdo con la nueva normativa internacional, con densidades de bases y estaciones astronómicas cada 100 kilómetros, en las cuales se determinó la desviación de la vertical mediante los datos gravimétricos. Conviene hacer notar que el valor hallado para el aplastamiento coincide con el que se acepta actualmente, una vez analizados los datos gravimétricos más completos (terrestres y marítimos) y los proporcionados por las observaciones relacionadas con los satélites artificiales. Krasovsky fue por lo tanto el principal impulsor de la denominada nivelación astro-gravimétrica, que perfeccionaría después Mikhail Sergeevich Molodensky para poder determinar directamente la figura de la superficie física de la Tierra y la de su campo gravitatorio externo. El elipsoide de Krasovsky, fue el modelo matemático que se representó en la cartografía básica de todos los países sometidos a la influencia soviética.

Las investigaciones del ruso M. S. Molodensky en el campo de las altitudes le permitieron demostrar que si la altitud geométrica se expresaba como suma de la ortométrica y de la ondulación del geode, no podría calcularse ninguno de los sumandos de forma rigurosa sin haber adoptado una hipótesis sobre la estructura interna de la Tierra. Si por el contrario, se hacía igual a la suma de la altitud normal y de la llamada anomalía de la altitud, si podrían obtenerse con toda exactitud. Molodensky introdujo el término cuasigeoide para referirse a una superficie que dista del elipsoide una magnitud igual a la citada anomalía. La metodología introducida por él, hacia 1945, fue puesta a punto por sus discípulos del Instituto Nacional de Geodesia, Fotogrametría y Cartografía de la antigua URSS, culminándose así una obra maestra, que rectificó en fondo y forma todos los conceptos

básicos de la geodesia, al tiempo que la dotaba de una formulación matemática más rigurosa.

La importancia de la gravimetría para el conocimiento de la figura de la Tierra era tal a esas alturas del siglo XX, que un grupo selecto de geodestas propuso la necesidad de efectuar un levantamiento gravimétrico de carácter global, sin embargo su recomendación se vio dramáticamente pospuesta por la segunda guerra mundial. Uno de ellos fue el holandés Felix Andries Vening-Meinesz cuya aportación más conocida y sobresaliente en el dominio de la Gravimetría fue la puesta a punto de un instrumental y una metodología que permitieron lograr determinaciones gravimétricas precisas en el mar, prestando de ese modo a la Geodesia un servicio inapreciable, pues hasta entonces solo se hablaba de geoide y elipsoides terrestres. Con su equipo instrumental realizó varios ensayos en terrenos inestables de Holanda, con tan buenos resultados que decidió realizarlas en el mar. Las primeras medidas las efectuó en 1922, aunque resultara decisivo su viaje, del año 1923, a Indonesia a bordo de un submarino de la armada holandesa.



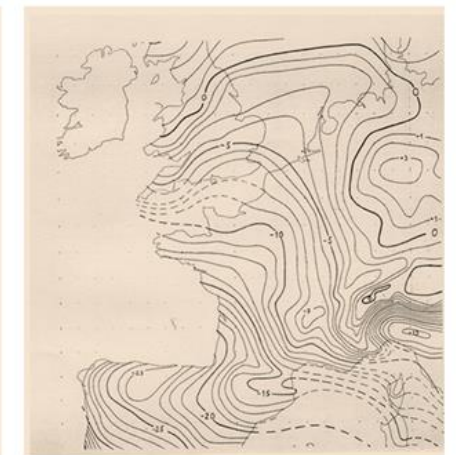
El gravímetro marino (*pendulum apparatus*) de Vening Meinesz (1923). Se ha superpuesto del anverso de la Medalla que lleva su rostro y que fue institucionalizada por *The European Geosciences Union Division of Geodesy*, para premiar las investigaciones que destaquen en esa rama científica

Los resultados de sus expediciones científicas los presentó en el año 1924, dentro de la Asamblea de la Unión Geodésica y Geofísica celebrada en Madrid, siendo acogidos muy satisfactoriamente por todos los congresistas. Después de varias innovaciones, el instrumental adquirió su forma definitiva y el profesor Vening-Meinesz publicó su obra maestra en el año 1929: *Theory and Practice of Pendulous Observations at Sea*. A partir de entonces se multiplicaron las observaciones gravimétricas marinas, el propio geodesta holandés participó entre los años 1929 y 1935 en varias campañas recorriendo prácticamente todos los océanos; así el método se convirtió en práctica habitual hasta que a comienzos de los años 60 se diseñan los primeros gravímetros marinos, basándose en los terrestres. a ser válido también para las observaciones marítimas.

Más tarde, entre 1960 y 1961, el geodesta finlandés Reino Antero Hirvonen acuñó el vocablo teluroide para identificar la superficie que dista del elipsoide una cantidad igual al valor de la altitud norma; a él debe atribuírsele también el aplicar por primera vez la fórmula del inglés G. G. Stokes para calcular el geoide gravimétrico, tras medir la gravedad en 186 estaciones entre los años 1824 y 1937. La continua realización de observaciones gravimétricas que se vienen comentando en los años transcurridos de este siglo XX, son prueba del desarrollo y consolidación de la gravimetría, así como de su contribución al mejor conocimiento de la figura de la Tierra. Dos fueron los métodos empleados para medir la aceleración de la gravedad, proporcionando en un caso mediciones absolutas de la misma y relativas en el otro.

Se comprueba, por lo tanto, que hubo que esperar casi cien años para que se publicase el primer modelo de geoide europeo, desde que Listing acuñase el término. En efecto, la primera Red Europea de Triangulación surge propiciada por el desarrollo de los medios de

cálculo y por la intervención decisiva del *Army Map Service* (A.M.S) de los EE.UU. con su propuesta de realizar una compensación conjunta de la misma. La guerra fría, entonces en su punto álgido, impuso que todas las naciones de la Europa del Este quedasen al margen de tan interesante proyecto; el resto de los países proporcionó los datos correspondientes a sus cadenas de primer orden a través de la Asociación Geodésica Internacional (A.I.G). El cálculo fue realizado en el *Coast and Geodetic Survey* bajo la dirección de Charles. A. Whitten, basándose en el elipsoide de Hayford y en un conjunto de estaciones astronómicas. Cada nación recibió los resultados que le afectaban, aunque en años posteriores publicase el general Guy Bomford una lista de las desviaciones de la vertical extendida a otros países; valores que le permitieron publicar el primer geoide europeo referido a la Torre de Helmert en Potsdam en el año 1963, el trabajo sería completado después por Jean Jacques Levallois, quien publicaría su propio geoide en el año 1965; aunque lo retocase pocos años después. La citada compensación es el origen del conocido Datum Europeo de 1950 (ED 50), centrado precisamente en dicha torre ($\varphi = 52^{\circ}13'$, $\lambda = 13^{\circ}4'$ EG).

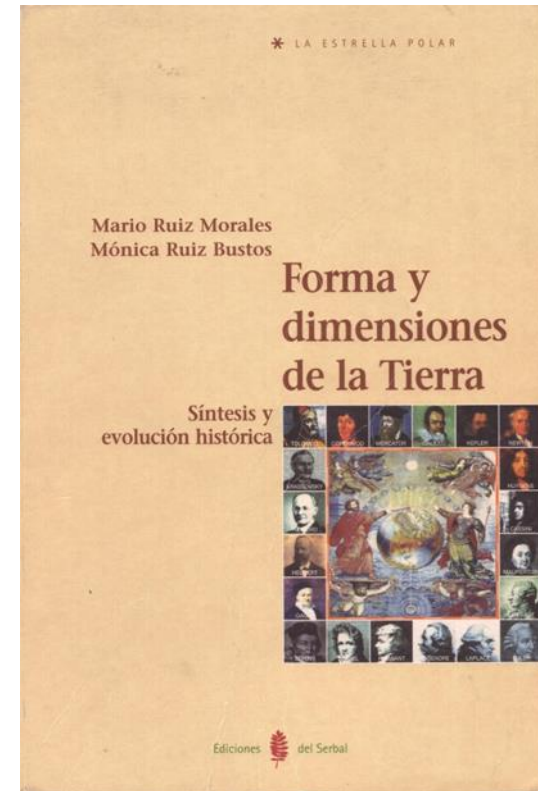


Geoides de G. Bomford (i) y de J.J. Levallois (d)

El geoide coincide con la superficie equipotencial del campo gravitatorio terrestre que más se aproxima al nivel medio del mar. Se trata por tanto de una superficie real que ha cobrado últimamente un marcado protagonismo, gracias al desarrollo, ya consolidado, de las técnicas de posicionamiento global, cuyo principal exponente es el GPS (*Global Positioning System*). Con dicho procedimiento se calculan las altitudes con relación a un cierto elipsoide geocéntrico, cuando las más usuales se prefieren precisamente al geoide. De ahí la necesidad de conocer la relación entre ambas superficies para poder expresar una altitud en función de otra. Se explica así la proliferación de geoides locales, en cuya representación hipsométrica suelen figurar una serie de curvas de nivel, lugar geométrico de los puntos en que es igual la separación entre el geoide y el elipsoide. Entre los últimos modelos globales, destaca el presentado en marzo de 2011 por la Agencia Europea del Espacio (ESA), formado a partir de los datos proporcionados por el satélite GOCE (*Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer*).

Digamos a modo de conclusión que el conocimiento cada vez más preciso y detallado del campo gravitatorio tiene numerosas aplicaciones en el estudio de la Tierra, así en las representaciones globales del geoide se comprueba que su relieve con relación al elipsoide no se corresponde con su homólogo terrestre pero sí con el submarino. Ciertamente, en las zonas de subducción, coincidentes con la existencia de grandes fosas oceánicas, el geoide presenta generalmente una depresión de 15 a 20 metros de profundidad sobre una extensión de alrededor de 200 km. Por el contrario las dorsales oceánicas dan lugar a una anomalía positiva de algunos metros de amplitud, sobre una extensión próxima a los 100 km, por encima de las zonas de fractura (fallas transformantes

perpendiculares a la dorsal). En las proximidades de las márgenes continentales (transición entre la corteza continental y oceánica) hay un escalón abrupto de unos 5 metros extendido a lo largo de 100 o 200 km.



La correspondencia entre los volcanes submarinos y las ondulaciones del geoide es otro ejemplo: en la proyección superficial de la mayoría de los volcanes o cadenas volcánicas submarinas aparece una anomalía u ondulación positiva de 5 a 10 metros de amplitud con una extensión superficial comprendida entre 100 y 500 km. Esa clara correlación es en definitiva la más clara evidencia del fenómeno isostático, de modo que del estudio del geoide puede deducirse el estado de compensación isostática del manto superior de la Tierra y comprender, eventualmente, el mecanismo de compensación, así como los modelos reológicos de la

litosfera y la geografía sísmica. El objeto de ese tipo de aplicaciones es tratar de comprender el porqué de tales accidentes, las razones hay que buscarlas, como ya apuntaba D'Alembert, en el interior de la Tierra: subducción de placas tectónicas, células de convección en el manto, a nivel global, o existencia de una elevación aislada sobre un mar profundo, en términos más locales.

El listado onomástico de los autores relacionados, en mayor o menor grado con la geografía astronómica, ordenado alfabéticamente, es extenso. Aunque se refieran más de 300 autores no pretende ser completo, si bien puede considerarse significativo. La selección se ha efectuado tomando como guía el incluido en el libro titulado *Forma y Dimensiones de la Tierra, síntesis y evolución histórica* (Ediciones del Serbal. 2000). Para cada uno de los autores se ha abierto una carpeta subdividida en tres apartados, dedicados el primero a las Notas Biográficas, el segundo a las Publicaciones y un tercero llamado Galería, por contener ilustraciones e instrumentos matemáticos que figuraban en alguna obra del autor respectivo, grabados con variadas imágenes del mismo y cualquier otra figura suficientemente representativa.

Muchas de las biografías proceden de las ofrecidas gratuitamente por la Universidad escocesa de Saint Andrews, fundada en el siglo XV. No obstante, ha de indicarse que este capítulo se puede enriquecer consultando los cinco volúmenes, de que consta la obra del escritor francés L. Figuiet : *Vies des savants illustres depuis l'antiquité jusqu'au dix-neuvième siècle*; en ella se recogen amplias referencias, convenientemente ilustradas, centradas en los periodos históricos siguientes: Antigüedad, Edad Media, Renacimiento, Siglo XVII y la Ilustración. Las fuentes elegidas para la búsqueda de las publicaciones se ha centrado fundamentalmente en las direcciones siguientes:

Biblioteca Digital Hispánica, *Europeana*, *Gallica*, *ETH-Bibliothek*, *Search HathiTrust's digital library*, *World Digital Library*, *Bodleian library*, *Cambridge University Library*, *The Dibner Library of the History of Science and Technology*, *Linda Hall Library* e *Internet Archives Digital Library*. Igualmente reseñables son los archivos de la Academia de Ciencias de París y los de la Real Sociedad de Londres, pues de ellos se han extraído memorias puntuales, especialmente interesantes, de autores destacados en la historia de la ciencia. En lo que se refiere a las imágenes, muchas proceden de las bibliotecas y archivos anteriores, aunque las acompañen también otras descargadas de *Wellcome Images* o de *Alidade* (Observatorio de París), por citar solo a dos de las más consultadas. Varios son los idiomas principales de los textos: inglés, francés y español, aunque ocasionalmente figuren también otros en árabe, griego, latín, portugués, alemán, italiano, ruso, sueco, holandés y checo.

Concluyo esta presentación haciendo mía la reflexión que figura en la introducción del repertorio *Bibliographia Astronomica et Geodaetica Hispanica*, 1795-1905: "...dispuestas las herramientas biográficas, bibliográficas e institucionales, puede emprenderse sin sorpresas, el análisis de lo efectivamente aportado por hombres e instituciones, contextualizar su producción, comprender los canales de circulación de la información, y elaborar estudios documentales e ideológicos sobre la producción y la difusión científica en el área estudiada".

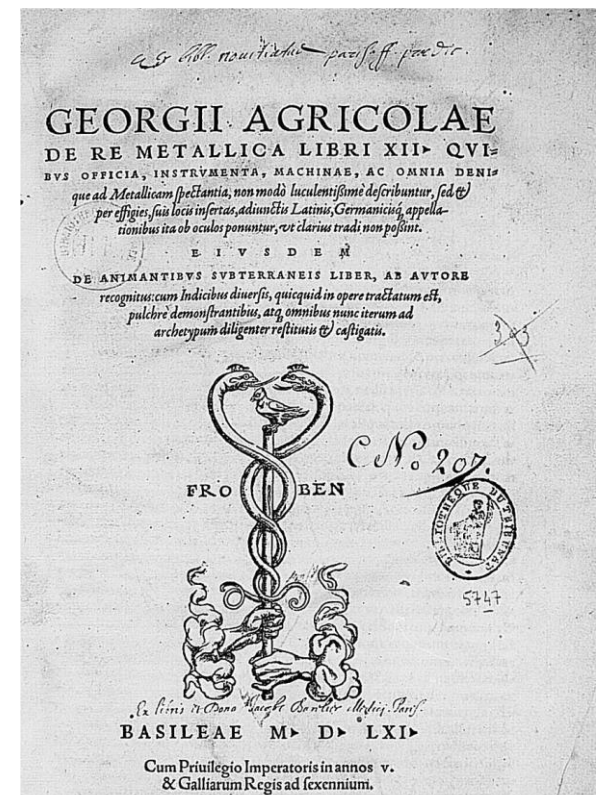
Granada septiembre de 2023

Georg Bauer (1494-1555), más conocido como Georgius Agricola.

Su obra más conocida fue *De Re Metallica*, Sobre la naturaleza de los metales, en la que revisó el estado del conocimiento de la minería de su tiempo, incluyendo equipamiento y medios para encontrar minerales. También analizó los métodos topográficos asociados a la disciplina.

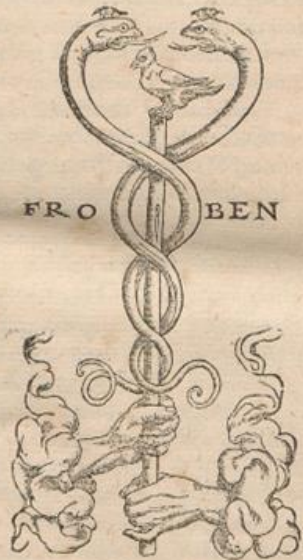
Otra de sus aportaciones fue su observación sobre la disposición de las rocas, contribuyendo así al estudio de la geología estratigráfica. La obra fue profusamente ilustrada

Un verdadero Tratado de Minería y Metalurgia →



GEORGII AGRICOLAE COLAE

De mensuris & ponderibus Romanorum atque Graecorum	Lib. v
De externis mensuris & ponderibus	Lib. ii
Ad ea, quae Andreas Alciatus denuo disputauit de mensuris & ponderibus, breuis defensio	Lib. i
De mensuris, quibus interualla metimur	Lib. i
De restituendis ponderibus atque mensuris	Lib. i
De precio metallorum & monetis	Lib. iiii



BASILEAE M D L

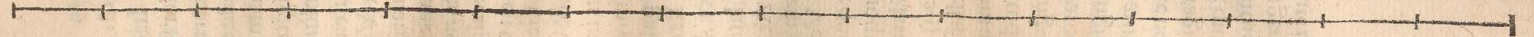
Cum priuilegio Imp. Maieſtatis ad quinquennium.

*De mensuris & ponderibus Romanorum
atque Graecorum*

*Jurij
de Propaley*

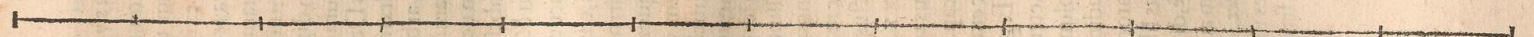
En su obra metrológica *De Mensuris et ponderibus*, publicada en 1533, describió los sistemas de medidas y pesos grecorromanos. Detallando como en el Sacro Imperio Romano Germánico del siglo XVI no había dimensiones, medidas y pesos coherentes, pues la magnitud de todas ellas dependía del lugar y del tiempo, dificultando por tanto las transacciones comerciales. Su prestigio como humanista aumentó tras haber propuesto pesos y medidas estandarizados.

Pes Romanus in XVI digitos diuisus.

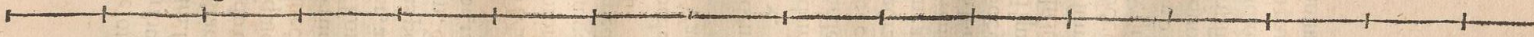


Pies romanos y griegos

Pes Romanus in XII uncias diuisus.



Pes Graecus in XVI digitos diuisus.



George Biddell Airy (1801-1892)

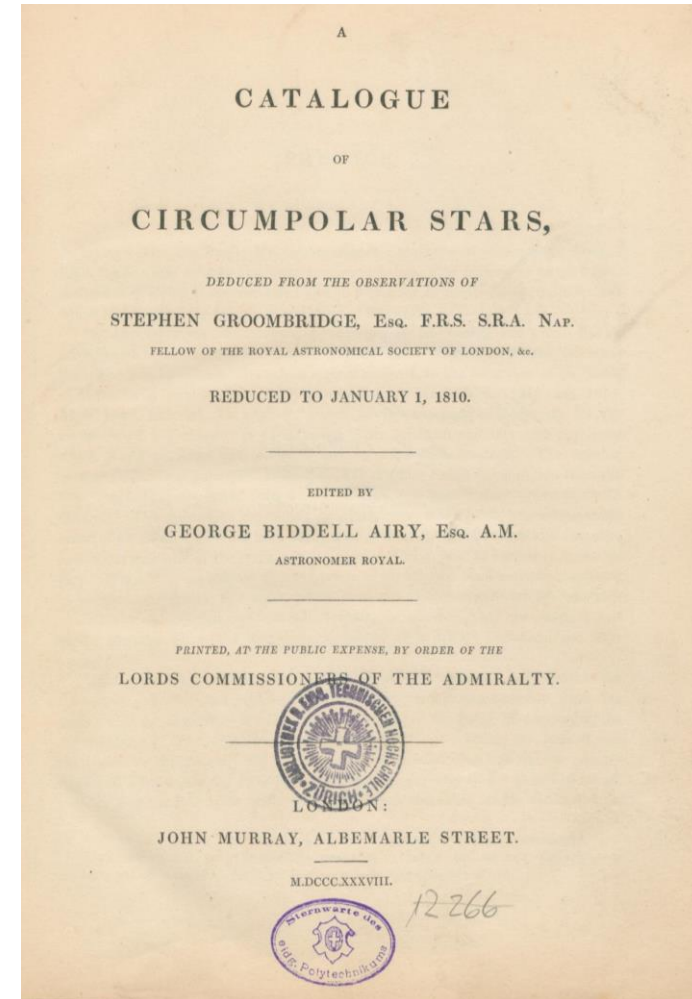


Lucasian Profesor en Cambridge (Astronomía y Matemáticas) y Director del Observatorio de Greenwich (1835-1881), estableciendo allí el primer meridiano.

Como astrónomo real reorganizó el observatorio de Greenwich, dotándolo del mejor instrumental de su tiempo, aunque impidió que nadie se formara durante su mandato. Publicó libros sobre Trigonometría, (1825), Gravitación (1834), Ecuaciones en derivadas parciales (1866).



G.B. Airy cruzando el patio del Observatorio (1839)



MATHEMATICAL
TRACTS

ON

THE LUNAR AND PLANETARY THEORIES,
THE FIGURE OF THE EARTH,
PRECESSION AND NUTATION,
THE CALCULUS OF VARIATIONS,
AND
THE UNDULATORY THEORY OF OPTICS.

DESIGNED

FOR THE USE OF STUDENTS
IN THE UNIVERSITY.

By GEORGE BIDDELL AIRY, M.A.

LATE FELLOW OF TRINITY COLLEGE, AND PLUMIAN PROFESSOR OF
ASTRONOMY AND EXPERIMENTAL PHILOSOPHY IN THE
UNIVERSITY OF CAMBRIDGE.

SECOND EDITION.

CAMBRIDGE:

PRINTED BY J. SMITH, PRINTER TO THE UNIVERSITY.

FOR J. & J. J. DEIGHTON;

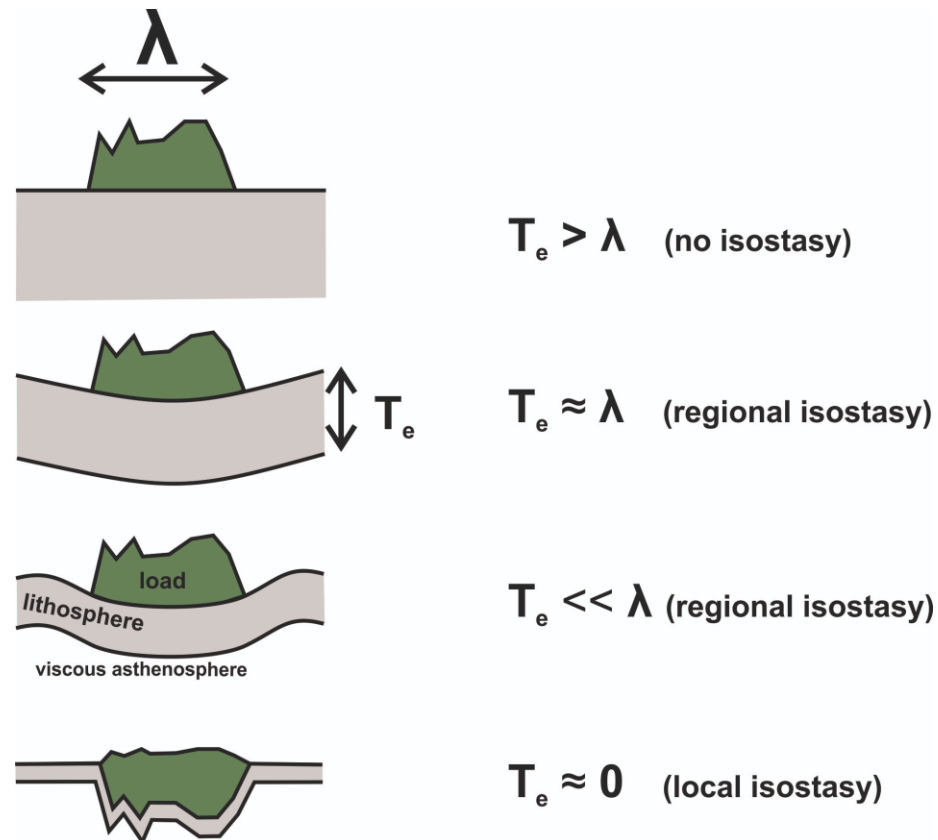
AND J. G. & F. RIVINGTON, ST. PAUL'S CHURCH-YARD, AND
WATERLOO PLACE, LONDON.

M.DCCC.XXXI.



1546

Entre las aportaciones de Airy, caben destacarse sus estudios sobre: el análisis de las órbitas de Venus y de la Luna; la forma de la Tierra; el cálculo de variaciones; las interferencias en Óptica, formulación matemática del arco iris, cálculo de la densidad de la Tierra.



Mención aparte merece su hipótesis isostática: La corteza terrestre es una capa relativamente rígida que flota sobre un sustrato más líquido y de mayor densidad. Según esta hipótesis, las montañas tienen raíces debajo de la superficie que son mucho más grandes que su expresión superficial.



San Alberto Magno (1200-1280)

Mientras estuvo en París, divulgó el estado del conocimiento en materias tales como ciencias naturales, lógica, retórica, matemáticas, astronomía, ética, economía, política y metafísica. Escribió comentarios sobre la Biblia y todas las obras de Aristóteles.

En su obra *Super Dionysii epistulas*, analizó el movimiento estelar para poder dilucidar si el supuesto eclipse ocurrido durante la crucifixión de Jesús de Nazaret fue natural o milagroso. Sus métodos para rastrear las posiciones del Sol y de la Luna fueron especialmente interesantes.



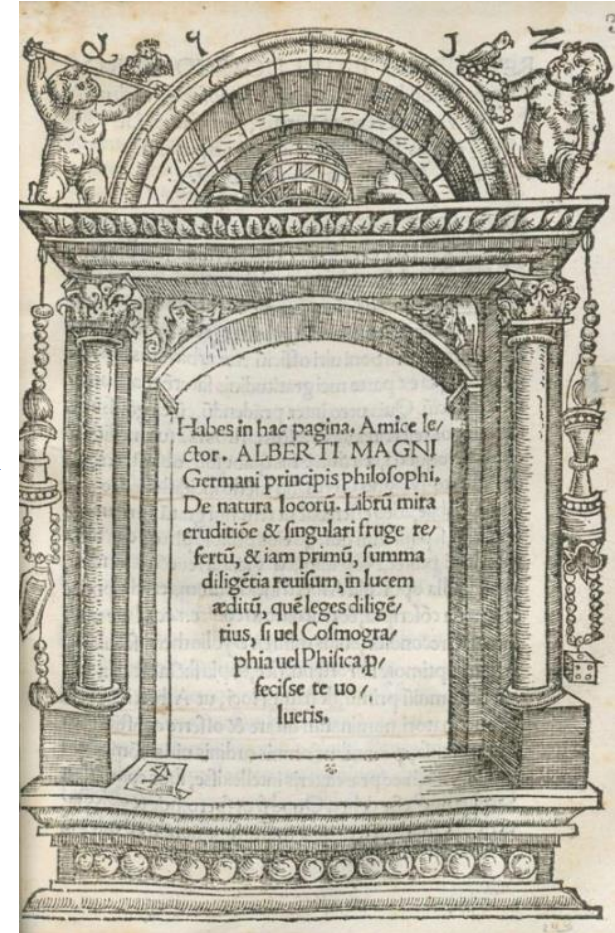
*Dionisio Areopagita, observando el eclipse con un astrolabio.
Biblioteca del Escorial*



← *De Vitrubius Herbarum*: «Al estudiar la naturaleza, no tenemos que preguntarnos cómo Dios Creador puede, según su libre albedrío, usar a sus criaturas para obrar milagros y mostrar así su poder: más bien tendríamos que preguntarnos qué es lo que la naturaleza con sus causas inmanentes puede producir espontáneamente».

De natura locorum, fue otro de sus trabajos. Destacando en él la importancia de la geografía para comprender el mundo, aportando datos sobre la localización y características de varios lugares. →

En 1931, el Papa Pío XI canonizó a San Alberto y lo hizo Doctor de la Iglesia; diez años después fue declarado patrón de las Ciencias naturales por Pío XII.



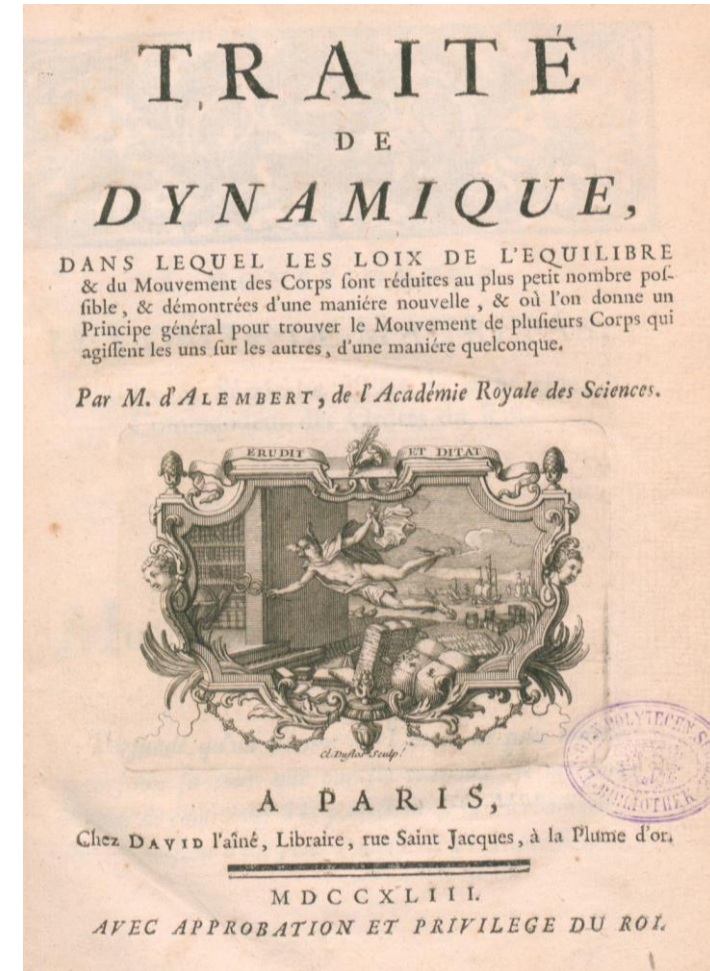


Jean le Rond D'Alembert (1717-1783)

D'Alembert pensaba que la mecánica era una parte tan importante de las matemáticas como la geometría o el álgebra...basada en principios metafísicos y no en pruebas experimentales.

El principio de d'Alembert, propio de la mecánica analítica, afirma que el conjunto de las fuerzas de constricción de un sistema no actúa durante un desplazamiento virtual:

$$F - m a = 0.$$



RECHERCHES

SUR LA PRÉCESSION
DES EQUINOXES,
ET SUR LA NUTATION
DE L'AXE DE LA TERRE,
DANS LE SYSTÈME NEWTONIEN.

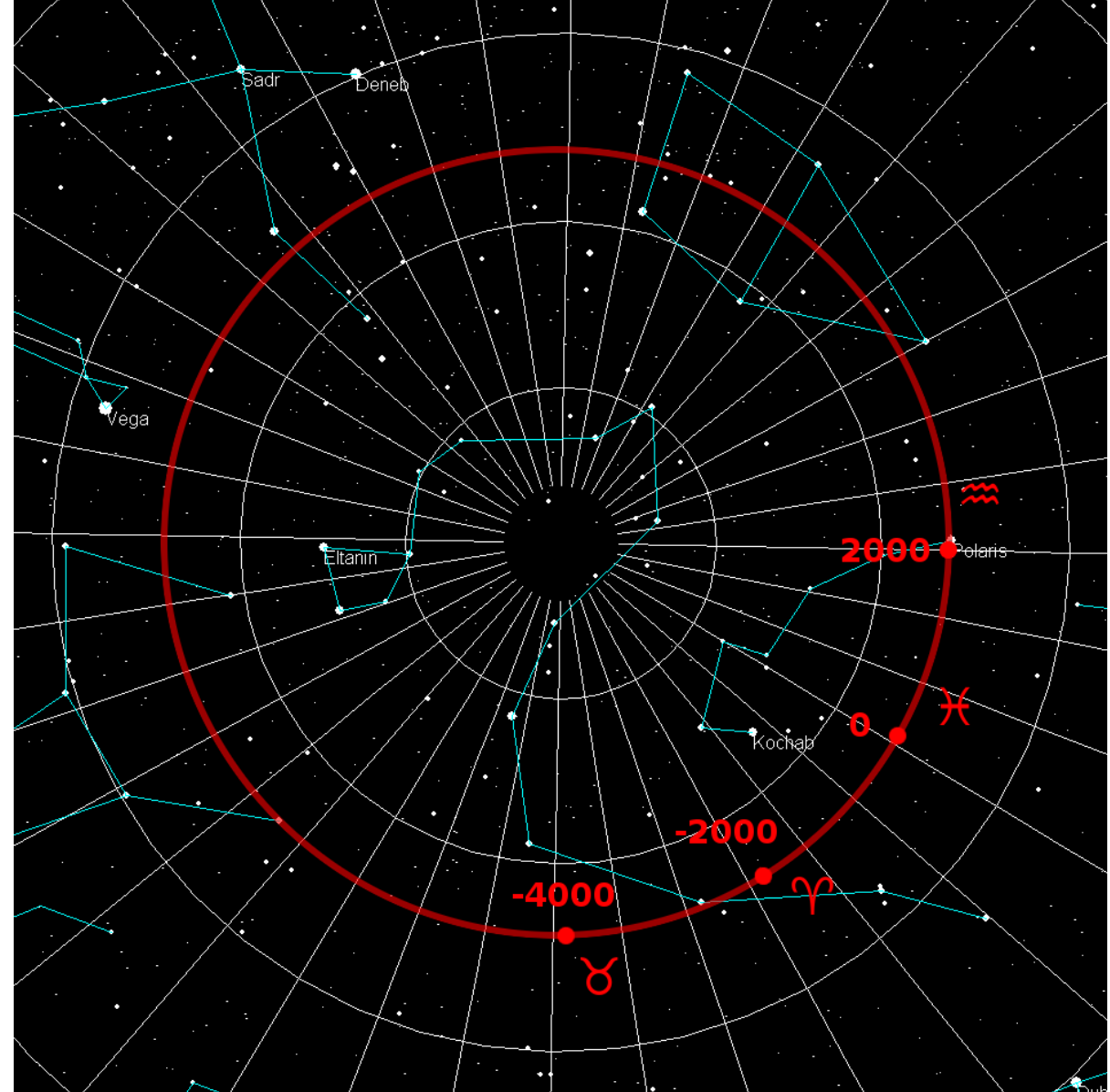
Par M. D'ALEMBERT, des Académies Royales des Sciences de Paris
& de Berlin, & de la Société Royale de Londres.



A PARIS,
Chez DAVID l'aîné, Libraire, rue S. Jacques, à la Plume d'or.

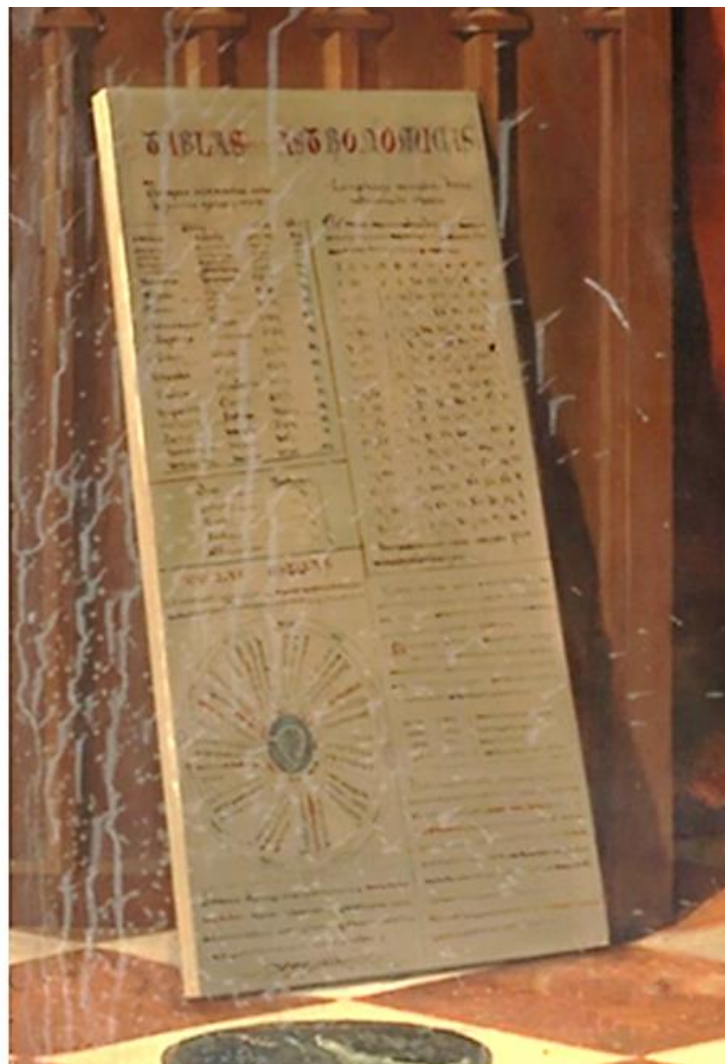
M D C C X L I X.

AVEC APPROBATION ET PRIVILEGE DU ROI.



D'Alembert achacó la precesión de los equinoccios al abultamiento ecuatorial de la Tierra. En la imagen de la derecha se presenta la trayectoria del Polo Norte celeste, en torno a su homólogo de la eclíptica, marcando los años desde el 4000 a.C. El giro se realiza a razón de unos 50'' al año. La estrella que identifica el PNC cambia de un siglo a otro.

Alfonso X el Sabio (1221-1284)



Influenciado por su madre, Beatriz de Suabia, reunió en su corte Sin embargo, Alfonso tuvo una influencia poco habitual en su época: su madre, la alemana Beatriz de Suabia, a una cosmopolita amalgama de intelectuales cristianos, judíos y musulmanes. Al reorientar la labor de la Escuela de Traductores de Toledo hacia la traducción de las obras al castellano en lugar del latín, fomentó el uso de esta lengua entonces vulgar, sentando las bases de la lengua española.

Óleo sobre lienzo de Eduardo Gimeno y Canencia. El rey posa su mano sobre un pergamino de *Las Siete Partidas*, el cual se encuentra en una mesa sobre la que se apoyan *Las Tablas Astronómicas o Alfonsíes*. La obra pertenece al Museo del Prado aunque esté depositada en el Ministerio de Justicia.



Don Alfonso el Sabio, y los libros del saber de astronomía, óleo sobre lienzo monumental, 165 x 260 cm, pintado en el año 1881 por Dióscoro Teófilo Puebla y Tolín. Museo del Prado. Depositado en el Museo Municipal de Bellas Artes de Santa Cruz de Tenerife.

Entre las obras traducidas se encontraban numerosos textos científicos y médicos de origen judío o árabe. Las Tablas alfonsinas fueron una de las aportaciones más destacadas de Alfonso X, una recopilación de datos astronómicos procedentes de la observación del cielo toledano y apoyada en las Tablas de Toledo elaboradas en el siglo XI por el astrónomo al-Zarqali y otros. Basadas en el sistema geocéntrico de Ptolomeo, las nuevas tablas se elaboraron entre 1263 y 1272 bajo la dirección de los astrónomos judíos Yehuda ben Moshe e Isaac ibn Sid; animados siempre por el Rey sabio

Anaxágoras (500 - 428 a. C.)



Introdujo la noción del NOUS (inteligencia), como base de su teoría filosófica; en la que se comentaba en cierta medida la idea de la diferenciación de la materia, presente en las teorías modernas de la creación del sistema solar.

Hacia el año 450 a. C., fue encarcelado por afirmar que el Sol (roca al rojo vivo) y la Luna no eran dioses, y que esta reflejaba la luz que le llegaba de aquel.

Anaxágoras y su amigo Pericles



Anaxágoras fue el primero en explicar correctamente la razón de los eclipses de Sol y luna. Aunque en los segundos postulara la existencia de otros cuerpos entre la Tierra y la Luna, causantes también de los eclipses lunares.

Mural de la Universidad de Atenas →



Si me engañas una vez, tuya es la culpa; si me engañas dos, es mía.

Durante su estancia en prisión trató de resolver el problema de la cuadratura del círculo, es decir, construir con regla y compás un cuadrado de área igual a la de un círculo dado, contribuyendo así al desarrollo de las matemáticas griegas.

ANAXAGORAE CLAZOMENII
F R A G M E N T A
QUAE SUPERSUNT, OMNIA,
COLLECTA COMMENTARIOQUE
ILLUSTRATA
A B
EDUARDO SCHAUBACH,
APUD MEININGENSES DIACONO.

ACCEDUNT
DE VITA ET PHILOSOPHIA ANAXAGORAE
COMMENTATIONES DUAE

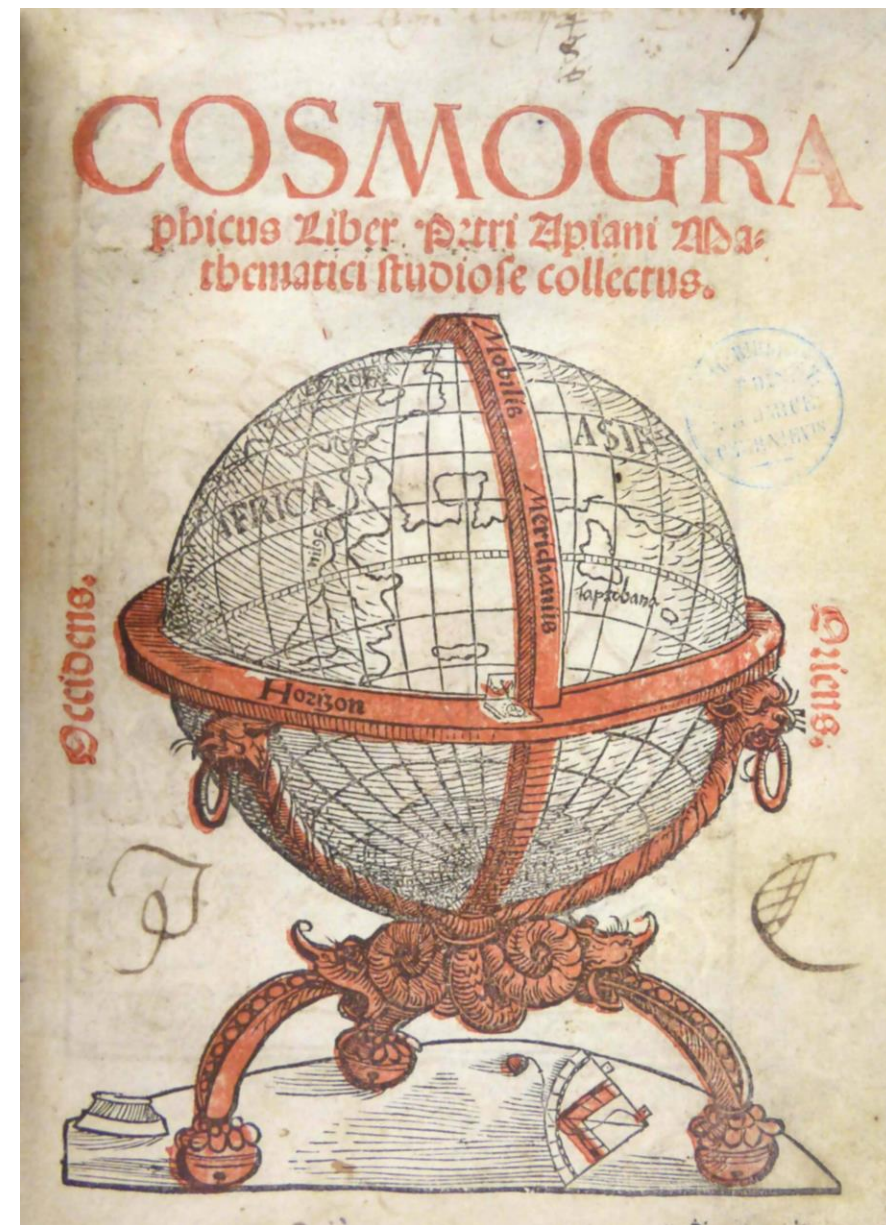
LIPSIAE 1827,
SUMPTIBUS HARTMANNI.



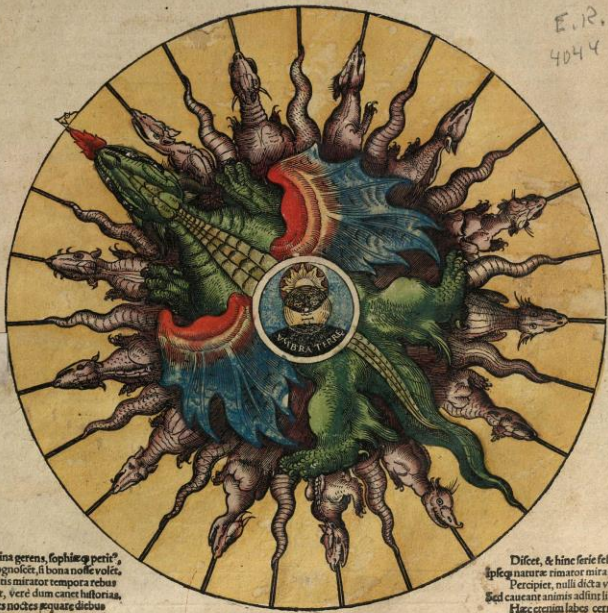
PETRVS APIANVS, LEYSNICZENSIS.

Peter Bienewitz (1495-1552)

La Cosmografía, basada en la Geografía de Tolomeo y publicada en 1524, fue su primera gran obra. En su temario se abordaron cuestiones propias de la: astronomía, geografía, cartografía, agrimensura, navegación, climatología, geodesia e instrumentos matemáticos. Desde entonces, y hasta 1609, sería objeto de cuarenta y siete ediciones en distintas lenguas (latín, holandés, francés y español), convirtiéndose en uno de los libros más publicados durante el primer siglo de la imprenta.



Astronomicum Caesareum

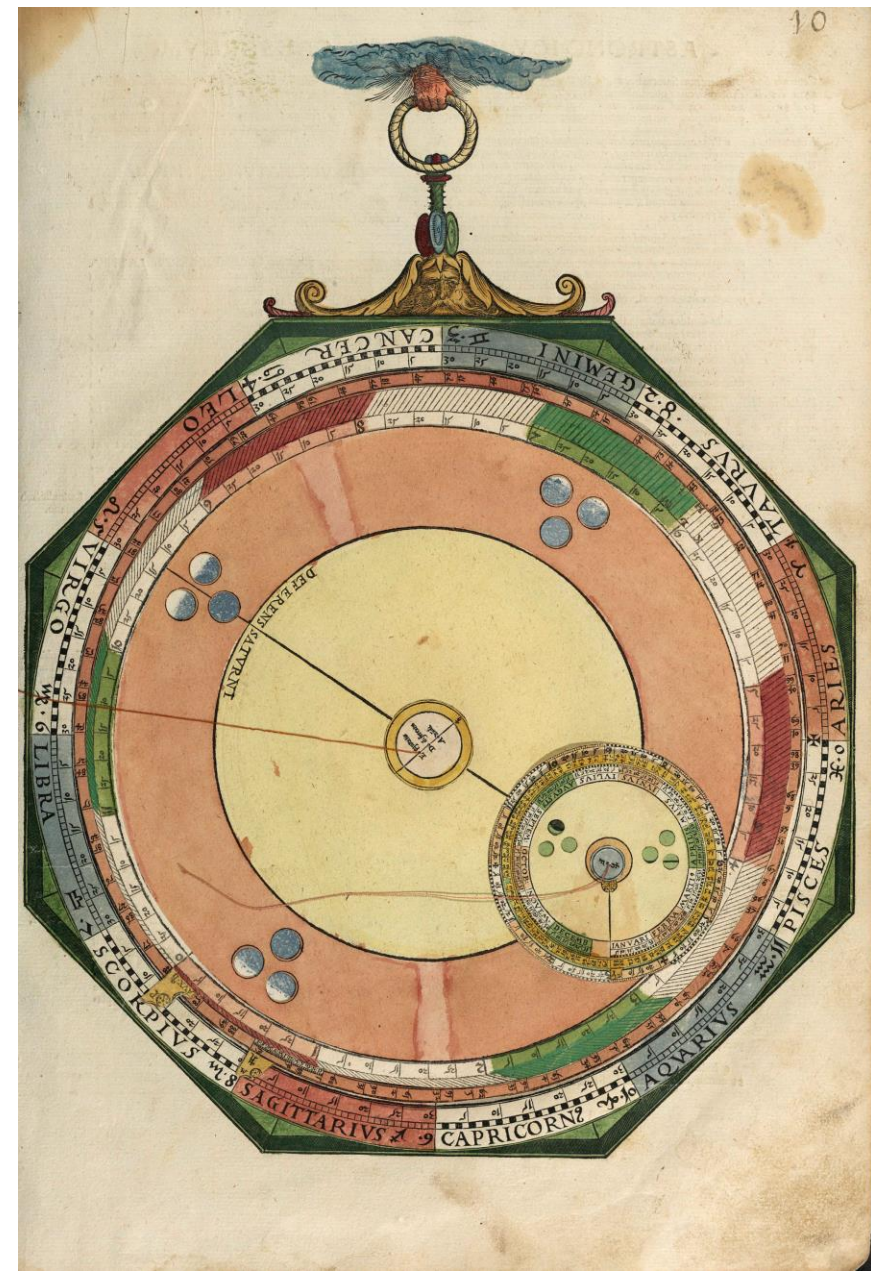


Historicus, diuina gerens, fephiq; perit,
Hic sua cognofcit, fi bona nofte voluit
Nanq; vetullatis mirator tempora rebos
Distribuet, veré dum canet hitoria,
Ipe facti ptefes noctes ptequere diebus

Difcet, & hinc ferie fefta locare fua,
Ipeq; nante rimator mira comete
Percipiet, nulli dicta vel acta prius,
Sed caueant animis ad hinc liore peruffis,
Hæc etiam libes cernere vera negit

De Haynadas Ricardis.
Waguardu uarica

Astronomicum Caesareum (1540) fue una obra aún más lujosa que la *Cosmografía*, siendo considerada como una obra de arte por el cuidado de su impresión y el valor de sus ilustraciones. Presentó algunas ideas científicas novedosas e interesantes: por ejemplo, el uso de eclipses solares para determinar la longitud. El libro también describía cinco cometas, en particular el cometa Halley; haciéndose entonces la importante observación de que la cola de un cometa siempre apunta en dirección contraria al Sol. Se trata de una aportación astronómica especialmente relevante, que mantuvo su valor hasta que se editó del libro de N.Copérnico *De revolutionibus orbium coelestium* en 1543.





Apolonio de Perga (c.262 a.C. - c.190 a.C.)

Durante su estancia en Alejandría escribió su tratado sobre las secciones cónicas, en ellos usó por vez primera los nombres de elipse, hipérbola y parábola; siendo conocido a partir de entonces como el gran geómetra.

También se le atribuye la hipótesis de las órbitas excéntricas o teoría de los epiciclos para intentar explicar el movimiento aparente de los planetas y la velocidad variable de la Luna.

APOLLONII PERGÆI
C O N I C O R U M
LIBRI OCTO,
ET
SERENI ANTISSENSIS
DE SECTIONE
CYLINDRI & CONI
LIBRI DUO.



O X O N I Æ,
E THEATRO SHELDONIANO, An. Dom. MDCCX.

Los profesores de Apolonio en Alejandría fueron discípulos de Euclides. Siguiendo la tradición griega, se le asignó el nombre de ϵ ; como a Euclides se le dio α , a Eratóstenes β , a Arquímedes γ , y δ a Canón de Samos.



Entre las ediciones de los trabajos de Apolonio, han de destacarse las siguientes: 1) *Apollonii Pergaei Conicorum libri quatuor* (Bononiae, 1566); 2) *Apollonii Pergaei Conicorum libri octo, et Sereni Antissensis de Sectione Cylindri et Coni libri duo* (Oxoniae, 1710), versión latina de E. Halley; 3) Los cuatro primeros libros de las Cónicas, hecha por I. Barrow (1675) y 4) *Apollonii Pergaei Quae Graece*, de I. L. Heiberg (1854–1928).

Apolonio de Perga rodeado de discípulos en el complejo de Alejandría

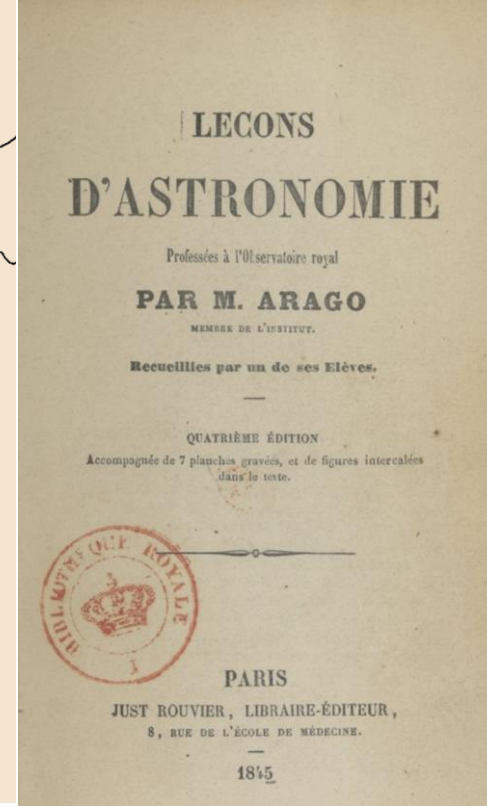
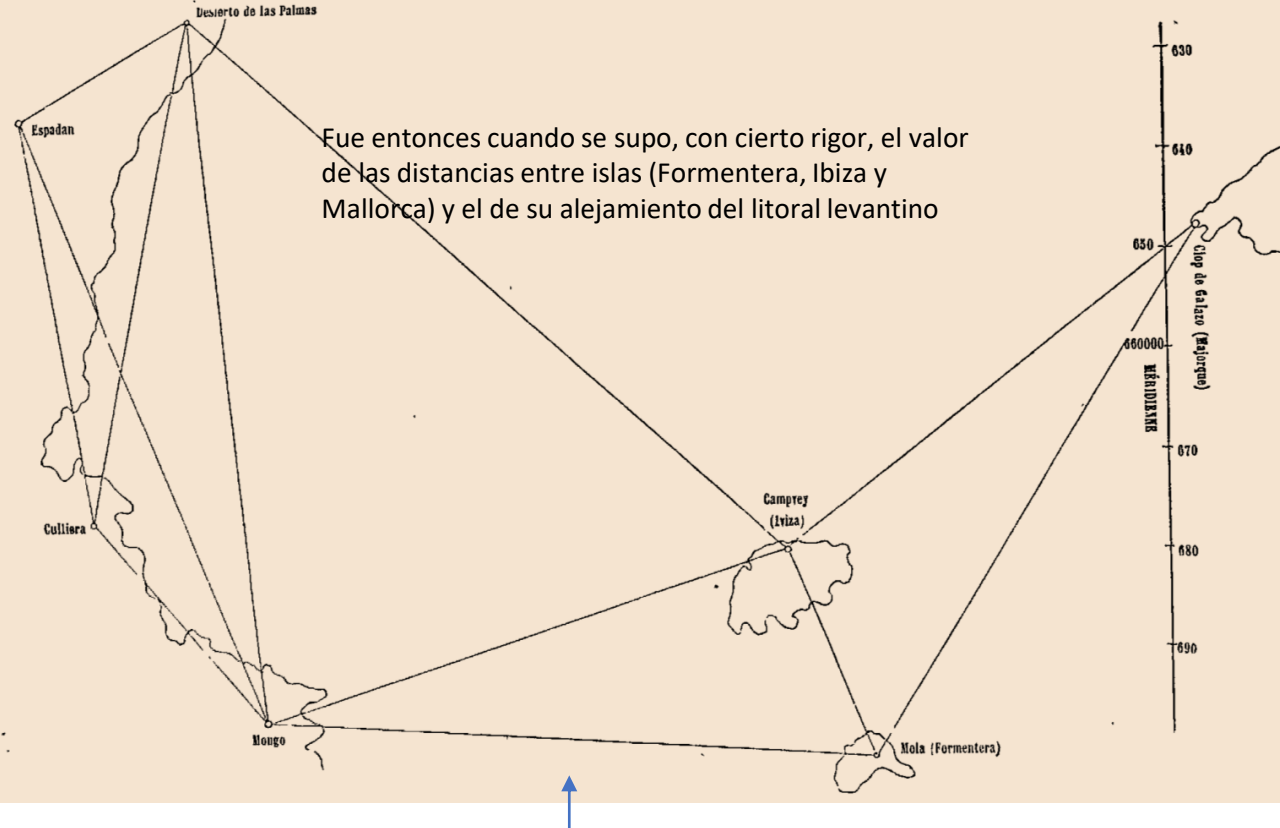


François Arago (1786-1853)

El 3 de septiembre de 1806 Arago y Biot partieron hacia España, con la intención de continuar prolongando el meridiano de Francia que había iniciado Méchain. Tras las observaciones triangulares en el litoral peninsular se trasladaron a Mallorca para enlazar las islas con aquel, encontrándose en torno al año 1808. Mientras que Biot volvió a Francia, Arago continuó con sus trabajos; siendo finalmente acusado de espionaje y encarcelado.



*Meridiana de Arago en
el Castillo de Bellver
(Palma de Mallorca)*



Al regresar a París con sus cuadernos de observación, fue tratado como un héroe. Se convirtió en profesor asistente en la *École Polytechnique* y llegó a ser Director del Observatorio de París y Secretario General de la Academia de Ciencias. También impartió, entre 1813 a 1846, clases públicas de astronomía, cuyo programa fue el origen de los cuatro volúmenes de su *Astronomie populaire* (obra póstuma); uno de sus alumnos llegó a publicar los apuntes tomados en clase (*Leçons d'astronomie professées à l'Observatoire royal par M. Arago, ... recueillies par un de ses élèves*).

El enlace balear realizado por Biot y Arago, tal como fue representado en su *Astronomía popular* (Tomo III. Libro XX. La Tierra. Capítulo XXII. Determinación de la Meridiana)

Señales en el meridiano de Francia. La primera es una de las 135 placas colocadas a lo largo del meridiano de París. La segunda identifica cada uno de los árboles plantado sobre él, coincidiendo con el inicio del tercer milenio; materializando así el llamado meridiano verde.

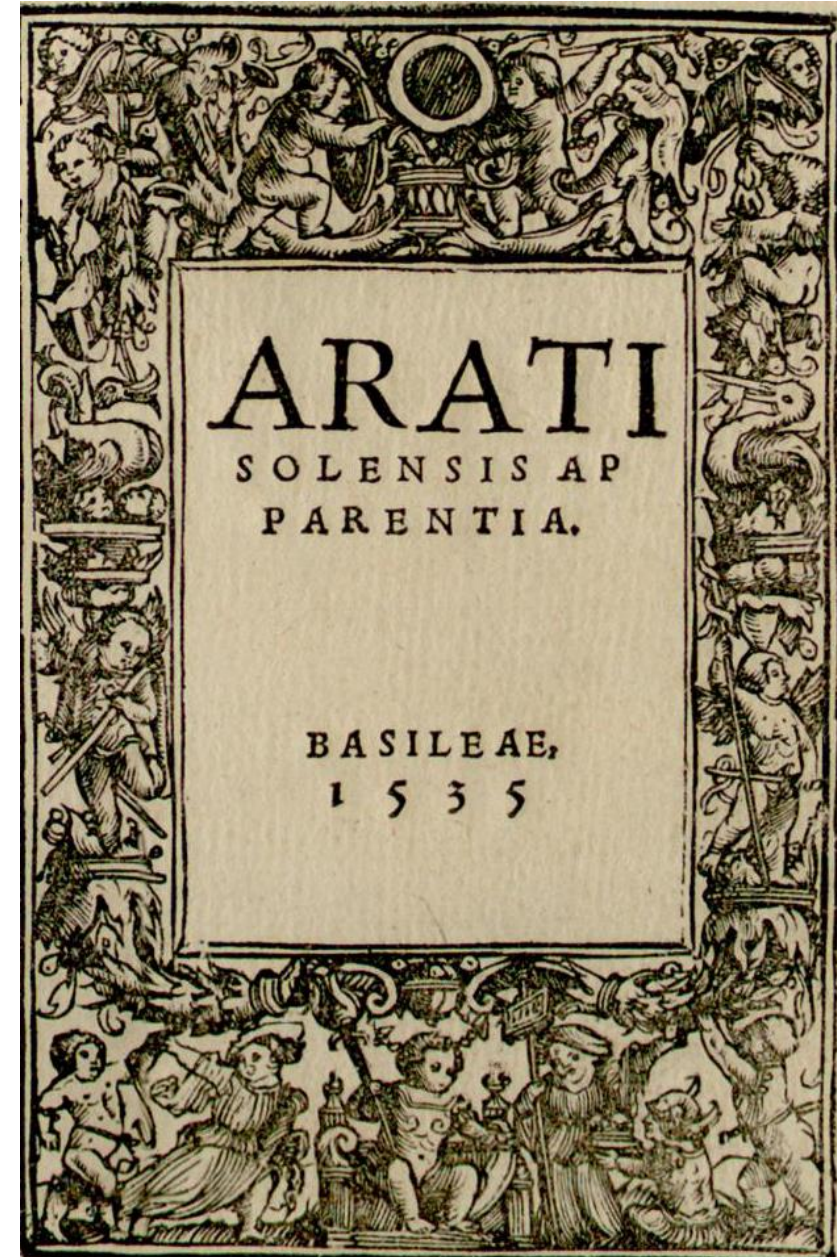


Arato y la musa de la
Astronomía



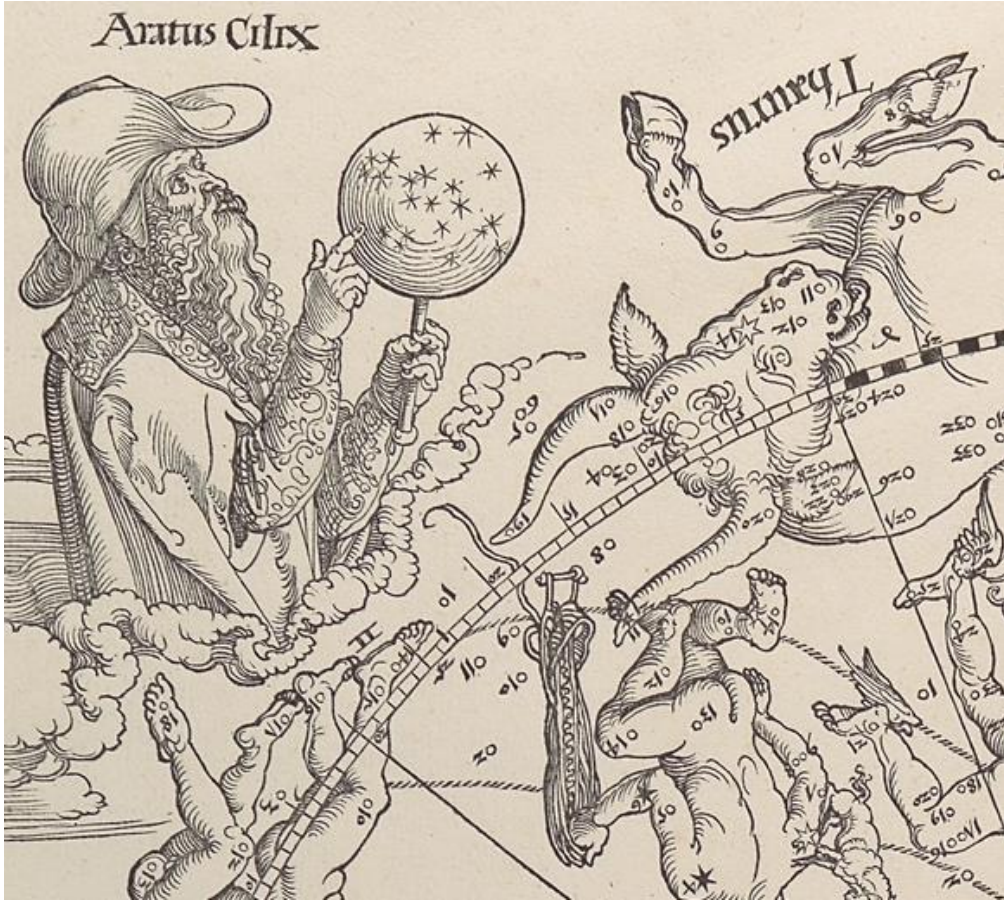
Aratus de Soli (c. 310 a.C. – 240)

Autor de *Phaenomena*, un poema astronómico en el que se describían las constelaciones y círculos de la esfera celeste, junto a otros signos terrestres, atmosféricos y celestiales capaces de predecir el tiempo. La geometría de dicha esfera era considerada en el poema, como una manifestación divina en el universo. Tanto el contenido astronómico, como el meteorológico de los *Phaenomena* se basó en las obras previas de Eudoxo de Cnido y de Teofrasto de Ereso. La importancia concedida a la obra de Aratus se evidencia en todas las ocasiones en que fue reproducida su figura junto a las cartas celestes.



Planisferio septentrional de A. Durero

The Phainomena or heavenly Display of Aratus. Robert Brown.1885



La inclusión de Aratus en el planisferio celeste de A.Durero prueba su clara conexión con la transmisión y difusión del conocimiento astronómico. Su imagen, con un globo celeste, presidiendo un cielo antropomórfico, zoomórfico y con figuras inanimadas muestra como su poema fue una especie de vademécum para facilitar la observación y reconocimiento de los fenómenos celestes; claramente favorecida por las numerosas versiones de su obra en el periodo grecorromano, en la Edad Media y en el Renacimiento.

Aristarco de Samos (c. 310 a. C.- c. 230)

Aunque los griegos le llamasen Aristarco el matemático, pasó a la posteridad por atribuírsele la propuesta de un modelo heliocéntrico para el universo; en la que siglos después se apoyaría N. Copérnico para postular el suyo. Arquímedes fue quien dio la primera referencia al respecto: según Aristarco las estrellas fijas y el Sol permanecen inmóviles, mientras que la Tierra gira alrededor de él siguiendo una órbita circular. El Sol ocupa en centro de la órbita y la esfera de estrellas fijas estaría situada alrededor del mismo centro.

Aristarco. M. Louvre



Recuerdo postal del modelo heliocéntrico de Aristarco

Filón de Bizancio (c.280 a.C. – c. 220) escribió una obra sobre los trabajos astronómicos de Aristarco, en relación con las distancias relativas entre el Sol, la Tierra y la Luna, así como con los tamaños de los tres cuerpos. la obra fue traducida al francés por el marqués Fortia d'Urban, en 1810, con el título *Histoire d'Aristarque de Samos*.

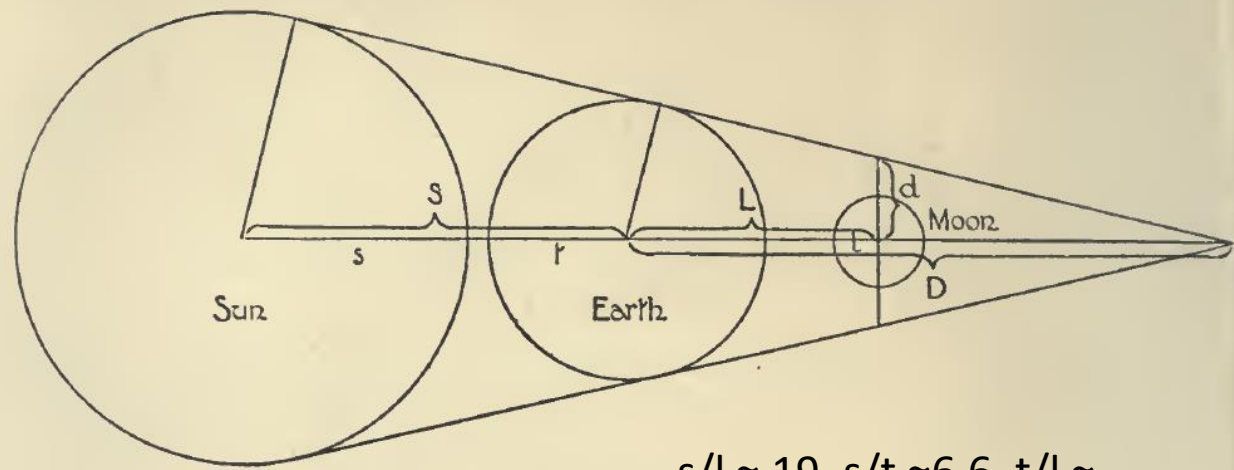
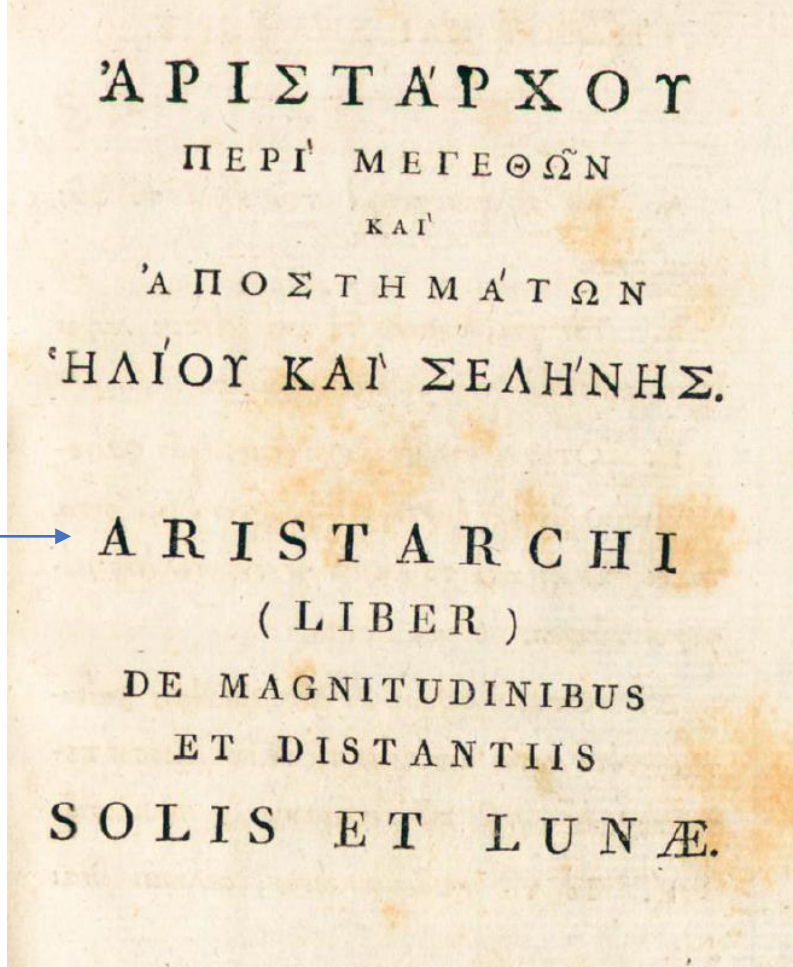
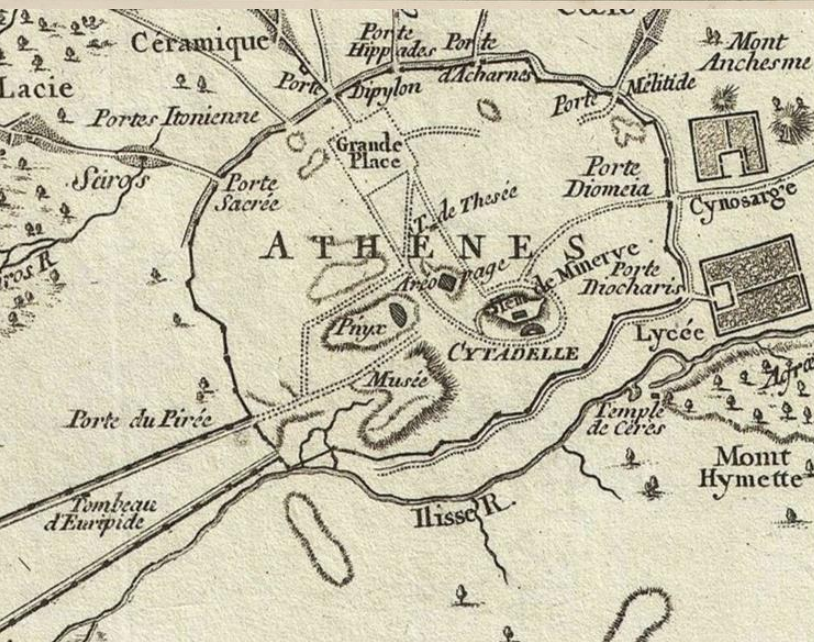
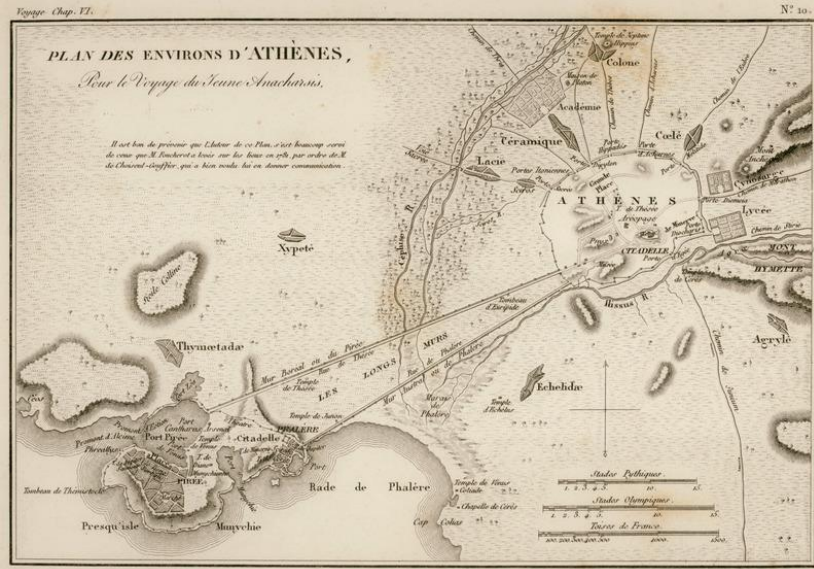


Fig. 14. $s/l \approx 19$, $s/t \approx 6.6$, $t/l \approx 2.85$

Let S be the radius of the sun's orbit,
 L moon's orbit,
 s the radius of the sun,
 l moon,
 t earth,
 D the distance from the centre of the earth to the vertex of the cone of the earth's shadow,
and d the radius of the earth's shadow at the distance of the moon.

En el único trabajo que se conserva de Aristarco se aborda la cuestión de los tamaños y distancias del Sol y la Luna, apoyándose simplemente en la observación de ambos astros; concluyendo que el Sol estaba unas 20 veces más lejos de la Tierra que la Luna, y que su tamaño era también 20 veces mayor que el de la Luna. Ambas estimaciones fueron demasiado pequeñas, pero el error se debió más al instrumental inadecuado que a la base matemática del razonamiento; basado en la semejanza de triángulos que se forman al considerar un cono tangente a la Tierra y al Sol, en el instante en que la Luna estaba supuestamente iluminada a la mitad. De esa forma se obtendrían las relaciones: $s/l \approx 19$, $s/t \approx 6.6$, $t/l \approx 2.85$





Jean-Denis Barbié du Bocage (1785): *Plan des environs d'Athènes, pour le voyage du jeune Anacharsis*. Se ha ampliado el núcleo urbano para localizar mejor el Liceo.

Aristóteles (384 a. C.- 322)

Fue autor de un sistema filosófico y científico que acabó por convertirse en soporte y vehículo del pensamiento escolástico, tanto cristiano como islámico: hasta finales del siglo XVII, la cultura occidental era aristotélica. Con 17 años ingresó en la Academia de Platón, permaneciendo en ella durante veinte años. Una vez dejada la academia se trasladó a la corte de Macedonia, pues conocía al rey Filipo; parece ser que en realidad no fue tutor de Alejandro magno y que el rey creía que podría ser un buen director de la Academia ateniense.

La Sabiduría entrega a Aristóteles la llave del entendimiento, que distingue al hombre de las bestias (≈ 1690) →

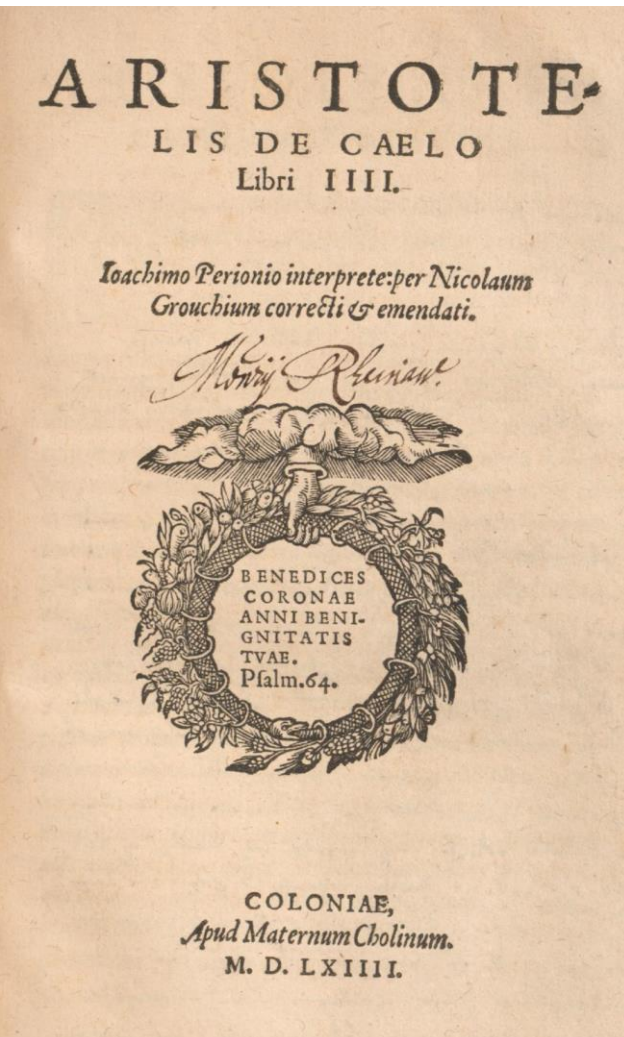


En el año 335 a.C. fundó el Liceo de Atenas, llevando a él la documentación que había ido recopilando en Macedonia: libros, mapas y otros materiales didácticos. Allí se consagró al estudio detallado de la naturaleza, considerando siempre que la enseñanza era una manifestación más del conocimiento. Las materias en que centró su atención fueron múltiples: lógica, física, astronomía, meteorología, zoología, metafísica, teología, psicología, política, economía, ética, retórica y poética; procurando actualizar permanentemente sus escritos. La mayoría de sus aportaciones en tales disciplinas fueron novedosas y sistemáticas.

De Caelo

En sus cuatro libros explica que el universo se compone, en última instancia de diferentes combinaciones de los cuatro elementos fundamentales: tierra, agua, aire y fuego. Cada elemento se caracteriza por la posesión de dos de las cuatro cualidades elementales: calor, frío, humedad y sequedad: la tierra es fría y seca, el agua es fría y húmeda, el aire es caliente y húmedo, y el fuego es caliente y seco. Cada elemento tiene un lugar natural en un cosmos ordenado, y cada uno tiene una tendencia innata a moverse hacia ese lugar natural. Así, los sólidos terrestres caen naturalmente, mientras que el fuego, a menos que se lo impida, se eleva cada vez más.

En su visión del cosmos, influenciada por la de Platón, la Tierra ocupa la posición central y a su alrededor giran la Luna, el Sol y los demás planetas en una sucesión de esferas cristalinas concéntricas. Los cuerpos celestes no están compuestos de los cuatro elementos anteriores, sino que están constituidos por un quinto elemento superior, o “quintaesencia”, el éter. Además, los cuerpos celestes tienen almas, una especie de motor sobrenatural, que los guían en sus viajes por el universo

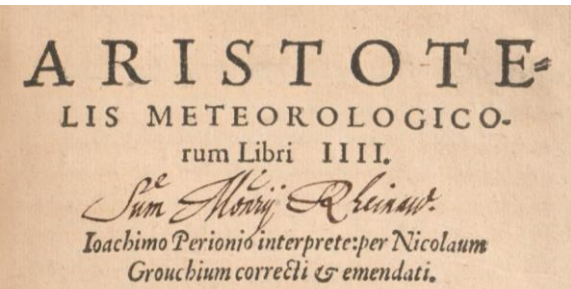


Meteorologica o Meteora

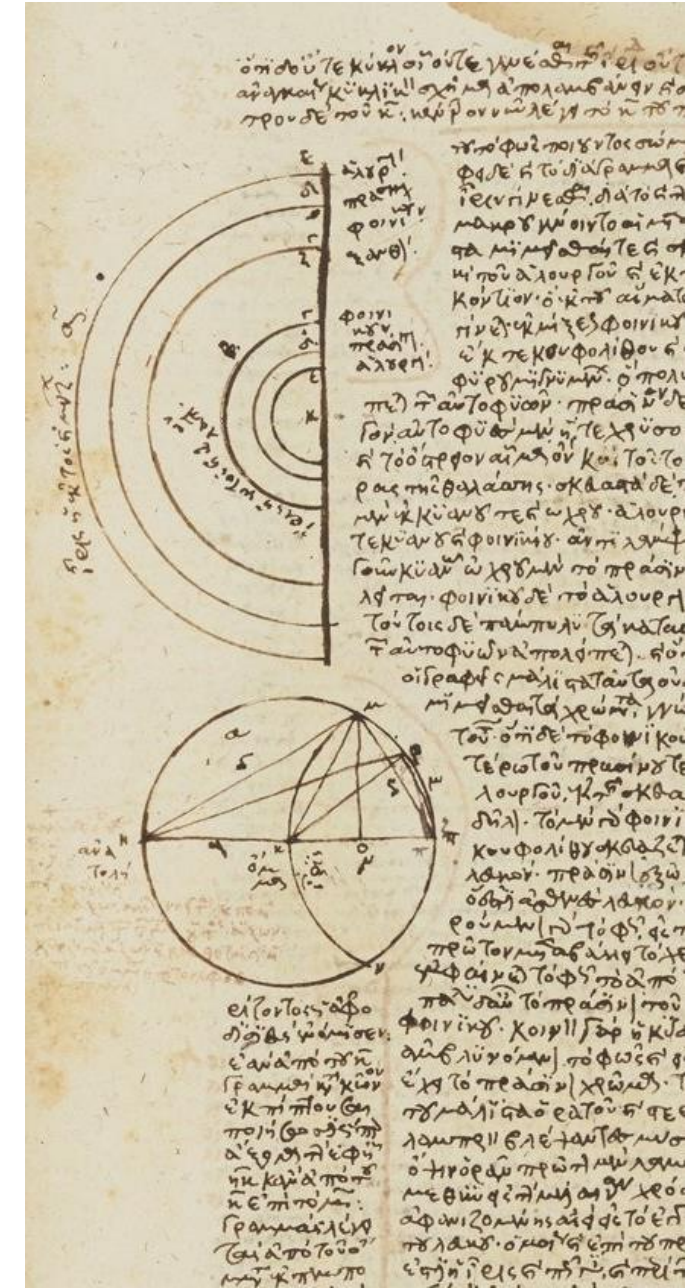


Esta obra, compuesta por cuatro libros, fue escrita en torno al año 340 a.C. El contenido de los tres primeros es esencialmente meteorológico, mientras que el del cuarto se centró en la química. No obstante, en el primero se trataron cuestiones astronómicas como la naturaleza y causa de los cometas, o la vía láctea; en el segundo, dedicado a los vientos, abordó el estudio de los terremotos en sus capítulos 7º y 8º. En el tercero ocupó lugar destacado sus comentarios sobre el arco iris.

La obra propone dos teorías principales. En primer lugar, la forma esférica del universo, explicando los movimientos de los planetas y las estrellas por medio de un sistema de esferas concéntricas, cuyos movimientos combinados producían los desplazamientos aparentes de los astros. El universo lo dividió en dos regiones, la sideral, o supralunar, localizada más allá de la Luna y la terrestre, o sublunar, estableciendo de ese modo una separación nítida ente la astronomía y la meteorología. La segunda teoría fue la de los cuatro elementos, dispuestos en capas esféricas con la tierra en el centro común a todas ellas.



COLONIAE,
Apud Maternum Cholinum,
M. D. LXIII.



Las primeras críticas

En 1377, Nicole Oresme presentó su *Livre du ciel et du monde*, la versión francesa del *De caelo* de Aristóteles, acompañada de un comentario crítico. Oresme describe las esferas sólidas movidas por los ángeles, los epiciclos esféricos destinados a "salvar los fenómenos", las montañas de la Luna, la música de las esferas inaudible para los oídos humanos, el espacio infinito, la morada de Dios más allá del cielo de los arreglado... Imaginó también la rotación diurna de la Tierra, y un lento movimiento anual de la esfera de las fijas. En la imagen de la derecha se observa que los círculos celestiales están centrados en Dios y no en la Tierra... Quizás quiso significar que la ciencia no debe explicar el mundo, sino sólo "salvar las apariencias": la verdadera naturaleza del mundo es inaccesible al entendimiento humano, todo está en el pensamiento de Dios. El aspecto material queda eclipsado por el aspecto espiritual, el religioso, considerado fundamental.



Espejo convexo en su mano derecha



Siracusa (2016)

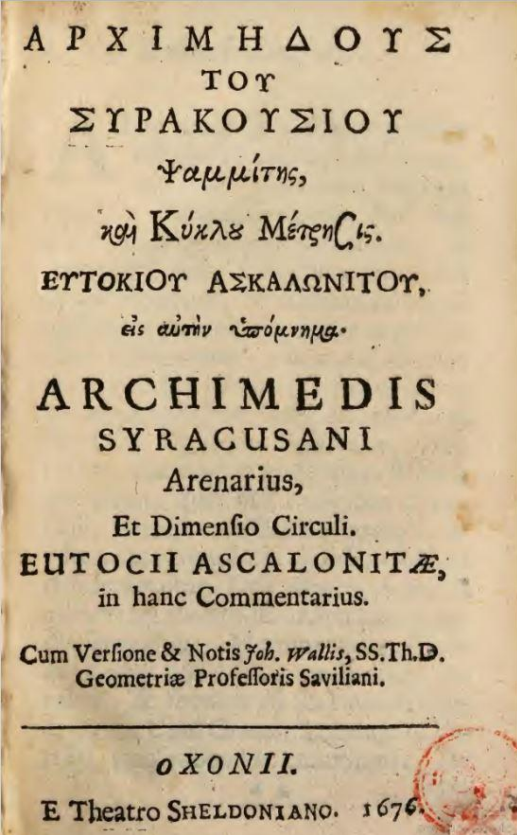
Arquímedes (c. 287 a.C. – c. 212)

El mayor matemático de la antigüedad, o la mente divina, son dos de los calificativos aplicables a este Sabio. El segundo le fue atribuido por Cicerón, el cual dio cuenta en varias ocasiones de la vocación instrumentista de Arquímedes; llegando incluso a describirlos. Según él, cuando el general Marcelo conquistó Siracusa se llevó a Roma dos de los instrumentos construidos por aquel, uno era una esfera sólida en la que estaban grabadas o pintadas las estrellas y constelaciones, la cual se expuso en el Templo de la Virtud. La segunda esfera, que Marcelo se guardó para sí mismo, era mucho más ingeniosa y original, era una especie de planetario: un modelo mecánico que mostraba los movimientos del Sol, la Luna y los planetas vistos desde la Tierra.

Aunque no se conserve algún rastro físico del planetario de Arquímedes, referido por Cicerón como un artilugio de bronce, bien podría haber sido parecido al que construyó J. Rowley a mediados del siglo XVIII. En ese planetario, el Sol, la Luna y los planetas giran a por encima de una superficie plana, impulsados por un engranaje oculto bajo la misma. Las tiras circulares que envuelven a la superficie representan el ecuador celeste, el círculo polar ártico, un horizonte móvil y la eclíptica marcada con los signos zodiacales.

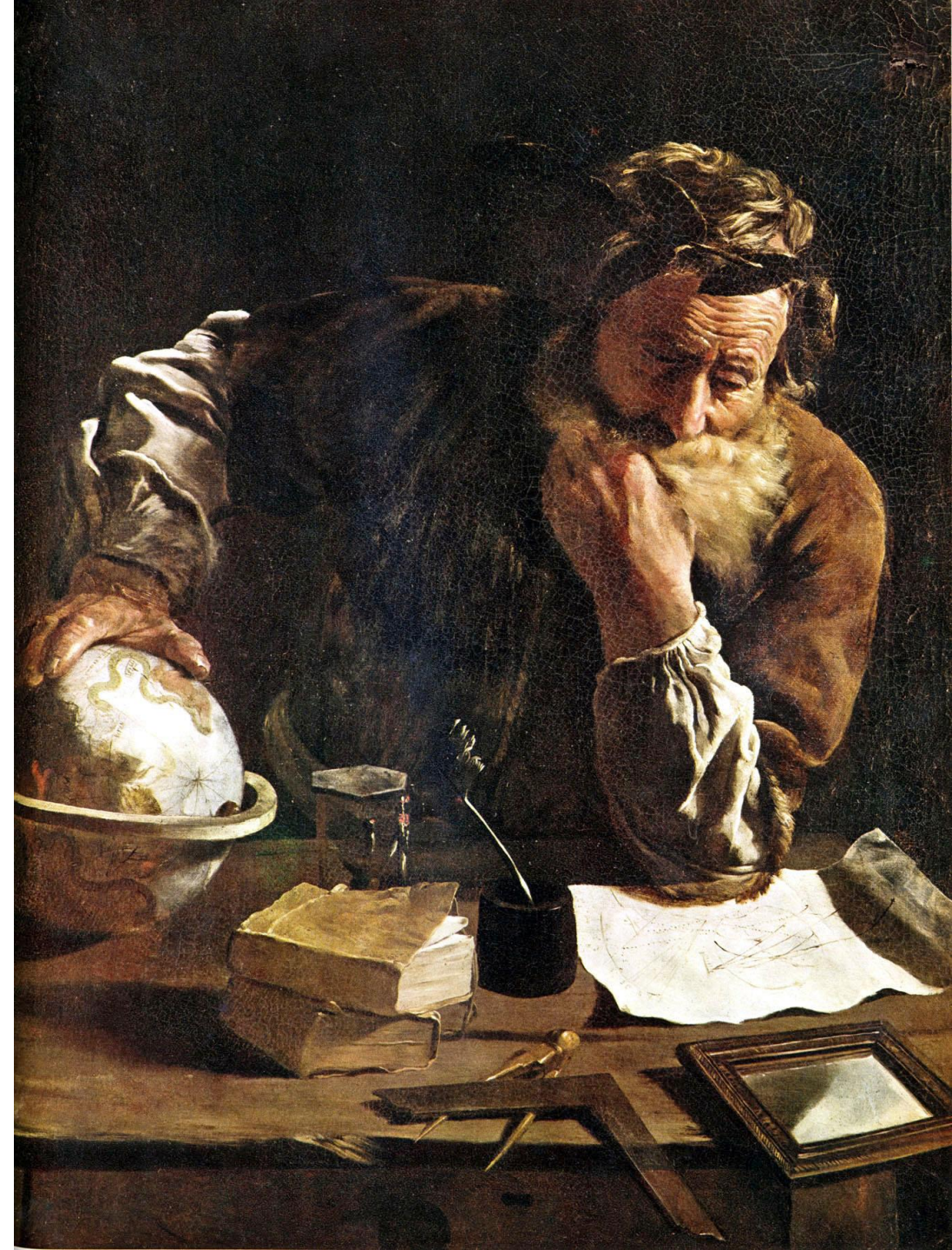


The GRAND ORRERY as it was first Made by M^r Rowley.

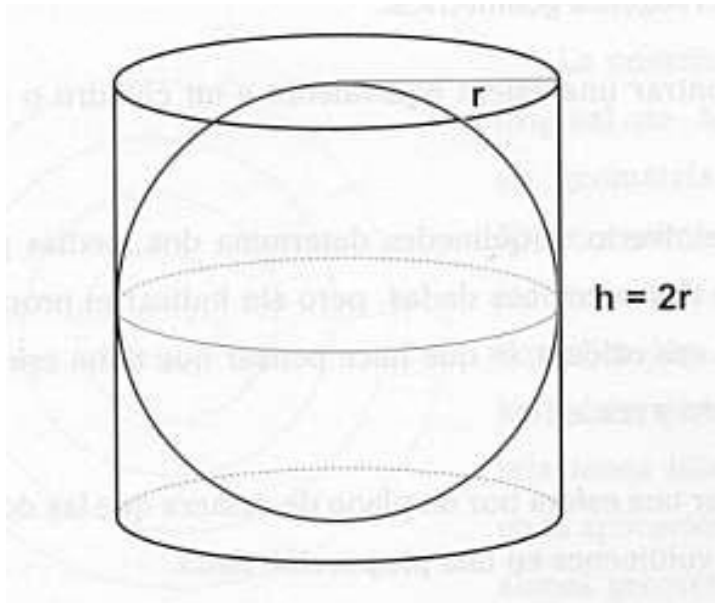


Archimedis Syracusani Arenarius et Dimensio Circuli, es quizás la primera comunicación científica más remota. La información se le proporcionó Arquímedes a Gelón II Rey de Siracusa, concretándose en ella las dimensiones del universo. Tras referirse al incontable número de granos de arena de todo el mundo habitado o no, trató de explicar como podrían deducirse las dimensiones del universo a través de la geometría. Aunque en principio se supone que el universo coincide con la esfera centrada en la Tierra y cuyo radio es igual a la distancia entre el centro de esta y el del Sol; según Aristarco de Samos el universo es mucho mayor, ya que de acuerdo con él las estrellas fijas y el Sol permanecen inmóviles, girando la Tierra alrededor de este.

La concreción de las dimensiones se apoyaba en el supuesto de que el perímetro de la Tierra era de 3000000 estadios, « diez veces el tamaño que mis predecesores pensaron». Por otro lado, El diámetro de la Tierra es mayor que el diámetro de la Luna, y el diámetro del Sol es mayor que el diámetro de la Tierra; « En esta suposición, sigo a la mayoría de los astrónomos anteriores». Acto seguido corrigió a su propio padre, el astrónomo Fidias, al fijar el diámetro del Sol en unas 30 veces el diámetro de la Luna. Finalmente concluyó que el diámetro del universo era de unos 10^{14} estadios (en unidades modernas, unos 2 años luz), y que, por lo tanto, no requeriría más de 10^{63} granos de arena para llenarlo.



LA ESFERA Y EL CILINDRO DE ARQUÍMEDES



Área total del cilindro (S_c) = $6\pi r^2$

Área de la esfera (S_e) = $4\pi r^2$

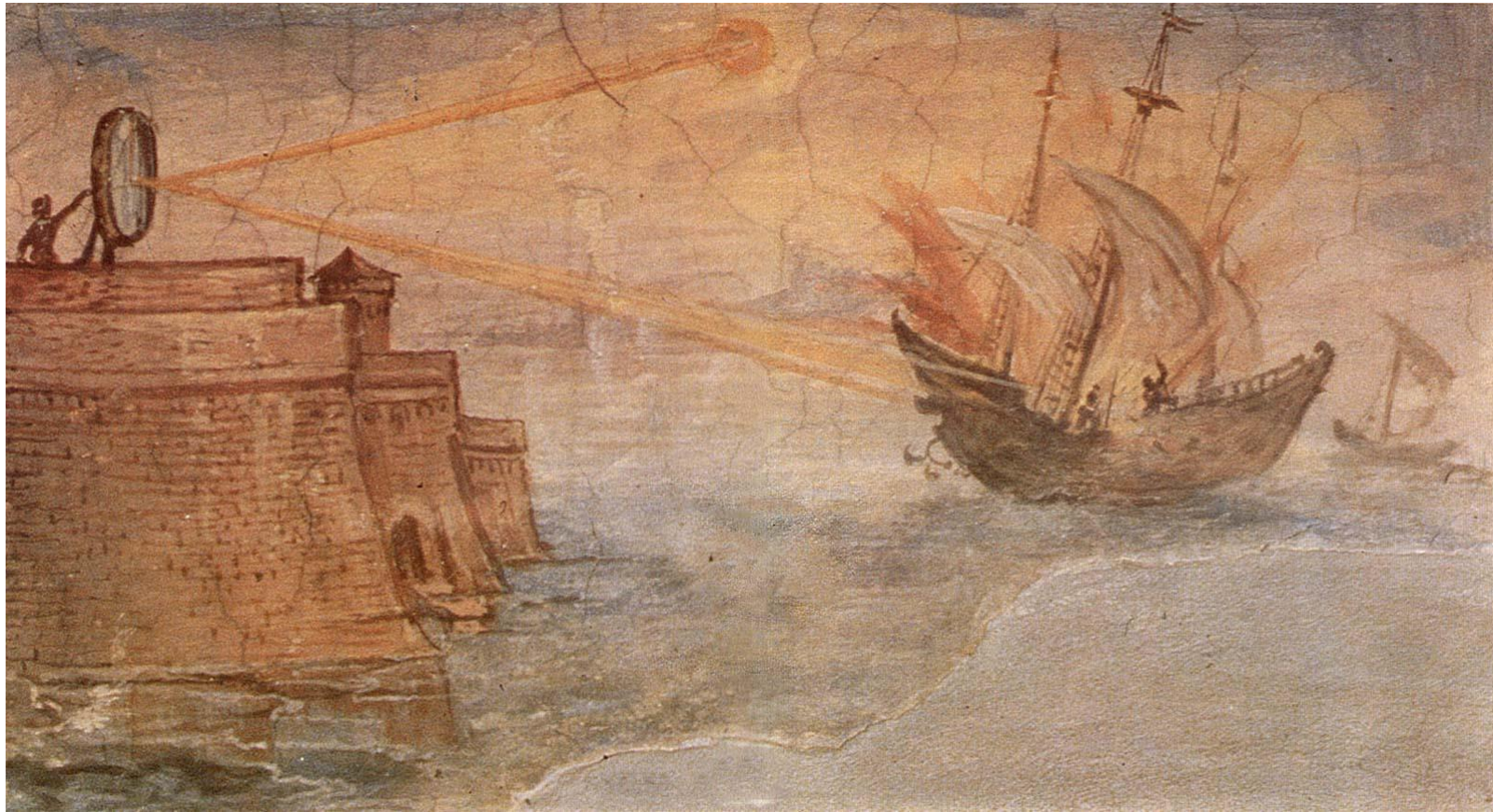
Volumen del cilindro (V_c) = $2\pi r^3$

Volumen de la esfera (V_e) = $(4/3)\pi r^3$

$$\mathbf{V_e / V_c = S_e / S_c = 2/3}$$

Parece ser que Arquímedes quiso que se grabase sobre su tumba tal relación. Cuando Cicerón la visitó, estaba, completamente rodeada y oculta por arbustos de zarzas y espinos; más tarde recordó haber oído hablar de unos sencillos versos que habían sido inscritos en ella, refiriéndose a una esfera y un cilindro modelados en piedra sobre dicha tumba.

Aunque Plutarco hiciera referencia a los inventos de Arquímedes que usó como armas de guerra contra el asedio de los romanos, no hizo referencia alguna al Espejo Ustorio; de ahí que el supuesto incendio de la flota romana sea probablemente fruto de la leyenda, a pesar de que fuese defendida su veracidad por autores tan reputados como el jesuita A. Kircher. La imagen que se presenta es un fresco de Giulio Parigi (1571-1635), pintado en el gabinete de Matemáticas (Galería de los Uffizi, en Florencia)



Averroes (1126-1198)

El nombre latino de Averroes proviene de ibn Roschd , una vez transformado ibn en Aben o Aven por el hebreo). Nunca olvidó su Córdoba natal, como prueban sus referencias en las traducciones que hizo de la República de Platón y del Cielo de Aristóteles Al final de su resumen del Almagesto, reconocía que solo se había limitado a los teoremas más importantes; comparándose al hombre que al huir del fuego solo lleva consigo las cosas más necesarias.



Averroes junto al esquema del universo aristotélico



Aparte de sus comentarios a las obras de los filósofos griegos, escribió numerosos opúsculos; entre los astronómicos sobresale el ya citado sobre el Almagesto de Tolomeo, otro sobre el movimiento de la esfera celeste, y un tercero acerca de la apariencia del cielo de las estrellas fijas. A ese respecto, ha de subrayarse su intención, anunciada en el segundo libro de su extenso comentario al Cielo de Aristóteles, de escribir una obra sobre la astronomía en la época del sabio griego, con el fin de refutar la teoría de los epiciclos y de las excéntricas, y hacer coincidir la astronomía con la física aristotélica.

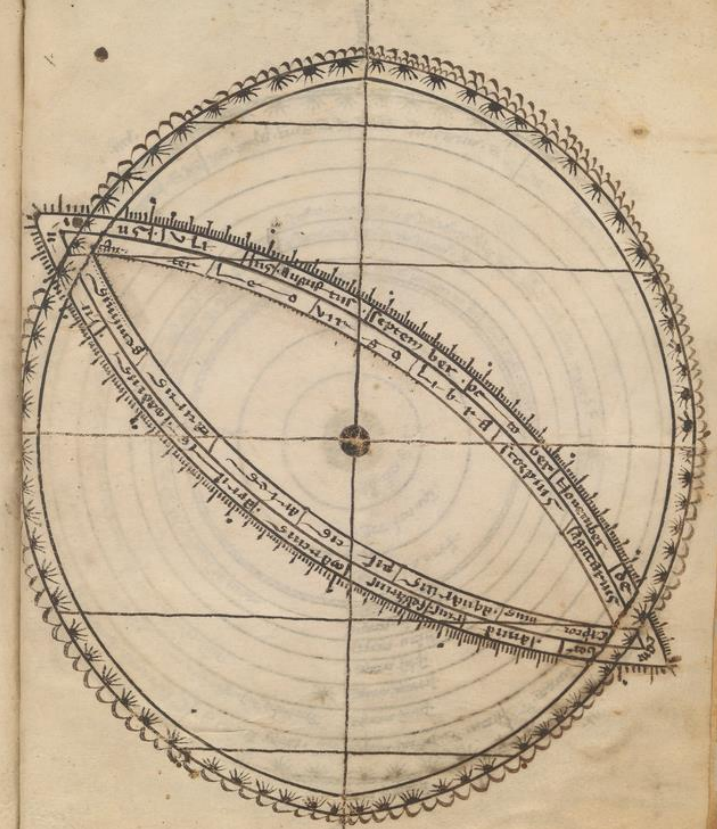
El cielo era, a los ojos de Ibn-Roschd, un ser vivo esencial para la vida, compuesto por varios orbes que representan las extremidades, y en el que el primer motor representa el corazón, del que irradia vida para los demás miembros. Cada orbe tiene su inteligencia que es su forma, como el alma racional es la forma del hombre; estas mentes, subordinados jerárquicamente, constituyen la cadena de motores, que propagan el movimiento de la primera esfera para nosotros.



Grabado de Domenico Cunego (1785). Escuela de Atenas

Al- Zarqali (c.1029-1087)

Azarquiel, como era conocido en Occidente, dirigió en Toledo a un equipo de astrónomos que recopiló, después del año 1068, el saber astronómico en un valioso documento: las Tablas toledanas. Este trabajo, que representa la primera aportación original de la astronomía en al-Andalus, fue extremadamente influyente en Europa durante tres siglos, hasta que fueron actualizadas por las Tablas Alfonsinas. La versión más antigua de las Tablas se inspiró principalmente en el Sindhind de Khwârizmi, aunque también fueron influenciadas por los trabajos de al- Battani.



Canones Arzachelis. G. Cremonensis (1114-1187)



Diagrama circular para calcular la fecha de la Pascua y un detalle del listado (De proiectionibus radorum planetorum) en las Tablas Toledanas. British Library, Ms. Harley Ms. 3734

La versión árabe original de las Tablas toledanas se ha perdido, pero se han conservado dos versiones latinas, una de Gerardo de Cremona (siglo XII) y otra de autor desconocido. en ellas se proporcionaba información relativa a: cronología, astronomía esférica, movimientos planetarios, incluidos los del Sol y a Luna, latitudes de los planetas, eclipses y astrología.

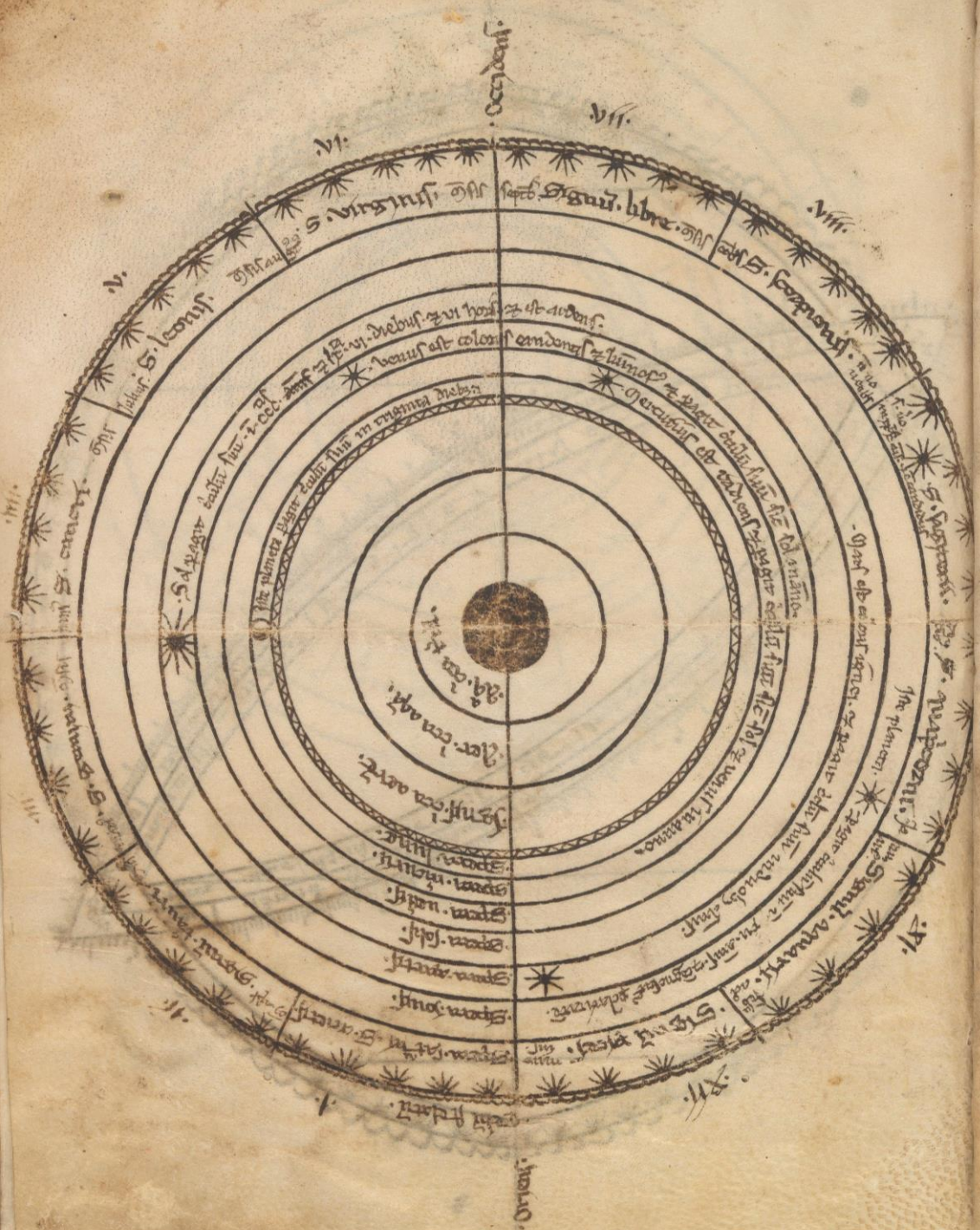
Tabule numeri				Equo cet		ppoz		logitudo		Equato ar		longitudo		Stato martis pa		
Sig	grad	Sig	grad	gd	mit	mit	grad	mit	gd	mit	gd	mit	Sig	grad	mit	
2	1	9	20	9	31	29	1	29	23	24	1	22	4	10	21	
2	3	9	21	9	33	28	1	32	25	18	1	26	4	10	35	
2	4	9	22	9	35	26	1	34	26	20	1	28	4	10	40	
2	6	9	24	10	44	24	1	36	24	1	40	3	4	10	46	
2	8	9	25	10	40	22	1	38	24	22	1	44	4	11	28	
2	10	9	26	10	10	22	1	40	24	4	1	44	4	11	38	
2	12	9	27	10	14	21	1	42	26	26	1	49	4	11	50	
2	14	9	28	10	20	20	1	44	26	21	2	1	4	11	54	
2	16	9	29	10	24	19	1	46	21	8	2	3	4	11	58	
2	18	9	30	10	30	18	1	48	21	29	2	6	4	11	62	
2	20	9	31	10	36	16	1	50	24	41	2	8	4	11	66	

AZAFEA



Astrolabio universal del siglo XIII confeccionado de acuerdo con la doctrina de Azarquiel. Procede del norte de África. Las estrellas de la araña se fijan a través de sus coordenadas eclípticas: latitud y longitud. *Museum Science History*. Oxford.

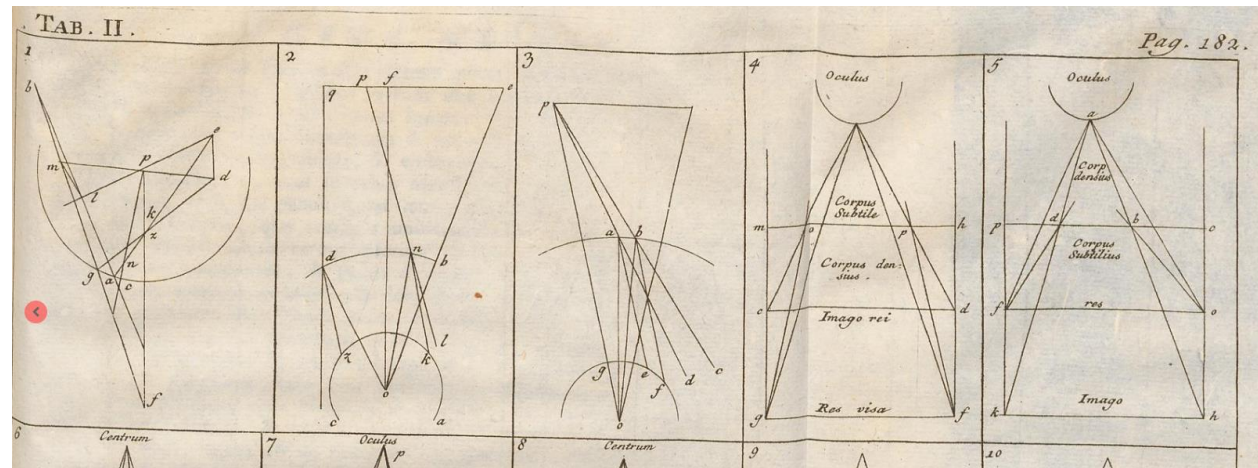
Otra de las contribuciones de Azarquiel fue el astrolabio universal, llamado así por ser independiente de la latitud del lugar. Tres fueron los tratados que escribió sobre el instrumento que había diseñado, uno de los cuales dedicó al gobernador de Toledo. La innovación principal consistió en introducir una placa con las coordenadas eclípticas. Tanto los meridianos como los paralelos eclípticos figuraban graduados a intervalos de cinco grados. Teniendo en cuenta el valor que tenía, en su época, la oblicuidad de la eclíptica, superpuso a la retícula de tales coordenadas la homóloga asociada a las ecuatoriales, graduando los paralelos celestes y los horarios con la misma equidistancia de cinco grados. Con semejante disposición se facilitó sobremanera la colocación de las estrellas elegidas. El nuevo instrumento fue conocido con el nombre de *al-Safihah al-Zarqalliyah*, atendiendo al de su inventor; aunque en Europa se eligiese el de *azafea*, o *saphea Azarchelis*.



Azarquiel, el mejor astrónomo español de todos los tiempos, fue un autor prolífico: al tratado en el que analizaba movimiento propio del apogeo solar, se unió el relativo al movimiento de las estrellas fijas, incluyendo la teoría de la trepidación; en su lámina de los siete planetas se reconoció, quizás por vez primera, que la órbita de Mercurio no era circular. Como estudio complementario al de su astrolabio universal escribió una especie de manual de la proyección estereográfica, que fue traducido en repetidas ocasiones a varias lenguas vernáculas. A fines del siglo XV, *la saphea Azarchelis*, como se la llamaba en latín, se integró en el plan de estudios de las universidades europeas. A mediados del siglo XVI, Gemma Frisius desarrolló su *astrolabium catholicum* análogo al del sabio toledano y extendió aún más la popularidad de este instrumento.

Roger Bacon (c.1214-1294)

La contribución científica más relevante de este fraile franciscano fue su *Opus Majus* (1267), una especie de tratado enciclopédico en el que se abordan cuestiones de matemáticas, óptica, alquimia y astronomía, incluidas las teorías sobre las posiciones y tamaños de los cuerpos celestes. Siete fueron las secciones en que se dividió, a saber: I) *Causae errores*, II) *Philosophiae cum Theologia Affinitas*, III) *De Utilitate Grammaticae*, IV) *Mathematicae in Physicis Utilitas*, V) *De Scientia Perspectivae*, VI) *De Scientia Experimentalis* y VII) *Moralis Philosophia*. Entre las novedades que incorporó al referirse a la astronomía, destacó un complemento geográfico iluminado con un mapa basado en las coordenadas geográficas proporcionadas por los eruditos árabes.



Ilustraciones en el capítulo de Óptica



R. Bacon alquimista.
Encima de la mesa se
aprecia lo que podría ser
un sector circular

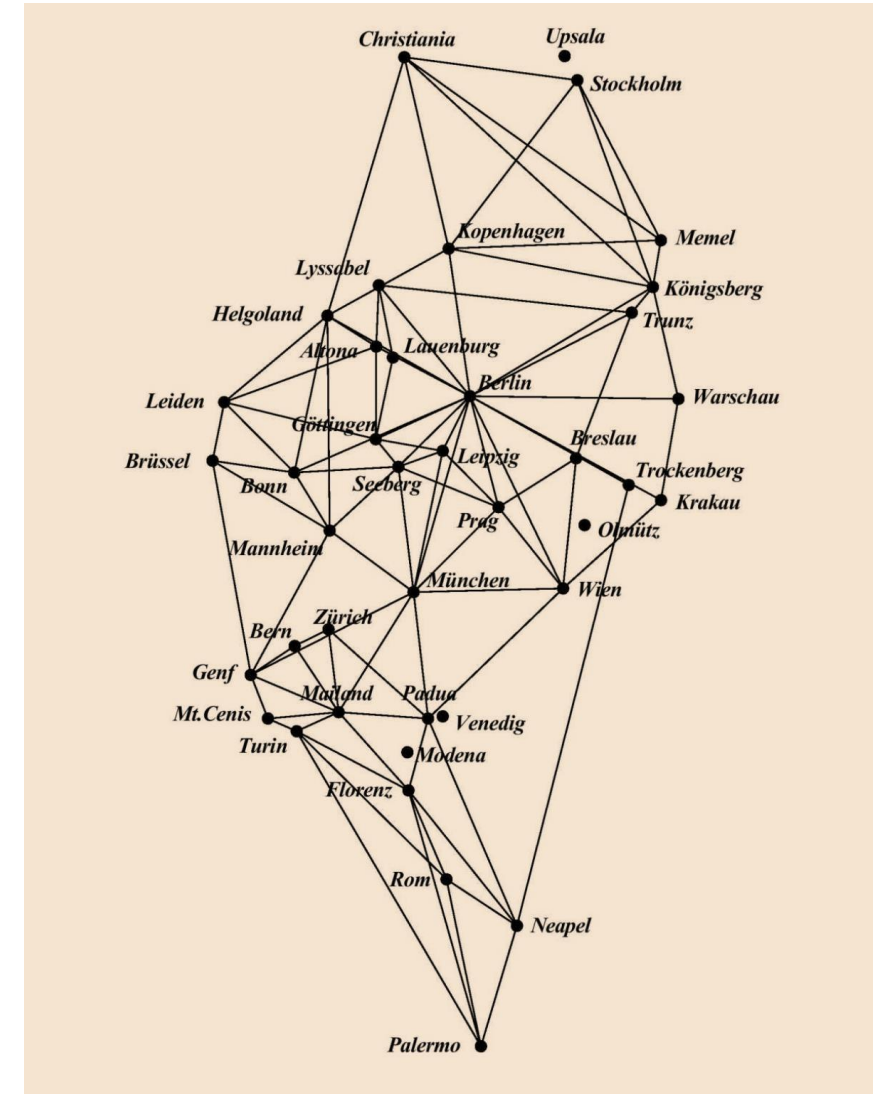
En la Parte IV del Opus Majus, Bacon criticó el calendario juliano, al que llegó a calificar de intolerable, horrible y ridículo, proponiendo incluso una reforma del mismo. Efectivamente, apoyándose en las premisas de Eudoxo y Sosigenes (un año de 365 días y $\frac{1}{4}$) dedujo que la Pascua se había adelantado 9 días desde el primer Concilio de Nicea (325). Su propuesta consistente en eliminar un día cada 125 años, dejando de observar los equinoccios y los solsticios, le fue presentada al papa Urbano VII sin que fuese respaldada por este; en cambio si lo hizo su sucesor Clemente IV, aunque tras su fallecimiento quedó en el olvido

Johann Jacob Baeyer (1794-1885)

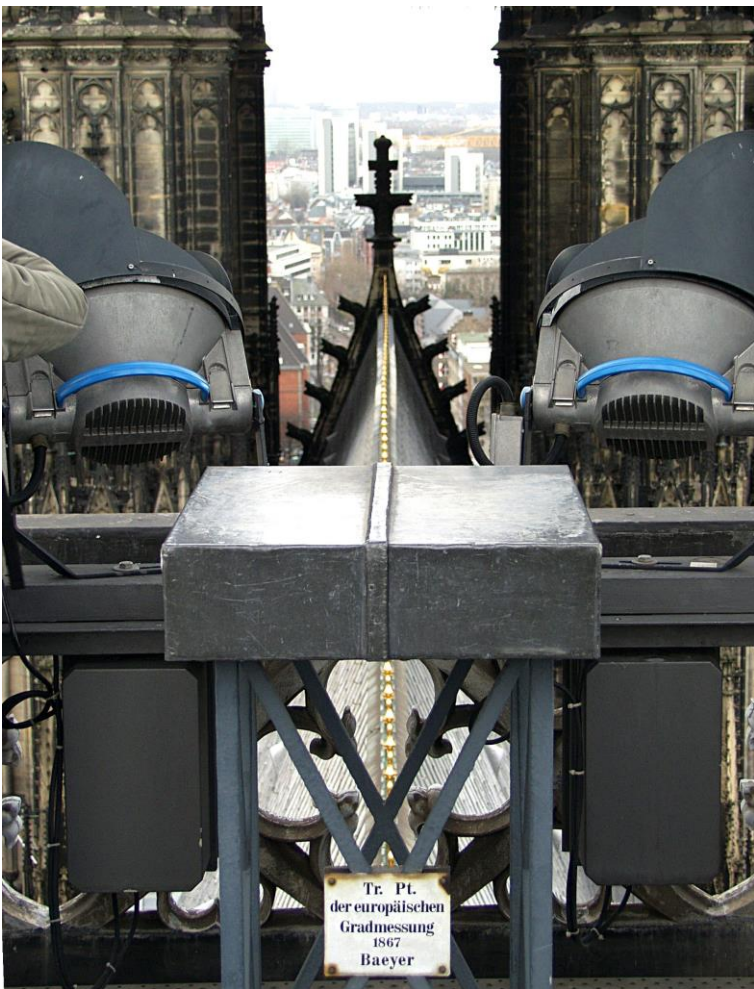


Primer Director del Real Instituto Geodésico de Prusia

Este general del ejército prusiano fue el fundador de la Asociación Geodésica Internacional, cuyo objetivo fundamental fue la medición de grados de meridiano y de paralelo, contribuyendo así al conocimiento de la figura de la Tierra. Tales mediciones se apoyaban en el establecimiento de cadenas triangulares sobre el terreno y en la evaluación de los tres ángulos de cada uno de sus triángulos. Suya fue la iniciativa de conformar una red geodésica europea con idéntico objetivo (*Gradmessungstriangulation*), encargándose cada país miembro de la observación de los triángulos localizados en su territorio.

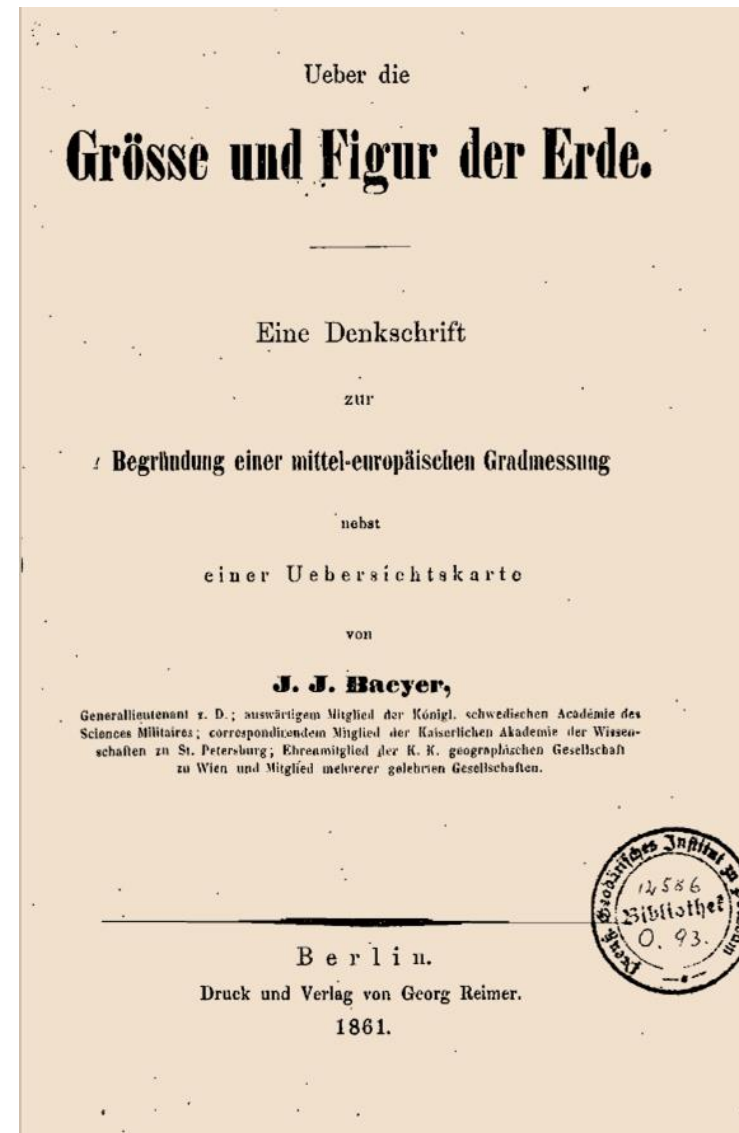


Red geodésica europea para la medición del grado, comprendida entre Upsala y Palermo



Vértice geodésico situado en la torre de la catedral de Colonia (*Gradmesung 1867 Baeyer*)

Entre sus múltiples contribuciones geodésicas, destaca la colaboración con F.W. Bessel en la medición del grado de Prusia Oriental y en el enlace entre la triangulación correspondiente y la asociada al gran arco ruso, que había dirigido F.G.W. Struve. Además de en las triangulaciones, cabe reseñar las diversas nivelaciones que efectuó, cuyas altitudes estaban ligadas al datum de referencia. Más destacada aún fue la publicación, en 1861, de su obra *Sobre el Tamaño y Forma de la Tierra* (*Grösse und Figur der Erde*); la cual fue dedicada a A. von Humboldt



Al- Battani (858-929)

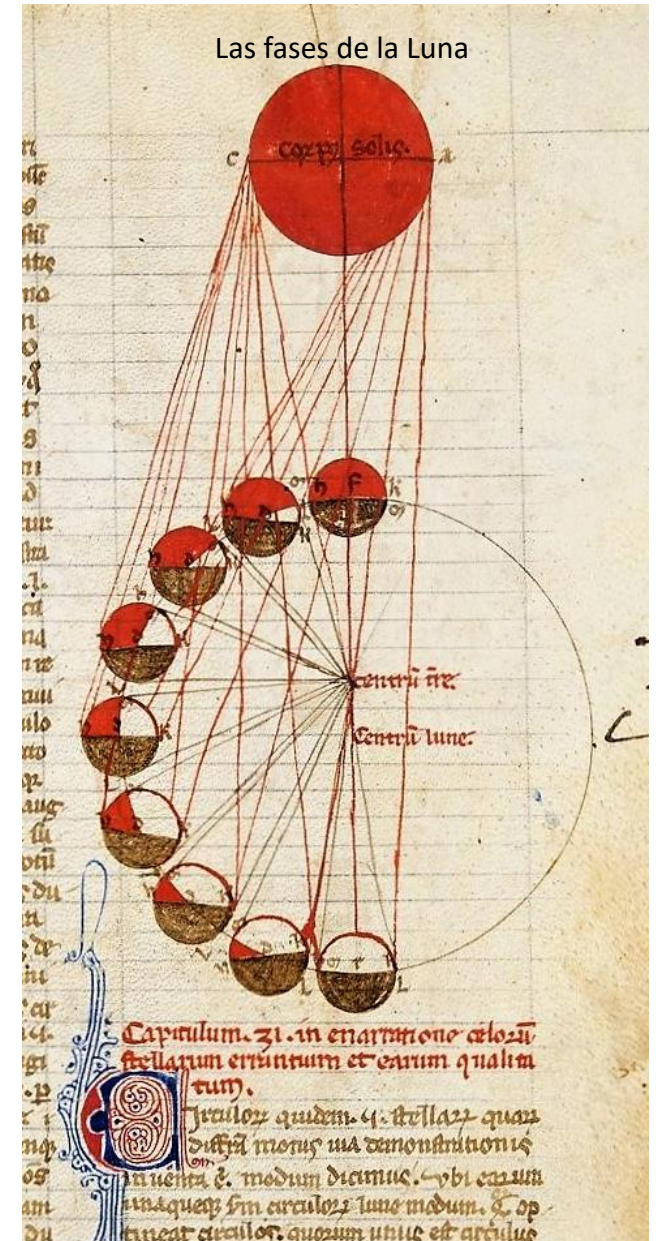
The British Museum

Albategnius hat die messz
Triangel winckel vnd all bases
Vast artig gwüßt verstanden wol
Der Astrology ist er gsyn vol.



S.XVI

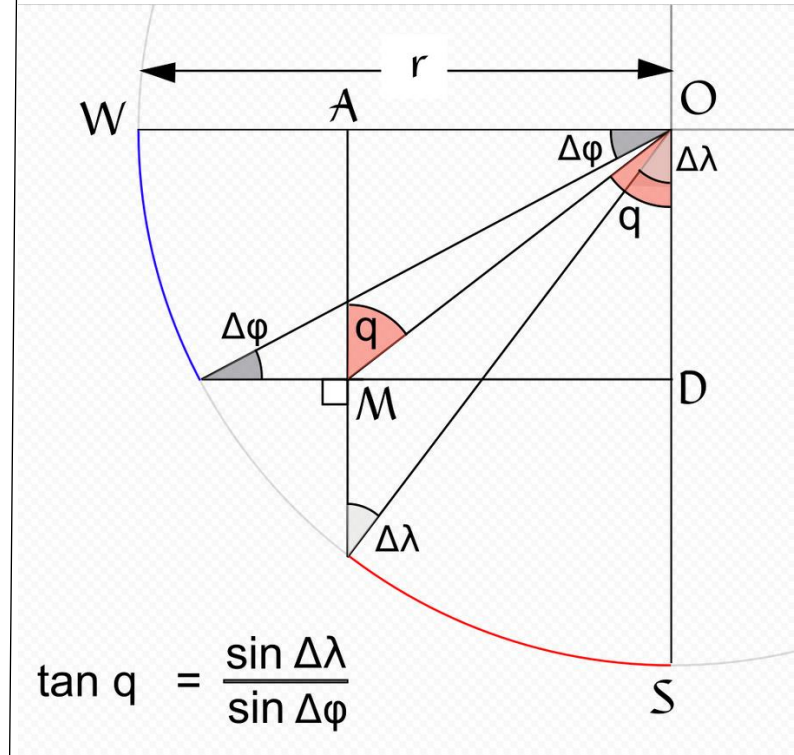
El Kitab al-Zij de Albatenius (como fue conocido en Occidente) es sin duda su obra más importante. Constó su tratado de 57 capítulos, comenzando con una descripción de la división de la esfera celeste mediante los signos del zodiaco y con la introducción de la graduación sexagesimal. A continuación, expuso los instrumentos matemáticos para su manejo: operaciones aritméticas y las funciones trigonométricas. En el capítulo cuarto se detallan las observaciones astronómicas efectuadas por el autor. En los siguientes capítulos, del quinto al vigésimo sexto, se abordan variados problemas astronómicos siguiendo la senda marcada por el Almagesto; la influencia de Tolomeo se dejó sentir también en los capítulos XXVII al XXXI, cuando explicó los movimientos del Sol, la Luna y los cinco planetas. El trabajo fue traducido al latín por Platón de Tívoli, como *De Scientia Stellarum*, en la primera mitad del siglo XII



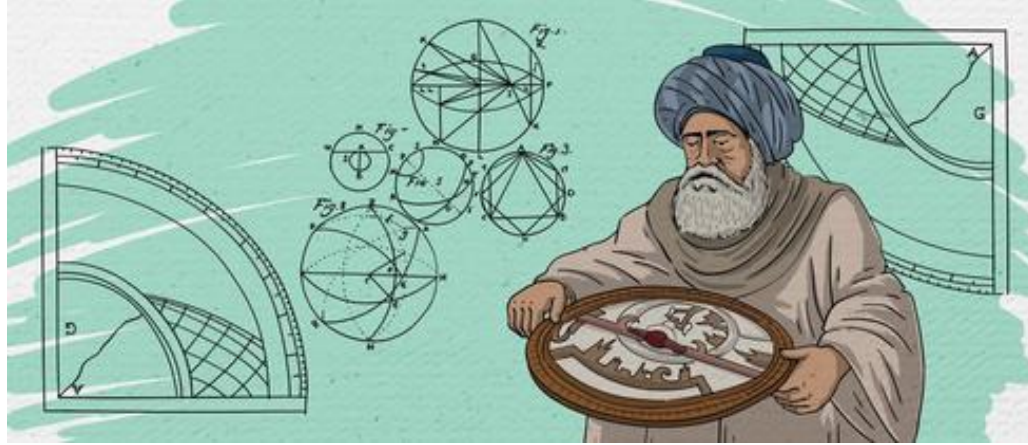
Latin 7266; folio 78r (BnF)



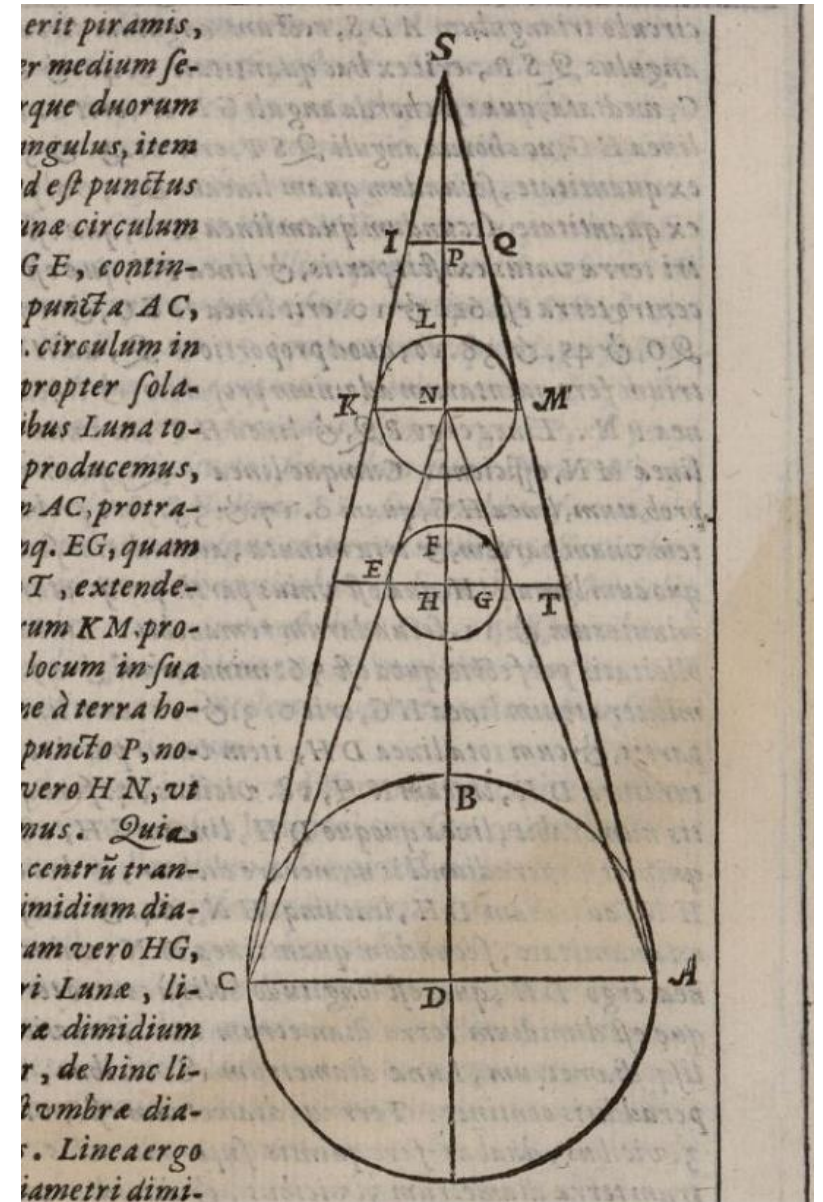
«Después de haberme aplicado largamente en el estudio de esta ciencia, he notado que los trabajos sobre los movimientos de los planetas diferían consistentemente entre sí, y que muchos autores cometieron errores en la manera de emprender su observación y establecer sus reglas... También noté que con el tiempo, la posición de los planetas cambiaba según observaciones recientes y más antiguas; cambios provocados por la oblicuidad de la eclíptica, afectando al cómputo de los años y al de los eclipses. El enfoque continuo en estas cosas me llevó a perfeccionar y confirmar tal ciencia».



Esquema usado por al-Battani para calcular el acimut de la Meca (M), desde el punto O; donde se supone situado al observador



Al-Battani fue un observador experimentado, a raíz de haber instalado en Raqqa su propio observatorio y haberlo utilizado entre los años 877 y 918. varios fueron los instrumentos matemáticos empleados: relojes de Sol (horizontales y verticales), un triquetrum, reglas paralácticas, astrolabio, esfera armilar y cuadrante mural con alidada. Fruto de sus investigaciones fue la comprobación de que la distancia del apogeo era variable, concluyendo que los eclipses anulares de Sol eran posibles. También determinó el valor de la oblicuidad de la eclíptica, fijándolo en $23^{\circ}35'$ y la latitud de su observatorio, $36^{\circ}1'$. Demostró que los parámetros del modelo lunar estaban de acuerdo con Ptolomeo y que la excentricidad de Venus era la misma que dedujeron los astrónomos al servicio del califa al Ma'mun.

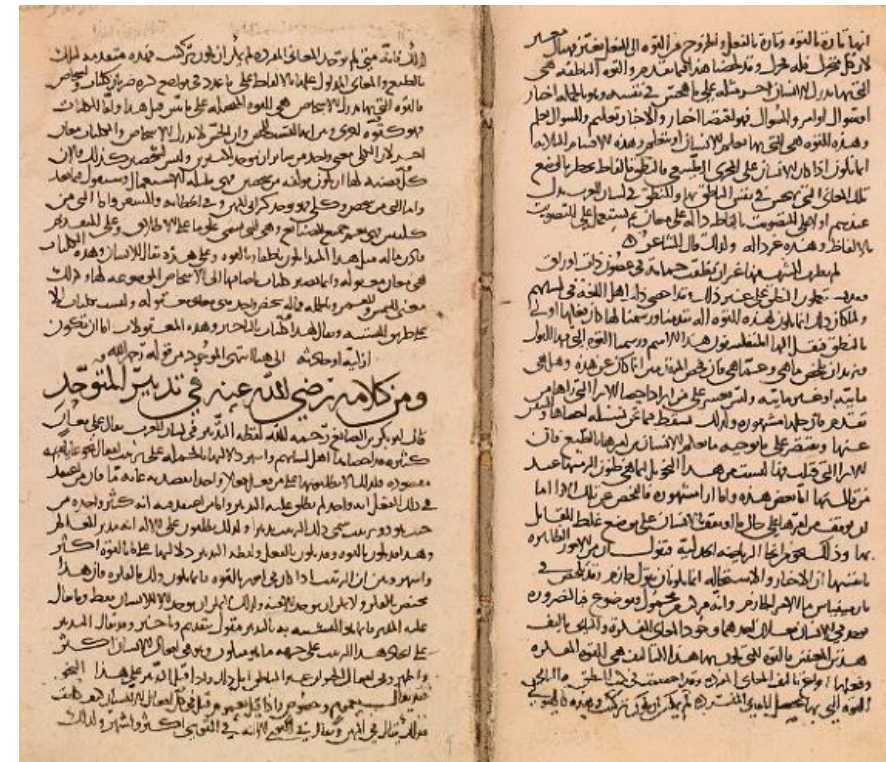


De Scientia stellarum: El sistema Sol, Tierra, Luna en la versión, corregida y aumentada por Regiomontanus (1645)

Ibn Bajjah (c.1080-1139)

Avempace, su nombre latinizado, fue el filósofo por excelencia de al-Andalus y uno de los primeros en dar a conocer los trabajos de Aristóteles en occidente; no obstante, se trataba de un verdadero polímata que sobre cuestiones astronómicas, físicas, médicas, musicales y poéticas. Es muy reveladora una anécdota, que al parecer tuvo lugar durante una de sus visitas a Granada:

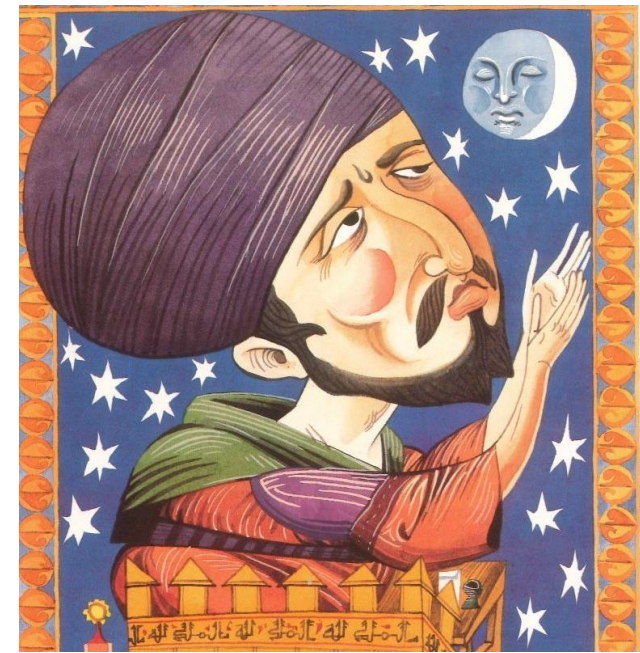
Entró cierto día en la aljama de Granada, en ocasión en que un maestro de gramática daba lección a varios muchachos. Los chicuelos comenzaron a mirarle, haciendo de él fisga y en tono de burla se pusieron a decir: «¿qué trae el faquí? ¿cuántas ciencias sabe? ¿qué dice, qué dice?». Sin inmutarse Avempace por tan inesperada acometida, se encará con los muchachos y les respondió: «traigo 12000 dinares. Aquí los llevo en el bolsillo». Y sacó doce jacintos de ese valor. «En cuanto a lo que sé, continuó, tened presente que la gramática que vosotros estudiáis es la menos importante de las doce ciencias que poseo». (Miguel Asín Palacios. El filósofo zaragozano Avempace)



Oxford Bodleian, Pockocke 206. Trata de la unión del alma con lo divino. Avempace (Ibn Bajjah)



El nombre de Avempace en el monumento a las tres culturas, levantado para conmemorar el décimo aniversario del Instituto Avempace de Zaragoza.



Entre las investigaciones astronómicas de Avempace, figura un modelo celeste en el que no tenía en cuenta los epiciclos, pero sí las esferas excéntricas; según él el movimiento de las estrellas y los planetas era uniforme y circular, acorde con la observación. Otra de sus aportaciones fue, a propósito de la Vía Láctea. Defendía que se trataba de un fenómeno que también tenía lugar en la región sublunar: siendo debida a la luz de muchas estrellas que casi se tocan entre sí, formando una imagen continua que es el resultado de la refracción; opinión que basaba en la conjunción de Júpiter y Marte que tuvo lugar en torno a los años 1106/7, siendo vista por él como una figura alargada. También pareció observar el tránsito solar de algún planeta, pues comentó haber observado dos planetas como puntos negros en la cara del Sol.



La Aljafería, palacio de los reyes taifas y almorávides saraqustíes. Allí se reunían los sabios musulmanes, Avempace entre ellos.

Beato de Liébana (c. 730 - c. 798)



El Beato de Liébana, con su pluma y su mente.
Bajorrelieve de Jesús Otero (1973). Monasterio de Santo Toribio de Liébana.

San Beato, como también ha sido referido, fue un monje benedictino que llegó a ser abad del Monasterio de san Martín de Turieno. Era un clérigo cultivado, muy versado en las sagradas escrituras, y celoso de la fe que profesaba, lo que le llevó a mantener un enfrentamiento con Elipando, arzobispo de Toledo y firme partidario de la doctrina adopcionista.

La controversia entre ambos alcanzó extremos insospechados: para Elizondo el Beato era un hereje, mientras que para este el arzobispo era la encarnación del anti Cristo, que anunciaba el fin del mundo para el año 800. Las dificultades impuestas por la difícil convivencia con los musulmanes, es posible que ejerciera sobre el Beato cierta influencia; manifestada con toda crudeza en los doce libros de sus célebres Comentarios al Apocalipsis de San Juan, escritos hacia el año 776.



Monasterio de Santo Toribio de Liébana (Cantabria).



Al no disponer de ejemplares anteriores al siglo X, no hay constancia de las ilustraciones originales usadas por el Beato, aunque las versiones de ese siglo emplean un estilo dramático y colorido muy adecuado a las visiones que ofrece Juan en el Apocalipsis (todas ellas se identifican generalmente con el nombre de Beatos). El mundo caótico de la Alta Edad Media naturalmente estaba lleno de contradicciones e inestabilidad, creando un ambiente apocalíptico en el que los ciudadanos meditaban constantemente sobre el fin del mundo y la venida de Cristo.

De las copias que conservan la versión del texto más cercana al original, se infiere que el Beato colocó las figuras directamente sobre la vitela, dentro de una de las dos columnas del texto. Las iluminaciones de los manuscritos de Beato son unas de las imágenes más estudiadas de la época medieval. Aunque los colores de los objetos y figuras representados choquen con las ideas modernas del naturalismo, son, no obstante, naturales para el espectador medieval. El color también denotaba grados de bien y mal, a través de escalas de luz y oscuridad que respondían al propio contenido de la obra.

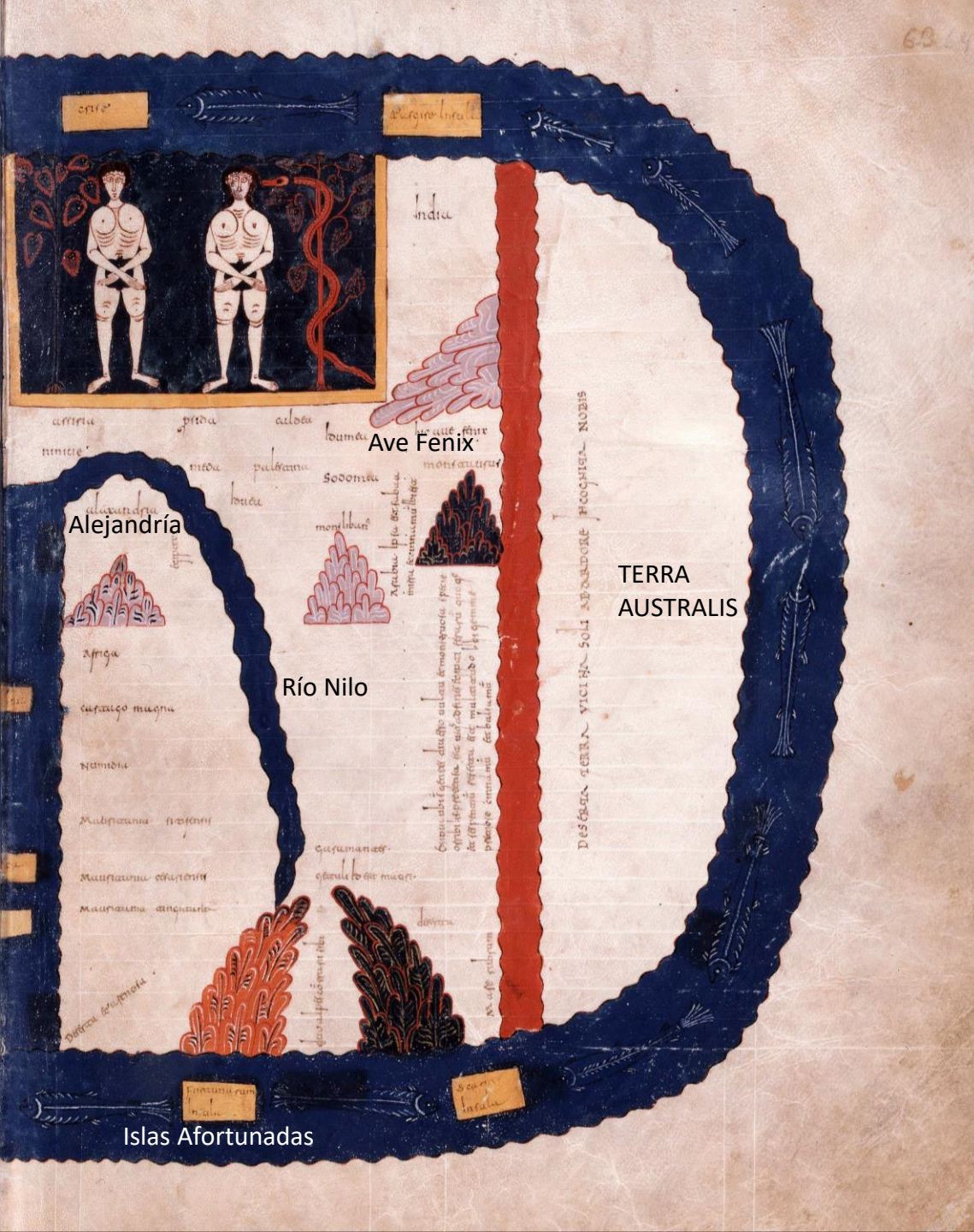




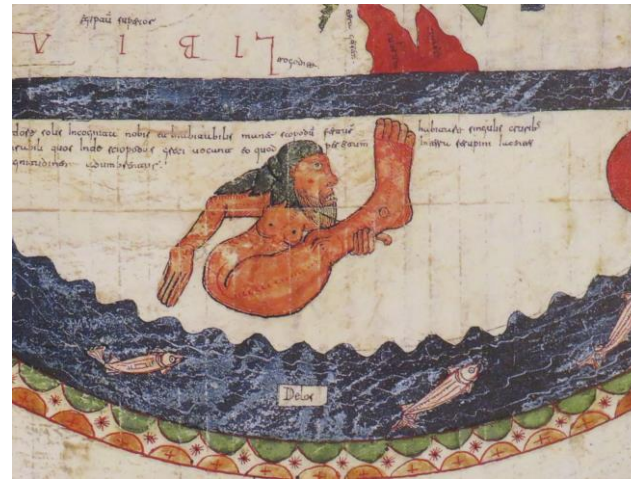
Los Comentarios continuaron apareciendo hasta el siglo XVI, conservándose más de 30 ejemplares. Una de sus ilustraciones más valiosas, desde el punto de vista cartográfico, es un mapamundi, influenciado por las representaciones previas de Orosio y de San Isidoro; e incluso por otra mucho más pretérita, el río amargo que rodea el célebre mapa babilónico del siglo VI a.C. El principal objetivo del mapa del Beato fue esencialmente religioso: ilustrar la diáspora de los Apóstoles. Una buena muestra de esa influencia religiosa es la orientación del conjunto, colocando el paraíso terrenal en el borde superior y simbolizándolo con las figuras de Adán y Eva. El mundo se representa sensiblemente rectangular y con las esquinas redondeadas, en el interior el océano; en el que se aprecian los tres continentes, entonces conocidos: Asia, África, y Europa; asociados a los tres hijos de Noé: Sem, Cam y Jafet. Los tres estaban separados por ríos y mares interiores: el mar Mediterráneo (Europa-África), el río Nilo (África-Asia), el Bósforo y el mar Egeo (Europa-Asia). En el centro del mundo se encuentra Jerusalén, el *omblicum mundi* de la teología medieval.



Detalle del mapa del Beato del Rey Fernando I de León, manuscrito iluminado del siglo XI, el cual estuvo custodiado en la Basílica de San Isidoro de León, antes de ser trasladado a la Biblioteca Nacional de España. Salvo accidentes naturales, como montes o cordilleras, mares, ríos u océanos, los únicos elementos figurativos son los peces, apenas destacados por sus siluetas blancas sobre el fondo azul general. La densidad toponímica es mayor en la Península Ibérica que en otros lugares, figurando por ejemplo los Montes Pirineos, Tarragona, Galicia, Asturias y Lisboa; además varias islas del Mediterráneo: Mallorca y Menorca, entre ellas.



La fantasía queda reflejada en esta parte del mapamundi, mostrando el lugar en que habitaba el Ave Fenix, junto al Monte Taurus. No obstante, lo más relevante en este sentido es la representación de la mítica *Terra Australis* Incógnita, ya anunciada por Aristóteles en su *Meteorologica*, identificándola con la leyenda *Deserta terra vicina soli abardore incognita nobis*. En sucesivas versiones de los Beatos, se dibujaban en su interior los seres esciápodos, o monopodos; su denominación obedece a la posibilidad de elevar la pierna cual sombrilla, para darse sombra.

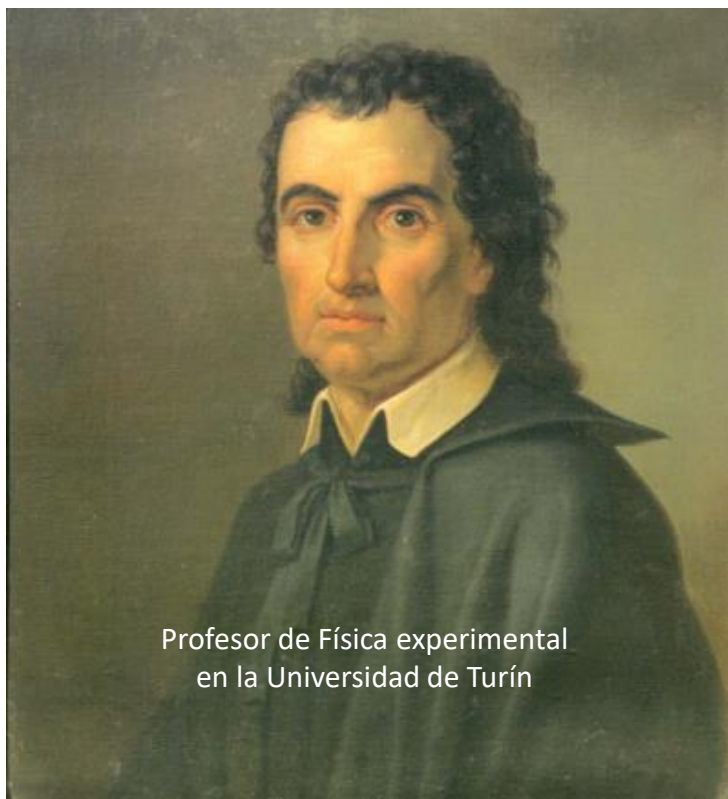


Los seres esciápodos en los Beatos

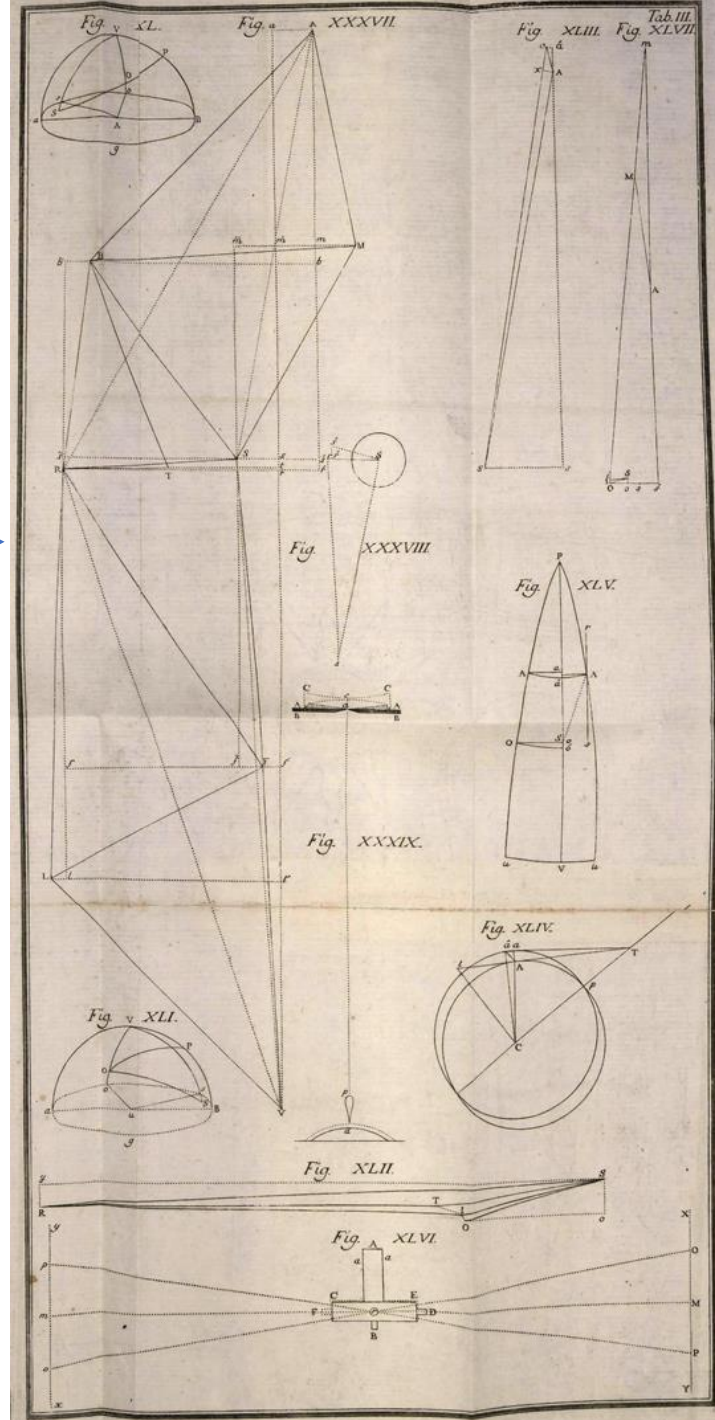
Giovanni Battista Beccaria (1716-1781)

Este padre escolapio italiano midió, en colaboración con Domenico Canonica, un grado de meridiano en la región del Piamonte, cumpliendo así la recomendación que le hizo R. Boscovich a Carlos Manuel III, Rey de Cerdeña. Los trabajos de campo se comenzaron en el año 1760, proyectando y observando cada uno de los ángulos de los triángulos que cubrían el sector del meridiano elegido. Los extremos de la base medida, que dio escala a la red, se localizaron en Turín y en Rivoli. Las observaciones astronómicas, complementarias de las anteriores, le permitieron calcular la latitud de los extremos del arco y los acimutes de los lados de dichos triángulos. Los resultados se publicaron catorce años después en la obra titulada *Gradus Taurinensis*, resultando básicos para la formación del mapa general del reino.

Cadena triangular a lo largo del meridiano →



Profesor de Física experimental
en la Universidad de Turín



GRADUS TAURINENSIS.

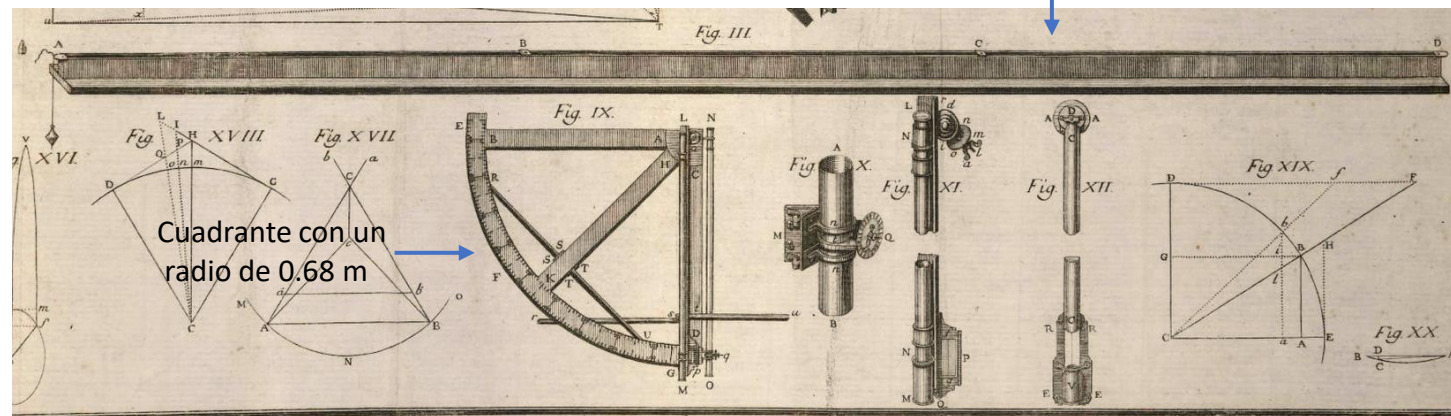


AUGUSTAE TAURINORUM

EX TYPOGRAPHIA REGIA
MDCCLXXIV.

La memoria de la operación, firmada por G. Beccaria y D. Canonica, fue escrita en latín y dedicada a *Carolus Emanuel Rex*; estructurándose en torno a los cinco capítulos siguientes: I) *Basis*, II) *Quadrans*, III) *Polygonum et arcus terrestris*, IV) *Sector* y V) *Gradus*. En los cinco artículos del primero se trató de la elección de la base (sita en la calle Corso Francia, uniendo una plaza de Turín con otra de Rivoli), del instrumento utilizado (la toesa de La Condamine) y de la medición de la misma; en esta operación invirtieron 19 días y obtuvieron un resultado de 6051.01 toesas (alrededor de 11793,42 m). En el capítulo III se detalló la elección de los vértices, las dimensiones de los lados, la observación de cada uno de los ángulos, las altitudes de los vértices en hexápedas, las *Meridiana Andratensis* y *Monregalensis* (Andrate fue el extremo septentrional del arco de meridiano y Mondovi el meridional).

La toesa con que se midió la base



1762. a Cyni ad Austrum.					
Sectore ad occasum converso.					
193 Jul.	Distantia observ.	Fraec. ad 2 sept.	Aberratio.	Nutatio	Distantia reducta.
25	1°. 5'. 30", 17.	- 1, 29.	+ 1, 10.	- 8", 13.	1°. 5'. 23", 06.
27	1. 5. 30, 17.	- 1, 21.	+ 1, 74.	- 8, 13.	1. 5. 23, 77.
28	1. 5. 29, 25.	- 1, 19.	+ 2, 06.	- 8, 13.	1. 5. 23, 20.
Aug. 1	1. 5. 29, 25.	- 1, 06.	+ 3, 23.	- 8, 13.	1. 5. 24, 50.
10	1. 5. 26, 51.	- 0, 77.	+ 5, 76.	- 8, 13.	1. 5. 24, 58.
Refractio + 1, 21.					
Distantia media					1. 5. 23, 82.
Sectore ad ortum converso.					
194 Aug.	Distantia observ.	Fraec. ad 2 sept.	Aberratio.	Nutatio	Distantia reducta.
3	1°. 4'. 13", 48.	- 1, 00.	+ 3, 79.	- 8", 13.	1°. 4'. 9", 23.
4	1. 4. 13, 02.	- 0, 97.	+ 4, 08.	- 8, 13.	1. 4. 9, 09.
5	1. 4. 12, 11.	- 0, 94.	+ 4, 36.	- 8, 13.	1. 4. 8, 49.
6	1. 4. 11, 65.	- 0, 90.	+ 4, 61.	- 8, 13.	1. 4. 8, 42.
9	1. 4. 10, 74.	- 0, 80.	+ 5, 17.	- 8, 13.	1. 4. 8, 07.
Refractio + 1, 09.					
Distantia media					1. 4. 8, 64.
ad 2 septemb. 1762 distantia ex mediis media					1. 4. 46, 23.

Como con la medición del grado se pretendía comprobar la hipótesis de Boscovich acerca de la desviación de la vertical, inducida por la proximidad de los Alpes, se consideraron en realidad dos arcos de meridiano, un sector al Norte de Turín y otro al Sur (Andratensis y Monregalensis). Las amplitudes angulares de los mismos se dedujeron a partir de las latitudes de los extremos respectivos, obtenidas mediante las observaciones astronómicas que se detallan en el capítulo V.

1762 a Cigni ad Boream.					
Sectore ad Ortum converso.					
199 Sept.	Distantia observ.	Fraec. ad 2 sept.	Aberratio	Nutatio	Distantia reducta.
2	0°. 4'. 8", 86.	- 0, 00.	- 11", 88.	+ 8", 05.	0°. 4'. 5", 11.
3	0. 4. 8, 86.	- 0, 03.	- 12, 08.	+ 8, 05.	0. 4. 4, 88.
5	0. 4. 9, 77.	- 0, 09.	- 12, 48.	+ 8, 05.	0. 4. 5, 33.
6	0. 4. 9, 77.	- 0, 13.	- 12, 68.	+ 8, 05.	0. 4. 5, 09.
8	0. 4. 9, 77.	- 0, 20.	- 13, 08.	+ 8, 05.	0. 4. 4, 62.
15	0. 4. 10, 68.	- 0, 44.	- 14, 45.	+ 8, 05.	0. 4. 3, 92.
Refractio + 0, 08.					
distantia media					0. 4. 4, 82.
Sectore ad Occasum converso.					
300 Sept.	Distantia observ.	Fraec. ad 2 sept.	Aberratio	Nutatio	Distantia reducta.
9	0°. 1'. 56", 44.	- 0, 24.	- 13", 28.	+ 8", 05.	0°. 1'. 51", 00.
13	0. 1. 56, 89.	- 0, 37.	- 14, 07.	+ 8, 05.	0. 1. 50, 53.
19	0. 1. 57, 81.	- 0, 57.	- 15, 21.	+ 8, 05.	0. 1. 50, 11.
20	0. 1. 57, 81.	- 0, 61.	- 15, 40.	+ 8, 05.	0. 1. 49, 88.
Refractio + 0, 03.					
distantia media					0. 1. 50, 38.
ad 2 septemb. 1762 distantia ex mediis media					0. 2. 57, 60.

La diferencia de latitudes entre Andrate y Mondovi resultó ser de $1^{\circ}7'44''.71$, con las amplitudes intermedias siguientes: Andrate-Torino $0^{\circ}27'04''.29$ y Torino-Mondovi $0^{\circ}40'40''.42$; con los respectivos desarrollos de 26153,63 toesas y de 38733,38 toesas. Teniendo en cuenta que Turín no pertenecía al meridiano anterior, el valor del desarrollo de un grado fue fijado por los dos geodestas en 57.468,59 toesas, alrededor de 112 km. A partir de tales datos dedujo que los Alpes grayos inducían una desviación de la vertical de $25''$ y otra de $5''$ en los Alpes marítimos, modificando al mismo tiempo los valores lineales previamente determinados.



Los resultados proporcionados por G. Beccaria fueron cuestionados de inmediato por los geodestas franceses, Cassini III y Laplace entre ellos; una circunstancia que fue recordada por el astrónomo alemán Franz Xaver von Zach durante su estancia en Turín a finales de septiembre de 1809. Él mismo relataba que visitó la Academia Imperial de Ciencias de la ciudad, para trasladarles su intención de repetir las observaciones relativas a la latitud y a los acimutes astronómicos determinados por Beccaria. Todo fueron facilidades y pudo iniciar sus trabajos de campo el 29 de septiembre. Finalizados estos, leyó en la Academia (16.VI.1810) la *Memoire de M. le Baron de Zach sur le degré du méridien mesuré en Piemont par le père Beccaria*. Sus conclusiones evidenciaron la existencia de importantes discrepancias en la longitud de la base, en la latitud y en los acimutes obtenidos por Beccaria; recomendando la repetición de la operación para constatar la atracción del macizo de Monte Rosa, ya que así se dispondría de un canevas, soporte de un futuro mapa más exacto de la región. La memoria reveló asimismo los detalles de la erección de sendos obeliscos en los dos extremos de la base Torino -Rivoli, el primero en la *Piazza Statuto* y el segundo en la *Piazza della Stazione*.





Se culmina esta reseña señalando qué como complemento a la medida del grado, se efectuó una nivelación barométrica para determinar la altitud de los vértices de la triangulación. Aunque los resultados fueron expresados en hexapiés, se ha preferido hacerlo ahora en metros: Torino (245 m), Rivoli (354 m), Superga (620 m), Balangero (440 m), Mazzè (323 m), Saluzzo (395 m) y Sanfrè (272 m). Los detalles de esta nivelación figuran en el artículo VI (*Aliquae ex novo barómetro altitudines*) del capítulo V (*Gradus*) del *Gradus Taurinensis*. En él se incluye una carta dirigida por Beccaria al conde Scarnafigi, enviado por el rey de Cerdeña a Inglaterra, en la que se describe minuciosamente el instrumento (luego llamado *Barometro Beccariniano a sifone*) y se compara con el del geólogo suizo Jean André de Luc (1727-1817), destacando su facilidad de manejo sin merma de exactitud: «*immaginò una maniera comodissima per sapere ad ogni momento in qualunque tempo l'altezza del barometro segnata in una carta da un legger pennello galleggiante sul mercurio*»

Rex AUGUSTISSIME , hanc Gradus Taurinensis mentionem apud invictum immortalis memoria Patrem volueris commendare , quodque nos eam mentionem capessentes, perficientesque crebro audire dignatus sis , humanis simoque , et vero etiam doctissimo sermone tuo erigere , atque confirmare ; ea , inquam , una consideratio tantum nobis indu animi , ut labores illos nostros Augustissimo Nomini Tuo inscribere non dubitemus Maiestati Tuae devoti quam qui maxime . *Fin de la dedicataria de J. B. Beccaria y D. Canonica*

← Barómetro de Jean André de Luc

Beda el Venerable (ca. 672-735)



Este monje, de la orden de San Benito de Nursia, fue el único Doctor del Iglesia (1899) nacido en Inglaterra. Cuando tenía 19 años ya estaba interesado en la controversia eclesiástica sobre la fecha de la Pascua. Alrededor del año 701, escribió sus primeros trabajos: *De Arte Metrica et De Schematibus et Tropics*.

Dos años después presentó *De Temporibus*, siendo acusado de herejía por algunos monjes borrachos de Hexham, pues aseguraba que Cristo había nacido 3952 años después de la creación del mundo, en lugar de los 5000 que defendía la autoridad de San Isidoro. Hacia el año 723 complementó ese trabajo con un nuevo tratado *De Temporum ratione*, en la que se abordaba el cómputo del tiempo; la cual fue de obligada referencia a lo largo de la Edad Media.



The British Library: Egerton 3088 f. 16v . *De temporibus*: miniaturas de Aries, Gemini, Taurus y Cancer

Beda, que ya había explicado los movimientos del Sol y la Luna en sus obras sobre el cómputo del tiempo, también se refirió a otras cuestiones astronómicas en su obra *De natura rerum* (703): descripción de la estructura del mundo, Vía Láctea, planetas, zodiaco y eclipses. Su interés por la astronomía continuó en los años siguientes: concretamente, en su célebre *Historia ecclesiastica gentis Anglorum* (731) mencionó los eclipses solares de los años 538, 540 y 664, así como a los cometas de 678 y 729. Sus obras fueron tan influyentes, que a fines del siglo IX Notker Balbulus, un monje del Monasterio suizo de St. Gall, escribió que «Dios, el ordenador de las naturalezas, que levantó el Sol desde el Este en el cuarto día de la Creación, en el sexto día del mundo ha hecho salir a Beda de Occidente como un nuevo Sol para iluminar toda la Tierra»

The Bodleian Library: De Natura Rerum. Los siete planetas clásicos: Saturno, Júpiter, Marte, Sol, Venus y Mercurio. Obsérvese que la Tierra se representa mediante el emblemático mapa de T en O. →



La Cartografía fue otra de las disciplinas en las que centró su atención el abate inglés. En el capítulo 1º de su obra *Historia ecclesiastica*, se refirió a las islas de Bretaña e Irlanda, así como a la *Tabula Peutingeriana*. Tras comentar que unos barcos fueron arrastrados por la tormenta hacia el litoral británico, llegando finalmente a Irlanda, añadió: «...es la isla más grande después de Gran Bretaña y se encuentra al Oeste de la misma. Es más corta que Gran Bretaña al Norte, pero se extiende mucho más allá de ella al Sur hacia las costas del Norte de España, aunque las separa un ancho mar”. Es posible que no se tratara realmente de la Tabla de Peutinger sino de cualquier otro mapa romano, pero lo cierto es que Beda lo consideró fiable. Al no haber sido invadida Hibernia, no se efectuaría levantamiento topográfico alguno, estimándose su forma, tamaño y posición sobre el globo terráqueo a partir de alguna encuesta de dudosa fiabilidad. Es posible, que un monasterio, quizás el de Beda, recibiera una copia de algún mapa de Tolomeo, o del *Itinerarium Antonini*, a la vista de los cuales hiciese tal declaración.



Irlanda e Inglaterra en un mapa de Tolomeo



Ibernia y Britania en la Tabla de Peutinger

BEDAE ANGLORUM

SAXONIS DE RATIONE
TEMPORVM LIBER.

CAPITA LIBRI.

Temporis diuifio.	De saltu lunæ.
De die.	Continentia circuli eiusdem.
De nocte.	Argumenta titulorum paschaliũ.
De hebdomada.	De facramento temporis paschalis.
De menſe.	De mundi ætatibus.
De menſibus Romanorum.	Curſus & ordo temporum.
De ſolſtitio & æquinoctio.	Secunda ætas.
De temporibus.	Tertia ætas.
De annis.	De quarta ætate.
De biſſexto.	De quinta ætate.
De circulo decennouenali.	De ſexta ætate.



La contribución de Beda al problema del calendario fue su mayor logro científico, contribuyendo con ello a la reforma de la ciencia entre los siglos VIII y XII, así como a la introducción de la astronomía de Tolomeo en escuelas monásticas inglesas. Suya fue la transmisión del conocimiento científico clásico, debido a santos como Agustín de Hipona e Isidoro de Sevilla; suya fue la revisión y expansión del mismo, gracias al empleo de la observación como método de mostrar la validez de las ideas que exponía. Beda no fue un genio aislado: aunque su obra fuese excepcional en muchos sentidos, también debería considerarse como el producto de las exigencias políticas de su sociedad, además de la cultura de alfabetización y educación cristiana en la que vivió y escribió sus muchas obras.



De ratione temporum, British Library, Royal MS 13 A XI, fol. 30v - fol. 103v, ca. 1100



Martin Behaim (1459-1507)

El mérito principal de Martín de Bohemia, fue la construcción en 1492 de un globo terráqueo de 51 cm de diámetro, con la particularidad de haber sido el último formado en el viejo mundo, sin representar el mundus novus. No hay constancia documental de sus conocimientos astronómicos, geográficos y matemáticos, aunque debió tenerlos desde que fue alumno de Regiomontanus en Nuremberg, su ciudad natal. Otra prueba que los certifica fue su integración en la Junta dos Matemáticos de Portugal, a instancias de su Rey Juan II. En ella debió coincidir con Cristóbal Colón, concedor como él del celebrado mapa de Toscanelli, relacionado tanto con el descubrimiento del nuevo continente como con la construcción del globo. Por otro lado, es destacable su contribución al desarrollo del instrumental matemático, imprescindible para el éxito alcanzado por los navegantes portugueses, camino de la India.



Especialmente interesante fue la novedad introducida en su tiempo a la hora de calcular la latitud del lugar: idéntica a la altura de la estrella polar sobre el plano del horizonte. Al aproximarse a la línea ecuatorial, apenas se asomaba dicha estrella por el horizonte, siendo por tanto difícil de observar. Al parecer fue A. Zacuto, en probable colaboración con M. Behaim, quien propuso obtener la latitud observando el Sol; simplificando para ello el astrolabio con el que debería medirse su altura sobre el horizonte. Obtenida esta se combinaba con la declinación del Sol, en el instante de la observación y se hallaba finalmente la latitud, como combinación lineal de los dos valores anteriores.

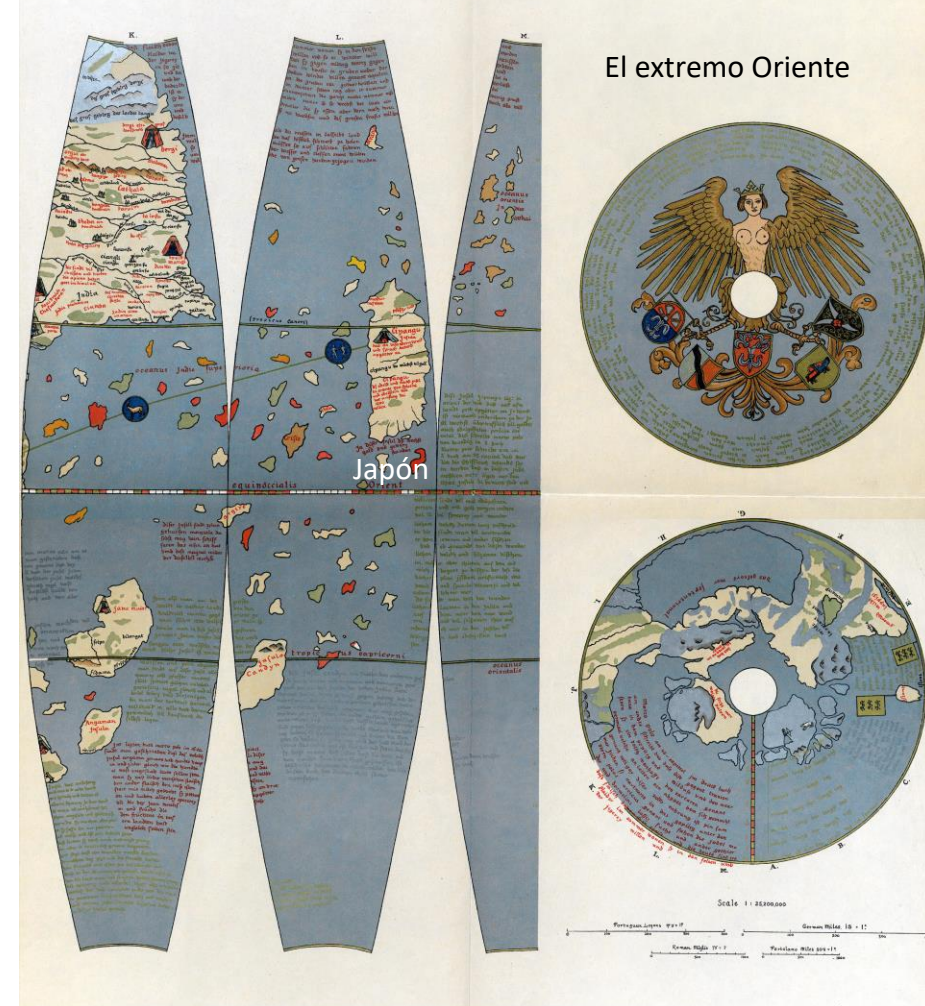


Midiendo la altura de una estrella con la ballesta, o escala de Jacob.



La imagen del Mar Rojo

El globo de Martin Behaim fue el primer globo terrestre conocido fabricado desde la época de los antiguos griegos. Comenzó a fabricarlo en el año 1491, contando con la colaboración de Georg Glockenthon (1484-1514), el cual creó los dibujos de acuerdo con las indicaciones de aquel; todos ellos se presentaron en forma de husos para ser pegados sobre la esfera. Se identificaron un total de 1100 lugares, aunque no se indicara coordenada alguna.



Tanto el círculo del ecuador como el de la eclíptica aparecen representados, así como los de los trópicos de Cáncer y Capricornio. Como ilustraciones secundarias, se representaron los signos del zodiaco y otras diminutas destinadas a reyes, santos, veleros, animales salvajes y peces; cuenta también con 48 estandartes y 15 escudos aparecen también entre las muchas decoraciones.



← Se conserva en el *Germanisches Nationalmuseum* (Nuremberg), y es considerado una de las representaciones más notables en la historia de la geografía



Detalle de la Península Ibérica. El reino de Granada se localiza con un estandarte musulmán.

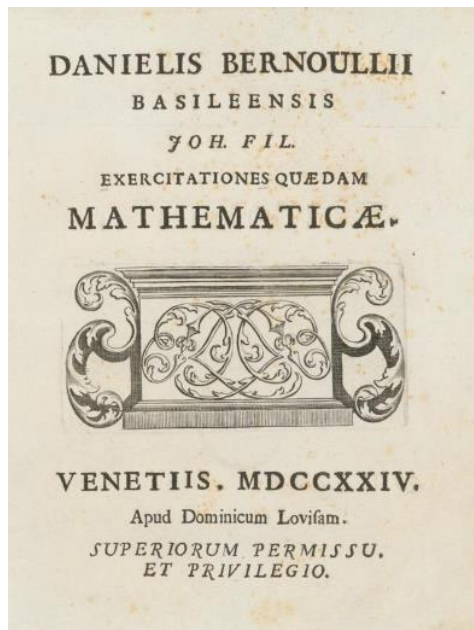
Daniel Bernoulli (1700-1782)



Miembro de una familia de matemáticos afamados, en la que existían celos y rivalidades, pronto quiso seguir la estela de su padre y dedicarse al estudio de esa ciencia. Siempre tuvo que vencer dificultades, como terminar antes sus estudios de medicina; siendo enviado a Venecia para perfeccionarlos en su vertiente práctica. Durante su estancia en aquella ciudad publicó su primer trabajo (1724), titulado *Exercitationes Quaedam Mathematicae*.

La primera parte describía el juego de faro y revelaba que ya estaba interesado en el estudio de la probabilidad. La segunda parte trataba sobre el flujo de agua de un recipiente, a través de un agujero, cuestionando las ideas de Newton al respecto; y mostrando ya sus inquietudes sobre el problema de la presión. Sus investigaciones sobre el flujo de la sangre y la presión arterial, le permitieron generalizar el problema al abordar el flujo de fluidos.

La tercera parte de los ejercicios matemáticos versó sobre la ecuación diferencial del conde veneciano Jacopo Francesco Riccati (1676-1754), dedicando la última a una cuestión geométrica relativa a figuras delimitadas por dos arcos de círculo. El trabajo llamó la atención de la comunidad científica, hasta el extremo de que Catalina I de Rusia le propuso como profesor de la Academia de Ciencias de San Petersburgo, donde dio clases de medicina, mecánica y física; al final invitó también a su hermano Nicolás (1695-1726).





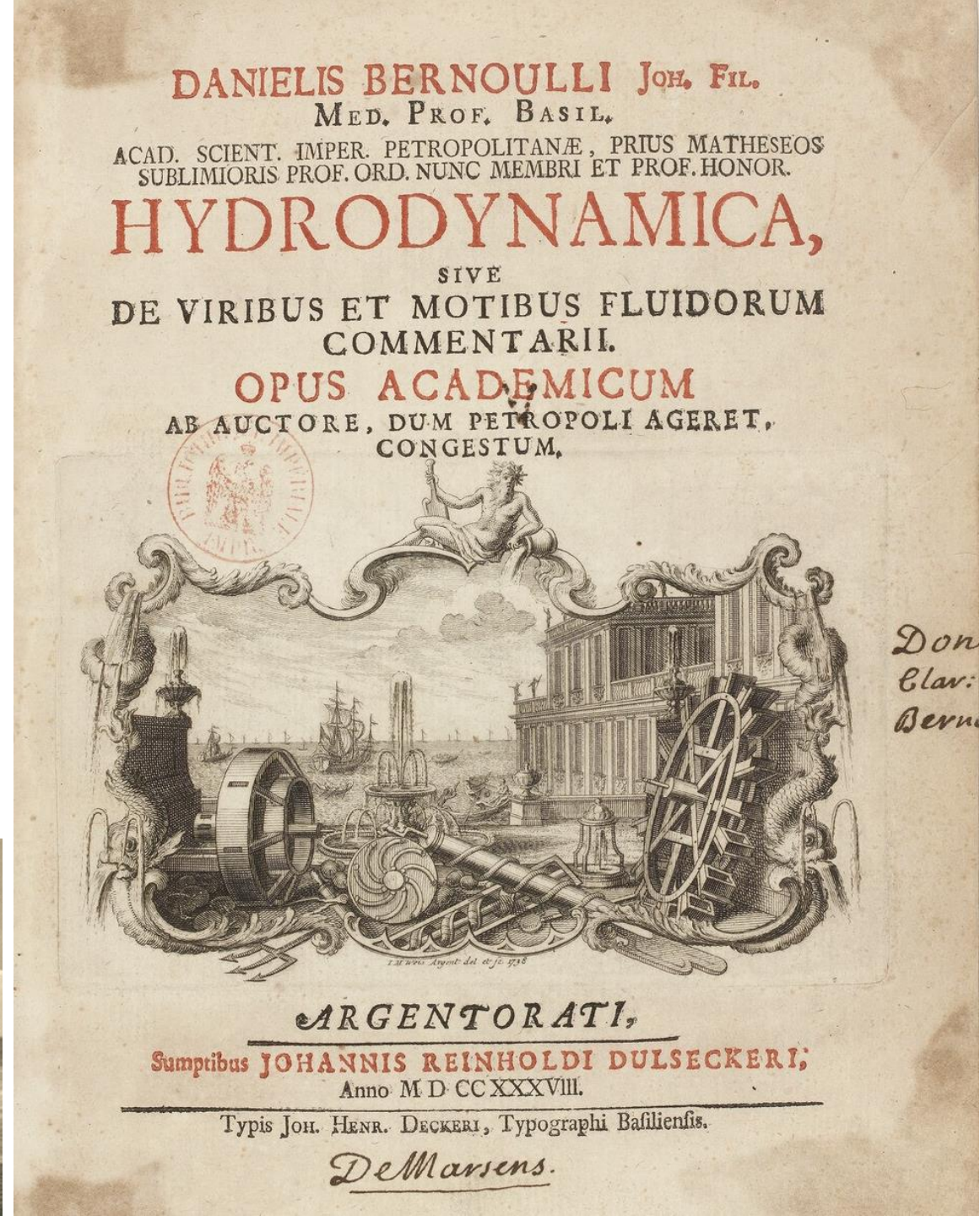
San Petersburgo hacia 1820, por Angelo Toselli (1762-1839).

A los ocho meses de asumir los cargos en San Petersburgo, murió Nicolás. Afectado por la pérdida y por la dureza del clima, Daniel le pidió a su padre volver a Basilea. Johann Bernoulli (1667-1748) hizo caso omiso, aunque consiguió que Leonard Euler, uno de sus mejores alumnos, fuera a San Petersburgo a trabajar con su hijo. Euler llegó en 1727 y allí colaboró con D. Bernoulli hasta 1733, año en este abandonó definitivamente Rusia. Se conservan gran parte de la correspondencia mantenida entre D. Bernoulli y L. Euler, una joya para la historia de la ciencia, que revela como aquellos sabios tuvieron que ocupar puestos mal remunerados. En una carta de 1726, le anima a Euler para que se una a él en San Petersburgo: *« Hace varios meses que te escribo por orden de nuestro Presidente... y te invito en su nombre a venir y ocupar un puesto en nuestra Academia con un estipendio de 200 rublos; entiendo perfectamente que esta cantidad está por debajo de su mérito... »*

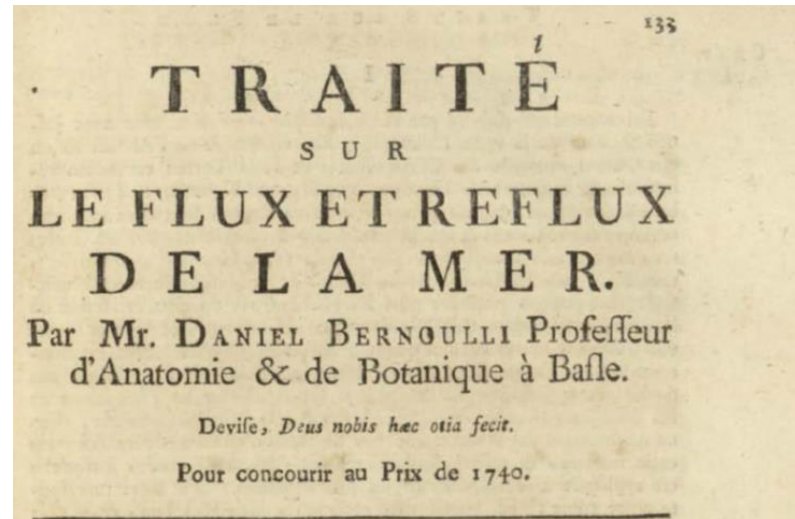
El periodo en que ambos coincidieron en aquella Academia de Ciencias fue el más fructífero para la institución. A partir de 1728 contribuyeron decisivamente al desarrollo de la elasticidad, deduciendo Bernoulli las ecuaciones de curvas como la catenaria, la lintearia y la velaría. Otro de sus descubrimientos más importantes fueron los relativos a los nodos simples y las frecuencias de oscilación de un sistema; demostrando que los movimientos de las cuerdas de los instrumentos musicales están compuestos por un número infinito de vibraciones armónicas, todas superpuestas a las mismas. Sin embargo, su contribución más sobresaliente de esa época fue su tratado de hidrodinámica, obra de obligada referencia en la mecánica de fluidos, que lo dejó en imprenta antes de abandonar San Petersburgo; aunque no se publicara hasta 1738, un intervalo que aprovechó para su revisión.



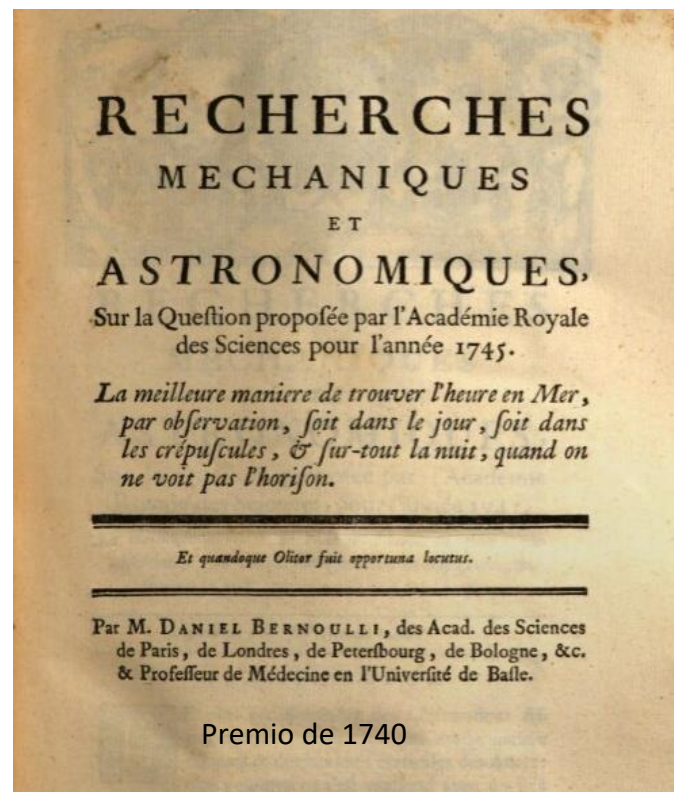
La Academia Imperial de Ciencias de San Petersburgo, a orillas del Río Neva



Aunque de vuelta en Basilea se dedicara a impartir clases de Botánica, siguió en contacto con Euler e interesado en su mutua colaboración; de hecho, recibieron en el año 1740 un premio conjunto otorgado por la Academia de Ciencias de París, por su trabajo sobre el flujo y reflujo del mar. D. Bernoulli ya había recibido otro del mismo Centro, en 1725, por sus reflexiones sobre el movimiento de las clepsidras en el mar. La excelencia de su producción científica queda acreditada por haber recibido otros ocho premios de la Academia, además de los ya citados. Es obligado referir el del año 1734, que recibió conjuntamente con su padre, por las indeseables consecuencias: *¿Quelle est la cause de l'inclinaison des plans des orbites des planètes par rapport au plan de l'équateur de la révolution du Soleil autour de son axe, et d'où vient que les inclinaisons de ces orbites sont différentes entre elles?* Su padre no aceptó que su hijo hubiese sido calificado como su igual, y cuando su hijo regresó a Basilea, ya tenía prohibida la entrada en la casa de su padre.



TRES DE LOS DIEZ PREMIOS
CONCEDIDOS POR LA ACADEMIA
DE LAS CIENCIAS DE PARÍS A
DANIEL BERNOULLI



DISQUISITIONES
PHYSICO-ASTRONOMICÆ
PROBLEMATIS

A B
INCLYTA SCIENTIARUM ACADEMIA REGIA,
QUÆ PARISIIS FLORET,
ITERUM PROPOSITI.

Quelle est la cause physique de l'inclinaison des plans des Orbites
des Planetes par rapport au plan de l'Equateur de la revolution
du Soleil autour de son axe; Et d'où vient que les inclinaisons
de ces Orbites sont différentes entre elles.

SIVE

Quænam est causa physica inclinationis planorum, in quibus
Planete Orbitas suas perficiunt ad planum Æquatoris,
vertigini Solis circa axem suum respondentis; Et quæ sit
ut inclinationes istarum Orbitalium sint inter se diversæ.

Auhore DAN. BERNOULLI, Acad. Petrop. & Bonon. Socio,
in Acad. Basiliensi Anat. & Bot. Professore.

Premio de 1734

Johann Bernoulli (1667-1748)

Hijo, padre y hermano de matemáticos ilustres, además de profesor en la Universidad de Basilea de un alumno tan aventajado como L. Euler. Tras estudiar allí el cálculo de Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) se trasladó a Ginebra; adonde dio una conferencia sobre el cálculo diferencial. Posteriormente viajó a París para entrar en contacto con matemáticos tales como el marqués de l'Hôpital (1661-1704), uno de los más señalados. Enterado este del interés de Bernoulli por Leibniz, le pidió que le explicara los últimos métodos que acababa de explicar este último; l'Hôpital pagó generosamente las clases que había recibido, aunque las continuó recibiendo por correspondencia, una vez que Bernoulli regresó a Basilea. Curiosamente, en el año 1922 se descubrió que la conocida regla de l'Hôpital se explicaba en un libro de Análisis publicado por el marqués, basado principalmente en las lecciones que había recibido. Otros de los matemáticos con el que coincidió en París, durante 1682, fue Pierre Varignon (1654-1722); manteniendo con él y con Leibniz intercambios epistolares, mientras preparaba su tesis doctoral en medicina.



IOANNES BERNOULLIVS,

*Phil. et Med. D. Academ. Scient. Petropolit. et Parisiensis
et Societatum regiarum Londinensis atq; Berolin. item
que in stituti Scientiarum Bononiensis, membrum Profefs.
Math. Publ. et p. t. Rector Academiae Basileensis.
Nat. A. S. R. MDCLXVII. d. 27. Jul. st. v.*

J. Bernoulli recibió varios premios de la Academia de Ciencias de París, concretamente en los concursos convocados en los años 1730, 1734, 1736, 1737 y 1741; refiriéndose los dos últimos a cuestiones prácticas de la navegación: 1737) *Sujet comportant trois questions: Quelle est la figure la plus avantageuse qu'on puisse donner aux ancres?. Quelle est la meilleure manière de forger les ancres?. Quelle est la meilleure manière d'éprouver les ancres?;* 1741) *Sur la meilleure construction du cabestan.* Los más relevantes en esta ocasión fueron los tres primeros. En efecto, la convocatoria del año 1730 exigía el desarrollo de la cuestión siguiente: *Quelle est la cause de la figure elliptique des orbites des planètes, et pourquoy le grand axe de ces ellipses change de position, ou, ce qui revient au même, pourquoy leur aphélie ou leur apogée répond successivement à différents points du ciel?.* El ganador fue J. Bernoulli por su trabajo *Nouvelles Pensées Sur Le systeme de M. Descartes, et la maniere d'en déduire les Orbites & les Aphélies des Planètes;* un verdadero prontuario astronómico que en su punto XXVIII plantea la controversia entre el elipsoide oblongo y oblato, a propósito de la figura de los planetas, y parece tomar partido por el **segundo**: Les Phyficiens d'aujourd'hui ne sont-ils pas du sentiment, que la Terre, les Planètes, enfin tous les Corps célestes qui tournent sur leur centre doivent avoir une figure, non pas tout-à-fait sphérique, mais celle d'un Sphéroïde, soit oblong, ... soit aplati fait par la conversion d'une Ellipse autour de son petit axe? Au moins, les observations des Astronomes ont vérifié cela dans Jupiter, dont la distance d'un Pole à l'autre a été observée plus petite que le diamètre de son Equateur.

NOUVELLES PENSÉES
SUR LE SYSTÈME
DE M. DESCARTES,

Et la maniere d'en déduire les Orbites
& les Aphélies des Planètes.

PIECE QUI A REMPORTE' LE PRIX PROPOSÉ
par l'Académie Royale des Sciences
pour l'année 1730.

Par M. JEAN BERNOULLI Professeur des Mathématiques à Bâle, & membre des Académies Royales des Sciences de France, d'Angleterre & de Prusse.



A PARIS, RUE S. JACQUES.
Chez CLAUDE JOMBERT, au coin de la rue des
Mathurins, à l'Image Notre-Dame.
M. DCC. XXX.
AVEC PRIVILEGE DU ROY.

ESSAI
D'UNE
NOUVELLE PHYSIQUE
CELESTE,

Servant à expliquer les principaux Phenomenes du Ciel,
& en particulier la cause physique de l'inclinaison
des Orbites des Planetes par rapport au plan de
l'Equateur du Soleil.

PIECE DE M. JEAN BERNOULLI,
DE L'ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES,
& de celles de Londres, Petersbourg, &c. Et Professeur
de Mathematique en l'Université de Bâle.

Qui a partagé le Prix double de l'année 1734.

En el segundo premio, el del año 1734, se trataba de explicar las oblicuidades planetarias: Quelle est la cause de l'inclinaison des plans des orbites des planètes par rapport au plan de l'équateur de la révolution du Soleil autour de son axe, et d'où vient que les inclinaisons de ces orbites sont différentes entre elles. La disertación de J. Bernoulli fue otra lección de astronomía, titulada: Essai d'Une Nouvelle Physique Celeste, servant à expliquer les principaux Phenomenes du Ciel, & en particulier la cause physique de l'inclinaison des Orbites des Planetes par rapport au plan de l'équateur du Soleil



ESSAI
D'UNE
NOUVELLE PHYSIQUE
CELESTE,

Servant à expliquer les principaux Phenomenes du Ciel,
& en particulier la cause physique de l'inclinaison des
Orbites des Planetes par rapport au plan de l'E'qua-
teur du Soleil.

Felices animæ, quibus hæc cognoscere primum,
Inque domos superas scandere, cura fuit.
Ovid. Fastor. lib. 1.

En el desarrollo de esta exposición se estudiaron los torbellinos de Descartes, fijando incluso el tiempo de revolución (en años) de los planetarios en el apartado XLVIII: Saturno (6744), Júpiter (2715), Marte (428), Tierra (230), Venus (140) y Mercurio (54). Este premio también fue ganado por su hijo Daniel, un éxito que en lugar de enorgullecerlo, le supuso un incomprensible contratiempo; llegando a prohibirle la entrada en su domicilio paterno.

RECHERCHES PHYSIQUES ET GEOMETRIQUES

SUR LA QUESTION:

COMMENT SE FAIT LA PROPAGATION
DE LA LUMIERE.

Pièce qui a remporté le Prix de l'Académie Royale des Sciences,
proposé pour l'année 1736, selon la fondation faite par feu
M. ROULLIÉ DE MESLAY, ancien Conseiller au Parlement.

Par M. JEAN BERNOULLI, Docteur en Droit.

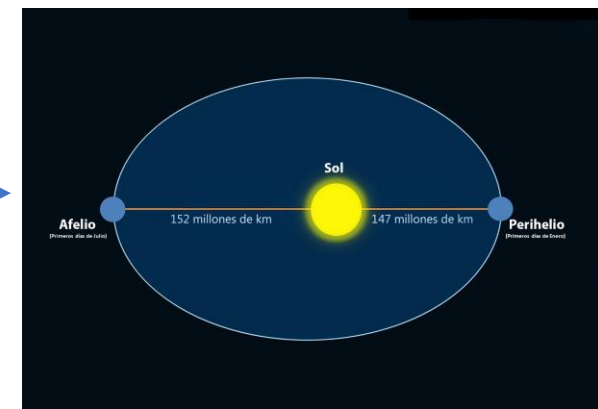


A PARIS,
DE L'IMPRIMERIE ROYALE.

M. DCCXXXVI.

El tercer premio, se lo adjudicaron en el año 1736, tras haber participado en el concurso que solicitaba una explicación acerca del modo en que se propagaba la luz. La cuestión la resolvió con brillantez en la lección de Óptica que presentó, titulada Recherches Physiques et Géométriques sur la question: comment se fait la propagation de la lumière. Además de referirse a las teorías corpuscular y ondulatoria de la luz, dio, en el apartado VI, una idea de la magnitud de la velocidad a la que se propagaba, al expresar en unidades temporales la distancia de la Tierra al Sol: suivant le calcul de M. Huygens fondé sur l'observation de M. Romer, elle n'employe que 11 minutes de temps pour faire le chemin depuis le Soleil jusqu'à nous. M. Newton ne lui donne même que 7 à 8 minutes pour recourir cette vaste étendue qui contient plus d'onze mille diamètres de la Terre. Hoy día se estima que tarda poco más de 8 minutos, un valor medio que resulta de dividir la llamada Unidad Astronómica (≈ 149597870.7 km) por la velocidad de la luz (≈ 299792.458 km/s); los valores extremos del radio vector Tierra Sol son (para 2023) los siguientes: perihelio (147098925 km) y afelio (152093251 km).

La órbita de la Tierra en torno al Sol →



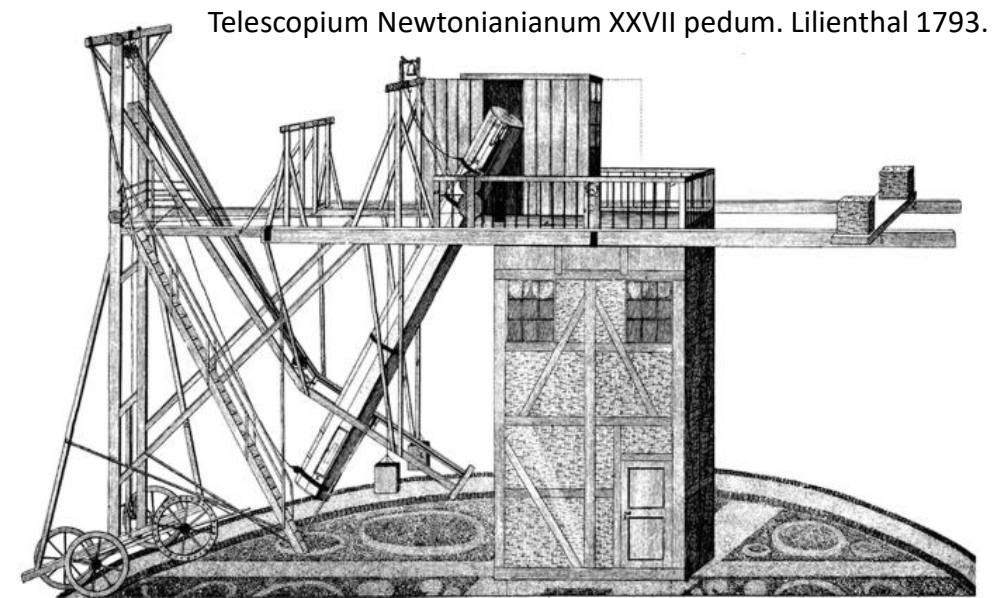
Friedrich Wilhelm Bessel (1784-1846)



El interés en los países con los que negociaba su empresa llevó a Bessel a pasar las tardes estudiando geografía, español e inglés. Sus intereses giraron hacia la navegación y se planteó el problema de encontrar la posición de un barco en el mar. Esto a su vez lo llevó a estudiar astronomía y matemáticas y comenzó a hacer observaciones para determinar la longitud. Surgió entonces su vocación instrumental, fabricándose un sextante e ideando el método de hallar la posición del meridiano usando estrellas de igual altura. El 16 de agosto de 1803 realizó su primera observación, la ocultación de una estrella por la Luna, para compararla con la posición correspondiente en dos de las publicaciones astronómicas de la época (*Monatliche Correspondenz* de von Zach y Bode *Astronomische Jahrbuch*); el resultado fue la longitud de Bremen, con fiabilidad aceptable. Esa determinación influyó decisivamente en el posterior desarrollo de su vida profesional, destacando en disciplinas tan complementarias como la astronomía, la geodesia y las matemáticas. Él mismo lo dejó escrito en su autobiografía: «felizmente mi determinación de esa longitud coincidió con el valor conocido, salvo en uno o dos segundos, y triunfé en mi primer intento de resolver un problema de astronomía práctica. Debes poseer la llama de la juventud para comprender cómo me alegró el éxito logrado. Ciertamente, no me equivoco al suponer que así estaba echada la suerte que determinaría el resto de mi vida».



Tras esa determinación de la longitud, escribió un artículo sobre el cometa Halley en el año 1804, calculando su órbita en función de las observaciones que hicieron del mismo Thomas Harriot (1560-1621) y William Lower (1570-1615).



El trabajo llamó la atención del astrónomo Heinrich Wilhelm Matthäus Olbers (1758-1840), vecino de Bremen, que se puso en contacto con él para publicarlo; más adelante le encargó que realizase otras observaciones con las que ampliar su artículo, el cual fue asimismo editado. Por iniciativa de Olbers, renunció Bessel a su empleo y aceptó convertirse en astrónomo asistente (1806) del Observatorio de Lilienthal, cerca de Bremen. En él adquirió experiencia como observador de planetas, especialmente Saturno, con sus anillos y satélites; sin olvidar sus estudios de mecánica celeste. A raíz de entonces su prestigio fue en aumento, comenzando a recibir ofertas de trabajo cada vez más interesantes.





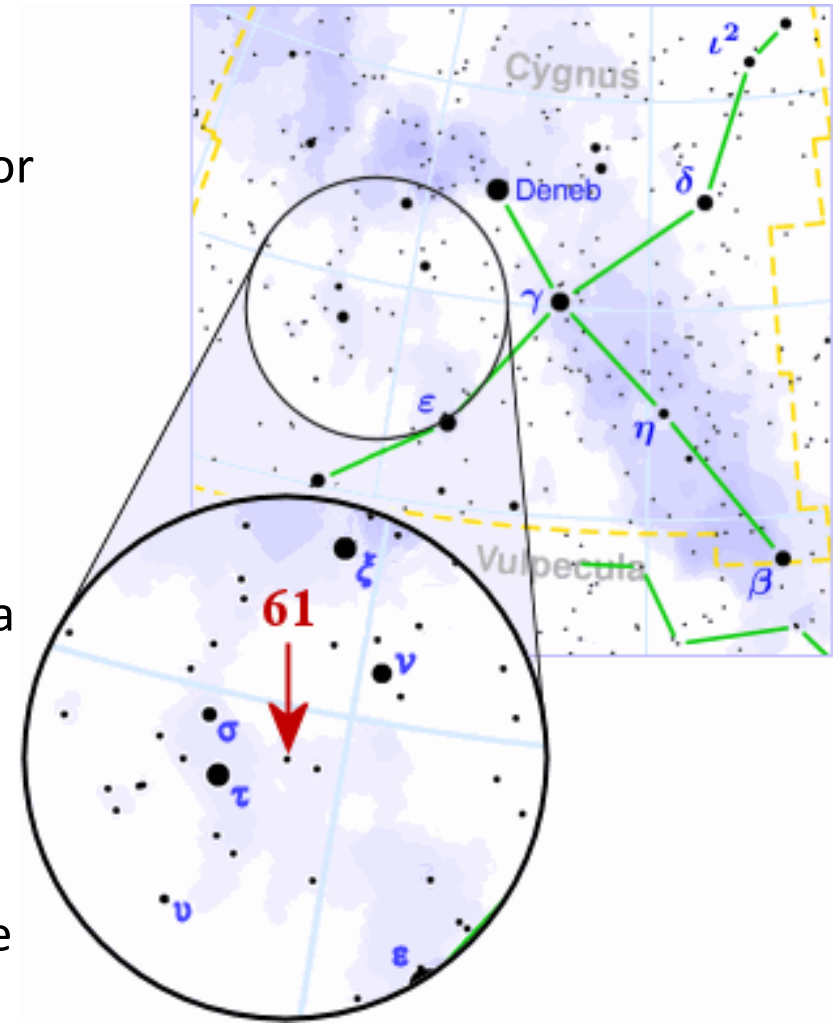
OBSERVATORIO DE KÖNIGSBERG (KALININGRADO)



Torre del observatorio, destruida en la segunda guerra mundial

El propio Rey de Prusia, Friedrich Wilhelm III (1770-1840), le ofreció a Bessel dirigir el observatorio que pensaba construir en Königsberg y convertirlo en el primer profesor de astronomía en la Universidad de aquella ciudad (Universidad Albertina); este aceptó de inmediato y el 6 de enero de 1810 recibió el nombramiento que lo habilitaba para ello. Las reticencias académicas del claustró las superó recurriendo a su amigo Gauss, consiguiendo graduarse en la Universidad de Göttingen y obtener el título de Doctor (30.III.1811). Aunque se quejase de que el cielo del observatorio no era el más apropiado, por las condiciones meteorológicas del lugar, permaneció en Königsberg el resto de su vida, investigando y enseñando sin interrupción. Las observaciones astronómicas, propiamente dichas, las inició a partir del año 1813, en se concluyó la construcción del Observatorio. Pronto corrigió los errores instrumentales de las observaciones estelares de Bradley y Maskelyne, en el Observatorio de Greenwich, al conseguir eliminar las perturbaciones ópticas, mecánicas y meteorológicas; otro de sus logros sobresalientes fue la determinación de la constante de precesión, nutación y aberración, siendo premiado por la Academia de Berlín en 1815. Apoyándose en ello publicó en 1818 *Fundamenta Astronomiae*, un catálogo fundamental de 3000 estrellas; lo que le valió para ser nombrado *Fellow* de la *Royal Society* en 1825.

En el año 1830 publicó una interesante aportación, referida a la posición media de 38 estrellas en el periodo 1750-1850, 36 de las cuales eran las que Maskelyne llamó fundamentales, y otras dos circumpolares; anunciando que Sirio era en realidad una estrella doble. No obstante, su contribución de mayor impacto social fue la medición por primera vez de la distancia entre dos estrellas, el Sol y la 61 Cygni, evaluándola en unos 10.3 años luz; un valor que daba al traste con el modelo del universo concebido hasta entonces, pues se suponía que la esfera de las fijas estaba mucho más cerca de los planetas. La constatación de tan novedosa circunstancia la dio a conocer en el año 1838, después de haber comprobado que la estrella de la constelación del Cisne parecía describir una elipse sobre la esfera celeste, semejante a la que recorría la Tierra en su traslación anual alrededor del Sol. Lo que hizo por tanto fue descubrir que se trataba de una estrella con paralaje, esto es situada a una distancia tal que desde ella se vería bajo un ángulo sensible el segmento Sol-Tierra (la llamada Unidad Astronómica), concretamente igual a $0''.314$ aproximadamente. Otra contribución de parecida relevancia fue su anuncio de que los movimientos propios de las dos estrellas brillantes Sirius y Procyon, presentaban perturbaciones que solo podrían explicarse por la acción de alguna estrella que las acompañara, La existencia de tales estrellas, ahora llamadas Sirius B y Procyon B, fue confirmada con telescopios de más aumentos después de la muerte de Bessel.



Gradmessung in Ostpreußen

und ihre Verbindung

mit

Preussischen und Russischen Dreiecksketten.

Ausgeführt

von

F. W. Bessel,

Director der Königsberger Sternwarte.

Baeyer,

Major im Generalstabe.

Mit 7 Kupfertafeln.



Berlin.

Gedruckt in der Druckerei der Königlich Akademie
der Wissenschaften.

1838.

In Commission bei F. Dümmler.

No ha de olvidarse que la geodesia fue otra de las disciplinas en que Bessel brilló con luz propia y en la que decidió aplicar sus conocimientos astronómicos, y habilidades instrumentales, para aplicarlos en los trabajos geodésicos que con tanto acierto estaba ejecutando, junto al general Baeyer, en la red triangular de Prusia oriental. Su objetivo era claro: conectar las redes geodésicas de F. G. W. von Struve, al norte de Rusia y Finlandia, y las de C. F. von Tenner en el Sur de ese imperio, con las de Europa occidental y meridional. A fin de optimizar la observación de la red geodésica, adoptó Bessel una serie de precauciones que afectarían a los cálculos, como por ejemplo el relativo a la obtención de las latitudes de los vértices; por medio del teodolito de tránsito en lugar del sector circular que se había venido empleando hasta entonces. La resolución de los triángulos geodésicos resultó igualmente afectada, en tanto que consideró el conjunto de ellos como un todo que propiciaría la elección de una solución sencilla y única (por aplicación del método de los mínimos cuadrados), sin tener que dilucidar entre diferentes conclusiones, como venía sucediendo con la metodología convencional. Sus innovaciones alcanzaron también a la medición directa de las bases geodésicas, diseñando incluso una regla a tal efecto.

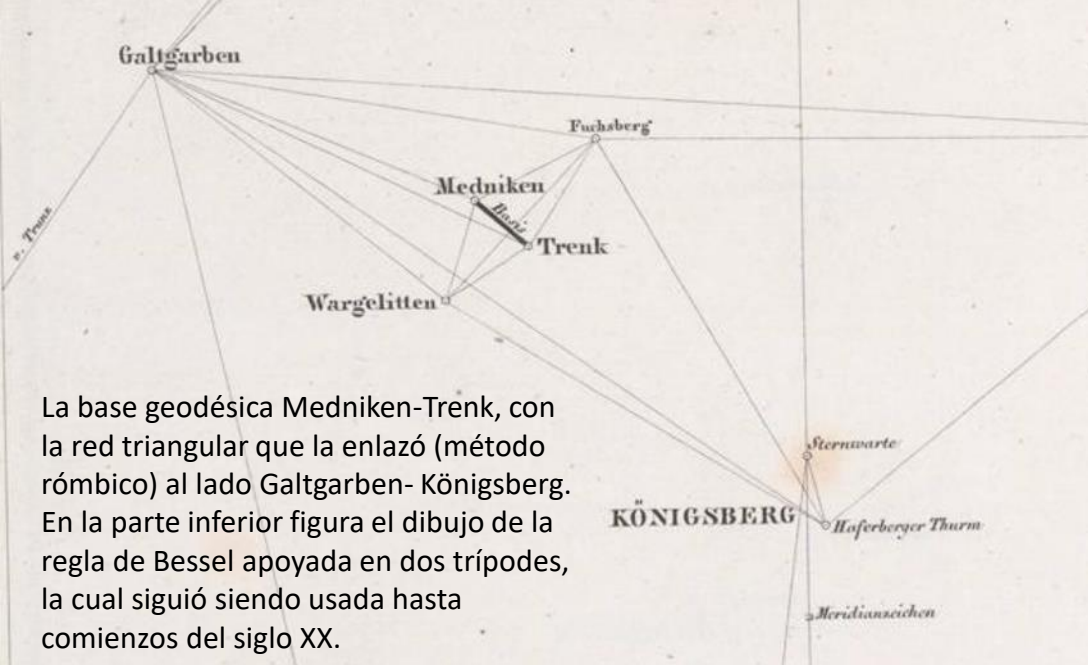


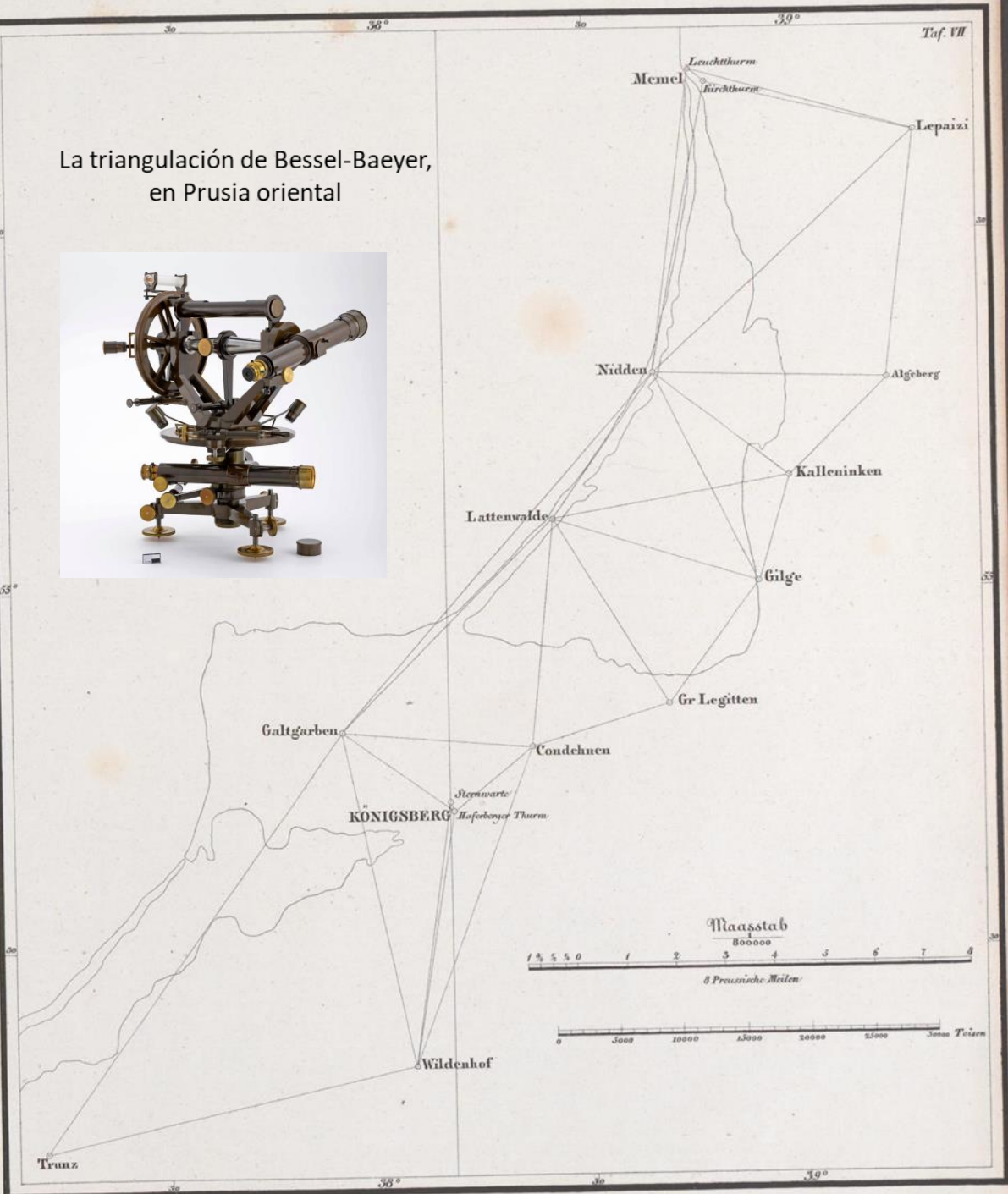
Fig. 16.



En la publicación del año 1838: *Gradmessung in Ostpreussen und ihre Verbindung mit Preussischen und Russischen Dreiecksketten* (La medida del grado en Prusia oriental y su enlace con las redes geodésicas de Prusia y Rusia), se dieron todos los detalles de la operación que llevaron a cabo Bessel y Baeyer. Se especificaron las características de los trece vértices que conformaron los catorce triángulos, establecidos entre Trunz (Milejevo en Polonia) y Wildenhof; a orillas del golfo Frisches Haff y abarcando unos 196 km. La base elegida, de 935 toesas, evidenció que Bessel no estaba sujeto a la tradición de proyectarlas con mayor longitud; para él la exactitud estaba ligada más al instrumento de medida y a un uso adecuado del mismo que a la longitud de la base.

Los extremos de la misma fueron Trenk y Medniken, invirtiéndose en su medida (agosto de 1834) un total cinco días, la medición se hizo en los dos sentidos; fijando su longitud en 934,993124 toesas, una vez reducida a nivel del mar. Sus dos extremos fueron monumentalizados mediante un cilindro de granito incrustado en cada uno de ellos. El instrumento empleado fue minuciosamente descrito en la memoria de la operación, indicando sus cuatro reglas metálicas de 2 toesas de largo, 12 líneas de ancho y 3 de espesor, fueron debidamente contrastadas con la toesa de Perú, señalando además que se habían tenido en cuenta las posibles deformaciones inducidas por los cambios de temperatura.

La triangulación de Bessel-Baeyer,
en Prusia oriental



Las observaciones angulares se efectuaron con un teodolito diseñado por Heinrich Christian Schumacher (1780-1850) y fabricado por Traugott Leberecht von Ertel (1778-1858) en Munich; los diámetros respectivos de los limbos horizontal y vertical fueron de 38 y 19 cm, la indeterminación en las lecturas fue del orden de 2 segundos de arco. Ocasionalmente se empleó un heliotropo de cobre pulido, con un diámetro de unos 21 cm, pudiendo divisarse la luz reflejada por el mismo desde distancias próximas a los 10 km; empleando para las mayores el instrumento homólogo diseñado por C.F. Gauss. El control astronómico del proceso se efectuó usando el anteojo de pasos transportable, ideado por el propio Bessel. La triangulación se compuso de catorce triángulos formados por un total de trece vértices. De tales triángulos, cabe destacar los tres centrados en el Observatorio de Königsberg; siendo Galtgarben, Condehneny y Wilddenhof los vértices periféricos.

El colofón geodésico de Bessel fue su propuesta de un modelo elipsoidal para la Tierra, deducido a partir de la medida de su propio arco (1° 30' 28".980); pero con la intervención imprescindible de los siguientes: Virreinato de Perú (3° 7' 3".4559, India (15° 15' 40".728), Francia (12° 22' 12".74), Inglaterra (2° 50' 23".497), Hannover (2° 0' 57".42), Dinamarca (1° 31' 53".306), Rusia (8° 2' 28".907) y Suecia (1° 37' 19".565). El número de estaciones astronómicas (Puntos de Laplace) involucradas en el proceso de cálculo fue 28. Bessel procuró minimizar las discrepancias entre la superficie de ese elipsoide de revolución y la real de la Tierra; a la vez que orientaba el modelo para mejorar la presentación de las medidas de arco involucradas. Los resultados los publicó el año 1837 en la prestigiosa revista científica *Astronomische Nachrichten*, proporcionando los valores de los ejes, el achatamiento y

los desarrollos de los arcos de meridiano y de paralelo, en función de la latitud. Lamentablemente cometió un error al calcular la distancia entre los vértices españoles de Mola y Montjuic, que fue descubierto por la Academia de Ciencias de París; una vez corregido publicó los resultados definitivos en el año 1841: semieje ecuatorial (6377.397155 km) , aplastamiento (1/299.1528). Este modelo elipsoidal fue usado durante más de un siglo, como soporte de los cálculos cartográficos en numerosos países.

Astronomische Nachrichten (1841): *Ueber einen Fehler in der Berechnung der französischen Gradmessung und seinen Einfluß auf die Bestimmung der Figur der Erde*. Corrección del error observado en el cálculo del desarrollo del arco francés y su influencia en la determinación de la figura de la Tierra.

ASTRONOMISCHE NACHRICHTEN.

N^o. 438.

Ueber einen Fehler in der Berechnung der französischen Gradmessung und seinen Einfluß auf die Bestimmung der Figur der Erde.

Von Herrn Geheimen Rath und Ritter Bessel.

En den *Comptes rendus hebdom. des séances de l'Acad. des Sciences* vom 21^{ten} Juni 1841 findet sich der Bericht einer, aus den Herren *Mathieu*, *Daussy* und *Largeteau* zusammengesetzten Commission, über einen Fehler der Berechnungsart, welche im Jahre 1808 angewandt worden ist, um die Entfernung der Parallelen von *Montjony* und *Mola* (auf Formentera) aus den Beobachtungen abzuleiten, welche die Herren *Biot* und *Arago*, zur Bestimmung derselben gemacht und in ihrem 1821 erschienenen Werke „*Recueil d'Observations géodésiques etc.*“ mitgetheilt haben. Diese fehlerhafte Berechnungsart wurde von einer früheren, mit der Berechnung der Beobachtungen beauftragten Commission der Akademie befolgt; die Herren *Biot* und *Arago* selbst scheinen das Resultat ihrer Arbeit nicht gesucht zu haben. Herr *Puissant* hat das Verdienst, die Unrichtigkeit des Resultats der früheren Commission zur Sprache gebracht zu haben.

Die Entfernung der Parallelen von *Montjony* und *Mola*, welche früher = 153605777 angegeben war, wird gegenwärtig

von Herrn <i>Mathieu</i>	= 153672739
<i>Largeteau</i>	4,48
<i>Daussy</i>	5,66
<i>Puissant</i>	4,01

also von 66762 bis 69789 größer als früher gefunden. Würde dieser Fehler nicht begangen, so würde die Länge des *Meters*, deren Bestimmung die nähere Veranlassung der großen, als

dieser Art, welches ich Nr. 333 der *Astr. Nachr.* bekannt gemacht habe, durch Berücksichtigung des Fehlers zu verbessern.

Da die angeführten vier neuen Rechnungsresultate innerhalb weniger Toisen übereinstimmen, und selbst der Unterschied der beiden äußersten unter ihnen keinen Einfluß auf die Bestimmung der Axen des Erdsphäroids erlangt, welcher nicht viel kleiner wäre als die von den Unregelmäßigkeiten der Erdoberfläche selbst, von den Beobachtungsfehlern und wahrscheinlich auch von kleinen Unvollkommenheiten der Berechnung einer oder der anderen Gradmessung erzeugte Unsicherheit, so könnte man wohl eins dieser vier Resultate, oder das arithmetische Mittel aller vier, zur Grundlage einer neuen Untersuchung der Figur und Größe der Erde machen. Ich habe aber geglaubt, bis zu den in dem Werke der Herren *Biot* und *Arago* enthaltenen Beobachtungen selbst zurückgehen, als den vier Resultaten noch ein fünftes hinzufügen zu müssen.

In dem eben angeführten Werke (p. 179 etc.) finden sich zwei Werthe der Winkel mehrerer Dreiecke angegeben; nämlich die Werthe, welche die frühere Commission angenommen hat und die, welche die Beobachter selbst für die wahrscheinlichsten halten. Die ersteren sind in den Rechnungen der Herren *Daussy* und *Largeteau*, die letzteren in der Rechnung des Herrn *Mathieu* angewandt worden. Diese doppelten Werthe der Winkel sind aus dem Vorhandensein von mehr Beob-

Nicolas Bion (1652-1733)



Notable cosmógrafo y mejor constructor de toda clase de instrumentos matemáticos: astrolabios, cuadrantes, esferas armilares, globos terrestres y celestes, relojes de Sol, sectores , etc. Montó su taller en la calle parisina de L'Horloge. La fiabilidad y buena presentación de sus instrumentos hizo que cobrara fama, hasta el extremo de ser recompensado con el título de *Ingénieur du Roy pour les Instruments de mathématique*.



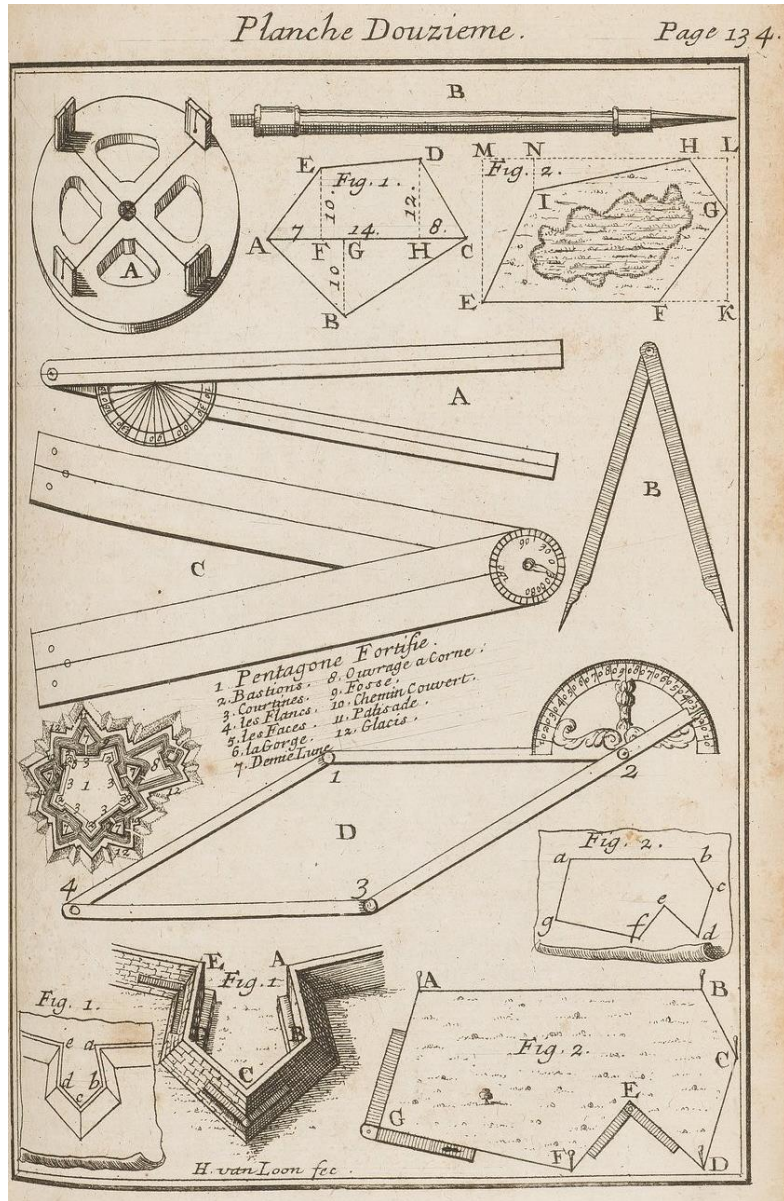
Esfera armilar heliocéntrica, llamada de Copérnico (S.XVIII).

Bion fue un autor prolífico, con tratados bien estructurados didácticamente: en los que no faltaban los fundamentos teóricos de la materia. No obstante, eran de carácter eminentemente práctico, iluminados con cuidadas representaciones de los instrumentos correspondientes. Dos son los manuales que se han seleccionado para su presentación: 1) *Traité de la Construction et des Principaux usages des Instruments de Mathématique, avec les figures nécessaires pour l'intelligence de ce Traité* (1709). 2) *L'usage des globes célestes et terrestres et des sphères suivant les différents systèmes du monde, précédé d'un traité de cosmographie* (1699).

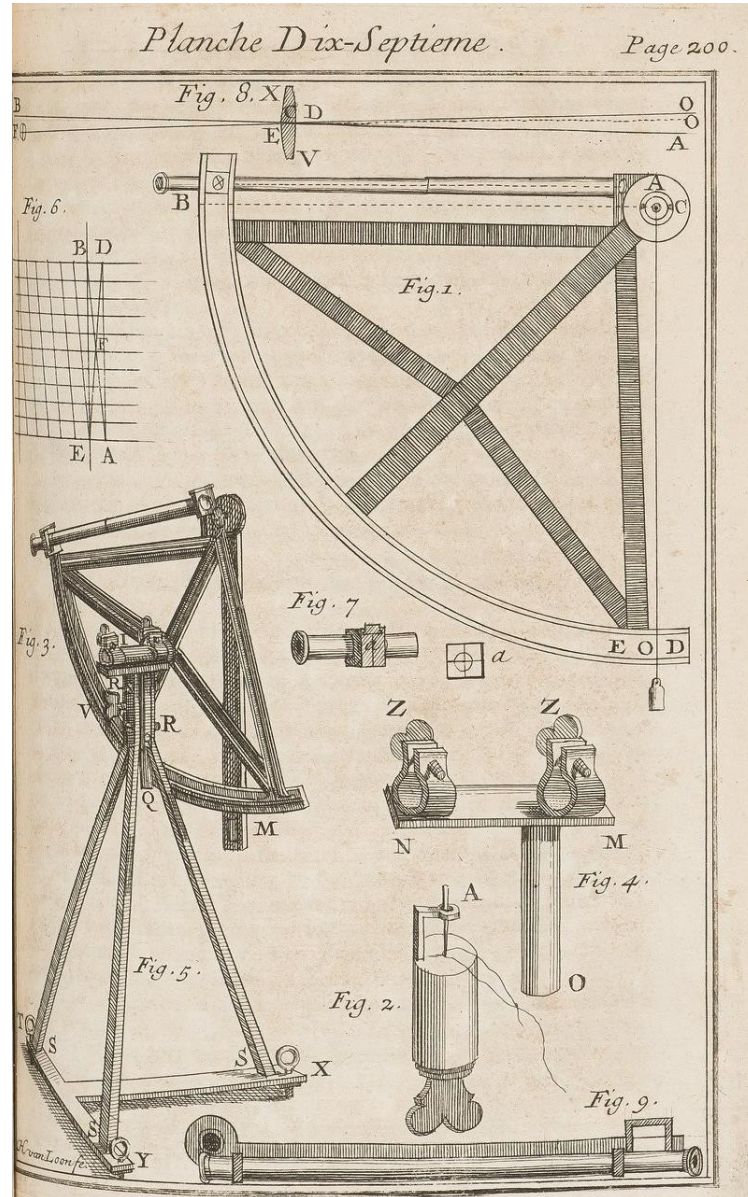


El primer tratado, dividido en ocho libros, fue aprobado por Philippe de La Hire, en su condición de Profesor Real de Matemática y de la Academia de Ciencias. Cada uno de ellos se subdividió en secciones, de acuerdo con los contenidos siguientes: I) dedicado a los instrumentos de dibujo; II) centrado en la geometría y en el compás de proporción; III) versó sobre la construcción y uso del compás, y otros instrumentos matemáticos; IV) trató de instrumentos topográficos como la toesa, la plancheta, los cuartos de círculo y la brújula; V) se abordó la nivelación; VI) estudio de la manera de observar los astros, incluyendo la construcción y uso de una máquina que mostraba los eclipses de Sol y de Luna; VII) resumen de los instrumentos propios de la náutica y VIII) detallado estudio de la gnomónica, indicándose también la construcción de un reloj de agua.

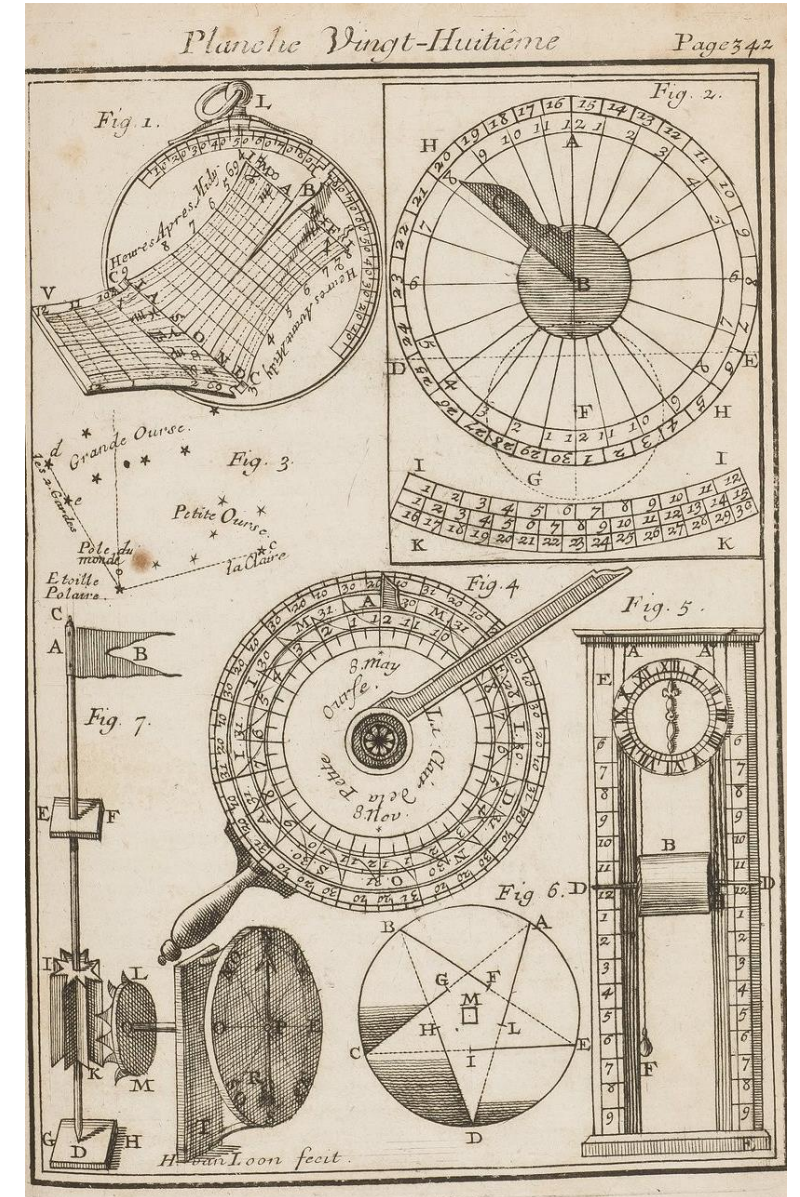
ILUSTRACIONES DEL TRATADO DE LA CONSTRUCCIÓN Y PRINCIPALES USOS DE LOS INSTRUMENTOS DE LA MATEMÁTICA



Libro IV



Libro VI



Libro VIII

El segundo tratado de Bion, prueba palpable de sus elevados conocimientos astronómicos y geográficos, se dividió en los tres libros siguientes: I) El primer libro de la esfera del mundo, II) Libro de la Geografía y III) Sobre el uso de la esfera y de los globos celestes y terrestres. el primer libro se subdividió en dieciséis capítulos, dedicándose los primeros a los modelos astronómicos de Tolomeo, Copérnico y Tycho Brahe, para abordar después las definiciones de los diversos elementos geométricos de la esfera celeste. En los siguientes capítulos, además de referirse a la esfera de las fijas, se estudiaron los planetas, los eclipses de Sol y de Luna, así como los cometas;

L'USAGE
DES GLOBES
CÉLESTE ET TERRESTRE,
ET
DES SPHERES
SUIVANT LES DIFFÉRENS SYSTÈMES
DU MONDE.

Précédé d'un Traité de Cosmographie,

Où est expliqué avec ordre tout ce qu'il y a de plus curieux dans la description de l'Univers, suivant les Mémoires & Observations des plus habiles Astronomes & Géographes.

ACCOMPAGNÉ DES FIGURES NECESSAIRES.

DEDIE' AU RÔY.

Sixième Edition, revue, & corrigée.

Par le Sieur N. BION, Ingénieur du Roi pour les Instrumens de Mathématique, sur le Quai de l'Horloge du Palais, au Soleil d'or, où l'on trouve des Spheres & des Globes de toutes façons.



A PARIS,

Chez { JACQUES GUERIN, Imprimeur de Mefdames, rue du Foin.
Et NYON fils, à l'Occasion, Quai des Augustins.

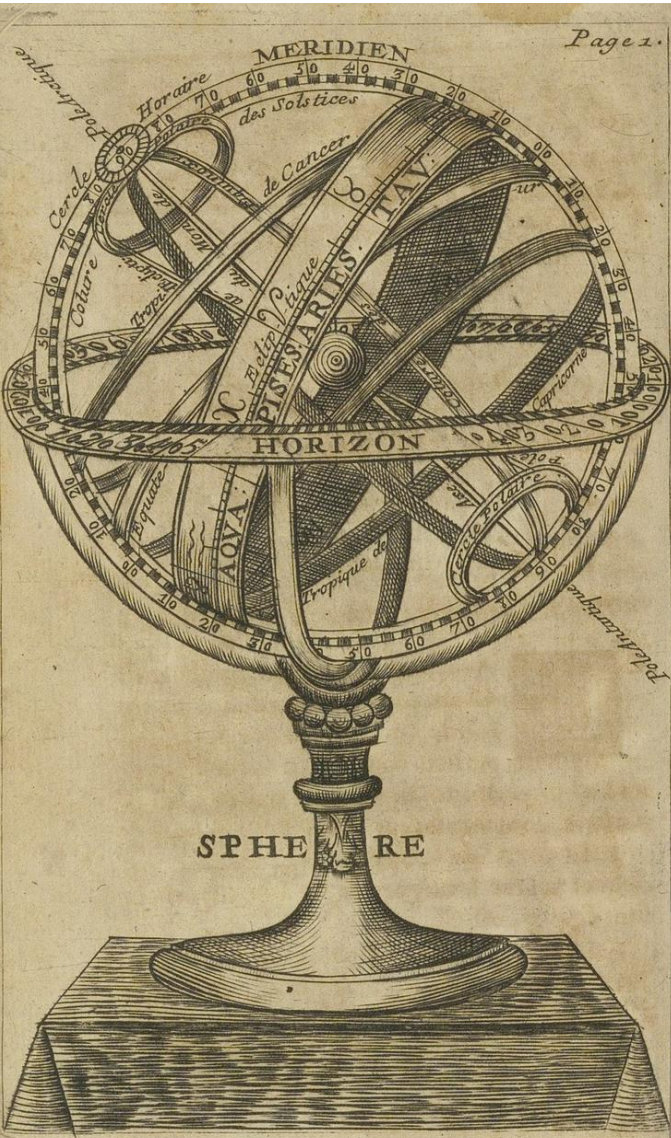
M. DCC. LI.

Avec Approbation & Privilège du Roy.

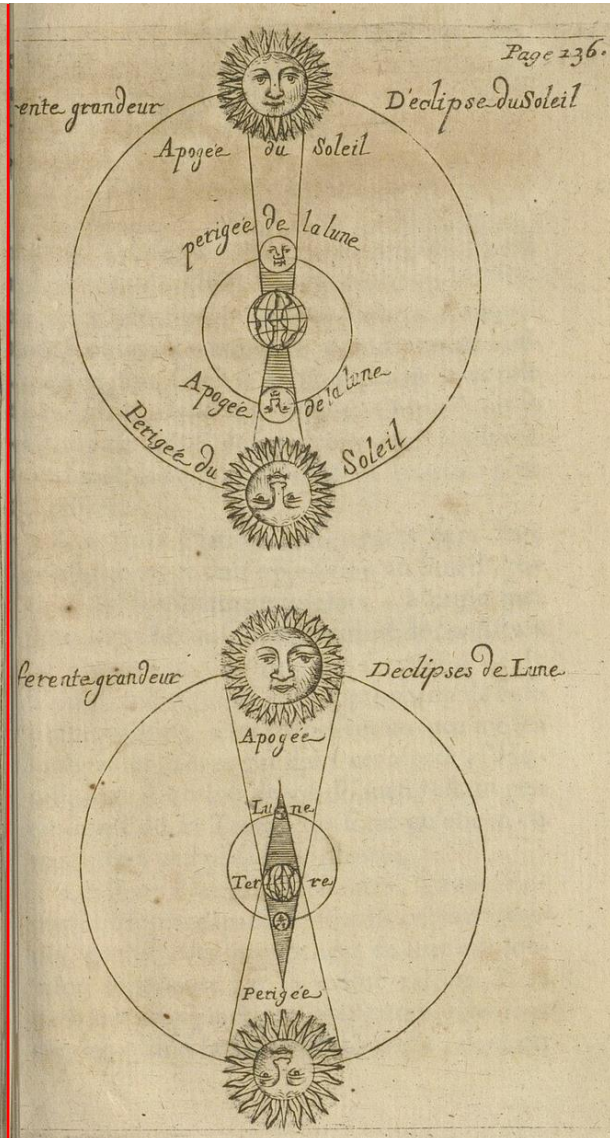
concluyendo los dos últimos con el estudio del calendario y su reforma, amén de la rotación diurna y anual de la Tierra. El libro II se subdividió en dos partes: A) Aplicaciones de la Esfera a la Geografía, B) Descripción de la Superficie de la Tierra y C) Hidrografía. El libro III se subdividió en seis capítulos, dedicándose los tres primeros a cuestiones esencialmente cartográficas: trazado de los husos y mapas. En los últimos se explicaron los usos de los relojes solares y el de la esfera armilar; además de otros problemas relativos al calendario.

← Numerosas veces reeditado

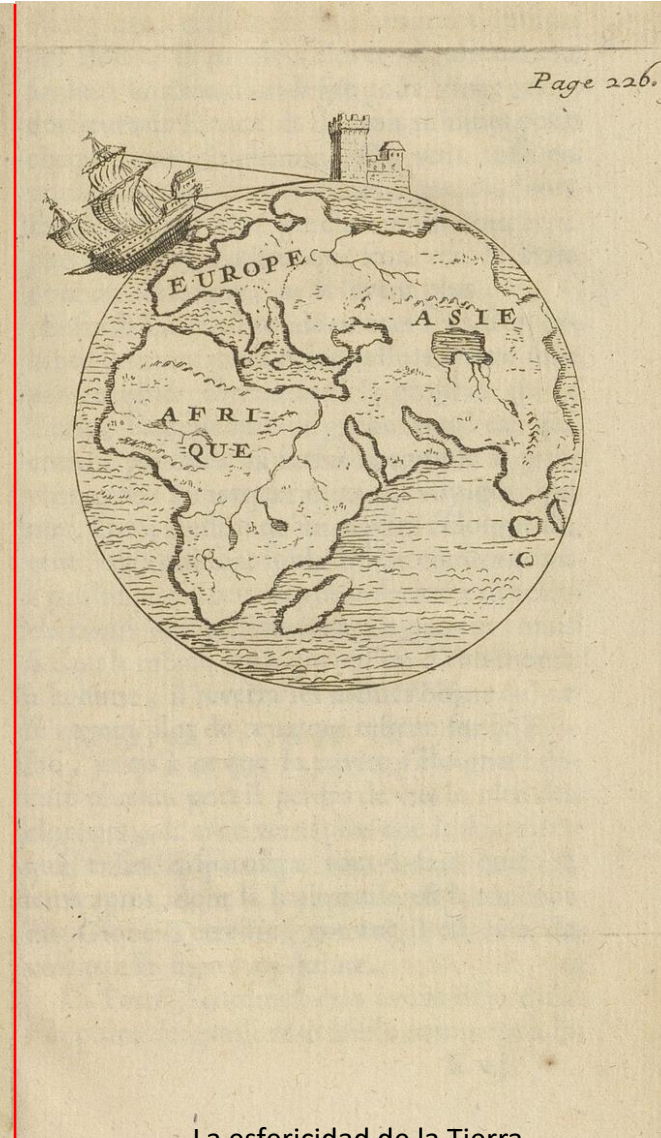
ILUSTRACIONES DEL TRATADO SOBRE EL USO DE LOS GLOBOS CELESTES Y TERRESTRES



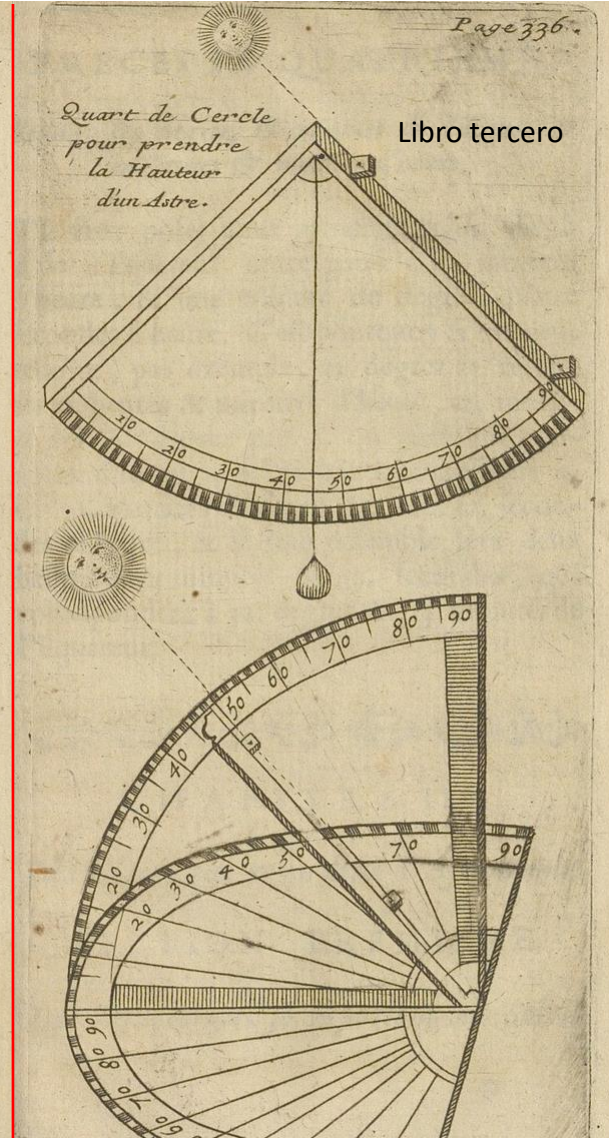
Previa al texto



Libro primero



La esfericidad de la Tierra
Libro segundo



Libro tercero

Instrument pour observer en même temps l'Azimut et la Hauteur d'un Astre.

Jean Baptiste Biot (1774-1862)

Eminente astrónomo, físico, geodesta, *ingénieur des ponts et chaussées* y matemático, fue, junto a Joseph-Louis Gay-Lussac (1778- 1850), el primero en hacer un experimento meteorológico a unos cuatro kilómetros por encima de la superficie terrestre; una altitud que alcanzaron a bordo de un globo aerostático que ascendió el día 24 de agosto de 1804 desde los jardines del *Conservatoire National des Arts et Métiers* midiendo las propiedades magnéticas, eléctricas y químicas de la atmósfera en distintos puntos de su vertical. Biot, que había sido alumno aventajado de P. Laplace, ya era en el momento de la ascensión catedrático de Física matemática en el Colegio de Francia (1801); como lo sería de Astronomía en la Facultad de Ciencias de París, en el año 1809.

Otra de sus colaboraciones más señaladas en la historia de la ciencia fue la que tuvo con F. Arago, un brillante estudiante de la Escuela Politécnica; a raíz de que ambos fuesen comisionados en el año 1804, por el Bureau des Longitudes, para prolongar hacia el Sur el meridano de Francia. A esos efectos se instalaron en el Observatorio de París, durante año y medio, para familiarizarse con toda la casuística de la triangulación geodésica a lo largo del meridiano; con un doble objetivo, geométrico y físico: medida de su desarrollo en función de la latitud y de la longitud del péndulo que bate segundos, para hallar el valor de la gravedad y contribuir así a un mayor conocimiento de la figura de la Tierra.



El viaje a España lo emprendieron desde París, a primeros del mes de septiembre del año 1806, junto al representante español José Rodríguez González, el cual se encontraba en Francia ampliando sus conocimientos matemáticos. La Memoria de aquella operación geodésica se incluyó en la publicación: *Recueil d'observations géodésiques, astronomiques et physiques / exécutées par ordre du Bureau des Longitudes de France en Espagne, en France, en Angleterre et en Écosse, pur déterminer la variation de la pesanteur et des degrés terrestres sur le prolongement du Méridien de Paris, faisant suite au troisième volumen de la Base du Système métrique.*

En esta obra monumental se especifican las fechas en que se hicieron las observaciones de cada vértice de la red triangular, figurando además los operadores responsables, incluidos los españoles Chaix y Rodríguez. Ella y otras tres escritas por Delambre, son los cuatro tomos de que consta la colección del Sistema Métrico Decimal. Biot mostraba su satisfacción y ensalzaba la importancia del nuevo patrón lineal, en tanto que sus divisores serían de aplicación en la agrimensura y sus múltiplos en la evaluación de los espacios celestes. Por otro lado, hizo constar que habían establecido con los dos españoles una relación de estima y amistad inalterables; que supieron conservar en las circunstancias más adversas.

RECUEIL D'OBSERVATIONS GÉODÉSIQUES,

ASTRONOMIQUES ET PHYSIQUES,

EXÉCUTÉES

PAR ORDRE DU BUREAU DES LONGITUDES DE FRANCE,

EN ESPAGNE, EN FRANCE, EN ANGLETERRE ET EN ÉCOSSE,

Pour déterminer la variation de la pesanteur et des degrés terrestres sur le prolongement du Méridien de Paris, faisant suite au troisième volume de la Base du Système métrique ;

RÉDIGÉ

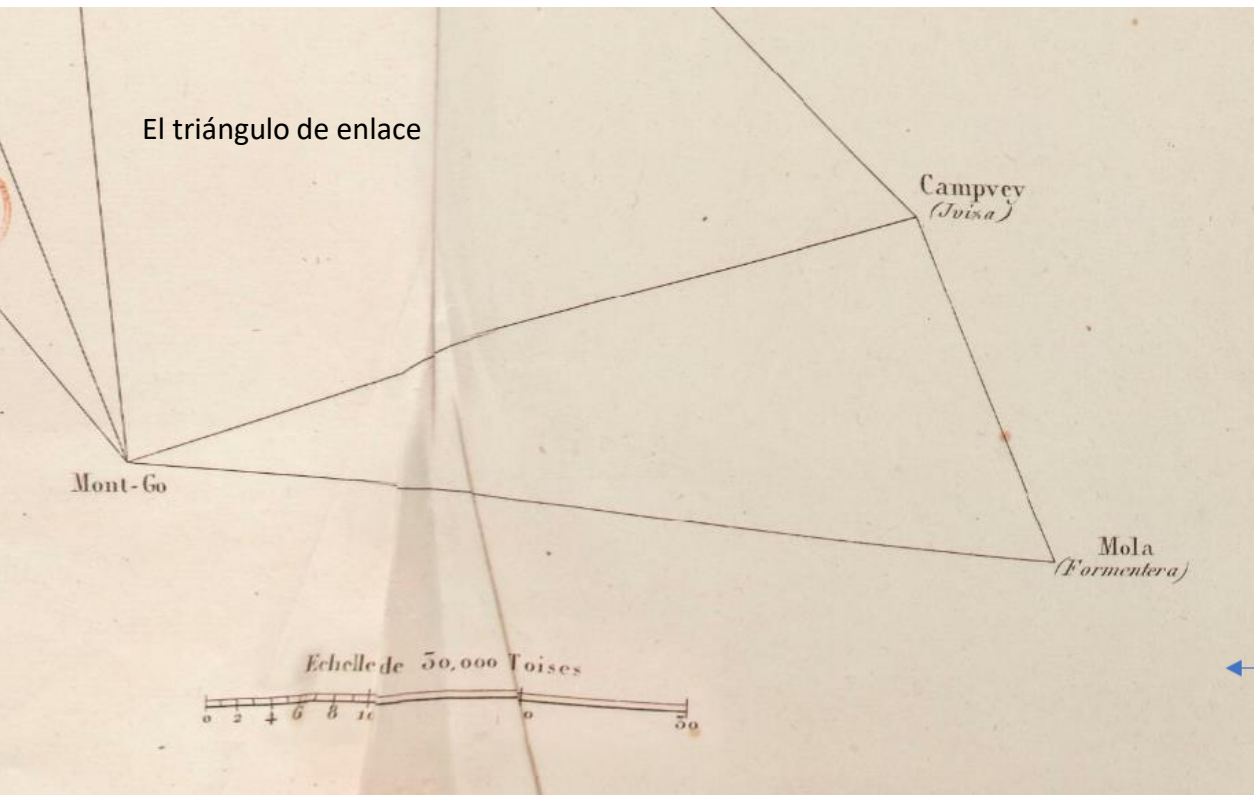
PAR MM. BIOT ET ARAGO,

Membres de l'Académie des Sciences, Astronomes adjoints du Bureau des Longitudes, etc.



PARIS,
M^{me} V^e COURCIER, LIBRAIRE POUR LES SCIENCES,
RUE DU JARDINET, N^o 12.

1821.



Siendo incuestionable que esta expedición científica para prolongar un arco de meridiano, comandada por Arago y Biot, marcó un hito relevante en el estudio del tamaño de la Tierra, es igual de relevante la que llevó a cabo el segundo, algunos años después, en la Isla de Formentera; contando en este caso contó con la compañía de su único hijo, el ingeniero Edouard Constant. La operación fue entonces exclusivamente gravimétrica, en tanto que se midió la longitud del péndulo que batía segundos; contribuyendo así a mejorar el conocimiento que se tenía sobre el aplastamiento polar. Los pormenores de la misma fueron igualmente recogidos en la memoria anterior, con el resultado siguiente:

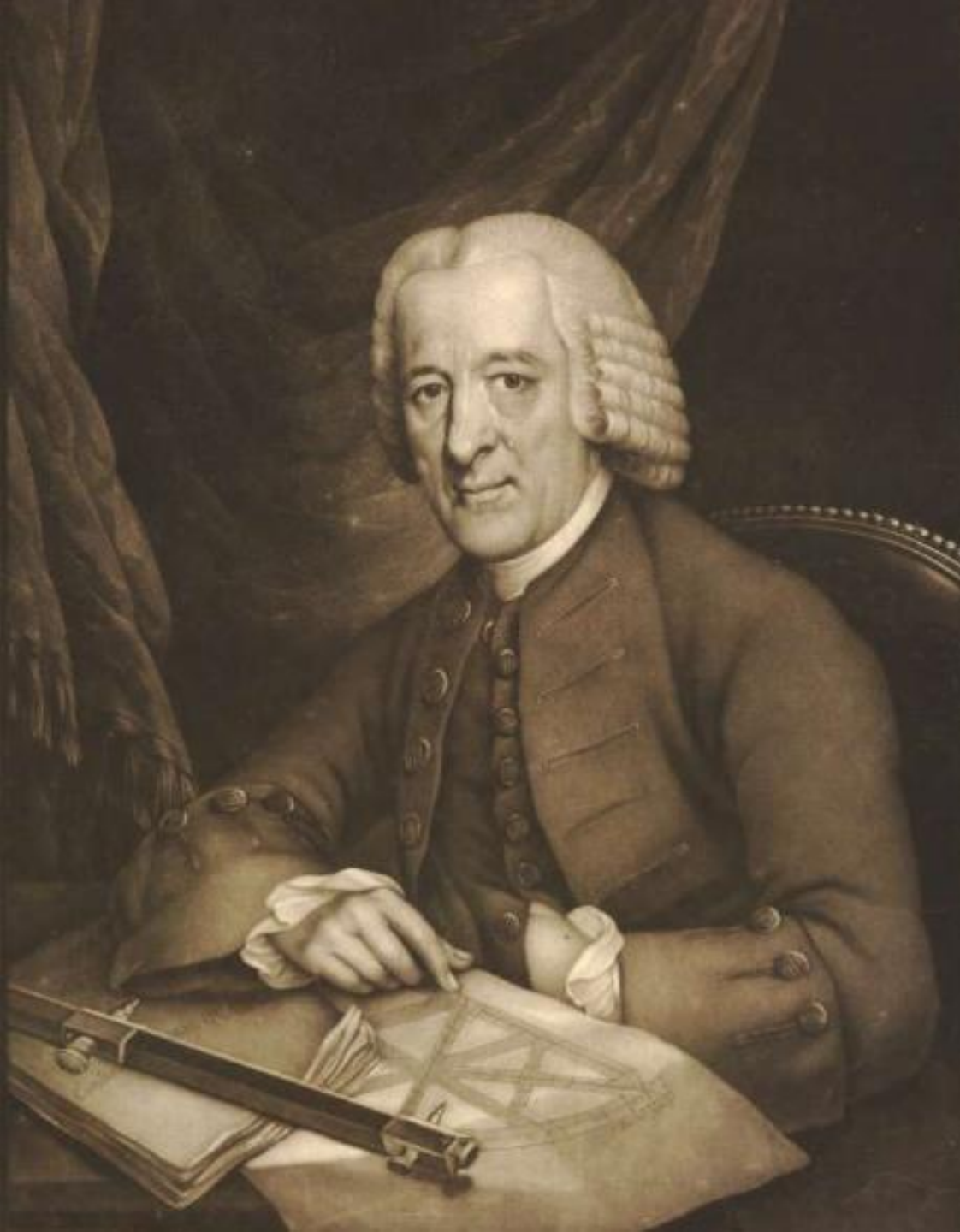
Latitud	Longitud observada	Longitud corregida
38° 39' 56''	993 ^{mm} .006385	993 ^{mm} .0696597

MÉMOIRE
SUR
LA FIGURE DE LA TERRE.
PAR M. BIOT.

Lu à l'Académie des Sciences, le 5 décembre 1827.

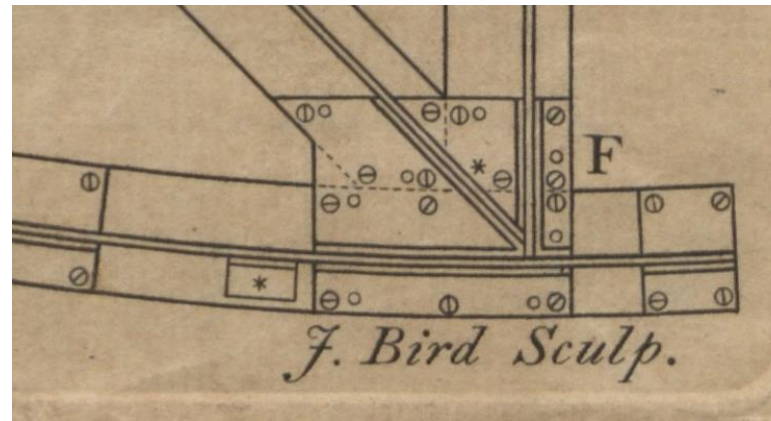
Las observaciones gravimétricas de Biot, padre e hijo, fueron también recogidas en la Memoria presentada a la Academia de Ciencias el 5 de diciembre de 1827. Quizás fuese el matemático granadino José mariano Vallejo el primero en haberla traducido parcialmente al español, para incluir una reseña en a tercera edición de su Compendio de Matemáticas (1835). Vallejo, que probablemente coincidiría con Biot durante su periodo de formación en París, lo responsabiliza de la siguiente reflexión: «Todos los métodos están conformes y dan a conocer indudablemente, que la Tierra tiene una forma aplanada por los polos y como hinchada o inflada hacia el

ecuador, conforme a lo que la analogía indica para el equilibrio de una masa fluida que gira alrededor de un eje, y que en todas sus partes se atraen mutuamente. Pero, que, cuando se quiere ir más allá, y asimilar el esferoide a alguna forma simple, por ejemplo al elipsoide, se descubren irregularidades muy sensibles que no se pueden atribuir a los errores de las observaciones. Cuando se examina de este modo el arco del meridiano que se extiende desde Greenwich a Formentera, las porciones sucesivas de este arco, consideradas yendo de Norte a Sur, dan decrementos de grados que no guardan absolutamente ninguna ley, ya hacia el grado 46 en particular ofrecen una enorme anomalía. Pero, si el meridiano terrestre fuera elíptico, la latitud media de este mismo arco es tal, que en toda su extensión el decremento sucesivo de los grados debería ser sensiblemente constante...combinando los valores medios de los grados medidos a latitudes muy distantes, y sujetándolos solo a las relaciones elípticas se puede deducir el aplanamiento del esferoide, que se ha encontrado así poco diferente de $1/309$ ».



John Bird (1709-1776)

Destacado constructor de instrumentos matemáticos, con tal fiabilidad, que acabó perteneciendo al selecto grupo de Philosophical Instruments makers. Gozó de una envidiable reputación en su época, aunque su reconocimiento se fue diluyendo pronto en beneficio de otros constructores de menor prestigio, hoy día se achaca esa circunstancia a que la mayoría de sus encargos fuesen institucionales. Inicialmente fue un relojero preocupado por la escasa certidumbre de las divisiones del dial, lo cual acabaría convirtiéndolo en uno de los más destacados especialistas en la división de los limbos goniométricos, corriendo el año 1740. En ese mismo año se trasladó a Londres, donde conoció a George Graham (1673-1751) el cual le ayudó a que montase su propio taller en 1745.



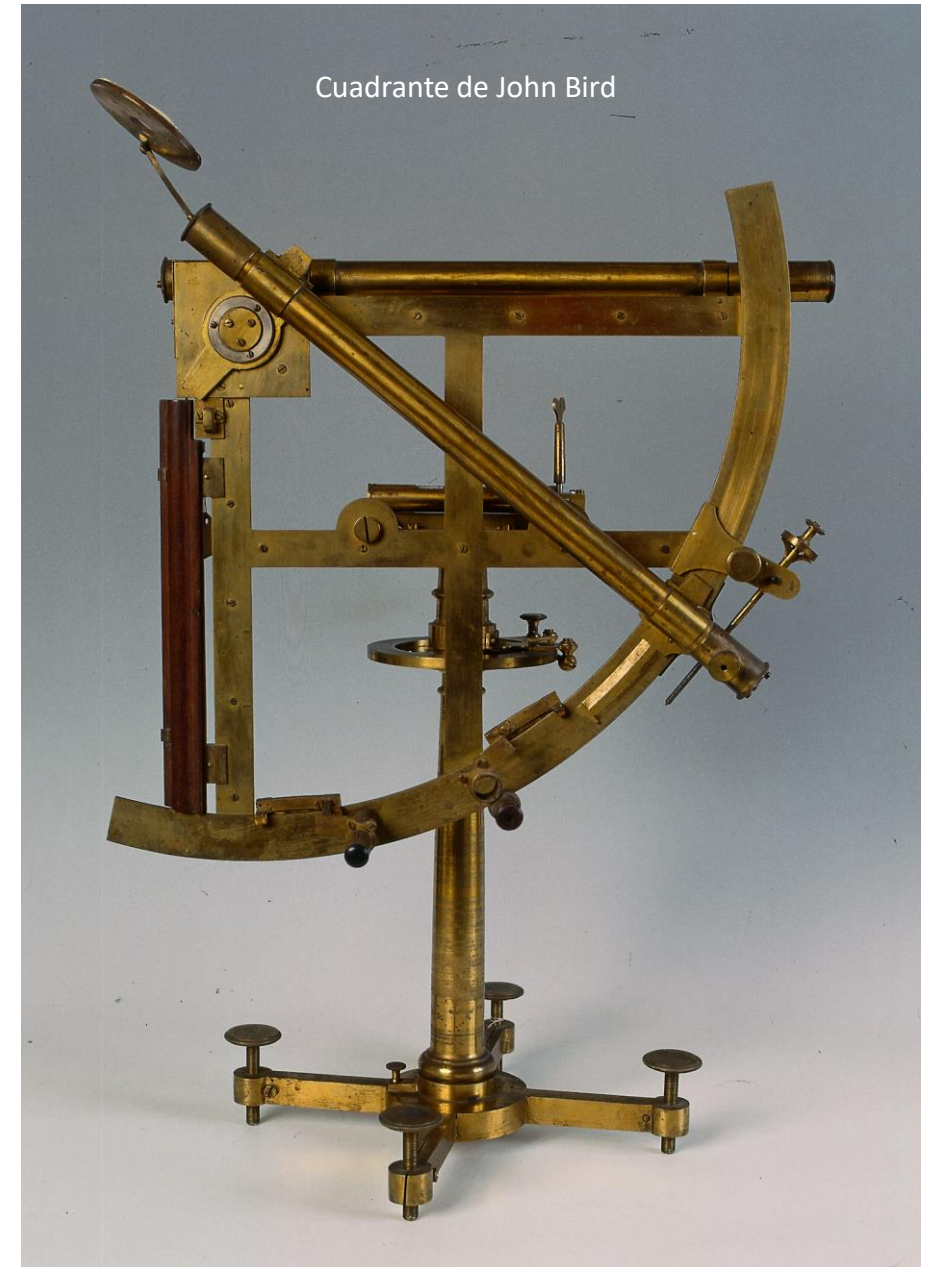
Detalle del limbo de un cuadrante, con la firma de J.Bird.

Estatua del Atlas en la cubierta del Observatorio Radcliffe



El prestigio que alcanzó fue tan considerable que el astrónomo J. Bradley le encargó un cuadrante móvil de latón para el Real Observatorio de Greenwich, cuarenta pulgadas de radio; el cual le fue entregado tres años después. Las prestaciones del instrumento fueron tales que Bird recibió encargos similares de instituciones tales como el Observatorio de París y el de San Fernando (Cádiz). Capítulo aparte fueron sus imponentes cuadrantes murales, como el de 2.5 m (Academia de Ciencias de San Petersburgo), el de 1.8 m (Universidad de Göttingen), y los dos de 2.5 m para el Observatorio Radcliffe en Oxford.

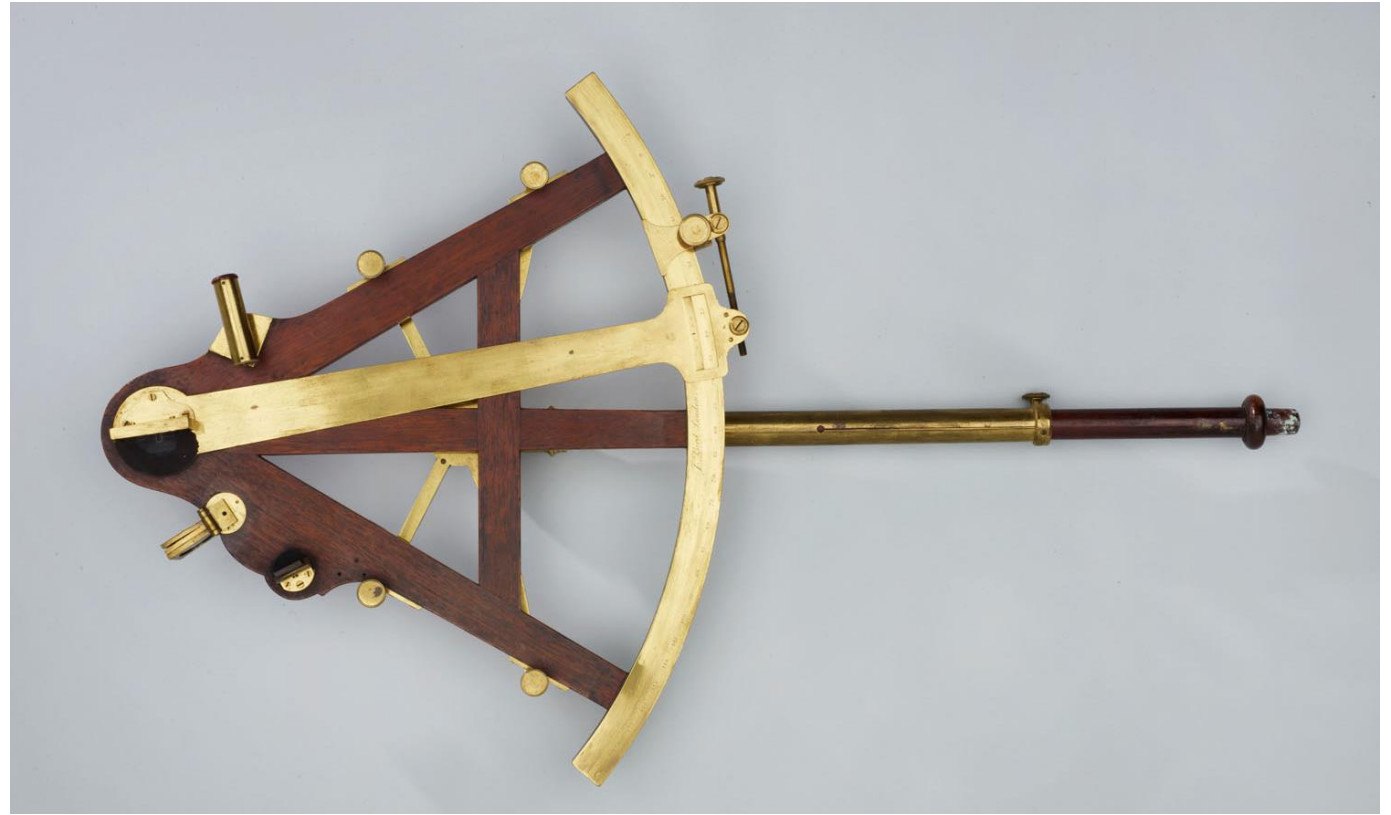
Cuadrante de John Bird



Cuadrante mural de John Bird. *History of Science Museum, Oxford.*



Sextante creado por John Bird en 1770



Simultáneamente, Bird se dedicó a la producción comercial de telescopios reflectores, barómetros, termómetros, octantes e instrumentos de dibujo. Otras de sus actividades más sobresalientes estuvieron relacionadas con Junta de Longitud (*Board of Longitude*): la fabricación puntual de instrumentos relacionados con las pruebas del cronómetro de J. Harrison, labores de consultoría, y sobre todo su participación en la construcción del sextante. Un instrumento que supuso un hito fundamental para el desarrollo de la navegación astronómica, con especial incidencia en la búsqueda de la longitud en el mar y en la mejora del método de las distancias lunares. Animado por los encargos de la Junta, escribió los dos libros siguientes: *The Method of Dividing Mathematical Instruments* (1767) y *The Method of Constructing Mural Quadrants* (1768); siendo ambos prologados por el astrónomo real N. Maskelyne.

THE
M E T H O D

OF

Dividing ASTRONOMICAL INSTRUMENTS.

By Mr. JOHN BIRD,
MATHEMATICAL INSTRUMENT-MAKER, in
the STRAND.

Published by ORDER of the
COMMISSIONERS of LONGITUDE.

L O N D O N,
Sold by JOHN NOURSE, in the Strand; and Mess. MOUNT
and PAGE, Tower-Hill.
MDCCLXVII.

THE
M E T H O D
OF

Constructing MURAL QUADRANTS.

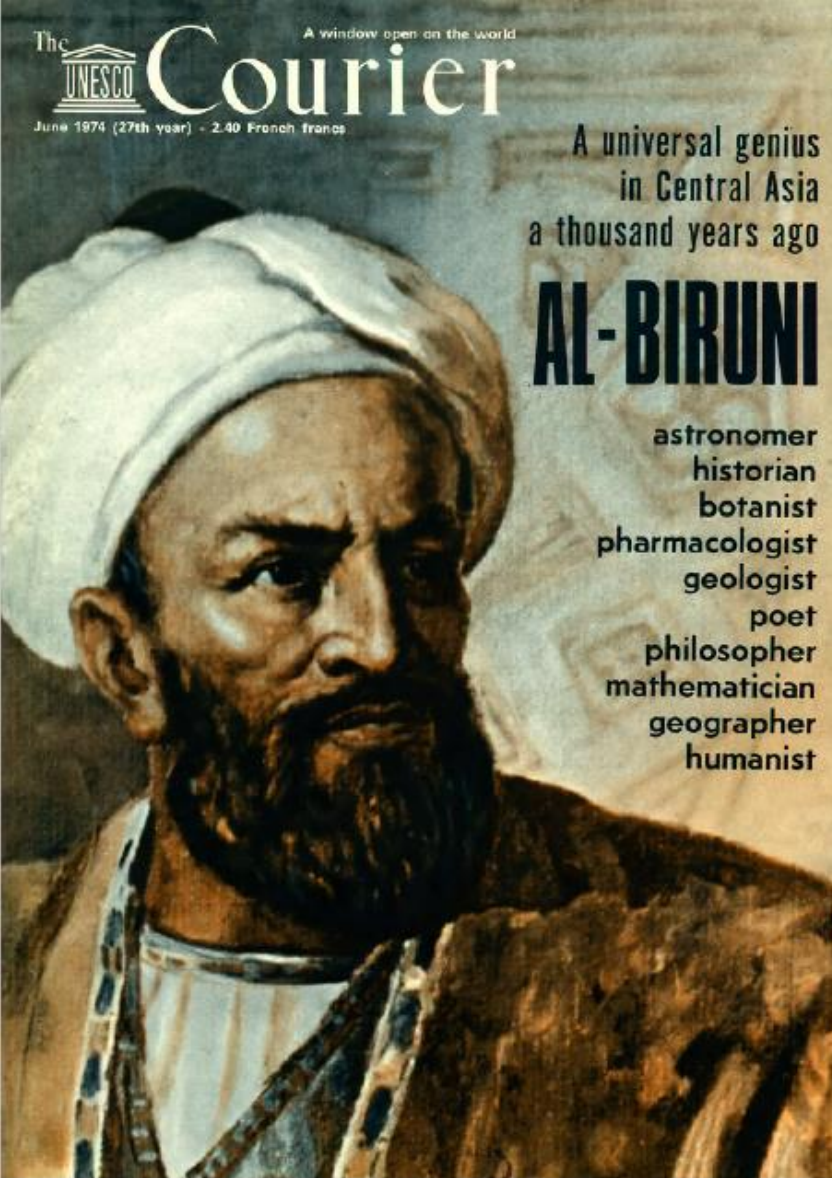
EXEMPLIFIED

By a Description of the BRASS MURAL QUADRANT
in the Royal Observatory at Greenwich.

By Mr. JOHN BIRD,
MATHEMATICAL INSTRUMENT-MAKER
in the STRAND.

Published by ORDER of the
COMMISSIONERS of LONGITUDE.

L O N D O N:
Printed by W. RICHARDSON and S. CLARK;
AND
Sold by JOHN NOURSE, in the Strand; and Mess. MOUNT
and PAGE, Tower-Hill.
MDCCLXVIII.



Al-Biruni (973-1050)

Nacido junto al Mar de Aral, este sabio musulmán adquirió en su juventud conocimientos cosmográficos que le permitieron escribir, con poco más de veinte años, una obra cartográfica en la que ideó su propia proyección y analizó las pretéritas, dibujando incluso un mapamundi (que quizás influyera en el que luego dibujaría al Idrisi).

Los avatares políticos de la región hicieron que llevase una vida azarosa, que le hizo residir temporalmente en Teherán, él mismo contaba que cuando vivía en la pobreza conoció al astrónomo al-Khujandi (940-1000); el cual había construido un gran instrumento con el que observar los tránsitos meridianos del Sol durante los

Uno de los planisferios más antiguos de al-Biruni (635/1238).
The British Library Board, London. Ms. Or. 8349, fol. 58a. .



solsticios. Al parecer calculó la oblicuidad de la eclíptica, basándose en las observaciones efectuadas durante los solsticios de verano y de invierno del año 994.

Afortunadamente se conocen datos concretos en la biografía de al-Biruni, gracias a sus descripciones de fenómenos astronómicos, como la que hizo del eclipse de Luna del 24 de mayo de 997; el cual observó cuando ya había regresado a Kath (Corasmia), su país de origen. Como el eclipse también fue visible desde Bagdad, al-Biruni se puso de acuerdo con Abul' -Wafa, para hallar la diferencia entre las horas de observación y determinar el incremento de longitud entre ambas. Otros de los eclipses de luna que observó, desde Gorgán, tuvieron lugar el 19 de febrero y el 14 de agosto del año 1003. El 4 de junio de 1004, observó otro eclipse lunar desde Jurjaniyya, lo que indica que ya estaba de regreso. En ese año fue reconocido su trabajo por el califa al-Mamún, con cuyo patrocinio pudo construir un instrumento para observar quince culminaciones del Sol en esa ciudad; una operación que efectuó entre los días 7 de junio y 7 de diciembre de 1016.

Descripción medieval de un eclipse lunar



Escena de una película sobre al-Biruni: en la que este discute con su asistente, acerca de la altura del Sol marcada por el cuadrante, con la que hallaron la latitud del lugar

Según sus propias referencias, el 8 de abril de 1019 observó un eclipse de Sol, al Norte de Kabul, : «... al amanecer vimos que aproximadamente un tercio del sol estaba eclipsado y que el eclipse estaba menguando». Entre 1018 y 1020, con la ayuda del califato, al-Biruni pudo determinar la latitud de Gazni con certidumbre. Desde allí realizó otras observaciones astronómicas, como la del eclipse de Luna del 17 de septiembre del año 1019 y la altura de varias estrellas en el instante del primer contacto. El astrónomo acompañó a las tropas del califa cuando invadieron la India, aprovechando su estancia allí para calcular las latitudes de once lugares en el entorno del Punjab y la frontera de Cahemira; aunque lo más relevante fuesen los estudios que realizó, vaciados luego en su obra enciclopédica *Tahqīq mā li-l-Hind min maqūlah maqbūlah fī al-‘aql aw mardhūlah* (cuya versión libre podría ser *Verificando todo lo que cuentan los indios, lo razonable y lo irrazonable*). No obstante, escribió también otros tratados en los que analizaba el desarrollo de la astronomía y las matemáticas en aquel país.



Monumento a Al-Biruni en Gazni, su ciudad natal

أخرها المتكامل في الأجزاء
 تصنيف الشيخ أبي الزمان
 محمد بن أحمد البيروني
 رحمه الله

THE EXHAUSTIVE TREATISE ON SHADOWS

by

Abu al-Rayhān Muḥammad b. Aḥmad al-Bīrūnī

Translation & Commentary

by

E. S. KENNEDY

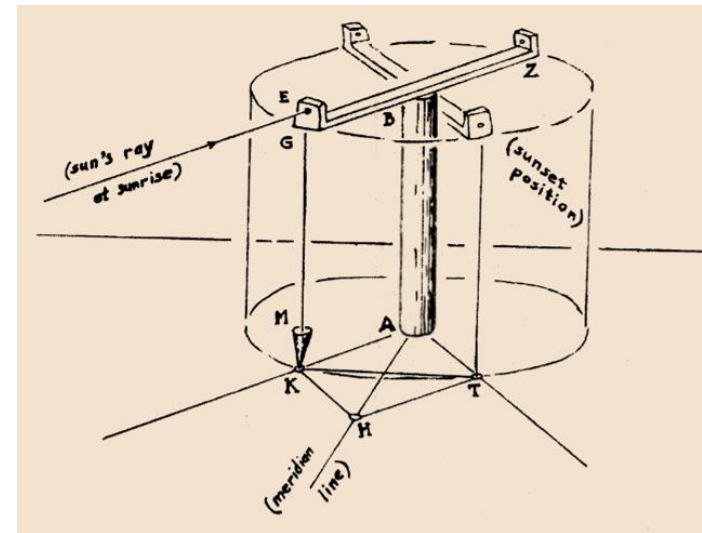
Volume I

TRANSLATION

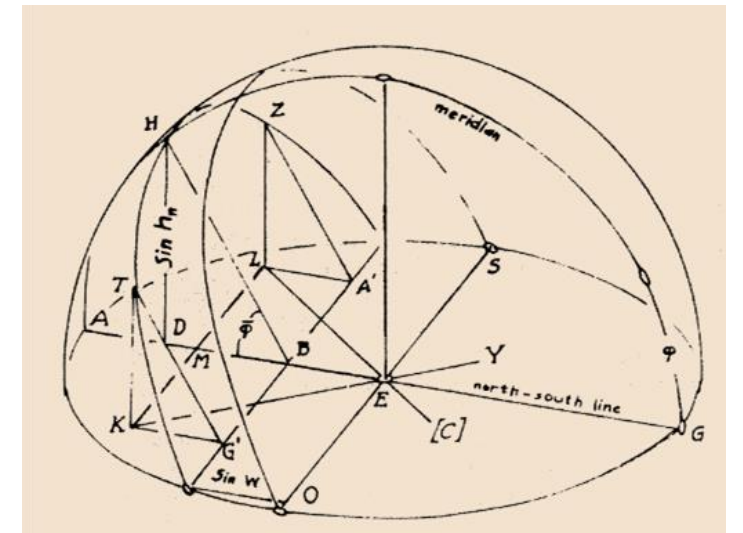
INSTITUTE for the HISTORY of ARABIC SCIENCE

University of Aleppo
 Aleppo, Syria

1976

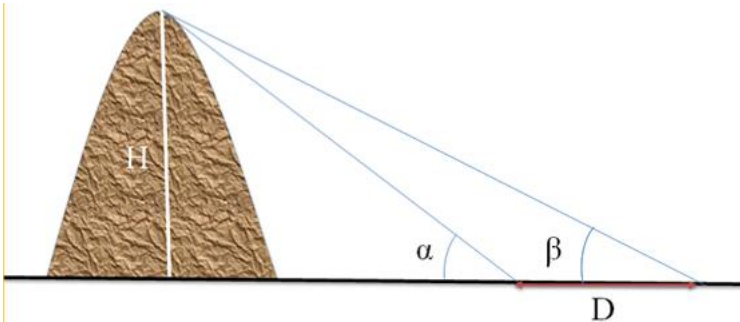


Trazado de la meridiana a partir del orto y ocaso del Sol

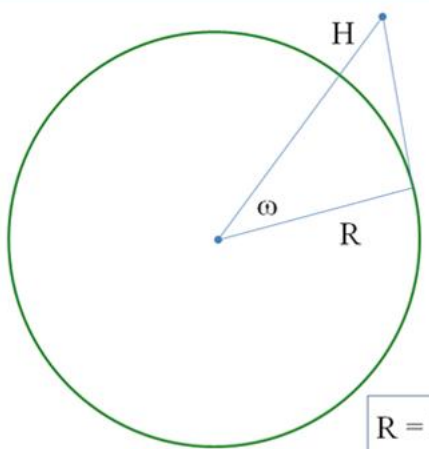


Trazado de la meridiana a partir de las posiciones correspondientes del Sol.

Fallecido el califa, al-Biruni prosiguió con su tarea hasta el final de sus días. Se cree que escribió más de 145 tratados, centrados en casi todas las disciplinas científicas y de manera especial en las que eran susceptibles de ser observadas. Una de sus características más destacable fue su espíritu crítico con los datos observados, procurando señalar la fiabilidad de todos ellos. Una de sus obras más importantes fue el *Tratado sobre las Sombras*, un compendio astronómico en el que se aborda también la gnomónica, la trigonometría plana y esférica, el astrolabio y otros instrumentos; incluyendo naturalmente su aplicación para saber la hora de las preceptivas oraciones. En ese tratado se abordaron cuestiones tan relevantes como la de la aceleración o el posicionamiento tridimensional.



$$H = D / (\text{ctg } \alpha - \text{ctg } \beta)$$



$$R = H \cos \omega / (1 - \cos \omega)$$

Una de las novedades presentadas en el Tratado sobre las sombras fue la función trigonométrica de la tangente y su aplicación para calcular la altura de una montaña, elevada sobre una llanura a nivel del mar. Se midió para ello un segmento alineado con la cumbre y se formaron dos triángulos rectángulos, cuyas hipotenusas las definían la propia cumbre y los dos extremos del segmento; de manera que determinados los ángulos agudos en estos, quedaba resuelto el problema. No obstante, lo más importante vino después al divisar desde lo alto de la montaña el horizonte sensible y medir el ángulo formado por la visual y la altura de la misma; la razón no fue otra que el cálculo consiguiente del radio de la Tierra, una operación geodésica nunca vista hasta entonces. El propio al-Biruni la efectuó en un pico al S.W. de Nandana (Pakistán), resultando un valor de 12851369 codos, equivalentes a unas 3929 millas árabes. Todos los detalles de la medición figuraron en su *Kitab tahdid nihayat al-amakin li-tashih masafat al-masakin* (Determinación de las coordenadas de posiciones para la corrección de distancias entre ciudades), un libro de geodesia que luego se publicaría resumido como *al-Qanun al-Mas'udi*.

AL-QĀNŪNU'L-MAS'ŪDĪ
(Canon Masudicus)

Vol. I

(AN ENCYCLOPAEDIA
OF
ASTRONOMICAL SCIENCES)

Edited by the Bureau
from the oldest extant Mss.

Under the auspices of the Ministry of Education,
Government of India



Published
by

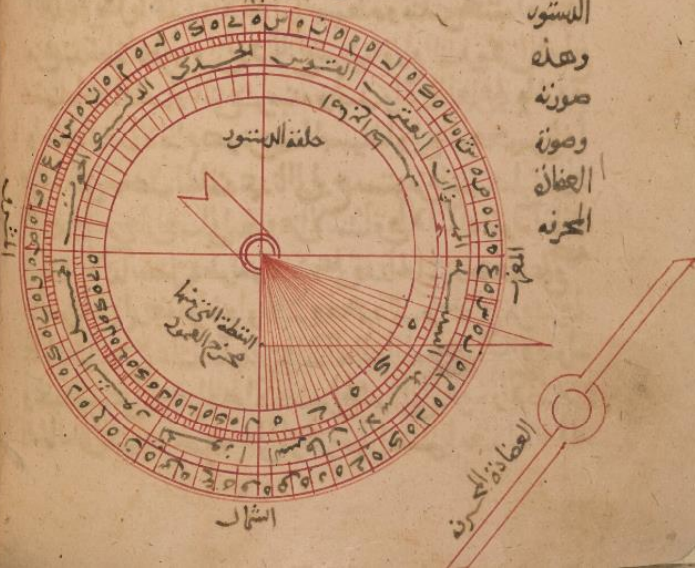
The Dāīratu'l-Ma'ārif-il-Osmāniya
(Osmania Oriental Publications Bureau)

Hyderabad-Dn.
INDIA

1954 A.D. / 1373 A.H.

Order No. 10676

عمودا على اللوح سميكة اكثر من غلظ الحلقة بنحو يسير ونقط على اسه
نقطة موشرة فيه تكون على حوازة المركز المستخرج ونهبي له عفاذة
عزفه وهو ان يخذلوحا من شبه طوله ان حجم قطر الحلقة في عرض اصبع
نصف وسماك بقوه ونعمه عن الالفوا والاعوجاج ونخط في طوله خطا
مستقيما يفتتح عرضه بصير ونهد في طوله على ذلك الخط في وسطه بقوه
لحدها المركز وندير بعد نصف عرض اللوح دائرة وتقطع من احد النصفين
الطول بين الخارجين من الدائرة اما على الاستواء اعني ان يكون في الخطين
في ناحية واحدة واما بالنبادلة فاحسب مجلس ويردح في المار
على المركز ويردح مسقطها وندير على ذلك المركز بعينه دائرة اذا اقتناه
بها وسعه القطب المسيرة اللوح فاذا فعلنا ذلك فقد عرفت ان عمل



ليس وضعتها بصري فلامتكن لاجله ان النفا واقاع ما يحتاج
اليه على احسن شكل واشند صورة لتسنا به حتى انه ربما عمل
المشرا طابرين في سببها المجدوبين ههنا متقارها وبذلك الحوزا هو سبابه
بل بمعنى الصفة الاصابع وكذلك سائر الكواكب في بحر والصفحة
ونلقى منها فضل عما ذكرنا حتى يشترك وتكتب على كل كواكب
اسمه على القطعة التي بها تعلق عن معلفه ويردح في المنطقة
الخارج مسننا محرفا محز وطبا لخط عليه اجزا البروج ونترك
على اس الجدي شظية تانبه وهي المري ونعمل على اي موضع استخسنا
من المواضع المعطلة في الاطواق محركا مسك باليد ويبار به العكوب
ويحوز ثباتا يتمكن الاصبعان من ضبطه ثم نعمل لظهور عفاذة
اما محرفة واما

صورة العنكبوت الشمالي



تامة بلتثن
ممتوشين
في اوسا طهها
وقطبا وفسيا
وحلفه ونضو
كل واحد
في موضعه
وقدم لنا
الاصطراب
الشمالي

Al-Qanun al-Mas'udi fue la más sobresalientes de las publicaciones astronómicas de al-Biruni, solo comparable al Almagesto de Tolomeo, aunque al contrario que este defendiera la movilidad del apogeo solar; consto de 11 libros desarrollados en 1300 páginas. También escribió varias obras sobre el astrolabio, una especie de manuales en los que aportó información histórica y técnica, describiendo los principales modelos y las posibles aplicaciones de los mismos.

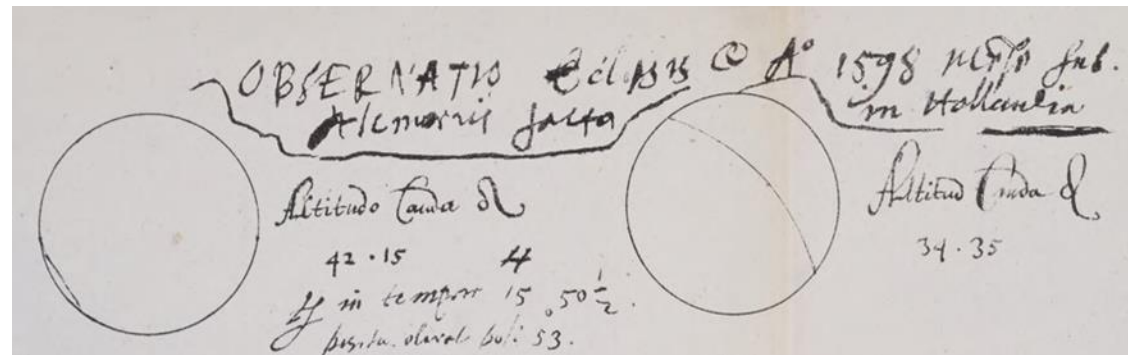
Willem Janszoon Blaeu (1571-1638)



Marca tipográfica de la familia Blaeu



Complementó sus conocimientos cartográficos durante su estancia en el Observatorio de Uraniburgo, como astrónomo asistente de Tycho Brahe, llegando entonces a descubrir el cometa de 1580. Concluida su estancia en Dinamarca (1596), volvió a la ciudad donde nació. Desde allí continuó colaborando con su profesor, con ocasión del eclipse de luna que tuvo lugar el día 21 de febrero de 1598. Efectivamente, a la vez que él lo observaba en Alkmaar, Tycho Brahe hacía lo propio en la localidad alemana de Wandsbeck, cerca de Hamburgo. El objetivo no era otro que determinar la diferencia de longitudes entre los dos lugares, en que se realizaron las observaciones astronómicas, restando sin más las dos horas locales. Se comprende así que años después, W. Blaeu, como hidrógrafo de la Compañía Unida de las Indias Orientales, recomendase a todos los maestros y pilotos de sus barcos la necesidad de observar todos los eclipses con independencia del lugar en que se encontraran, tal como él mismo había procedido treinta años atrás.



Parte del documento en que figuran los dibujos y horas referidas a las distintas fases del eclipse lunar (Biblioteca Real de Copenhague).



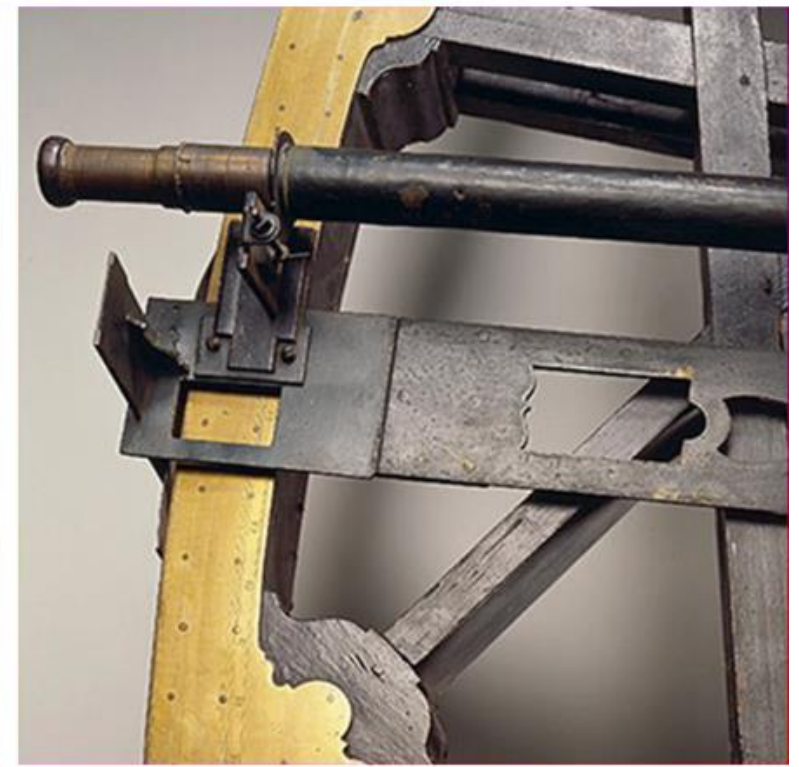
Localización de la SN1604 en un globo celeste de Joan Blaeu (ca. 1645). Obsérvese la nota explicativa al Norte de la *Via Stellae*.

“Anno 1604 mense Octobri nova Stella in \times sese videndam exhibuit; quae Iovem fulgore et radiorum splendido jubare non aequaret et modo, sed etiam superaret cujus locum initio è distantijs a lucida Vulturis, capite Ophiuchi et corde Scorpij deprehendi in \times 17.4 lat.Bor. 1.42 et in Sequentem annum 1605 perennavit, fulgorè tumen diminuto, ut sub finem ejus evanesceret, mutata latitudine, et simul longitudine, in consequentia signorum namq̄ ζ 20. Augusti ejusdem anni 1605 deprehendi eam in \times 19.38 latitud. Bor. 1.9.”

Con la llegada del nuevo siglo observó W. Blaeu las dos supernovas siguientes: Nova Cygni 1600 y Nova Ophiuchi 1604; las cuales serían representadas luego sobre sus globos celestes; la primera en el del año 1602 (23 cm de diámetro) y la segunda en otros, destacando el monumental de 67 cm de diámetro; en ambos casos incluyó un texto explicativo. La supernova de 1604 fue dibujada en sus dos posiciones, uniéndolas por medio de una doble línea (*Via Stellae*) a la nota explicativa. Junto a la primera posición se podía leer *Locus primae apparitions novae stellae* y a la segunda *Locus ejusdem in Augusto anni sequentis*.

Cuadrante construido por W.J. Blaeu. Museo de Boerhaave (Leiden).

Durante su estancia en el Observatorio danés se interesaría W.J. Blaeu por la fabricación de instrumentos matemáticos, al manejar muchos de los que había construido su maestro. Su habilidad en ese campo se puso de relieve cuando construyó un cuadrante de unos 2 m de radio, que sería usado por Snellius; cuando midió el arco



de meridiano comprendido entre Alkmaar y Berger op Zoom, con el fin de hallar el tamaño de la Tierra (1617). Probablemente, animado por esa operación, emprendió él otra semejante a comienzos del año 1621. El matemático Jacobus Golius (1596-1667) acompañó a W.J. Blaeu en los trabajos de campo y dejó escrita una crónica sobre los trabajos de campo, indicando que la amplitud angular del arco, extendido por la costa holandesa, fue determinada como diferencia de las latitudes obtenidas por observaciones a la polar; mientras que el desarrollo lineal del mismo fue obtenido a través de una rueda provista de un ingenioso *tympanum*. Las inquietudes geodésicas de W. Blaeu se centraron a continuación en los problemas propios del posicionamiento, y fundamentalmente en los planteados por la escasa fiabilidad en la determinación de las longitudes geográficas, un problema ancestral se hizo aún más patente con el auge experimentado por la navegación.

34 cm



Globo celeste

34 cm



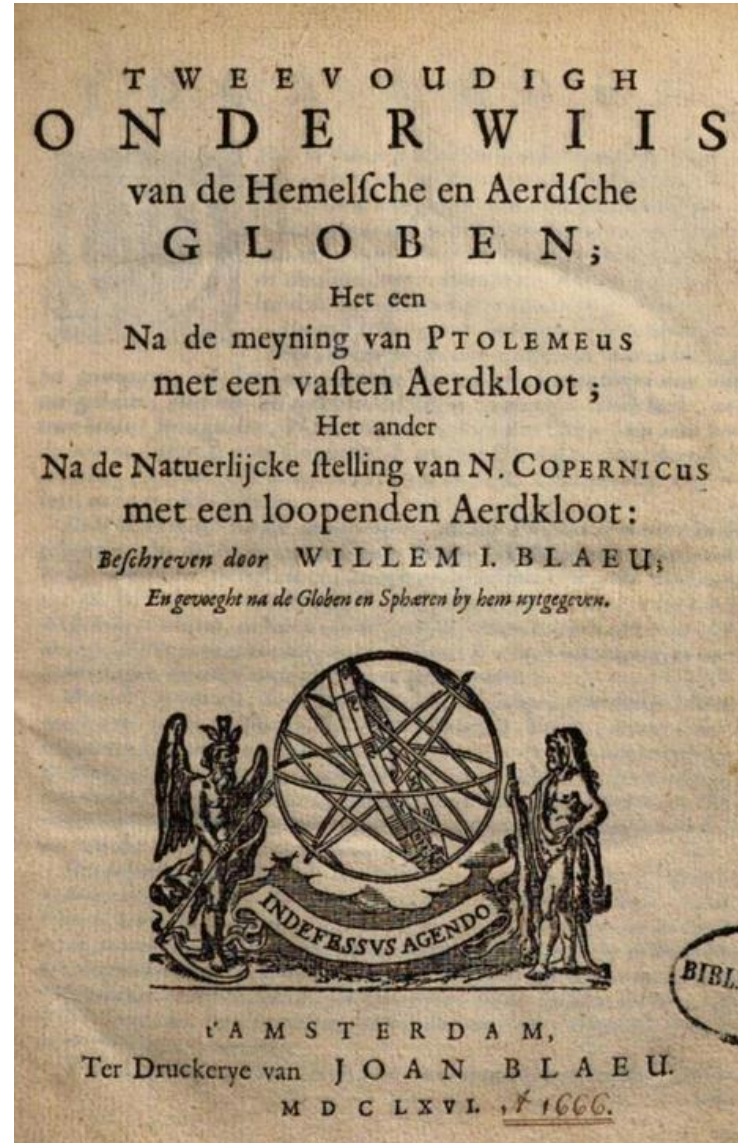
Globo terrestre

Sin embargo, W.J. Blaeu pasó a la posteridad por su fecunda y brillante actividad como cartógrafo, desarrollada en su taller de Ámsterdam, ciudad a la que se trasladó al finalizar el siglo XVI. Como productor de globos, siguió la tradición, presentando siempre una pareja: celeste y terrestre; en el año 1599 ya lo había hecho con su primera pareja con 34 cm de diámetro.

A partir del año 1603 comenzó a representar las constelaciones que se habían descubierto en el hemisferio Sur. La rivalidad manifiesta entre él y Jodocus Hondius (1563-1612), otro productor cartográfico notable de la escuela holandesa, facilitó la difusión de tales instrumentos: los globos de 53.5 cm de diámetro contruidos por este en 1613, propiciaron la presentación de otro par de W.J. Blaeu en 1616, con un diámetro de 68 centímetros. Estos últimos globos fueron los de mayor tamaño hasta que aparecieron en 1688 los de 110 cm fabricados por Vincenzo Maria Coronelli (1650-1717).

En 1634 publicó el importante manual *Tweevoudigh onderwijs van de Hemelsche en Aerdsche globen* (doble instrucción para el uso de los globos celestes y terrestres).

Reedición del año 1656 →

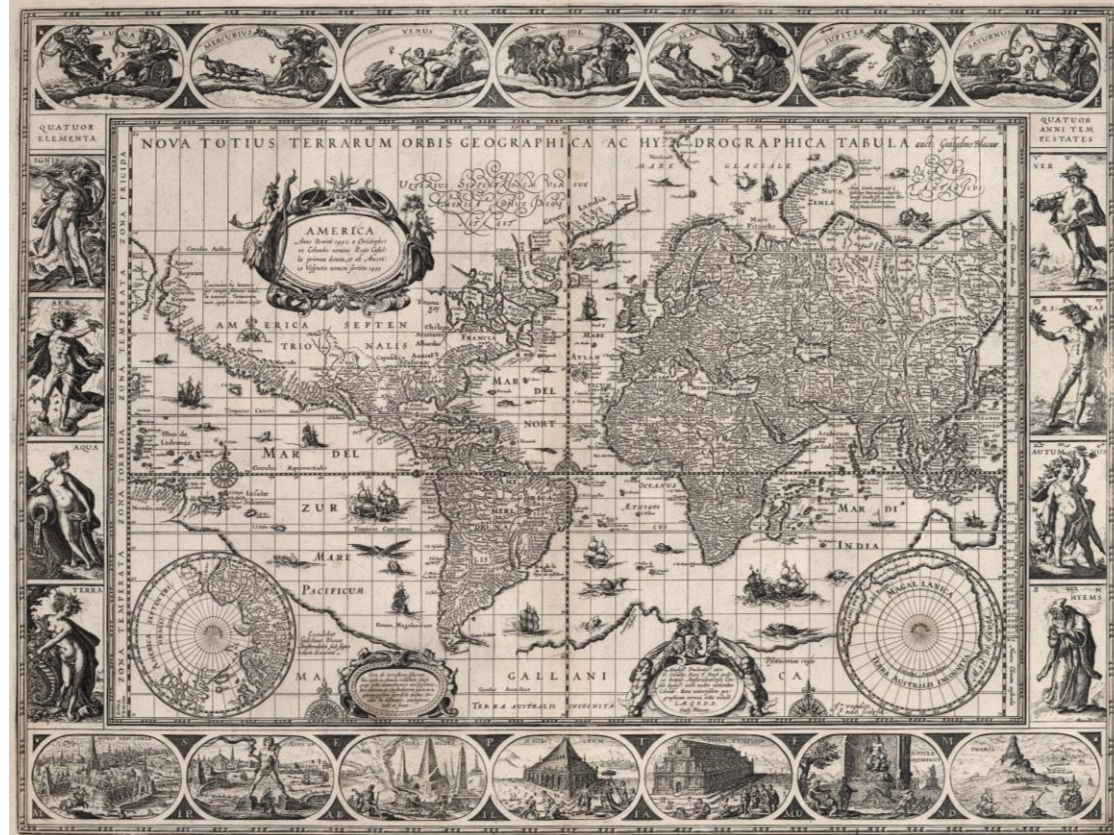




Primera edición 1630



Primera edición 1606

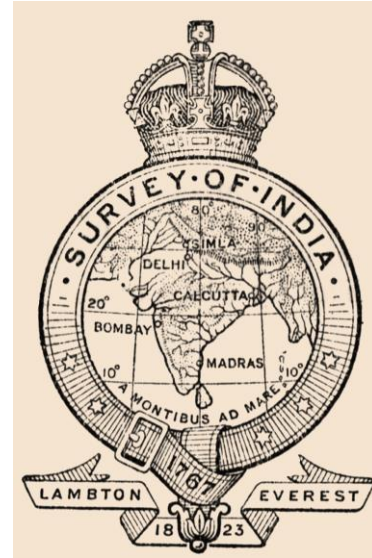


La cuidadosa elaboración de los mapas y su inmejorable presentación, con independencia de la fiabilidad geométrica de su contenido, fueron las señas de identidad de la escuela que creó. Su primera colección de mapas murales data del año 1608, convirtiéndose rápidamente en objetos codiciados por todos aquellos que pretendían mostrar una cierta posición social, tal como mostraba en algunos de sus cuadros Johannes Vermeer (1632-1675); el cual contribuyó también a que Holanda se convirtiese en el referente cartográfico del siglo XVII (el siglo de los atlas). Con la recopilación cartográfica que desembocó en su primer mapamundi (1608), inició un ambicioso proyecto cuyo primer resultado anunció el 11 de febrero de 1634: el atlas titulado *Theatrum Orbis Terrarum*, publicado por primera vez en alemán y luego (1635) en latín, holandés y francés. Lamentablemente falleció antes de que ver editados los otros volúmenes que estaba preparando.

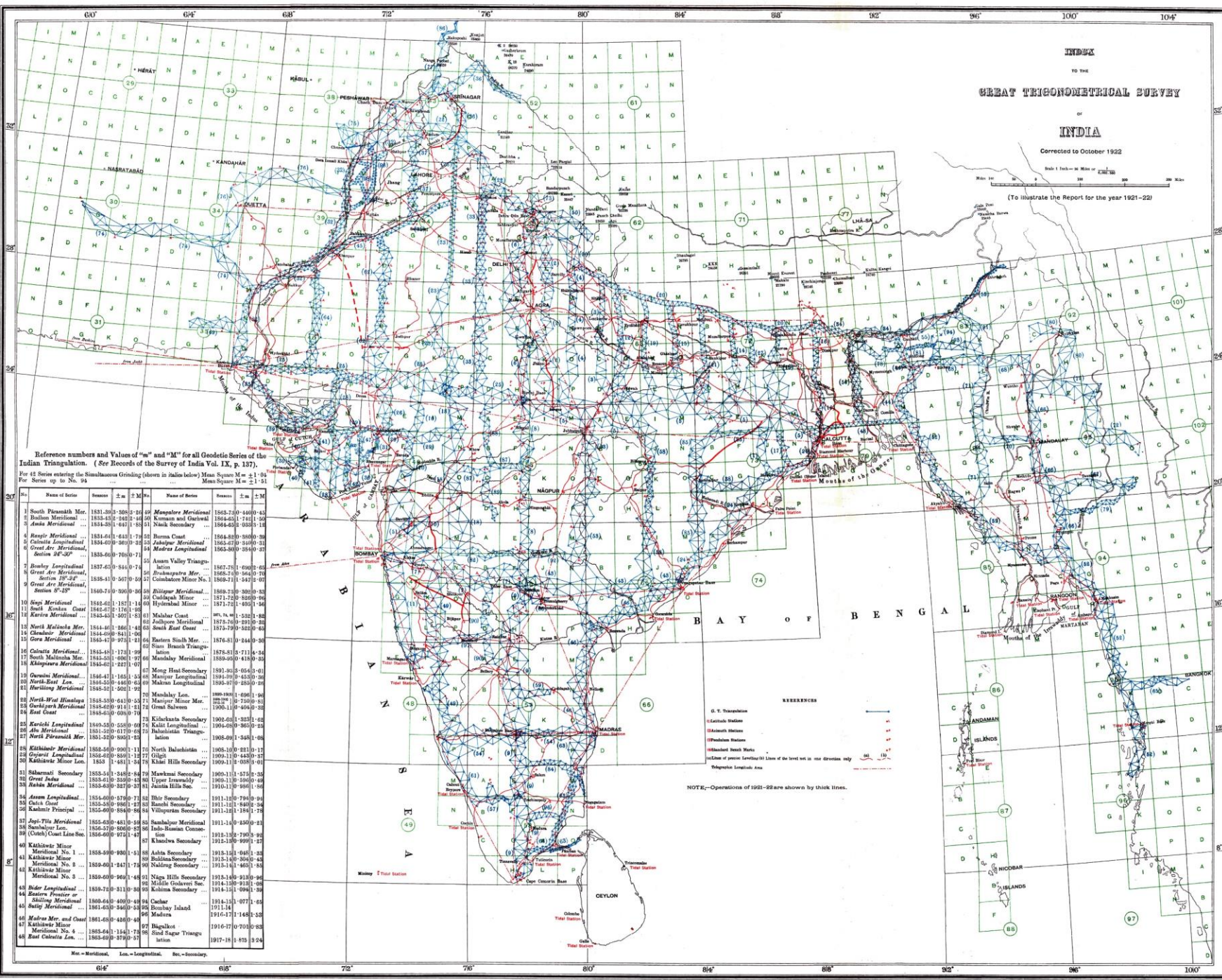
Guy Bomford (1899-1996)



Este militar británico, que fue ascendido a general de brigada, fue uno de los protagonistas indiscutibles de la geodesia en el asado siglo XX. Luchó en la primera guerra mundial y finalizada esta se trasladó a la India, en el año 1919, ingresando en el *Survey of India*; el organismo encargado de representar cartográficamente tan extenso territorio, con una superficie cinco veces mayor que la de la Península Ibérica. Salvo el periodo (1922-1924) en que estudió en la Universidad de Cambridge, para obtener el título de ingeniero, centró su actividad en el análisis crítico de la red geodésica de la India (*The Great Trigonometrical Survey*); establecida en forma de cadenas triangulares a lo largo de meridianos y paralelos, destacando la



del meridiano central. Toda su investigación la realizó en colaboración con James de Graaff-Hunter (1881-1967), otro brillante geodesta que llegó a dirigir la Sección correspondiente en dicho Servicio. Además de sus estudios geométricos, efectuaron otros gravimétricos relacionados con la desviación de a vertical; siendo igualmente destacables sus cálculos estadísticos sobre la red, con medios de cálculo que ahora pueden parecer rudimentarios. G. Bomford fue miembro fundador de la Academia India de las Ciencias (1934).



La gran red triangular de la India, una ilustración de la memoria del Survey, correspondiente al periodo 1921-1922. Los triángulos en azul forman parte de las primitivas cadenas observadas por W. Lambton as que y G. Everest en el siglo XIX. En rojo se representan los lados de los grandes triángulos geodésicos, mediante segmentos discontinuos con puntos intercalados.

Reference numbers and Values of "m" and "M" for all Geodetic Series of the Indian Triangulation. (See Records of the Survey of India Vol. IX, p. 137).

For Series enter the Simultaneous Reading (shown in italics below) Mean Square $m = \pm 1.04$ For Series up to No. 94

No.	Name of Series	Mean	$\pm m$	$\pm M$	Name of Series	Mean	$\pm m$	$\pm M$	
1	South Panamath Mer.	1831.205	± 0.88	± 2.82	49	Managore Meridional	1868.730	± 0.40	± 0.45
2	North Meridional	1833.252	± 0.82	± 2.48	50	Kannam and Chinnai	1864.411	± 0.41	± 0.45
3	Andra Meridional	1834.351	± 0.67	± 1.85	51	Nank Secondary	1864.435	± 0.55	± 1.14
4	Bayal Meridional	1831.041	± 0.63	± 1.74	52	Burma Coast	1864.830	± 0.50	± 0.58
5	Calcutta Longitudinal	1834.000	± 0.60	± 1.65	53	Jabalpur Meridional	1865.470	± 0.50	± 0.51
6	Great Arc Meridional Section 5°-20'	1835.000	± 0.70	± 2.01	54	Madras Longitudinal	1865.500	± 0.50	± 0.50
7	Bombay Longitudinal Great Arc Meridional Section 7°-24'	1837.430	± 0.54	± 1.54	55	Assam Valley Triangulation	1867.751	± 0.60	± 0.61
8	Great Arc Meridional Section 5°-25'	1838.410	± 0.50	± 1.40	56	Dindigul Meridional	1868.700	± 0.60	± 0.70
9	Great Arc Meridional Section 5°-25'	1840.710	± 0.50	± 1.40	57	Coimbatore Minor No. 1	1869.710	± 0.60	± 0.70
10	Wing Meridional	1842.451	± 0.57	± 1.57	58	Bilaspur Meridional	1869.730	± 0.60	± 0.70
11	Small Kankon Coast	1843.472	± 0.56	± 1.56	59	Calcutta Minor	1871.720	± 0.50	± 0.50
12	Kerira Meridional	1843.521	± 0.57	± 1.57	60	Hydrabad Minor	1871.721	± 0.50	± 1.56
13	North Malabar Mer.	1844.461	± 0.46	± 1.48	61	Malabar Coast	1874.741	± 0.52	± 0.82
14	Cheruvu Meridional	1844.490	± 0.41	± 1.04	62	Jodhpur Meridional	1875.700	± 0.50	± 0.50
15	Orca Meridional	1845.410	± 0.52	± 1.52	63	South East Coast	1875.700	± 0.50	± 0.50
16	Calcutta Meridional	1845.451	± 0.52	± 1.52	64	Eastern South Mer.	1876.431	± 0.44	± 0.50
17	South Malabar Mer.	1845.451	± 0.52	± 1.52	65	Sierra Branch Triangulation	1878.815	± 0.71	± 0.84
18	Malapora Meridional	1845.451	± 0.52	± 1.52	66	Masulipatam Meridional	1879.400	± 0.43	± 0.50
19	Quana Meridional	1846.471	± 0.53	± 1.53	67	Mung Head Secondary	1891.803	± 0.56	± 0.61
20	North East Lon.	1846.500	± 0.50	± 1.50	68	Maunjer Longitudinal	1894.900	± 0.45	± 0.50
21	Havelock Meridional	1848.521	± 0.52	± 1.52	69	Madras Longitudinal	1895.700	± 0.50	± 0.50
22	North-West Havelock	1848.520	± 0.50	± 1.50	70	Masulipatam Lon.	1898.900	± 0.60	± 0.60
23	Chandernagore Meridional	1848.520	± 0.50	± 1.50	71	Maunjer Minor Mer.	1898.900	± 0.70	± 0.81
24	East Coast	1848.520	± 0.50	± 1.50	72	Great Salween	1900.110	± 0.60	± 0.61
25	Kerich Longitudinal	1849.520	± 0.50	± 1.50	73	Kichikanta Secondary	1902.611	± 0.53	± 0.58
26	Alta Meridional	1851.520	± 0.50	± 1.50	74	Kali Longitudinal	1904.600	± 0.50	± 0.55
27	North Purnanid Mer.	1851.520	± 0.50	± 1.50	75	Baluchistan Triangulation	1905.400	± 0.50	± 0.55
28	Kathihar Meridional	1852.540	± 0.50	± 1.50	76	North Baluchistan	1905.400	± 0.50	± 1.17
29	Goyari Longitudinal	1853.400	± 0.50	± 1.50	77	Olhet	1909.130	± 0.45	± 0.57
30	Kathihar Minor Lon.	1853.143	± 0.43	± 1.34	78	Khan Hills Secondary	1909.130	± 0.50	± 0.51
31	Shahamat Secondary	1853.541	± 0.48	± 1.44	79	Mawmlat Secondary	1909.111	± 0.52	± 0.55
32	Great Andra	1853.410	± 0.50	± 1.50	80	Upper Inravally	1909.130	± 0.50	± 0.51
33	Andra Meridional	1853.410	± 0.50	± 1.50	81	Andra Hills Sec.	1909.130	± 0.50	± 0.51
34	Assam Longitudinal	1854.600	± 0.70	± 2.01	82	Ilit Secondary	1911.100	± 0.70	± 0.94
35	Chota Andra	1854.600	± 0.70	± 2.01	83	Ranchi Secondary	1911.101	± 0.40	± 0.54
36	Kashmir Principal	1855.500	± 0.50	± 1.50	84	Vijaypur Secondary	1911.101	± 0.44	± 0.74
37	Joy-Pita Meridional	1855.400	± 0.50	± 1.50	85	Sambhar Meridional	1911.101	± 0.50	± 0.51
38	Sambhar Lon.	1855.500	± 0.50	± 1.50	86	Indo-Burman Connection	1912.130	± 0.70	± 0.92
39	(Cochin) Coast Line Sec.	1856.600	± 0.70	± 2.01	87	Khasia Secondary	1912.130	± 0.50	± 0.57
40	Kathihar Minor Meridional No. 1	1858.400	± 0.40	± 1.04	88	Andra Secondary	1913.101	± 0.45	± 0.53
41	Kathihar Minor Meridional No. 2	1858.400	± 0.40	± 1.04	89	Balkhara Secondary	1913.101	± 0.50	± 0.53
42	Kathihar Minor Meridional No. 3	1858.400	± 0.40	± 1.04	90	Nadling Secondary	1913.101	± 0.45	± 0.53
43	Kathihar Minor Meridional No. 4	1858.400	± 0.40	± 1.04	91	Niga Hills Secondary	1913.101	± 0.50	± 0.53
44	Bihar Longitudinal	1859.720	± 0.72	± 2.01	92	Middle Gohawati Sec.	1914.100	± 0.51	± 0.58
45	Eastern Frontier or Kalinga Meridional	1860.400	± 0.40	± 1.04	93	Kolma Secondary	1914.101	± 0.44	± 0.54
46	Bahly Meridional	1861.400	± 0.40	± 1.04	94	Cacher	1914.101	± 0.77	± 0.95
47	Madras Mer. and Coast	1861.400	± 0.40	± 1.04	95	Bowlay Island	1914.101	± 1.48	± 1.53
48	Kathihar Minor Meridional No. 5	1863.641	± 0.43	± 1.29	96	Bignakot	1916.171	± 0.70	± 0.85
49	East Calcutta Lon.	1863.600	± 0.50	± 1.50	97	Sierra Branch Triangulation	1917.181	± 0.75	± 0.94

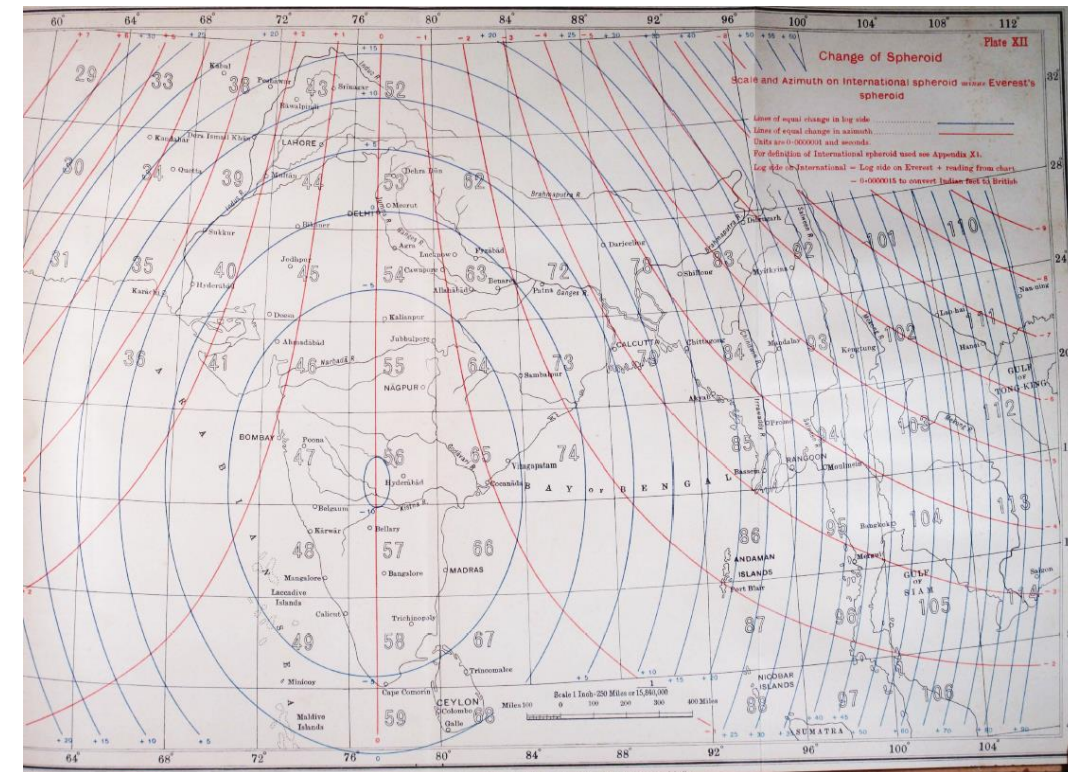
Mer. = Meridional, Lon. = Longitudinal, Sec. = Secondary.

Tres fueron las publicaciones más destacadas de G. Bomford durante su estancia en la India: 1) *Survey of India Geodetic Triangulation* (1931), 2) *Geodetic Triangulation* (1931) y 3) *The Reajustment of the India Triangulation* (1939). El tercer libro fue una lección magistral de geodesia práctica, dividida en los cuatro capítulos siguientes: I) Ajuste de la triangulación, II) Errores probables de la Triangulación, III) Cambio de esferoide y IV) Conclusiones. El texto se ilustró con numerosas tablas y mapas, que pretendían aclarar la compensación que había realizado. En el primer capítulo se detallaron las nuevas bases medidas, las estaciones de Laplace que se habían establecido, las compensaciones previas, así como los resultados obtenidos mediante el procedimiento de los mínimos cuadrados. Tales resultados se obtuvieron haciendo uso del nuevo elipsoide internacional de referencia, en sustitución del modelo previo de G. Everest (usado en su momento); ya que la diferencia entre las longitudes de sus semiejes era del orden de los 3000 pies. No obstante, el autor era consciente de que el nuevo modelo no sería introducido hasta que se decidiera elegir un nuevo sistema cartográfico para confeccionar un nuevo mapa del país; creyendo que la futura elección de las curvas de nivel (para simular el relieve), podría ser un buen momento.

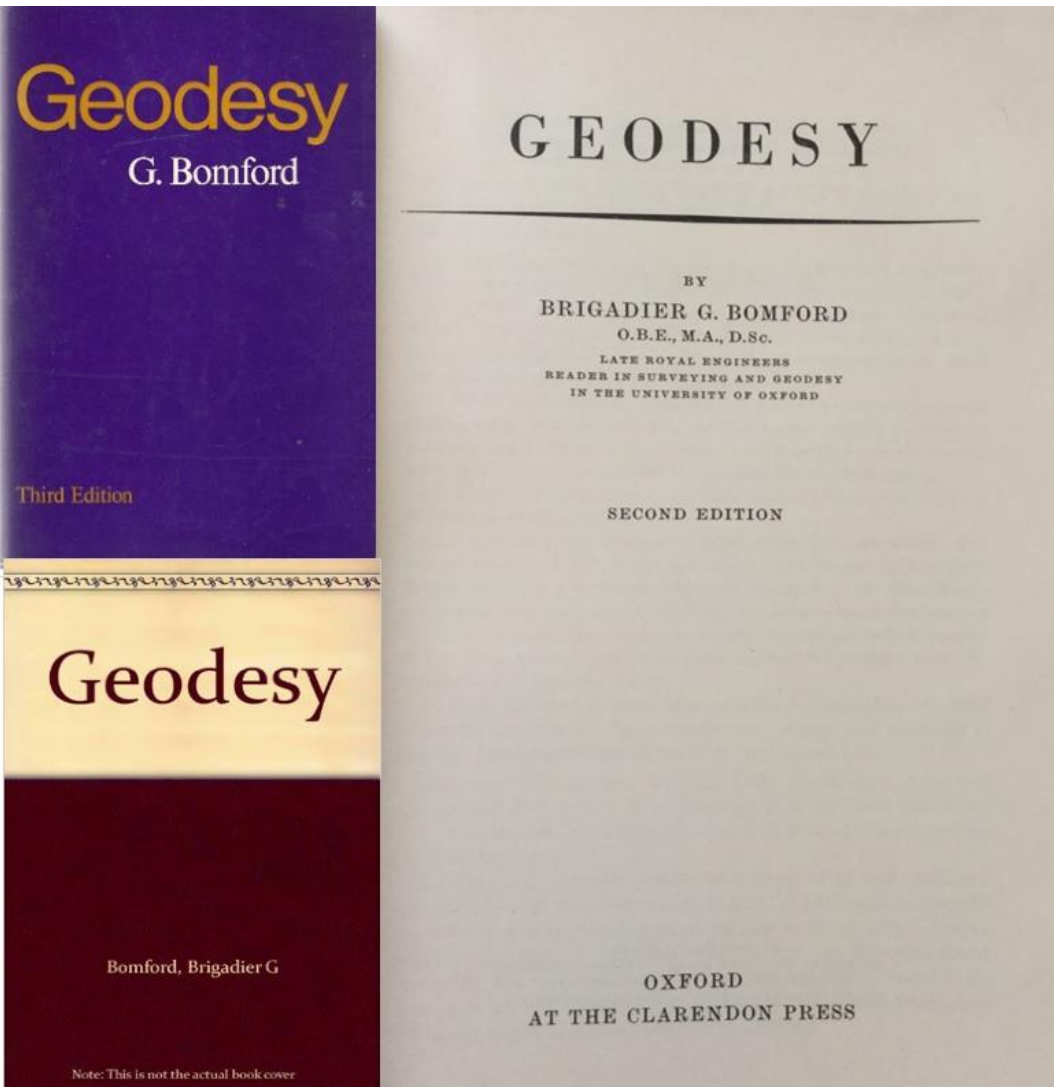
THE READJUSTMENT OF THE INDIAN TRIANGULATION

BY

MAJOR G. BOMFORD, R. E.



Plancha XII: Alteraciones de escala y orientación indicadas por el cambio de elipsoide, usando el color azul para las primeras y el rojo para las segundas.



G. Bomford permaneció en la India hasta que estalló la segunda guerra mundial, encargándose a partir de entonces de las misiones topográficas y cartográficas que afectaban a Persia y a Irak; cuando estas fueron ocupadas, creó en Birmania (1941) un equipo encargado de la triangulación y de la confección de mapas y planos. Ante el temor de la conquista japonesa, se escondió en Myitkyina la documentación correspondiente a los levantamientos anteriores; trasladándose a la India los integrantes del equipo, no sin dificultades, recorriendo una distancia de centenares de kilómetros. Curiosamente, los japoneses acabaron descubriéndola y trasladándola a Singapur; en donde fue recuperada después de su rendición. En 1947, dejó el ejército y se incorporó a la vida civil, como lector de Topografía y Geodesia en la Universidad de Oxford, continuando con su actividad docente hasta su jubilación en 1966. Lo más sobresaliente de ese nuevo periodo vital fue la aparición de su libro de Geodesia, un hito fundamental en la historia de esta disciplina, varias veces reeditado y que aún continúa siendo una excelente referencia que merece ser consultada.

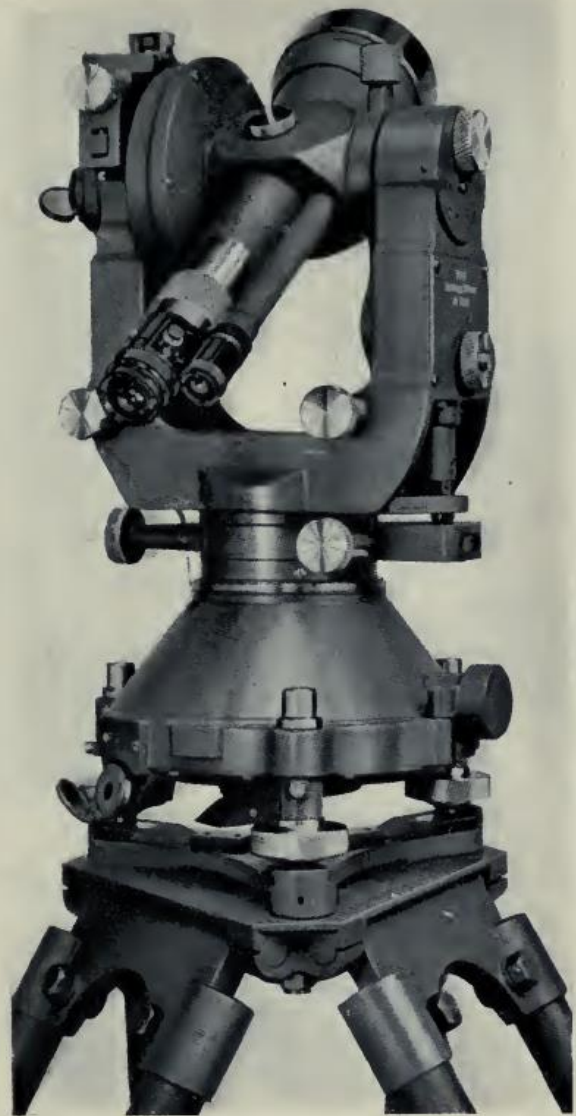


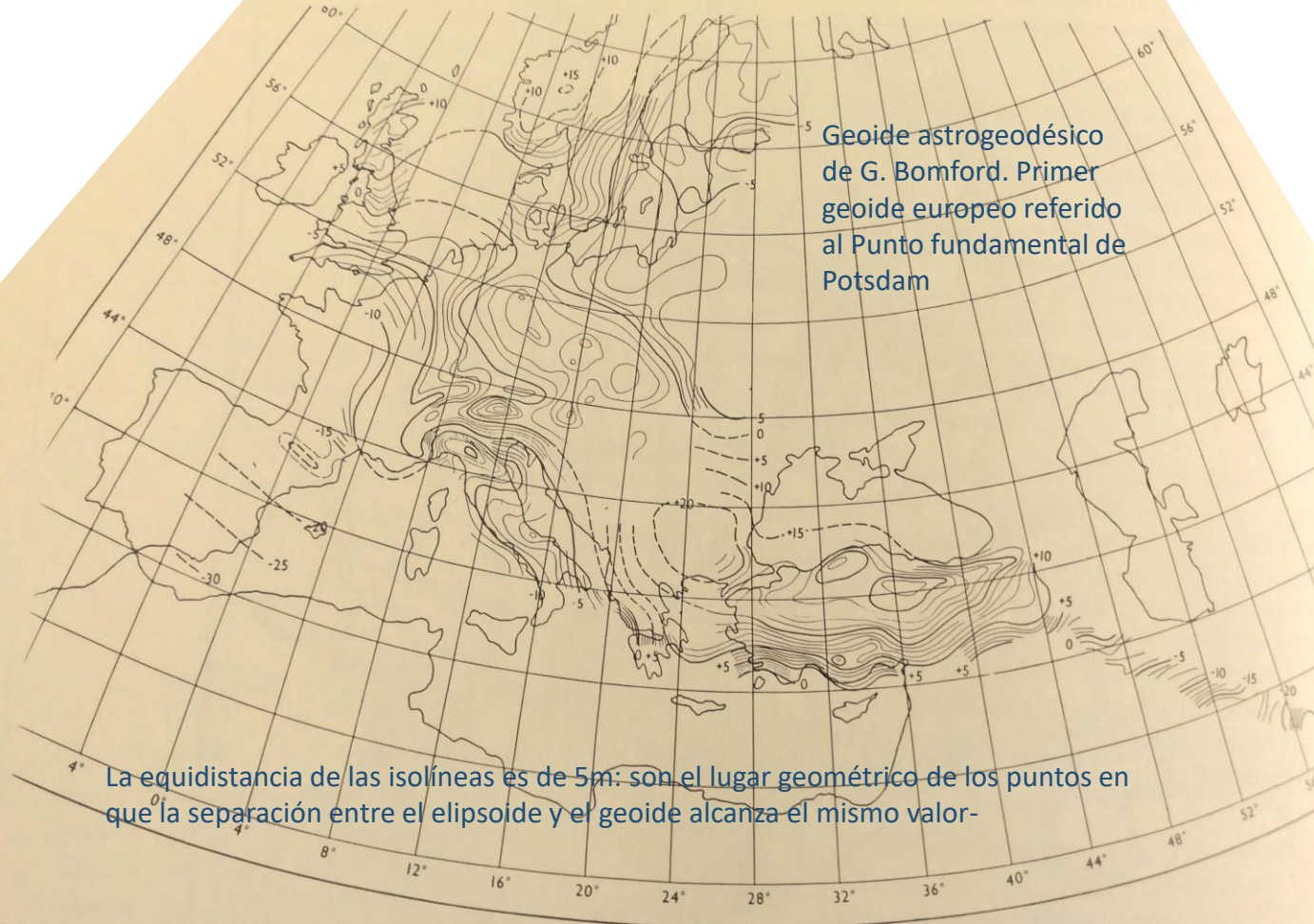
FIG. 10. The Precision Wild theodolite.

En el prólogo de la primera edición del libro (1952), daba a entender el autor que su contenido era fiel reflejo de las actividades geodésicas que había llevado a cabo en la India; mal se explicaría, sino que comenzara el capítulo de los agradecimientos en estos términos: «*Acknowledgement is primarily due to Dr. J. de Graaf-Hunter...with whom at one time or another during the last twenty-five years I have discussed most of the subjects here dealt with*». En cuanto a la materia propiamente dicha, recordaba que la triangulación geodésica no podía calcularse al margen de la figura de la Tierra, determinada por la combinación de métodos topográficos y astronómicos. Idéntico objetivo podía lograrse también, según apuntaba, analizando la variación de la gravedad entre el ecuador y el polo, basándose en las medidas pendulares.



FIG. 11. The Geodetic Tavistock theodolite.

Tales determinaciones gravimétricas revelaron la presencia de irregularidades en la figura de la Tierra, claramente relacionadas con su constitución interna; para G. Bomford, resultaba imposible precisar la frontera entre la Geodesia y la Geofísica.



El texto se dividió en siete grandes apartados: I) *Triangulation (field work)*, II) *Bases and Primary Traverse*, III) *Triangulation (computation)*, IV) *Heights above sea-level*, V) *Geodetic Astronomy*, VI) *Gravity and Geophysical Surveys* y VII) *The Earth's Figure and Crustal Structure*. Como complemento, se añadieron también siete Apéndices, especialmente interesantes, a saber: A) *The geometry of the spheroid*, B) *Theory of errors*, C) *The stability of Laplace's azimuth equation*, D) *Condition equations*, E) *Gravity reduction tables*, F) *Spherical harmonics* y G) *The density and refractive index of dump air*. La segunda edición del libro apareció en el año 1962, convenientemente actualizada: baste decir que en la primera edición

se dedicaron a la geodesia dinámica 132 páginas, mientras que en la segunda se explicó en 157. En 1971 y en 1980 aparecieron la tercera y cuarta edición, incorporando siempre los nuevos y rápidos avances que se iban produciendo en el sector; destacando en la última aquellas áreas donde la geodesia se superpone a otras disciplinas. Al referirse a la geodesia por satélites, se disculpó por haberle dedicado solo 100 páginas; refiriendo en ellas áreas tan concretas como la de la representación del geoid sobre el elipsoide, restándole un cierto protagonismo a la integral de Stokes.



Presidente de la Asociación Internacional de Geodesia entre 1963 y 1967



GUY BOMFORD PRIZE

El Premio Guy Bomford es otorgado por la Asociación Internacional de Geodesia. Fue establecido por el Comité Nacional Británico de Geodesia y Geofísica como reconocimiento a la contribución del general de brigada G. Bomford, siendo otorgado por primera vez en 1975. El Premio se otorga normalmente a intervalos de cuatro años, coincidiendo con la celebración de la Asamblea General de la Asociación.

Los posibles aspirantes son científicos, de forma aislada o formando equipo, con aportaciones geodésicas sobresalientes, sean teóricas o aplicadas; principalmente en los cuatro años previos a la celebración de la Asamblea en que se vaya a otorgar el premio, otro requisito es tener menos de 40 años el 31 de diciembre anterior a la misma.



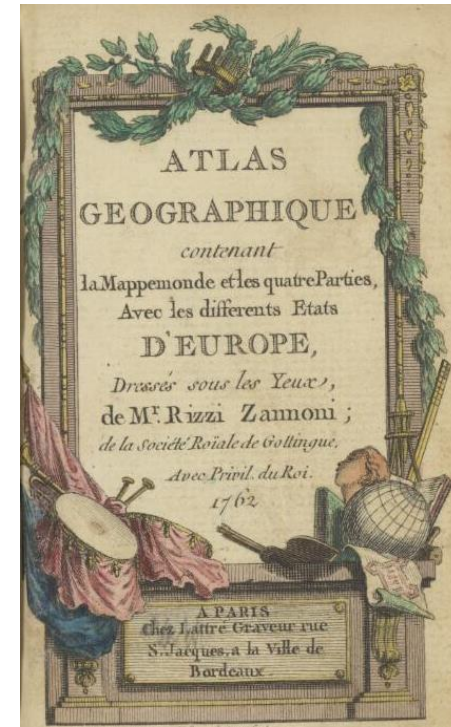
Guy Bomford Prize 2019

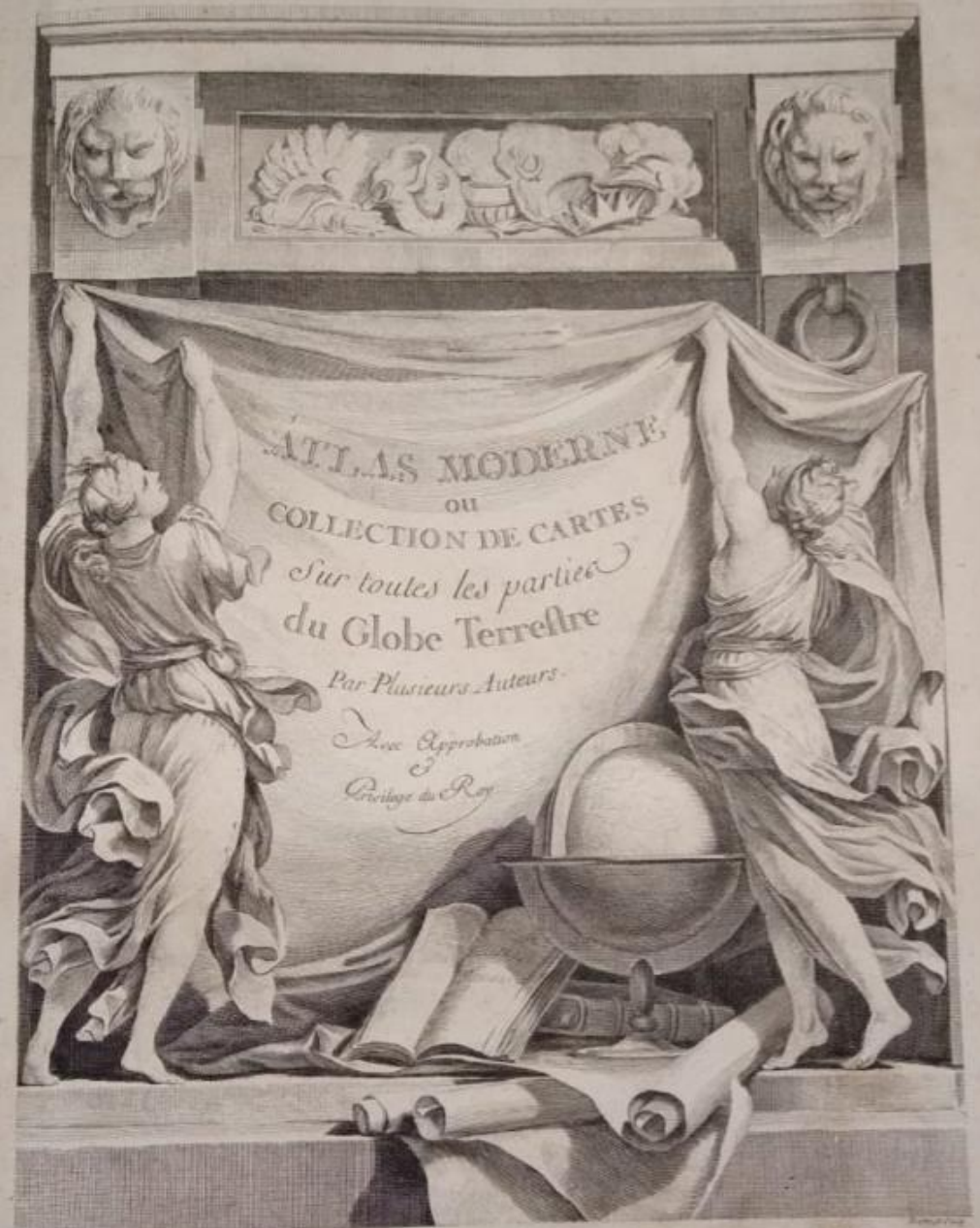
Advancing the theoretical apparatus of physical geodesy

Michal Šprlák (School of Engineering, Faculty of Engineering and Built Environment, University of Newcastle, University Drive, Callaghan, NSW 2308, Australia)

Rigobert Bonne (1727-1795)

Prolífico cartógrafo e ingeniero hidrógrafo, además de notable geógrafo y astrónomo. esa última faceta no es muy conocida, a pesar de haber escrito un breve tratado de astronomía esférica, titulado *Idée de la Sphère, ou Principes sur la Géographie Astronomique*; cuyo texto incluyó tras las representaciones que figuraron en el Atlas Geographique contenant la *Mappemonde et les quatre parties, avec les differents Etats d'Europe* (1763), del que también fue autor, junto a Giovanni Antonio Rizzi-Zannoni (1736-1814). El texto de R. Bonne fue traducido al español por el gran Isidoro de Antillón y Marzo (1778-1814), en el año 1812; siendo varias veces reeditado. En la portada figuraba que «había sido mejorada con algunas notas y arreglada al Meridiano de Madrid». De los veinticuatro apartados de que consta, solo referiremos los siguientes: de la figura de la Tierra, de la medida de la Tierra y del Zodiaco. A propósito de la figura comentó que, si bien a primera vista parece plana, en todas partes es convexa.

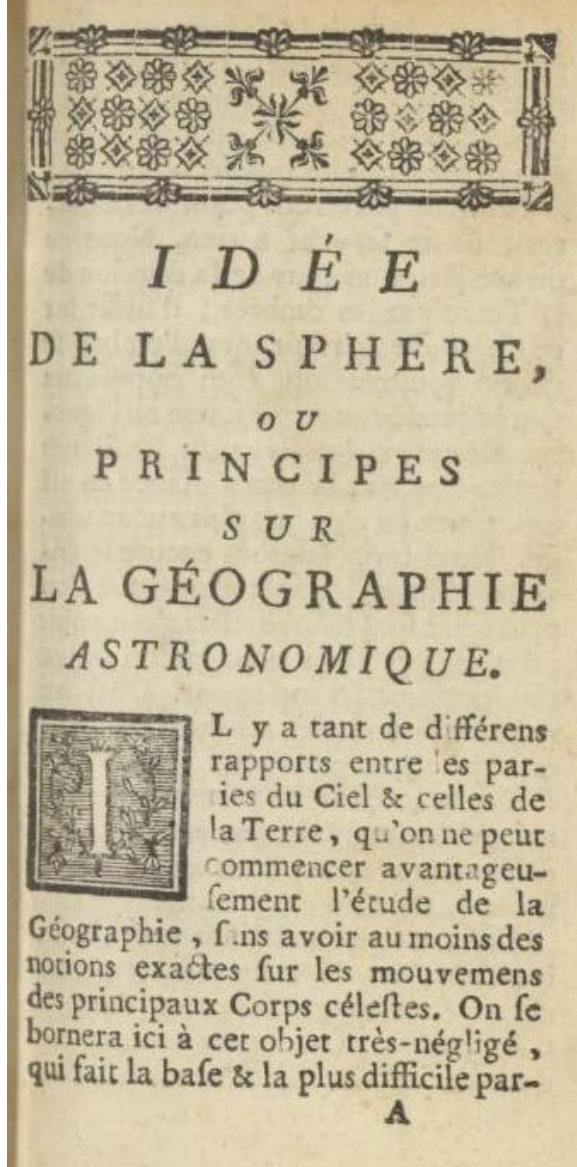




A PARIS

Chez l'Imprimeur Ordinaire du Roy, de M^{te} Le Duc & d'Orléans et de la Ville Rue St. Jacques N^o 20.
et Delalande Libraire, rue de la Comédie Française

En cuanto a su tamaño, señaló que el desarrollo de un grado de meridiano era de «casi 133000 varas castellanas, o de 20 leguas marinas de 6650 varas cada una: de consiguiente, la circunferencia de este globo es de 7200 leguas y su diámetro de 2291. Es subrayable la nota que añadió a pie de página: «las operaciones y discursos de varios geómetras y físicos modernos han demostrado que la Tierra es algo plana hacia los polos». Otra de las notas aparecida en el apartado del Zodiaco, pretendió ampliar los cinco planetas clásicos: «Según los últimos descubrimientos, es mayor el número de los planetas. Sobre Saturno está Herschel, y entre Marte y Júpiter se hallan Piazzini, Olbers, y Harding; cuyos cuerpos han tomado sus nombres del de los astrónomos, que han tenido la fortuna de descubrirlos con sus excelentes anteojos».



I D É E
DE LA SPHERE,
ou
PRINCIPES
SUR
LA GÉOGRAPHIE
ASTRONOMIQUE.

IL y a tant de différens rapports entre les parties du Ciel & celles de la Terre, qu'on ne peut commencer avantageusement l'étude de la Géographie, sans avoir au moins des notions exactes sur les mouvemens des principaux Corps célestes. On se bornera ici à cet objet très-négligé, qui fait la base & la plus difficile par-
A

N. B. Tous les exemplaires de cet ouvrage, seront signés par l'auteur, pour certifier qu'ils sont les seuls, dignes de confiance; si toutefois il pouvoit y avoir quelque'avantage, à contrefaire ces principes.....

Bonne

PRINCIPES
SUR LES MESURES
EN LONGUEUR ET EN CAPACITÉ,
SUR LES POIDS ET LES MONNOIES;
Dépendans du mouvement des astres principaux, & de la grandeur de la Terre.

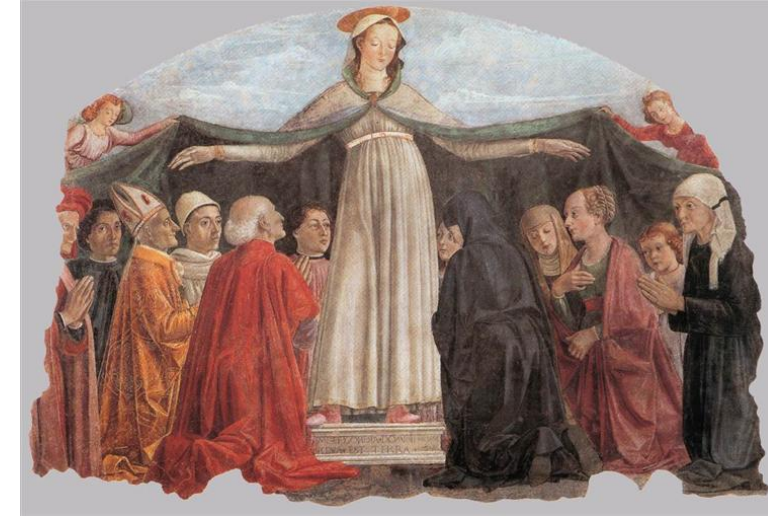
Otra de sus contribuciones astronómicas fue también metrológica y geodésica: *Principes sur les mesures en longueur et en capacité, sur les poids et les monnoies, dépendant du mouvement des astres principaux et de la grandeur de la terre* (1790); la obra fue presentada a la Asamblea Nacional con la intención de reformar los pesos y medidas empleados en Francia y otros estados. La presentación era oportuna, pues la comunidad científica, especialmente la francesa y la inglesa, deseaba que se estableciesen unos patrones de medida con carácter universal, independientes por tanto del lugar y del tiempo. La propuesta de R. Bonne no quiso romper con la tradición antropométrica, aunque sí pretendiera ligarla de alguna manera con la figura y el tamaño de la Tierra. El contenido de su Memoria lo dividió en los cinco capítulos siguientes: I) Medidas lineales, II) Medidas de capacidad, III) Pesos, IV) Monedas y V) Examen de algunas medidas y de las cualidades que deben tener cada una; resulta sorprendente que no hiciese mención alguna a las medidas superficiales. En la introducción hizo un recorrido especialmente interesante, en el que enumeró cronológicamente y comentó, las principales unidades de la antigüedad. Su principal novedad estriba en la introducción de los conceptos propios de la astronomía esférica, mencionando igualmente los movimientos del Sol, Luna y planetas; para acabar definiendo el *pie ecuatorial* como nuevo patrón lineal, divisor del perímetro ecuatorial (cifrado en 20576424 toesas), señalando que la relación entre dicho pie y el codo nilométrico era de 16/25.

En el año 1507 publicó Martin Waldseemüller (ca.1470-1520) un mapamundi usando un sistema cartográfico basado en otro de Tolomeo, en el que figuró por vez primera el topónimo América; el dibujo tenía el aspecto de un manto, lo que dio nombre al sistema. Este fue profusamente utilizado por R. Bonne, desde que lo propusiera hacia 1780, en las llamadas *Cartes d'État Major* (a escala 1/80000) de ahí que pasara desde entonces a ser llamado también *Proyección de Bonne*. Las imágenes planas de los paralelos son arcos de círculo concéntricos equidistantes, sobre las que la escala es constante e idéntica a la del meridiano origen; en cambio, las de los meridianos son curvas trascendentes que presentan su concavidad hacia el meridiano central. Este sistema cartográfico es equivalente, es decir que conserva las áreas.

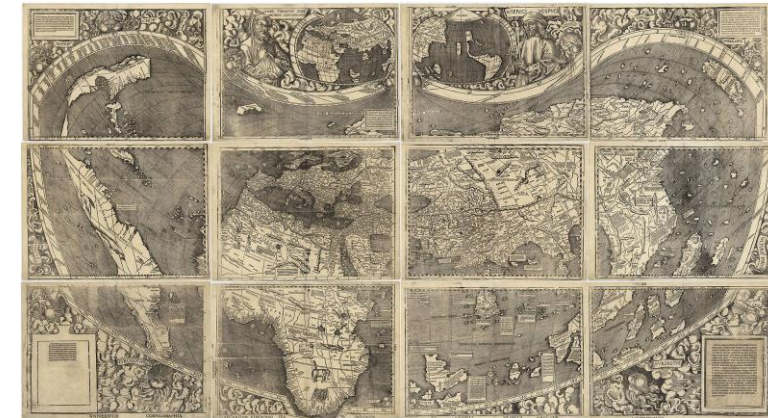


← PROYECCIÓN DE BONNE

R. Bonne: *Les Indes orientales et leur archipel assujetties aux observations astronomiques combinées avec les itinéraires anciens et modernes et avec les routes des Navigateurs*. 1770.



El manto de la Virgen de la Misericordia, pintado por Domenico Ghirlandaio para la familia Vespuccio



Planisferio de M. Waldseemüller, en el que figuró el nombre de América, como homenaje a Américo Vespuccio



Jean Charles Borda (1733-1799)

El caballero Borda, como también era conocido, fue una figura emblemática de la Ilustración, por la excelencia de sus contribuciones físico-matemáticas; aunque destacase igualmente en una disciplina tan compleja como la navegación. Educado por los jesuitas, ya presentó en 1753 su primera memoria de geometría, enviándosela a D'Alembert; consiguiendo ingresar como matemático, dos años después en el ejército (Cuerpo de Caballería Ligera). Allí se interesó por la balística, presentando otra memoria sobre proyectiles a la Academia de Ciencias (27.IV.1756); siendo elegido miembro asociado en ese mismo año. En los años siguientes continuó aplicando la matemática a ese campo, llegando a demostrar que la teoría newtoniana sobre la resistencia de fluidos era inconsistente y que dicha resistencia era proporcional al cuadrado de la velocidad del fluido y al seno del ángulo de incidencia. Borda realizó varias travesías del Atlántico, combinando los menesteres militares con los específicos de la hidrografía y cartografía; acompañados de los planos y vistas correspondientes.



VUE DE LA VILLE DE CADIZ DU CÔTE DU PORT.
Anónimo (segunda mitad del siglo XVIII)



VOYAGE

FAIT PAR ORDRE DU ROI EN 1771 ET 1772,
*EN DIVERSES PARTIES DE L'EUROPE,
DE L'AFRIQUE ET DE L'AMÉRIQUE;*

Pour vérifier l'utilité de plusieurs Méthodes & Instrumens,
servant à déterminer la Latitude & la Longitude, tant du
Vaisseau que des Côtes, Isles & Écueils qu'on reconnoît :

SUIVI DE

RECHERCHES POUR RECTIFIER
LES CARTES HYDROGRAPHIQUES

Un magnífico exponente de las mismas, fue la publicación, en 1778, del *Voyage fait par ordre du roi en 1771 et 1772, en diverses parties de l'Europe, de l'Afrique et de l'Amérique; pour vérifier l'utilité de plusieurs méthodes et instrumens, servant à déterminer la latitude et la longitude tant du vaisseau que des côtes, isles & écueils qu'on reconnoît: suivi de recherches pour rectifier les cartes hydrographiques*, que presentó en colaboración con Jean-René-Antoine Verdun de la Crenne. (1741-1805) y Alexandre Guy Pingré (1711–1796). Concretando en los capítulos II, III, IV, V y VI las observaciones efectuadas en Cádiz y en las Islas Canarias; describiendo pormenorizadamente las que permitieron obtener la altitud del Pico del Teide sobre el nivel del mar. A Cádiz llegaron el 19 de noviembre y permanecieron allí hasta el 11 de diciembre: además de describir la ciudad y alrededores se detallan las observaciones astronómicas que efectuaron para calcular su latitud ($36^{\circ} 31' 7''$) y la longitud ($8^{\circ} 21'$ al Oeste de París).

CHAPITRE VI.

Opérations faites pendant notre séjour à Ténériffe; hauteur mesurée du Pic de cette île; position géographique des principaux points des îles Canaries.

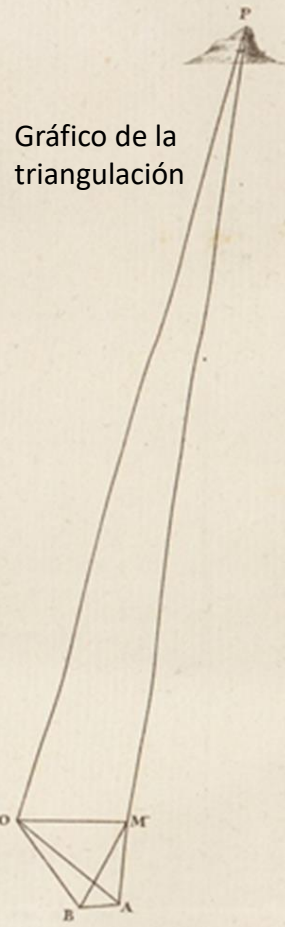
Pico del Teide



Midiendo una base

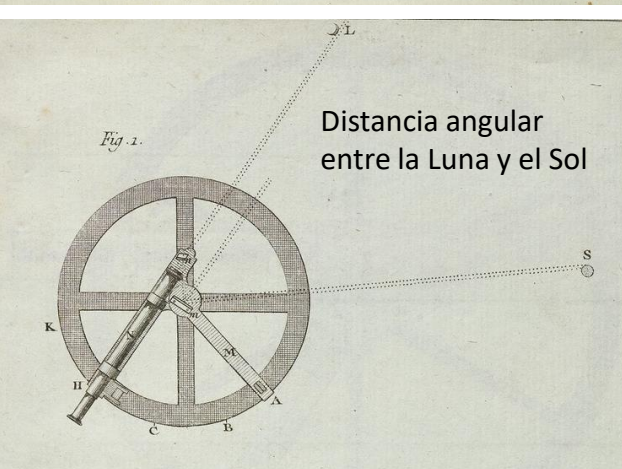
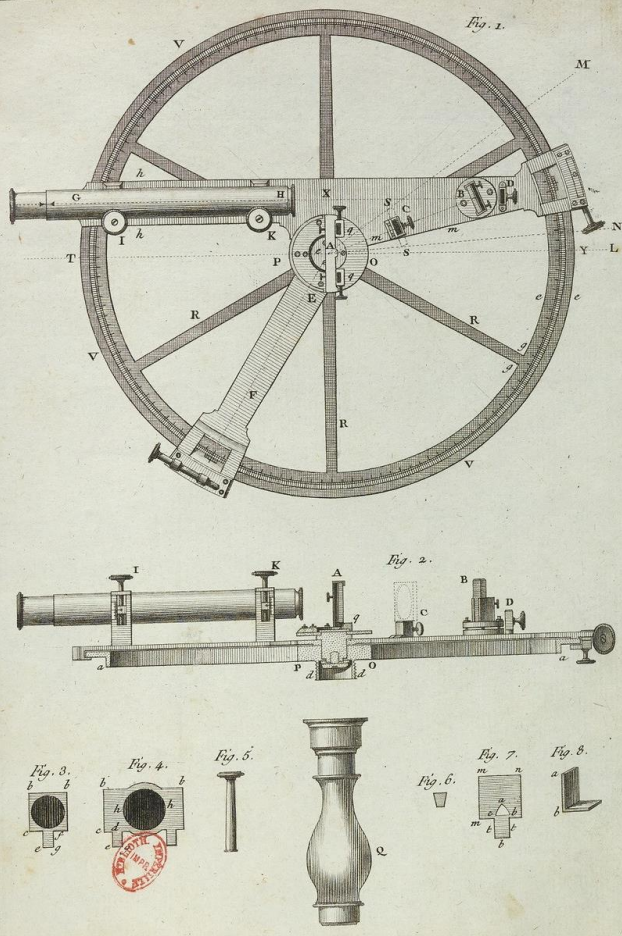
El 24 de diciembre de 1771 divisaron el Teide, midiendo la declinación magnética ($15^{\circ}30'NW$ en lugar de los 18° observados en Cádiz). Al describir las Islas Canarias, ya hicieron mención de los diversos valores que se le habían atribuido con anterioridad a la altitud de su mayor Pico, sobre el nivel del mar.

Citando por ejemplo las 2213 toesas halladas por Louis Éconches Feuillée (1660-1732) o las 2062 que obtuvo P. Bouguer; adelantando ya que el nuevo valor debería ser de 1742 toesas. En el capítulo VI se detallan las observaciones astronómicas y topográficas realizadas durante su estancia en la Isla de Tenerife, recordando antes el intento de L.E. Feuillée y su medida de una base de 200 toesas con una cadena de 60 pies, sobre una playa en el Puerto de la Orotava. La medida fue cuestionada por Borda, al entender que la base era demasiado pequeña; de hecho, la suya fue cinco veces mayor. Para proceder a la medición se proyectó una red triangular con dos bases (una mucho mayor que la otra), cuyos vértices fueron los siguientes: P (Pico del Teide), O la cumbre de la Orotava, M, la Montañeta de la Villa y AB la base menor. Una vez medida esta y los ángulos de todos los triángulos, se calcularon las longitudes de los lados; pudiendo así determinar el desnivel entre un vértice dado y el Pico, haciendo intervenir la inclinación de la visual correspondiente. Procediendo de esa forma se obtuvo un valor medio de 1700.5 toesas, que sumadas a la altitud del vértice A (44 toesas) se convertían en 1744. 5, o bien en 1742 toesas (una vez corregida por la refracción); siendo esa la altitud atribuida finalmente al Teide. También obtuvieron su valor a partir de observaciones efectuadas a bordo de las naves, aunque fuesen conscientes de que el resultado sería menos fiable: «Nous avons essayé de plus de mesurer cette hauteur par des opérations faites sous voiles; ce moyen étoit sans doute moins susceptible de précision que celui des mesures géodésiques que nous avons employées a terre».

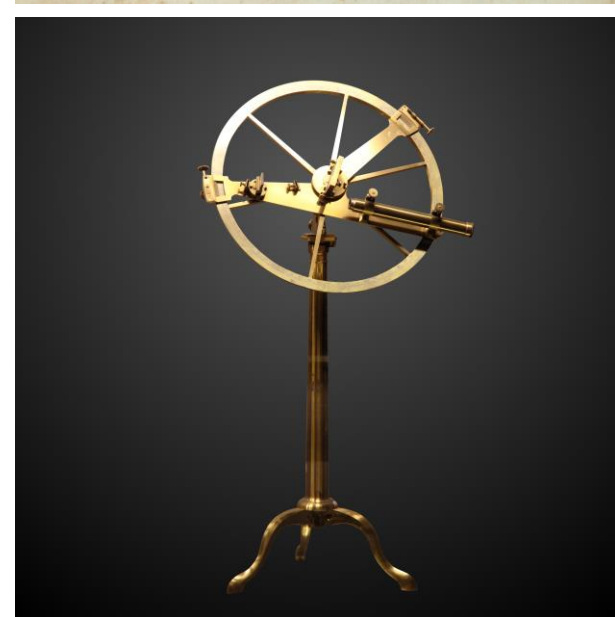
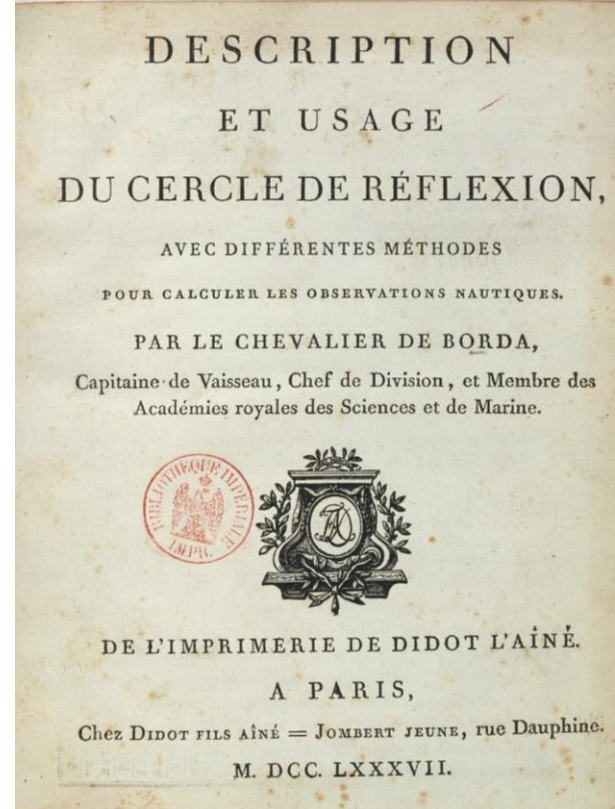


VISTA PANORÁMICA DE LA ISLA DE TENERIFE
tomada durante la expedición

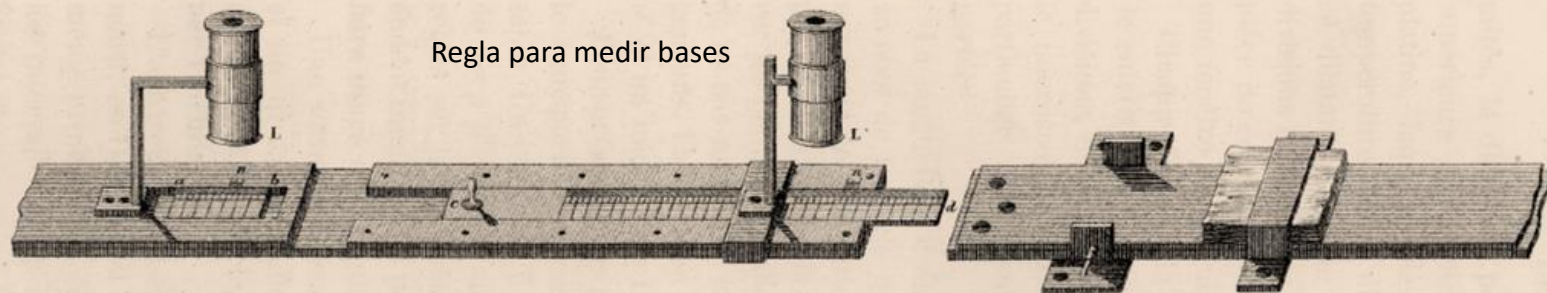




Uno de los mayores problemas que debieron resolver permanentemente durante la travesía fue el del posicionamiento de la nave sobre el globo terráqueo, esto es la determinación de su latitud y longitud. La obtención de la primera resultaba inmediata, pues se obtenía en función de la altura meridiana del Sol y de su declinación en tal instante; la dificultad se presentaba con la longitud (echar el punto), pues dependía del tiempo. La diferencia de longitudes entre dos lugares dados coincide con la diferencia de las horas locales a que se observa desde ellos el mismo fenómeno astronómico. La metodología de la época se basaba en las distancias lunares (entre la Luna y el Sol, o entre la Luna y una estrella dada), medidas con un instrumento ideado por Tobías Mayer y perfeccionado hacía el año 1775 por el propio Borda, al diseñar el llamado círculo de reflexión. El instrumento constaba de un limbo con graduación centesimal, que llevaba incorporado un anteojo y dos espejos; como puede comprobarse en la publicación que lo presentaba formalmente (1787): *Description et usage du cercle de réflexion, avec différentes méthodes pour calculer les observations nautiques.*

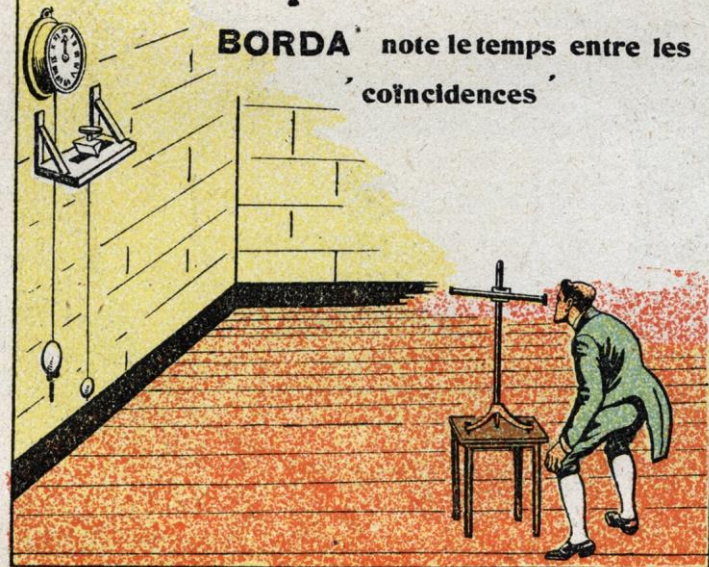


Borda diseñó también otros instrumentos matemáticos para las observaciones geodésicas terrestres: regla para medir bases, péndulo y círculo repetidor. El círculo no era más que un goniómetro en el que se medían los ángulos mediante el método de repetición: se repetía varias veces la misma observación en distintos sectores del limbo y se promediaba el resultado, eliminando así los posibles errores de graduación. El instrumento llevaba dos anteojos, que se usaban para apuntar simultáneamente a cada vértice que intervenía en la observación. La estabilidad del conjunto la proporcionaba una columna cónica pivotante, apoyada sobre una plataforma circular soportada por tres brazos horizontales que terminaban en sendos tornillos niveladores. La columna lleva en su parte superior un estribo sobre cuyas ramas verticales descansa un eje horizontal atravesado perpendicularmente por otro eje en cuyos extremos se fijan el círculo de medida y su contrapeso. La altura del instrumento era de 77 cm, el ancho 51 cm, siendo 3.7 cm el diámetro de cada uno de los objetivos de los anteojos.

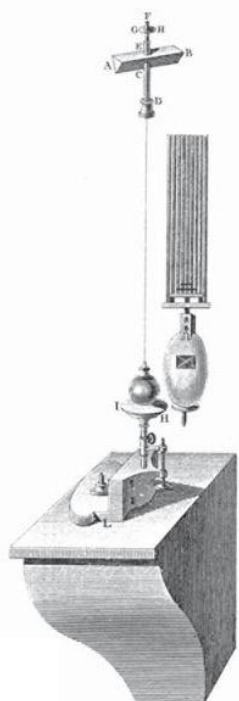
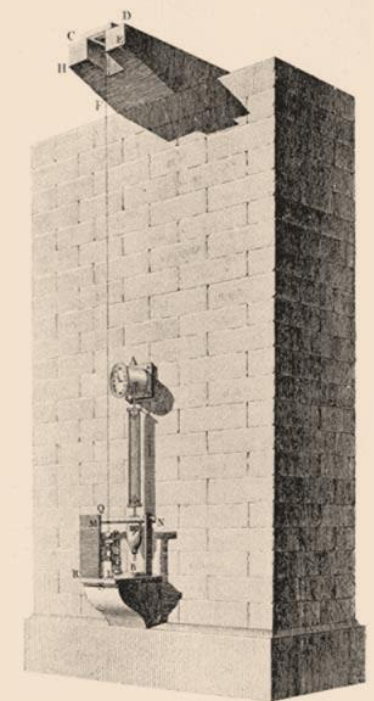


VARIATIONS de 'G' durée des petites "oscillations"

BORDA note le temps entre les
coïncidences



El péndulo que diseñó Borda, y fue construido por su alumno aventajado Etienne Lenoir (1744-1832), jugó un papel preponderante en la historia de la geodesia y del Sistema Métrico Decimal. La lenteja del aparato colgaba de una cuerda de acero de 12 pies suspendida de un filo de cuchillo montado en un subterráneo del Observatorio de París. Tanto Borda como Jean-Dominique Cassini, observaron en 1792 las coincidencias, entre la oscilación de un péndulo simple y la de un reloj que marcaba con precisión los segundos, apuntado perpendicularmente a la pared con un anteojo. La mayor desviación de la media de las veinte coincidencias que registraron fue una parte por 100.000. Sus cálculos los corrigieron por la dependencia del período de la amplitud de la oscilación, la temperatura, la presión del aire, la flexión del soporte y la cuerda de acero, el momento de inercia de la lenteja etc. Tras el experimento, aseguraron que la longitud del péndulo, que batía segundos, fue del orden de 440,5593 líneas de la toesa utilizada en la expedición al Perú; como la toesa equivalía a unos 1.9m, resultaba una longitud próxima al metro.



Instrumentos matemáticos
en la fachada Sur del
Observatorio de París.

Modelo del nuevo patrón lineal que aún permanece
en Rue Vaugirard (París), desde que fue colocada en 1796

METRE

R A P P O R T

S U R

LE CHOIX D'UNE UNITÉ DE MESURE,

Lu à l'Académie des Sciences le 19 mars 1791.

IMPRIMÉ PAR ORDRE DE L'ASSEMBLÉE NATIONALE.

L'IDÉE de rapporter toutes les mesures à une unité de longueur prise dans la nature, s'est présentée aux mathématiciens dès l'instant où ils ont connu l'existence d'une telle unité, & la possibilité de la déterminer: ils ont vu que c'étoit le seul moyen d'exclure tout arbitraire du système des mesures, & d'être sûrs de la conserver toujours le même, sans qu'aucun autre évé-

Fait à l'Académie le 19 mars 1791. Signé BORDA,
LA GRANGE, LA PLACE, MONGE, CONDORCET.

Je certifie le présent extrait conforme à l'original
& au jugement de l'Académie. A Paris le 21 mars 1791.

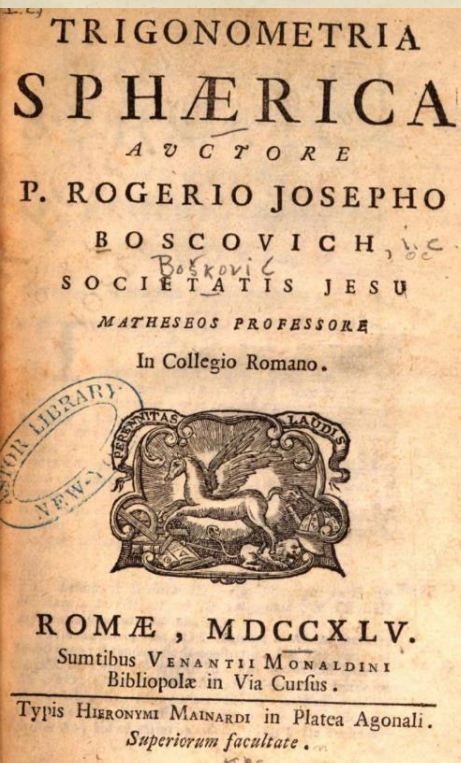
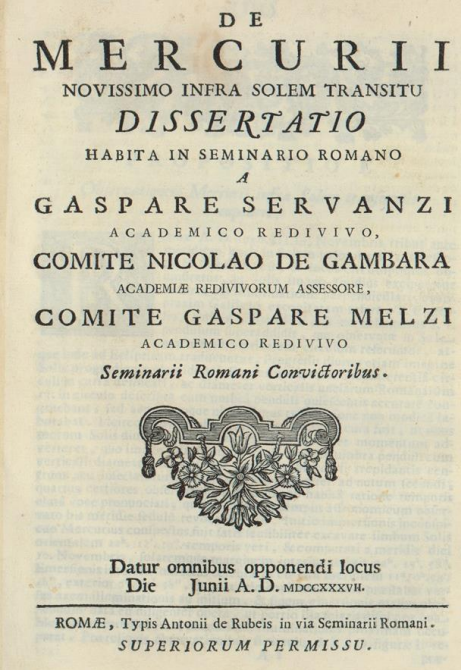
CONDORCET, *Secrétaire perpétuel.*

El experimento del Observatorio de París no fue casual, pues en un principio se pensó que el patrón de las medidas lineales fuese la longitud del péndulo que bate segundos. Borda fue protagonista de excepción en la gestación del Sistema Métrico Decimal, formando parte de todas las comisiones que se fueron creando en ese periodo histórico; incluso parece ser que fue él quien acuñó el nombre de metro, una vez que se decidió sustituir la longitud del péndulo y ligar la futura unidad al tamaño de la Tierra. Hay un documento de innegable valor científico, que lleva su firma y las de otros matemáticos no menos ilustres: *Rapport sur le choix d'une unité de mesure*, la cual fue leída en la Academia de Ciencias, durante la sesión celebrada el 19 de marzo de 1791.

TABLES
TRIGONOMÉTRIQUES DÉCIMALES,
OU
TABLE DES LOGARITHMES
DES
SINUS, SÉCANTES ET TANGENTES,
SUIVANT LA DIVISION DU QUART DE CERCLE EN 100 DEGRÉS, DU DEGRÉ
EN 100 MINUTES, ET DE LA MINUTE EN 100 SECONDES;
PRÉCÉDÉES
DE LA TABLE DES LOGARITHMES
DES NOMBRES
DEPUIS DIX MILLE JUSQU'À CENT MILLE,
ET DE PLUSIEURS TABLES SUBSIDIAIRES:
CALCULÉES PAR CH. BORDA,
REVUES, AUGMENTÉES ET PUBLIÉES
PAR J. B. J. DELAMBRE,
Membre de l'Institut national de France et du Bureau des Longitudes.
A PARIS,
DE L'IMPRIMERIE DE LA RÉPUBLIQUE.
AN IX.

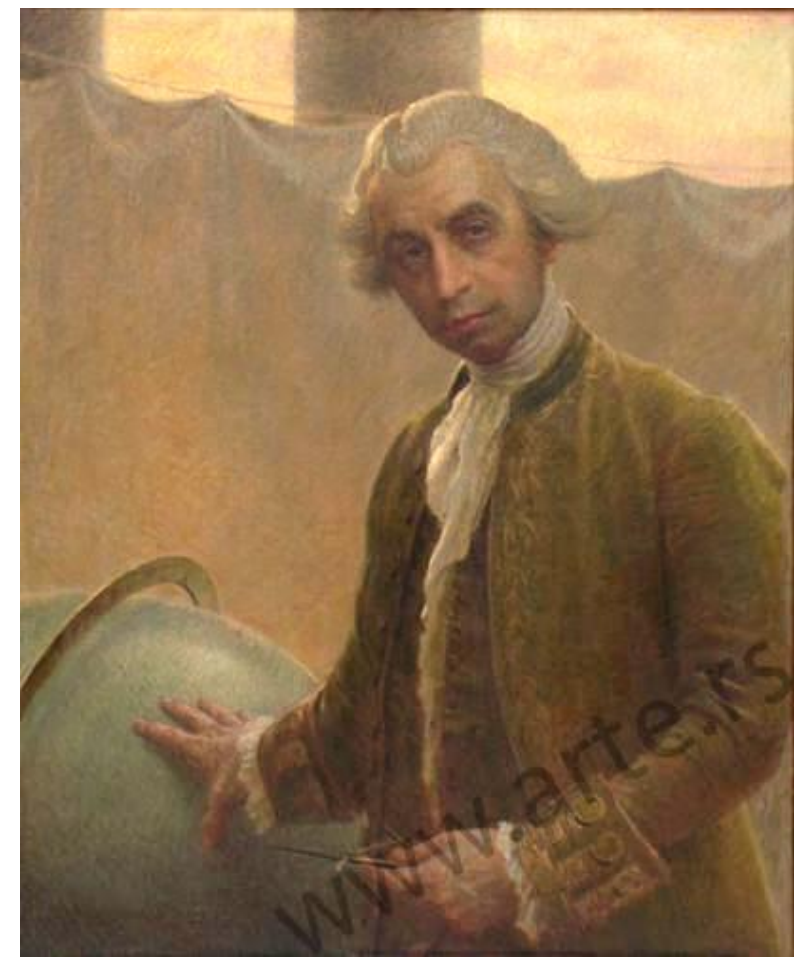
Entre otras aportaciones de Borda, han de citarse sus tablas trigonométricas y logarítmicas, ampliamente usadas en los cálculos relativos a las triangulaciones extendidas a lo largo del arco de meridiano; aunque se publicasen a título póstumo, por iniciativa de J. Delambre en el año 1804. En la introducción hizo el autor un alegato en favor de la división decimal del nuevo sistema métrico, y de la consiguiente graduación centesimal de la circunferencia (400 g). A continuación, realizó un cuidadoso estudio sobre el cálculo logarítmico, en el que reconoció la validez de las aportaciones de Euler al respecto. Las tablas fueron también presentadas por J. Delambre, como editor de las mismas.





Roger Joseph Boscovich (1711-1787)

Este jesuita croata, nacido en Dubrovnik, poseía un talento especial y una curiosidad científica envidiable. En el año 1725 se trasladó a Italia para formarse en el *Collegium Romanum*, estudiando matemáticas, física, astronomía y geodesia; nada más finalizarlos fue contratado como profesor del mismo. Las labores de enseñanza las simultaneó con la investigación, analizando los Principia de Newton, observando el tránsito de Venus el 11 de noviembre de 1736 (*De Mercurii novissimo infra solem transitu*. 1737) y publicando un libro sobre trigonometría esférica: *Trigonometriae sphaericae constructio*. Boscovich fue uno de los primeros europeos del continente en aceptar la teoría gravitacional de Newton, escribiendo nada menos que 70 artículos sobre óptica, astronomía, gravitación, meteorología y trigonometría. Su principal inquietud geodésica se centró en la figura de la Tierra, desarrollando la idea estadística de minimizar la suma de los residuos. Otra de sus contribuciones más notables fue la deducción de la órbita de un planeta a partir de tres de sus posiciones.



DANS CETTE MAISON A VECU ET TRAVAILLE
DE 1775 A 1777
ROGER JOSEPH BOSCOVICH
PHILOSOPHE, MATHÉMATICIEN ET ASTRONOME
FONDATEUR DE L'ATOMISME MODERNE
NATIF DE DUBROVNIK
CROATE DE NAISSANCE, FRANÇAIS D'ADOPTION
U OVOJ JE KUĆI ŽIVIO I RADIO
OD 1775 DO 1777
RUGJER JOSIP BOŠKOVIĆ

DE
LITTERARIA EXPEDITIONE
PER
PONTIFICIAM DITIONEM
AD DIMETIENDOS DUOS MERIDIANI GRADUS
ET CORRIGENDAM MAPPAM GEOGRAPHICAM
JUSSU, ET AUSPICIIS
BENEDICTI XIV.
PONT. MAX.
SUSCEPTA A PATRIBUS SOCIET. JESU
CHRISTOPHORO MAIRE
ET
ROGERIO JOSEPHO BOSCOVICH.



ROMÆ MDCCLV.
IN TYPOGRAPHIO PALLADIS
EXCUDERANT NICOLAUS, ET MARCUS PALBARINI
PRÆSIDUM PERMISSU.



El prestigio alcanzado por Boscovich hizo que, en el año 1750, lo comisionara el papa Benedicto XV para medir el arco de meridiano comprendido entre Roma y Rimini; en colaboración con otro jesuita, el inglés Christopher Maire (1697–1767), Rector del Colegio inglés de Roma. En realidad, el encargo fue además de geodésico cartográfico, ya que deberían formar un nuevo mapa de los estados pontificios. Siguiendo la metodología imperante, conformaron una triangulación (con 11 vértices y 9 triángulos) entre los dos extremos del arco, en los que determinaron la latitud; obtenidas estas hallaron su diferencia para obtener la amplitud angular del arco. Acto seguido medirían una base y en función de ella darían escala a la red triangular y medirían los ángulos de todos los triángulos,; pudiendo así calcular la longitud de todos sus lados. La orientación de la red se consiguió por medio del acimut astronómico de los lados, lo que permitió proyectarlos sobre el meridiano y hallar el desarrollo lineal del mismo. El resultado de la medición era obvio: dividiendo el desarrollo por la amplitud angular, se obtendría la longitud del grado deseada. Los trabajos de campo y de gabinete concluyeron al presentar, en 1755, la Memoria: *De literaria expedition per pontificiam ditionem ad dimetiendos duos meridian gradus et corrigendam mappam geographicam.*

Caricatura de C. Marie
Museo Británico (1749)



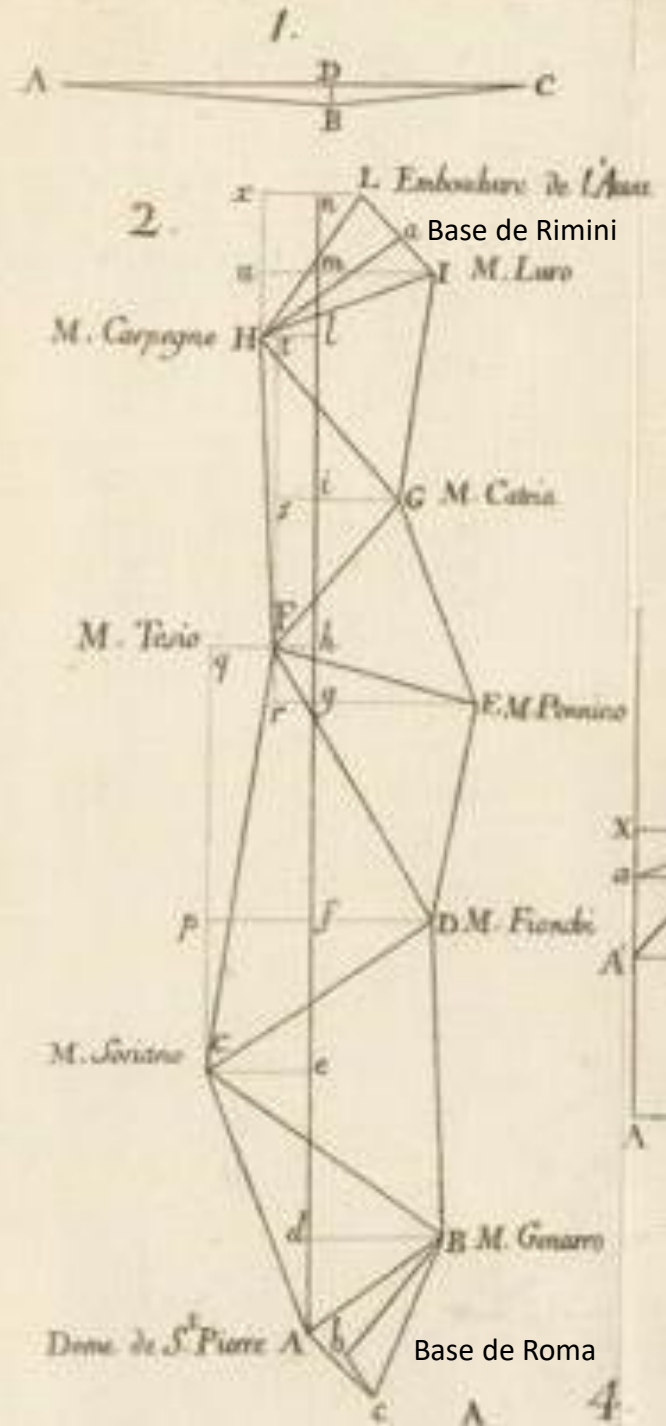
113

Aprovechando la estancia de Boscovich en París, la Memoria fue traducida al francés en el año 1770; siendo su título en español: Viaje astronómico y geodésico, en el Estado de la iglesia, emprendido por orden del Papa Benedicto XIV, para medir dos grados de meridiano y corregir los mapas del Estado eclesiástico, por los PP. MARIE & BOSCOVICH de la Compañía de Jesús. El prólogo de la obra, escrito por el propio Boscovich, anunció su estructura y contenido. Él fue también el autor del primero de sus cinco libros, realizando una introducción histórica y descriptiva del viaje literario. El segundo, escrito por Marie, contiene la determinación del valor del grado, deducido a partir de las observaciones practicadas por ambos. El tercero, también debido a Marie, trata de la revisión del mapa, la cual se apoyó en la información geográfica que ambos habían recopilado. El cuarto, escrito por Boscovich, se refirió a la descripción y uso de los instrumentos durante la operación. El quinto, asimismo escrito por él, contiene la determinación de la figura de la Tierra por el equilibrio y la medida de los grados.

P R É F A C E.

*Du P. Boscovich Editeur, & l'un des deux Auteurs
de l'Ouvrage latin.*

A U L E C T E U R.



TRIANGLES.	Angles observés, réduits au centre.	Les mêmes Angles corrigés.	De-là le côté en pas romains (1).
L'AUSA.	L 78° 48' 22"	78° 48' 18"	LH 23862.3
Autre extrem. de la base.	a 82 3 10	82 3 6	
CARPEGNA.	H 19 8 36	19 8 36	
	180 0 8	180 0 0	
L'AUSA.	L 77 19 44	77 19 56	IH 25367.7
LURO.	I 66 35 52	66 36 2	
CARPEGNA.	H 36 3 56	36 4 2	
	179 59 32	80 0 0	
LURO.	I 64 58 37	64 58 31	HG 32465.2
CARPEGNA.	H 69 57 6	69 56 59	
CATRIA.	G 45 4 34	45 4 30	
	180 0 17	180 0 0	
CARPEGNA.	H 37 12 15	37 12 11	GF 27429.8
CATRIA.	G 97 6 12	97 6 1	
TESIO.	F 45 41 53	45 41 48	
	180 0 20	180 0 0	
CATRIA.	G 64 51 52	64 51 54	FE 30104.3
TESIO.	F 59 33 25	59 33 30	
PENNINO.	E 55 34 34	55 34 36	
	179 54 54	180 0 0	
TESIO.	F 45 46 33	45 46 33	FD 45316.4
PENNINO.	E 92 38 54	92 38 56	
FIONCHI.	D 41 34 31	41 34 31	
	179 59 58	180 0 0	
TESIO.	F 30 36 2	38 35 57	DC 37200.7
FIONCHI.	D 91 56 32	91 56 21	
SORIANO.	C 49 27 48	49 27 42	
	180 0 22	180 0 0	
FIONCHI.	D 60 5 30	60 5 30	CB 42258.3
SORIANO.	C 70 10 21	70 10 19	
GENARRO.	B 44 44 12	44 44 11	
	180 0 3	180 0 0	

(1) Voyez au commencement de ce volume la table de réduction des pas romains en toise & pieds de Paris.

TRIANGLES.	Angles observés, réduits au centre.	Les mêmes Angles corrigés.	De-là le côté en pas romains.
SORIANO.	C 32° 13' 6"	32° 13' 10"	BA 22954.3
GENARRO.	B 68 48 20	68 48 30	
Dôme de St Pierre.	A 78 58 18	78 58 20	
	179 59 44	180 0 0	
GENARRO.	B 32 38 10	32 38 7	Bc 24244.8
Dôme de St Pierre.	A 79 1 10	79 1 3	
Extr. or. de la base.	C 68 20 56	68 20 50	
	180 0 16	180 0 0	
GENARRO.	B 19 17 27	19 17 27	bc 8033.4
Extr. occ. de la base.	b 94 24 33	94 24 30	
Extr. or. de la base.	c 66 18 6	66 18 3	
	180 0 6	180 0 0	

Gráfico de la triangulación, obsérvense en los dos triángulos extremos las bases geodésicas (una para el cálculo y otra de comprobación). Se presentan también los ángulos reducidos al centro de la estación y sus valores ya corregidos (sin el exceso esférico) y las dimensiones de los lados, expresadas en pasos romanos (1 paso ≈ 0.76 toesas). La escala la impusieron las bases de Roma (8034. 67 pasos) y la de Rimini (8033.4 pasos). Desarrollo del grado ≈ 56979 toesas.



LIVRE CINQUIEME.

Recherches sur la figure de la Terre, déterminée par les loix de l'équilibre, & par la mesure des degrés.

CHAPITRE PREMIER.

De la figure de la Terre, déduite des loix de l'équilibre.

Boscovich estaba plenamente convencido de que con las medidas geométricas no se podría llegar a un modelo matemático de la Tierra, pues siempre quedaría la duda sobre su achatamiento polar: «... cuanto más se ha medido un grado, más incierta se ha hecho la figura de la Tierra». En cambio, propugnaba que los procedimientos físicos,

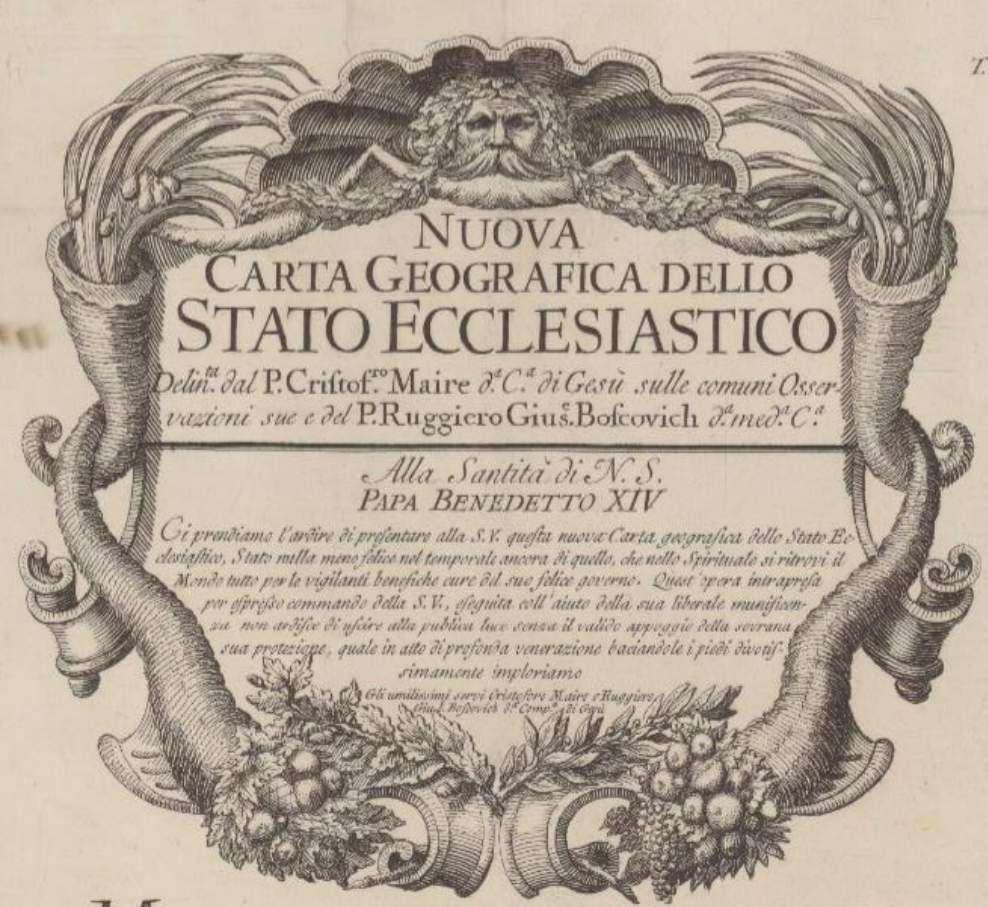
basados en criterios gravitacionales asociados a la rotación planetaria en torno a su eje, eran los más convenientes; explicándose así que se refiriera con detenimiento a los modelos defendidos en su momento por Huygens, Newton, Mac Laurin (1698-1746), y el mismo.

CHAPITRE II.

De la figure de la Terre, déterminée par la mesure des degrés.

Las primeras medidas elegidas por Boscovich para determinar el modelo elipsoidal de la Tierra fueron las que se citan a continuación: la de Maupertuis, junto a otros tres Académicos, efectuada en Laponia; la de Cassini y de la Caille rectificadoras del arco de Picard,

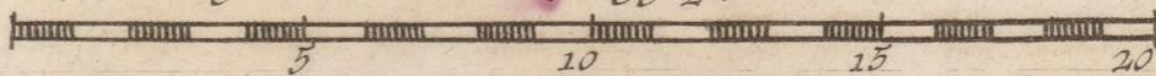
la de Bouguer y de la Condamine (sorprende que no mencionase a L. Godin, a J. Juan y a A. de Ulloa), en el Perú; la que acababa de hacer el abate de la Caille en el Cabo de Buena Esperanza; «aux-quels on me permettra d'ajouter celui qui nous avons mesurées dans les Etats du Pape».



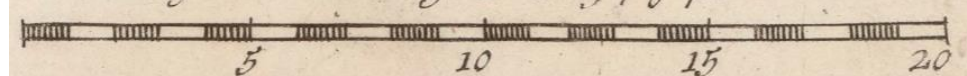
La aportación cartográfica de los dos jesuitas fue extraordinaria: la representación planimétrica, en tres hojas de 50 x 66. 5 cm, del territorio eclesiástico (*Nuova carta geografica dello stato ecclesiastico delinta dal P. Cristoforo Maire, de. C a. di Gesu sulle comuni osservazioni sue e al P. Ruggiero Gius. Boscovich*). La escala elegida fue de 74. 5 millas romanas por grado (1/358000, aproximadamente); aunque se incorporasen diez escalas gráficas, nueve referidas a las millas de diferentes ciudades (Ancona, Bolonia, Florencia, Perugia, entre otras) y una más para la legua francesa de 25 por grado. El mapa es esencialmente planimétrico, con el dibujo de la red hidrográfica y la simulación del relieve, mediante normales rudimentarias. La rotulación mayoritaria fue con letra itálica, reservándose la romanilla mayúscula para indicar los territorios y la minúscula para los núcleos urbanos (simbolizados de acuerdo con su importancia). Las tres hojas

llevan incorporada una importante información marginal: I) Cartela, dedicada al Su Santidad el Papa Benedicto XIV, y las escalas gráficas; II) Tabla con los nombres antiguos de algunas ciudades, castillos y ríos; III) Una extensa advertencia en donde se resume el proceso seguido para obtener el mapa.

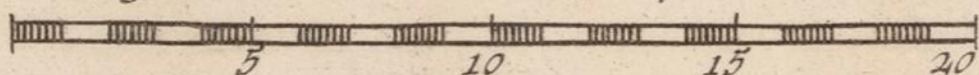
Miglia di Ancona a $53\frac{1}{2}$ per Grado.



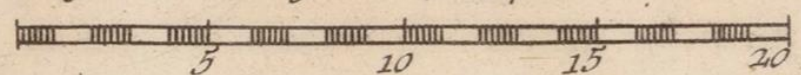
Miglia di Bologna a $57\frac{5}{8}$ per Grado.



Miglia di Firenze a $67\frac{1}{2}$ per Grado.



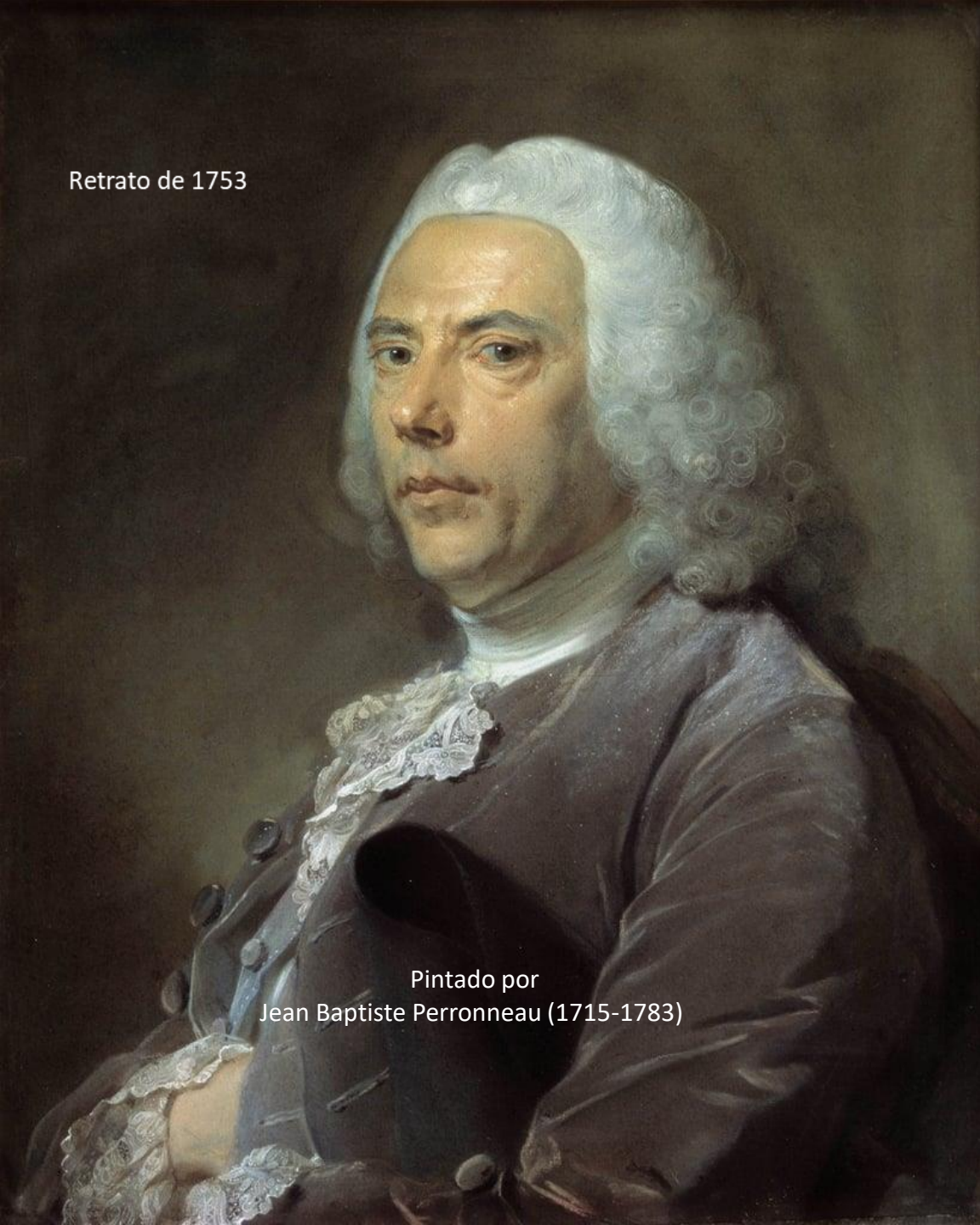
Miglia di Perugia a $76\frac{1}{4}$ per Grado.



El soporte científico del mapa fue la triangulación geodésica previa, con a que se consiguió saber el desarrollo del grado de meridiano. No obstante, para captar el resto de la información geográfica que contiene, se levantaron topográficamente algunos detalles planimétricos y se localizaron por intersección (directa o inversa) aquellos puntos que consideraron de especial interés. Desde el punto de vista geográfico, merecen ser destacadas todas las observaciones astronómicas que permitieron construir las tablas con las latitudes y longitudes de todas las villas del Estado Eclesiástico, con las que concluye el libro tercero del Viaje.



Retrato de 1753



Pintado por
Jean Baptiste Perronneau (1715-1783)

Pierre Bouguer (1698-1758)

Figura indiscutible en las Ciencias de la Tierra y en la Hidrografía, una disciplina cuyos primeros conocimientos le fueron enseñados por su padre. En el año 1727 ya ganó el premio convocado por la Academia de Ciencias, sobre los mástiles de los barcos: *Quelle est la meilleure manière de mâter les Vaisseaux, tant par rapport à la situation qu'au nombre & à la hauteur des mâts*. Dos años después contribuyó al progreso de la astronomía náutica, ganado de nuevo otro concurso de la Academia, el tema fue ahora: *Quelle est la meilleure Méthode d'observer les hauteurs sur mer, par le Soleil & par les Étoiles, soit par des instrumens déjà connus, soit par des instrumens de nouvelle inventio*. En el año 1730, convocó la Academia el concurso : *Sur la meilleure méthode d'observer sur mer la déclinaison de l'aiguille aimantée, ou la variation de la boussole*; el cual fue ganado otra vez por P. Bouguer. Al año siguiente fue elegido miembro asociado en la Sección de matemáticas, adquiriendo los plenos derechos en 1735.



En ese mismo año propuso L. Godin a la Academia de Ciencias la conveniencia de enviar una Comisión a la zona ecuatorial para medir el desarrollo de un grado de meridiano y tratar de zanjar la polémica sobre la forma de la Tierra, que mantenían los partidarios de Newton (elipsoide oblato) y los de Descartes (elipsoide prolato). La Academia aceptó su propuesta y la expedición científica partió del puerto de la Rochelle el 16 de mayo de 1735, llegando a las costas peruanas en marzo de 1736, tras hacer escala en las Antillas, y a Quito en junio de ese último año. Bouguer fue uno de los académicos, que decidió participar en tan interesante proyecto, movido seguramente por su interés en el asunto y por su afán de protagonismo; lo que ya produjo sus primeros enfrentamientos con Godin, al no aceptar de buen grado que este comandara la Misión . La tensión continuó y se acentuó en las primeras decisiones, llegando a medirse la base Yaruqui, en las cercanías de Quito, de forma independiente: Bouguer (6272 toesas 4 pies y 5 pulgadas) y Godin (6272 toesas 4 pies y 2 pulgadas).



Monumento a la Misión geodésica francesa
Parque de la Alameda. Quito

El desacuerdo entre ambos se extendió al resto de los comisionados, hasta el extremo de formarse dos equipos de trabajo y de establecerse dos cadenas de triángulos, que solo tenían en común los de su parte central. Finalizadas las medidas angulares de la triangulación se procedió a las observaciones astronómicas: L. Godin las hizo con J. Juan y A. de Ulooa, mientras que P. Bouguer se asoció con la Condamine. Las discrepancias aumentaron a partir de entonces, ya que Godin era un observador experimentado y los otros no, por lo que debieron pasar por un prolongado periodo de aprendizaje: durante dos años resultaron infructuosos todos los ensayos.

El intercambio de datos no se produjo hasta el 22 de marzo de 1742, aunque continuasen las observaciones en el año 1743, en que se dieron por concluidas. P. Bouguer regresó a París el 27 de junio de 1744, siendo el primero en dar cuenta de las observaciones encomendadas por la Academia con la publicación de 1749: *La figure de la Terre, déterminée par les observations de Messieurs Bouguer, & de La Condamine, de l'Académie Royale des Sciences, envoyés par ordre du roy au Pérou, pour observer aux environs de l'Equateur*. Avec une relation abrégée de ce voyage, qui contient la description du pays dans lequel les opérations ont été faites. El libro lo ilustró con el mapa de la triangulación, conformada a lo largo del meridiano de Quito.

LA FIGURE DE LA TERRE,

Déterminée par les Observations de Messieurs
BOUGUER, & DE LA CONDAMINE, de
l'Académie Royale des Sciences, envoyés par
ordre du Roy au Pérou, pour observer aux
environs de l'Equateur.

Avec une Relation abrégée de ce Voyage, qui contient
la description du Pays dans lequel les
Opérations ont été faites.

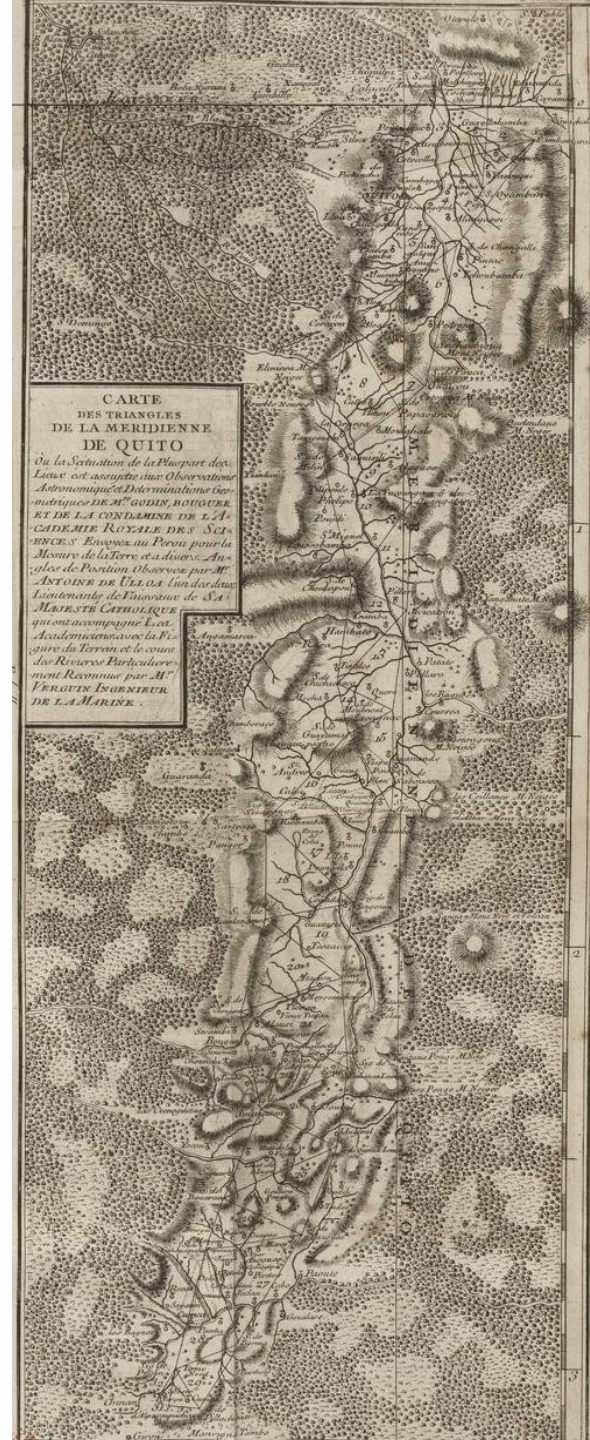
PAR M. BOUGUER.



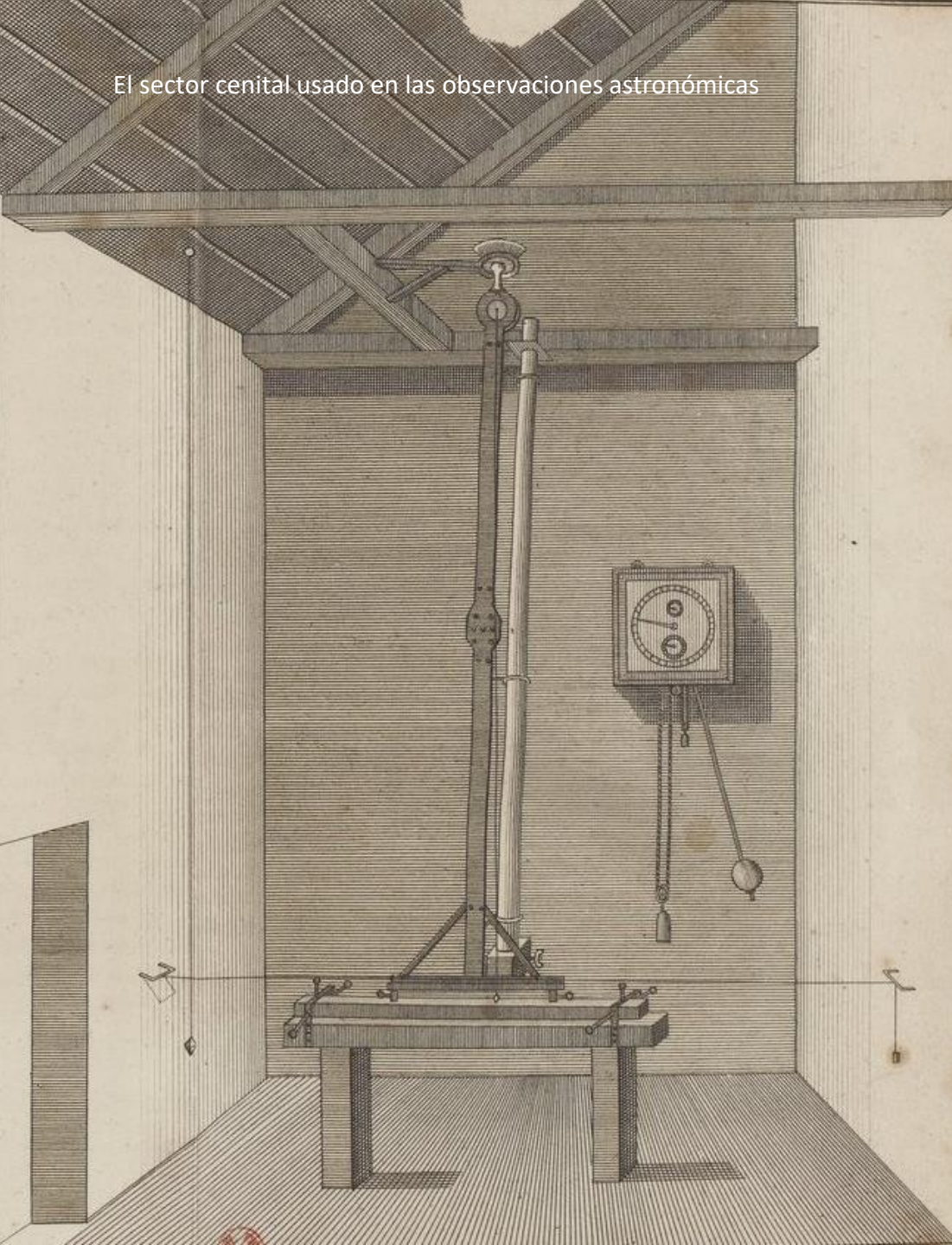
A PARIS, QUAY DES AUGUSTINS,
Chez CHARLES-ANTOINE JOMBERT, Libraire du Roy
pour l'Artillerie & le Génie, au coin de la rue Giff-le-Cœur,
& l'Image Notre-Dame.

M. DCC. XLIX.

7546



El sector cenital usado en las observaciones astronómicas




En la tercera Sección se reducen los valores de los ángulos al plano horizontal, por medio de la trigonometría esférica; se obtuvieron los desniveles entre los vértices de los triángulos; se determinaron los acimutes de los lados, con los que se orientó la red triangular; y se obtuvieron las altitudes de todas las estaciones sobre el nivel del mar. La cuarta sección se dedicó a las observaciones astronómicas, subrayando la relevancia del sector cenital empleado al visar las estrellas situadas en la proximidad del cenit. La quinta continuó comentando las que fueron necesarias para calcular la amplitud angular del segmento elegido en el meridiano de Quito, para obtener después el desarrollo de un grado de meridiano; se detalló igualmente la determinación de la oblicuidad de la eclíptica en el último solsticio de 1736 y en el primero de 1737, con un instrumento de 12 pies de radio; además de otras observaciones efectuadas después en los extremos del arco de meridiano, para concluir hallando el desarrollo del primer grado de latitud: *Ainsi je fixe toujours à 56753 la longueur du premier degré de latitude au niveau de la Mer; l'étendue de la minute sera presque de 945.9 toises: & admetant le rapport établi par Mélius entre le diamètre du cercle & sa circonférence, le rayon de la curvité du Méridien aux environs de l'équateur sera de 3251707 toises.*

La Sección sexta se inició recordando la historia de la figura de la Tierra, para referir de inmediato como variaba el aumento del desarrollo del grado proporcionalmente a las potencias del seno de la latitud. Seguidamente se estudió la relación entre los dos ejes de la Tierra, para cada una de las potencias supuestas. La sección culmina concretando los desarrollos de los paralelos y con la presentación de unas tablas loxodrómicas, reflejo de su permanente interés por la navegación. Fue en esta Sección donde fijó inequívocamente su posición con relación a la controversia entre newtonianos y cartesianos: *On trouve que le degré de l'Equateur est plus grand que le premier degré du Méridien dans le rapport de 112 à 111, & que le diamètre de l'equateur est à l'axe proprement dit, comme 179 a 178. Ainsi la Terre, au lieu d'être exactement sphérique, à une 179^{me} partie moins d'épaisseur dans le sens d'un Pole à l'autre.* Más adelante fue aún más explícito, pues fijó el diámetro del Ecuador en 6562391 toesas y el eje de la Tierra en 6532903 toesas, de manera que su figura debería ser más ensanchada en el Ecuador que en los Polos: alrededor de 14744 toesas, casi 6.5 leguas comunes de Francia.

32. TABLE

De la longueur des degrés Terrestres, dans la supposition que les accroissemens des degrés du Méridien à l'égard du premier suivent le rapport des quarrés des Sinus des latitudes.

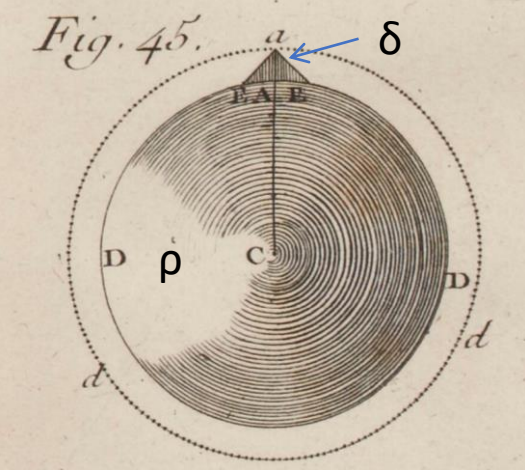
Latitudes.	Degrés du Méridien.	Degrés de grands cercles perpen. au Méridien.	Degrés des parallèles à l'Equateur.	Latitudes.	Degrés du Méridien.	Degrés de grands cercles perpen. au Méridien.	Degrés des parallèles à l'Equateur.
Degrés	Toises.	Toises.	Toises.	Degr.	Toises.	Toises.	Toises.
0	56753	57268	57268	46	57153	57401	39874
5	56759	57270	57052	47	57166	57405	39150
10	56776	57276	56405	48	57179	57410	38415
15	56805	57285	55333	49	57193	57414	37668
20	56843	57298	53843	50	57206	57419	36908
25	56888	57313	51944	54 d. 44'	57268	57440	33165
30	56946	57332	49652	55	57271	57441	32947
35	57007	57353	46981	60	57332	57461	28730
40	57072	57374	43951	65	57390	57480	24292
41	57085	57379	43305	70	57435	57495	19665
42	57099	57383	43643	75	57473	57508	14885
43	57112	57388	41971	80	57502	57518	9989
44	57125	57392	41285	85	57519	57523	5013
45	57139	57397	40586	90	57525	57525	0



Volcán Pichincha. Ecuador

La relevancia de la séptima y última Sección estriba en el nuevo enfoque que dio P. Bouguer al problema de la figura de la Tierra, apoyándose exclusivamente en los principios de la Física, al igual que hizo antes con los de la Geometría; él mismo anunció su contenido al mencionar los experimentos efectuados con el péndulo de segundos, la disminución de la intensidad de la gravedad con la altitud y la Memoria sobre la atracción ejercida por las montañas. P. Bouguer fue uno de los pioneros que sentó las bases del desarrollo de la gravimetría y por ende de las ciencias experimentales. En sus observaciones comparó las oscilaciones del péndulo con las de un reloj, que regulaba

diariamente; de ese modo cuantificaba las variaciones de la gravedad más por el número de oscilaciones en 24 horas que por las diferencias en la longitud del péndulo, más difíciles de concretar. Los experimentos los efectuó en tres lugares de altitud diferente: a nivel del mar, en Quito y en la cumbre del Pichincha; comprobando que la longitud del péndulo de segundos variaba 0.36 líneas entre la primera y la tercera estación, lo que le hizo cuestionar el modelo previsto por Huygens: *«...en un mot, la Terre est beaucoup plus aplatie dans le sens de son axe que ne l'avait prétendu M. Huygens ... et on peut se souvenir ... que le pendule s'est trouvé plus court ... sur le sommet du Pichincha ... »*. La generalización del resultado le llevó a deducir que la variación de la gravedad respondía a la fórmula $\Delta g \approx -2hg/R$, siendo h la altitud y R el radio de la Tierra. En relación, con esa variación, es evidente su referencia a la posible atracción ejercida por las masas situadas entre el nivel del mar y la estación del Observador.



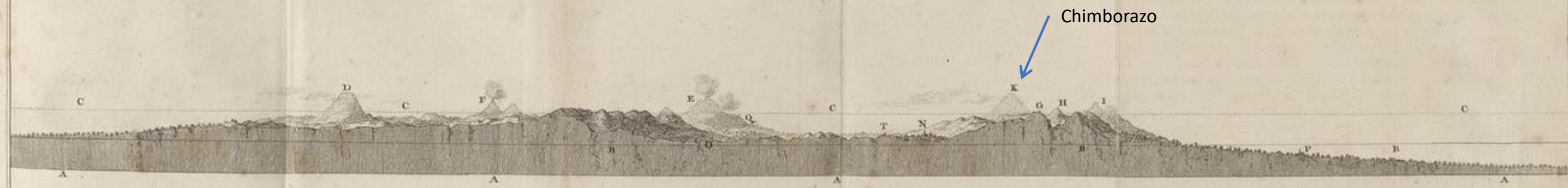
Más adelante perfeccionó el resultado anterior, al hacer intervenir la atracción ejercida por una montaña localizada en Quito, de una cierta densidad δ ; concluyendo que debía ser inferior a la densidad media del globo terráqueo (ρ), en la proporción $\delta/\rho \approx 0.21$, y añadiendo: «Ainsi il faut convenir que la Terre est beaucoup plus compacte en bas qu'en haut, et dans

l'intérieur qu'à la surface. Car le sol de Quito est comme celui de tous les autres pays : il est mêlé de terre, de pierres et chargé tout au plus de quelques parties métalliques. C'est à une certaine profondeur que doit se faire le changement, et on ne peut pas douter qu'il ne soit très considérable. Il paraît aussi, si nous osons porter quelque jugement, sur un sujet couvert pour nous d'une si grande obscurité, qu'il était beaucoup plus convenable d'augmenter la solidité de toutes les Planètes, afin de leur donner plus de force pour continuer leur mouvement dans les espaces célestes». Hoy día se admite que la relación δ/ρ es próxima a 0.5, sin embargo, la discrepancia con Bouguer no obedece a errores de sus medidas, sino a que no tuvo en cuenta el fenómeno inducido por las llamadas raíces de las montañas y las anomalías consiguientes, de tanta importancia en los Andes. En cualquier caso, es obvio que con su intento contribuyó al posterior descubrimiento de la compensación isostática ligada al relieve terrestre.



Mapa de la Audiencia de Quito (1766)

PROFIL DE LA CORDELIERE DU PÉROU, COUPEE PAR UN PLAN VERTICAL PERPENDICULAIRE À SA LONGUEUR.



Su disertación dinámicala continuó al desarrollar el epígrafe *Memoire sur les attractions & sur la maniere d'observer si les montagnes en sont capables*. Se trataba en resumen de comprobar si una montaña voluminos desviaba la vertical física y por tanto la línea de fuerza del campo gravitatorio. Considerando que el volumen del Chimborazo era $1/7400000000$ veces el de la Tierra, con igual densidad que esta, y que la observación se haría a una distancia 1900 veces más cerca del centro de gravedad de la montaña que del de la Tierra, dedujo que la supuesta atracción debería ser $1/2000$ veces la ejercida por el planeta, coligiendo finalmente que su valor sería próximo a $1'43''$.

P. Bouguer ideó dos métodos para comprobar la validez de sus hipótesis. Mediante el primero determinaría la latitud al Norte o al Sur de una montaña y lo más cerca posible de su centro de gravedad; acto seguido procedería de igual modo en el este u Oeste, y a una gran distancia (para evitar posibles perturbaciones), siendo obvio que cualquier diferencia entre las dos latitudes sería achacable a la atracción del relieve terrestre.

El segundo método tuvo una componente geométrica. conocidas las latitudes geodésicas de dos vértices de una triangulación, al Sur y al Norte de la montaña, calculada sobre un cierto modelo matemático de la Tierra, se obtendrían las mismas latitudes a partir de observaciones astronómicas independientes; de modo que la posible diferencia entre los valores obtenidos por uno y otro procedimiento sería achacable a las desviaciones inducidas por la montaña en cuestión. Cuando P. Bouguer aplicó el primer método en el Chimborazo, dedujo que la desviación de la vertical era de $7''.5$, es decir unas catorce veces menor de la esperada; manifestando entonces: « *Il faut bien avouer que cet effet est bien différent de celui auquel nous pouvions nous attendre. Mais nous savons si peu quelle est la densité de la Terre, et d'un autre côté celle des montagnes peut être si différente de celle que nous leur attribuons, qu'il n'y a lieu de s'étonner de rien. Nous avons remarqué aussi sur Chimborazo quelques pierres calcinées, et depuis que nous en sommes descendus on m'a dit et on l'a aussi confirmé à M. de la Condamine, que c'était une tradition assez établie, que cette montagne avait été Volcan* ».

El resultado era de importancia menor, una vez demostrada la existencia de la desviación de la vertical, a pesar de que pretendiera explicarlo asegurando que la densidad del Chimborazo era mucho menor que la de la Tierra en su conjunto. La bondad de la observación efectuada por él se puso de manifiesto dos siglos después, gracias a los trabajos del ingeniero general de minas Jean Goguel (1984); el cual obtuvo unos resultados casi coincidentes con los del gran geodesta e hidrógrafo francés.



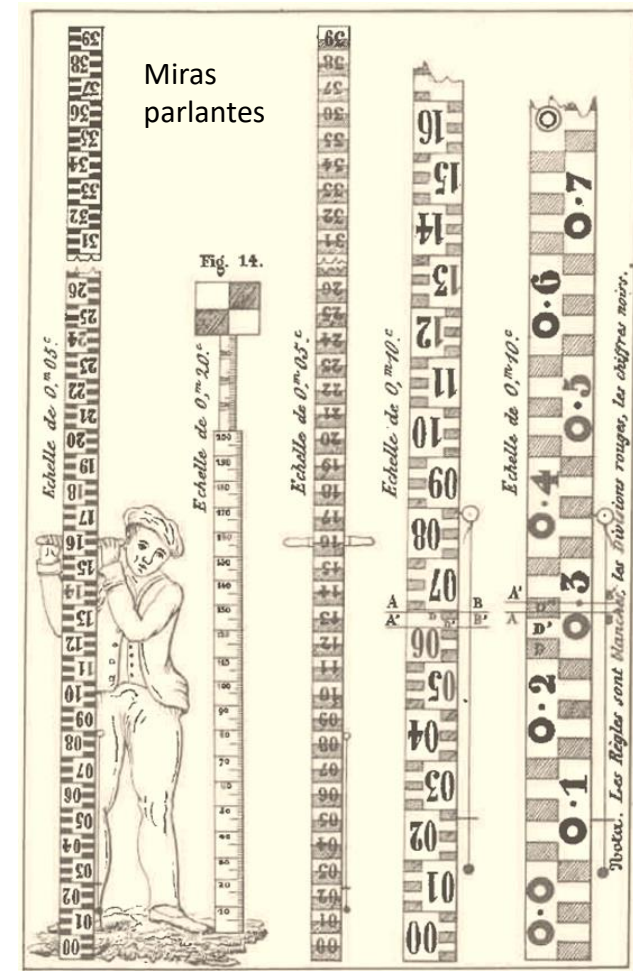


Pintado por Numa Boucoiran (1805-1875)

Paul-Adrien Bourdalouë (1798-1868)

Topógrafo e ingeniero francés, que presidió el Cuerpo de Ingenieurs de Pont et Chaussées y fue el artífice de la Nivelación General de Francia. Hacia el año 1830 introdujo una novedad que mejoraría sustancialmente la operatividad y exactitud del método topográfico correspondiente: la construcción de la llamada mira parlante, en cuya numeración introdujo el Sistema Métrico Decimal. Hasta entonces había venido empleando las miras clásicas en las que el operador que las portaba (el portamiras) manipulaba el visor mediante una cuerda y una polea, bloqueándola a

instancias del operador de turno, después realizaba la lectura y se la transmitía al mismo. Bourdalouë eliminó todos los elementos secundarios y propició que el operador fuese quien realizase la lectura sobre la graduación que incorporó a la mira. Las miras eran de 4 metros, llevando en su zona central dos placas de 2cm rojas y blancas, alternativamente situadas a izquierda y derecha, siendo su ancho de 14 cm. Llevaban incorporada una plomada que aseguraba su verticalidad. El origen de la numeración se situaba en contacto con el suelo, ya que todos los anteojos de la época invertían la imagen.

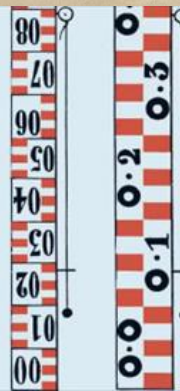


El prestigio logrado por Bourdalouë en el sector hizo que se pensase en él para tratar de poner fin a la controversia sobre el desnivel entre los dos mares: Mediterráneo y Rojo. Los ingenieros que acompañaron a Napoleón cuando invadió Egipto, lo habían fijado en unos 10 metros; siendo inmediatamente cuestionado por sabios como J.B. Fourier, P.S. Laplace y F.D. Arago. Las dudas fueron confirmadas en 1847, tras haber nivelado geométricamente el territorio por donde discurriría luego el Canal de Suez. Efectivamente, cuando Bourdalouë regresó de Egipto hizo público su resultado: los dos mares estaban prácticamente a igual nivel. No obstante, la polémica continuó durante los años siguientes, hasta el extremo de que el 1 de febrero de 1856, firmó el folleto: *Isthme de Suez, parallèle entre le Nivellement de 1799 & celui de 1847*, en el que volvió a expresarse con toda claridad: «*Que la différence qui existe entre nos travaux de 1847 et ceux de 1799, quoique défendus par deux hommes du plus haut mérite, si estimés, si regrettés, n'est pas seulement de quelques mètres, mis bien de la hauteur d'une montagne, c'est-à-dire de vingt-deux mètres... Aus surplus, leur exactitud a déjà été confirmée par de nouvelles opérations, et nous attendons avec une entière confiance les resultats nouveaux qui vont être obtenus par tous les Ingénieurs qui s'occupent de ces grand travaux européens*».

Equipo de Bourdalouë nivelando en Egipto



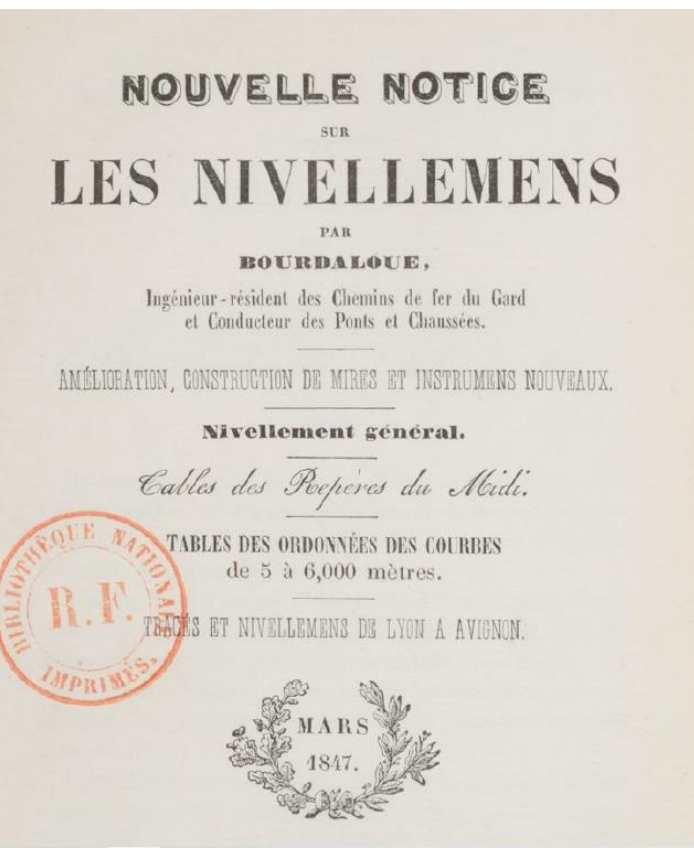
Lith. P. Lepel, A. Bourges



Miras parlantes →



Nivel de Bourdalouë

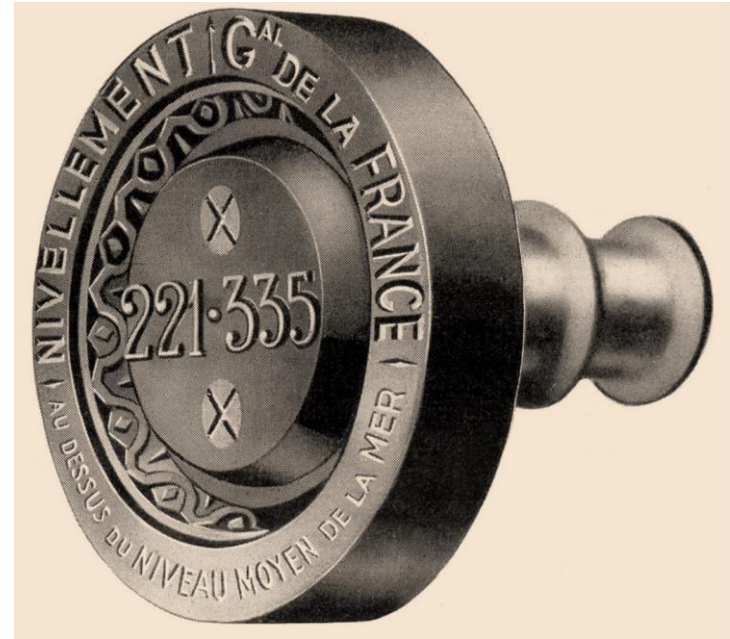


En ese mismo año de 1847 publicó una especie de prontuario altimétrico, con el título *Nouvelle Notice sur les Nivellements*, cuya principal contribución fue la descripción de las novedades introducidas tanto en el instrumento principal (el nivel) como en los secundarios (las miras); comentando a ese propósito: *«Par les épreuves répétées depuis plus de quinze ans sur les grandes lignes, on peut assurer qu'au moyen de nos niveaux, mires et méthode d'opérer, les opérations coûtent trois fois moins, et présentent bien certainement, pour la France entière, une économie annuelle de plus de 100,000 francs, soit environ 1,000 francs seulement par département»*. Bourdalouë mejoró el nivel de Pierre Égault des Noës (1777-1839), aumentando sus dimensiones y evitando las oscilaciones de la burbuja; así como el trípode que lo sustentaba. Aunque admitiera que se trataba de un procedimiento poco riguroso, incluyó unas nociones sobre la nivelación barométrica; señalando con acierto que *«leurs résultats sont prompts, mais n'accusent la vérité qu'à quelques mètres près, 5 environ. Néanmoins, ils suffisent dans beaucoup de cas et donnent à l'ingénieur une première et utile connaissance des lieux»*. La última parte del libro es un listado con las señales de nivelación que había colocado hasta la fecha en algunas líneas de ferrocarril.

Observador y libretista



Interesado en la nivelación de Francia emprendió por su cuenta la del departamento de Cher, con unos criterios susceptibles de ser extrapolados al resto del país. El 15 de julio de 1857 se dispuso la ejecución de una nivelación nacional, la cual le fue confiada a P.A. Bourdalouë. Este creó una empresa, al efecto, en la que se integraron decenas de operadores; cumpliendo con su cometido durante el periodo comprendido entre los años 1857 y 1864. En los trabajos de campo incorporó numerosas mejoras, como acortamiento de las visuales, las miras parlantes y soportes para las mismas que garantizasen su posición al ser visadas desde estaciones diferentes. El 13 de enero de 1860 se publicó una orden ministerial en la que se hizo saber lo siguiente: «*le niveau moyen auquel les altitudes du nivellement général de la France devront être rapportées sera celui de la Méditerranée tel qu'il est établi à Marseille*»; siendo ese el origen de la instalación del mareógrafo donde se encuentra el datum altimétrico del país vecino. Para dejar constancia de la nivelación se colocaron 15000 señales, cuyo diseño quedó fijado por otra orden del 15 de noviembre de 1858: su aspecto es el de una superficie cilíndrica de 12.7 cm de diámetro, correspondiendo su altitud a la parte superior de la señal.



Señal prototipo





CARTE

NIVELLEMENT GENERAL
DE LA FRANCE

figuré par des courbes d'altitude
de 100 en 100 mètres

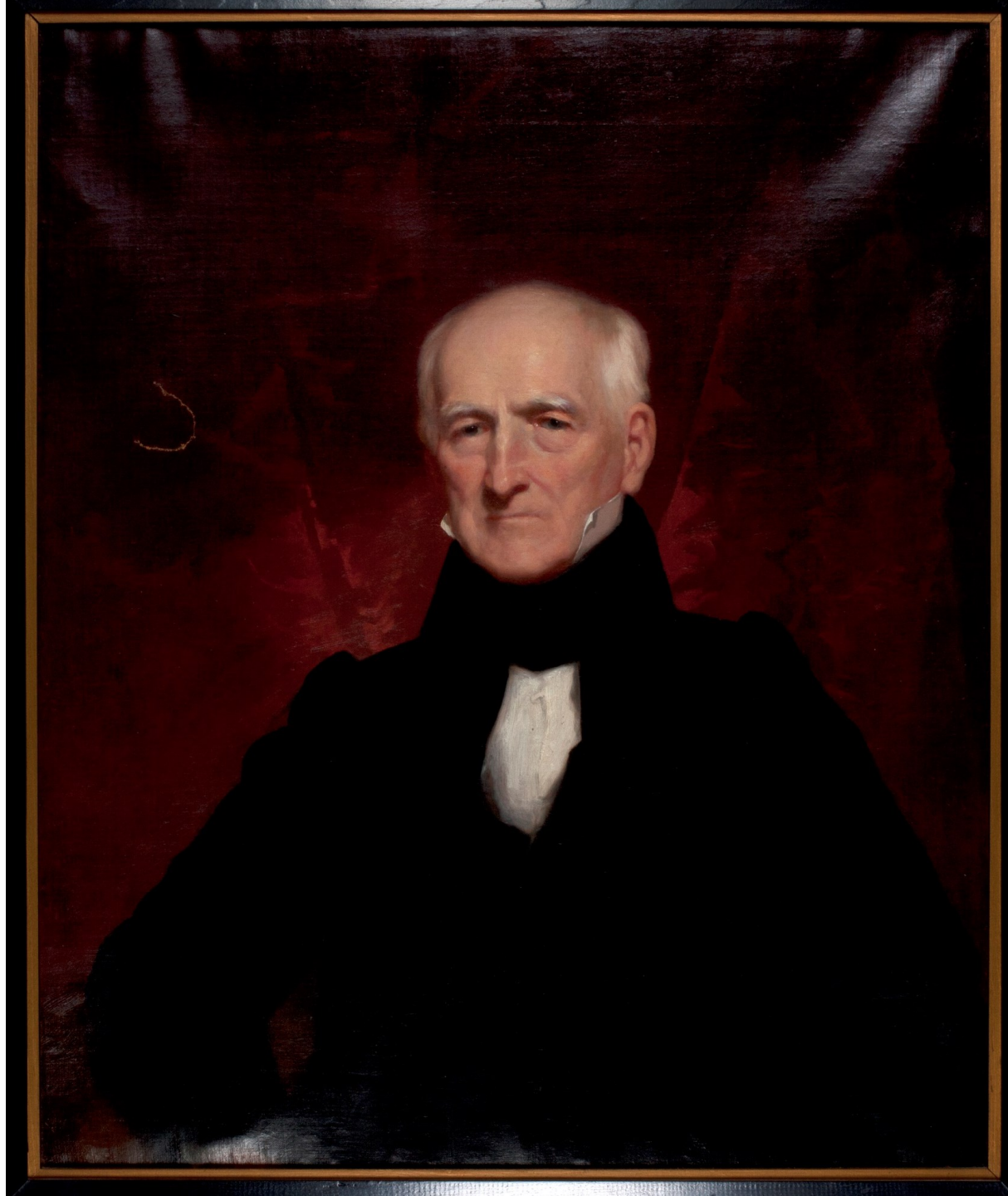
à l'échelle de 1 à 800,000

1878

LESENE
L'ÉCHELLE DE 1 À 800,000
L'ÉCHELLE DE 1 À 400,000
L'ÉCHELLE DE 1 À 200,000
L'ÉCHELLE DE 1 À 100,000
L'ÉCHELLE DE 1 À 50,000
L'ÉCHELLE DE 1 À 25,000
L'ÉCHELLE DE 1 À 12,500
L'ÉCHELLE DE 1 À 6,250
L'ÉCHELLE DE 1 À 3,125
L'ÉCHELLE DE 1 À 1,562
L'ÉCHELLE DE 1 À 781
L'ÉCHELLE DE 1 À 390
L'ÉCHELLE DE 1 À 195
L'ÉCHELLE DE 1 À 97
L'ÉCHELLE DE 1 À 48
L'ÉCHELLE DE 1 À 24
L'ÉCHELLE DE 1 À 12
L'ÉCHELLE DE 1 À 6
L'ÉCHELLE DE 1 À 3
L'ÉCHELLE DE 1 À 1,5
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,75
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,1875
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,09375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,046875
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,0234375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,01171875
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,005859375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,0029296875
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,00146484375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,000732421875
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,0003662109375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,00018310546875
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,000091552734375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,0000457763671875
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,00002288818359375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,000011444091796875
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,0000057220458984375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,00000286102294921875
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,000001430511474609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,0000007152557373046875
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,00000035762786865234375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,000000178813934326171875
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,0000000894069671630859375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,00000004470348358154296875
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,000000022351741790771484375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,0000000111758708953857421875
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,00000000558793544769287109375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,000000002793967723846435546875
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,0000000013969838619232177734375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,00000000069849193096160888671875
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,000000000349245965480804443359375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,0000000001746229827404022216796875
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,00000000008731149137020111083984375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,000000000043655745685100555419921875
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,0000000000218278728425502777099609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,00000000001091393642127513885498046875
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,000000000005456968210637569427490234375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,00000000000272848410531878137451171875
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,000000000001364242052659390687255859375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,0000000000006821210263296953436279296875
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,00000000000034106051316484767181396484375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,000000000000170530256582423835906982421875
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,0000000000000852651282912119179534912109375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,00000000000004263256414560595897674560546875
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,000000000000021316282072802979488372802734375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,0000000000000106581410364014897441864013671875
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,00000000000000532907051820074487209320068359375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,000000000000002664535259100372436046400341796875
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,0000000000000013322676295501862180232001708984375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,00000000000000066613381477509310901160008544921875
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,000000000000000333066907387546554505800042724609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,0000000000000001665334536937732772529000213623046875
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,000000000000000083266726846886638626450001068115234375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,000000000000000041633363423443319313225000534057696875
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,0000000000000000208166817117216596566125000267028984375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,000000000000000010408340855860829828306250001335144921875
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,00000000000000000520417042793041491415312500006675724609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,0000000000000000026020852139652074570765625000033378623046875
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,000000000000000001301042606982603728537831250000166893115234375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,0000000000000000006505213034913018642689156250000083446557696875
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,000000000000000000325260651745650932134457812500000417232984375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,00000000000000000016263032587282546606722890625000002086164921875
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,0000000000000000000813151629364127303036144531250000010430824609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,00000000000000000004065758146820365151527222656250000052154123046875
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,00000000000000000002032879073410182575761113632812500000260770615234375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,00000000000000000001016439536705091287880556816406250000130385307696875
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,00000000000000000000508219768352545643940278408203125000006519265384375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,00000000000000000000254109884176272821972013920410156250000032596326921875
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,0000000000000000000012705494208813641098610696020507812500000162981634609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,0000000000000000000006352747104406820494305348010253906250000008149081723046875
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,000000000000000000000317637355220034104715267400512695312500000040745408615234375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,0000000000000000000001588186776100170523576337000253476562500000020372704307696875
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,00000000000000000000007940933880500852617881685000126738281250000001018635215234375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,000000000000000000000039704669402504263094404425000063369140625000000509317607696875
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,0000000000000000000000198523347012521315472202125000031684570312500000025465880384375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,000000000000000000000009926167350626065773610106250000158422851562500000127329401921875
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,000000000000000000000004963083675313032886805053125000007921142578125000000636647009609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,0000000000000000000000024815418376565164434025265625000039605712890625000003183235048046875
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,0000000000000000000000012407709188282582217012632812500001980285644531250000159161752401921875
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,00000000000000000000000062038545941412911085063164062500009901428222656250000795808762009609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,00000000000000000000000031019272970706455542531582031250000495071411132812500003979043810048046875
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,00000000000000000000000015509636485353227771265791015625000024753570556640625000198952190502401921875
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,00000000000000000000000007754818242676613885632895507812500001237678527822656250000994760952512009609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,000000000000000000000000038774091213383069428164477539062500006188392639113281250000497380476256048046875
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,0000000000000000000000000193870456066915347140822387656250000309419631955664062500024869023812802401921875
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,000000000000000000000000009693522803345767357041119378125000015470981597783203125000124345119064012009609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,00000000000000000000000000484676140167288367852055968906250000773549079889164062500062172559532006048046875
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,00000000000000000000000000242338070083644183926027984453125000038677453994458203125000310862797660302401921875
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,0000000000000000000000000012116903504182209196301399222656250000193387269972229113281250001554313988301512009609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,000000000000000000000000000605845175209110459815069961132812500009669363498611456640625000777156994150756048046875
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,00000000000000000000000000030292258760455522990753498056640625000483468174930572820312500038857849707537802401921875
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,0000000000000000000000000001514612938022776149537674902832031250002417340874652864062500194289248537689012009609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,00000000000000000000000000007573064690113880747768874514160156250012086704373264320312500097144624268844512009609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,0000000000000000000000000000378653234505694037388443725720806250006043352186632160156250048572312134422512009609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,0000000000000000000000000000189326617252847018694421862860406250030216760933316007812500242861560672112512009609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,000000000000000000000000000009466330862642350934721091430203125001510838046665800390625001214307803360562512009609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,00000000000000000000000000000473316543132117546736054571501015625007554190233329001953125006071539016802812512009609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,00000000000000000000000000000236658271566058773368027285750050781250037770951166445097656250030357695084014062512009609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,000000000000000000000000000001183291357830293866840136428750025390625001888547558222504882812500151788475042007512009609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,00000000000000000000000000000059164567891514693342006821437500126953125009442737791125024414062500758942375210037512009609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,000000000000000000000000000000295822839457573466710034107187500063476562500472136889562501220703125003794711876050187512009609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,00000000000000000000000000000014791141972878673335501705359375000317382812500236068444781250610351562500189735593802500937512009609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,00000000000000000000000000000007395570986439336677750852679687500015869140625001180342223906253051757812500948677969012504687512009609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,0000000000000000000000000000000369778549321966833388752638890625000793457031250059017111195312515258789062500234338984687512009609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,00000000000000000000000000000001848892746609834166943763194453125003967285156250029508555596875762589453125001171694923437512009609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,00000000000000000000000000000000924446373304917083471881597226562500198364278125001475427779843753812947265625005858474617187512009609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,00000000000000000000000000000000462223186652458541735940798613281250099182139062500737713889921875190647363125002929237308437512009609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,000000000000000000000000000000002311115933262292708679703993066406250495910695312500368856944781259532368156250014646186542009609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,0000000000000000000000000000000011555579665311463543398519965328125002479553478125184428422812500732309076604804687512009609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,00000000000000000000000000000000057777898326557317716697599826640625012397767390625922142111406250036615453832009609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,00000000000000000000000000000000028888949163278658858348799913320312500619888369531254610710556250018307726916004804687512009609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,000000000000000000000000000000000144444745816393294291743999566406250030994417478125230535527812500915386345800240192187512009609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,00000000000000000000000000000000007222237290819664714587199978320312500154972087390625115267763906250045769317290012009609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,0000000000000000000000000000000000361111864540983235729359998916406250077486043695312557633881953125002288465864500604804687512009609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,00000000000000000000000000000000001805559322704916178646799994582031250038743021847812528816939765625001144232932250031440240192187512009609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,0000000000000000000000000000000000090277966135245808932234999729101562500193715109239062514408469882812500572116466125001572012009609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,0000000000000000000000000000000000045138983067622904466117499864531250096857549619531257204232441250073600604804687512009609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,0000000000000000000000000000000000022569491533811452233058749993226562500484287748097656253602116220625003680030240192187512009609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,000000000000000000000000000000000001128474576690572611652937499966132812500242143874049781251801056100312500184001512009609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,0000000000000000000000000000000000005642372883452863058264687499983066406250012107193702497812590052805015625009200075604804687512009609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,00000000000000000000000000000000000028211864417264315291323439999153281250060535968512497812545026402500460003780240192187512009609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,000000000000000000000000000000000000141059322086321576456617199995766406250030267984257497812522513201250023000189012009609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,00000000000000000000000000000000000007052966104316078822830859999788320312500151339921287497812511256600625001150009450604804687512009609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,00000000000000000000000000000000000003526483052158039411415429999891640625007566996064387497812556283003125005750047250092009609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,0000000000000000000000000000000000000176324152607901970570771499994582031250037834980321874978125281415015625002875023604804687512009609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,000000000000000000000000000000000000008816207630395098528538574999922910156250018917490158749781251407075078125143750118009609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,000000000000000000000000000000000000004408103815197549264269287499991145312500945874507937497812570353753906250071875059004804687512009609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,000000000000000000000000000000000000002204051907598774632134643999957265625004729372539687497812535176876953125003593752950240192187512009609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,000000000000000000000000000000000000001102025953799387316067321999978664062500236468626987497812517588438478125179687514750114750604804687512009609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,00000000000000000000000000000000000000055101297689969365803366099998916406250011823431349374978125879421923906250089843757375057250092009609375
L'ÉCHELLE DE 1 À 0,0000000000000000000000000000000000000002755064884498468290168304999945820312500591171567468749781254397109619531254492187536875287504

Nathaniel Bowditch (1733-1838)

Matemático y clérigo estadounidense de reconocido talento. Con apenas 16 años ya sabía álgebra y suficiente cálculo, como para leer y entender los Principia de Newton; para lo que aprendió también latín. Durante las navegaciones que realizó, no dejó de lado sus estudios. En el de 1802-1803 ya sabía el suficiente francés para analizar el primer volumen del Tratado de Mecánica Celeste, publicado por P. Laplace en 1798. Asimismo, procedió con los otros que se publicaron en años sucesivos, de modo que para junio de 1806 ya había leído el segundo, tercero y cuarto. Tanto se interesó por la obra que acabó traduciéndola y completándola con numerosas demostraciones, que el autor había obviado y que duplicaron la extensión del texto original; la traducción se ultimó en el año 1818, pero la falta de fondos hizo que no se pudiera editar hasta 1829. Su incidencia sobre la comunidad científica de su país fue tan obvia, que puede asegurarse que con ella se inició el interés por la astronomía física en el mismo.



THE NEW AMERICAN
PRACTICAL NAVIGATOR;

BEING AN

EPITOME OF NAVIGATION;

CONTAINING ALL THE TABLES NECESSARY TO BE USED WITH THE

NAUTICAL ALMANAC,

IN DETERMINING THE

L A T I T U D E;

AND THE

LONGITUDE BY LUNAR OBSERVATIONS;

AND

KEEPING A COMPLETE RECKONING AT SEA:

ILLUSTRATED BY

PROPER RULES AND EXAMPLES:

THE WHOLE EXEMPLIFIED IN A

J O U R N A L,

KEPT FROM

BOSTON TO MADEIRA,

IN WHICH ALL THE RULES OF NAVIGATION ARE INTRODUCED:

A L S O

The Demonstration of the most useful Rules of TRIGONOMETRY: With many useful Problems in MENSURATION, SURVEYING,
and GAUGING: And a Dictionary of SEA-TERMS; with the Manner of performing the most common EVOLUTIONS at Sea.

TO WHICH ARE ADDED,

Some GENERAL INSTRUCTIONS and INFORMATION to MERCHANTS, MASTERS of VESSELS, and others concerned in NAVIGATION,
relative to MARITIME LAWS and MERCANTILE CUSTOMS.

FROM THE BEST AUTHORITIES.

ENRICHED WITH A NUMBER OF

NEW TABLES,

WITH ORIGINAL IMPROVEMENTS AND ADDITIONS, AND A LARGE

VARIETY OF NEW AND IMPORTANT MATTER:

A L S O,

MANY THOUSAND ERRORS ARE CORRECTED,

WHICH HAVE APPEARED IN THE BEST SYSTEMS OF NAVIGATION YET PUBLISHED.

BY NATHANIEL BOWDITCH,

FELLOW OF THE AMERICAN ACADEMY OF ARTS AND SCIENCES.

ILLUSTRATED WITH COPPERPLATES.

First Edition.

PRINTED AT NEWBURYPORT, (Mass.) 1802,

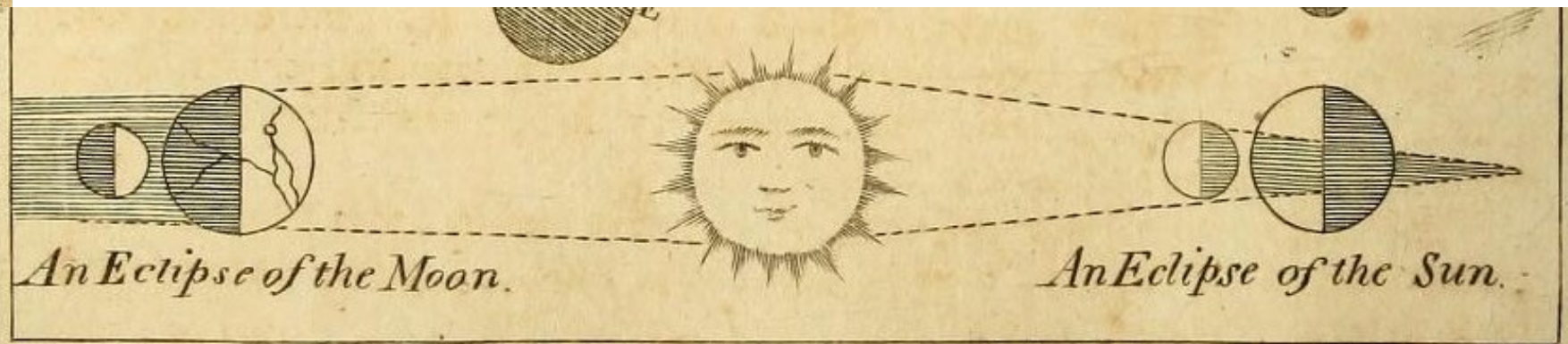
BY

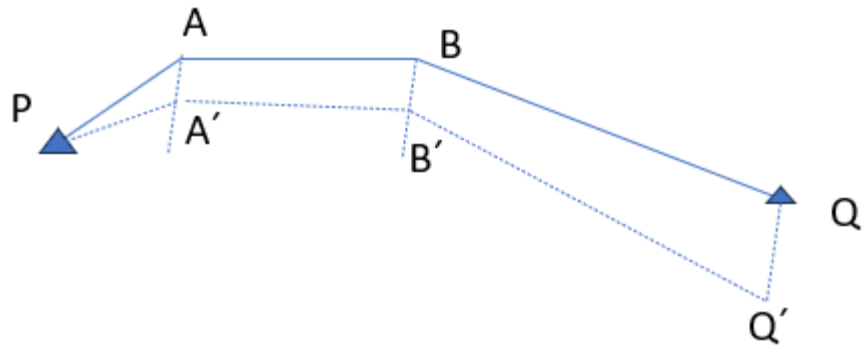
EDMUND M. BLUNT, (Proprietor)

FOR CUSHING & APPLETON, SALEM.

SOLD BY EVERY BOOKSELLER, SHIP-CHANDLER, AND MATHEMATICAL-INSTRUMENT-MAKER,
IN THE UNITED STATES AND WEST-INDIES.

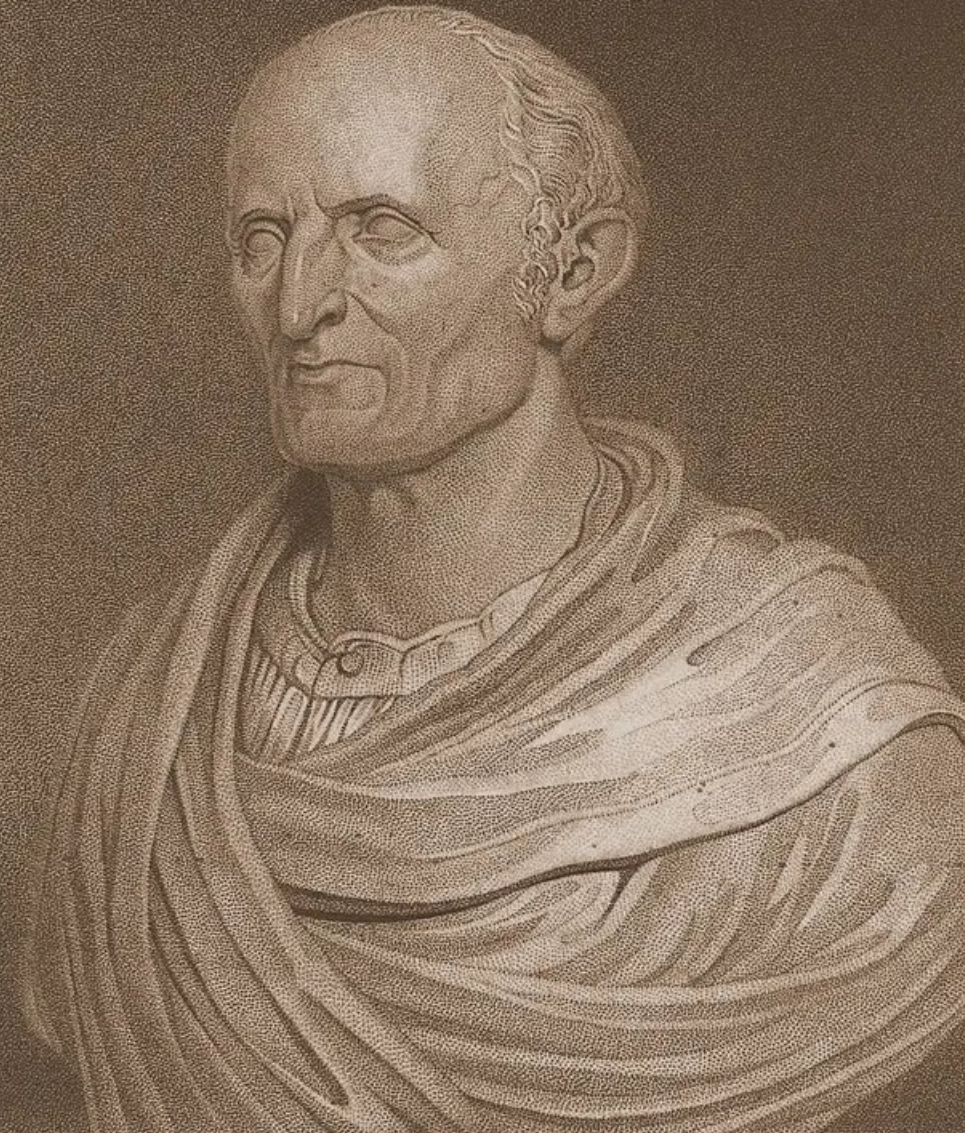
No obstante, la obra que lo inmortalizó fue su celebrado tratado *The New American Practical Navigator* (1802). En la que supo aplicar a la perfección sus vastos conocimientos astronómicos y matemáticos a la navegación. El título fue realmente más extenso, al anunciar su contenido fundamental: Epítome de Navegación que contiene las tablas necesarias para ser usadas, junto al almanaque náutico, al determinar la latitud y la longitud por observaciones lunares; el libro fue a la vez un verdadero manual de oceanografía y meteorología. El gobierno de los Estados Unidos compró los derechos del libro en 1867. El título se cambió a *American Practical Navigator* en 1880, y la edición publicada ese año omitió gran parte del texto original de Bowditch. Las nuevas ediciones se siguen publicando hasta el día de hoy, aunque los avances tecnológicos hayan impuesto cambios drásticos con el transcurso del tiempo. No obstante, "Bowditch", como suele llamarse a la obra, sigue siendo una de las guías de navegación más respetadas.





A todos los ejercicios de geometría que planteó y resolvió Bowditch en su tratado, es procedente añadir otro que se ha venido usando con mucha frecuencia en el campo de la Topografía: la compensación gráfica de los itinerarios planimétricos. El objetivo de esos procedimientos era determinar la posición de una serie de puntos a partir de la de otros dos dados, la cual había sido obtenida por métodos más fiables. El itinerario materializaba mediante una línea quebrada que unía a todos los puntos implicados (vértices), de la que se media la longitud de todos sus segmentos (los lados de la poligonal) y los ángulos que formaban. Antes de que proliferasen los cálculos analíticos (con el empleo de las coordenadas cartesianas) se desarrollaban gráficamente tales itinerarios, haciendo uso de las coordenadas polares: módulo (distancia) y argumento (ángulo). Situados en el plano los dos puntos conocidos, P y Q en la figura, se iban posicionando los puntos incógnita, tales como el A y B; dándose la circunstancia de que al hacerlo con los datos medidos en este último se localizaría el punto Q', distinto de Q, siendo QQ' el error cometido en el proceso. Bowditch propuso compensarlo repartiéndolo proporcionalmente entre todos los lados, trazando en cada vértice una paralela al segmento QQ' y llevando sobre ella la parte alícuota del error: pasando de los puntos provisionales A' y B' (los primeros en ser dibujados) a los definitivos A y B.

Grabado de N. Bowditch



N. Bowditch ya gozaba de reconocido prestigio antes de publicar su Manual de Navegación. De hecho, fue elegido miembro de la Academia Americana de las Artes y las Ciencias en 1799. Con la llegada del nuevo siglo, y tras el éxito del Bowditch, la Universidad de Harvard le ofreció una Cátedra de Matemáticas y Física; oferta que declinó como hizo con las que recibió de la Academia de West Point y de la Universidad de Virginia. En el año 1809 ingresó en la *American Philosophical Society*, en el 1818 en la *Royal Society de Edimburgo* y en la *Royal Society* de Londres; y en 1819 en la *Royal Irish Academy*.



Buque oceanográfico
Bowditch



William Bowie (1872-1940)

Contando tan solo con 23 años ya era ingeniero civil, ingresando de inmediato en la agencia *United States Coast and Geodetic Survey* (USC&GS), permaneciendo en ella durante toda su vida profesional. Sus primeros cometidos fueron geodésicos, topográficos e hidrográficos, desempeñándolos tan satisfactoriamente que sucedió a J. Hayford al frente de la División de Geodesia. Cuando se hizo cargo de su nueva tarea se habían triangulado unas 10000 millas y se habían nivelado 30000, cifras que se transformaron, durante sus 27 años de gestión, en 68000 y 261000 respectivamente; asimismo, las estaciones gravimétricas pasaron de 60 a 720, al igual que las estaciones de Laplace (puntos astronómicos) lo hicieron de 32 a 390. No pueden resumirse en pocas líneas sus contribuciones más notables, aunque haya de citarse su novedoso ajuste de las triangulaciones (al dividir las en secciones), y recordar todos sus esfuerzos para conseguir la implantación definitiva del modelo matemático de Hayford como elipsoide internacional (soporte de la mayoría de las representaciones de cartografía básica en la mayoría de las naciones), considerado como tal en Madrid (IUGG.1924).



Los estudios isostáticos de la USC&GS que habían sido iniciados por Hayford, se vieron enriquecidos gracias a las investigaciones realizadas por W. Bowie; fundamentalmente por los numerosos datos gravimétricos, que también le permitieron presentar un modelo de geoide. Su libro *Isostasy*, publicado en el año 1927, fue una obra trascendental en la historia de la geodesia y de la geofísica, convirtiéndose en referencia imprescindible para sus estudiosos. Las inquietudes topográficas y cartográficas nunca las abandonó, explicándose así que en año anterior decidiera crear la *Surveying and Mapping Division* (integrada en la Asociación Americana de Ingeniería Civil. ASCE); cuyo principal objetivo fue el desarrollo y promoción de ambas disciplinas en todas las operaciones

propias de la ingeniería civil. Su producción bibliográfica fue muy extensa y referida a numerosas cuestiones de astronomía, cartografía, geodesia, geofísica, geografía, geología y topografía; la *National Academy of Sciences* publicó en 1951 una monografía sobre él, incorporando al final de la misma un listado con sus contribuciones más señaladas. De entre todas ellas solo se ha seleccionado la siguiente: *Isostasy and the size and shape of the earth* (1914).



Logo de la Academy of Sciences (NAS)

SCIENCE

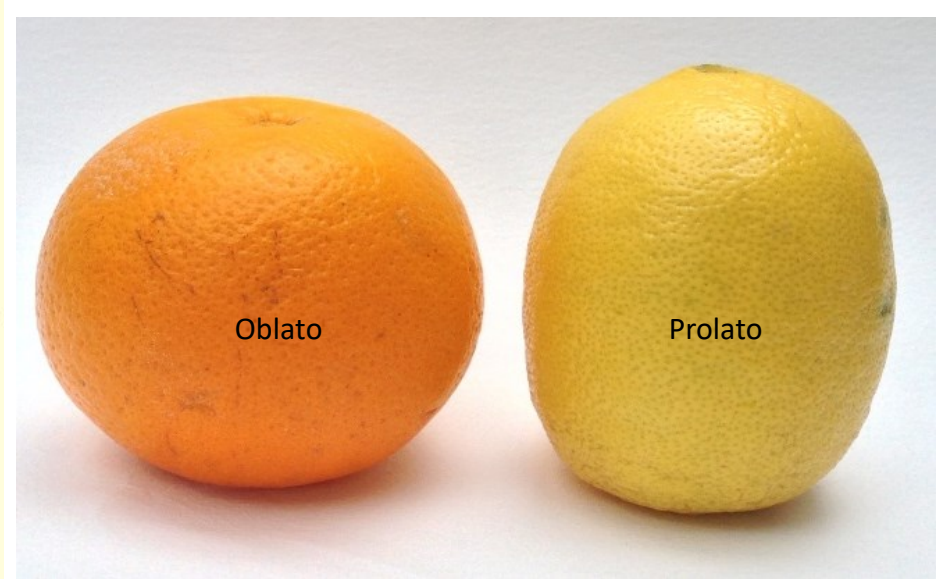
FRIDAY, MAY 15, 1914

ISOSTASY AND THE SIZE AND SHAPE OF THE EARTH¹

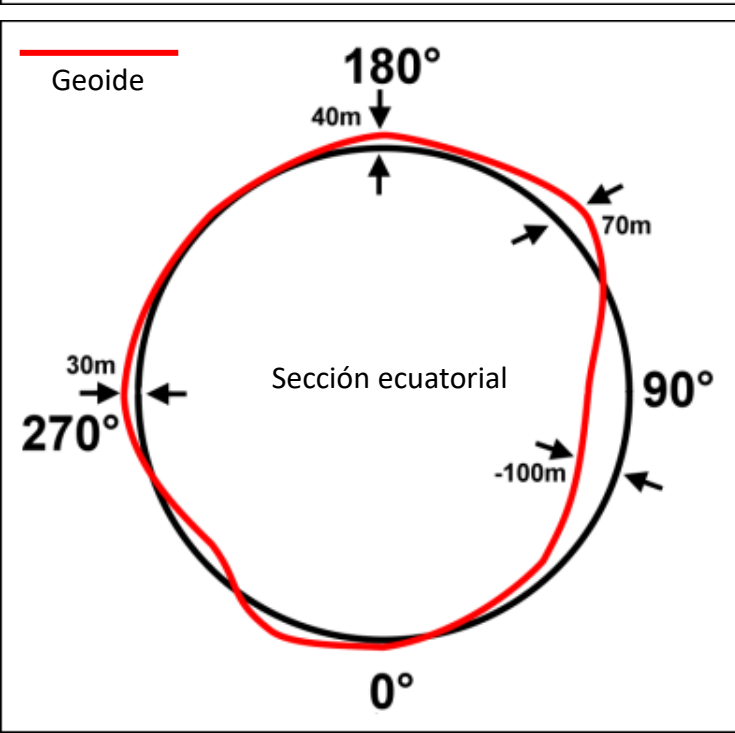
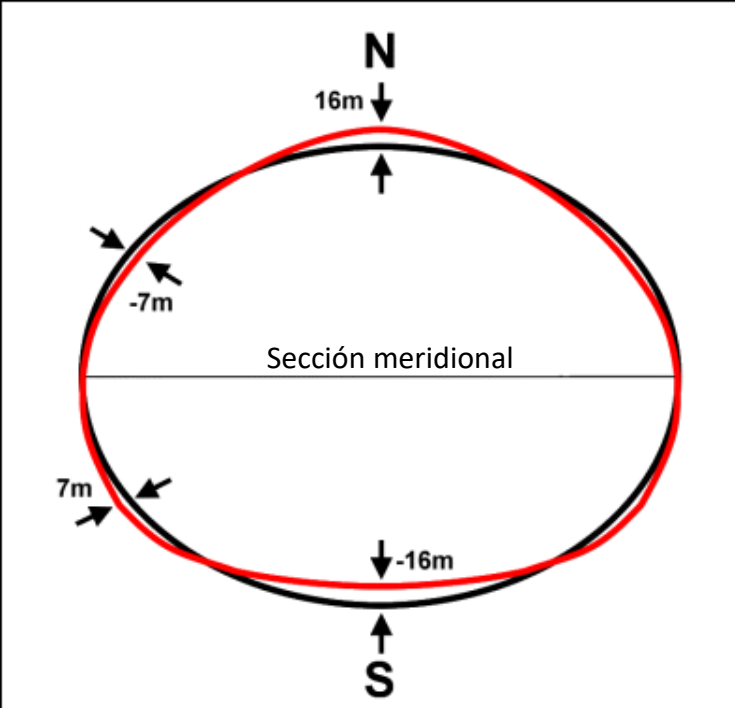
CONTENTS

Isostasy and the Size and Shape of the Earth:
WILLIAM BOWIE 697

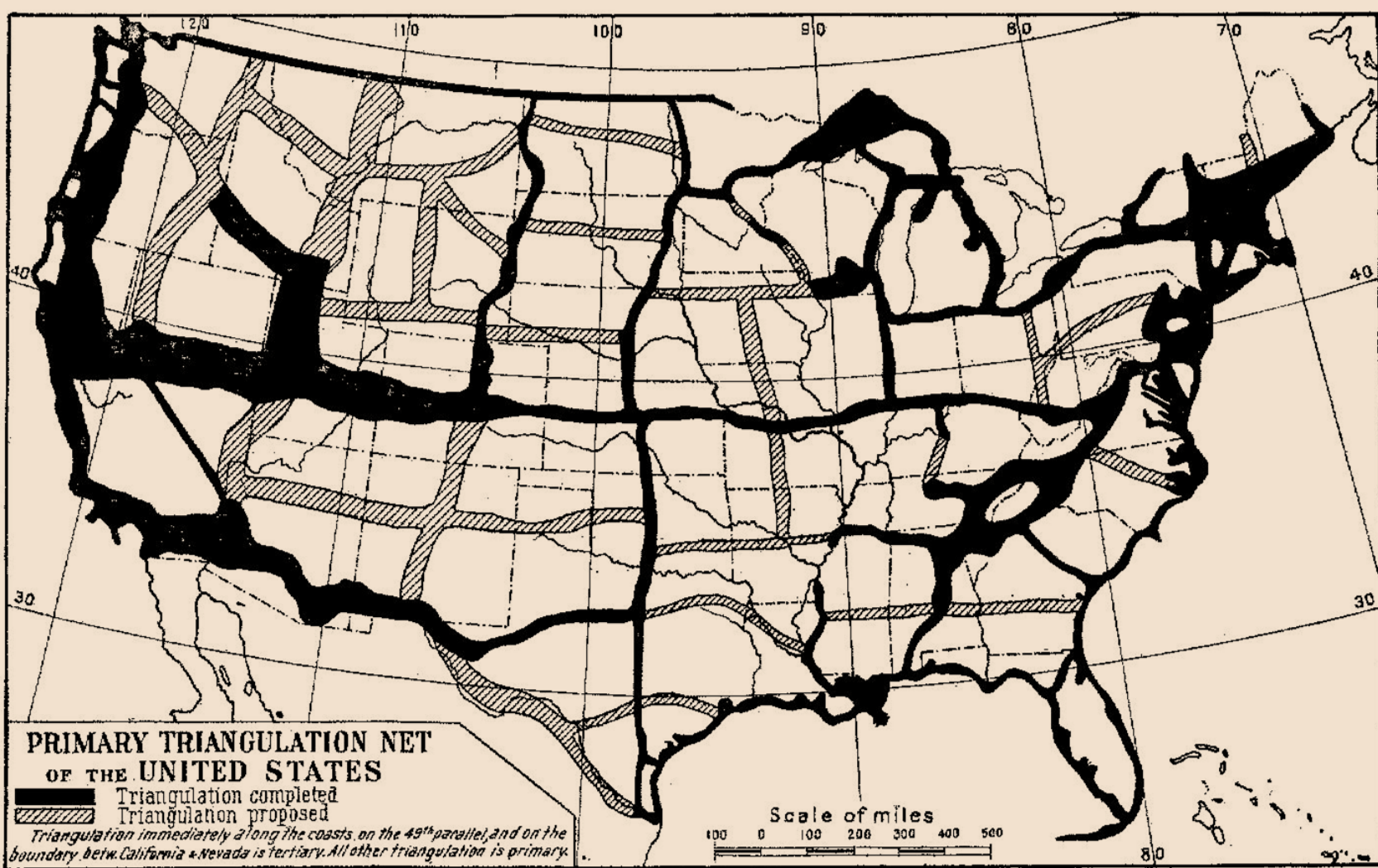
It is the speaker's desire, in this paper, to touch briefly on some phases of geodesy which should be of general interest to the



Se Inicia este artículo advirtiéndole que la comprensión de la geofísica no se puede lograr sin estar al tanto de la forma y dimensiones de la tierra, apuntando al mismo tiempo como, al anunciar Newton (1687) que el globo terráqueo era un elipsoide oblato, se desató una polémica científica, que se mantuvo prácticamente durante todo el siglo XVIII, motivada por que la familia de los Cassini afirmaron lo contrario (elipsoide prolato) tras haber medido grados del meridiano de Francia al Norte y al Sur de su capital. A continuación, resumió como la resolvió la Academia de Ciencias francesa al mandar sendas comisiones a Perú y a Laponia para medir grados en las proximidades del ecuador y del círculo polar ártico: el resultado de ambas mediciones confirmó la teoría del elipsoide oblato y la revisión de los cálculos de París también mostraron que los grados septentrionales eran más largos, con lo que la controversia quedó zanjada. Todas las operaciones geodésicas efectuadas a partir de entonces, permitieron comprobar que el fenómeno del aplastamiento polar era simétrico, es decir que se daba en los dos hemisferios, así como la posibilidad de adoptar un elipsoide medio para toda la Tierra.



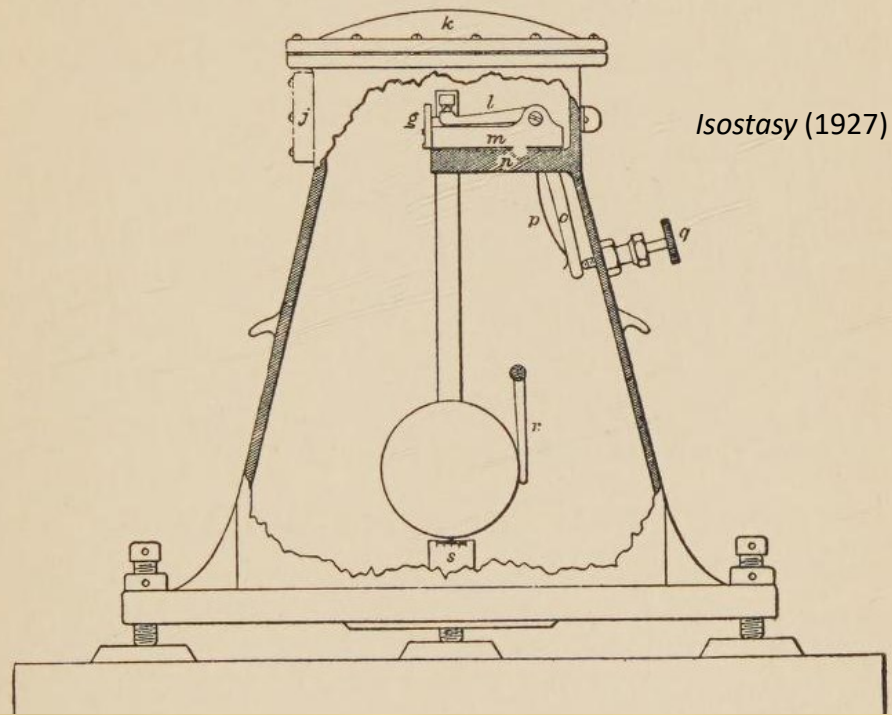
Coincidiendo con la extensión de todos esos trabajos, se postuló la existencia del geoide, como la superficie física y real de la Tierra, indicando W. Bowie que podía definirse como la superficie del mar en reposo, supuestamente prolongada bajo los continentes a través «*of an intricate network of sea-level canals. Then the Surface of the oceans and the water in the canals would define the Surface of the geoid*». Incluso llegó a cuantificar la separación entre el modelo matemático (elipsoide) y el físico (geoide), cifrando su valor máximo en torno a los 100 metros; aunque fuese menos concreto al referirse al geoide oceánico: «*over the oceans the geoid would be under the spheroid surface by amounts varying directly with the depths of the water*». Se refirió después al modus operandi en las mediciones de grado, complementándose la metodología topográfica con la astronómica. Con la primera se observarían los ángulos de los triángulos de la red geodésica, para calcular luego los lados, apoyándose en la medida directa de las bases. En cuanto a las observaciones astronómicas, consistían en la determinación de la latitud y longitud, en un vértice próximo a los extremos del arco considerado, a partir de las coordenadas de las estrellas elegidas para ello.



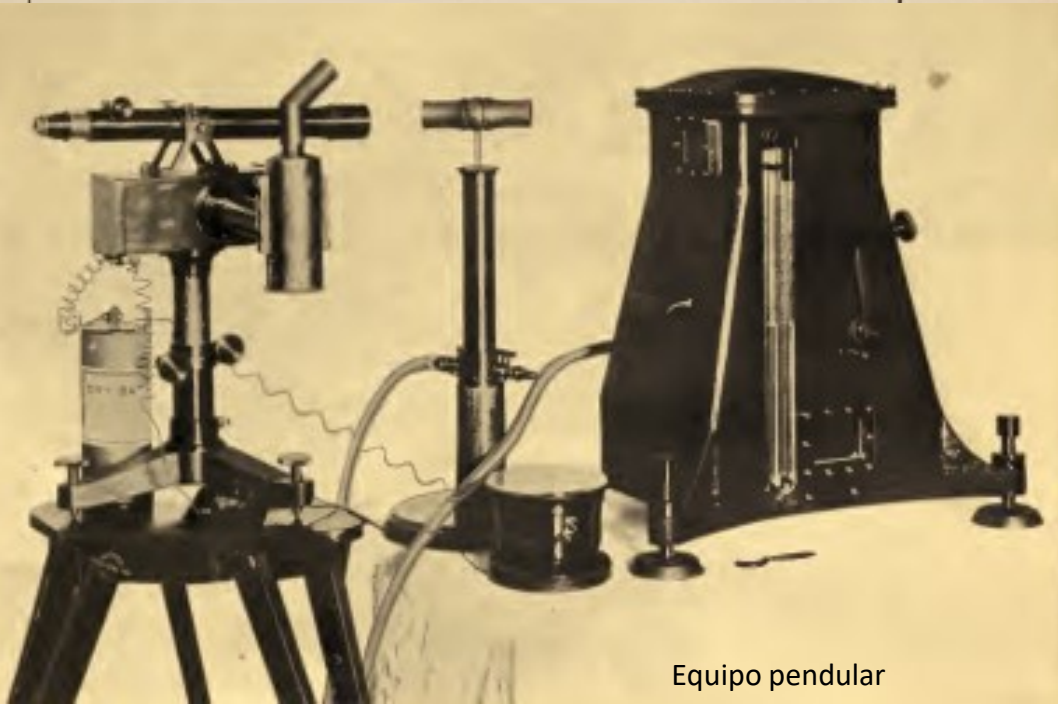
Mapa mostrando las cadenas triangulares extendidas a lo largo de los meridianos y paralelos de los EE.UU. En las bandas negras los trabajos se habían ultimado, estando los de las rayadas pendientes de ejecución.

Siendo evidente la determinación de la figura y tamaño de la Tierra, a partir del desarrollo lineal del arco y de su amplitud angular (diferencia entre las latitudes extremas), también lo es que no tardó en surgir un serio inconveniente: la falta de coincidencia entre la vertical física, normal al geoide, y la perpendicular al elipsoide (la luego denominada desviación de la vertical). W. Bowie precisó el problema en estos términos:

«The greater part of each of the differences between the astronomic positions, as actually observed, and the theoretical positions, based on an adopted smooth mean surface, must be treated as an accidental error. These differences reach a maximum value of about twenty-five seconds of arc (within the area of the United States) which is nearly one half mile». Constatada la imposibilidad de los métodos geométricos para fijar, sin ambigüedad, el aplastamiento terrestre (la forma de la Tierra, en definitiva), hubo que optar por los físicos; basados necesariamente en los valores observados de la gravedad en estaciones con diferente latitud.

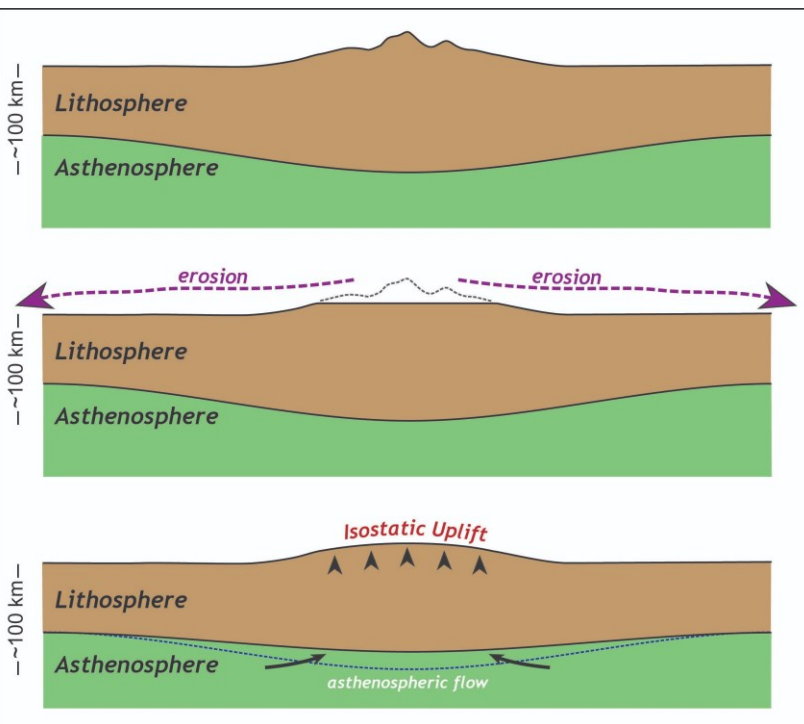


Isostasy (1927)



Equipo pendular

W. Bowie subrayó entonces un importante condicionamiento, la zona en que se había de operar debía ser más superficial que lineal: *«But here again a few stations are not sufficient, for the value of gravity does not follow any known definite law, owing to the disturbing influences of masses above sea level and the deficiency of mass in the oceans»*. Con la proliferación de valores de la gravedad obtenidos en el campo, surgieron fórmulas que permitían calcular su valor teórico (esperado) asociado a un determinado elipsoide, en función de la latitud de la estación. En este artículo se reprodujo la que dedujo el geodesta alemán F. Helmert en 1901, a partir de las observaciones efectuadas en cerca de 400 puntos: $\gamma_0 = 978.030 (1 + 0.005302 \sin^2\phi - 0.000007 \sin^2 2\phi)$, en la que γ_0 es el valor teórico, a nivel del mar, para una cierta latitud. W. Bowie afirmaba acto seguido que la diferencia entre los valores teóricos y los observados de la gravedad, y las desviaciones de la vertical eran debidos a la influencia del relieve terrestre (topografía) y al efecto de la distribución heterogénea de la densidad terrestre; entendiéndose por relieve tanto las masas continentales como su deficiencia en los océanos.

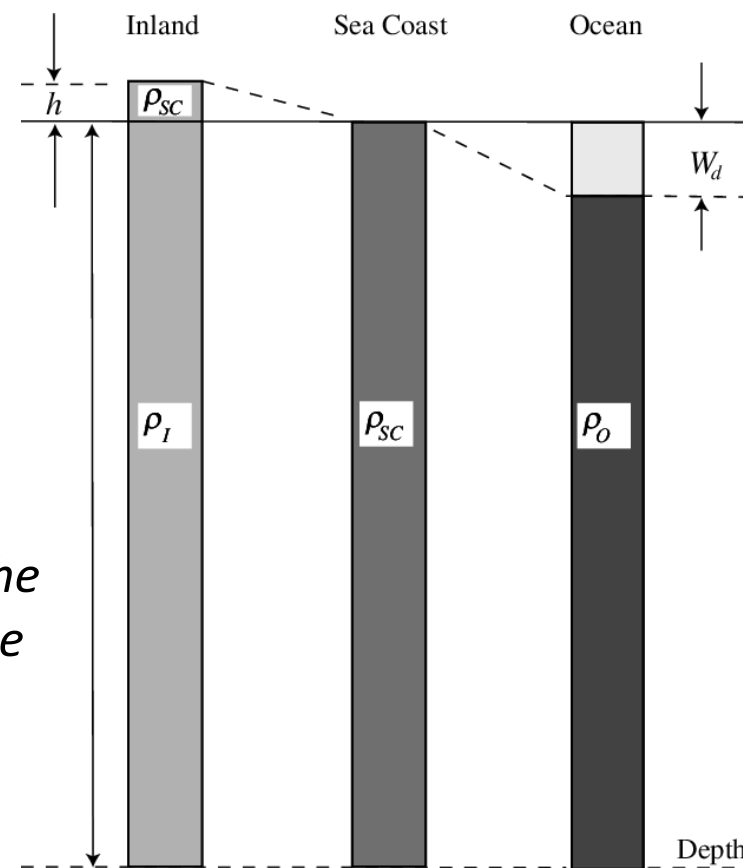


El proceso isostático

Fue aquí donde recordó la hipótesis isostática de Pratt, tan ligada a la deficiencia másica bajo la cordillera de los Himalayas, que marcó un hito singular en la historia de la geodesia; aunque prestase mayor atención a la aportación esencial de Hayford. Este logró cuantificar su propia teoría al corregir las coordenadas astronómicas de las estaciones y acimutes, por los efectos de la topografía y la correspondiente compensación isostática; coincidiendo con sus dos determinaciones de la figura de la Tierra.

Para ser lo más fiel posible al pensamiento de Hayford, citó textualmente parte de lo que este había escrito: *«If the earth were composed of homogeneous material, its figure of equilibrium, under the influence of gravitation and its own rotation, would be an*

ellipsoid of revolution. The earth is composed of heterogeneous material which varies considerably in density. If this heterogeneous material were so arranged that its density at any point depended simply on the depth of that point below the surface, or, more accurately, if all the material lying at each equipotential surface (rotation considered) were of one density, a state of equilibrium would exist and there would be no tendency toward a rearrangement of masses...».



Modelo de compensación isostática propuesto por Pratt y Hayford.

LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES GRAVIMÉTRICAS EN LOS ESTADOS UNIDOS Y EN CANADÁ
Ilustración incluida por William Bowie en su libro *Geodesy. Investigations of Gravity and Isostasy* (1917)

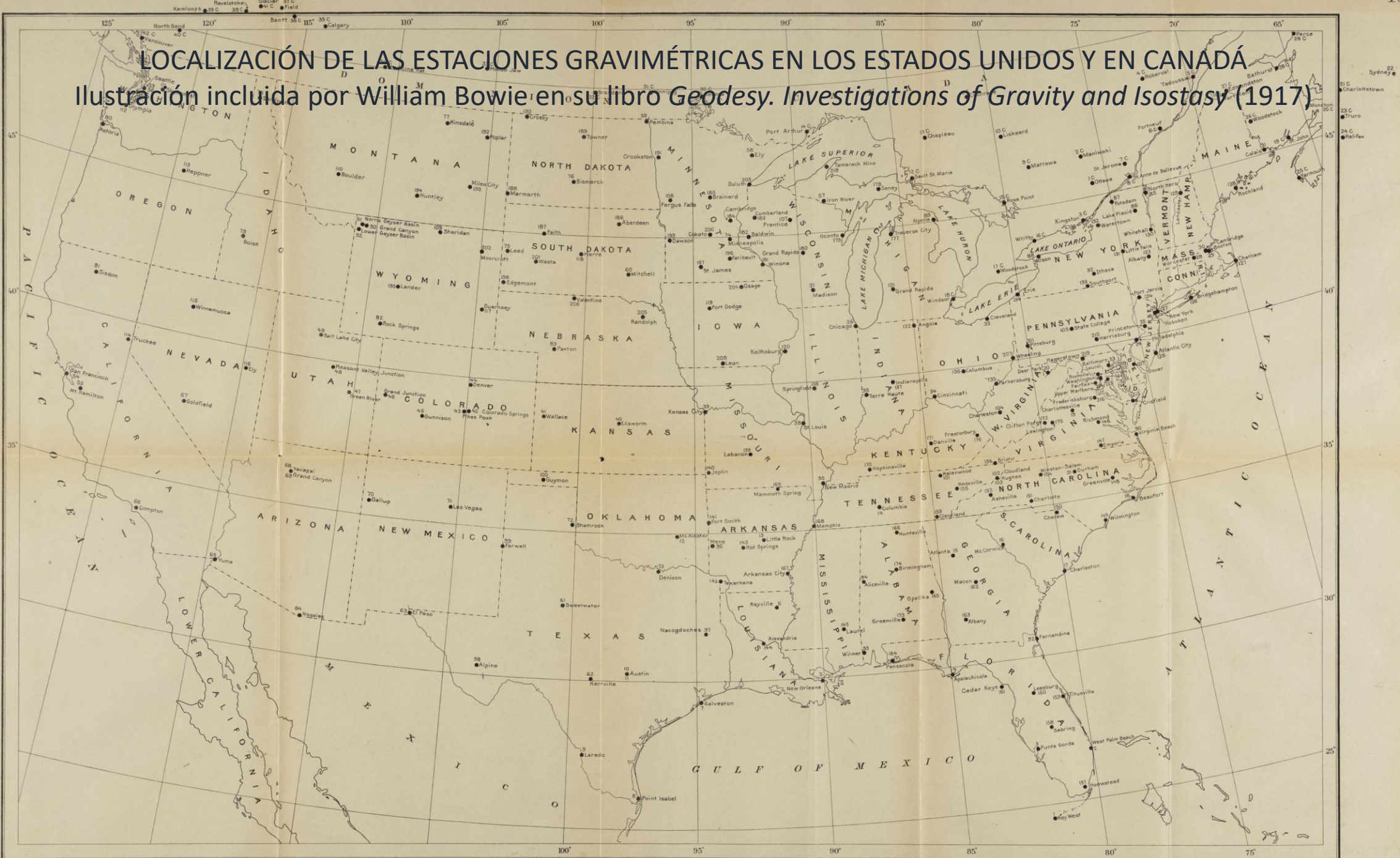
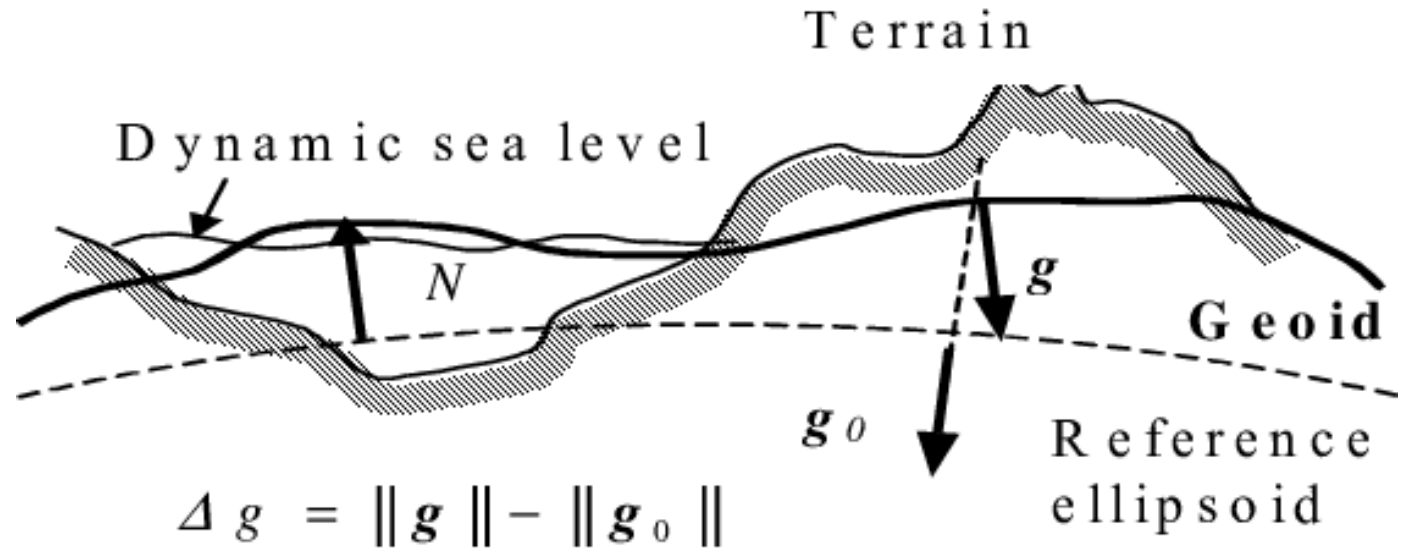
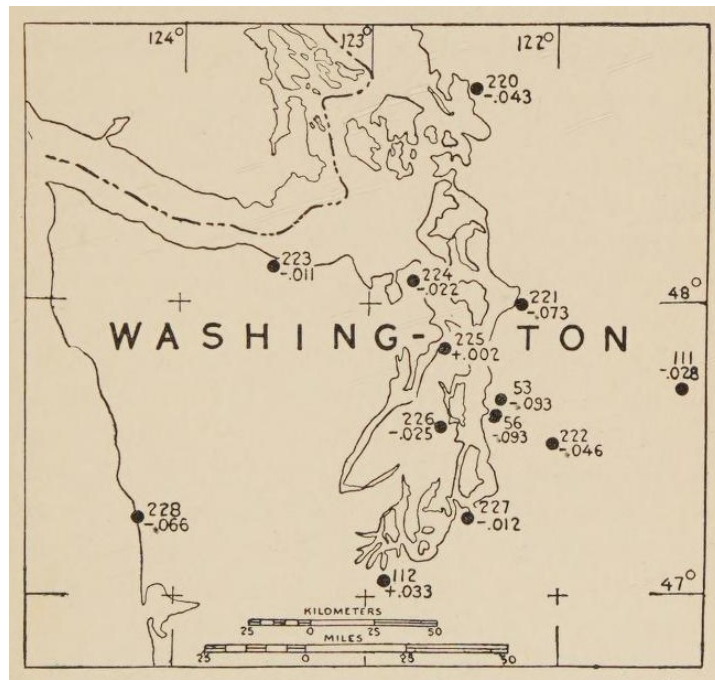


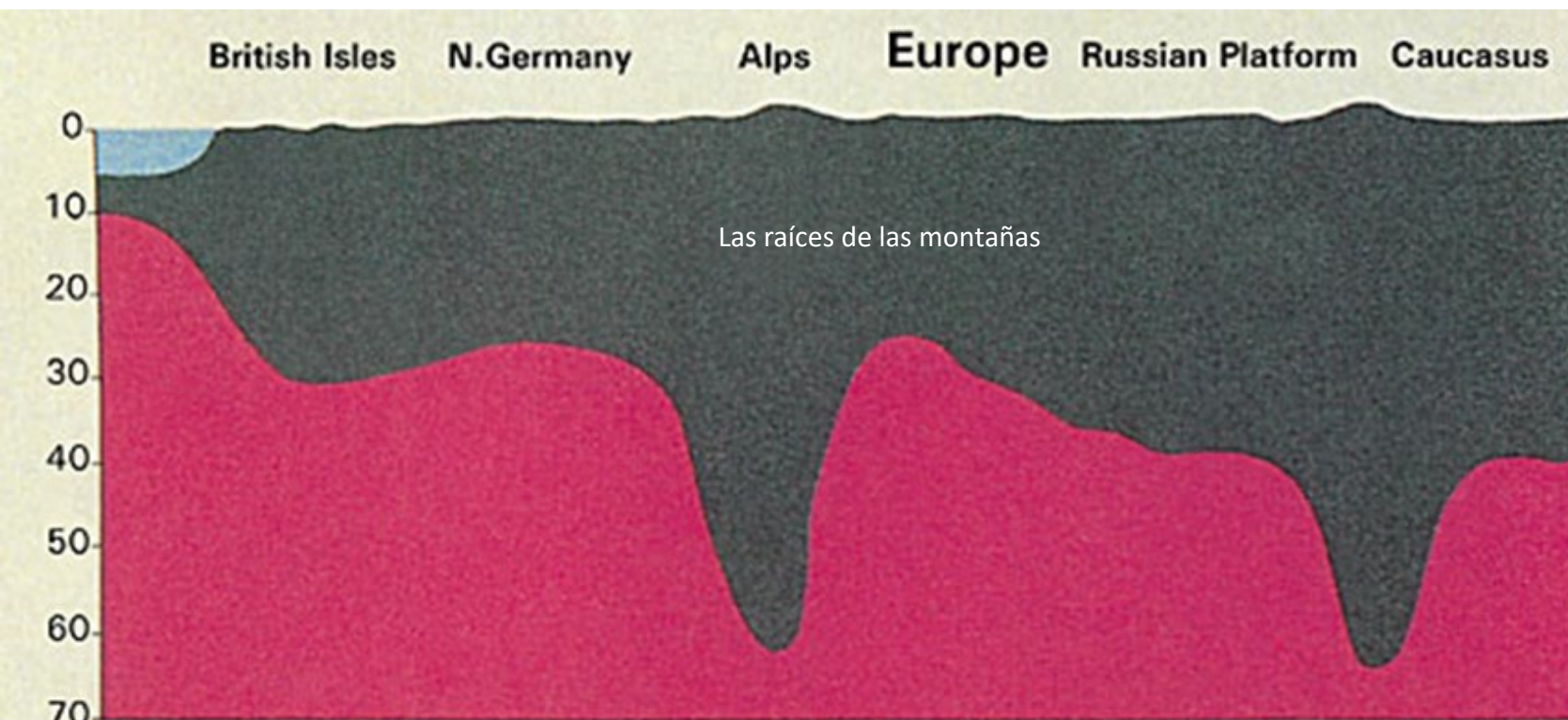
FIG. 10.—MAP SHOWING LOCATION OF GRAVITY STATIONS IN THE UNITED STATES AND CANADA USED IN THIS INVESTIGATION.

Estaciones gravimétricas y anomalías cerca de Seattle, Washington



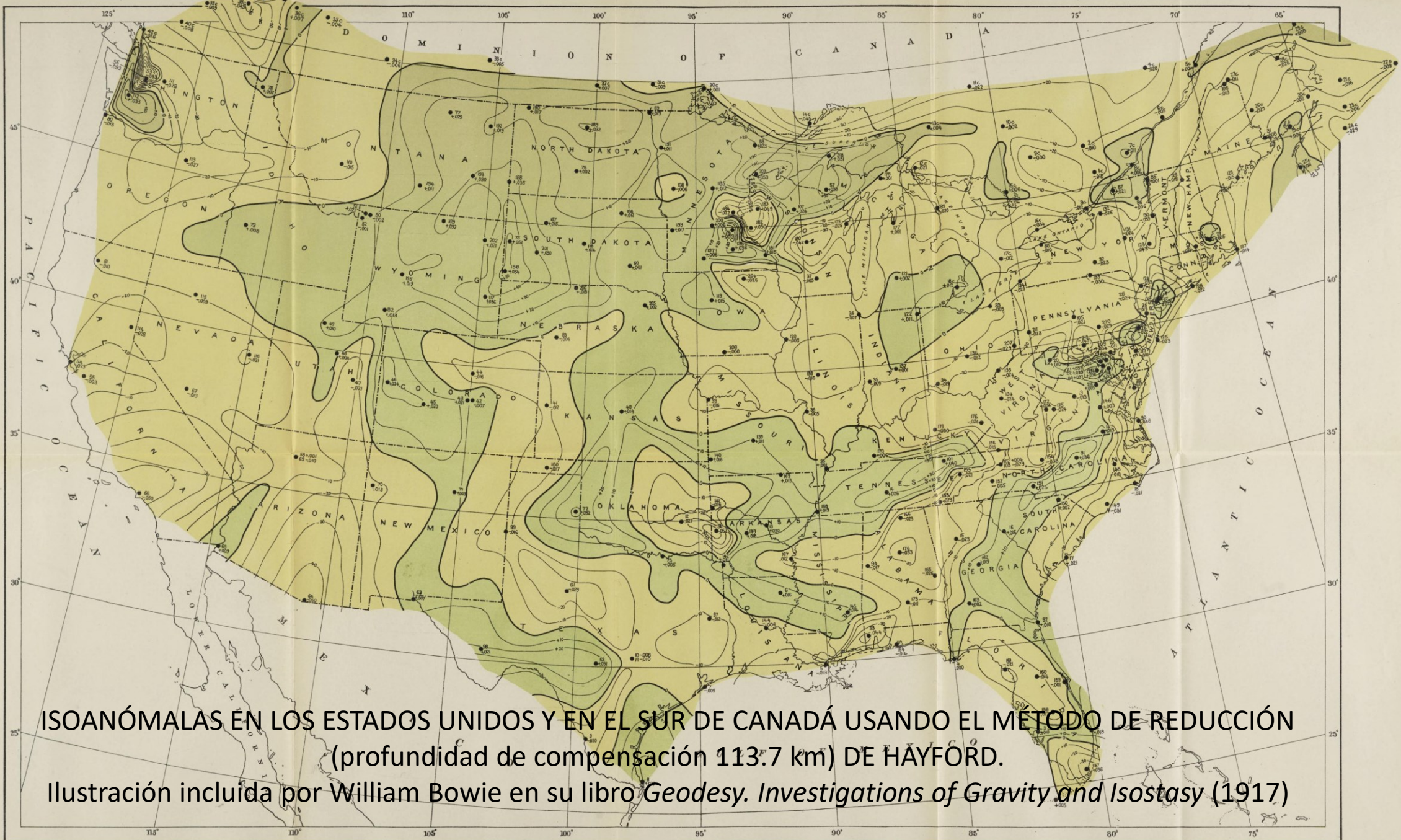
Las investigaciones posteriores permitieron sospechar que la profundidad de la compensación isostática se hallaba a una profundidad comprendida entre una centena o varias centenas de kilómetros. La aplicación de la isostasia redujo considerablemente las anomalías de la gravedad (diferencia entre el valor observado y el teórico) y las desviaciones de la vertical en los EE.UU. J. Hayford pudo así definir su modelo elipsoidal, quizás el de mejor ajuste medio: radio ecuatorial de 6378388 ± 18 m, semieje polar de 6356509 m y un valor recíproco del aplastamiento dado por 297.0 ± 0.5 ; posteriormente corregido y fijado en 298.4, casi idéntico al valor propuesto por Helmert (298.3). W. Bowie comentó luego la casuística de las observaciones gravimétricas, usando un péndulo invariable de 25 cm, con una oscilación de 0.5 segundos aproximadamente; el cual era un modelo ligeramente diferente del que había usado en Austria von Sterneck (1887). Las medidas relativas de la gravedad efectuadas en EE.UU. la obtuvieron al partir de la estación principal establecida en Washington D.C., habiéndose fijado ese valor a partir del que se había fijado en Potsdam por el método de absolutas.

Al referirse a ese procedimiento, hizo saber la dificultad que entrañaba; recordando que así se obtuvo el valor de la gravedad en las estaciones de Viena y Potsdam, tras muchos años de observaciones, aunque al obtenerla por la vía diferencial presentasen ambos valores un mismo error de 0.016 gal. Por otro lado, es estudio de las curvas de igual anomalía en los EE. UU. Permitted asegurar que casi todo su territorio podía considerarse con un equilibrio isostático casi perfecto, al igual que sucedía con la corteza terrestre. Más adelante recomendó la necesidad de contar con medidas oceánica de la gravedad: «*The geodesist is in great need today of an apparatus for measuring gravity accurately on a vessel at sea. We have no accurate values over the vast ocean areas*». Al final del artículo, continuó refiriéndose a los diferentes modelos propuestos para explicar la configuración de la corteza terrestre y



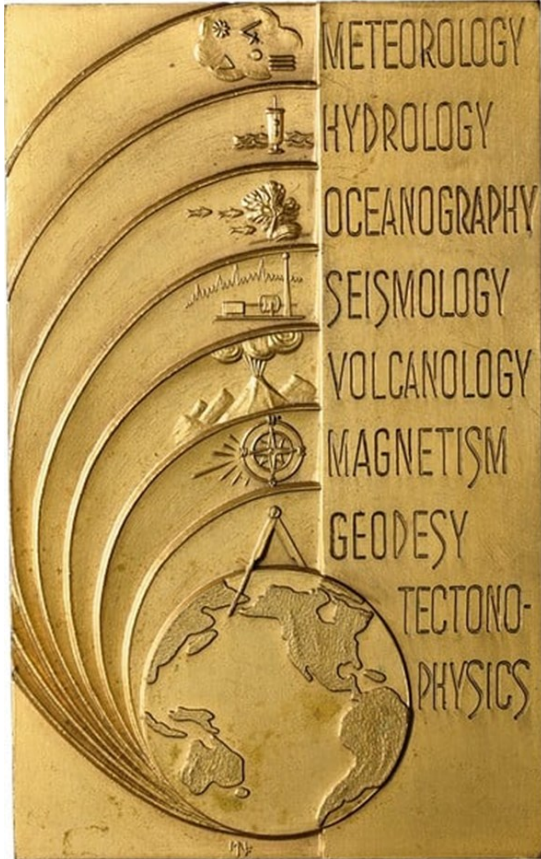
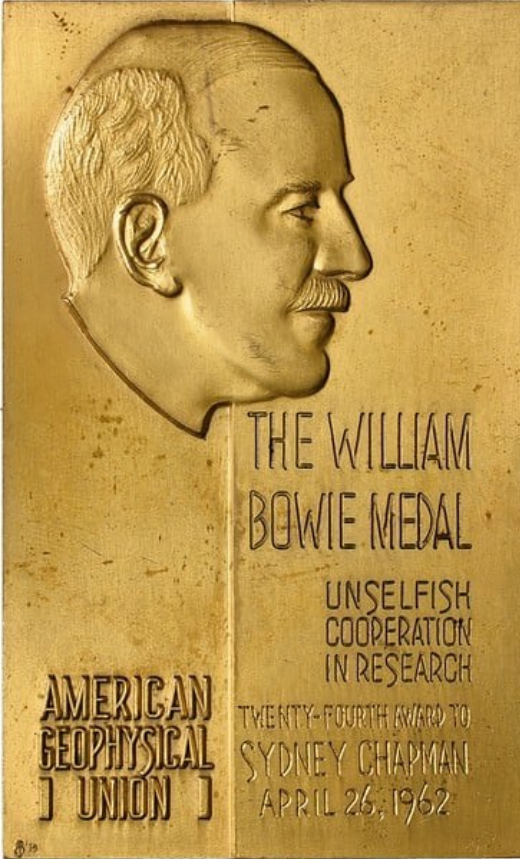
Superficie de compensación isostática

a la posibilidad de suponer que la profundidad de la zona de compensación isostática fuese función del relieve terrestre: «*The mountains would, according to this theory, have long roots of low density extending far down into the plastic materials, which are supposed to be below the seventy-mile depth*».



ISOANÓMALAS EN LOS ESTADOS UNIDOS Y EN EL SUR DE CANADÁ USANDO EL MÉTODO DE REDUCCIÓN (profundidad de compensación 113.7 km) DE HAYFORD. Ilustración incluida por William Bowie en su libro *Geodesy. Investigations of Gravity and Isostasy* (1917)

FIG. 11.—LINES OF EQUAL ANOMALY IN THE UNITED STATES AND SOUTHERN CANADA FOR THE HAYFORD 1912 METHOD OF REDUCTION (DEPTH OF COMPENSATION, 113.7 KILOMETERS.)



La *American Geophysical Union* decidió premiar a los investigadores que más hubiesen destacado en esa área de conocimiento, recayendo la primera medalla (1933), acuñada al efecto, precisamente en William Bowie socio fundador de esa Unión. Ese fue uno solo de los muchos reconocimientos con que fue honrado en su dilatada carrera. Perteneció a las siguientes instituciones: Academia de las Ciencias de Noruega, Asociación Geodésica Internacional (la presidió entre 1919 y 1933), Unión Geodésica Internacional (la presidió entre 1933 y 1936), *American Geographical Society*, *American Astronomical Society*, *American Society of Photogrammetry*, *Seismological Society of America*, etc.

A pesar del tiempo transcurrido, aún sigue siendo interesante leer los trabajos de William Bowie; así debieron pensarlo en la biblioteca digital *Internet Archive*, cuando decidieron digitalizar, al menos los siguientes: *Geodesy; effect of topography and isostatic compensation upon the intensity of gravity* (1912). *Geodesy; primary triangulation on the one hundred and fourth meridian, and on the thirty-ninth parallel in Colorado, Utah, and Nevada* (1914). *Hypsometry. Fourth general adjustment of the precise level net in the United States and the resulting standard elevations* (1914). *The Contributions of Geodesy to Geography* (1916). *Investigations of gravity and isostasy* (1917). *Geodesy. Investigations of gravity and isostasy* (1917). *Study Of Time Errors In Precise Longitude Determinations* (1922). *Isostasy* (1927).

James Bradley (1693-1762)

Sacerdote inglés, que llegó a ser vicario de Bridstow en 1719, aunque acabase abandonando la carrera eclesiástica para centrarse solamente en el estudio de la astronomía. El detonante debió surgir cuando conoció a E. Halley, por cuya recomendación ingresó en la Royal Society (1718); pues ya había publicado en sus *Philosophical Transactions* dos de las observaciones que había hecho Bradley sobre la aurora, hacia 1716. En su seno debió consolidarse el interés por esa ciencia, el cual debió ser notorio, ya que en 1721 ocupó la Catedra Savilian de Astronomía en la Universidad de Oxford; la cual había sido creada, junto a otra de geometría, por Sir Henry Savile (1549-1622), rector que fue del Merton College. Su conferencia inaugural la dio el 26 de abril de 1722, mostrando a partir de entonces gran interés por los satélites de Júpiter. Comparando sus observaciones de los eclipses de sus cuatro satélites principales (Io, Europa, Ganímedes y Calisto) con las realizadas desde Nueva York y Lisboa, pudo hallar las diferencias entre los tiempos de ocultación y reaparición, medidos en cada lugar, y deducir los incrementos de longitud entre los tres observatorios: informando de los resultados a la Royal Society en el año 1726. Bradley impartió sus clases entre 1721 y 1762.



The Hudson pinx^t J. Faber fecit
Jacobus Bradley, S.T.P.
Regalis Societatis Socius
Astronomus Regius et apud Oxonienses
Astronomiae Professor Savilianus
Sed by Faber at the Golden Head in Bloomsbury

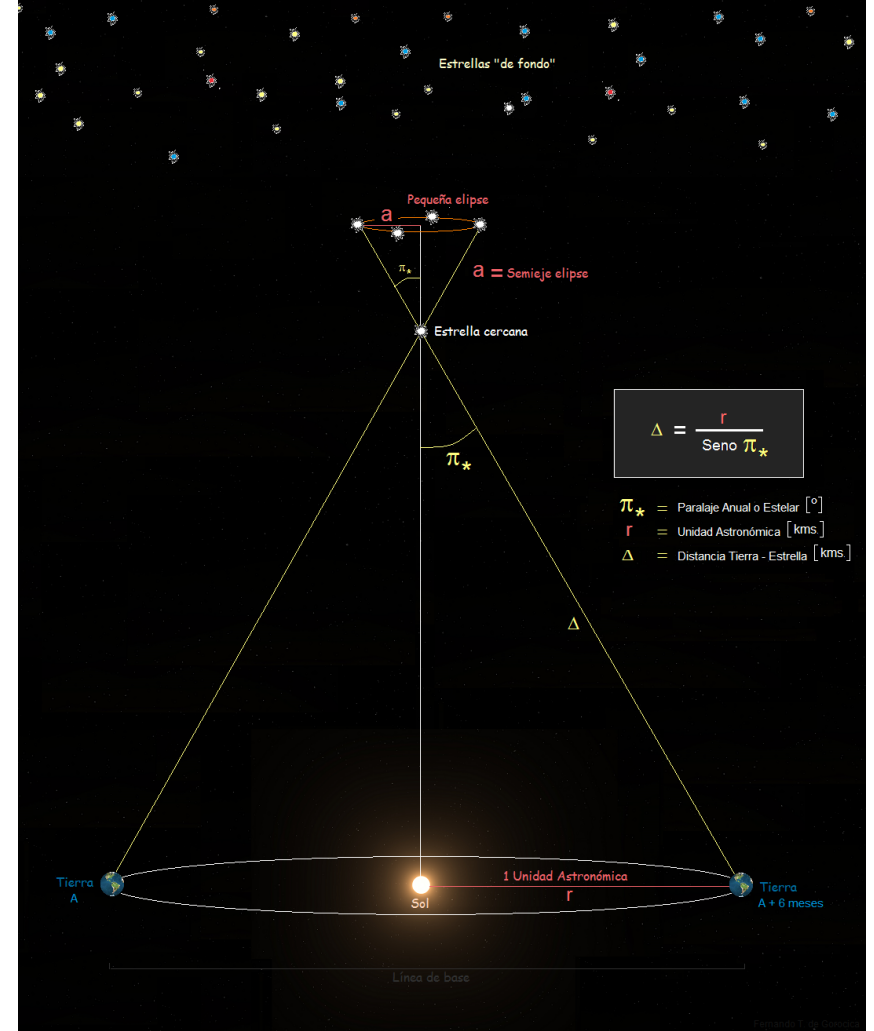
Observatorio de Greenwich en 1736



En el año 1742, miembros de la Royal Society lo propusieron como sucesor de Halley al frente del Observatorio de Greenwich; siendo su Astrónomo Real hasta 1762. Bradley recibió en el momento de ser nombrado la financiación suficiente para dotar con mejores instrumentos que los usados por su antecesor, los cuales estaban en lamentable estado de conservación; el más destacado fue el gran cuadrante mural de 8 pies, que le construyó J. Bird. Cuando tomó posesión de la dirección del observatorio en 1742, el propósito principal del centro era conseguir perfeccionar un método que permitiera hallar la longitud geográfica en el mar;

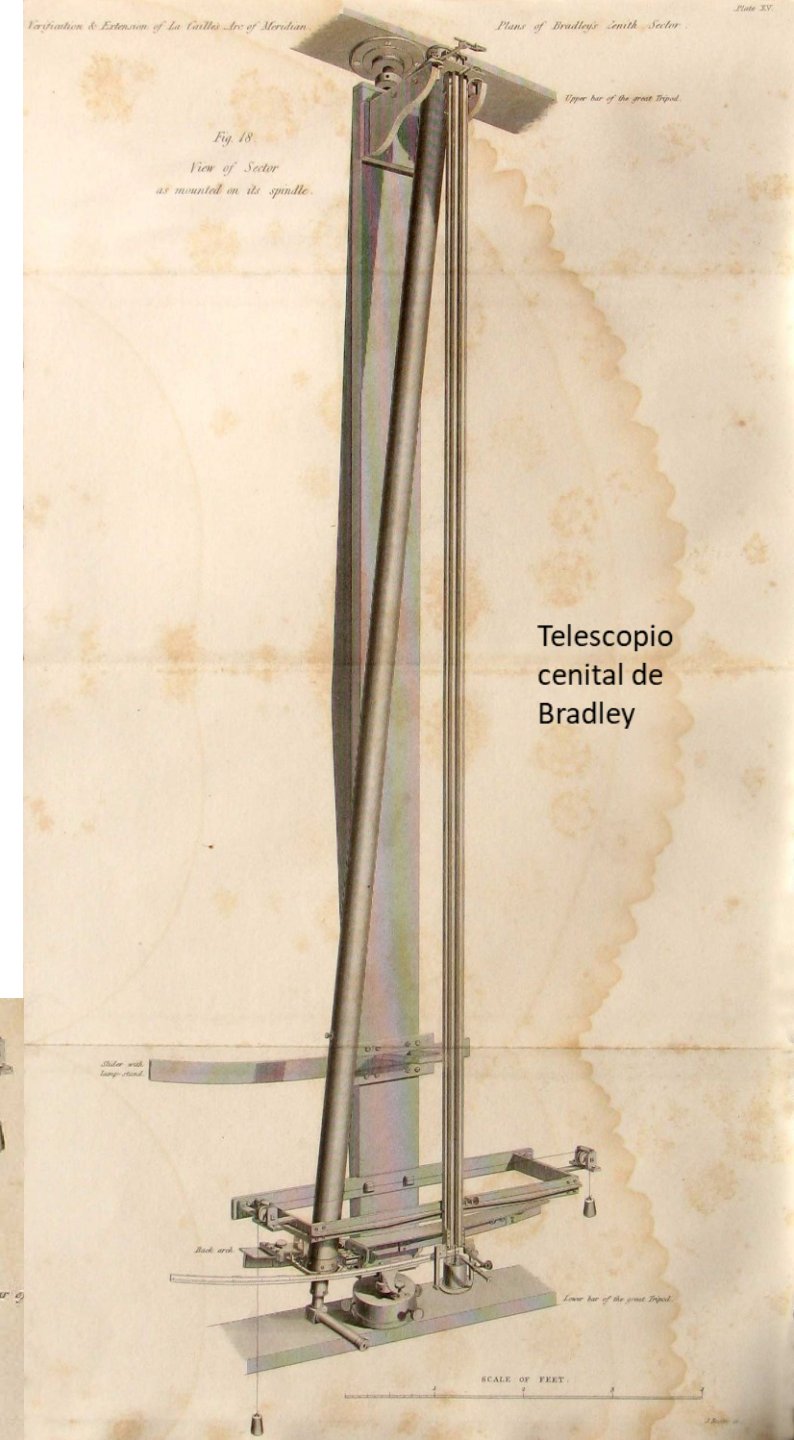
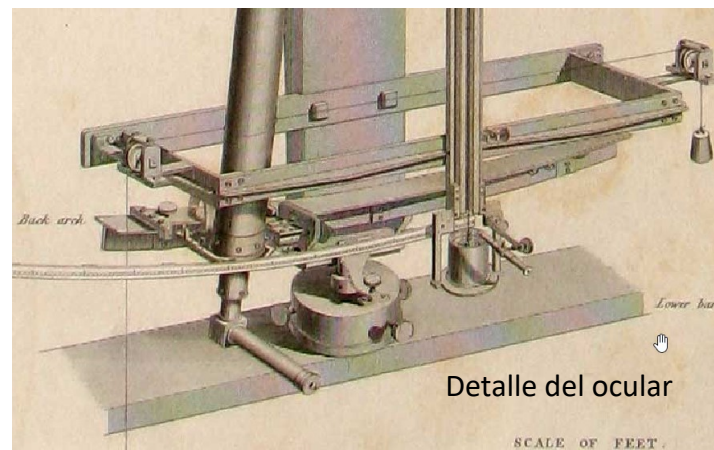
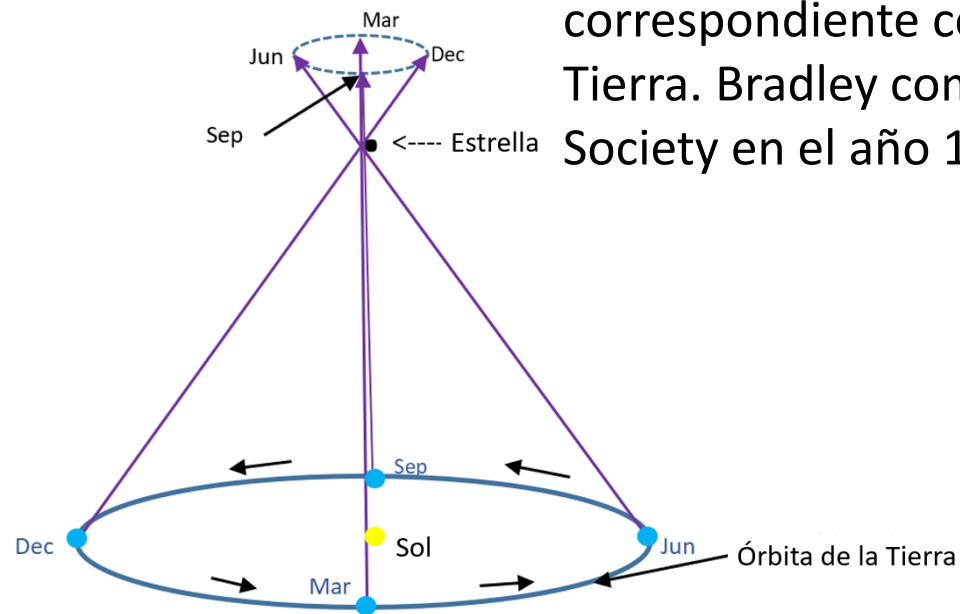
un objetivo que aún no se había conseguido. Sus aportaciones astronómicas más sobresalientes fueron los descubrimientos de la aberración de la luz y de la nutación del eje de rotación diurna de la Tierra. El primer fenómeno produce un movimiento aparente de las estrellas, dependiente de la velocidad del observador; el segundo produce una ligera desorientación del eje de rotación, que varía con el tiempo y es debida a la interacción de los astros cercanos sobre el que gira. No ha de confundirse la nutación (variaciones de corto periodo) con la precesión (variaciones del mismo eje pero de mayor periodo). El astrónomo y geodesta francés J. B. Delambre dijo: «Es a estos dos descubrimientos de Bradley a los que debemos la exactitud de la astronomía moderna. Este doble servicio asegura a su descubridor el lugar más distinguido (después de Hiparco y Kepler) por encima de los más grandes astrónomos de todas las épocas y todos los países».

Tras la publicación de Copérnico: *De revolutionibus orbium coelestium libri* (1543), los astrónomos se vieron en la necesidad de comprobar si las estrellas tendrían sobre la esfera celeste un movimiento aparente y homotético del que realizaba la Tierra en torno al Sol; para ello observaban la posición de una estrella en un instante dado y volvían a hacerlo seis meses después, es decir cuando la Tierra ocupase una posición diametralmente opuesta a la primera. Tal descubrimiento proporcionaría la evidencia de la rotación anual de la Tierra alrededor del Sol y no al contrario (modelo geocéntrico). El problema se planteó al no observar variación alguna en la posición de las estrellas, pues la mayoría se encuentran a tales distancias que ese movimiento (llamado paraláctico) no es perceptible; de hecho, esa falta de evidencia hizo que T. Brahe no se hubiese mostrado favorable a la teoría copernicana. En el año 1725, el astrónomo Samuel Molyneux (1689-1728) invitó a Bradley para que le ayudase a observar, desde Londres, la estrella γ Draconis y calcular su paralaje anual; como ya había intentado hacer el físico Robert Hooke (1635-1703). La elección de esa estrella no fue casual, pues su paso por el meridiano era próximo al cenit y la influencia de la refracción atmosférica podía suponerse despreciable. En teoría dicha culminación se produciría hacia el Sur en diciembre y hacia el Norte en el mes de junio; sin embargo, se observó que el cambio de posición en el semestre fue de apenas una centésima de grado. A raíz de entonces, concretamente a partir de 1727, Bradley decidió observar otras estrellas a lo largo del año para ver si tenían un comportamiento similar.



El instrumento empleado para ello fue un anteojo cenital de 12.5 pies, capaz de girar unos $6^{\circ}.25$ a uno y otro lado de la vertical (el aparato se expone en la sala octogonal del Observatorio). Aunque no pudo detectar la paralaje de ninguna de ellas, si hizo un descubrimiento sorprendente, pues presentó un desplazamiento aparente de $1''$ en tres días; una cantidad demasiado grande que no podía ser achacable a la paralaje, dada la distancia casi inconmensurable a que se encontraban la estrella. Al parecer, la explicación del fenómeno se le ocurrió a Bradley mientras navegaba por el Támesis, al observar que la veleta del mástil cambiaba de posición con el movimiento variable del barco, independientemente del tiempo; pues de inmediato extrapolaría su observación a la traslación de la Tierra en torno al Sol, suponiendo que la velocidad de la luz era finita y componiendo el vector

correspondiente con el asociado a la velocidad de la Tierra. Bradley comunicó su descubrimiento a la Royal Society en el año 1729.



A Letter from the Reverend Mr. James Bradley Savilian Professor of Astronomy at Oxford, and F.R.S. to Dr. Edmond Halley Astronom. Reg. &c. Giving an Account of a New Discovered Motion of the Fix'd Stars.

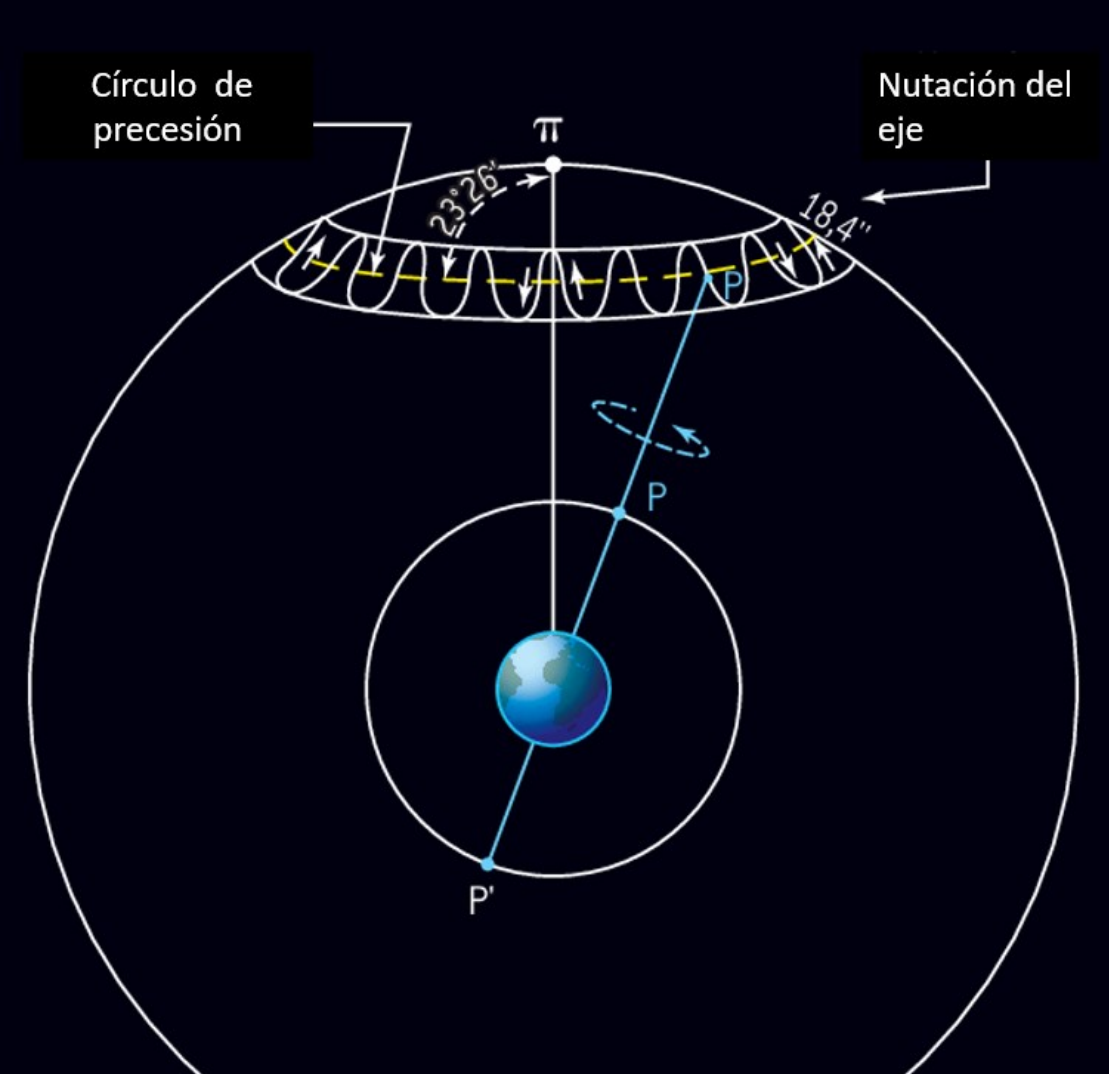
James Bradley

Phil. Trans. 1727-1728 **35**, 637-661
doi: 10.1098/rstl.1727.0064

estaba en conjunción u oposición con relación al Sol, es muy posible que no alcanzase el segundo, probando por tanto que estaría 400000 veces más alejada de nosotros que del Sol». Concluyendo que el valor de la paralaje anual, que él y Molyneux se habían propuesto realizar, estaba más allá de la precisión de los instrumentos disponibles. Bradley confirmó por tanto la validez del modelo propuesto por Copérnico, llegando a fijar el valor de la velocidad de la luz en unos 295000 km/s (la velocidad lineal media de la Tierra alrededor del Sol es del orden de 29.8 km /s); llegando a afirmar que la luz del Sol tardaba 8 minutos y 12 segundos en llegar a la Tierra.

a Judge of them as yourself. I am,
Sir, Your most Obedient
Humble Servant
J. BRADLEY.

La carta de Bradley fue leída en la Royal Society durante la sesión celebrada en enero de 1729. Al final de la misma resumía en cierto modo el problema que había resuelto: «...debe concluirse que la paralaje de las estrellas fijas es mucho menor de que han supuesto hasta ahora los que han pretendido deducirla a partir de sus observaciones. Creo, que puedo aventurarme a decir qué en ninde la estrella γ Draconis; cuya paralaje, tanto guna de las estrellas últimamente mencionadas, llega a ser de $2''$. En mi opinión si hubiese sido de tan solo $1''$, lo habría percibido, a lo largo de las numerosas observaciones que he efectuado cuando



El descubrimiento de la nutación fue hecho público en una sesión de la *Royal Society* celebrada el día 14 de febrero de 1747. Las muchas observaciones astronómicas de Bradley, entre 1727 y 1732, revelaron otro fenómeno diferente de la aberración: al que se refirió como una variación anual de las declinaciones estelares; llegando a la conclusión de que debería ser causado por una especie de cabeceo del eje de rotación de la Tierra, como consecuencia de la desigual atracción gravitatoria de la Luna. Sin embargo, la explicación dinámica de la nutación se la dejó a otros, quizás por estar más interesado en aprovecharla para calcular el achatamiento polar de la Tierra, contribuyendo así a solucionar la polémica entre los newtonianos y los cartesianos. Su interés fue persistente, ya que el ciclo nutacional tardaba en completarse 18 años y ello requería una dedicación continuada al problema; siendo además necesario efectuar todas las observaciones en el mismo lugar.

Bradley demostró su dedicación al problema al con observaciones, a pesar de un gran obstáculo: el eje de la Tierra tardaría más de 18 años en completar un ciclo nutacional. Trabajó durante el período necesario, regresando a Wansted cada vez que se requería una observación. Esto era necesario ya que todas las observaciones debían realizarse utilizando el mismo instrumento en el mismo lugar. El programa observacional lo terminó en 1747, presentando sus conclusiones en una asamblea de la *Royal Society* celebrada el día 14 de febrero de ese mismo año.

**A Letter to the Right Honourable
George Earl of Macclesfield
concerning an Apparent Motion
Observed in Some of the Fixed
Stars; By James Bradley D. D.
Astronomer Royal, and F. R. S.**

James Bradley

Phil. Trans. 1748 45, 1-43, published 1 January 1748

Posteriormente (1748) fueron trasladados mediante una extensa carta al astrónomo George Earl of Macclesfields (c.1697-1764), tras haber explicado pormenorizadamente como habían sido obtenidos, para acabar confirmando el modelo newtoniano de la Tierra. Bradley fue recompensado por ello, al serle concedida la medalla Copley de la *Royal Society* en 1748: «Por sus curiosos y maravillosos descubrimientos sobre el movimiento aparente de las estrellas fijas y sus causas». Asimismo fue reconocido internacionalmente, ingresando en las siguientes Academias de Ciencias: Berlín, París, San Petersburgo y Bolonia.

Otras de sus observaciones fueron eminentemente prácticas, como las que efectuó con el cuadrante de Bird, que le permitieron determinar el valor de la refracción y la confección de las tablas correspondientes, publicadas por Maskelyne en 1763. Igual de sobresaliente fue su cálculo de la latitud del Observatorio de Greenwich: $51^{\circ}28'39''.5$, solo $1''.3$ mayor que el admitido en la actualidad, Bradley comprobó también la existencia del movimiento propio de las estrellas, llegando a revelar pequeñas variaciones en sus distancias relativas. La relevancia de su obra fue igualmente reconocida por F.W. Bessel en 1818, en su publicación: *FUNDAMENTA ASTRONOMIAE pro anno MDCCLV deducta ex observationibus viri incomparabilis JAMES BRADLEY in specula Astronomia Grenevicensi per annos 1750-1762 Institutis.*

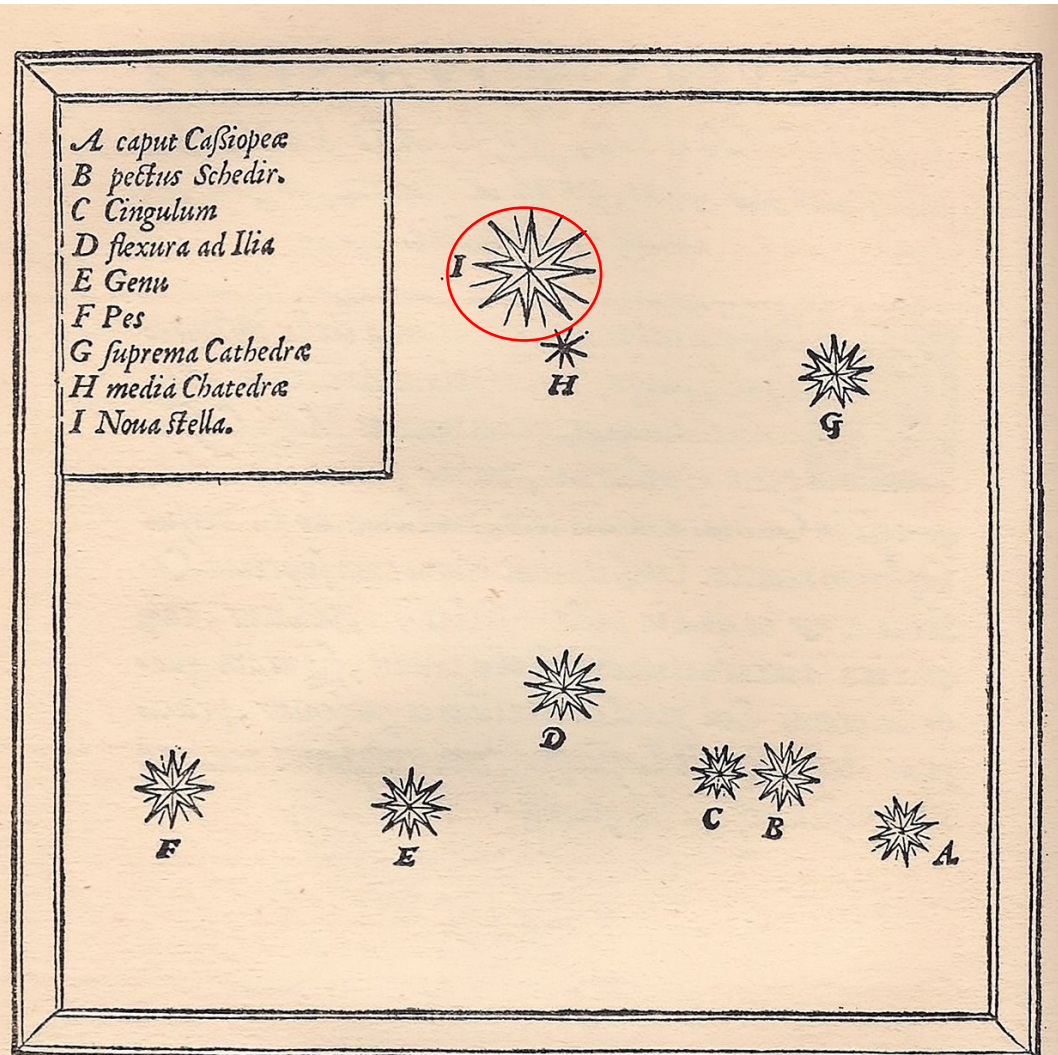
γ Draconis	South of 0 / 38. 25	Precef- sion.	Aberra- tion.	Nuta- tion.	Mean Dift.
1727 September	3 70.5	— 0.4	+ 19.2	— 8.9	80.4
1728 March	18 108.7	— 0.8	— 19.0	— 8.6	80.3
September	6 70.2	— 1.2	+ 19.3	— 8.1	80.2
1729 March	6 108.3	— 1.6	— 19.3	— 7.4	80.0
September	8 69.4	— 2.1	+ 19.3	— 6.4	80.2
1730 September	8 68.0	— 2.9	+ 19.3	— 3.9	80.5
1731 September	8 66.0	— 3.8	+ 19.3	— 1.0	80.5
1732 September	6 64.3	— 4.6	+ 19.3	+ 2.0	81.0
1733 August	29 60.8	— 5.4	+ 19.0	+ 4.8	79.2
1734 August	11 62.3	— 6.2	+ 16.9	+ 6.9	79.2
1735 September	10 60.0	— 7.1	+ 19.3	+ 7.9	80.1
1736 September	9 59.3	— 8.0	+ 19.3	+ 9.0	79.5
1737 September	6 60.8	— 8.8	+ 19.3	+ 8.5	79.8
1738 September	13 62.0	— 9.6	+ 19.3	+ 7.0	78.7
1739 September	2 66.6	— 10.5	+ 19.2	+ 4.7	80.0
1740 September	5 70.8	— 11.3	+ 19.3	+ 1.9	80.7
1741 September	2 75.4	— 12.1	+ 19.2	— 1.1	81.4
1742 September	5 76.7	— 12.9	+ 19.3	— 4.0	79.1
1743 September	2 81.6	— 13.7	+ 19.1	— 6.4	80.6
1745 September	3 86.3	— 15.4	+ 19.2	— 8.9	81.2
1746 September	17 86.5	— 16.2	+ 19.2	— 8.7	80.8
1747 September	2 86.1	— 17.0	+ 19.2	— 7.6	80.7

Tycho Brahe (1546-1601)

Aristócrata danés con formación jurídica, por imperativo familiar, pero con temprana vocación astronómica; fue determinante al parecer la predicción del eclipse solar que tuvo lugar el 21 de agosto de 1560, un hecho que debió sorprenderlo y despertar su curiosidad. Siendo aún adolescente consultó el Almagesto de Tolomeo, con la ayuda de alguno de sus profesores de matemáticas; otros le enseñaron a construir pequeños globos celestes, de modo que ya debería reconocer las constelaciones y ser capaz de medir las distancias angulares entre las estrellas con la vara de Jacob, un instrumento ideado por Levi ben Gerson (1288-1344). Se cree que su primera observación astronómica formal data del mes de agosto de 1563, cuando registró la conjunción de Júpiter y Saturno; constatando poco después la inexactitud de algunas tablas astronómicas, que, como las de Copérnico, cometían errores de varios días al predecir ese fenómeno. Su entusiasmo al conseguir hacerlo debió desatar su entusiasmo, decidiendo que a partir de entonces solo se dedicaría a la observación del cielo.



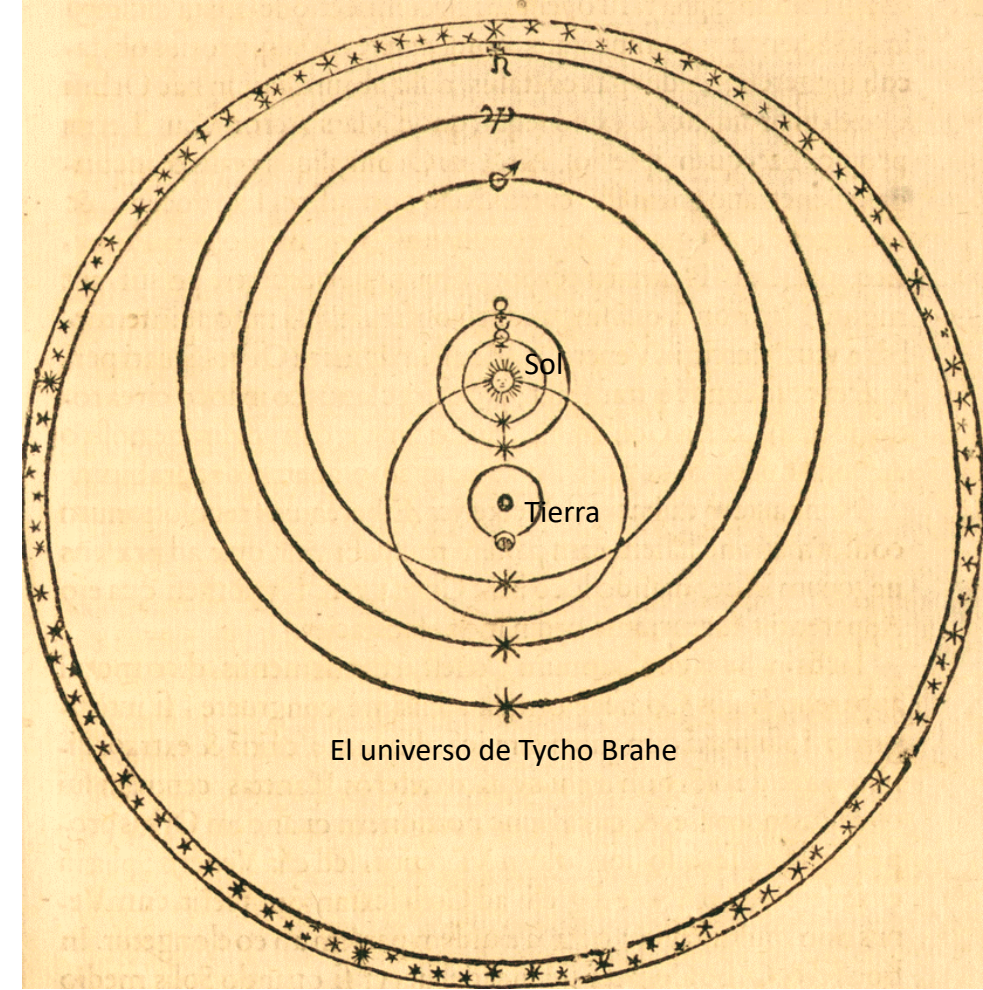
DE NOVA ET NVL-
LIVS ÆVI MEMORIA, A MVNDI
EXORDIO PRIVS CONSPECTA STELLA,
quæ in fine Annj superioris omnium pri-
mò apparuit.



En el año 1566 sufrió un serio percance mientras residía en la ciudad de Rostock, ya que al batirse en duelo con su pariente Manderup Parsberg (1546-1625) perdió la nariz; supliéndola con una prótesis metálica que le acompañó el resto de su vida, dándose la circunstancia de que ambos contendientes acabarían siendo buenos amigos. De tal suceso informó W.J. Blaeu, uno de los privilegiados alumnos que tuvo Tycho Brahe.

A comienzos de la década de 1570 construyó un pequeño observatorio en Escania, financiándola con la herencia familiar que acababa de recibir. Desde él realizó uno de los descubrimientos más notables en la historia de la astronomía, el 11 de noviembre de 1572 vio de repente una nueva estrella en la constelación de Casiopea; más brillante que Venus y que pudo verse a simple vista hasta el mes de marzo de 1574. Tras observarla cuidadosamente dedujo que estaba más allá de la Luna, es decir en el ámbito de las llamadas estrellas fijas. La comunidad científica recibió la noticia con el escepticismo impuesto por la tradición aristotélica, que postulaba la armonía universal perfecta e inamovible. En 1573 publicó su celebrada obra *De nova et nullius ævi memoria prius visa stella*, convirtiéndose a partir de entonces en uno de los astrónomos europeos más respetados.

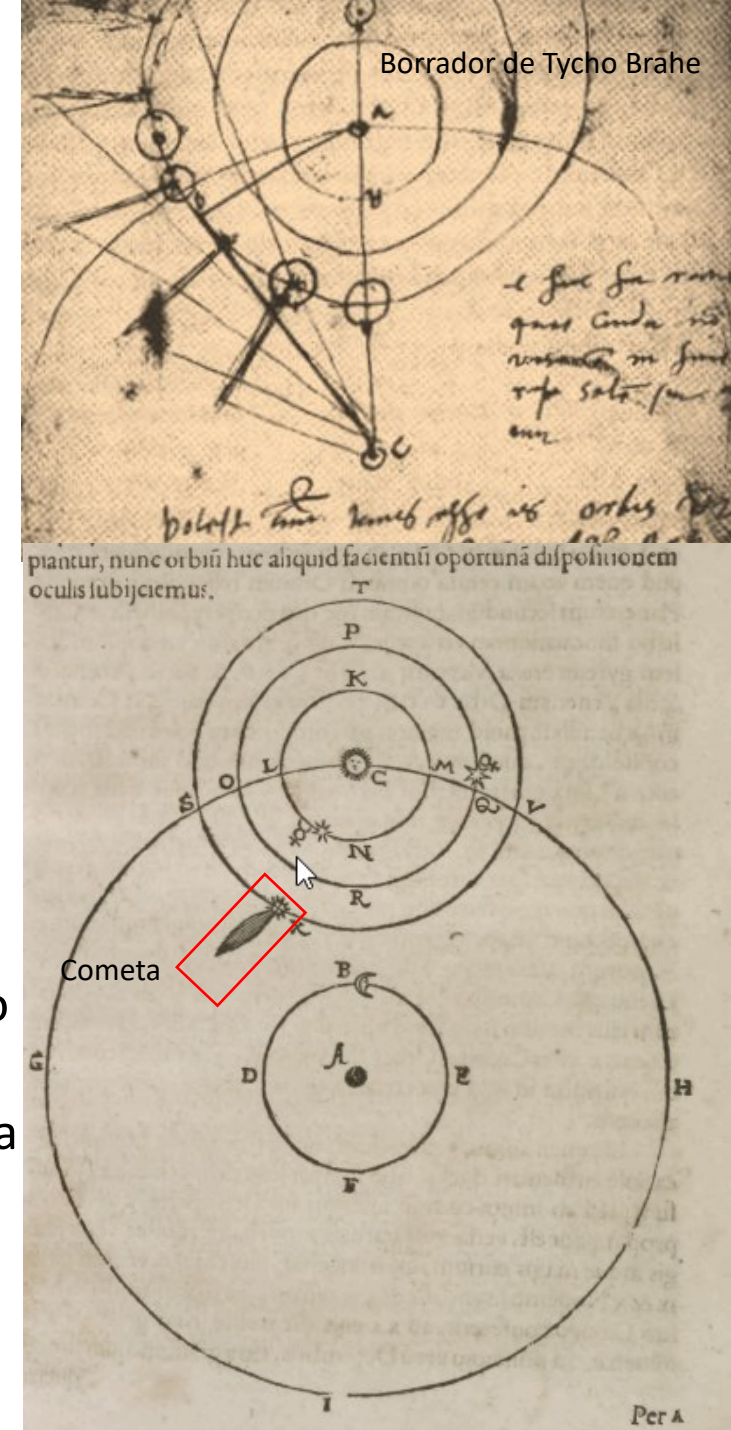
En el año 1574 estuvo T. Brahe impartiendo clases de matemáticas, durante dos meses, en la universidad de Copenhague, siendo entonces cuando se refirió por vez primera a Copérnico y a su revolucionario modelo heliocéntrico del universo. Para él, Copérnico fue un segundo Tolomeo, que había reflexionado, como nadie lo había hecho antes, sobre el curso de las estrellas; no obstante, rechazaba de plano su hipótesis por oponerse a los principios físicos y dotar de movimiento a la Tierra, al contrario que al Sol y a la esfera de las fijas. He aquí uno de sus razonamientos, un movimiento como el previsto por Copérnico: «no podía pertenecer a la Tierra, un cuerpo muy pesado, denso y opaco, sino más bien al mismo cielo, cuya forma y materia sutil y constante son más adecuadas para un movimiento perpetuo, por rápido que sea». T. Brahe argumentaba por otra parte que la validez de la hipótesis copernicana debía ser avalada por la experiencia, a través de la determinación de la paralaje; la cual nunca pudo cuantificar a pesar de sus múltiples intentos. Dos posibilidades explicarían el fenómeno: una Tierra inmóvil o una escala del universo casi inconmensurable, hoy día se sabe que la segunda es la verdadera y que el astrónomo danés no habría podido medir la paralaje por carecer todavía del instrumental adecuado. Finalmente, T. Brahe propuso su propio modelo; una especie de compromiso entre el geocéntrico clásico y el heliocéntrico de Copérnico: los planetas girarían en torno al Sol, el cual se movería alrededor de la Tierra estacionaria, al igual que lo hacía la Luna.





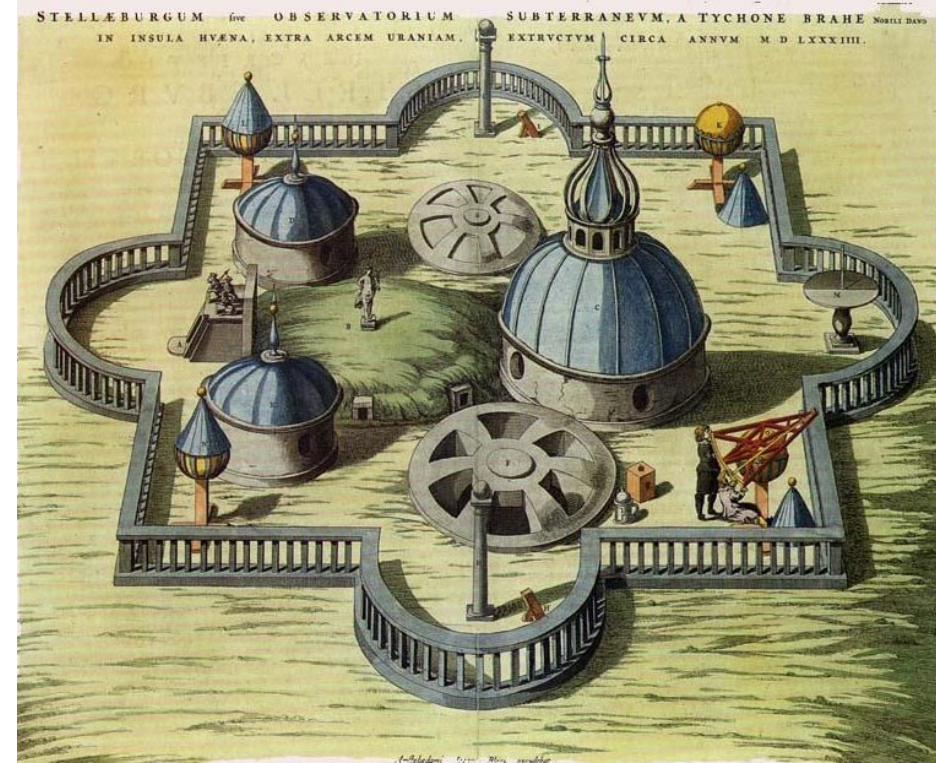
El esquema de universo de T. Brahe fue reproducido en muchas de sus obras, y de manera muy especial en la publicada en el año 1588, con el título *Tychonis Brahe De mundi aetherei recentioribus phaenomenis liber secundus*; un completo estudio referido al cometa aparecido en el año 1577, y que fue observado en lugares tan dispares como Perú, Turquía y Japón.

Brahe lo vio en la noche del 13 de noviembre de 1577 y continuó haciéndolo hasta que desapareció el 26 de junio de 1578; él fue la última persona en verlo y la que lo hizo de forma más sistemática. Al comparar sus mediciones con las que había hecho en Praga Thaddaeus Hagecius (1525-1600), comprobó que no presentaba paralaje; deduciendo que el cometa debería estar como mínimo seis veces más alejado que la Luna, tratándose pues de un fenómeno astronómico. De esa forma evidenció el error que cometió Aristóteles, al suponer que tales fenómenos eran meras exhalaciones de la parte superior de la atmósfera; de ahí el especial protagonismo de cometa de 1577 en la historia de la ciencia.





URANIENBORG



STJERNEBORG

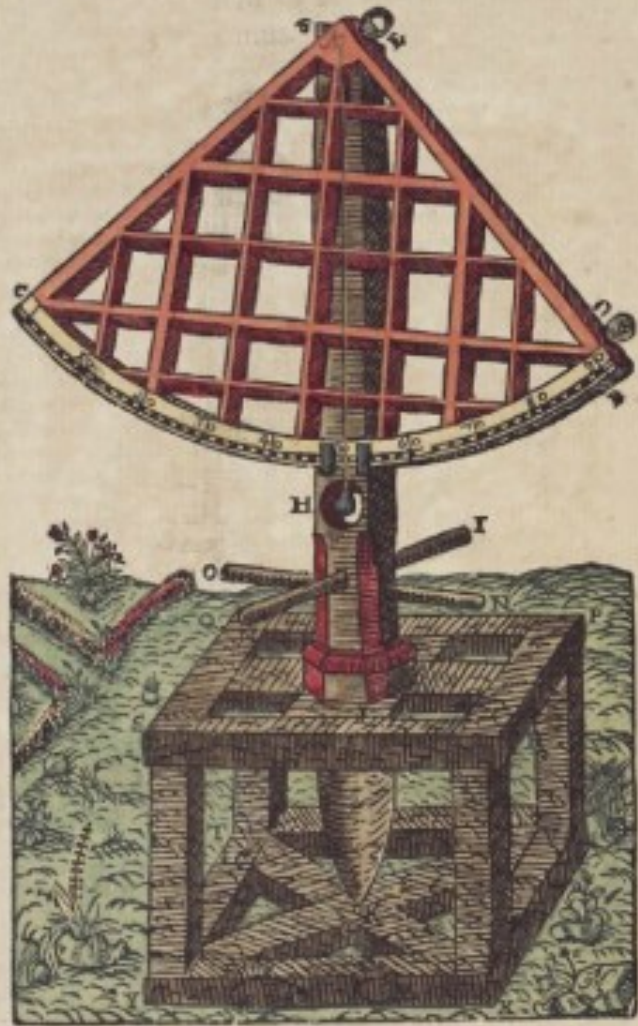
A finales del año 1575, T. Brahe tenía pensado trasladarse a Basilea, pero decidió aceptar la generosa oferta del rey Federico II (1559-1588): construir a sus expensas un observatorio en la isla de Hven; su primera piedra se colocó en agosto de 1576 y se dio por concluido en 1580. El edificio se dedicó a Urania, la musa de la astronomía, tratándose en realidad de un palacio; cuya planta principal tenía cuatro habitaciones, una de las cuales fue ocupada por T. Brahe y su familia y las otras tres por astrónomos visitantes. El observatorio propiamente dicho era de planta cuadrada (16 x 16 m) con una torre central y otras dos menores y coronadas por un cono, estando rodeada por galerías destinadas a los instrumentos de observación. Sin embargo, los problemas surgidos durante las observaciones: inestabilidad de los instrumentos y excesiva incidencia del viento, hicieron que se construyese un nuevo edificio, unos 80 metros al Sur del primero, al que se le denominó Stellaeburgum; el cual dispuso de cinco torres cilíndricas con domos cónicos destinados a los instrumentos.

Quizás sea Tycho Brahe el más destacado constructor de instrumentos matemáticos de todos los tiempos, además del astrónomo observador más importante hasta la aparición del telescopio, al final de la primera decena del siglo XVII. Sus novedosos aparatos y la introducción de métodos de observación inéditos disminuyeron significativamente la incertidumbre de sus medidas. Entre las principales novedades sobresalen el mayor tamaño de los instrumentos, el uso de metal y mampostería en detrimento de la madera. La estabilidad y resistencia al viento fueron otros de los factores que tuvo en cuenta, así como las graduaciones que introdujo para mejorar las



las lecturas angulares o los elementos de puntería. La mejor referencia documental para estudiar los numerosos instrumentos construidos bajo su dirección es su libro *Astronomiae Instaurate Mechanica*, publicado en 1602 y dedicado al rey Rodolfo II (1572-1608). En sus 115 páginas se describen con detalle la imagen de la mayoría de los instrumentos y se explica el modo de empleo. Helos aquí: I) *Quadrans Minor Orichalcicus Inauratus* (Cuadrante pequeño de latón dorado), II) *Quadrans Mediocris Orichalcicus Azimuthalis* (Cuadrante acimutal mediano de latón), III) *Quadrans Alius Orichalcicu Etiam Azimuthalis* (Otro cuadrante acimutal de latón),

QUADRANS MAXIMVS QVALEM
OLIM PROPE AVGVSTAM VINDELICORVM
exstruximus.



EXPLI-

XVII) *Sextans Chalybeus Pro Distantiis Per Unicum Observatorem Dimetiendis*

(Sextante de acero para medir distancias con un solo observador), XVIII) *Aliud Instrumentum Simile Priori Pro Distantiis*

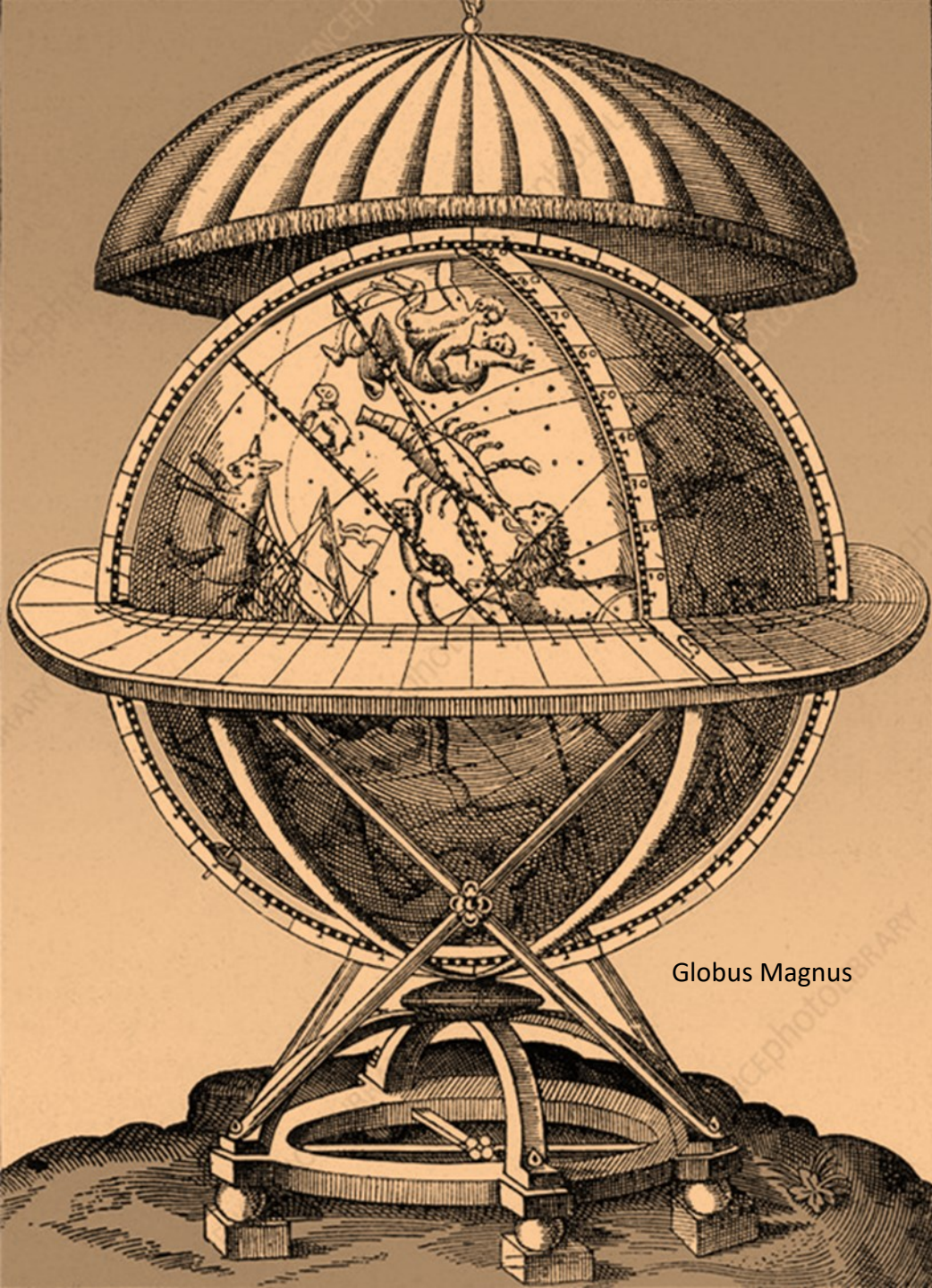
(Otro instrumento similar al previo, para medir distancias angulares), XIX) *Instrumenti Eiusdem Ut Altitudinibus Capiendis Inserviat Dispositio*

(Montaje del mismo instrumento para medir alturas), XX) *Quadrans Maximus Qualem Olim Prope Augustam Vindelicorum Exstruximus*

(El gran cuadrante que construimos en su momento, en los alrededores de Ausburgo), XXI) *Quadrans Maximus Chalybeus*

Quadrato Inclusus, Halybe Et Horizonti Azimuthali o Insistens (Gran cuadrante de acero, confinado en un cuadrado y apoyado sobre un limbo acimutal de igual material). A continuación, hizo un breve resumen de las principales características de otros instrumentos menores, cuya imagen no fue incorporada: 1) *Sextans Bifurcatus* (Sextante bifurcado), 2) *Semicirculus Amplus Pro Maioribus Distantiis Coelitus Denotandis*





(El gran semicírculo para la medida de grandes distancias en el cielo), 3) *Radius Astronomicus* (Radio astronómico), 4) *Annulus Astronomicus* (Anillo astronómico), 5) *Armilla Portabilis* (Armilla portátil), 6) *Astrolabium* (astrolabio) Acto seguido dedicó un gran espacio a su obra maestra: *Globus Magnus Orichalcicus* (El gran globo metálico), con un diámetro próximo a 1.5 m; acompañando el texto con una bella imagen del mismo, centrada en las constelaciones de Leo y Cáncer. Todos los instrumentos anteriores fueron usados por T. Brahe y sus colaboradores durante los veinte años que permaneció en la Isla de Hven. Entre sus muchos descubrimientos ha de subrayarse la constatación de que había disminuido el valor de la oblicuidad de la eclíptica, desde el tiempo de C. Tolomeo. No obstante, fue más sobresaliente su concienzudo estudio de los movimientos planetarios y especialmente el de Marte. Profundas desavenencias con el nuevo rey Christian IV (1577-1648) hicieron que abandonase Dinamarca en 1597 y se instalara en Praga, siendo bien recibido por el emperador Rodolfo II (1552-1612), que lo nombró matemático imperial; no en vano lo consideraba el mejor científico de su tiempo, allí continuó con sus estudios y observaciones convirtiéndose en el astrónomo y astrólogo de la corte.

El lugar elegido como observatorio fue el castillo de Benatky, a 40 km de Praga, el cual le fue cedido por el emperador; si bien a comienzos del otoño de 1600 se trasladó a la capital para continuar con sus mediciones en el Palacio de la Reina Ana, usando para ello el sextante que le había construido Erasmus Habermehl (c.1538-1606). T. Brahe le propuso a su nuevo mecenas que convocase a J. Kepler para que le ayudase en sus cálculos matemáticos. Ya en Praga, el joven astrónomo tuvo libre acceso a toda la información astronómica de su maestro, y en concreto a la del movimiento orbital de Marte, la cual le permitiría enunciar después su celebrada Ley de las Áreas.

Cuando T. Brahe falleció, los dos observatorios fueron completamente destruidos, desapareciendo por tanto todos los instrumentos que aún permanecían en ellos; salvo el *Globus Magnus* que se lo había llevado consigo al abandonar la isla, aunque luego se destruyese también durante un incendio, y algunos otros que consiguió llevarle su hijo a Praga.

Monumento a T. Brahe en la ciudad de Helsingborg, cercana al lugar en que se construyó su primer observatorio: fuente coronada con una réplica de su Globus Magnus.



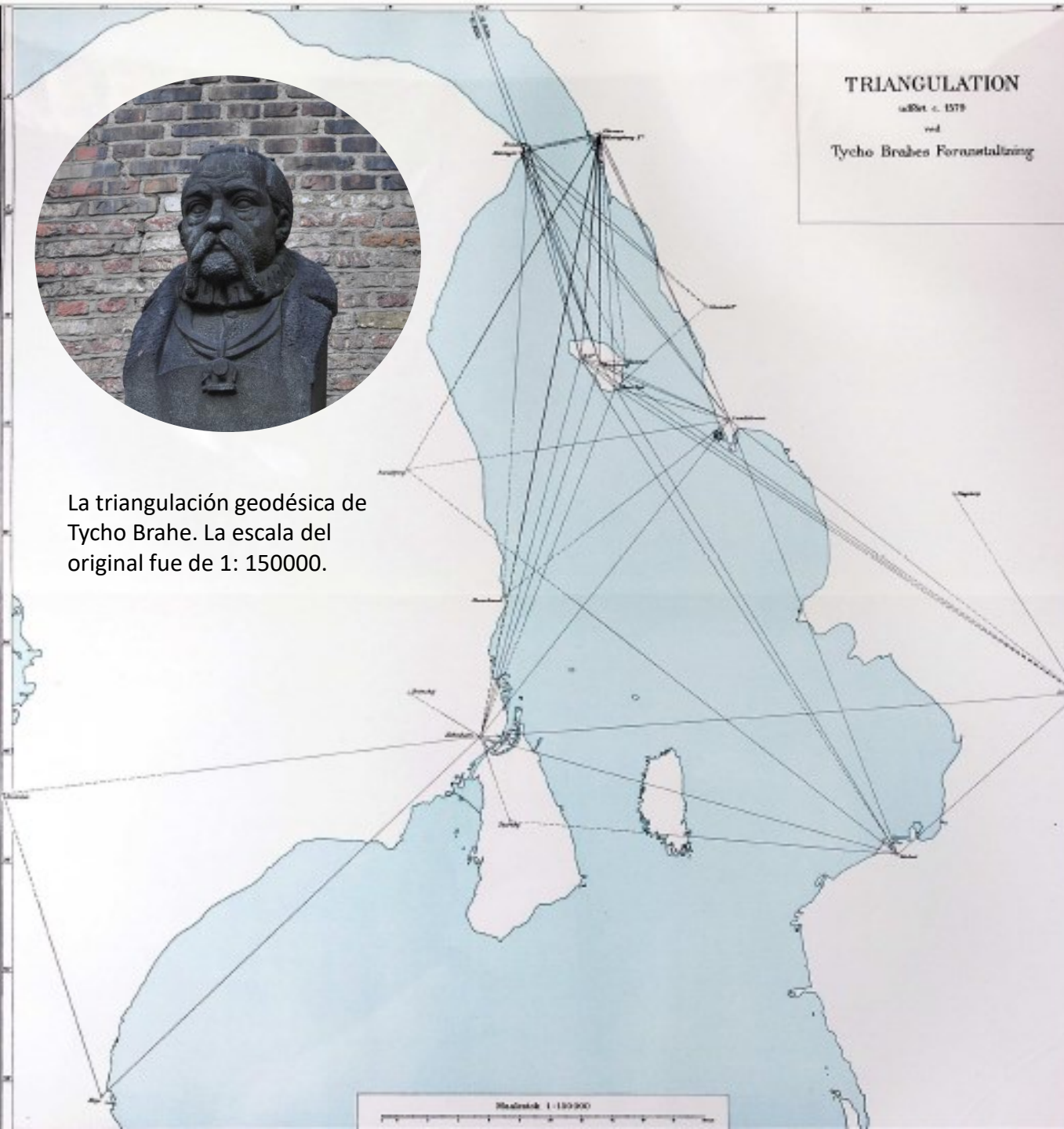
Palacio de la reina Ana





La triangulación geodésica de Tycho Brahe. La escala del original fue de 1: 150000.

TRIANGULATION
ca. 1578
v. d.
Tycho Brahes Foranstaltning



Es incuestionable que las aportaciones astronómicas de T. Brahe son las más conocidas, pero hubo otras, como las geodésicas, que también tuvieron su importancia para las ciencias de la Tierra. La determinación de las coordenadas geográficas de la isla de Hven entran en ese capítulo, así como la diferencia de longitudes entre las ciudades de Alkmaar y Wandsbeck (Hamburgo) que realizó conjuntamente con su discípulo W. J. Blaeu. No obstante, la más singular fue la triangulación de enlace con el litoral continental, con vistas a obtener la longitud del observatorio con relación a Copenhague. La operación se llevó a cabo entre los años 1578 y 1579, situando un total de 12 vértices repartidos por las ciudades de Helsingør, Køge, Copenhague, Helsingborg, Landskrona y Malmö. La escala de la red la obtuvo midiendo una base en la referida isla, situando los extremos en el centro del observatorio y en el de la torre oriental de la iglesia. Al final del proceso fueron medidos un total de 77 ángulos y todos sus triángulos se resolvieron como si fuesen planos.



Jean Baptiste Mathurin Brousseau (c.1776-1840)

Poco es sabido acerca de la biografía de este militar e ingeniero geógrafo francés, que acabó jubilándose como general del ejército; si bien hay constancia de dos hechos incontestables: que acompañó al ejército napoleónico cuando invadió España y que midió un arco de paralelo. La presencia en España la confirma un plano de la ciudad de Toledo (*Plan de Toledé et des environs*), que firmó como Jefe del Batallón de Ingenieros Geógrafos adscrito a la División Lasalla; comandada por el general Antoine Charles Louis Lasalle (1775-1809). La escala del plano fue gráfica con un pitipié de 6000 metros, dividido en seis segmentos; estando subdividido el primero de la izquierda en tramos de 100. El dibujo de la planimetría es cuidadoso, destacando el color carmín de los detalles urbanos y el azul del meandro del río Tajo; el relieve se simuló con acierto mediante sombreado, ocasionalmente acompañado de normales. La rotulación se hizo con letra itálica, echándose en falta el topónimo que debería haber identificado el núcleo urbano principal. El plano lleva una flecha para indicar la dirección de la meridiana.



PLAN DE TOLEDE ET DES ENVIRONS

Echelle

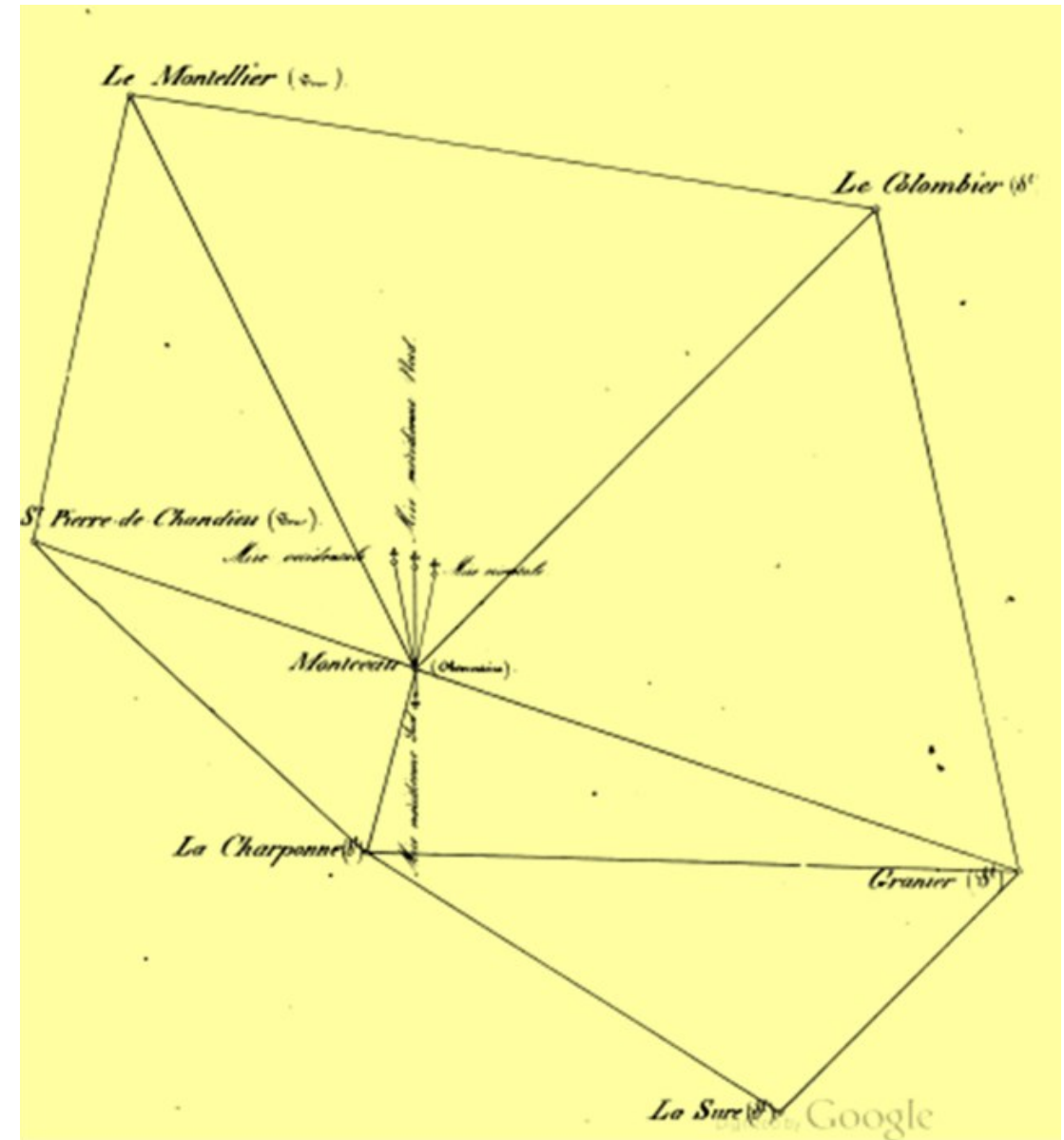


Dessiné et testé à vue par J. Brousseau, chef de B^{re} Ing^{enieur} Géographe, attaché à la Division Lascaille.

An 1809.

A los conocimientos cartográficos y topográficos mostrados por Brousseau, al levantar el plano de Toledo, han de añadirse los propios de la astronomía geodésica que debía de tener; en otro caso no se le hubiese responsabilizado de la medida de un arco de paralelo, que debía unir las costas oceánicas de Francia, en las proximidades de Burdeos, con las del mar Adriático en Istria. La medida se apoyaría, como en el caso de los arcos de meridiano, en una red geodésica extendida a lo largo del mismo, así lo dispuso una Orden del Ministerio de la Guerra dictada en el año 1811. Los trabajos de campo fueron confiados al cuerpo de ingenieros geógrafos, responsabilizándose de todos ellos al coronel Brousseau. La red se compuso de ciento seis triángulos de primer orden, de los cuales noventa se localizaron en Italia y Francia. La escala de la red fue dada por dos bases (a efectos de comprobación): una en las Landas, cerca de Burdeos, de 14118.08 m, y otra próxima a Milán, de 9999.25 m.

La amplitud angular del arco vino dada por la diferencia entre las longitudes geográficas de sus dos extremos, siendo determinada durante los años 1822 y 1823. En primer lugar, se obtuvo el valor de $0^{\text{h}} 59^{\text{m}} 56^{\text{s}} .248$, para la correspondiente a las estaciones situadas en Marennes y Padua, resultado que fue comunicado a la Academia de Ciencias el 11 de junio de 1825. Seguidamente se dedujo la existente entre Padua y Fiume (actual Rijeka), cifrada en $10^{\text{m}} 13^{\text{s}} .536$, resultó que la amplitud del ángulo considerado fue de $1^{\text{h}} 2^{\text{m}} 9^{\text{s}} .784$ en unidades de tiempo o de $15^{\circ} 32' 26'' .760$, expresada en graduación sexagesimal. El método elegido fue el de las señales de fuego, producidas por una deflagración de pólvora, que deberían ser observadas simultáneamente desde los dos puntos, entre los que se deseara saber la diferencia de longitudes; sobre los cuales se determinaría la hora de la observación por métodos astronómicos. La red triangular que unió Marennes con Fiume, enlazada a la del paralelo citado, constó de 80 triángulos de primer orden, que fueron observados igualmente por los ingenieros geógrafos.



Triángulos de primer orden que enlazaron el Observatorio de Montceau con los vértices geodésicos principales del paralelo medio.

CONTREES où les arcs DES MÉRIDiens ont été mesurés.	NOMS des OBSERVATEURS	LATITUDES des EXTREMITÉS DES ARCS MESURÉS.	AMPLITUDES en DEGRÉS.	AMPLITUDES EN MÈTRES, corrigées de l'erreur due à l'arc passant par Fontainebleau.	Degré moyen des méridiens, en ayant égard à la correction due à l'arc passant par Fontainebleau.	Degré moyen du parallèle dédit de l'arc compris entre Marenes et Padoue, calculé d'ap. les bases de Bordeaux et du Tessin.	APLATISSEMENT TERRESTRE.	Degré moyen du parallèle dédit de l'arc compris entre Marenes et Fiume, calculé d'ap. les bases de Bordeaux et du Tessin.	APLATISSEMENT TERRESTRE.
En France..	Delambre. . . Méchain.....	Dunkerque.. 51° 2' 8' 5 Mont-Jouy.. 44. 24, 46, 58	9° 40' 24' 9	4075424= 5	444447=18	77873=82	$\frac{1}{269, 84}$	77906=87	$\frac{1}{244, 04}$
Dans d'autres parties de l'Europe.	Roy..... Delambre. . . Méchain..... Arago..... Biot.....	Greenwich... 51. 28. 40, 00 Formentera 38. 39. 56, 44	12. 48. 43, 89	4423835, 2	444434, 2	77873, 82	$\frac{1}{274, 39}$	77906, 00	$\frac{1}{247}$
Au Péron. . .	Bonguer..... La Condamine	Cotchesqui.. 0. 2. 31, 00 B Tarqui..... 3. 4. 32, 00 A	3. 7. 3, 00	344739, 80	440582, 10	77873, 82	$\frac{1}{294, 49}$	77906, 87	$\frac{1}{277, 50}$
Dans l'Inde	Lambton...	Runnæ..... 8. 9. 38, 39 B Darungedda 18. 3. 23, 64 B	9. 53. 45, 25	4094769 53	440628, 60	77873, 82	$\frac{1}{286, 84}$	77906 87	$\frac{1}{272, 72}$
Moyenne des aplatissemens terrestres.....							$\frac{1}{280, 55}$	$\frac{1}{259, 56}$	

De entre todos paralelos que atravesaban la red, el que cortaba a mayor número de triángulos fue el de 45° 43' 12'', aunque el de 45° produciría análogos valores en el presente contexto; de ahí que fuese denominado paralelo medio (entre el ecuador y el polo Norte). El resultado final fue que el desarrollo de un grado de paralelo equivalía a 77905. 87 m, de manera que combinando ese resultado con los de los arcos de meridiano

medidos en otras latitudes se obtendría un aplastamiento medio de 1/259.56. Los aplastamientos deducidos de los arcos de meridiano conocidos y combinados con el arco de paralelo medido en 1827, de Marenes hasta Fiume, difieren sensiblemente de los calculados, en 1825, a partir del desarrollo del mismo arco, pero limitado entonces provisionalmente a Padua; la causa pudo estribar en una amplitud astronómica errónea.



Círculo repetidor de Gambey

Los instrumentos empleados fueron dos círculos repetidores de catorce pulgadas de diámetro, contruidos por el francés Henry Prudent Gambey (1787-1847), dos péndulos, un reloj marino que batía medios segundos, cuatro cronómetros, un teodolito fabricado por el ingeniero alemán Georg Friedrich von Reichenbach (1772-1826), barómetros y termómetros de Jean-Nicolas Fortin (1750-1831); así como un anteojo meridiano de cuatro pies y un gran círculo repetidor de 18 pulgadas, con los que verificar la orientación de la triangulación y la latitud de los extremos del arco. Toda la información referida al arco de paralelo ha sido extraída de la obra publicada por J.B.M. Brousseau: *Mesure d'un arc du parallèle moyen entre le pole et l'équateur*. Limoges (1839).



Teodolito de Reichenbach

Giordano Bruno (1548-1600)

Un dominico extremadamente culto que fue víctima de la cerrazón y ruindad de la mal llamada Santa Inquisición, que lo condenó a morir en la hoguera, contando con la connivencia del papa Clemente VIII (1536-1605). Ingresó en la orden en el año 1565, siendo ordenado sacerdote en 1572. Su marcado espíritu crítico hizo que no tardara en ser acusado de herejía, viéndose obligado a huir de Roma en 1576 (incluso llegó a ser acusado falsamente de asesinato). Tras vagar por el Norte de Italia, abandonó la orden y se trasladó a Ginebra, donde se hizo calvinista; pero también tuvo que huir de la ciudad tras haber sido excomulgado y encarcelado. En Francia intentó, sin éxito, volver a la iglesia católica; acabando residiendo en París (1581) al frente de una cátedra de filosofía. El rey Enrique III(1551-1589) llegó a nombrarlo conferenciante real al año siguiente, dándole incluso una carta de presentación con vistas a su viaje a Inglaterra. En el verano de 1583 dio en Oxford una serie de conferencias sobre la novedosa teoría heliocéntrica de Copérnico, pero sus comentarios le parecieron improcedentes a las autoridades académicas y tuvo que regresar a Londres.



LA CENA DE le Ceneri.

DESCRITTA IN
CINQUE DIALOGI, PER
quattro interlocutori, Con tre con-
siderationi, Circa doi
suggettj.

Jordanij Brunij Nolani

All' unico refugio de le Muse. l' Illustriss. Michel
di Castelnono. Sig. di Mauuissier, Concessalto, et
di Ienuilla, Cavalier del ordine del Re Christianiss. et
Consigliar nel suo priuato consiglio. Capitano di
50. huomini d'arme, Gouvernator et Capitano di
S. Desiderio. et Ambasciator alla fere-
niss. Regina d' In-
ghilterra.

p. Balladinos.

L' vniuersale intentione e' dechia-
rata nel procmio.

1584.



En 1584, decidió dar forma a sus continuas discusiones y escribir seis diálogos: tres cosmológicos y tres moralistas. En su *Cena de le Ceneri*, fue más allá del modelo preconizado por Copérnico, ya que no solo abogó por una Tierra en movimiento, sino que también defendió un universo infinito que contiene otras estrellas como el Sol y otros mundos como la Tierra. Bruno fue un adelantado a su tiempo, llegando a asegurar que el Sol era una estrella como las demás y que desde una dada se vería como nosotros la vemos a ella. Por supuesto que era consciente que sus ideas contradecían los textos sagrados, argumentando que estos solo se referían a la

moral y que el cristianismo era una religión que se sostenía por la fe y no a través del razonamiento filosófico o científico. En otro de sus escritos: *De l'infinito universo e mondi* (1584), desarrolló su teoría cosmológica criticando sistemáticamente la física aristotélica; también formuló su visión averroísta de la relación entre filosofía y religión, según la cual la segunda se considera como un medio para instruir y gobernar a los ignorantes, mientras que la primera era la disciplina de los elegidos, que son capaces de comportarse y gobernar a los demás.

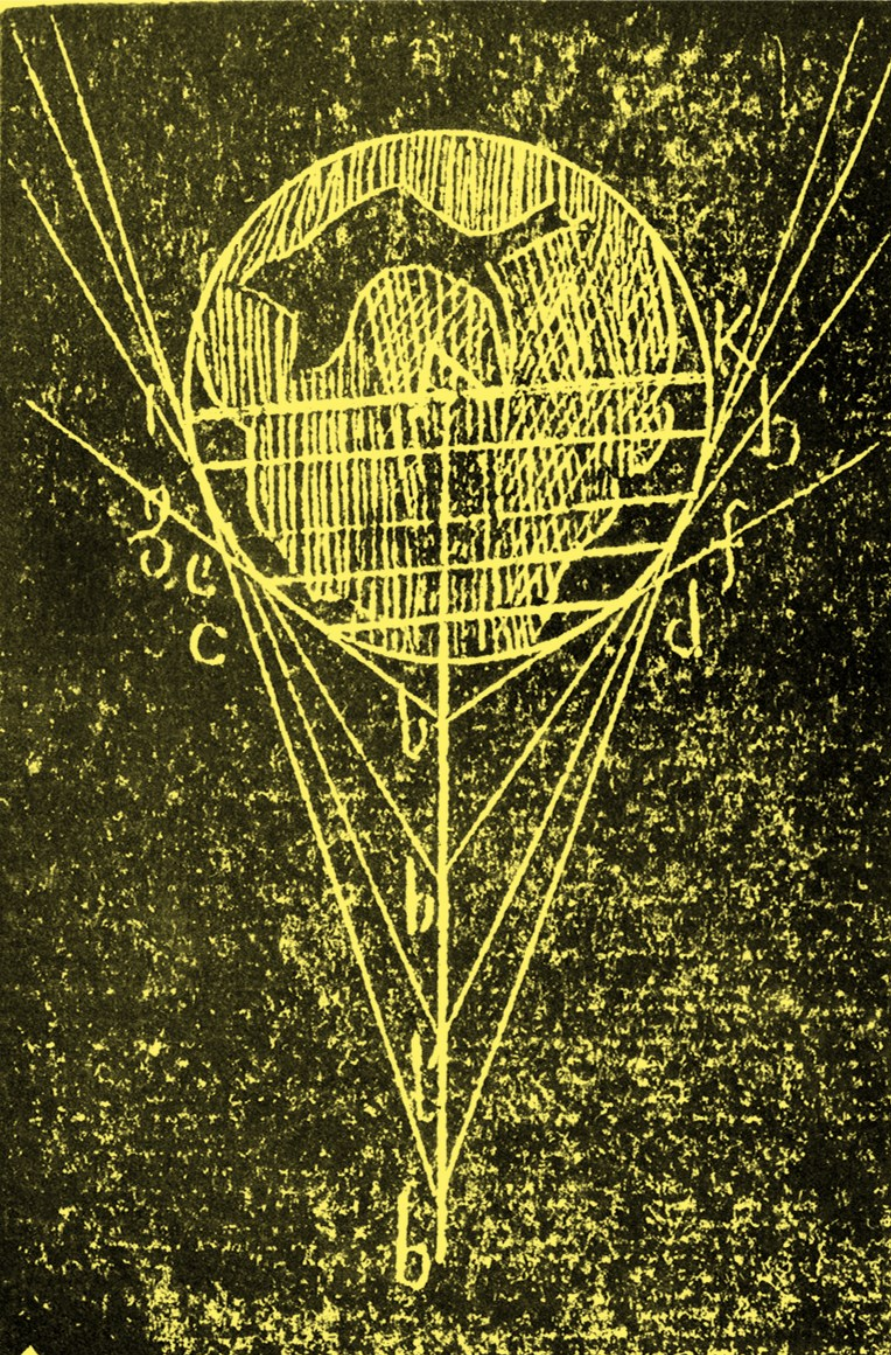
GIORDA- NO BRVNO Nolano.

De l' infinito vniuerso
et *Mondi*.

All' illustrissimo Signor di
Mauuissiero.



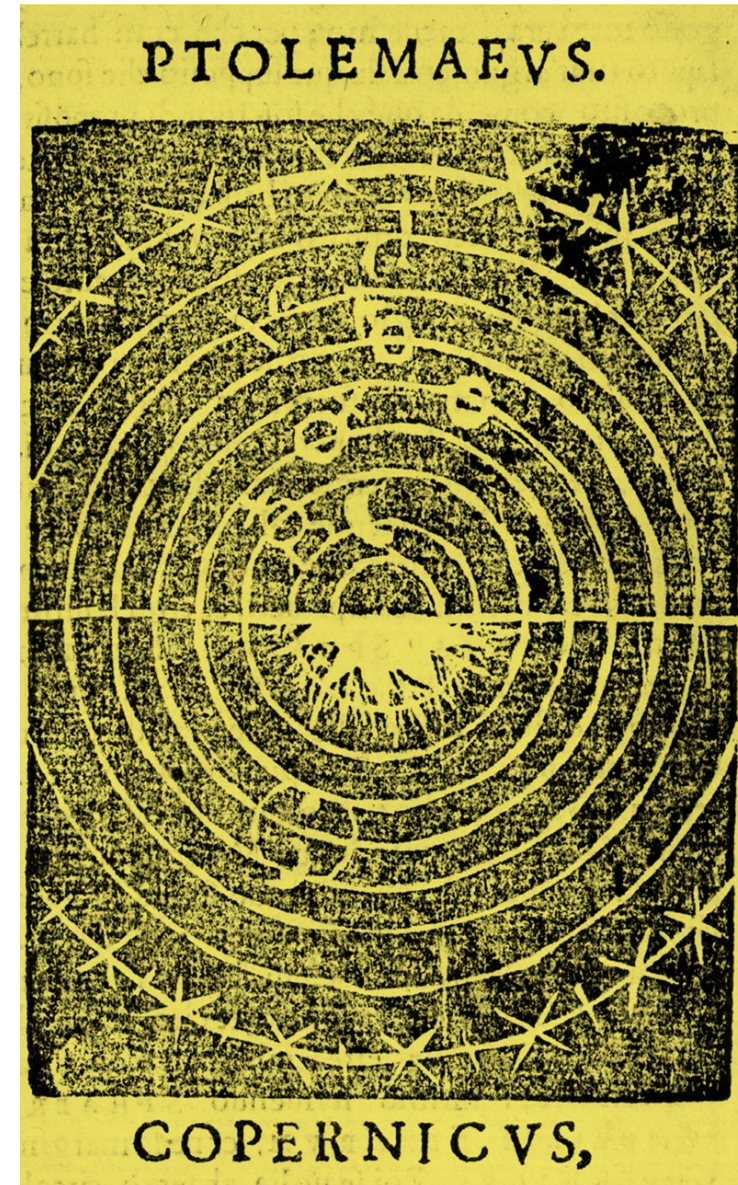
Stampato in Venetia.
Anno, M. D. LXXXIII.



Cena de las Cenizas. La figura de la Tierra. Diálogo III

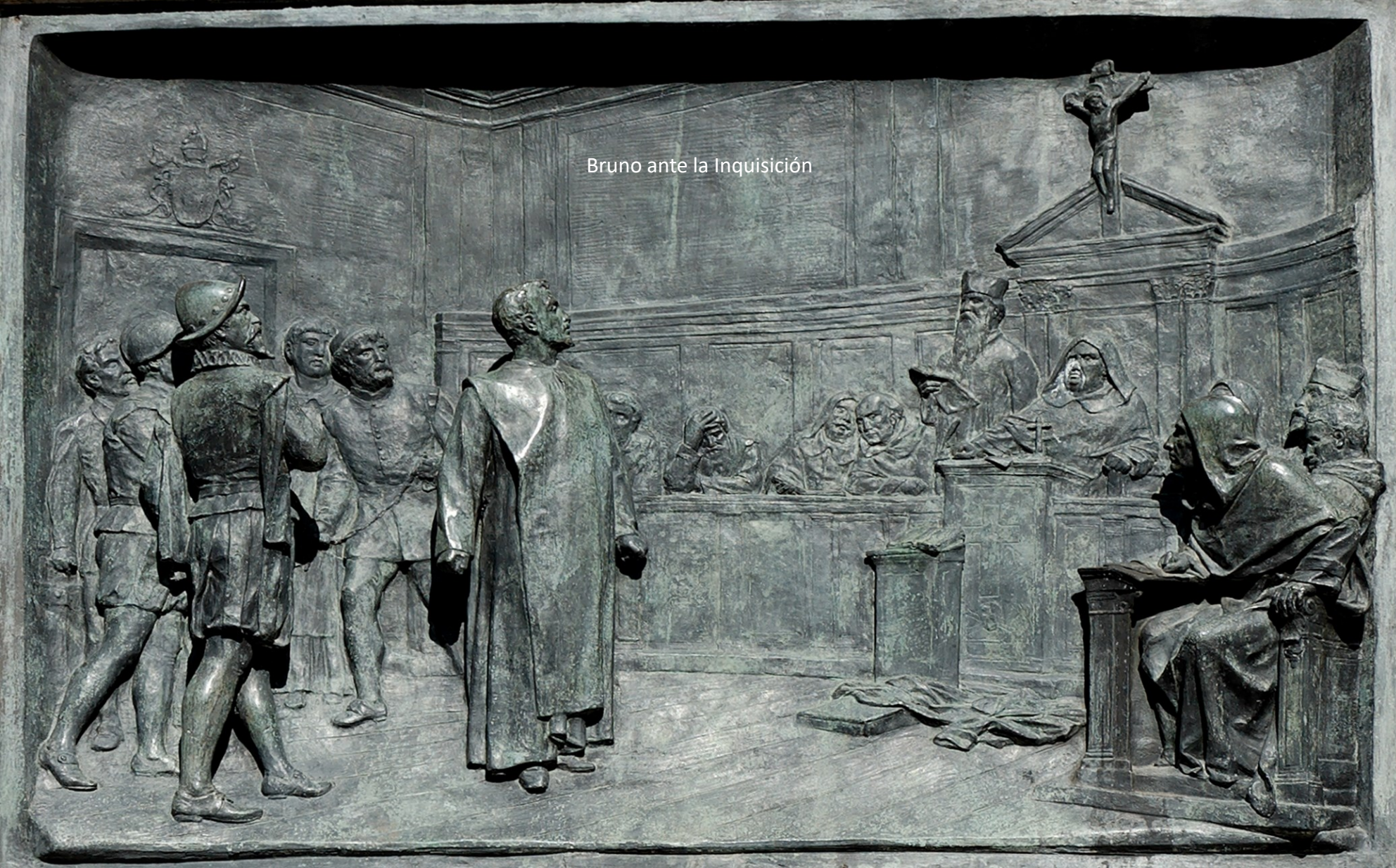
Deseoso de volver a Italia, en agosto de 1591 aceptó la invitación del veneciano Giovanni Francesco Mocenigo (1558-1607), pensando también en ocupar una cátedra de matemáticas que estaba vacante en la Universidad de Padua; de hecho se trasladó allí de inmediato e inició un curso privado de conferencias para estudiantes alemanes, escribiendo *Praelectiones geometricae* y *Ars deformationum*. Convencido de que no podría ocuparla se trasladó a Venecia y participó en las discusiones que se mantenían en los círculos más influyentes de la ciudad. Al parecer, su decisión de volver a Frankfurt a publicar una nueva obra, molestó tanto a Mocenigo que acabó denunciándolo por hereje a la Inquisición veneciana; cuando el desarrollo del juicio parecía favorecerle, la Inquisición de Roma exigió su extradición y el 27 de enero de 1593 ya fue encarcelado en dicha ciudad.

Cena de las Cenizas. Modelos de Tolomeo y de Copérnico. Diálogo IV



COPERNICVS,

ya fue encarcelado en dicha ciudad.



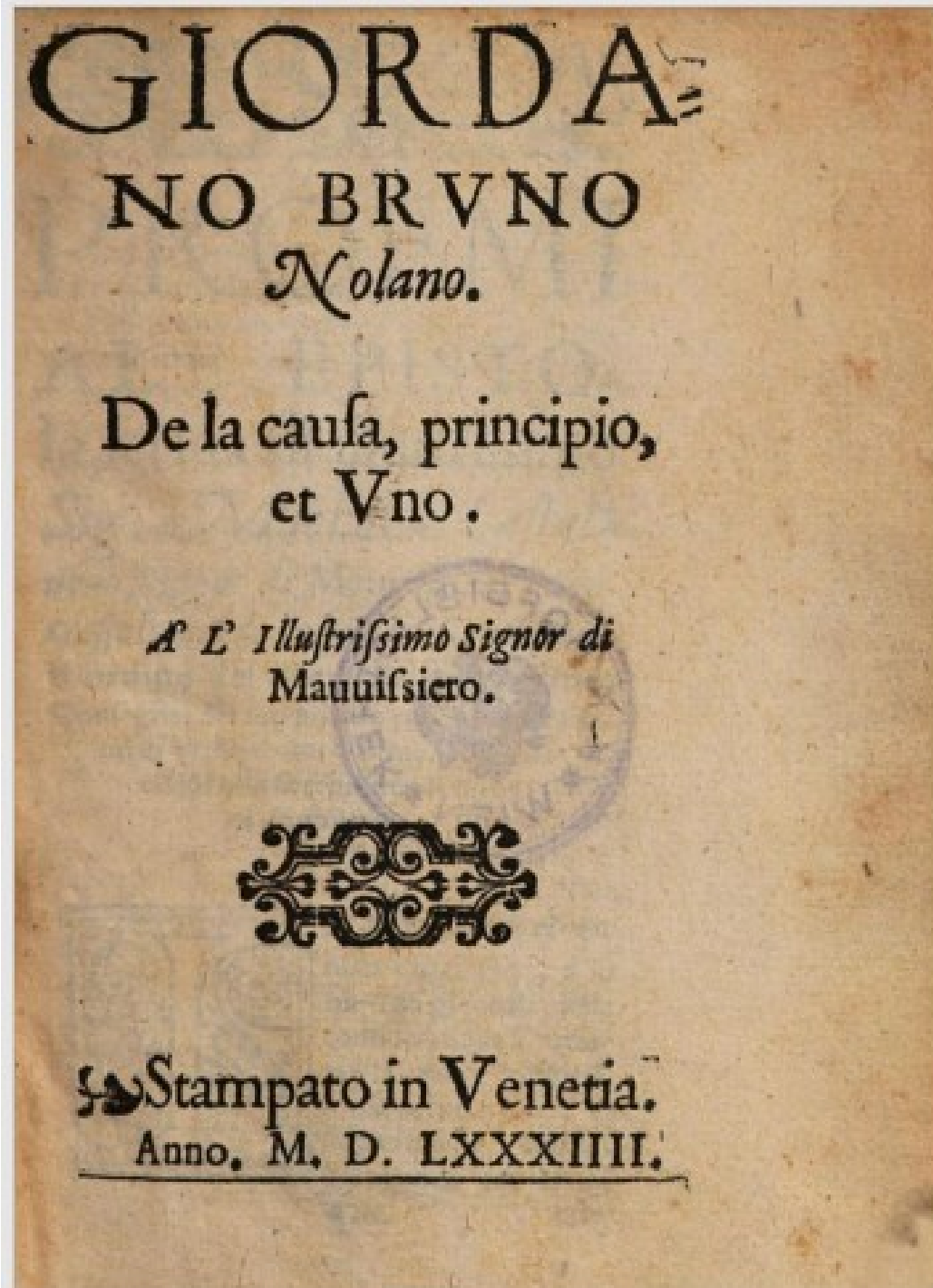
Bruno ante la Inquisición

Al iniciarse el juicio, G. Bruno pretendió defenderse haciendo ver que sus opiniones sobre la física y la cosmología no eran en absoluto de índole teológica; todo lo contrario de lo que pensaba el tribunal inquisidor, el cual exigió que se retractara. Bruno respondió que no sabía a que cuestiones concretas se referían y que incluso creía que sus puntos de vista estaban de acuerdo

con el cristianismo. Todo fue en vano, el Papa exigió que fuese condenado por hereje y así lo hizo el tribunal. No mucho después, el 17 de febrero del año 1600, lo llevaron al Campo de Fiori, amordazado, y lo quemaron vivo.

No es nada fácil precisar el pensamiento filosófico de G. Bruno, aunque es incuestionable su perspicacia. En su obra *De la causa, principio e uno* (1584), manifestaba:

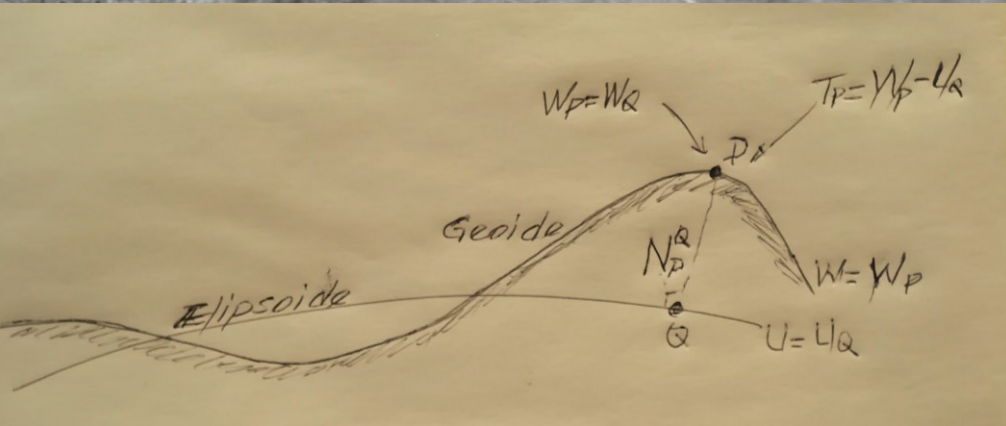
«Este globo entero, esta estrella, no estando sujeta a la muerte, y siendo imposible la disolución y aniquilación en ninguna parte de la Naturaleza, de vez en cuando se renueva cambiando y alterando todas sus partes. No hay arriba o abajo absolutos, como enseñó Aristóteles; ninguna posición es absoluta en el espacio, sino que la posición de un cuerpo es relativa a la de otros cuerpos. En todas partes hay un cambio relativo incesante de posición en todo el universo, y el observador está siempre en el centro de las cosas».





Ernst Heinrich Bruns (1848-1919)

Ástrónomo, geodesta y excelente matemático alemán, muy reconocido en el ámbito de la geodesia física por haber deducido la fórmula que lleva su nombre: $N = T / \gamma$, en donde N es la separación entre el geoide y el elipsoide, T el potencial perturbador (diferencia entre el real o gravitatorio- W -, asociado al geoide, y el normal- U - engendrado por el elipsoide), y γ la gravedad normal, propia del campo gravitatorio supuestamente creado por dicho elipsoide. Tras estudiar en la Universidad de Berlín, leyó su tesis doctoral en el año 1871: *De proprietate quadam Functionis potentialis corporum homogeneorum* (Sobre las propiedades de una determinada función potencial de los cuerpos homogéneos). Acto seguido fue contratado, como astrónomo calculador, en el observatorio de Pulkovo, cerca de San Petersburgo; coincidiendo con Marie Wilhelmina Schleussner (1850-1931), calculadora como él, con la que acabó contrayendo matrimonio. En 1873 se trasladó a Dorpat (Tartu, Estonia), para ejercer como astrónomo observador en su antiguo Observatorio; allí permaneció durante tres años, hasta que fue nombrado profesor de matemáticas en la Universidad de Berlín.



En 1882 se le concedió la cátedra de astronomía en la facultad de Filosofía de Leipzig, convirtiéndose así en el director de su observatorio. Durante su desempeño, no abandonó sus estudios teóricos sobre materias tan complejas como el llamado problema de los tres cuerpos (Sistema Tierra-Luna-Sol), en el que no se podía ignorar ninguna de las fuerzas gravitatorias, demostrando en 1887 que no podía haber cantidades conservadas, expresables como funciones algebraicas de las posiciones y velocidades de los mismos; a él se debe el teorema siguiente:

«Las 10 integrales clásicas del problema de los tres cuerpos (tres para la posición del centro de masas, tres para la velocidad del centro de masas, tres para el momento angular y una para la energía) son las únicas integrales algebraicamente independientes de este sistema de 18 grados de libertad». Todas esas cuestiones fueron abordadas por H. Bruns en su obra: *Über die Integrale des Vielkörperproblems* (Sobre las integrales del problema de muchos cuerpos). Unos años más tarde, el francés Poincaré añadió que ninguna solución a ese problema se podía dar mediante expresiones algebraicas e integrales.

Observatorio de Leipzig hacia 1909



Otra de las aportaciones científicas más reseñables de E.H. Bruns, se refirió a la geodesia y tuvo lugar durante su estancia en Berlín. En el año 1878, el Instituto Prusiano de Geodesia le publicó el artículo *Die Figur der Erde: Ein Beitrag zur europäischen Gradmessung* (La figura de la Tierra: una contribución a la medida del grado en Europa); un folleto de tan solo 49 páginas que sintetizó magistralmente la cuestión que abordaba. Ocho fueron los apartados que contempló, a saber: 1) *Die Definition der mathematischen Figure der Erde* (La definición de la figura matemática de la Tierra), 2) *Allgemeine eigensdiaten der geoide* (Características generales del geoide), 3) *Die Lothstörungen* (Las ondulaciones del geoide), 4) *Die möglichen ergebnisse geodätischer operationen* (Los posibles resultados de las operaciones geodésicas), 5) *Die astronomischen and trigonometrischen messungen* (Las medidas astronómicas y trigonométricas), 6) *Die geometrische nivellement* (La nivelación geométrica), 7) *Die Schwermessungen* (Las medidas de la gravedad), 8) *Die strenge lösung der Aufgabe* (La solución rigurosa del problema).

PUBLICATION
DES KÖNIGL. PREUSSISCHEN GEODÄTISCHEN INSTITUTES.

.....

DIE
FIGUR DER ERDE.

—

EIN BEITRAG ZUR EUROPÄISCHEN GRADMESSUNG

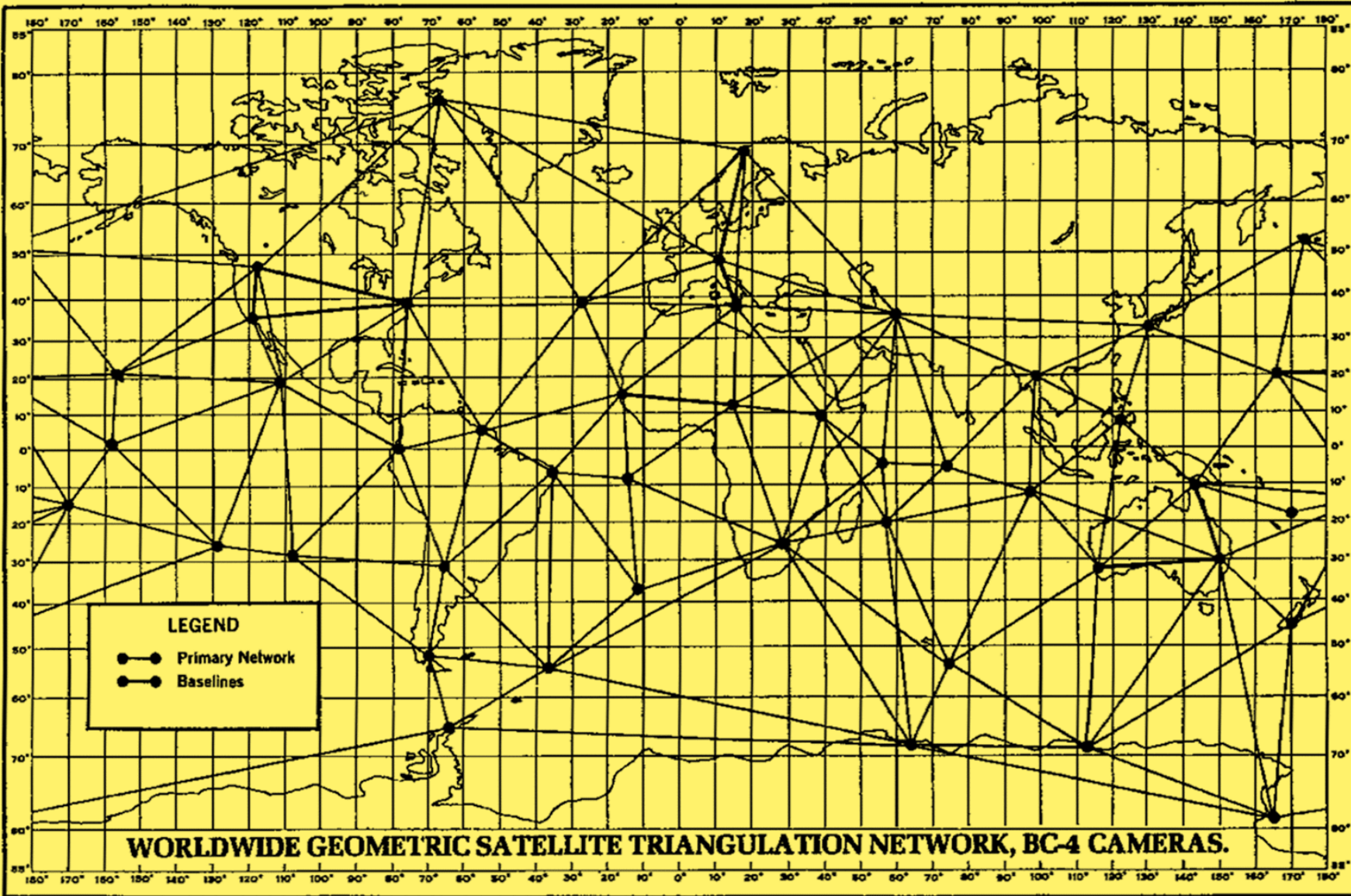
VON
D^r. HEINRICH BRUNS

A. O. PROFESSOR DER MATHEMATIK AN DER UNIVERSITÄT BERLIN.

⊗
BERLIN,

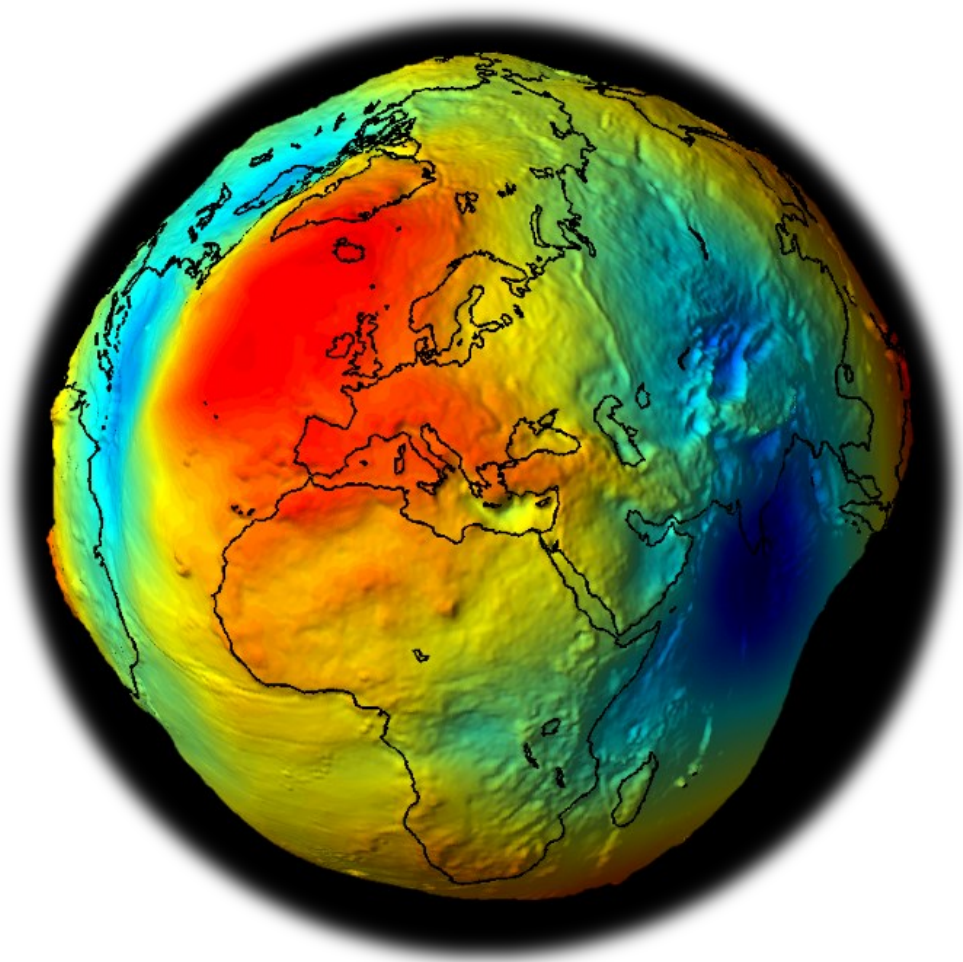
DRUCK UND VERLAG VON P. STANKIEWICZ' BUCHDRUCKEREL.

1878.



Bruns pretendió representar el modelo geométrico de la tierra mediante un poliedro de carácter global, de manera que el potencial gravitatorio en cada uno de sus vértices proporcionase la información altimétrica pertinente. Una posibilidad que consideró factible en teoría, usando para ello todas las medidas técnicas de la época, a saber: I) coordenadas geográficas de cada vértice y acimutes de los lados que en él concurren, II) ángulos acimutales de tales lados; III) ángulos horizontales formados por dos de esos lados, IV) nivelación geodésica y

V) gravimetría. Para él, las mediciones de los cinco grupos eran condición necesaria y suficiente para determinar la figura de la Tierra, representada por el poliedro citado, en el que las altitudes de cada uno de sus vértices vendrían dadas implícitamente por el potencial de la gravedad y del que se conocería su orientación referida al eje de rotación de la Tierra.



Sin embargo, para su implantación definitiva tendrían que superarse dos obstáculos importantes: en primer lugar, el temible efecto de la refracción atmosférica sobre las distancias cenitales y en segundo, la falta de datos geodésicos relativos a las superficies oceánicas (el doble de las continentales). Tales limitaciones desaparecieron a partir del lanzamiento del satélite ruso Sputnik I, el 4 de octubre de 1957). Setenta años después puede afirmarse que se conoce la figura de la Tierra con incertidumbres centimétricas; gracias a la geodesia espacial (o por satélites) son accesibles tanto las regiones continentales como las oceánicas.



Philippe Buache (1700-1773)

Delineante extraordinario nacido en la ciudad francesa de Champagne, que obtuvo su primer premio en el año 1721, cuando se lo concedió la real Academia de Arquitectura. Fue por entonces, cuando conoció a su futuro suegro, el gran geógrafo Guillaume Delisle (1675-1726), que acabaría involucrándolo de lleno en su mundo al hacer que no dejase de estudiar cartografía y geografía. Tanto destacó en sus tareas que acabó proponiéndole trasladarse a Rusia para colaborar con su hermano Joseph Nicolas Delisle en los trabajos que estaba llevando a cabo, al amparo de la Academia de San Petersburgo. Buache declinó la oferta y decidió continuar en Francia, influenciado probablemente por la hija de su mentor, con la que acabó contrayendo matrimonio en 1726. Su carrera profesional fue exitosa, pues en 1729 se convirtió en el primer geógrafo del Rey Luis XV (1710-1774); el cual le creó una plaza de geógrafo en la Academia de Ciencias (1730). Aunque tras el fallecimiento del suegro, no dejó de conservar y completar su nutrida cartoteca, tampoco descuidó su interés permanente por la geografía y por el progreso de la misma; vaciando en sus mapas todos los descubrimientos que venían realizándose.

COUPE DE LA VILLE DE PARIS PRISE DU SEPTENTRION AU MIDY,

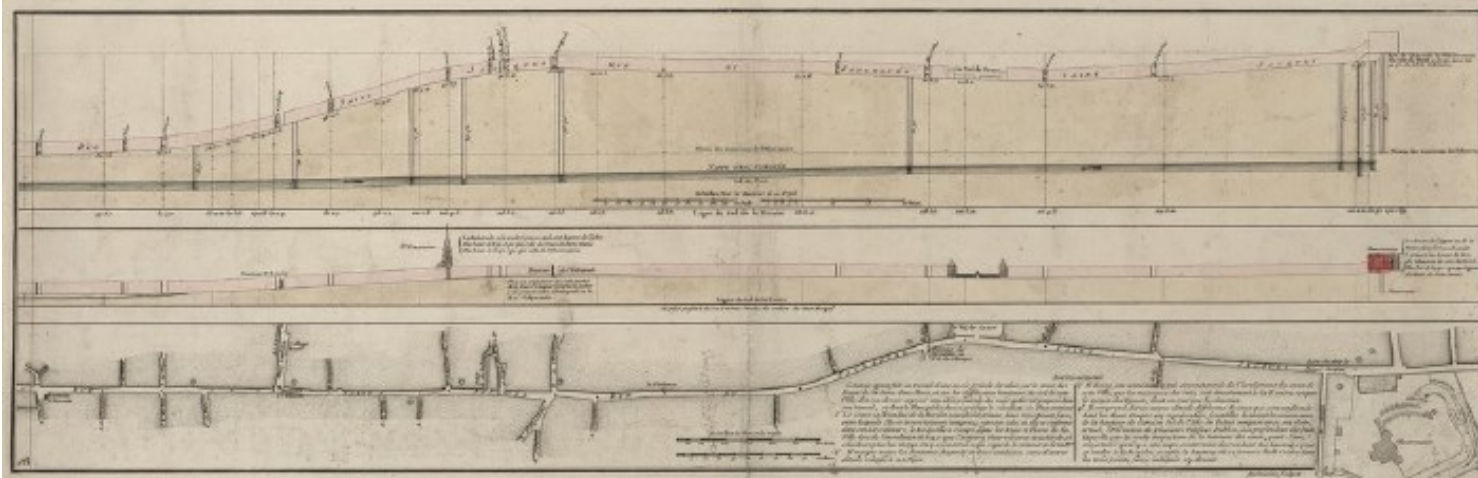
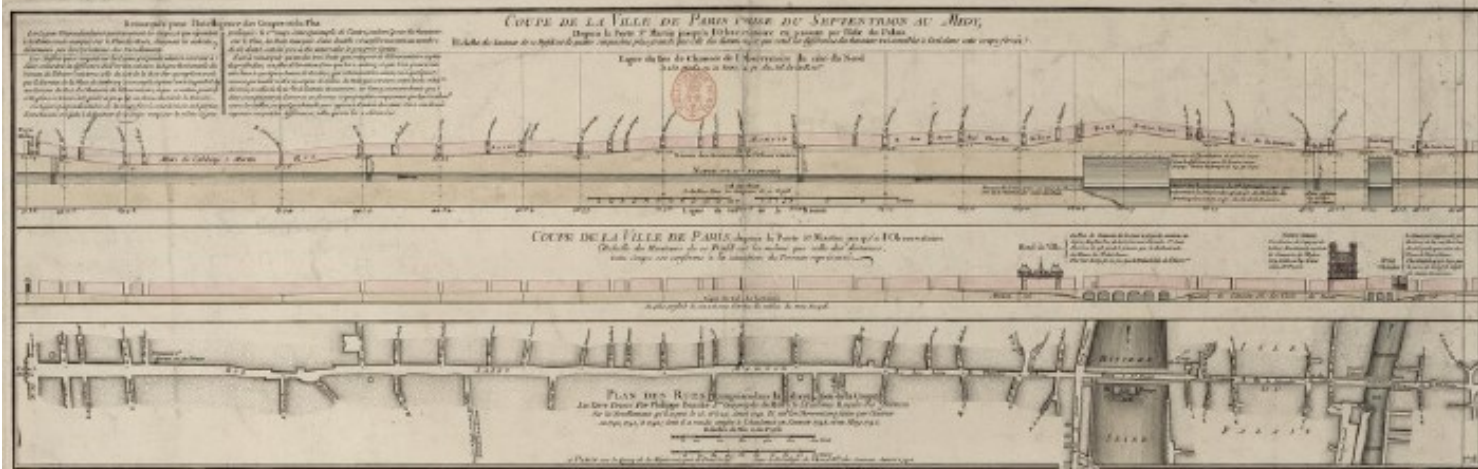
Depuis la Porte S^t Martin jusqu'à l'Observatoire en passant par l'Isle du Palais.

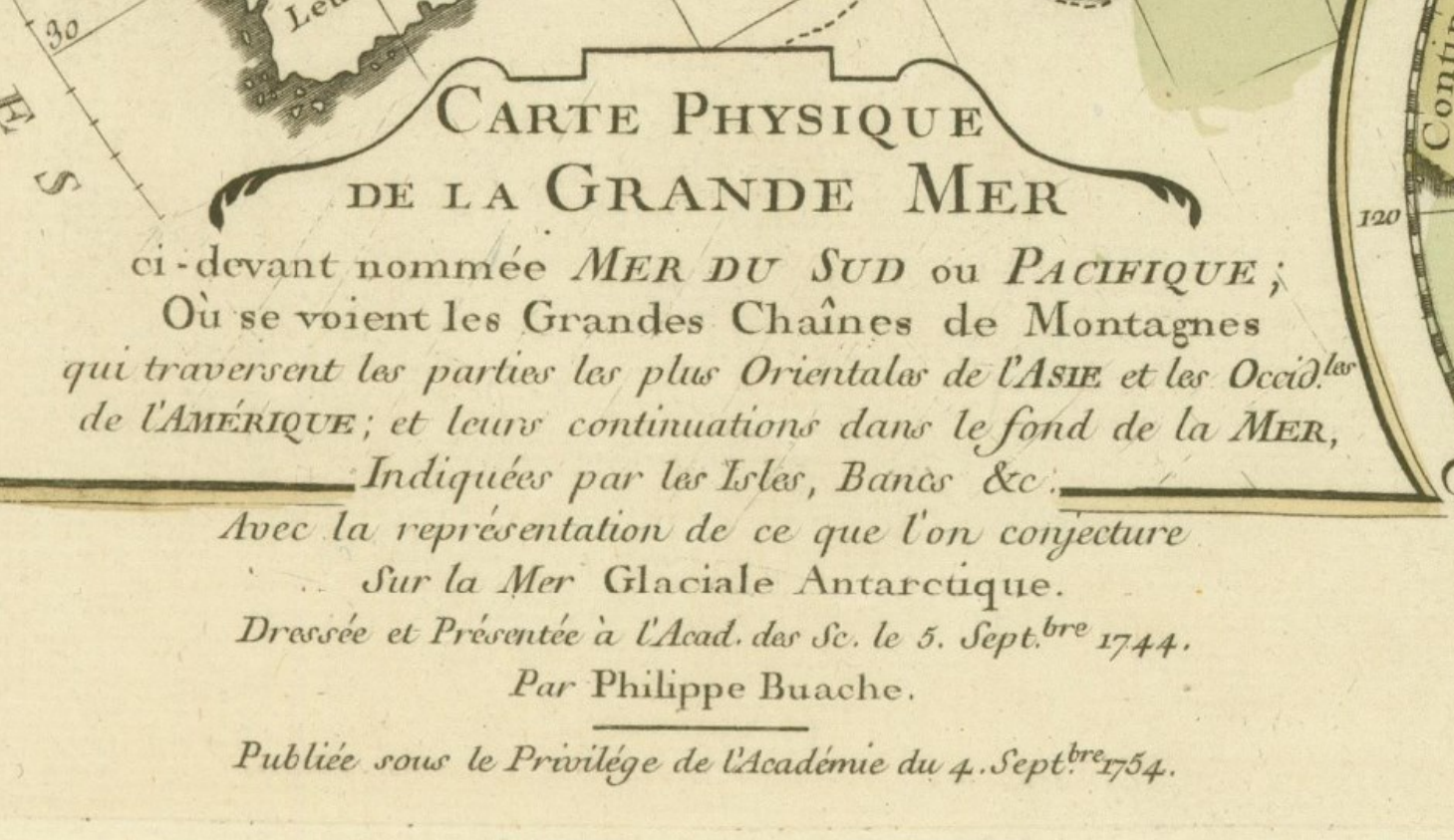
L'Échelle des hauteurs de ce Profil est de quatre cinquième plus grande que celle des distances; ce qui rend les différences des hauteurs très sensibles à l'œil dans cette coupe forcée.

Ligne du Rez de Chaussée de l'Observatoire du côté du Nord

à 130. pieds, ou 21. toise, 4. pi. du Sol de la Riv^{re}

En el año 1740, con motivo de unas inundaciones que hubo en París, hizo patente su intención de representar el relieve terrestre mediante curvas de nivel: recorriendo las calles de la capital y anotando cuidadosamente la altura alcanzada por el agua, para así poder trazar las isolíneas correspondientes. El resultado de sus levantamientos, lo dio a conocer, a comienzos de 1741, en un plano de París, señalando no solo la extensión del terreno cubierto por el agua, sino también los límites de aquellos en que se habían anegado los sótanos; proporcionando además datos complementarios a tener en cuenta cuando se levantasen nuevos edificios.





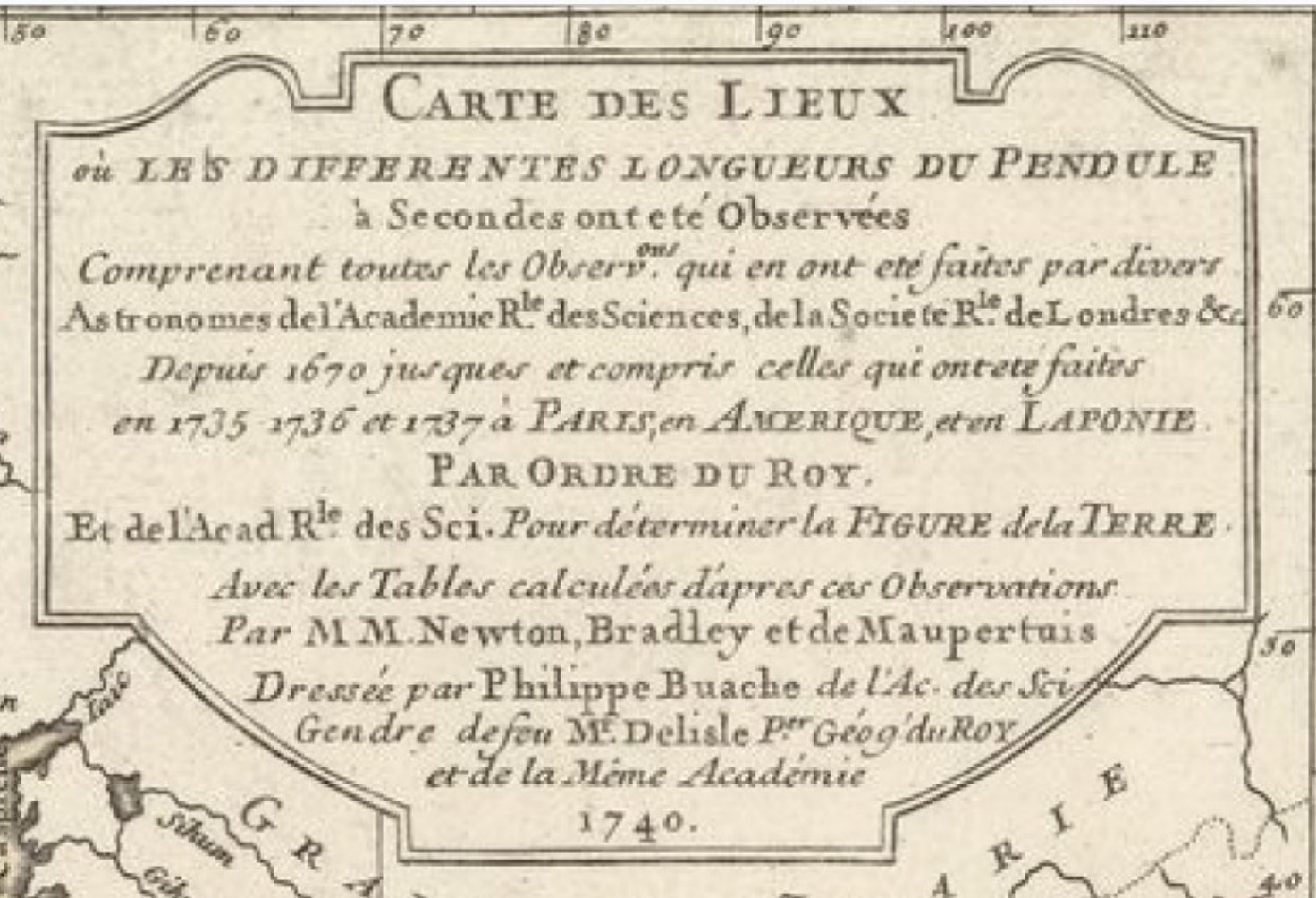
En los años siguientes extrapola su atención al globo terrestre, actualizando los mapas de G. Delisle al incorporarles valores más exactos de las longitudes geográficas y las representaciones de cuencas hidrográficas, montaña, ríos y lagos. Su comprensión geomorfológica le permitió suponer las grandes montañas estaban asociadas a los grandes ríos, y su creencia de que parecían alinearse entre sí; defendiendo la existencia de cadenas montañosas que discurrirían según las direcciones cardinales principales: de Este a Oeste, o de un Polo a otro. Así lo defendió, por

ejemplo, en dos de sus mapas publicados a partir de 1744: I) *Carte physique de la Grande Mer; ci devant nommée Mer du Sud ou Pacifique; où se voient les grandes chaînes de montagnes qui traversent les parties les plus Orientales de l'Asie et les Occid^{les} de l'Amerique; et leurs continuations dans le fond de la Mer, indiqués par les Isles, Bancs, &* y II) *Carte Physique ou geographique naturelle de la France divisée par chaînes des montaignes et aussi par terrains de fleuves et rivières* (presentada en 1744 y publicado en 1770). Ocho años más tarde, sistematizó su teoría sobre el relieve terrestre e hizo público su primera explicación sobre la división natural del espacio terrestre: práctica continuidad de todas las cadenas montañosas que serpentean los mares y forman el armazón (*la charpente du Globe terrestre*); las islas representan las cumbres de las cadenas submarinas, las divisorias de aguas las consideraba también «*chaînes de revers*» que se conectaban a las principales y separan los lechos de los ríos.

En el año 1752 publicó la síntesis de su pensamiento al respecto: *Essai de Géographie physique, où l'on propose des vues générales sur l'espèce de Charpente du Globe, composée des chaînes de montagnes qui traversent les mers comme les terres; avec quelques considérations particulières sur les différens bassins de la mer, et sur sa configuration intérieure*; el cual se integró en la *Histoire de l'Academie Royal des Sciences* (Año 1752, pp.399-416)

La memoria de Buache la cerró un mapa de incuestionable interés para la cartografía histórica, en tanto que en él se representó el relieve submarino por medio de curvas de nivel, siendo esa una de las primeras ocasiones en que se utilizaron tales isolíneas para simular el relieve. La versión española de su título es la siguiente: *Carta física y perfil del Canal de la Mancha y de una parte del mar del Norte, donde se ve el estado actual de las profundidades del mar. Con los territorios de Francia e Inglaterra, cuyas aguas desembocan directamente en estos mares, desde diferentes cadenas montañosas*. Al concluirlo, el autor expresó su convencimiento de que en tiempos muy pretéritos Inglaterra debió ser un istmo. En ese mismo año, la Academia lo acogió en su seno.



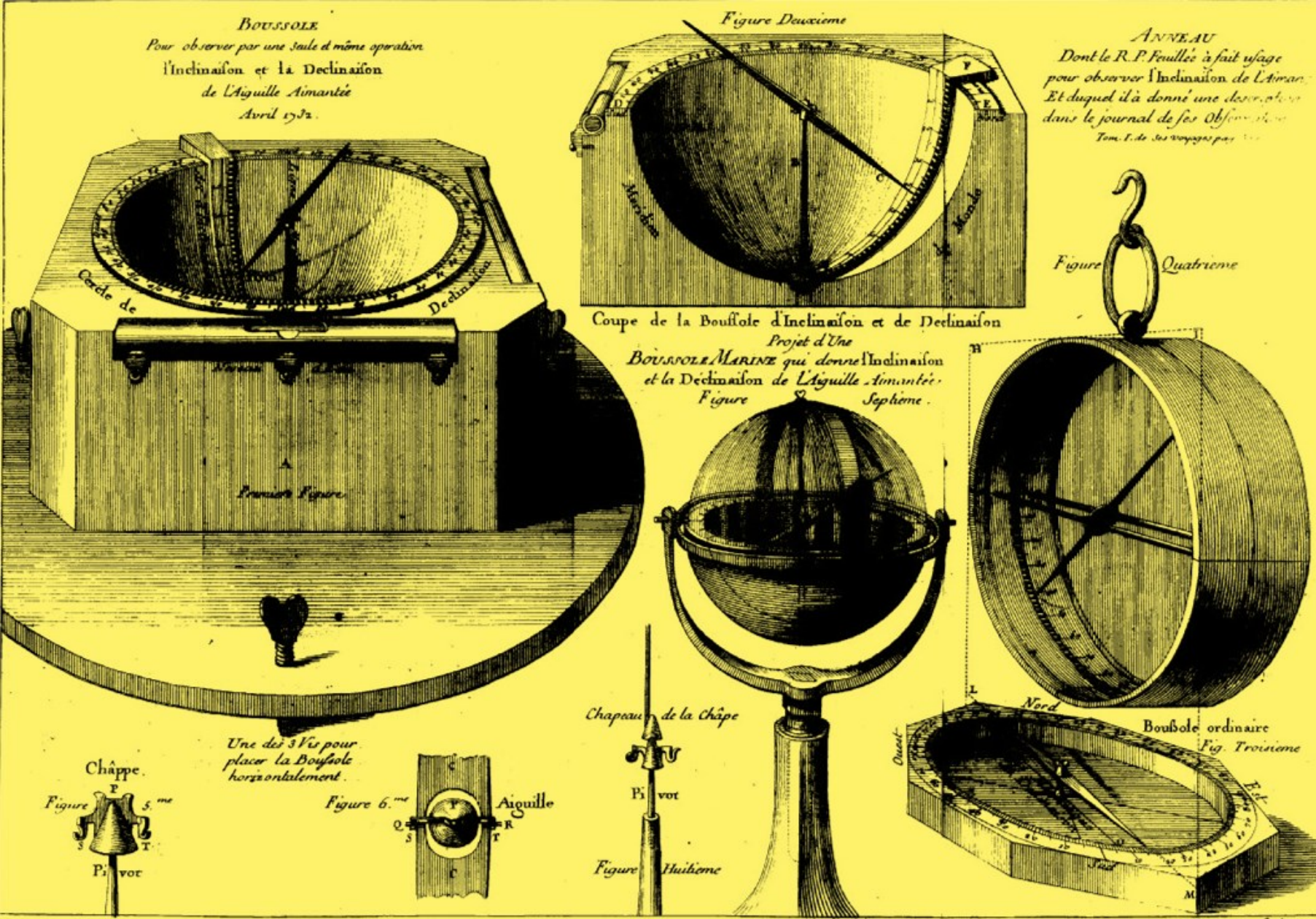


En la numerosa producción cartográfica de Philippe Buache hay un mapamundi singular que revela su interés por la figura de la Tierra, la mayor curiosidad científica de su siglo. Así lo atestigua su extenso título: *Carte des lieux où les différentes longueurs du pendule à secondes ont été observées. Comprenant toutes les observ(ati)ons qui en ont été faites par divers astronomes de l'Academie Rle. des Sciences, de la Societe Rle. de Londres &c. Depuis 1670 jusques et compris celles qui ont été faites en 1735, 1736 et 1737 a Paris, en Amerique, et en Laponie. Par ordre du Roy, et de l'Acad. Rle. des Sci., pour déterminer la figure de la Terre. Avec les tables calculées d'apres ces observations par MM Newton,*

Bradley et de Maupertuis. Dressée par Philippe Buache de l'Ac. des Sci. Gendre deseu Mr. Delisle, P(remi)er Géog. du Roy et de la même Académie, 1740; obsérvese que el autor hizo saber que era yerno de G. Delisle. El mapa aporta como información marginal dos grandes tablas, indicándose en la más occidental la secuencia de las medidas de la longitud del péndulo (expresadas en pulgadas y líneas), en el sentido decreciente de las latitudes (de Norte a Sur); comenzando con las realizadas en 1737, durante la expedición comandada por Maupertuis y finalizando con las practicadas, en 1677, por E. Halley en la Isla de Santa Helena.

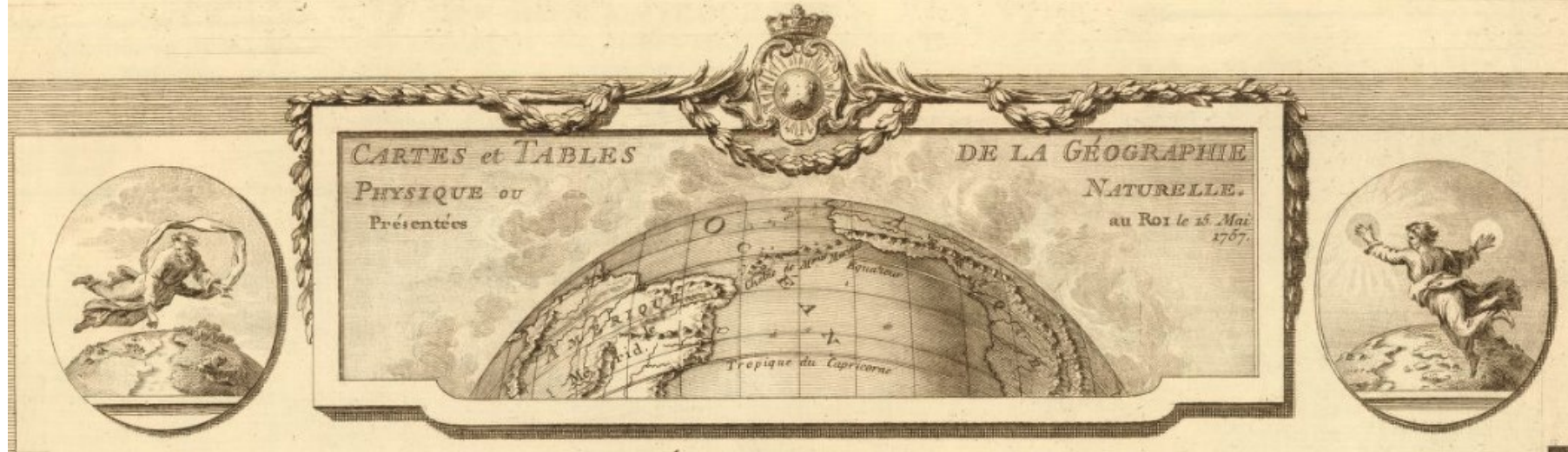
En el lado meridional se incluyó una segunda tabla que mostraba el aumento de la intensidad de la gravedad al desplazarse desde el Ecuador hacia los Polos; especificando los valores asignados por Newton, Bradley y Maupertuis, tanto a la longitud del péndulo como al desarrollo del grado a diferentes latitudes, en el sentido creciente de las mismas (desde el Ecuador a los Polos).





El interés de Buache por otras disciplinas alcanzó también a la geofísica, concretamente al magnetismo y a la sismología. En la Historia de la Academia de Ciencias, para el año 1732, (pp. 377-384), se incluyó el artículo siguiente: *Mémoire contenant la construction d'une nouvelle boussole, dont l'aiguille donne par une seule et même opération, l'inclinaison & la déclinaison de l'aimant, avec plus de précision, & plus de facilité que ne sont les instruments employés jusqu'à présent.* El cual se ilustró con las imágenes adjuntas, en las que aparecen distintos modelos

instrumentales con los que obtener tanto la declinación como la inclinación del campo magnético terrestre.



En febrero de 1756, la sociedad parisina instruida recordaba todavía la tragedia que había ocasionado el terremoto de Lisboa y se conmocionó de nuevo con el sismo que notó a las 7^h 30^m del día 18; posiblemente replica del ocurrido en aquella ciudad a finales del año anterior (1.XI.1755). Buache se adelantó a su tiempo y realizó una encuesta macrosísmica en diferentes barrios de París, cuyo resultado fue la memoria: *Remarques sur le tremblement de terre resenti à paris et à versailles, mercredi 18 février*; la cual fue leída durante la sesión de la Academia de Ciencias celebrada el sábado 26 del mismo mes. En su introducción refirió algunos sismos históricos notados en la capital francesa, aunque fueron extremadamente raros y leves, para proceder después a describir y comentar algunas de las respuestas que había recibido, se transcriben dos a título de ejemplo:

« Le mouvement que plusieurs personnes ont senti mercredi dernier a été peu considérable, mais il a été reconnu dès le même jour pour être une secousse de tremblement de terre parce que ces personnes ont toutes déclarées qu'à 7 heures 3/4 environ elles avaient senti un mouvement. Celles qui étaient dans leurs lits ont eu un balancement et celles qui étaient levées se sont senti remuées et enfin une personne à Versailles a cru avoir un espèce d'éblouissement qu'il attribuait à un travail de cabinet depuis 5 heures du matin».

« Le mouvement que plusieurs personnes ont senti mercredi dernier a été peu considérable, mais il a été reconnu dès le même jour pour être une secousse de tremblement de terre parce que ces personnes ont toutes déclarées qu'à 7 heures 3/4 environ elles avaient senti un mouvement. Celles qui étaient dans leurs lits ont eu un balancement et celles qui étaient levées se sont senti remuées et enfin une personne à Versailles a cru avoir un espèce d'éblouissement qu'il attribuait à un travail de cabinet depuis 5 heures du matin»

Georges Louis Leclerc (1707-1788)

El Conde de Buffon, como sería más conocido, fue el naturalista francés por excelencia, no en vano escribió su obra enciclopédica monumental *Histoire naturelle, générale et particulière, avec la description du Cabinet du Roi*; la cual constó de 44 volúmenes, de los cuales 8 lo fueron a título póstumo. Cursó sus estudios universitarios en el periodo 1723-1730, primero en Dijon (Derecho) y luego en Angers (Medicina, Botánica y Matemáticas). Durante todo ese tiempo mostró una especial habilidad para las matemáticas, baste decir que mientras residía en Dijon redescubrió la fórmula binomial de Newton, cuando solo tenía 20 años. Después de su precipitada salida de Angers, vivió en Roma (1732), hasta que decidió volver a Francia tras enterarse del fallecimiento de su madre. En 1734 ingresó en la Academia de Ciencias como auxiliar de Mecánica, aunque no dejara de aplicar sus conocimientos matemáticos a todas las áreas de la naturaleza: botánica, biología, química, geología, realizando a la vez investigaciones sobre los órganos reproductores de los animales.



G. L. C^{te} DE BUFFON

de l'Académie Française de celle des Sciences &c. &c.

Dedicé à Monsieur son Fils

Par son très humble et très obéissant Serviteur A. Pajon.

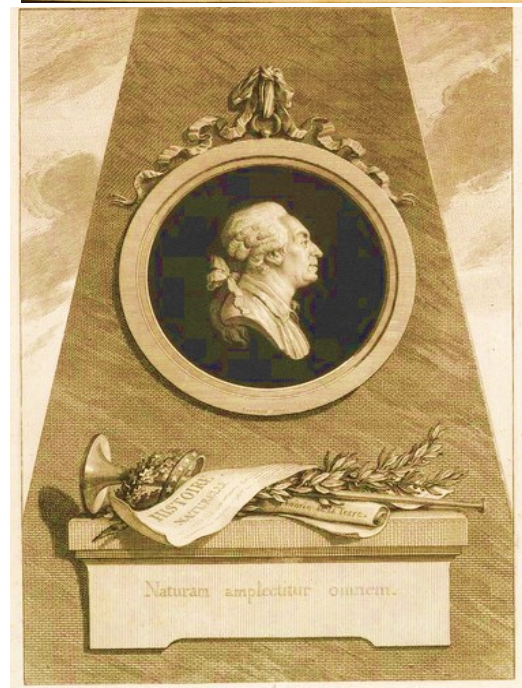
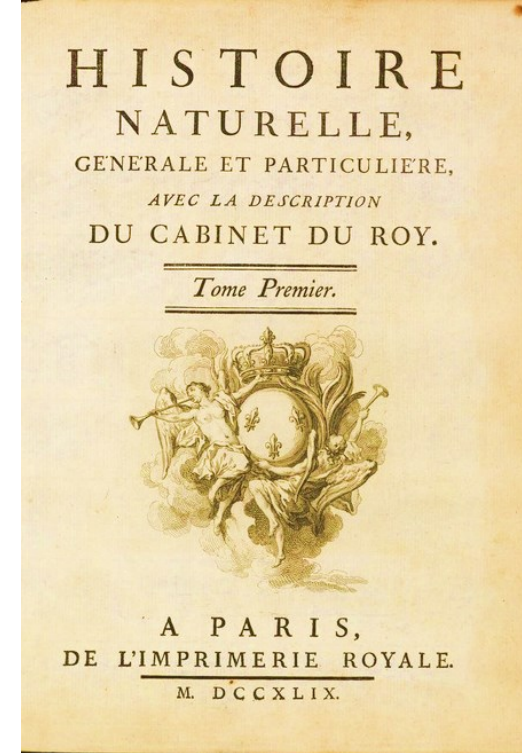
La nature pour lui prodiguant sa richesse

Dans son génie ainsi que dans ses traits

A mis la force et la noblesse

En la peignant il paye ses bienfaits. 1766 Deille.

Nombrado Intendente del Jardín del Rey en 1739, amplió el jardín y enriqueció constantemente sus colecciones. Fue entonces cuando comenzó a redactar su Historia Natural. En el año 1749 ya habían aparecido los tres primeros volúmenes, con tan buena acogida que la Academia Francesa le abrió sus puertas en 1753; como luego harían todas las grandes academias europeas. La obra se estructuró en grandes bloques: en los primeros tres volúmenes se abordó la forma de estudiar la historia natural, seguido de la Teoría de la Tierra, de la historia general de los animales y de la historia natural del hombre; seguidos de los doce volúmenes (1753-1767) dedicados a los cuadrúpedos, de los nueve (1770-1783) que trataban de los pájaros; cinco de los minerales (1783-1788) y de siete suplementarios (1774-1789). Buffon contó con un amplio equipo de colaboradores, los cuales debieron colaborar después en la preparación de los volúmenes póstumos (1788-1804), que publicaría el Conde de Lacépède (1756-1825), en los que se describieron los cuadrúpedos ovíparos, las serpientes, los peces y los cetáceos. A diferencia de Newton, Buffon creía que todo se desarrollaba a través de fenómenos naturales: «Para juzgar lo que ha sucedido, o incluso lo que sucederá, basta con examinar lo que está sucediendo. ... Acontecimientos que ocurren todos los días, movimientos que se suceden y se repiten sin interrupción, operaciones constantes y constantemente reiteradas, estas son nuestras causas y nuestras razones». Aunque sus teorías sobre la reproducción no fuesen acertadas, solo se basaban en criterios científicos, argumentando que existían las especies, pero no las familias; para él la especie humana solo era una más del reino animal, a la que habría que estudiar como a todas las demás.

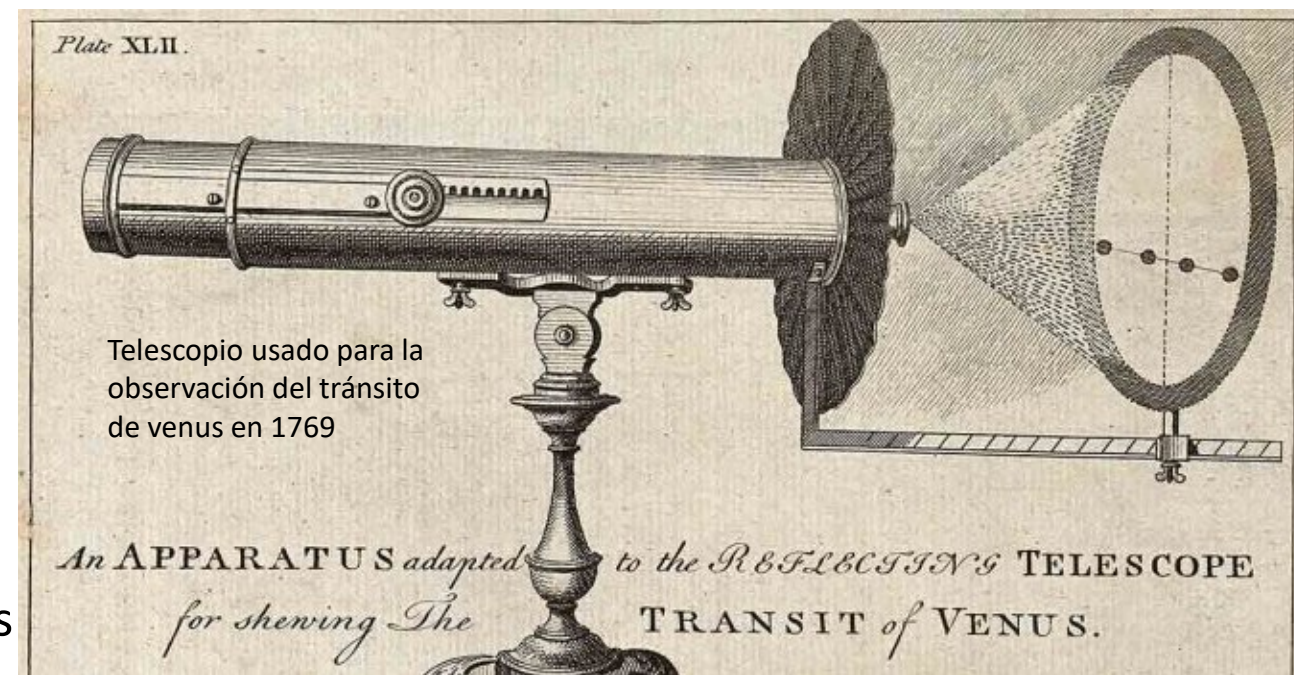


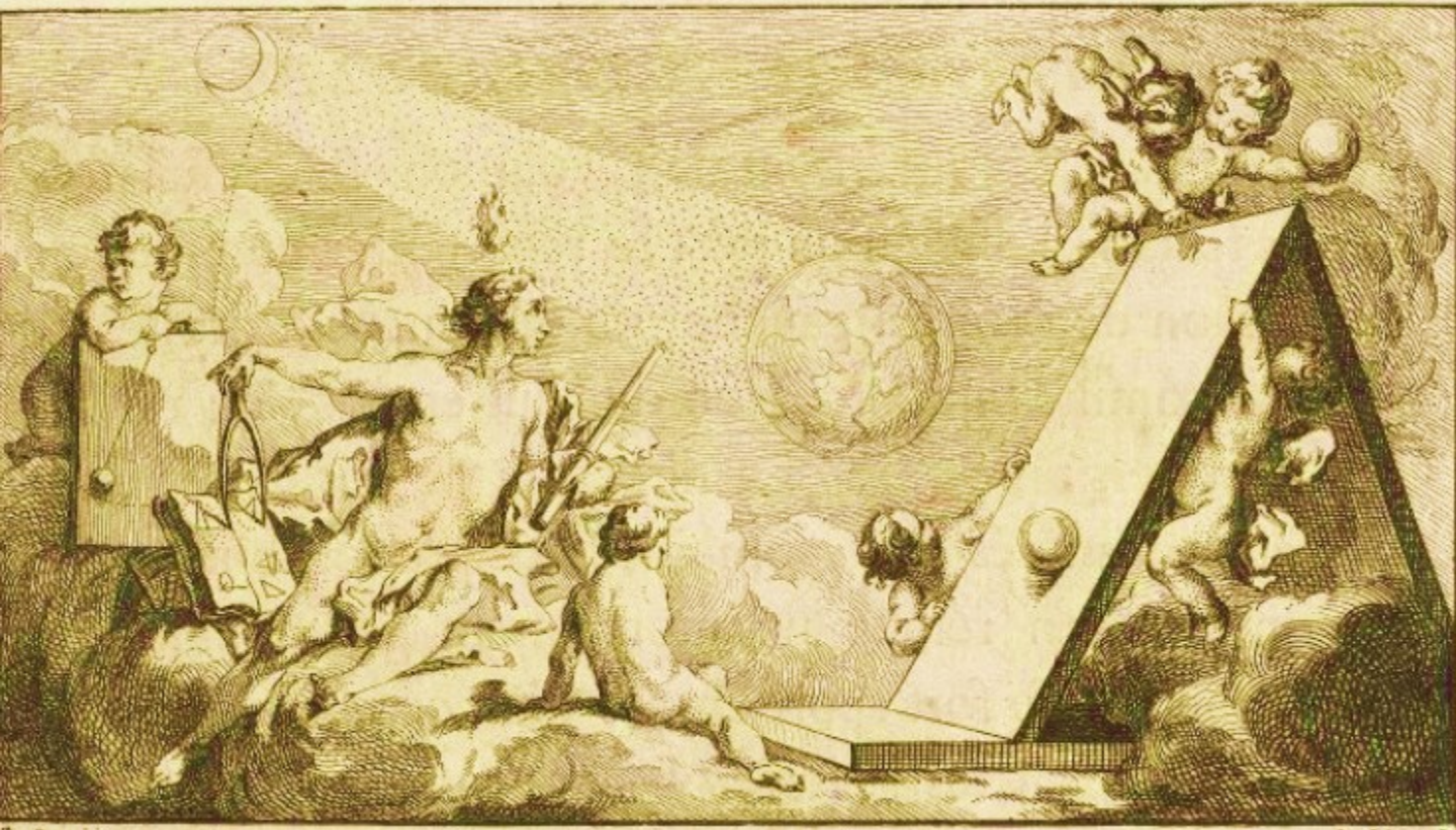


El segundo discurso del primer volumen trató por tanto de la Historia y Teoría de la Tierra, advirtiendo en su comienzo que no se iba referir a su figura (aunque si lo hizo en una anexo), ni a su movimiento, ni a las posibles relaciones que pudiese tener con las otras partes del universo: *«c'est sa constitution intérieure, sa forme et sa matière que nous nous proposons d'examiner»*; y así fue como lo hizo, dedicando a la formación geológica del globo terráqueo comentarios más extensos que todos los precedentes. El texto lo concluyó en Montbard (su ciudad natal) el 3 de diciembre de 1744. Continuó el discurso con un capítulo titulado Preuves de la Théorie de la Terre, dedicándose su primer artículo al Estudio de los Planetas; el cual lo dio por ultimado el 20 de septiembre de 1745. En la última parte de ese artículo, comentó las discrepancias existentes entre los valores teóricos de los semiejes de la Tierra (229/230) y los resultados proporcionados por las expediciones geodésicas a Laponia y al virreinato de Perú (174/175); preguntándose si no habría que dar mayor relevancia a los proporcionados por unas medidas que habían sido efectuadas cuidadosamente por los más hábiles matemáticos de Europa.

El mismo se respondía: «À cela je répons que je n'ai garde de donner atteinte aux observations faites sous l'équateur et au cercle polaire, que je n'ai aucun doute sur leur exactitude, et que la terre peut bien être réellement élevée d'une 175e partie de plus sous l'équateur que sous les pôles ; mais, en même temps, je maintiens la théorie, et je vois clairement que ces deux résultats peuvent se concilier. Cette différence des deux résultats de la théorie et des mesures est d'environ quatre lieues dans les deux axes, en sorte que les parties sous l'équateur sont élevées de deux lieues de plus

qu'elles ne doivent l'être suivant la théorie : cette hauteur de deux lieues répond assez juste aux plus grandes inégalités de la surface du globe ; elles proviennent du mouvement de la mer et de l'action des fluides à la surface de la terre». El artículo anterior se acompañó de un añadido, subdividido en cuatro partes: I) Sobre la distancia de la Tierra al Sol, II) Sobre la materia del Sol y los planetas, III) Sobre la relación entre las densidades de los planetas y su velocidad, IV) Sobre la relación, dada por Newton, entre la densidad de los planetas y el grado de calor que pueden soportar. La justificación de la primera merece ser rescatada, por explicar como se modificó la distancia tras haber observado el tránsito del planeta Venus: « J'ai dit que la terre est située à trente millions de lieues du soleil, et c'était en effet l'opinion commune des astronomes en 1745, lorsque j'ai écrit ce Traité de la formation des planètes; mais de nouvelles observations, et surtout la dernière, faite en 1769, du passage de Vénus sur le disque du soleil, nous ont démontré que cette distance de trente millions doit être augmentée de trois ou quatre millions de lieues».





La física de los planetas la explicó Buffon apoyándose en la doctrina de Newton, de la que era firme defensor; contribuyendo a que se impusieran definitivamente en Francia. He aquí un resumen de sus conclusiones: «los planetas principales son atraídos por el Sol, el Sol es atraído por los planetas, los satélites también son atraídos por sus planetas principales, cada planeta es atraído por todos los demás, y también los atrae; todas estas acciones y reacciones varían según las masas y las distancias, producen desigualdades, irregularidades; ¿Cómo combinar y evaluar una

cantidad tan grande de información? ¿Parece posible en medio de tantos objetos, seguir uno? Sin embargo, tales dificultades han sido superadas, el cálculo ha confirmado lo que la razón sospechaba; cada observación se ha convertido en una nueva demostración, y el orden sistemático del Universo está expuesto a los ojos de todos los que saben reconocer la verdad». Esta ilustración destaca el papel fundamental de la observación y la experimentación en el desarrollo de la nueva física. Un genio observa la Tierra y la Luna. Con una mano mide distancias usando el compás, mientras que con la otra sostiene un telescopio; una clara alusión a las observaciones celestes de Galileo que alejaron la frontera del mundo y en cierto modo marcaron el camino a Newton. La escena de los querubines jugando, a la derecha de la imagen, es una nueva referencia al sabio de Pisa, cuyos experimentos con pelotas lanzadas desde un plano inclinado sentaron las bases de la física moderna.

Buffon fue uno de los pocos ilustrados que trató de relacionar la geodesia con la geofísica, para ello se apoyó en las observaciones pendulares que hizo Bouguer a los pies del Chimborazo. Defendiendo así que las perturbaciones tan débiles causadas por las montañas sobre la vertical eran debidas a que sus masas eran despreciables comparadas con la del conjunto del planeta, coligiendo que la Tierra no podía ser hueca. En 1749 ya aseguraba que en sus orígenes estaba fundida y que su figura así lo probaba, la cual se había ido moldeando, por efectos de la gravitación y de la rotación, hasta hacerse elipsoidal. Buffon llegó incluso a recalcular el achatamiento polar, fijando su valor en $1/230$ y afirmando que se habría modificado por la acción continua de los mares y de las mareas (entre otros). Según él, a partir de esa fusión original, la Tierra se enfrió por completo; rechazando así la idea de asociar los volcanes al fuego interno. El calor interno era a su juicio el residuo del primitivo. En cuanto a los terremotos, los consideraba debidos a una inflamación extrema de las materias rocosas y cancerosas. Siete eran los periodos en la historia del globo, según Buffon: 1) La Tierra, como los otros planetas, adquieren su forma elipsoidal a partir de su masa en fusión; 2) La Tierra se consolida hasta su centro como una gran masa de materias vitrificadas; 3) El mar cubre los continentes y los restos de animales con conchas forman los depósitos calcáreos; 4) Retirada de los mares y comienzo del vulcanismo; 5) Elefantes, Hipopótamos y otros animales del Sur habitaron las tierras del Norte; 6) Separación de los continentes y hundimiento del terreno entre ellos; 7) Historia de la humanidad.



Versión española de la Historia Natural, realizada por Joseph Clavijo y Fajardo (1726.1806). Frontispicio en el Volumen I.

HISTOIRE NATURELLE DES MINÉRAUX.

TOME V.

TRAITÉ DE L'AIMANT ET DE SES USAGES,

PAR M. le Comte DE BUFFON, Intendant du Jardin & du Cabinet
du Roi, de l'Académie Française, de celle des Sciences, &c.



A PARIS,

DE L'IMPRIMERIE DES BÂTIMENS DU ROI.

M. DCC. LXXXVIII.

AVEC APPROBATION ET PRIVILEGE DU ROI

El magnetismo terrestre fue otra de las disciplinas a la que se le dedicó un espacio considerable en la obra magna de Buffon, concretamente en el tomo V dedicado a la historia natural de los minerales. El título elegido para su estudio fue el de Tratado del imán y sus usos, estructurado en seis artículos: 1) Las fuerzas de la naturaleza en general, y en particular las de la electricidad y el magnetismo; 2) La naturaleza y formación del imán; 3) atracción y repulsión del imán; 4) Diversos procedimientos para perdurar y completar la imantación del hierro; 5) Sobre la dirección del imán y su declinación; 6) Inclinación del imán. El artículo 5º es muy interesante desde el punto de vista histórico, pues hace un relato detallado de los valores observados para la declinación durante el siglo XVII y XVIII; un parámetro difícil de analizar, según sus propias palabras: «*Il ne me paroît donc pas possible de déterminer la marche de ce mouvement de déclinaison, parce que sa progression est plus qu'irrégulière, & n'est point du tout proportionnelle au tems, non plus qu'à le espace; elle est tantôt plus prompte, tantôt plus lente, & quelquefois nulle; l'aiguille demeurant stationnaire, & même devenant retrograde pendant quelques années, & reprenant ensuite un mouvement de déclinaison dans le même sens progressif*».

TABLES

CONTENANT LES OBSERVATIONS
qui ont été faites, dans ces derniers tems, sur
la Déclinaison de l'Aiguille aimantée.

HÉMISPHERE BORÉAL.
MER ATLANTIQUE.
DÉCLINAISON A L'EST.

Nota. Les Longitudes sont indiquées, dans ces Tables,
d'après le Méridien de Paris, depuis 0 jusqu'à 360 degrés.

NOMS DES VOYAGEURS ET DATES DES OBSERVATIONS.	DÉCLINAISON			LATITUDES.			LONGITUDES.		
	EST.								
	D.	M.	S.	D.	M.	S.	D.	M.	S.
DE FLEURIEU. 28 Avril 1769.....	0	0	0	14	45	0	309	55	0
GÉRARD DE BRAHM.	0	0	0	35	30	0	282	35	0
A bord de l'Écureuil, en 1774.....	0	15	0	27	37	0	295	47	0
.....	0	45	0	14	31	0	307	9	0
GÉRARD DE BRAHM. 27 Juillet 1771.....	0	45	0	34	38	0	283	38	0
26 Juillet.....	1	30	0	33	25	0	282	11	13
.....	1	30	0	33	30	0	280	5	0
A bord de l'Écureuil, en 1774.....	1	30	0	27	16	0	295	36	0

A

El tratado magnético de Buffon incluyó un glosario de términos muy completo para facilitar su comprensión. Más subrayable todavía son las numerosas tablas con que se acompaña, puesto que se detallan las coordenadas geográficas de todos aquellos lugares desde los que se observaron los valores de la declinación e inclinación magnéticas; identificando a todos los autores y anotando las fechas en que se efectuaron las medidas. Tales lugares aparecen repartidos por los dos hemisferios (austral y boreal) y por los tres grandes océanos: Atlántico, Pacífico e Indico (Mar de las Indias).

TABLES

CONTENANT LES OBSERVATIONS
qui ont été faites, dans ces derniers tems, sur
l'Inclinaison de l'Aiguille aimantée.

HÉMISPHERE BORÉAL.
MER ATLANTIQUE.

NOMS DES VOYAGEURS ET DATES DES OBSERVATIONS.	LATITUDES.			LONGITUDES.			INCLINAISON.		
	D.	M.	S.	D.	M.	S.	D.	M.	S.
BAYLL. 15 Septembre 1776.....	0	42	0	344	11	0	24	21	45
ECKBERG. En Mars 1774.....	0	49	0	337	59	0	26	45	0
.....	1	4	0	337	53	0	27	0	0
COOK. 13 Août 1776.....	1	4	30	331	13	0	32	24	30
BAYLL. 11 Juin 1780.....	1	10	0	331	5	0	29	28	30
ECKBERG. En Mars 1774.....	1	54	0	337	54	0	27	52	0
COOK. 30 Août 1776.....	2	9	45	332	44	0	33	15	0

Se ha elegido como colofón de esta reseña la composición alegórica en la que varias figuras rodean un mapa y una brújula, presidida por la figura de Júpiter y el águila que lo caracteriza, sosteniendo una piedra imantada que atrae anillas metálicas. El mineral se identificó con el rótulo ARCANIS NODIS (por enlaces ocultos), un lema acuñado en 1593 por el Colegio romano de los jesuitas ante el avance experimentado por el magnetismo.



Fermín Caballero y Morgáez (1800-1876)

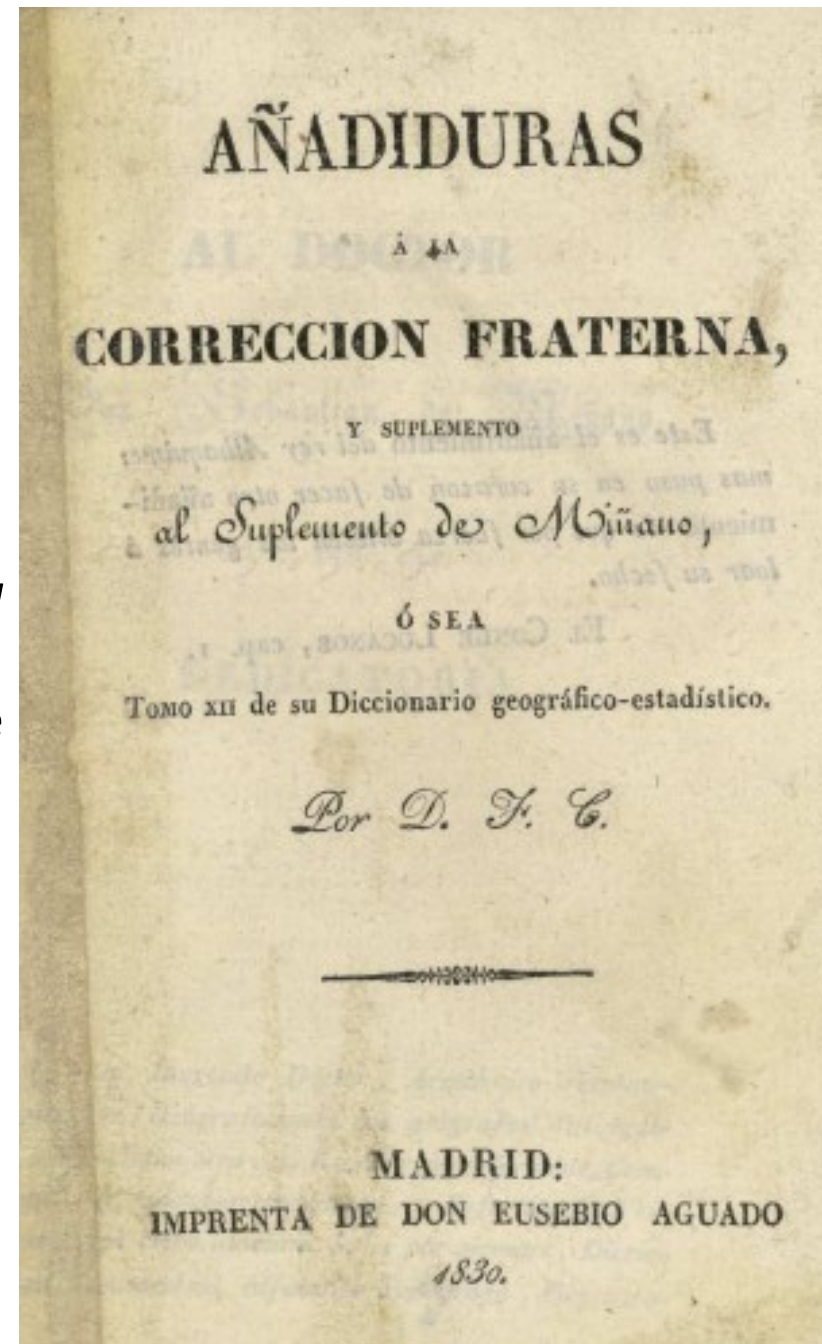
Destacado geógrafo castellano, abogado con sólida formación eclesiástica y prolífico escritor; que llegó a ser Alcalde de Madrid y Ministro de Gobernación. Al parecer, nunca dejó de interesarle la topografía, atribuyéndosele el levantamiento de los núcleos urbanos siguientes: Barajas de Melo (donde nació), Cuenca, Alcalá, Isabela, los Hueros, San Martín y Naval Moral de Pusa, Talavera de la Reina, Malpica, etc. Es probable que semejante actividad influyera para que en el año 1822 fuera nombrado profesor de Geografía y Cronología en la Universidad Central de Madrid. Fueron muy celebradas sus Lecciones de Geografía en la Sociedad de Instrucción Pública de Madrid. En la impartida el 5 de diciembre de 1840, recordó el aforismo *No es digno de habitar la tierra leve, quien el orbe terráqueo desconoce, pues cada cual su casa saber debe*. A su juicio, eran múltiples las virtudes de la geografía: hacia que los hombres fuesen cosmopolitas y amantes de la libertad... «y esto nos previene contra la vanidad y predominio de las clases aristocráticas y en favor de los oprimidos y menesterosos» .

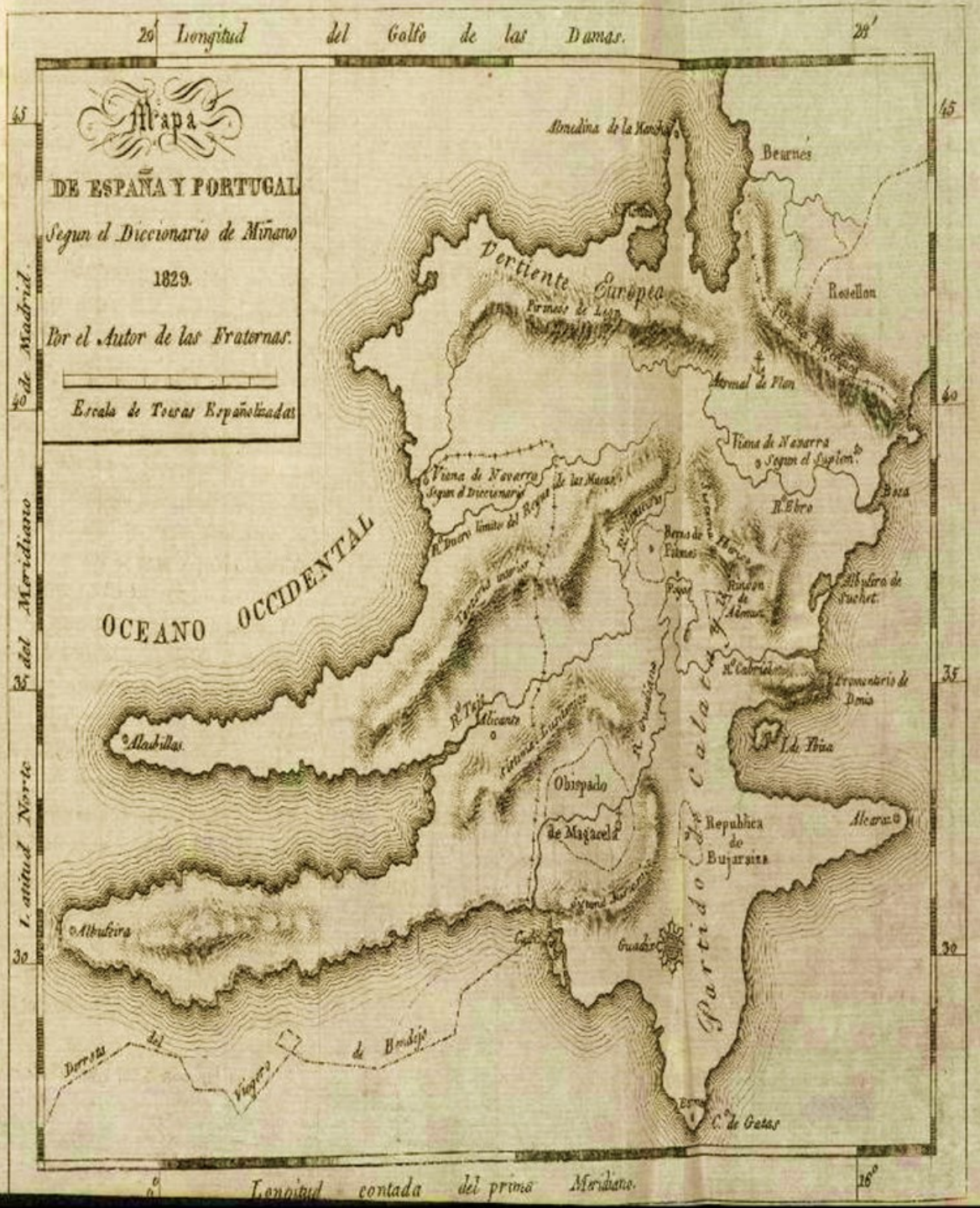


Fermín Caballero

Por J. J. Martínez

F. Caballero era amante de la polémica y no dudaba en expresar sus opiniones, aunque fuesen controvertidas. En la misma conferencia anterior, afirmaba: «Tanto puede dañar el aislamiento de las ciencias, negándose a comunicar unas con otras, como la confusión de mezclarse demasiado. Aunque el límite de la geografía no esté perfectamente deslindado pueden fijarse reglas que la circunscriban: debe tomarse de las demás ciencias todo lo que conduzca a su perfección y fijeza; debe huir de todo aquello que no le sea preciso... *Tengo por inexactas las denominaciones de geografía astronómica, geografía matemática, geografía física, porque realmente son principios de astronomía, de matemáticas y de física que el geógrafo reclama de las ciencias auxiliares de la que profesa*». No obstante, al referirse a la pericia geográfica de Miguel de Cervantes hablara de los diferentes ramos de la geografía. No pueden olvidarse sus aceradas críticas (aunque las titulara correcciones fraternas) al Diccionario Geográfico-Estadístico de España y Portugal, publicado por el clérigo Sebastián de Miñano y Bedoya (1779-1845); cuyas fuentes de información no resultaron ser tan fiables como hubiese sido deseable. Las correcciones las fue publicando en entregas, hasta un total de diez (1827); aunque finalmente decidiese contestar también al suplemento del diccionario (*Añadiduras a la Corrección fraterna, y suplemento al suplemento de Miñano*, o sea Tomo XII de su Diccionario geográfico estadístico. 1830).



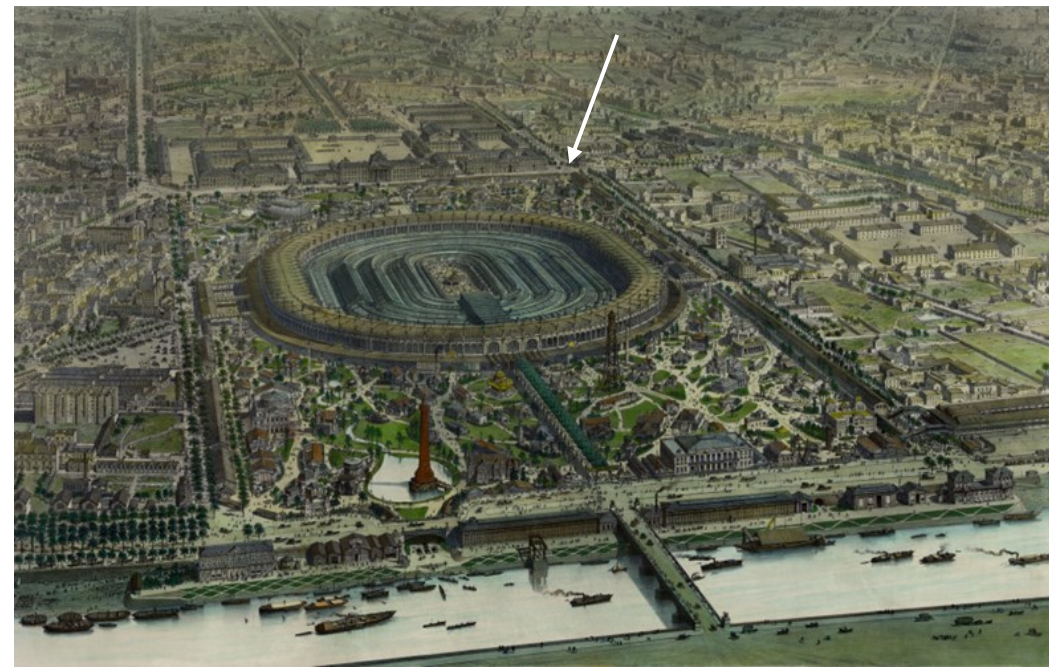


Su Addenda la iluminó Caballero con un mapa demoledor, dibujado de acuerdo con las coordenadas geográficas indicadas en el Diccionario (la escala gráfica, con toesas españolizadas fue todo un sarcasmo); comentando que comentaba Caballero que «las longitudes estaban calculadas con arreglo al meridiano del Golfo de las Damas, o del primer meridiano, que es lo mismo para quien no lo entiende». Del mismo tenor fueron los comentarios que dirigió a Antonio Fernández de Córdoba, colaborador de S. Miñano. F. Caballero los formuló en su obra titulada *La Cordobada* (1830), tratando de refutar las críticas que había recibido de aquel, a propósito de su *Turquía victoriosa* (1829). Su respuesta no pudo ser más mordaz: «*Loco me tienes, Antón; Con tan varias pretensiones; Yo en presentarle razones; Tú en embrollar la cuestión.* ¡Cuántas autoridades pone don Antonio por la única que le pidieron! ¡cuántos textos, qué de citas, cuántas buenas obras! No es extraño que haya gastado la vista de tanto leer sobre ellas. Y de tantas, tantas, ni una prueba lo que debía probar».

F. Caballero fue uno de los primeros geógrafos en situar a España dentro de su marco georreferencial, así lo hizo con ocasión de la Exposición Universal de París (1867), al redactar como Vocal de la Comisión General Española *La Reseña geográfico-estadística de España*, a modo de presentación del catálogo de los productos presentados por los expositores españoles en la misma: «España está comprendida entre los $35^{\circ} 59' 49''$ de latitud septentrional, paralelo en que se halla la punta más austral de la isleta de Tarifa, sobre el Estrecho de Gibraltar, y los $43^{\circ} 47' 29''$, extremo boreal de la costa del Norte, en la Estaca de Vares, y entre los $7^{\circ} 0' 36''$ de longitud E. del Observatorio Astronómico de Madrid ($6^{\circ} 2'$ al O. del meridiano de París), punto oriental del cabo de Creus, en el Mediterráneo, y los $5^{\circ} 38' 11''$ de longitud O. fin occidental del cabo de Toriñana en el Océano. De aquí le resulta una largura en longitud de $12^{\circ} 38' 47''$, equivalente a 50 minutos y 32 segundos de tiempo, en que adelanta la hora de los lugares orientales a la de los occidentales; y una anchura en latitud de $7^{\circ} 47' 40''$, que equivale a casi una hora de diferencia en la duración de los días y las noches mayores; pues en las costas australes llegan a catorce horas y media, y en las septentrionales se alargan a cerca de quince y media».



Recinto de la Exposición: Pabellón de España al fondo y a la derecha





Una de las actividades de mayor calado cartográfico que tuvo F. Caballero, la protagonizó como Vocal de la Comisión de Estadística General del Reino, creada el 4 de noviembre de 1856, el más directo antecedente del Instituto Geográfico y Estadístico (1873). El 21 de abril de 1861 se publicó el Decreto que reorganizaba el servicio de Estadística, figurando F. Caballero como responsable de las operaciones censales. Aunque su cometido fuese básicamente de índole estadístico, es indudable que fue uno de los principales baluartes de tan novedosa institución. El 2 de febrero de 1876 se constituyó la Sociedad Geográfica de Madrid en la sede de la Real Academia de la Historia; F. Caballero presidiría su primera Junta Directiva, un cargo que solo pudo desempeñar durante tres meses.



Jean Calvino (1509-1664)

Brillante teólogo francés, uno de los pilares en que se apoyó la reforma de la iglesia. No obstante, mostró una intransigencia permanente hacia todos los que se oponían a sus enseñanzas. Prueba de ello es que la ejecución de Miguel Servet (1509- 1553), en Ginebra, se produjo con el beneplácito de Calvino; el aragonés defendía que el dogma de la Trinidad no se contemplaba como tal en las Sagradas Escrituras, llegando a considerarla como un demonio monstruoso de tres cabezas. Como Martin Lutero (1483-1546), tampoco aceptó la teoría heliocéntrica de Copérnico; así se desprende de los comentarios recogidos en varios de sus escritos, aunque al parecer no llegase a afirmar que el astrónomo quiso ponerse a la misma altura que el Espíritu Santo.



Alegoría de la Reforma Protestante (*Das Zeitalter der Reformation*). El grabador fue Freidrich Eduard Eichens (1804-1877). En la imagen aparecen todos los hombres protagonistas de la misma, con la salvedad de la reina inglesa (Isabel I). Obsérvese en la parte superior izquierda un telescopio y un astrónomo dibujando en la pared un modelo del universo

«El cristiano no debe transigir para oscurecer la distinción entre el bien y el mal... Veremos a algunos que están tan trastornados... que dirán que el Sol no se mueve, y que es la Tierra la que se mueve y gira. Cuando vemos tales mentes, debemos confesar que el diablo las posee, y que Dios las pone ante nosotros como espejos, para mantenernos en su temor. (*Calvini Opera Selecta, Corpus Refomatorum, Vol 49, 677*)»



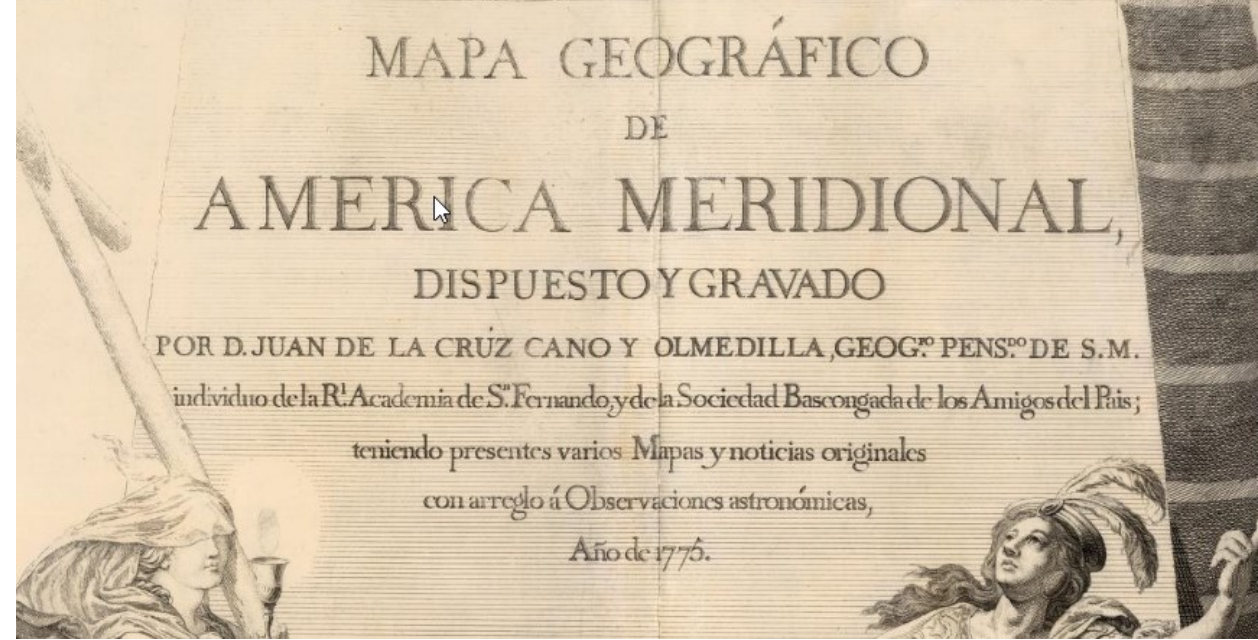
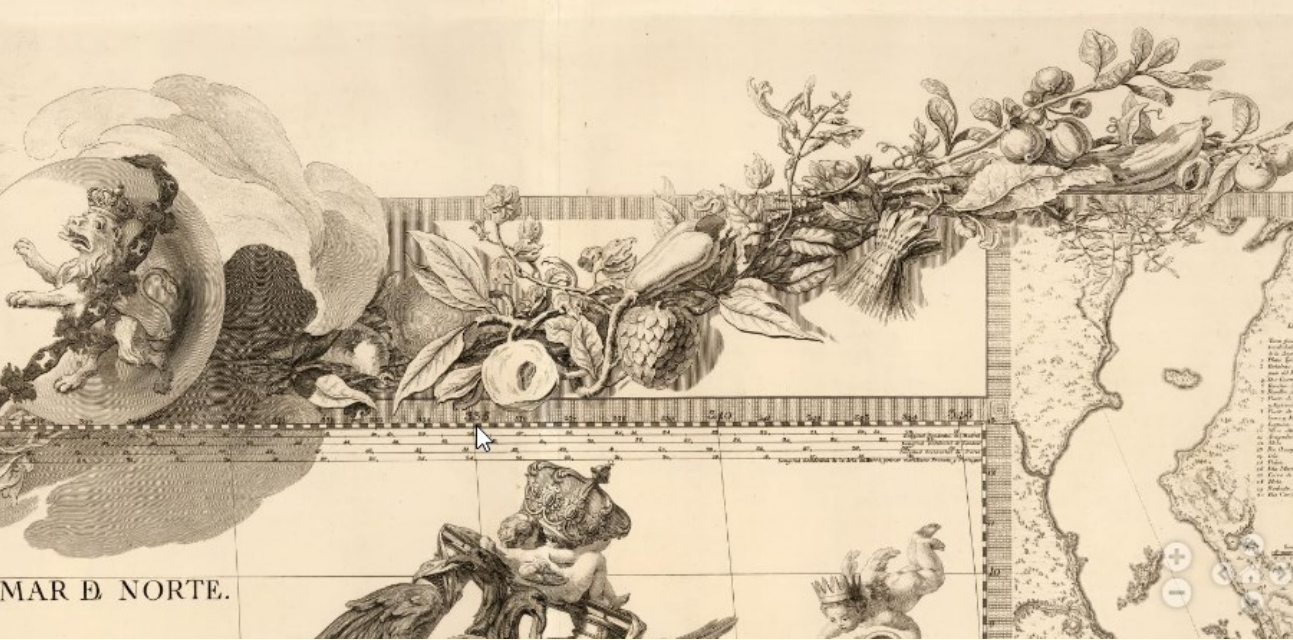
«Una simple inspección del mundo debería bastar por sí misma para atestiguar una Providencia Divina. Los cielos giran diariamente y, por inmenso que sea su tejido, e inconcebible la rapidez de sus revoluciones, no experimentamos ninguna conmoción, ninguna perturbación en la armonía de su movimiento. El Sol, aunque varía su curso en cada revolución diurna, vuelve anualmente al mismo punto. Los planetas, en todos sus vagabundeos, mantienen sus respectivas posiciones. ¿Cómo podría la Tierra colgar suspendida en el aire si no fuera sostenida por la mano de Dios? ¿Por qué medios podría mantenerse inmóvil, mientras que los cielos arriba están en constante movimiento rápido, no lo fijó y estableció su Divino Hacedor? *Comentario sobre los Salmos*».

Juan de la Cruz Cano y Olmedilla (1734-1790)



El quehacer cartográfico de este madrileño está ligado fundamentalmente a su celebrado Mapa Geográfico de América Meridional (1775), aunque hiciese otros como el del Reino de Inglaterra, el de la Isla de Jamaica o el del Estrecho de Magallanes; también es digno de mención su grabado del Plano General del Alhambra, sus contornos y parte de la jurisdicción & (ca.1767). Su formación la adquirió en París, gracias a las lecciones que le impartió el geógrafo Jean-Baptiste Bourguignon d'Anville (1697-1782) d'Anville; Cano viajó junto a Tomás López (1730-1802), también comisionado por el marqués de la Ensenada (1702-1781) para contribuir a la mejor formación del Mapa de España. La posterior vida profesional de ambos fue muy dispar: López creó escuela, produjo multitud de mapas poco rigurosos y gozó del favor oficial, llegando a ser amigo personal

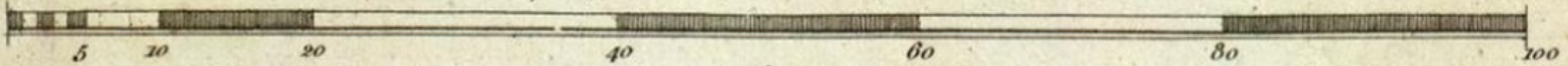
de Manuel Godoy (1767-1852); en cambio Cano vio recompensado su cuidadoso quehacer cartográfico, dándose la penosa circunstancia de que su excelente mapa de América del Sur le produjo más perjuicios que beneficios. La razón no fue otra que las malas relaciones con Portugal, pues en España se creyó que el mapa podía favorecer los intereses de los vecinos; llegando a desacreditar al autor y a no abonarle todos los estipendios acordados.



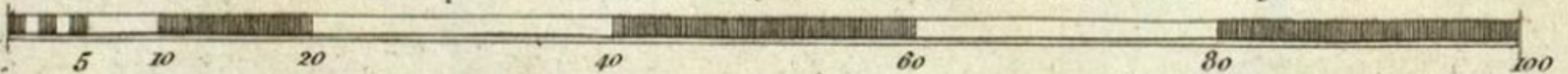
El mapa fue solicitado en 1765 por el ministro de Estado Pablo Jerónimo Grimaldi y Pallavicini (1710-1789). Tras una exhaustiva recopilación de información cartográfica y cuidada selección de la misma, Cano logró formar un grandioso mapa mural, a escala 1:4000000, compuesto por ocho hojas, que una vez ensambladas eran un rectángulo de 185 x 260 cm. La presentación del dibujo refleja que el autor pertenecía a la Academia de San Fernando, con unas hermosas orlas difícilmente superables, también es reseñable su pilar en forma de cono truncado con hendiduras entre sus generatrices coronado con un busto de Colón, acompañado de esta leyenda: A Castilla y León, Nuevo Mundo dio Colón. El cuadro de signos convencionales es muy completo, usando símbolos y rótulos de diversa clase para identificar ciudades, villas, pueblos, arzobispados, parroquias, universidades etc. También se emplearon líneas para representar caminos reales, límites de los reinos y especialmente la línea divisoria en el Brasil. Otro capítulo que no pudo faltar fue el relativo a la señalización de las minas de metales preciosos.

Escalas.

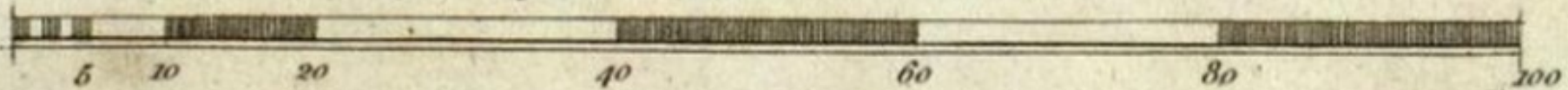
Leguas de España de á 17½ al Grado.



Leguas comunes de España de 20 en Grado, iguales ó las marinas de Francin é Inglaterra.



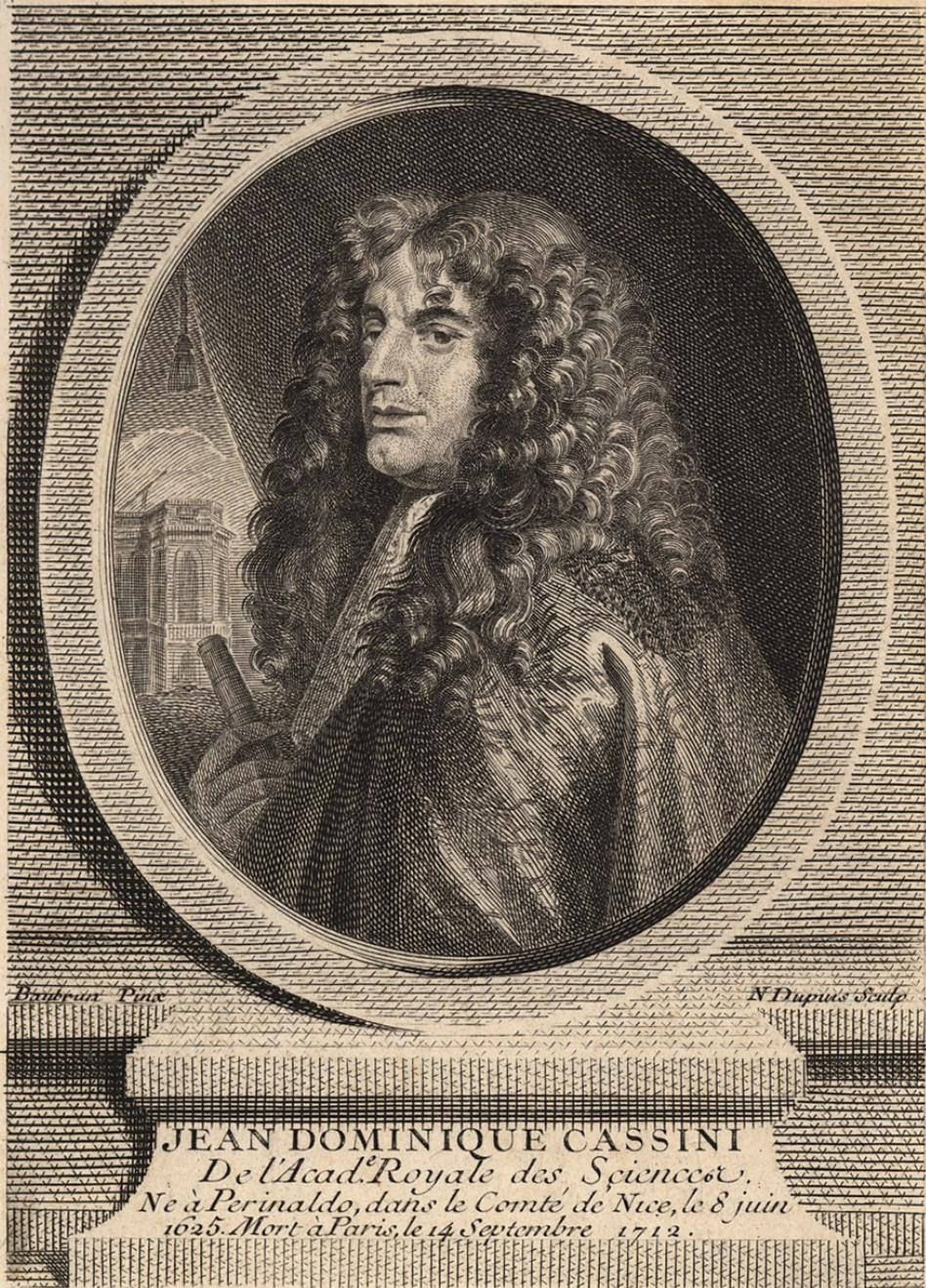
Leguas legales de Castilla de 26½ al Grado.



Medida de horas de Camiño en País montuoso.



El mapa dispuso de las cuatro escalas gráficas, con los correspondientes pitipiés, que se indican a continuación: 1) leguas de España de 17.5 en el grado; 2) leguas comunes de España de 20 en el grado, iguales a las marinas de España e Inglaterra; 3) leguas legales de Castilla de 16.5 en el grado y 4) medida de horas de camino en País montañoso. El tratamiento del color se incluyó asimismo en esta obra cartográfica tan monumental: rojo (España), púrpura (Misiones anexas), amarillo (Portugal), azul (Francia), blanco (Holanda) y verde (Inglaterra). La simulación del relieve se consiguió con el sistema de perfiles abatidos, acompañado de sombreado. Las longitudes geográficas se contaron a partir del meridiano del Pico de Tenerife (primer meridiano); como información marginal complementaria añade detalles relativos a la elección de diferentes meridianos elegidos como origen.



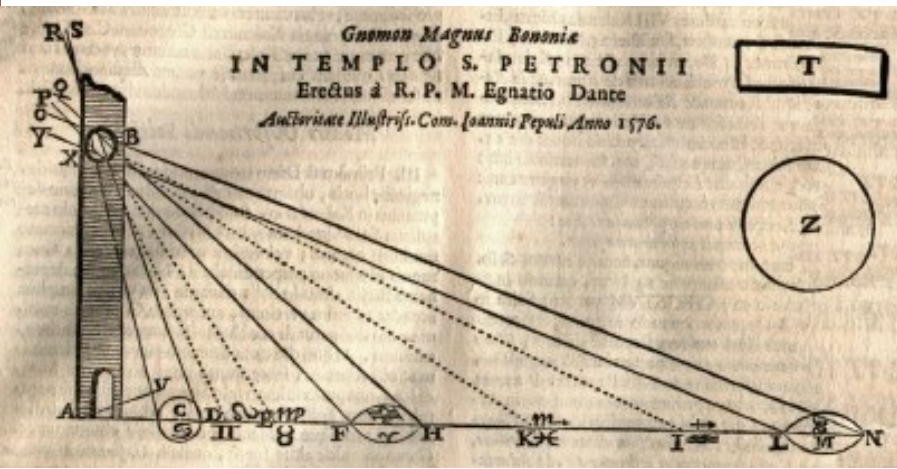
Giovanni Domenico Cassini (1625-1712)

Astrónomo italiano afincado en París desde que fue llamado por el Rey Luis XIV para que gestionase el Observatorio que se estaba construyendo como prolongación de su Academia de Ciencias; a veces es referido como Cassini I, ya que fundó una dinastía de astrónomos y geodestas siempre ligados a dicho Observatorio. Cassini ya gozaba de un reconocido prestigio en Italia, donde se inició en la astronomía de la mano de G.B. Riccioli y llegó a ser profesor de Astronomía y Matemáticas en la Universidad de Bolonia. Fue firme partidario del modelo geocéntrico, aunque situara los cometas más allá de Saturno y acabase por aceptar el alternativo propuesto por T. Brahe. Si bien ya había observado durante 1652 y 1653 un cometa, dedicándole la correspondiente memoria a Hércules II de Este (1508-1559), Duque de Módena, su obra con más repercusión social, en aquella época, fue la ampliación de la meridiana materializada en la Basílica de San Petronio, sita en la plaza mayor de Bolonia; la cual había sido materializada en un principio por el astrónomo y sacerdote Egnatio Danti (1536-1586).



Línea meridiana en la Basílica de San Petronio (Bologna)

Tras múltiples tanteos, se decidió replantar la meridiana bajo la cuarta bóveda de la nave lateral izquierda, resultando una longitud de unos 66.71 m, alrededor de $1/600000$ del perímetro de la Tierra. El presupuesto ascendió a un total de 2500 liras, de las cuales 500 correspondieron a Cassini. Antes de que llegase el solsticio de verano del año 1655, invitó este a sus compañeros de la Universidad y a todos los ciudadanos interesados para que viesen el disco solar proyectado sobre la misma: «*fra quelle colonne, che erasi creduto impedirne la descrizione*». Cassini realizó numerosas observaciones de la línea, las cuales las vació en la obra *Specimen observationum Bononiensium, quae novissime in D. Petronij Templo ad astronomiae novae constitutionem haberi oepere...*, publicada en el año 1656 y dedicada a la Reina Cristina de Suecia (1626-1689), ya convertida al catolicismo y refugiada en Italia desde hacía un año.



Solsticio de verano, sobre el signo de Cáncer

Cassini no descuidó sus otras observaciones astronómicas, entre ellas las relativas a la refracción atmosférica, centradas principalmente a las del Sol. Al descubrir otro planeta en 1664 y analizar su trayectoria concluyó que las órbitas de todos ellos eran circulares alrededor del Sol, con el centro de las mismas en la dirección de la estrella Sirio. A partir de ese año mejoraron considerablemente los resultados obtenidos con sus observaciones, gracias a los instrumentos con que contó, fabricados por Giuseppe Campani (1635-1715); de esa forma obtuvo el periodo de rotación de Júpiter en torno a su eje y concluyó que presentaba aplastamiento polar. En el año 1666 dedujo igualmente el periodo de rotación de Marte y analizó algunos aspectos de su superficie. En 1668 ya había estudiado detalladamente los satélites de Júpiter, publicando sus resultados en ese mismo año; aunque dedujo entonces que la velocidad de la luz era finita (a su juicio tardaba aproximadamente diez u once minutos en recorrer una distancia igual al semidiámetro de la órbita terrestre) acabó desdiciéndose. Paradójicamente, siete años después O.Römer se basó en las observaciones efectuadas por Cassini para calcular la velocidad de la luz. Los sorprendentes descubrimientos de este fueron a la postre los que propiciaron la invitación real para que se trasladase a Francia de inmediato.



Telescopio extensible de Campani, con sus siete elementos. El diámetro del objetivo es de 9.3 cm y su distancia focal 8.2 m. *Museo della Specola (Bologna)*.



El día 4 de abril de 1669 llegó Cassini a París, al ser recibido por el Rey y pedirle este su parecer sobre los planos del Observatorio, los criticó abiertamente pero sin mucho éxito. En el año 1671 se instaló ya en el nuevo edificio y descubrió algunos de los satélites de Saturno; al año siguiente dedujo las dimensiones del sistema solar, apoyándose en la medida de la paralaje de Marte obtenida gracias a las observaciones realizadas por J. Richer en la isla de Cayenne. En 1673 se nacionalizó francés con el nombre de Jean Dominique Cassini. Dos años después observó por primera vez la división en los anillos de Saturno, que hoy lleva su nombre. Su mapa de la Luna de 53 x 53 cm, publicado en 1680 (pero presentado a la Academia de Ciencias el 12-II-1679), fue realmente llamativo y debió resultar sorprendente para todo aquel que nunca hubiese visto nuestro satélite a través del telescopio. El dibujo de todos los detalles de la superficie lunar se basó en las múltiples observaciones que efectuó

durante el periodo comprendido entre los años 1671 y 1679. En los cuadernos originales figura tanto el día como la hora de la observación, además de las circunstancias de la misma; todos ellos y las planchas correspondientes se conservan en el Observatorio de París. De la importancia de la representación da idea el hecho de que no fuese superada hasta que se inventó la fotografía astronómica.

Cassini I contribuyo de forma decisiva al progreso de la geografía y más concretamente al perfeccionamiento de las representaciones cartográficas, facilitando la determinación de las diferencias de longitudes entre dos lugares dados; recomendando efectuar la observación simultánea, desde ellos, de las ocultaciones o emersiones de los satélites de Júpiter. Él mismo recordaba en alguno de sus trabajos que ya estaba interesado en tan complicada cuestión cuando residía en Bolonia, y así fue; ya que en el mes de diciembre de 1668 publicó unas tablas con las efemérides de los satélites de Júpiter: *Ephemerides Bononienses Mediceorum Siderum*, las cuales resultaron ser más exactas que las conocidas hasta entonces. Veinte años después volvía sobre el mismo tema al leer ante la Academia de Ciencias *La Méthode de déterminer les longitudes des lieux de la Terre par les observations des satellites de Jupiter, vérifiée & expliquée*;

en el que hacia ver la gran utilidad del procedimiento por la precisión al fijar el instante de la observación. No obstante, el colofón de estas investigaciones geodésicas lo puso con la publicación de 1693, titulada *Recueil d'observations faites en plusieurs voyages par ordre de sa Majesté pour perfectionner l'astronomie et la géographie. Les hypothèses et les tables du Jupiter, reformées sur de nouvelles observations.*



LES
HYPOTHESES
ET LES TABLES
DES SATELLITES DE JUPITER,
réformées sur de nouvelles Observations.

I.
*Usage des Observations des Satellites de Jupiter
dans la Géographie.*



Cassini quiso coronar sus investigaciones sobre las longitudes geográficas con un grandioso planisferio, 7.8 m de diámetro, que situó sobre el suelo de la torre occidental del Observatorio de París, en el año 1696. Su formación se apoyó en la posición de 43 lugares (cada uno marcado con un asterisco), cuya longitud habían determinado los comisionados de la Academia de Ciencias mediante la observación de los eclipses de los satélites de Júpiter. No obstante, el mapamundi careció de fiabilidad al fijar el límite septentrional entre Asia y América, que persistió hasta el descubrimiento del Estrecho de Bering en 1728.

En 1683, Luis XIV ordenó a la Academia de Ciencias que continuase los trabajos de Picard y extendieran el meridiano de París en los dos sentidos. Ese mismo año J.D. Cassini se hizo cargo de las observaciones del sector meridional, mientras que La Hire lo haría del septentrional; sin embargo, la operación se postpuso tras la muerte de Colbert y no se reanudaron hasta comienzos del siglo siguiente. A partir de entonces, Cassini contó con la ayuda de su hijo Jacques, pero de nuevo se suspendieron hasta el año 1718, en que se dieron por finalizadas (sin contar ya con la participación de Cassini I. Es sabido qué a consecuencia de estas triangulaciones geodésicas a lo largo del meridiano, los Cassini dedujeron que la Tierra presentaba un achatamiento en el ecuador; justo lo contrario de lo que había previsto Newton y Huygens, con el soporte experimental de Richer en Cayenne (donde comprobó que la longitud del péndulo que batía segundos era menor allí que en París). La controversia estaba servida, resultando un tanto sorprendente que Cassini I defendiera el abultamiento polar, cuando pensaba que en Júpiter era ecuatorial.



Observatorio de París

CASSINI I



Colbert presenta a Luis XIV a los miembros de la Academia de Ciencias.





Jacques Cassini (1677-1756)

Acabó por dirigir el Observatorio de París, lugar donde nació. Con el tiempo sería conocido como Cassini II, al ser hijo de Cassini I. Sus primeros estudios los cursó en el Colegio Mazarin (o de las Cuatro Naciones), dirigiéndole su tesis, sobre óptica, el matemático Pierre Varignon (1654-1722)- En 1694, con tan solo 17 años, fue elegido miembro de la Academia de Ciencias y comenzó a colaborar con su padre (que también pertenecía a la institución) en todos sus trabajos científicos. Así actuó cuando viajó con él a Italia, en donde hicieron observaciones geodésicas, como la reparación de la meridiana de San Petronio, en Bolonia. Tras ese viaje, emprendió otros a Flandes y a Inglaterra, en torno al año 1698. Durante su estancia en la isla coincidió con Newton, Flamsteed y Halley, siendo elegido miembro de la Royal Society.

De entre todas sus observaciones geodésicas, sobresalen las que efectuó, colaborando con su padre, en el llamado meridiano de Francia. Al finalizar los trabajos de campo y de gabinete, completó su obra *Traité de la Grandeur et de la Figure de la Terre*, editada en Ámsterdam (1723). Fue en esta publicación donde aseguró que el desarrollo del grado de meridiano decrecía al aumentar la latitud, concluyendo por tanto que la tierra estaba más aplastada por el ecuador que por la zona polar. Incluso daba un ejemplo en la página 298: «... de suerte que el grado comprendido entre los paralelos 50° y 51° es de 56944 toesas y 2 pies; y el grado comprendido entre los paralelos 42° y 43° es de 57192 toesas y 4 pies».

J. Cassini demostró que la diferencia entre los desarrollos de grados contiguos era variable, alcanzando su valor máximo en el paralelo medio (45°); disminuyendo casi por igual, al aproximarse al Ecuador y a los Polos, donde la diferencia entre un grado y otro es del orden de 7 u 8 pies. Los valores extremos de tales desarrollos fueron los siguientes: 56224 toesas y 4 pies en los Polos y 58019 toesas y 4 pies en el Ecuador. En cuanto a los semiejes del elipsoide, resultaron ser de 6579368 toesas el polar y de 6510796 el ecuatorial; un resultado radicalmente opuesto al que ya defendían figuras tan indiscutibles como Newton o Huygens, y todos los partidarios de sus tesis.

TRAITÉ
DE LA
GRANDEUR
ET DE LA
FIGURE
DE LA
TERRE.

PAR M. CASSINI,
De l'Academie Royale des Sciences.



A AMSTERDAM,
Chez PIERRE DE COUP, Marchand
Libraire dans le Kalverstraat

M. DCC. XXIII



Colatitud

Hauteur du Pole.		Distance du Pole au Zenith.		Grandeur des Degrés d'un Meridien.		Hauteur du Pole.		Distance du Pole au Zenith.		Grandeur des Degrés d'un Meridien.	
Latitud	Degrés.	Degrés.	Toises. Pieds.	Degrés.	Degrés.	Toises. Pieds.	Degrés.	Degrés.	Toises. Pieds.	Degrés.	Pieds.
90	0	56224	4	60	30	56682	5	30	60	57580	3
89	1	56225	5	59	31	56710	3	29	61	57607	2
88	2	56228	2	58	32	56738	3	28	62	57633	4
87	3	56232	1	57	33	56766	5	27	63	57659	2
86	4	56237	1	56	34	56795	4	26	64	57684	3
85	5	56243	2	55	35	56824	5	25	65	57709	0
84	6	56250	3	54	36	56854	2	24	66	57732	4
83	7	56258	3	53	37	56884	0	23	67	57755	4
82	8	56267	2	52	38	56914	0	22	68	57777	5
81	9	56277	0	51	39	56944	2	21	69	57799	1
80	10	56287	3	50	40	56975	0	20	70	57819	3
79	11	56299	0	49	41	57006	0	19	71	57838	5
78	12	56311	3	48	42	57037	0	18	72	57857	1
77	13	56324	5	47	43	57068	1	17	73	57874	3
76	14	56339	1	46	44	57099	2	16	74	57890	2
75	15	56354	5	45	45	57130	3	15	75	57905	4
74	16	56370	4	44	46	57161	3	14	76	57920	2
73	17	56387	5	43	47	57192	4	13	77	57934	0
72	18	56405	5	42	48	57223	4	12	78	57946	4
71	19	56424	4	41	49	57254	3	11	79	57958	2
70	20	56444	3	40	50	57285	2	10	80	57969	0
69	21	56465	1	39	51	57316	0	9	81	57978	4
68	22	56486	4	38	52	57346	4	8	82	57987	2
67	23	56508	5	37	53	57377	1	7	83	57995	0
66	24	56531	4	36	54	57407	3	6	84	58001	4
65	25	56555	1	35	55	57437	3	5	85	58007	2
64	26	56579	2	34	56	57467	1	4	86	58012	0
63	27	56604	1	33	57	57466	2	3	87	58015	4
62	28	56619	4	32	58	57525	0	2	88	58018	2
61	29	56655	5	31	59	57553	0	1	89	58019	4
60	30			30	60			0	90		

La polémica consiguiente alcanzó extremos virulentos, con críticas innecesariamente descalificadoras, entre los newtonianos y los cartesianos. En su afán por hacer valer su modelo matemático de la Tierra, J. Cassini realizó una nueva triangulación (1733-1734) que unió las ciudades de Saint Malo y Estrasburgo, siguiendo una dirección sensiblemente perpendicular al meridiano de París; contó con la colaboración de sus hijo César-François, el futuro Cassini III, repitiéndose por tanto la que existió entre los dos primeros miembros de la dinastía. Una vez observada y calculada, publicó sus resultados, los cuales venían a confirmar su modelo de aplastamiento ecuatorial. La controversia, lejos de apaciguarse, aumentó en intensidad, hasta el extremo de que la Academia decidió obrar en consecuencia.

La controversia la zanjó la Academia de Ciencias, enviando dos Comisiones científicas a latitudes tan dispares como el virreinato de Perú y Laponia, con el fin de medir un grado en ambos lugares; L. Godin y P. de Maupertuis fueron los que hicieron las propuestas respectivas, aunque el primero en hacer públicas sus conclusiones fue el segundo de ellos. Los resultados obtenidos por ambas expediciones, que hizo suyos la Academia, certificaron la validez del modelo elipsoidal de la Tierra con aplastamiento polar. Sin embargo, J. Cassini nunca aceptó el modelo de elipsoide oblato, pues creía que el suyo (prolato) no era fruto de especulaciones teóricas, sino el producto de una serie continuada de observaciones de campo; sin pensar que los errores instrumentales podían adulterar los resultados obtenidos.

Gabrielle Émilie Le Tonnelier de Breteuil (1706-1749), matemática y física, firme partidaria de las tesis newtonianas, como lo fue François Marie Arouet (Voltaire)





Coincidiendo con el proyecto de su segunda triangulación, J. Cassini llevó a cabo otra actividad, propia de la astronomía geodésica, que le fue mucho más gratificante que la primera: la construcción de la meridiana del Observatorio de París (1729-1732); un proyecto concebido por su padre, a semejanza de la existente en Bolonia, el cual llegó a modificar el proyecto del Observatorio para habilitar la sala que debería albergarla. La meridiana era realmente un instrumento astronómico con el que se medirían las alturas meridianas del Sol, para detectar la posible variación de la oblicuidad de la eclíptica. Consta la línea de 32 reglas de latón, de un metro cada una, encastradas en losas de mármol blanco, sobre las que se proyecta la luz solar que pasa a través de un orificio practicado en una plancha de cobre, sita a una altura próxima a los 9.94 m. El largo de la meridiana es la de un pie real, es decir alrededor de 32.48m, lo que garantiza que la imagen del gnomon se proyectará sobre ella de un solsticio a otro. La línea está enmarcada por otras losas de mármol adicionales, en las que figuran los signos del zodiaco. Las reglas metálicas tienen una doble graduación, las que señalan en sus bordes occidental y oriental, la altura aparente del centro del Sol y la tangente de la distancia cenital del mismo. J.Cassini la observó sistemáticamente durante 25 años, hasta 1755. La meridiana del Observatorio de París es de las pocas de ese tipo construidas en un edificio no religioso.

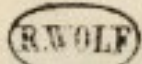
ELEMENTS D'ASTRONOMIE.

*Par M. CASSINI, Maître des Comptes,
de l'Académie Royale des Sciences, & de la
Société Royale de Londres.*



A PARIS,
DE L'IMPRIMERIE ROYALE.

M. DCCXL



Aunque Cassini II siempre estuviese convencido de que su modelo elipsoidal era el más adecuado para la Tierra, no dejó de lado sus investigaciones astronómicas sobre los satélites de Júpiter y Saturno. Otro de sus descubrimientos de mayor calado fue el del movimiento propio de las estrellas, que hizo en el año 1734, superando así la arcaica idea de la esfera de las fijas. En cuanto a sus publicaciones, son muy destacables las dos que se editaron en el año 1740: 1) *Éléments d'Astronomie* y 2) *Tables astronomiques du Soleil, de la Lune, des Planets, des étoiles fixes, et des satellites de Jupiter et de Saturne; avec l'explication & l'usage de ces mêmes Tables*. En el prólogo del primero se vislumbra una posible duda acerca de su modelo, cuando comentaba que se estaba a la espera de las conclusiones sobre la medida del grado en América central. Este volumen, con más de 700 páginas, incluyó una introducción necesaria para entender los nueve libros que lo componían; abordándose en ella el estudio de los círculos de las esferas, los sistemas del mundo, la refracción y la paralaje. El primero de sus libros, con siete capítulos, lo dedicó a las estrellas fijas; el segundo, con diez capítulos, al Sol; el tercero, con quince capítulos a la Luna; el cuarto, con nueve capítulos a Saturno; el quinto, con once capítulos a Júpiter; el sexto, con nueve capítulos, a Marte; el séptimo, con 12 capítulos, a Venus; el octavo, con siete capítulos, a Mercurio; el noveno, con nueve capítulos a los satélites de Júpiter y de Saturno.

TITRES DES CHAPITRES

Contenus dans l'Explication des Tables.

CHAPITRE I.	<i>De la Réduction des Tables d'un Méridien à l'autre.</i>	Page 2
CHAPIT. II.	<i>De l'Equation des Jours.</i>	3
CHAPIT. III.	<i>Des Epoques des moyens mouvements du Soleil & de la Lune.</i>	4
CHAPIT. IV.	<i>Des moyens mouvements du Soleil & de la Lune.</i>	5
CHAPIT. V.	<i>Du vrai lieu du Soleil.</i>	10
CHAPIT. VI.	<i>Du vrai lieu de la Lune.</i>	14
CHAPIT. VII.	<i>Préparation au Calcul des Eclipses du Soleil & de la Lune.</i>	23
CHAP. VIII.	<i>Détermination de l'Eclipse de Lune & de ses Phases.</i>	34
CHAP. IX.	<i>Détermination de l'Eclipse du Soleil & de ses Phases.</i>	49
CHAP. X.	<i>Déterminer la différence des Méridiens par les Observations des Eclipses du Soleil.</i>	61
CHAP. XI.	<i>Déterminer les Lieux de la Terre qui verront une Eclipse de Soleil proposée ; & quels sont les endroits où elle paroîtra centrale ou partielle.</i>	65
CHAP. XII.	<i>Préparation au Calcul des Eclipses des Etoiles fixes par la Lune.</i>	75
CHAP. XIII.	<i>Détermination des Eclipses des Etoiles fixes par la Lune, & de leurs Phases.</i>	80
CHAP. XIV.	<i>Du vrai lieu des Planetes.</i>	89
CHAP. XV.	<i>Des moyens mouvements des Satellites de Jupiter.</i>	99
CHAP. XVI.	<i>Des moyens mouvements des Satellites de Saturne.</i>	116

TABLES ASTRONOMIQUES

DES MOUVEMENTS

DU SOLEIL, DE LA LUNE,

ET DES AUTRES PLANETES;

ET DE

LA POSITION DES ETOILES FIXES, &c.

Au Méridien de l'Observatoire Royal de Paris.

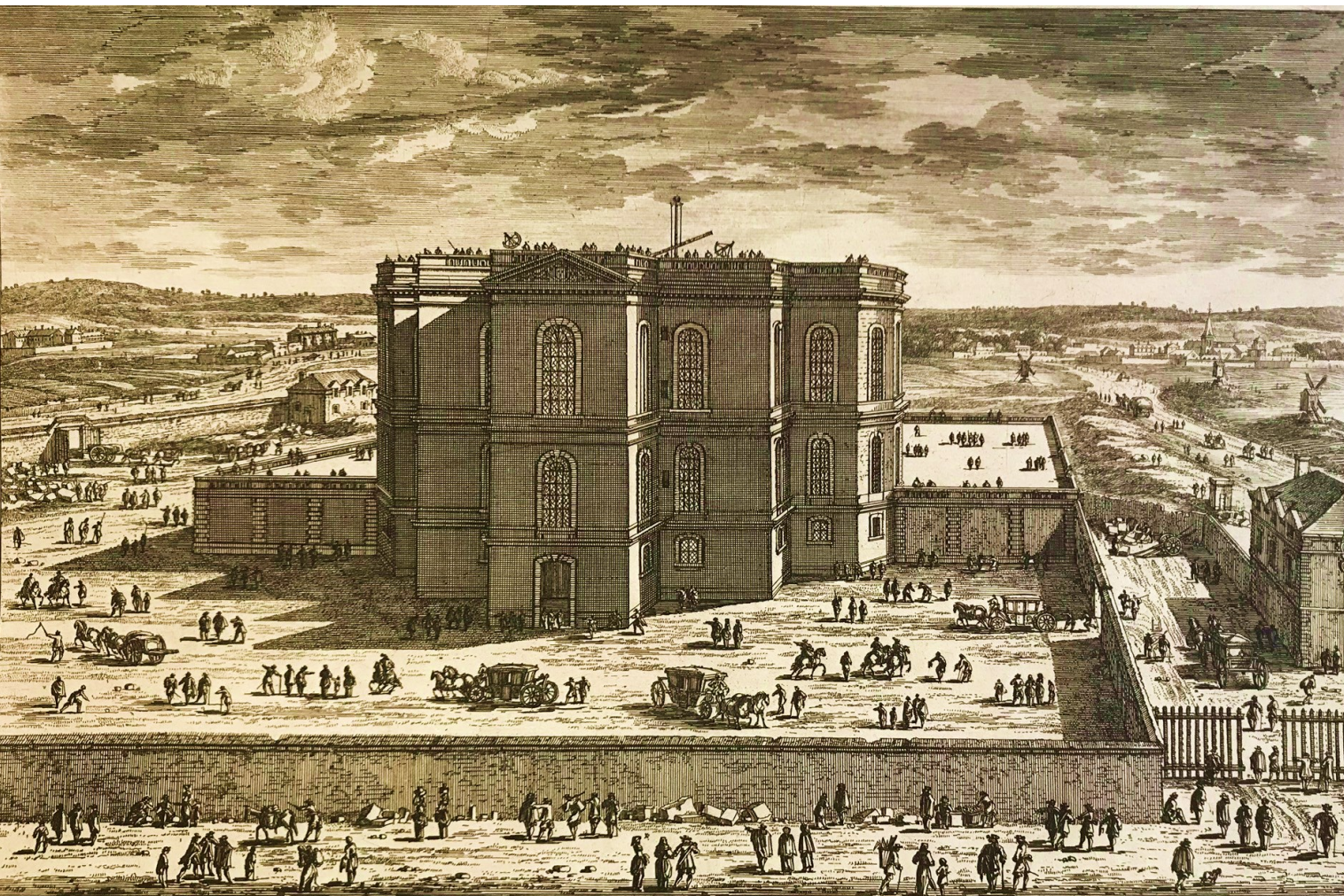
TABLE PREMIERE.

*DE LA DIFFERENCE DES MERIDIENS
entre l'Observatoire Royal de Paris & les principaux lieux
de la Terre ;*

AVEC LEUR LATITUDE OU HAUTEUR DU POLE.

NOMS DES LIEUX.	Différence des Méridiens						LATITUDES ou Hauteurs du Pole.			
	En Temps.			En Degrés.						
	H.	M.	S.	D.	M.	S.	D.	M.	S.	
Abbeville	0	1	48	Occ.	0	27	0	50	7	0
Agde	0	4	33	Or.	1	8	15	43	19	0

En el volumen dedicado a las tablas astronómicas, se exponen un total de ciento veinte y dos, si bien se explica con anterioridad como se formaron y cual debe ser el modo de usarlas, dedicándose a ello un total de dieciséis capítulos.



Vista del Observatorio de París, en tiempos de Cassini II

Las contribuciones científicas de Jacques Cassini fueron más allá de la astronomía y de la geodesia, escribiendo artículos en los que aplicó sus conocimientos matemáticos a la electricidad, a la presión atmosférica y a la óptica. A partir del año 1740 se retiró de la vida pública, pero sin dejar de ayudar a su hijo en su ambicioso proyecto de formar un Mapa de Francia. Volviendo a la controversia sobre la figura de la Tierra, es evidente que se empeñó en defender el modelo equivocado, pero eso no es óbice para reconocer que su aportación al progreso de la ciencia resulta incontestable; ya que sin debate nunca se produciría.

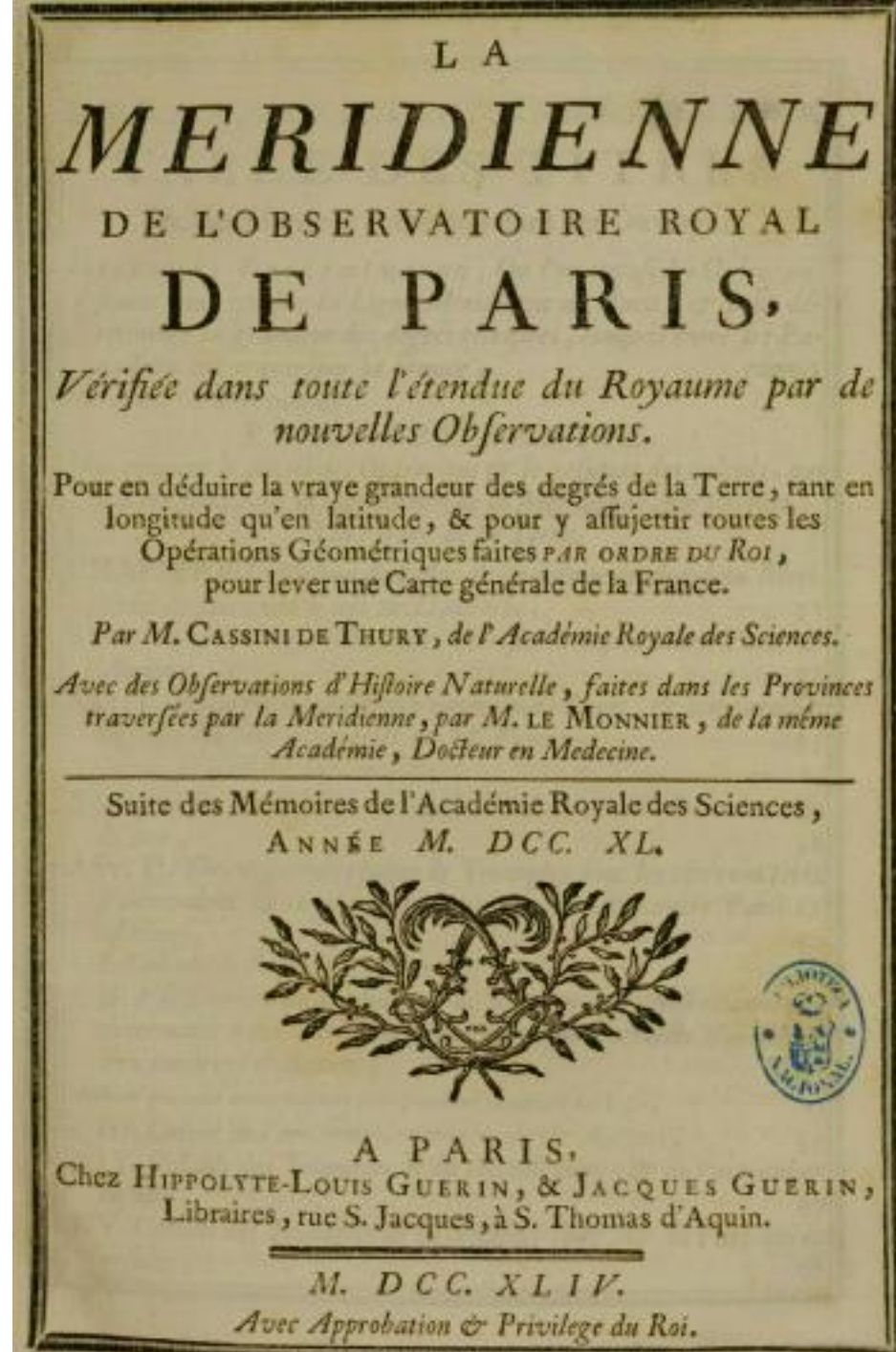


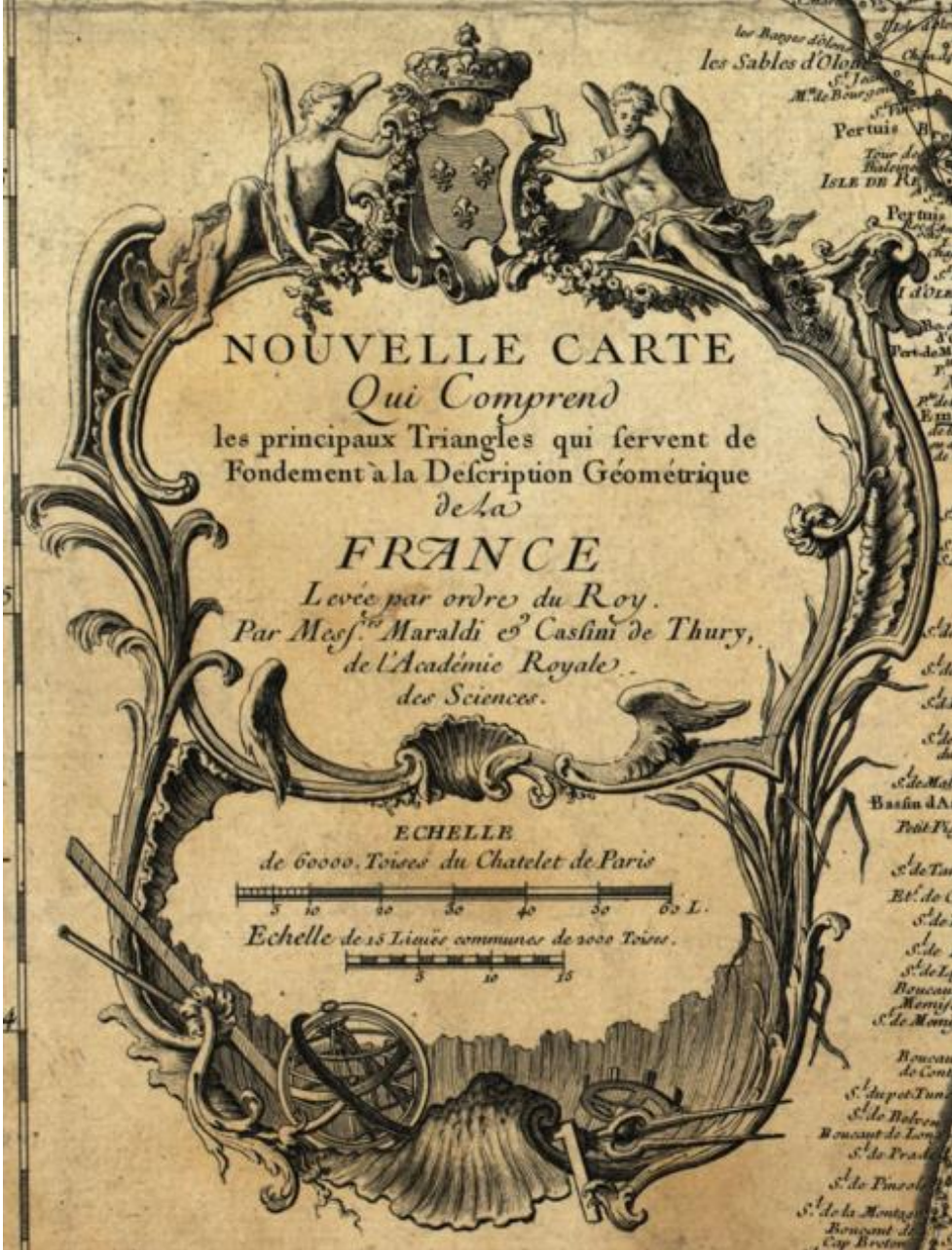
César François Cassini de Thury (1714-1784)

Hijo y nieto de astrónomos, primer director del Observatorio de París (1771), fue miembro de la Royal Society, del Instituto de Bolonia, así como de las academias de Berlín y Munich. Obligado como estaba a seguir la tradición familiar, no defraudó en absoluto, pues con apenas diez años ya calculó las fases del eclipse total de Sol, que se esperaba para el año 1727. Su ingreso en la Academia de Ciencias, como adjunto supernumerario, se produjo en el año 1735. Sus primeros trabajos de campo tuvieron como objetivo la verificación del meridiano del Observatorio, como colaborador de su padre; sobresaliendo igualmente la que le prestó en la triangulación perpendicular al meridiano anterior, la cual discurrió primeramente hacia el Oeste de París y luego hacia el Este, para alcanzar Estrasburgo. Es probable que cuando Maupertuis anunciase en agosto de 1737 el aplastamiento polar de la Tierra,

Cassini III se sintiese incómodo y decidiera involucrarse de lleno en la polémica para arrojar más luz sobre ese particular. Para ello trianguló de nuevo el meridiano de París, entre 1739 y 1740, con criterios más modernos y proyectando nuevos vértices; publicando sus resultados en el año 1744, dentro de una de las obras más comentadas en la historia de la geodesia: *La méridienne de l'Observatoire royal de Paris vérifiée dans toute l'étendue du royaume par de nouvelles observations. Pour en déduire la vraie grandeur des degrés de la Terre, tant en longitude qu'en latitude, & pour y assujettir toutes les Opérations Géométriques faites par ordre du Roi, pour lever une Carte général de la France.*

El resultado que obtuvo no se prestaba a confusión, él mismo así lo expuso: «...D'où il paroît avec évidence, que les degrés du Meridien décroissent sensiblement en approchant vers l'Equateur...» (página 112); «Puisque les degrés du Meridien décroissent en approchant vers l'Equateur, il est clair que la terre doit être aplatie vers les Poles; mais cet aplatissement paroît peu considérable» (página 113). Aunque la conclusión de Cassini fuese tan contundente, su interés primordial por la geodesia se limitaba a usar los triángulos geodésicos como armazón en que debería apoyarse el Mapa de Francia; una empresa en la que estaba empeñado desde tiempo atrás, como quedó puesto de manifiesto en el título de la obra citada. En efecto, los vértices de los triángulos serían puntos fundamentales para el levantamiento topográfico de todo el territorio nacional; el matemático y filósofo Nicolas Condorcet (1743-1794) diría años después que jamás se había planteado en la geografía un proyecto tan vasto y de tanta utilidad. A su juicio, esa era la base absolutamente necesaria para llegar a conocer a Francia con el detalle debido. Los mapas así formados serían el marco referencial para el estudio global de cuestiones como la altimetría, el abastecimiento de aguas, el asentamiento de la población, los límites municipales o de diferentes administraciones, los intercambios comerciales, y tantas otras.





La ejecución de un proyecto de ese tipo requería un desembolso considerable, que al final no se pudo conseguir; con la consabida ralentización de los trabajos. Cassini trató de solventarla de forma privada, pero tropezó con otros inconvenientes no menores, como el hecho de que la captación de la información geográfica del interior de cada triángulo se asignaba a operadores diferentes, de manera que: «l'exactitude de toutes les cartes ne pouvoit être la même, les coopérateurs ne pouvoient avoir ni la même intelligence, ni le même zèle». En los años siguientes (1746-1747) Cassini III se trasladó a los Países Bajos para confeccionar el mapa de los mismos, a escala aproximada de 1/86400. Cuando volvió a Francia y le enseñó al Rey aquellos mapas tan detallados, de inmediato recibió el encargo de hacer otros similares para Francia; comprendiendo que podrían ser de gran utilidad militar en caso de guerra, como la que se mantenía con Austria. Las hojas previstas para Francia fueron 182, estimando que se tardaría en ultimarlas unos 20 años; el Rey aceptó el reto y ordenó que se financiase el proyecto, comenzando el entrenamiento de los equipos encargados de hacerlo efectivo. En el año 1750 se iniciaron los levantamientos, pero hubo que suspenderlos pasados seis años; el Rey decidió que el presupuesto destinado a los trabajos cartográficos había que destinarlo a otras necesidades más perentorias.

Nouvelle Carte qui comprend les principaux triangles qui servent de Fondement à la Description Géométrique de la France. En sus diferentes ediciones se incluyó el año en que se presentaron.

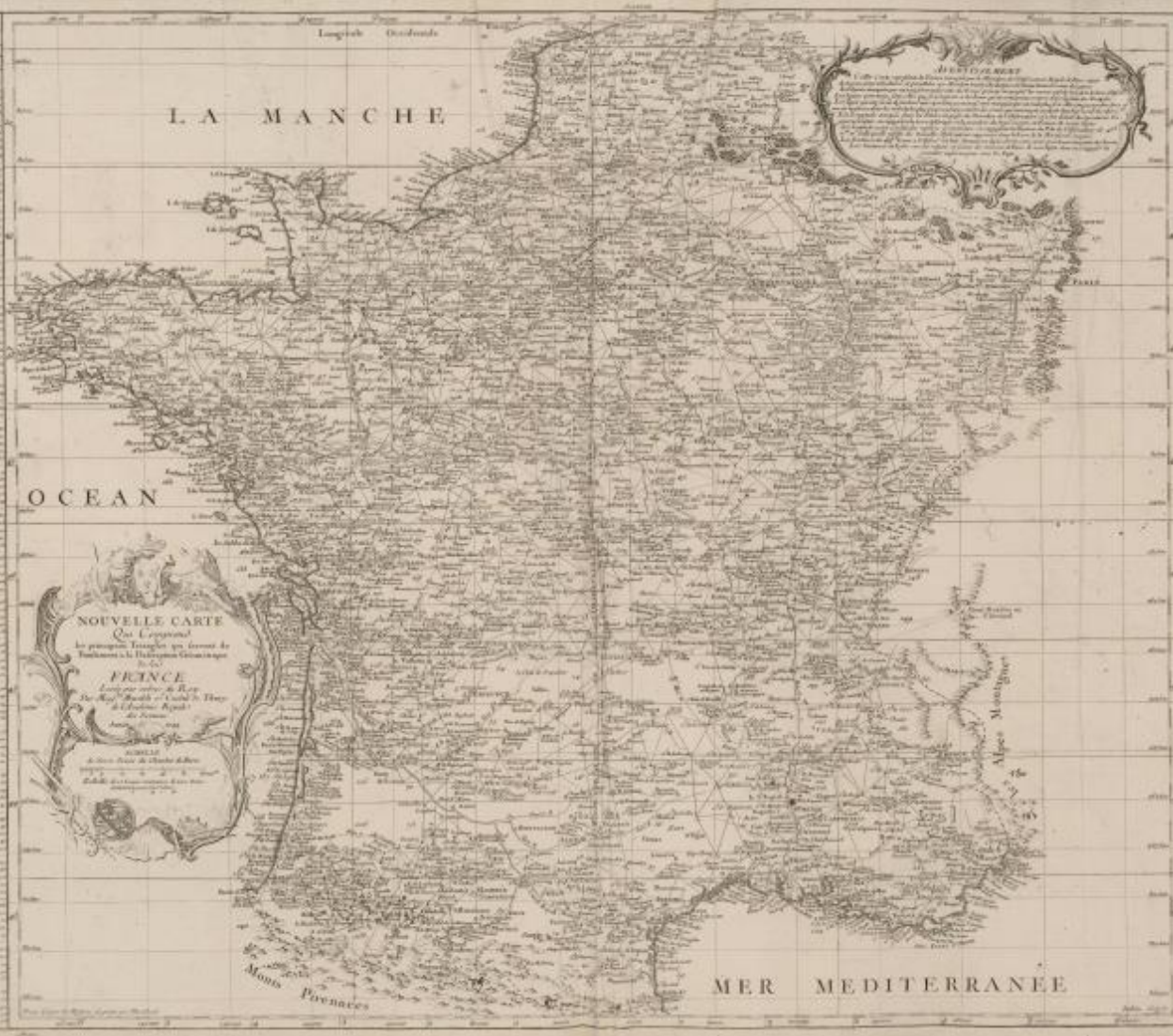


DESCRIPTION
GÉOMÉTRIQUE
DE LA FRANCE.

TABLE DES MATIERES.

E Pitre Dédicatoire,	page	3	Parallele à 60 & 120 m. à l'Occident, p.	151
Discours préliminaire,		5	Description du Méridien de Rennes,	158
P REMIERE PARTIE,		9	Longit. & lat. des villes Episcopales,	168
S ECONDE PARTIE,		12	— des villes étrangères,	173
Lat. & long. de l'Observatoire,	20 &	23	Parallaxe du Soleil,	175
Obliquité de l'écliptique,		21	Détail des clochers de Paris,	178
Variation de l'obliquité,		22	Table des rivières de la France,	180
Longitude & latitude des Villes,		23	Vérification des instrumens astronom.	185
Méthode pour le calcul,		<i>ibid.</i>	Comparaison du quart de cercle,	187
Observations à Saint-Mathieu,		25	Comparaison de l'instrument de l'Observ.	
— au moulin de la Piaudiere		26	à celui de M. Bergeret,	<i>ibid.</i>
Comparaison des observations,		27	Vérificat. des instrumens horizontaux,	188
Description des dix-huit bafes,		30	Distances des Etoiles fixes,	190
De la Méridienne de l'Observatoire,		33	Projet de la Carte de France,	194
Perpendiculaire,		41	Acte d'association & nouv. associés,	196
— à 60 mille toises,		65	M. le Duc de Choiseul = M. la Condamine	
— à 120 mille,		85	= le Préfident Sarron, Directeur = M.	
— à 180 mille,		98	de Montigny = M. Capitaine = M. le	
— à 240 mille,		109	Duc de Bouillon = M. de Lisle = M.	
— à 300 mille,		121	Prévost.	
— à 60 mille au Nord,		135	Projet de souscription,	200
Parallele à 60 & 120,		144	Instruction pour les Ingénieurs,	202
— à 60 à l'Orient,		145	Sur le Nivellement,	206

En el año 1783 publicó Cassini III su libro *Description géométrique de la France*, en cuyo índice de capítulos se van detallando todos los aspectos científicos del proyecto, incluyendo asimismo el modelo para contribuir a la financiación de la empresa, las instrucciones a los ingenieros y otras consideraciones sobre la nivelación. Cassini tuvo la satisfacción de haber visto editadas la práctica totalidad de las hojas del mapa (solo le faltaron dos de las 182 previstas), siendo su hijo Dominique el encargado de dar por finalizado el proyecto; en el que colaboró durante los diez años anteriores.

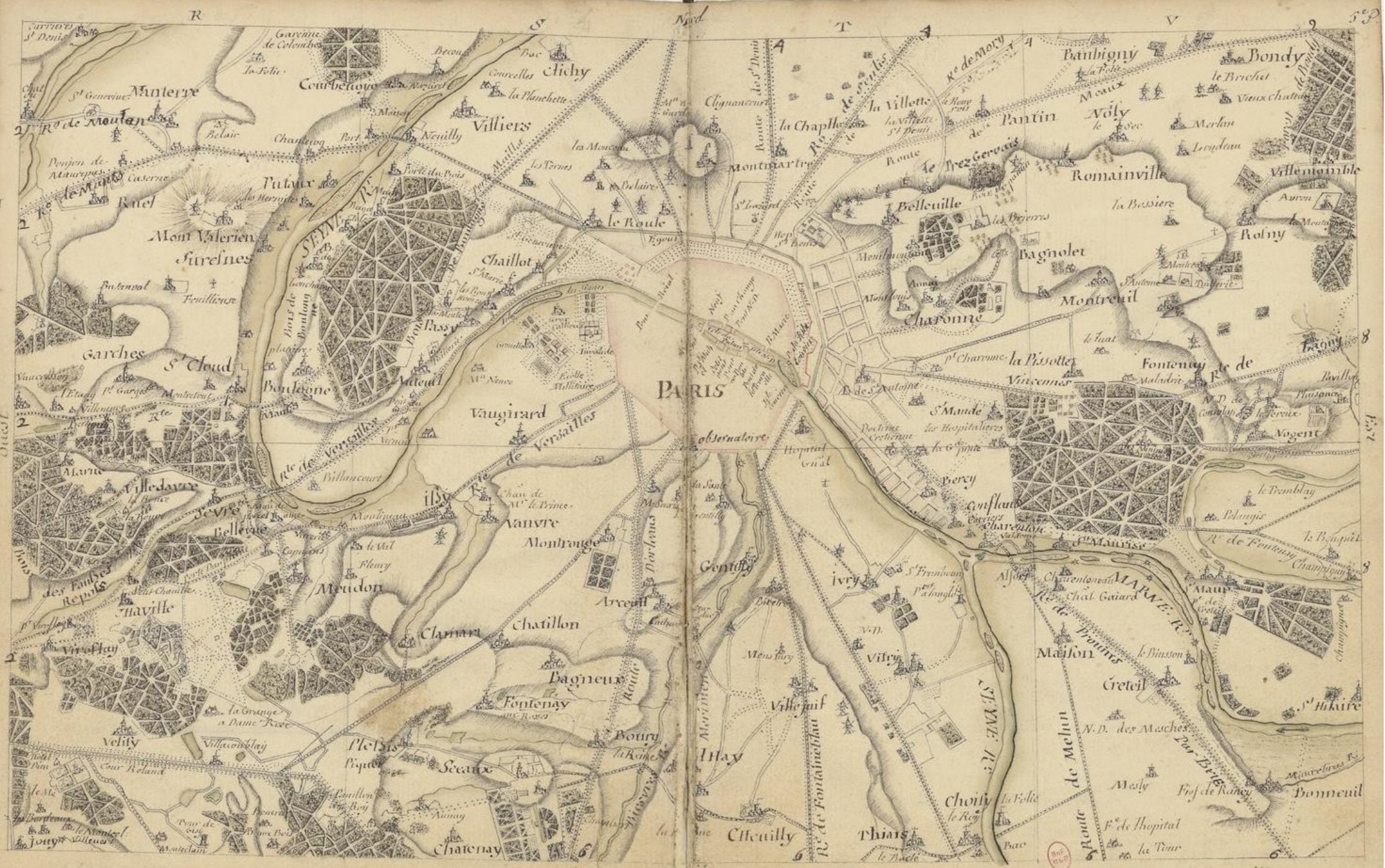


A todo lo largo del proceso, Cassini no dejó de publicar mapas de conjunto para marcar la evolución de los trabajos; incluyendo siempre las cadenas geodésicas establecidas a lo largo de meridianos y paralelos. Generalmente aparecía la imagen de Francia enmarcada por cuatro columnas (dos a cada lado), con el listado alfabético de sus principales ciudades, indicando en cada una de ellas su latitud y longitud, además de su distancia al Observatorio de París, expresada en toesas y en leguas. En el que aquí se reproduce, añadió en sus esquina Noreste una advertencia a modo de aclaración: «Este mapa representa a Francia atravesada por el meridiano del Observatorio Real de París y por líneas perpendiculares y paralelas a ese meridiano, separadas unas de otras por una distancia de 600 toesas...Las 17 bases que han servido de fundamento a las operaciones geométricas se han representado con segmentos de

trazo más grueso...la longitud fijada en las tablas se refieren al Observatorio y han sido deducidas a partir de las triangulaciones, en el supuesto de Tierra esférica y con un desarrollo para el grado de 57060 toesas...las distancias de los diferentes lugares al Observatorio, se consideran en línea recta, sin tener en cuenta las sinuosidades de los caminos».

Previa a la impresión de las hojas fue el grabado de las planchas de cobre, publicándose los primeros ejemplares en blanco y negro, aunque algunos fuesen luego coloreados a mano. Se cuenta que a la reina María Antonieta les gustaban tanto que las pidió en color, para llevarlas siempre consigo durante sus viajes. La escala del dibujo fue una línea por cien toesas, equivalente a la numérica de $1/86400$ ya sabida. Sus coordenadas rectangulares se refirieron al meridiano parisino y a su perpendicular, figurando en las esquinas de cada hoja. Se representaron las invariantes paisajísticas: pueblos, villas, aldeas, castillos, ermitas, caseríos; así como los caminos y ríos. Uno de los principales defectos de este mapa de Cassini, fue la inadecuada representación del relieve, pues aún no estaba generalizado el empleo de las curvas de nivel. Se concluyen estos comentarios con otros que pretenden homenajear a los topógrafos e ingenieros que colaboraron estrechamente con Cassini III. Su equipo instrumental estuvo constituido por planchetas, grafómetros, cuartos de círculo y brújulas. Con ellos observarían los tres ángulos de cada triángulo y darían vueltas de horizonte en todos los vértices en que estacionaron. Prestaron especial atención a la recopilación de topónimos, asesorándose en su caso por los lugareños (párrocos incluidos). Finalizados los trabajos de campo, comenzó el proceso de datos, continuado con el dibujo de la correspondiente minuta; entregando a Cassini III la totalidad de la documentación.





(1760)

Jean Dominique Cassini (1748-1845)

El auto proclamado Conde de Cassini, o Cassini IV, fue el último astrónomo de la dinastía creada por su bisabuelo, de igual nombre. Como su padre, perteneció a la Academia de Ciencias de París y al Instituto de Bolonia, también como sucedió con él, nació en el Observatorio y fue nombrado director del mismo (1784). El 14 de febrero de 1794 se vio obligado a abandonarlo, tras haber sido denunciado por el comité revolucionario de Beauvais. Ese mismo día fue arrestado y encarcelado por los revolucionarios en el convento de los benedictinos ingleses. En él permaneció siete meses, trasladándose al ser liberado (5 de agosto de 1794) al castillo familiar de Thury.



MAISON D'AREST DES BENEDICTINS ANGLAIS,

RUE DE L'OBSERVATOIRE, 229.

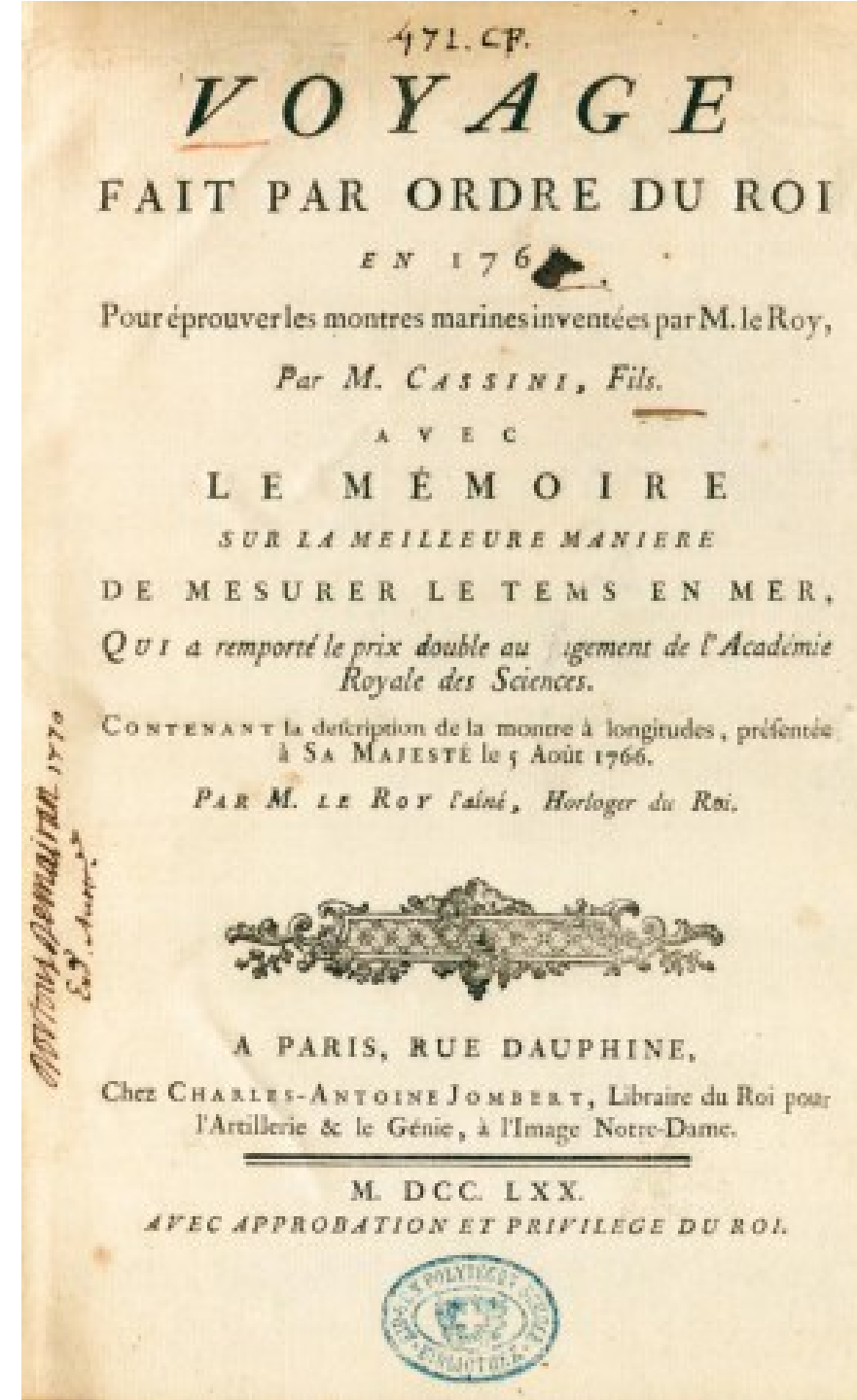
Extrait de l'écroux du citoyen Jean-Dominique Cassini âgé de 44 ans — Natif de Paris, homme de lettres—*Rue Jacques en face Lobservatoire*—arrêté comme suspects le 26 pluviôse; par ordre des membres du Comité révolutionnaire de la section de Lobservatoire.

Fait au greffe de laditte maison darest des Benedictins Anglais ce sept thermidor lan 2^e de la République une et indivisible.

Pour copie conforme,

GROU, secrétaire.

Las aportaciones científicas de Cassini IV fueron de menor entidad que las de sus predecesores, aunque haya dos que son dignas de ser recordadas. En el año 1768 recibió la orden real de emprender viaje para probar los relojes marinos que habían sido fabricados por Pierre Le Roy (1717-1785). Una vez concluido realizó el correspondiente informe, incluyendo en el mismo una memoria sobre la mejor manera de medir el tiempo en el mar; por la cual recibió un doble premio de la Academia de Ciencias. En la segunda parte de dicho informe (pp.76-87) se explicaron las medidas que efectuó en el Observatorio de Cádiz, en donde instaló sus instrumentos en el mañana del día 15 de septiembre de ese año 1768. Las observaciones las efectuó durante el resto de ese mismo mes, siendo auxiliado por los tenientes de navío Doz y Medina, los cuales midieron las alturas meridianas del Sol con un cuarto de círculo inglés de dos pies de radio. Tales observaciones no solo le permitieron analizar la marcha y el estado de los relojes de Le Roy, sino que también pudo calcular los errores asociados a los mismos con relación a la longitud de Cádiz. Merece ser subrayada la nota adicional de Cassini, por el estudio histórico que hizo sobre la longitud de su observatorio ($\approx 33^m 48^s$), en el que mencionó con respeto la estancia en el mismo de L. Godin.



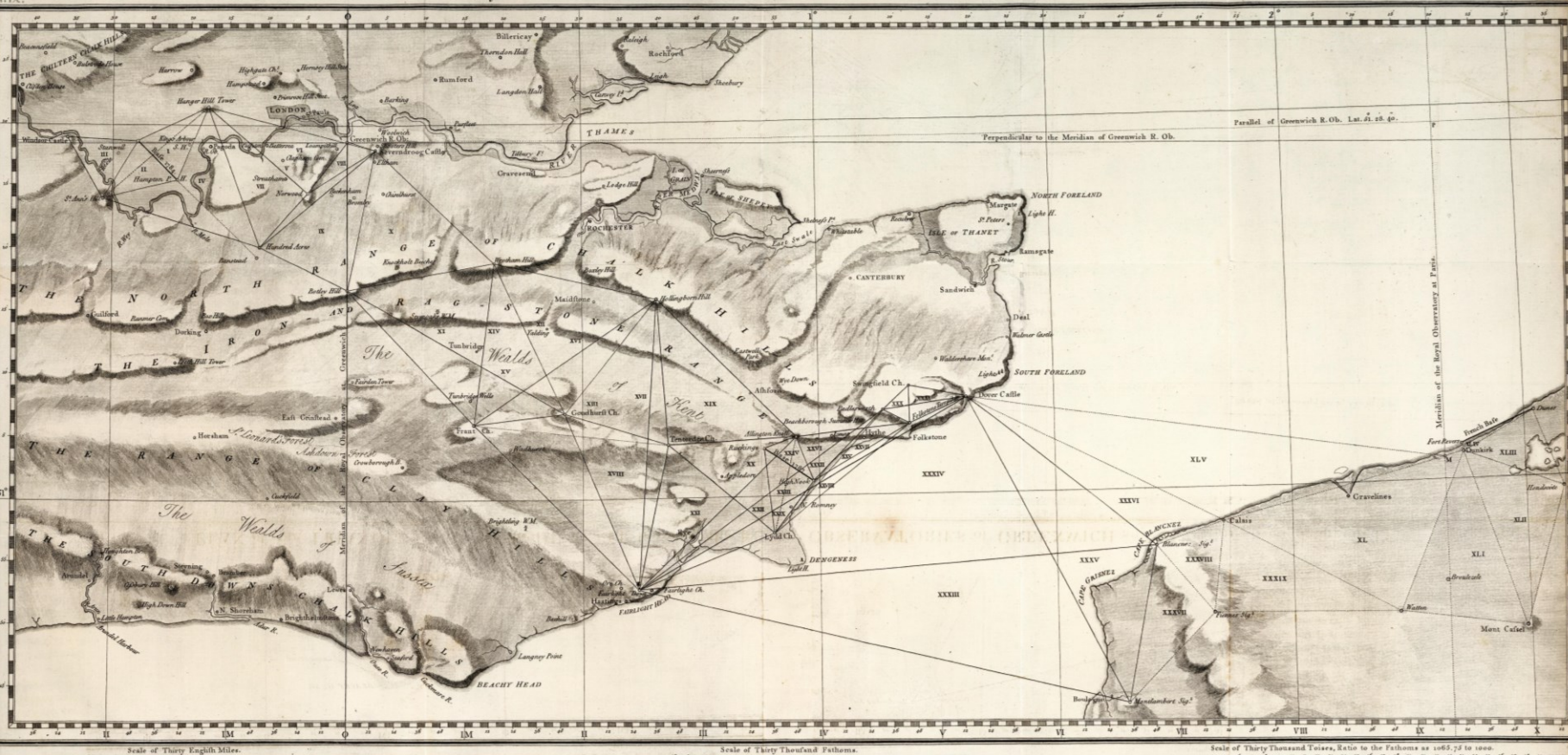


Vista de la rada en la Isla de San Pedro y Miquelón (La Unión)



Vista de Salé

En el informe de Cassini se recogen las medidas que realizó en el archipiélago de la Unión, frente a Terranova, en la ciudad marroquí de Salé y en Brest, acompañándolas en ocasiones con bellas vistas panorámicas. La segunda contribución científica fue de mayor enjundia, pues exponía el enlace astronómico entre los observatorios de Greenwich y París; un tarea sobresaliente en la que participaron también (por parte de Francia) P. Mechain y A.M. Legendre. Los tres firmaron la publicación siguiente: *Exposé des opérations faites en France, en 1787, pour la jonction des observatoires de Paris et de Greenwich* (Paris, ca.1792). En su introducción se reconoció el papel tan relevante que jugó Cassini III, firme partidario del enlace. La base geodésica de la operación fue una cadena de triángulos que unió Londres con el castillo de Dover, la cual se uniría a la establecida en el entorno de Dunkerque y por tanto a la del meridiano de París; de ese modo se pudo hallar, con inexactitud de algunas toesas, la posición respectiva de las dos capitales y la de los dos observatorios más renombrados de Europa.



EXPOSÉ DES OPÉRATIONS
FAITES EN FRANCE EN 1787,
POUR LA JONCTION DES OBSERVATOIRES
DE PARIS ET DE GREENWICH.

El general W. Roy, usando los instrumentos contruidos por J. Ramsdem, sería el responsable del proyecto en el lado inglés. En el verano del

año 1784 ya se midió la primera base en la planicie de Hounslow Heat, al Sudoeste de Londres. La comparación de los resultados lineales y angulares proporcionados por los equipos de cada país, ofreció un acuerdo tan ajustado, que los dos se pronunciaron así: «...de la precisión dont sont susceptibles les opérations géodésiques faites avec de bons instruments, et avec le soin et l'intelligence nécessaires». El resultado definitivo de la Longitud del Observatorio Real de Greenwich, con relación a su homólogo de París, fue el siguiente:

Hipótesis I) $2^{\circ} 19' 29''.2$ ($0^h 9^m 18.6^s$), Hipótesis II) $2^{\circ} 20' 9''.4$ ($0^h 9^m 20.6^s$), al Oeste en ambos casos

MÉMOIRES

POUR SERVIR A L'HISTOIRE DES SCIENCES

ET A CELLE

DE L'OBSERVATOIRE ROYAL

DE PARIS,

SUIVIS DE LA VIE DE J.-D. CASSINI,

ÉCRITE PAR LUI-MÊME,

ET DES ÉLOGES

DE PLUSIEURS ACADÉMICIENS

MORTS PENDANT LA RÉVOLUTION;

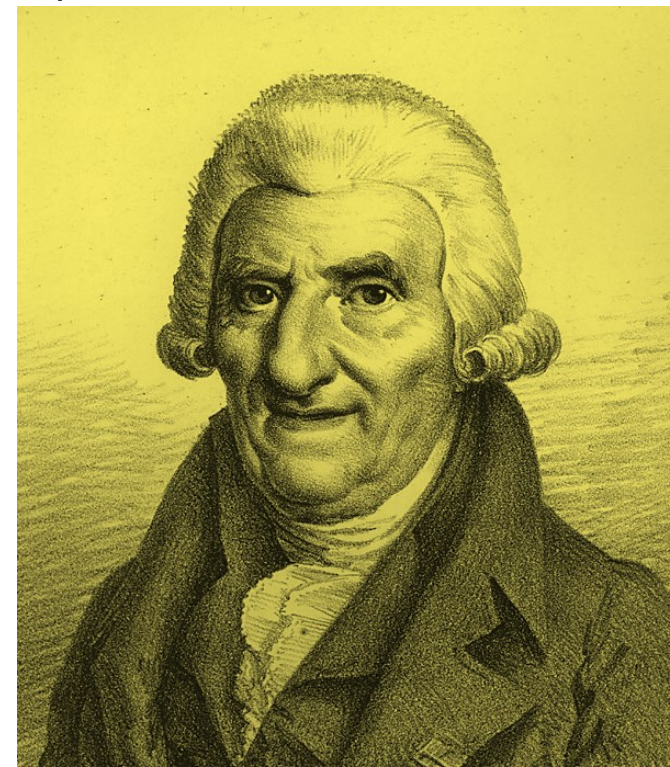
PAR J.-D. CASSINI, *ci-devant Directeur de l'Observatoire royal de Paris et
Membre de l'Académie Royale des Sciences; de l'Institut et de la Légion
d'Honneur.*

A PARIS,

CHEZ BLEUET, successeur de JOMBERT, fils aîné, Libraire,
rue de Thionville, N° 18.

1810.

Cassini IV colaboró muy activamente con su padre en la formación del Mapa de Francia, publicando de hecho sus dos últimas hojas. Otra de sus publicaciones más meritorias fue la que hizo sobre la historia del Observatorio de París, en el año 1810, indicando sus numerosos y valiosos servicios prestados al progreso de las ciencias. Con la llegada de la revolución participó en las actividades cartográficas relacionadas con las nuevas divisiones administrativas. En el año 1791 se integró en la comisión de la Academia encargada del nuevo sistema metrológico, no obstante, su fuerte compromiso con la monarquía le enfrentó con los revolucionarios, como ya quedó dicho. Enrocado en su postura, rechazó su nominación al *Bureau des Longitudes* a finales de 1795 y a la Sección de Astronomía del nuevo *Institut National*, en enero de 1796; años después reconsideró su posición y aceptó integrarse en el Instituto, sin conseguirlo en el *Bureau*.





Henry Cavendish (1731-1810)

Personaje excéntrico, con una de las mentes más preclaras del siglo XVIII, que estudió en la universidad de Cambridge, pero sin llegar a graduarse. Ello no impidió que efectuase descubrimientos en el campo de la química y de la física, que fueron trascendentales para el desarrollo científico. Desde muy joven asistía a las reuniones de la Royal Society, en la que ingresó en el año 1803, habiendo recibido la prestigiosa medalla Copley muchos años atrás (1766). En el año 1773 heredó una cuantiosa fortuna que le permitió continuar estudiando e investigando en todo lo relacionado con la historia natural; su vida debió ser tan desahogada, que J.B. Biot dijo de él que era el más rico de los sabios y posiblemente el más sabio de todos los ricos. En el año 1766 se publicó en la Royal Society su primer trabajo: *Three papers, containing experiments on factitious air*, en el que anunció el descubrimiento del aire inflamable, al que A. Lavoisier llamó hidrógeno, y el de su densidad.

Suyos fueron también los primeros estudios rigurosos sobre la composición de la atmósfera: con una parte de *dephlogisticated air* (oxígeno) y cuatro de *phlogisticated air* (nitrógeno). En el año 1784 dedujo que el agua era una combinación de hidrógeno y oxígeno.

De entre las muchas curiosidades científicas que tenía H. Cavendish, interesa exponer aquí la referida a la densidad de la Tierra; como demuestra la comunicación que presentó a la Royal Society en el año 1798:

Experiments to determine the Density of the Earth; mostrando en él que, antes de su preparación, estaba al corriente de las observaciones que habían realizado N. Maskelyne y C. Hutton en la montaña escocesa de Schiehallion, tratando en ambos casos de hallar tal densidad. El propio Cavendish reveló que años antes había escrito al sacerdote John Michell (1724-1793), comentándole la posibilidad de llevar a cabo otra medida

del peso de la Tierra, pues sabía que este había construido un instrumento con el que hacerlo (luego conocido con el nombre de balanza gravitacional o de torsión, balanza de Michell o balanza de Cavendish); el cual le fue entregado por John Hyde Wollaston (1776-1828).

Received May 12, 1766.

XIX. Three Papers, containing Experiments on factitious Air, by the Hon. Henry Cavendish, F. R. S.

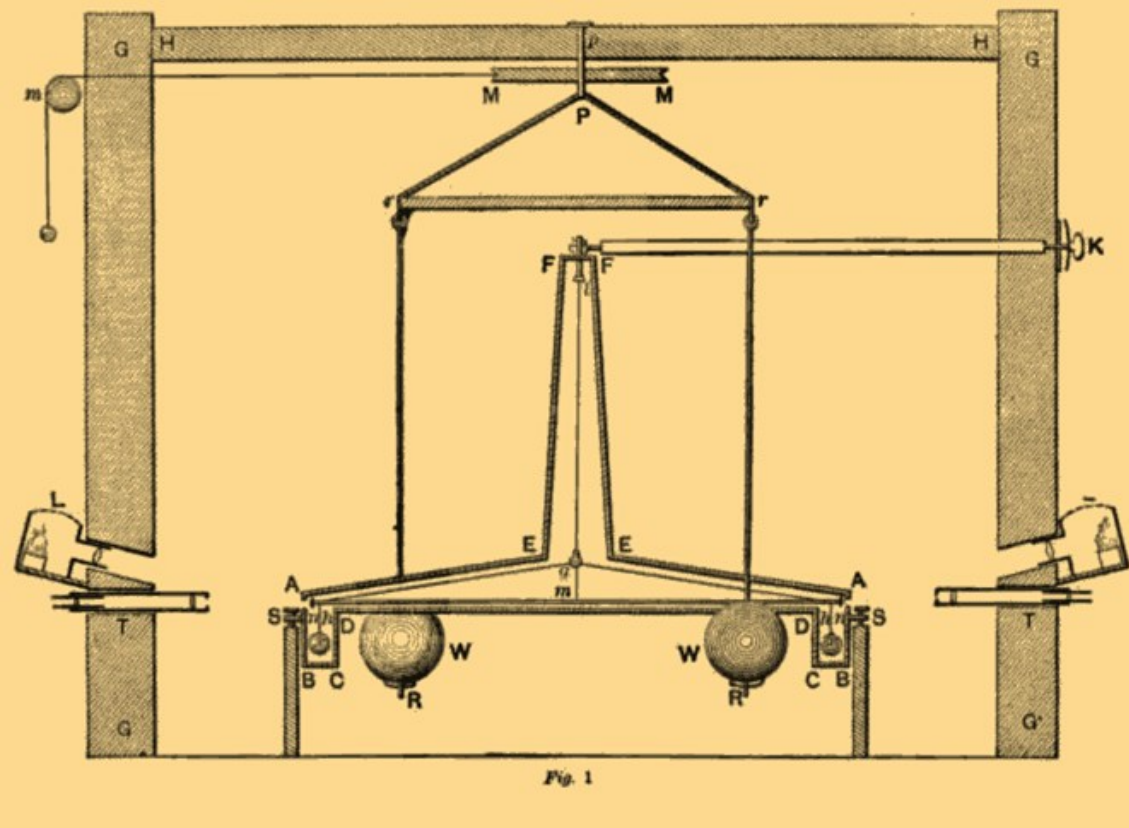
Read May 29, Nov. 6.
and Nov. 13, 1766.

BY factitious air, I mean in general any kind of air which is contained

XXI. Experiments to determine the Density of the Earth. By Henry Cavendish, Esq. F. R. S. and A. S.

Read June 21, 1798.

MANY years ago, the late Rev. JOHN MICHELL, of this Society, contrived a method of determining the density of the earth, by



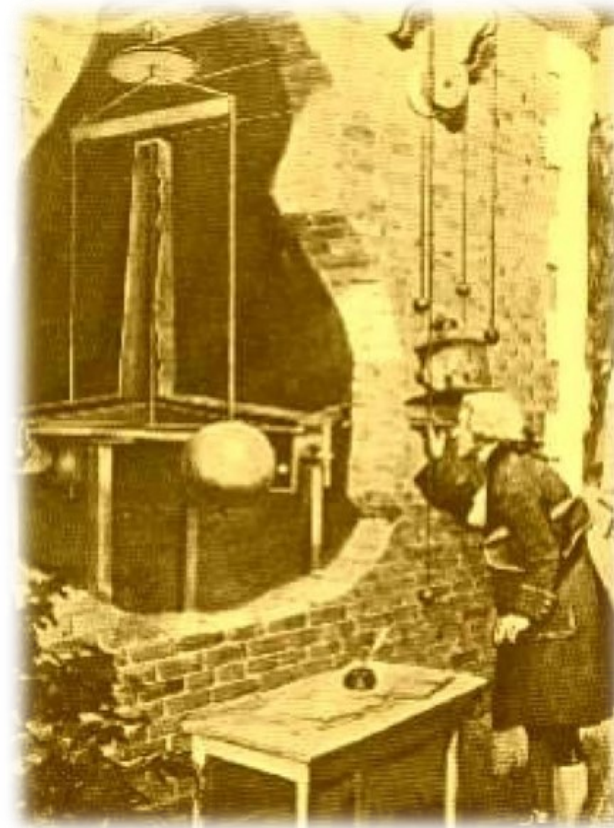
El instrumento, más tarde mejorado por Cavendish, constaba esencialmente de una barra de madera, de seis pies de largo, suspendida horizontalmente desde su centro, con un hilo de 40 pulgadas de longitud, que llevaba en cada uno de sus extremos una esfera de dos pulgadas de diámetro y 1.61 libras. Otros elementos fundamentales, para el éxito del experimento, fueron dos esferas de 12 pulgadas de diámetro, con una masa de 158 kg, situadas a tan solo 9 pulgadas de las dos anteriores. El fin último que se pretendía era determinar el valor de la atracción entre las esferas pequeñas y las grandes. Las esferas mayores se podían hacer girar desde exterior de la sala que albergaba el instrumento, colocándolas alternativamente a uno y otro lado de la citada barra. La

atracción mutua se manifestaba por la torsión del hilo que suspendía la barra, así como en el giro consiguiente de la misma, el cual se podía observar desde el exterior a través de sendos anteojos instalados en dos aberturas de las paredes laterales del recinto. El cálculo de dicha atracción se efectuaba precisamente en función de esa desviación angular, pudiendo obtener la ejercida por la Tierra pesando directamente la masa afectada; de manera que la relación entre ambas permitiría, como ya se dijo, determinar el valor de la densidad terrestre (Aunque Cavendish hablase del peso de la Tierra, con su celebrado experimento solo halló su densidad media, o gravedad específica, es decir la relación entre la densidad de la Tierra y la del agua). El experimento de Cavendish comenzó realmente en el año 1797, publicándose sus resultados al año siguiente como ya se dijo.

La tabla resumen del experimento incluida en su comunicación a la Royal Society mostraba un total de 29 valores de la densidad relativa de la Tierra (con relación a la del agua), cuyo rango de variación oscilaba entre 4.88 y 5.85. El promedio de tales valores fue de 5.448 ± 0.033 , aunque Cavendish se confundiese en el cálculo y lo fijase en 5.48 ± 0.038 . A título anecdótico, parece obligado señalar que es demasiado frecuente la asociación de su nombre a la determinación de la constante de gravitación universal mediante la balanza de torsión, cuando lo cierto es que con su experimento ni obtuvo ese valor ni el de la masa de la Tierra. Es más, una de las primeras referencias a esa

constante data del año 1873, es decir setenta y cinco años después de que se realizara aquel .

LAS MEDIDAS DE HENRY CAVENDISH			
Experimento	Densidad	Experimento	Densidad
1	5.50	16	5.34
2	5.61	17	5.79
3	4.88	18	5.10
4	5.07	19	5.27
5	5.26	20	5.39
6	5.55	21	5.42
7	5.36	22	5.47
8	5.29	23	5.63
9	5.58	24	5.34
10	5.65	25	5.46
11	5.57	26	5.30
12	5.53	27	5.75
13	5.62	28	5.68
14	5.29	29	5.85
15	5.44	Fuente Ch. Hutton	



Henry Cavendish observando la balanza.

Henry Cavendish mostró también interés por los levantamientos topográficos y geodésicos, no conviene olvidar que participó, junto al general W. Roy en el reconocimiento (16.4.1784) de la base geodésica de Hounslow-Heath en la que se apoyarían los levantamientos trigonométricos de Inglaterra y Gales, efectuados entre los años 1784 y 1796.

Bronze plaque erected in 1904 by the Bedford Estate, in response to a London County Council suggestion, at 11 Bedford Square, Bloomsbury, London WC1B 3RF, London Borough of Camden



DISTINGUISHED BRITISH MEN OF SCIENCE 1807-1808



HENRY CAVENDISH

ASAMBLEA EN LA BIBLIOTECA DE LA ROYAL INSTITUTION (LONDRES)



Anders Celsius (1701-1744)

La vocación astronómica de este geodesta sueco resultó obligada, puesto que tanto su padre como sus dos abuelos (materno y paterno) fueron profesores de astronomía en la universidad de Uppsala; un puesto que él también acabaría desempeñando desde el año 1730 al 1744. Sin embargo, es más conocido por la escala que lo asocia a la medida de la temperatura. Aunque el termómetro ya había sido ideado muchos años atrás, y se conocían las escalas propuestas tanto por Daniel Gabriel Fahrenheit (1686-1736) como por René Antoine Ferchault de Réaumur (1683-1757), Celsius construyó un termómetro en 1741 que resultó ser más exacto que los que le precedieron: en su escala de 100 grados, el 0 correspondía al punto de ebullición del agua y el 100 a su punto de congelación. Tras fallecer este, se invirtió la escala centígrada y se creó la que hoy es cotidiana; aunque se la ha achacado la reforma a Carl von Linné (1707-1778), al parecer fue uno de los fabricantes de instrumentos de la Real Academia Sueca de Ciencias el que tuvo la idea.

Su primera aportación astronómica se publicó en el año 1730, esto es cuando comenzaron sus clases de astronomía en la universidad de Uppsala, proponiendo en la misma un nuevo método para determinar la distancia de la Tierra al Sol (*Dissertatio de Nova Methodo Distantiam Solis a Terra Determinandi*). Dos años después emprendió un viaje de cuatro años por Europa, para completar su formación y visitar los observatorios más significativos; pensando en construir otro análogo en Suecia. Durante su estancia en Nuremberg (1733) hizo pública su colección de 316 observaciones de auroras boreales y de otros fenómenos afines, realizadas por él y sus colaboradores entre los años 1716 y 1732. Tras recorrer Venecia, Bolonia y Roma, llegó a París en el año 1734. Allí coincidió con P. Maupertuis, que fue su tutor, y con astrónomos del Observatorio de París, colaborando en sus observaciones. En aquella época alcanzaba su punto álgido la controversia entre newtonianos y cartesianos, acerca de la figura de la Tierra: mientras que la teoría gravitacional de Newton preveía un globo achatado por los polos, los torbellinos de descartes defendían justo lo contrario, un globo alargado por los polos y achatado por el ecuador; un segundo modelo que parecía

B. C. D.
NOVA METHODUS
DISTANTIAM
SOLIS à TERRA
DETERMINANDI,
QUAM
Consensu Ampliff. Facult. Philosoph.
in Acad. Reg. Upsal.
Publica Disputatione examinandam proponunt
PRÆSES
ANDREAS CELSIUS,
SOCIETATIS REGIÆ LITERARIÆ & SCIENTIARUM
SECRETARIUS.
ET
RESPONDENS
MARTINUS STRÖMER
NERICIUS.
In Audit. Gustaviano Maj. d. 24 Jan.
ANNI M DCC XXX.

UPSALIÆ,
LITERIS WERNERIANIS.



estar avalado por las observaciones geodésicas practicadas por Jean Dominique Cassini y por su hijo Jacques Cassini. Podría haber sucedido que, cuando en la Academia de Ciencias se pensaba en enviar expediciones científicas a latitudes polares y ecuatoriales (para solventar la discusión), Celsius le hubiese comentado a Maupertuis la posibilidad de que fuese Laponia uno de los dos lugares previstos, a tenor de las buenas condiciones geomorfológicas que ofrecía. El caso es que cuando P. Maupertuis hizo su propuesta a la Academia, Laponia resulto elegida y A. Celsius sería el representante de Suecia en la operación de medir un arco de meridiano. La medición efectuada durante los años 1756 y 1737 ocupó desde entonces un sitio prominente en la historia científica de Suecia.

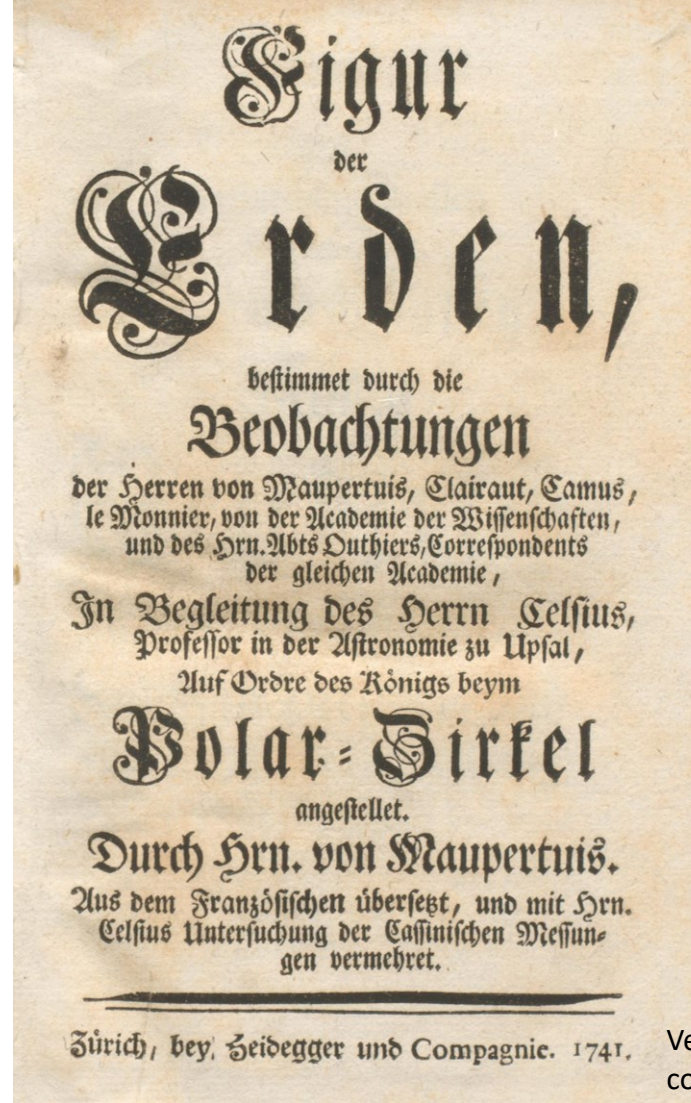


La triangulación discurrió a lo largo del río Torne

El 13 de noviembre de 1737 se anunciaron formalmente los resultados obtenidos por las mediciones del grado de meridiano en Laponia, en un discurso pronunciado por Maupertuis en la Asamblea pública de la Real Academia de Ciencias (Sobre la medición del grado del meridiano en el círculo polar): el desarrollo del grado aumentaba a medida que lo hacía la latitud. Al año siguiente se editó, en París y en Amsterdam, el libro: *La Figure de la Terre, déterminée par les observations de Mm. de Maupertuis, Clairaut, Camus, Le Monnier,... et de l'abbé Outhier,... accompagnés de M. Celsius,... faites par ordre du Roy au cercle polaire*. Francia premió a Celsius con una pensión anual y vitalicia de 1000 libras. En ese mismo año de 1738,

concretamente el 10 de febrero, ya hizo constar su condición de pensionista en el artículo que publicó

en Uppsala : *De Observationibus pro Figura Telluris Determinanda in Gallia Habitis, Disquisitio*; en el cual criticó abiertamente los datos que había proporcionado J. Cassini y que pretendían justificar el modelo del elipsoide prolato. La contestación de este no se hizo esperar, ya que el 7 de mayo escribió: *Response à la dissertation de M. Celsius, Professeur de Astronomie à Upsala, sur les Observations que l'on a faites en France pour déterminer la Figure de la Terre*.



SIRE,

Das Buch über die Bestimmung der Figur der Erden, unterstehet sich von dem Schutz zu profitiren, den

Versión alemana de la Figura de la Tierra, con dedicatoria, publicada en Zurich (1741)

DE
OBSERVATIONIBUS
PRO
FIGURA TELLURIS

DETERMINANDA
in GALLIA habitis,
Disquisitio.

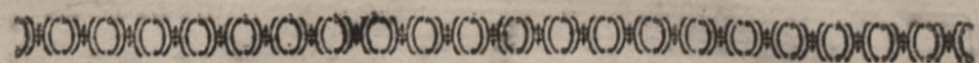
AUCTORE

ANDREA CELSIO,

In Acad. Upsal. Astron. Prof. Regio, Christ. FRANG.
REGIS Pensionario, Soc. Reg. Lit. & Scient. Svec. Secretario,
Societatum Regg. Lond. & Berol. atque Academiarum
Nat. Curios. & Inst. Scient. Bonon. Membro.



Aunque a lo largo de la misma tratase de rebatir cada una de las objeciones planteadas por Celsius, pretendió descalificarlo desde el comienzo; al considerar que carecía de fundamento al haberse pronunciado sobre la forma de la tierra, basándose en sus propias observaciones y en las que se habían efectuado en Francia. Cassini se debió sentir del todo molesto, al pensar que se le atribuían errores groseros tanto a él como a su padre; los cuales serán también imputables a todos los astrónomos de la academia de Ciencias, que habían colaborado con ellos en la verificación del meridiano de París: «...si on leur attribuoit des erreurs aussi grossières que celles qu'il impute à mon Père & à moi, & qui retombent sur tout les autres astronomes de l'Académie Royale des Sciences, qui ont travaillé conjointment avec nous à la description de la Méridienne de Paris, & qui étoit fort versés dans les observations».



RÉPONSE

A LA DISSERTATION DE M. CELSIUS,
Professeur Royal d'Astronomie à Upsal, sur les
Observations que l'on a faites en France pour déter-
miner la Figure de la Terre.

Par M. CASSINI.



El prestigio de Celsius no dejó de crecer en Suecia, desde que participó en la medición del grado en Laponia. Quizás su *De Constellatione Arietis* (1740), quizás sea la

V.
2257.



más notable de sus aportaciones astronómicas, pues ideó un procedimiento fotométrico (con error medio inferior a 0.4 mag); evaluaba la magnitud de la estrella visándola a través de placas de vidrio transparentes y deducía su magnitud en el número de placas que tenía que colocar para que dejase de verse (la estrella Sirio necesitó 25 placas), así consiguió formar un catálogo de 300 estrellas. En el año 1741 ya pudo inaugurar el Observatorio de Uppsala, dotado con los instrumentos más modernos, que había ido eligiendo durante su viaje por Europa; el observatorio coronado por una esfera armilar se construyó sobre la cubierta del edificio en que vivía Celsius. Con su asistente Olof Hjorter (1696-1790) defendió la idea de que los rayos luminosos de las auroras boreales parecían seguir las líneas de fuerza del campo magnético terrestre. La cartografía fue otra de las disciplinas por la que se interesó, colaborando activamente en los levantamientos propios del Mapa General de Suecia. Celsius fue uno de los primeros en constatar que se estaba elevando el nivel de los países nórdicos, aunque lo achacase a la evaporación del agua.

Pedro Chacón (1525-1581)

Mereció por sus escritos los elogios de los Sabios, y la admiración de la Corte Romana. Sacerdote, alumno y profesor de la Universidad de Salamanca, de la que llegó a escribir su historia en 1569. Hacia 1572 es llamado a Roma y entra al servicio del papa, que le encarga la revisión de la biblia y de otros textos sagrados, como erudito conocedor de las lenguas clásicas, y como estudioso de las matemáticas y de la astronomía, lo incorpora al grupo encargado de la reforma del calendario (*Kalendarii Romani veteris Julii Cæsaris ætate marmori incisi explanatio*). En el año 1577 editó notas manuscritas de Luigi Lilio (1570-1576), con el conocimiento de C. Clavius, que tituló: *Compendium novæ rationis restituendi calendarium*; un documento básico para la reforma del calendario auspiciada por el papa Gregorio XIII (1502-1585), aprobada formalmente el 14 de septiembre de 1580 e instaurado definitivamente en el mes de octubre del año 1582. Precisamente, Chacón llegó a presidir la Comisión creada al efecto, en la que participaron además otros dos españoles: el cordobés Juan Ginés de Sepúlveda (1490-1573) y el valenciano Juan Salom.



2

COMPENDIUM NOVAE RATIONIS RESTITVENDI KALENDARIVM.



PERITIS MATHEMATICIS:



VM in sacro cōcilio Triden-
tino Breuiarij Missalisque
emendatio Romano Ponti-
fici reseruata esset, idque fe-
licis recordationis Pius V.
quanta maxima potuit dili-
gentia superioribus annis
perficiendum curasset, atq;
edidisset: nō tamen id opus
uisum est suis omnibus numeris absolutum atque perfe-
ctum, nisi restitutio quoque anni & ecclesiastici Kalen-
darij accederet. In eam igitur curā dum Gregorius XIII
Pont. Max. toto animo & cogitatione incumbit, allatus
est illi liber ab Aloisio Lilio cōscriptus, qui neq; incom

La necesidad de la reforma provenía del hecho de haber asignado al año trópico una duración de 365. 25 días (cada cuatro años se consideraban tres de 365 días y otro de 366 días), cuando realmente es un poco menor: alrededor de 365.24219 días medios. La solución adoptada fue tan simple como brillante. Se suprimieron tres años bisiestos cada 400 años y se adelantó la fecha en diez días, concretamente el jueves 4 de octubre de 1582 fue seguido por el viernes 15 de idéntico mes y año. Así quedó establecido en la bula correspondiente (Inter gravísimas) el día 24 de febrero de 1582. P. Chacón escribió también sobre astronomía judicial y sobre la esfera de Sacrobosco.



El papa recibe la propuesta de la reforma.

Aunque la figura de P. Chacón esté indefectiblemente unida a la reforma del calendario juliano, fue autor de numerosos trabajos, gran parte de los cuales se publicaron tras su fallecimiento. Ese fue el caso del titulado *Petri Ciaconii Toletani Opuscula: In columnae Rostrata inscriptionem, De Ponderibus, De Mensuris, De Nummis*; editado en Roma (1608). Los dos capítulos centrales conforman un verdadero tratado metrológico, en que se analizan detalladamente las múltiples medidas de capacidad del periodo grecorromano y se relacionan expresamente con sus homólogas de Castilla. El texto alterna el latín con el castellano, aunque se citen en griego las unidades correspondientes, y aparece ilustrado con numerosas tablas que pretenden facilitar las equivalencias entre todos los patrones que se enumeran.

DE PEDE ROMANO.

Ex Latini Latinij obseruationibus.

VT mensurarum Romanarum rationem certam, itemq.
ponderum habere possimus, Romani pedis vera mensu-

Especialmente interesante fue el anexo con que se acompañó, *De Pede Romano*, aunque ya se hubiese referido indirectamente a él, al tratar del ánfora romana en *De Mensuris*:

P E T R I C I A C O N I I T O L E T A N I Opuscula.

*In Columnae Rostratae inscriptionem
De Ponderibus.
De Mensuris.
De Nummis.*

R O M A E
Ex Typographia Vaticana.
M D C V I I I.

De licentia Superiorum.

Pedis Ro. mensuram hæ duæ lineæ simul iunctæ constituunt .

«Hice pues que me trajesen de Roma en una varilla de hierro la medida del pie antiguo, que se halla en muchas sepulturas que estos años atrás se han descubierto en Roma, y porque en todas es de un mismo tamaño, se entiende ser la justa medida antigua. Conforme a este pie hice hacer una caja de madera de figura de dado, que fuese al justo por la parte de dentro tan ancha, larga y alta, como este pie que digo, la cual pienso que es la amphora, o cuadrantal antiguo, como adelante se verá, empegué las juntas de la caja por de fuera, por que no se saliese, y llena de agua cupo de las medidas de Salamanca cantara y media y tres cuartillos...»

Medidas georgicas de cosas secas reduzidas a las medidas de Castilla .

Μέδιμος,	medimnus,	x. celemines y medio.
Η̄μιμέδιμος,	semimedimnus,	v. celemines y vn quartillo .
Τριτάρις,	tertiarius,	iiii. celemines y medio.
Εκτάρις,	sextarius,	celemin y medio, y vn quartillo .
Η̄μισεκτάρις,	semiseptarius,	tres quartillos y medio.
Η̄μιδωδεκάρις,	semiduodecimarius,	quartillo y medio, y vn ochauo .
Χοῖνιξ,	choenix,	tres ochauos y medio.
Κοτύλη,	cotyla,	vn ochauo y vn sexto.
Ο̄ξύβαρον,	acetabulum,	la mitad de vn ochauillo
Κύαθος,	cyathus,	el oxybapho cabe cyatho y medio .
Μύστρον,	mystrum,	el cyatho cabe quatro mistros .

Algunas de las equivalencias mostradas en el capítulo *De mensuris*

Medidas Romanas de cosas secas reduzidas a medidas de Castilla .

Modius,	celemin y medio, y vn quartillo.	♁
Semodius,	tres quartillos y medio .	♁s
Sextarius,	tres ochauillos y medio .	♁.
Hemina,	ochauillo y medio, y vn quarto.	♁s
Quartarius,	vn ochauillo casi .	+♁

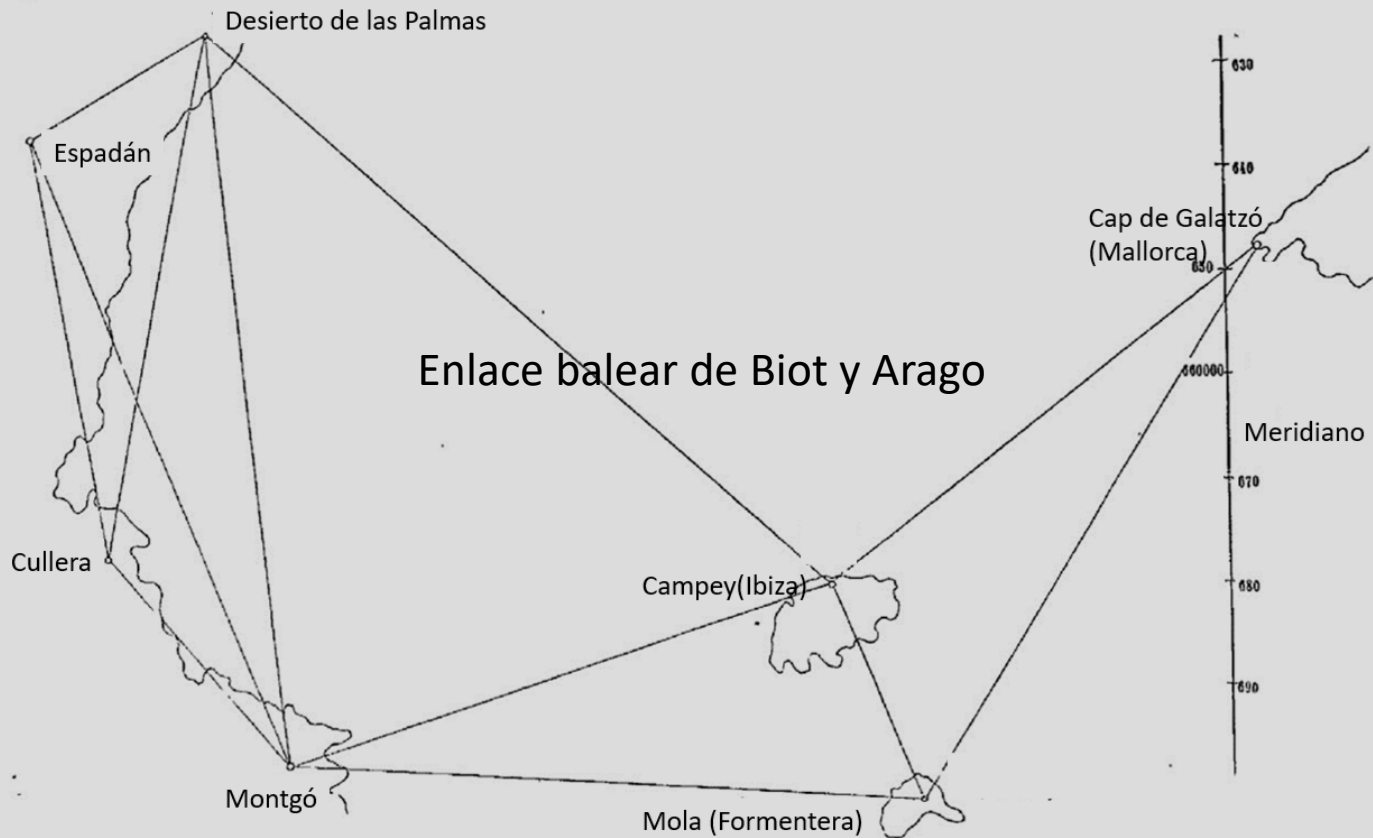
Las de mas son del mesmo tamaño, que diximos en las medidas de cosas liquidas. Si en el peso de trigo y ceuada huuieta tan poca variedad como en los lico-



De D.ⁿ Josef Chaix

José Chaix Isniet (1765-1809)

Geodesta valenciano de excelente reputación entre sus homólogos franceses, que llegó a ser amigo personal del eminente J. Delambre. Gran amante de las matemáticas y de la astronomía, amplió su formación en Francia e Inglaterra, frecuentando en esta última sus valiosos observatorios (Edimburgo y Glasgow entre otros). En Francia contactó pronto con Delambre y P. Mechain, cuando se pretendía prolongar el meridiano de Francia lo más al Sur posible; después colaboraría estrechamente con el segundo en la observación de la cadena geodésica que lo extendería hasta las costas levantinas, hasta su fallecimiento en Castellón de la Plana. Cuando Chaix regresó a España, se incorporó al Observatorio de Madrid y poco después a la efímera Escuela de Ingenieros Cosmógrafos de Estado, antecedente de los actuales ingenieros geógrafos, siendo nombrado subdirector de la misma. Otro de sus puestos relevantes fue la Cátedra de Matemáticas que ocupó en la incipiente Escuela de Caminos, creada por Agustín de Betancourt y Molina (1758-1824).



Cuando Biot y Arago comenzaron sus trabajos para completar el enlace con las Islas Baleares, iniciado por Mechain, de nuevo cobró protagonismo Chaix (junto al matemático gallego J. Rodríguez González), como quedó bien reflejado en la Memoria de aquel importante trabajo. Chaix fue uno de los matemáticos españoles más reconocidos del siglo XVIII, suyo fue el tratado sobre el Cálculo Diferencial e Integral, universalmente valorado.

A nivel astronómico fue igual de sobresaliente el cálculo que realizó de las coordenadas

geográficas de Madrid, por él que mantuvo una encendida polémica con el geógrafo I. Antillón. El origen de su controversia con Chaix fue una información, poco meditada, que apareció publicada en la revista *Variedades de Ciencias, Literatura y Artes* (nº X, página 196); en ella se comentaba, con relación a Madrid, «que no sabemos todavía su latitud y longitud». Antillón se sintió aludido y consiguió que se incluyese en el número XII la respuesta titulada *Observaciones astronómicas en cuyos resultados se funda la situación de Madrid en longitud y latitud. Por Don Isidoro de Antillón*. Conviene subrayar aquí su honradez intelectual, pues reconoce su poca experiencia como observador, a propósito de dicho eclipse, en estos términos: «y en cuanto a mí toca, por la poca o ninguna consideración que merecen las determinaciones de un aprendiz en la práctica de la astronomía, comparadas con

VARIEDADES ~~P.08~~

DE CIENCIAS, LITERATURA

R. 190.874

Y ARTES.

OBRA PERIÓDICA



TOMO TERCERO.

CIENCIAS MATEMÁTICAS.

<i>Sobre la latitud y longitud de Madrid,</i> <i>por Don Josef Chaix.</i>	<i>129</i>
<i>Sobre el mismo asunto y contestacion al</i> <i>discurso precedente, por Don Isidoro</i> <i>de Antillon.</i>	<i>279</i>

M A D R I D.

En la Oficina de Don Benito García y Compañía.

Año de 1804.

las de dos tan dignos maestros , y tan veteranos en el arte de observar». Chaix, que había hecho caso omiso de la denuncia a la que contestó Antillón, si creyó oportuno intervenir tras haber sido citado por este, al final de su artículo. El escrito que envió a la revista Variedades de Ciencias, Literatura y Artes fue inmisericorde con Antillón y próximo al mal gusto, por llegar incluso a la pretensión nada indirecta de ridiculizarlo:

«Estoy muy lejos de creer que el Señor Antillón omitiese de intento estas observaciones; esto no cabe en un hombre honrado y de buena fe: es pues evidente que no las conocía, y por consiguiente, que incurre en la misma falta que critica en vmds.: esto es la de no conocer las observaciones astronómicas y los cálculos en que se funda la situación de Madrid, que se han publicado, y corren impresos en papeles muy recientes: falta mucho más notable en un profesor de Astronomía, Geografía y Cronología, que en vmds. Que se consideran meramente como unos aficionados, o que a lo menos no están condecorados con aquellos títulos».

Los interesados en ambas cuestiones son remitidos al artículo *Las Observaciones astronómicas de Josef Chaix Isniet (1766-1811) para determinar la latitud y longitud de Madrid.* (Universidad de Granada).

Seth Carlo Chandler (1846-1913)

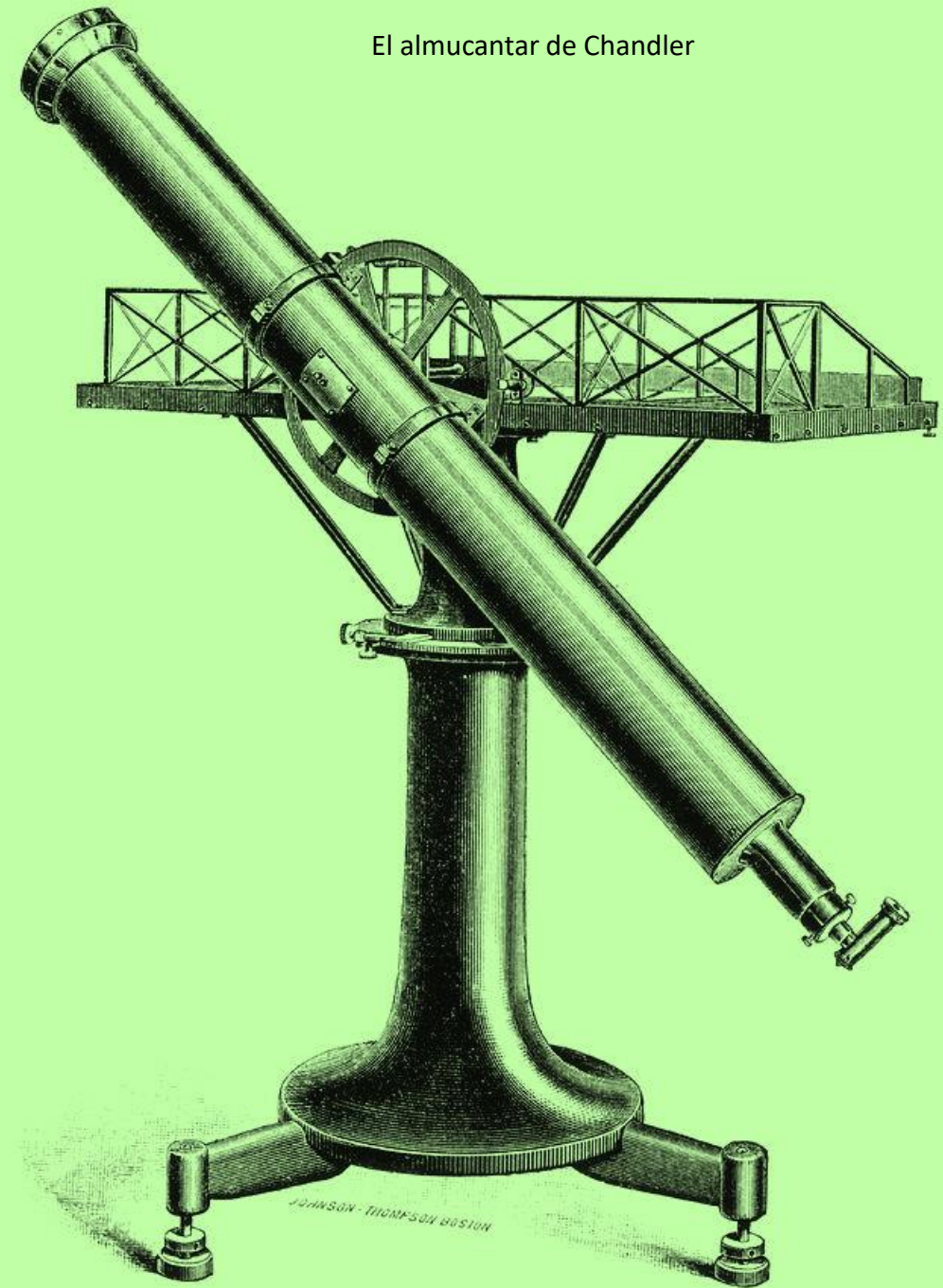
Excelente calculista norteamericano y notable geodesta, que sin formación universitaria, se especializó en la obtención de las coordenadas geográficas y descubrió una variación permanente de la latitud, debida a una especie de bamboleo del eje de rotación de la Tierra, que no dejó de estudiar durante casi treinta años; publicó más de veinticinco artículos técnicos que caracterizan las muchas facetas del fenómeno, incluido el modelo de dos componentes de 14 meses (ahora conocido como movimiento de Chandler). Al terminar la enseñanza secundaria, colaboró con el matemático Benjamín Pierce (1809-1880), profesor en el *Harvard College Observatory*, y se hizo asistente, en el año 1864, del astrónomo Benjamin Apthorp Gould (1824-1896), el cual había sido alumno de Gauss, y estaba tratando de optimizar los procedimientos para la determinación de la longitud geográfica. En 1866 se incorporó, como observador y calculador, al equipo que pretendía obtener la longitud en Calais usando el nuevo cable transatlántico, ligando el reloj local al referente situado en el Observatorio de Greenwich.

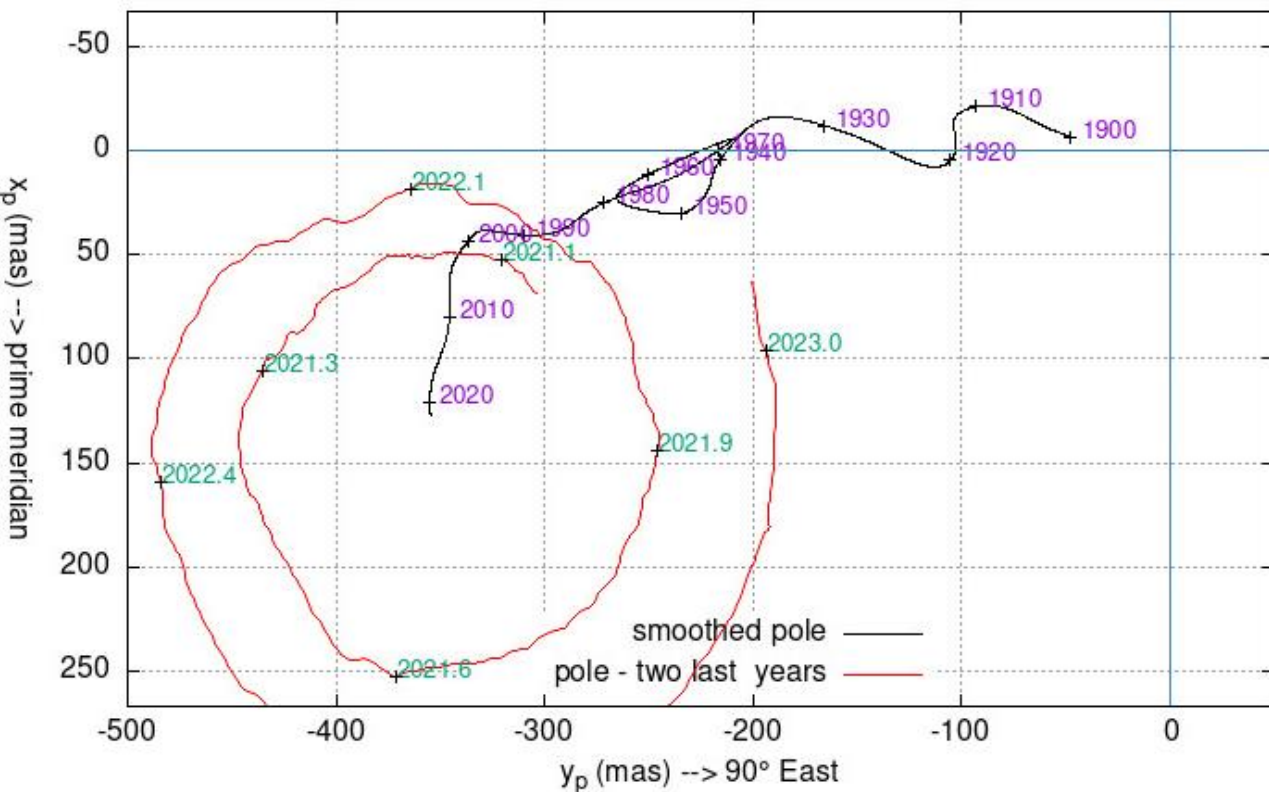


S. C. Chandler

El equipo viajó también a Nueva Orleans con el mismo objeto, aunque empleasen las señales telegráficas para sincronizar el reloj local con el referente del *Coast Survey*; fue ese un periodo en el que Chandler aprendió las últimas técnicas computacionales, se familiarizó con la instrumentación más avanzada y aumentó su experiencia como observador. En 1880 retomó su relación con el Observatorio de la Universidad de Harvard, mudándose a Cambridge para estar más cerca del mismo. Poco después completó el diseño de un instrumento, al que llamó *Almucantar*, que mejoraba el telescopio cenital que había usado cuando trabajó para el *Coast Service*; ya que eliminaba las servidumbres de los niveles de burbuja, al conseguir que el eje principal del instrumento coincidiera con la vertical física, por el propio efecto de la gravedad local. Una vez construido instaló el instrumento cerca de la cúpula principal del Observatorio de Harvard, realizando, entre mayo de 1884 y junio de 1885, numerosas observaciones para determinar la latitud de la estación; concluyendo, una vez procesadas, que los valores «exhibían una progresión decidida y curiosa a lo largo de toda la serie», sin que lograrse identificar ninguna causa instrumental o personal que lo explicase (Chandler, 1887 and 1891a).

El almucantar de Chandler

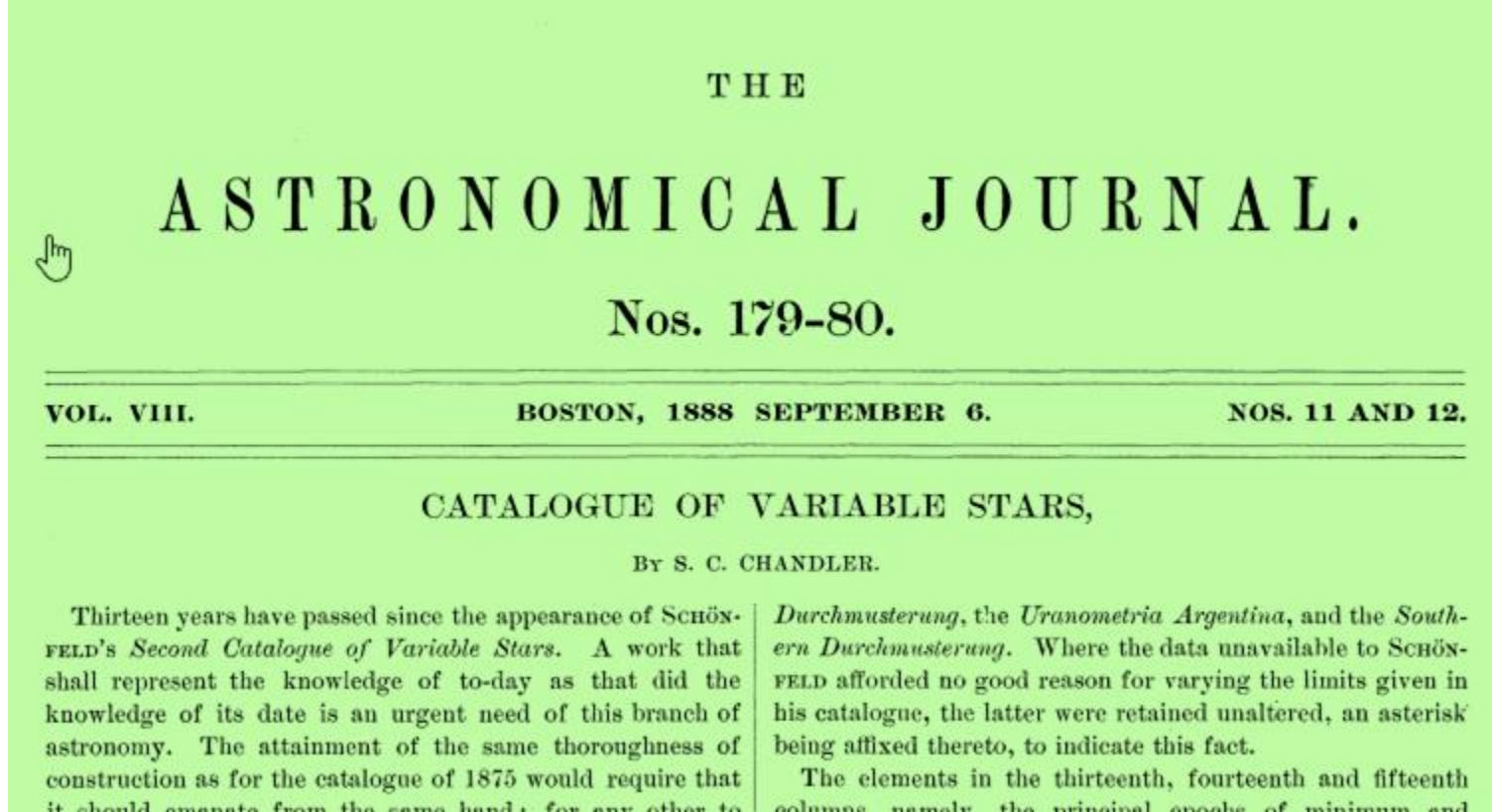




Tales variaciones de la latitud ya habían sido previstas por L. Euler, alrededor del año 1765, deduciendo incluso las ecuaciones que modelarían esa oscilación, una especie de bamboleo del eje de rotación de la Tierra; el periodo asociado supuso que debería ser del orden de los 10 meses. A partir de entonces los astrónomos intentaron detectarlo experimentalmente sin conseguirlo. No obstante, en 1888, el astrónomo y geodesta alemán Karl Friedrich Küstner (1856-1936) descubrió ese movimiento polar de la Tierra, al analizar la variación de los valores de la latitud en el Observatorio de Berlín; aunque esas observaciones fuesen contemporáneas a las de Chandler, no fueron

lo bastante continuas como para deducir cualquier periodicidad en su serie de valores. Sin embargo, sus argumentos en favor del fenómeno fueron tan convincentes que la asociación Internacional de Geodesia organizó una campaña para verificarlo. Chandler volvió a procesar sus observaciones, junto a los datos más recientes obtenidos en Berlín, Praga, Potsdam y Pulkovo; comprobando que la variación de la latitud era periódica, con una amplitud máxima de $0''.7$ y un periodo próximo a los 427 días, unos 14 meses (así lo reconoció formalmente en 1891). La discrepancia entre el valor teórico y el experimental fue explicado por Simon Newcomb (1835-1909), en 1891, como consecuencia de la fluidez de los océanos y de la elasticidad de la Tierra. Todavía no hay acuerdo sobre la paternidad del descubrimiento del movimiento polar, tal como ocurrió en 1896 cuando la *Royal Astronomical Society* de Londres le concedió a Chandler la Medalla de Oro e hizo notar la contribución de Küstner, al respecto.

Mientras que realizaba sus múltiples observaciones, Chandler fue recopilando información para confeccionar un catálogo de estrellas variables; en su primera versión consto de 225 estrellas y se publicó en el año 1888, la segunda apareció en 1893 y tuvo 260, y la tercera en 1896 con 393. Para designar a cada estrella variable ideó su propio método: dividir por diez los segundos de su ascensión recta (para el año 1900), asegurando así que el sistema no se vería adulterado por nuevos descubrimientos; Chandler lo empleó en todos sus trabajos, aunque cayera pronto en desuso. La confección de sus catálogos le permitió hacer descubrimientos interesantes, como por ejemplo la correlación existente entre su color y el periodo de su variabilidad. En el año 1894 publicó un artículo mostrando su desconfianza hacia los resultados obtenidos con el nuevo fotómetro instalado en el Observatorio del Harvard College, pues se temía que las observaciones no habían sido suficientemente meticulosas (de hecho, quince de las primeras ochenta y seis variables observadas presentaban errores notables). Su extraordinaria habilidad para el cálculo, la aprovechó para determinar los elementos orbitales de cualquier cometa que pudiese observar, identificando de ese modo el d 1889 como el cometa Lexell, previamente descubierto.





Jerónimo Chaves (1523-1574)

Sevillano de pro autor de un bello mapa de Andalucía occidental, mundialmente conocido desde que fue reproducido por Abraham Ortelius en su *Theatrum Orbis Terrarum* (1570). Su padre Alonso de Chaves (1492-1582) fue cosmógrafo y piloto mayor de la Casa de Contratación, el cual debió influir poderosamente para que su hijo se interesase por las matemáticas y por la cosmografía. En 1545 tradujo el *Tractatus de Sphaera* de J. Sacrobosco, *iluminándolo con tablas astronómicas* y numerosas figuras; como puede comprobarse en el manuscrito que se conserva en la Biblioteca Nacional. En él se abordaron los temas clásicos: La figura del mundo, los círculos de la esfera, los ortos y ocasos, la duración de los días y las noches, los climas clásicos, los modelos planetarios y la explicación de los eclipses. Curiosamente incluyó como epílogo su propia edad (22 años).

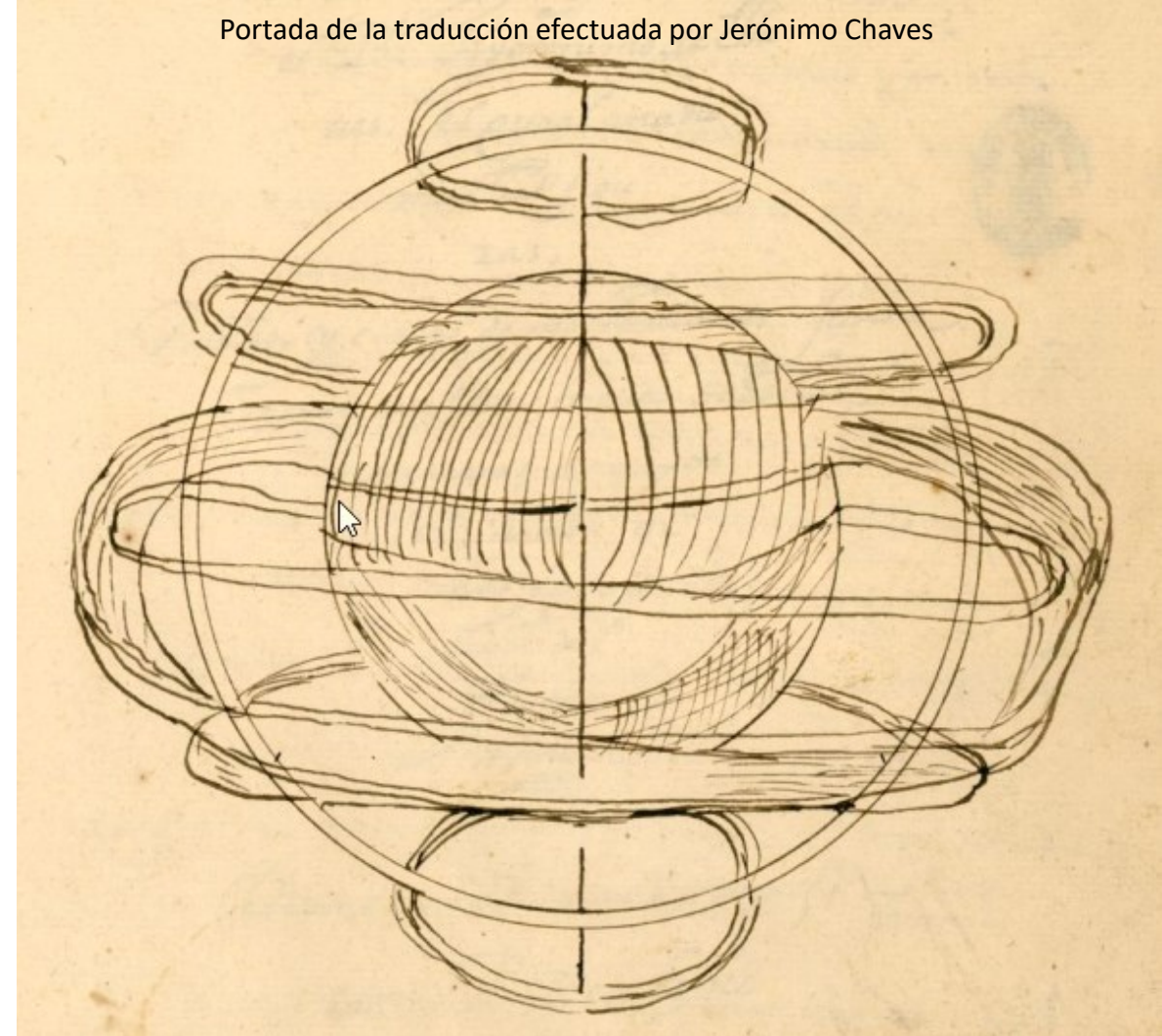
Entre 1552 y 1568 dirigió la cátedra de Cosmografía en la Casa, una vez superado, por consejo de su padre, el mismo examen al que se debían someterse los pilotos.

de la edad del autor de
la presente obra. — 00022. —

A partir de entonces informó puntualmente al Consejo de Indias, sobre asuntos tales como el uso de las agujas de marear y la controvertida declinación magnética, o sobre las cartas náuticas de doble latitud (llamada así por incluir dos escalas: una con la latitud antigua y otra con la moderna, pretendiendo así facilitar la navegación en aquellas zonas en las que los errores eran considerables). Igual de señalados son los que presentó en relación con los derechos españoles en el Pacífico, que afectaban a los archipiélagos de las Molucas y de Filipinas.

Mientras ejercía de catedrático preparó la obra por la que sería más conocido: *Chronographia o reportorio de los tiempos el mas copioso y preciso que hasta agora ha salido a luz. Compuesto por Hieronymo de Chaves, y agora nuevamente añadido*; la cual fue publicada en el año 1554 y reeditada hasta en veintidós ocasiones en ese siglo. En su

introducción (Breve y descripción Sumaria de todo lo contenido en este libro) manifestó que se dividía en cuatro partes o tratados. La primera se dedicó al tiempo y a su división «...con la recopilación de todas las edades del mundo, desde la creación hasta el tiempo presente, con algunas cosas indignas que en ellas han acontecido». En la segunda parte se abordó la descripción general del mundo, refiriendo los elementos clásicos: tierra, agua, aire y fuego, además de la «región celeste por cuyo movimiento es considerado el tiempo».





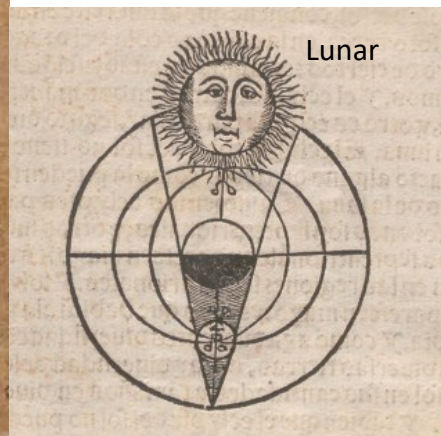
ANNORVM. XXVII.



Chronographia o **repor-**
torio de los tiempos el mas copioso y
preciso q̄ hasta agora ha salido a luz.
Compuesto por Hieronymo de Chaves
y agora nuevamente añedido.



Se refiere el tercer tratado a la diversidad de los ciclos y el calendario, explicando además la razón de la variabilidad de las fiestas movibles, «...y allí mesmo el lunario con todos eclipses, verificados hasta el año de seiscientos». La cuarta y última parte trató de la observación de las partes del tiempo y fue marcadamente astrológica; indicando los días críticos o judiciales considerados por los médicos en las enfermedades humanas. Asimismo, se fijaba el tiempo idóneo para el purgado y el sangrado, «y juntamente con la pronosticación natural (que por otro nombre es llamada Astrología rústica)». Se cierra este tratado con una «tabla y catálogo de las principales ciudades de la cristiandad en la región de Europa e Indias occidentales del mar Océano». La obra va ilustrada con una colección de figuras muy bien traídas y delineadas, sobresaliendo el modelo del universo geocéntrico, los signos del zodiaco, las alegorías planetarias y las que acompañaron a la explicación de los eclipses.



Esquemas de los eclipses, lunar y solar, en el Tratado tercero

Ciudades de España.

	Id. m. S.		Id. m. S.
Allmeria	A 0 14 37	Guadix	A 0 18 38
Alicante	A 0 21 39	Leon	AD 0 3 43
Alstorga	AD 0 3 42	Lisboa	AD 0 13 39
Alcantara	AD 0 2 39	Lerida	A 0 33 42
Alcala	A 0 12 41	Madrid	A 0 12 41
Burgos	A 0 4 43	Medina	A 0 20 42
Bragança	AD 0 4 40	Malaga	A 0 5 37
Barcelona	A 0 40 41	Mallozorca	A 0 37 40
Bilbao	A 0 25 43	Minorca	A 0 41 40
Lamora	AD 0 2 42	Majara	A 0 23 43
Liu. rodrigo	A 0 15 42	Oporto	AD 0 9 41
Lophymbra	AD 0 8 40	Placencia	A 0 1 41
Calatraua	A 0 5 39	Palona	A 0 30 44
Laceres	AD 0 2 39	Perpinan	A 0 58 43
Calahorra	A 0 19 43	Sevilla	* 0 0 37
Lordoua	A 0 8 38	Soria	A 0 20 42
Coruña	AD 0 6 42	Simancas	A 0 7 42
Caragoça	A 0 26 44	Salamãca	AD 0 2 41
Carmona	A 0 2 37	Santiago	AD 0 8 44
Luenca	A 0 16 41	Santaren	AD 0 8 40
Cartagena	A 0 20 38	Segouia	AD 0 6 41
L. S. vicete	AD 0 15 37	Sanlucar	AD 0 4 37
Ladiz	AD 0 3 36	Toledo	A 0 11 41
L. S. terrae.	AD 0 12 44	Tozo	AD 0 3 42
Ecija	A 0 4 38	Trugillo	AD 0 1 39
Euora	AD 0 4 38	Tarragona	A 0 36 40
Fontrabia	A 0 32 45	Tarifa	AD 0 1 36
Guadalajara	A 0 12 41	Tanila	AD 0 11 37
Granada	A 0 12 38	Valladolid	A 0 12 42
Girona	A 0 42 43	Valencia	A 0 27 40
Gibraltar	A 0 1 36		

Ciudades de Frã
cia y Flandes.Ciudades de
Ytalia.

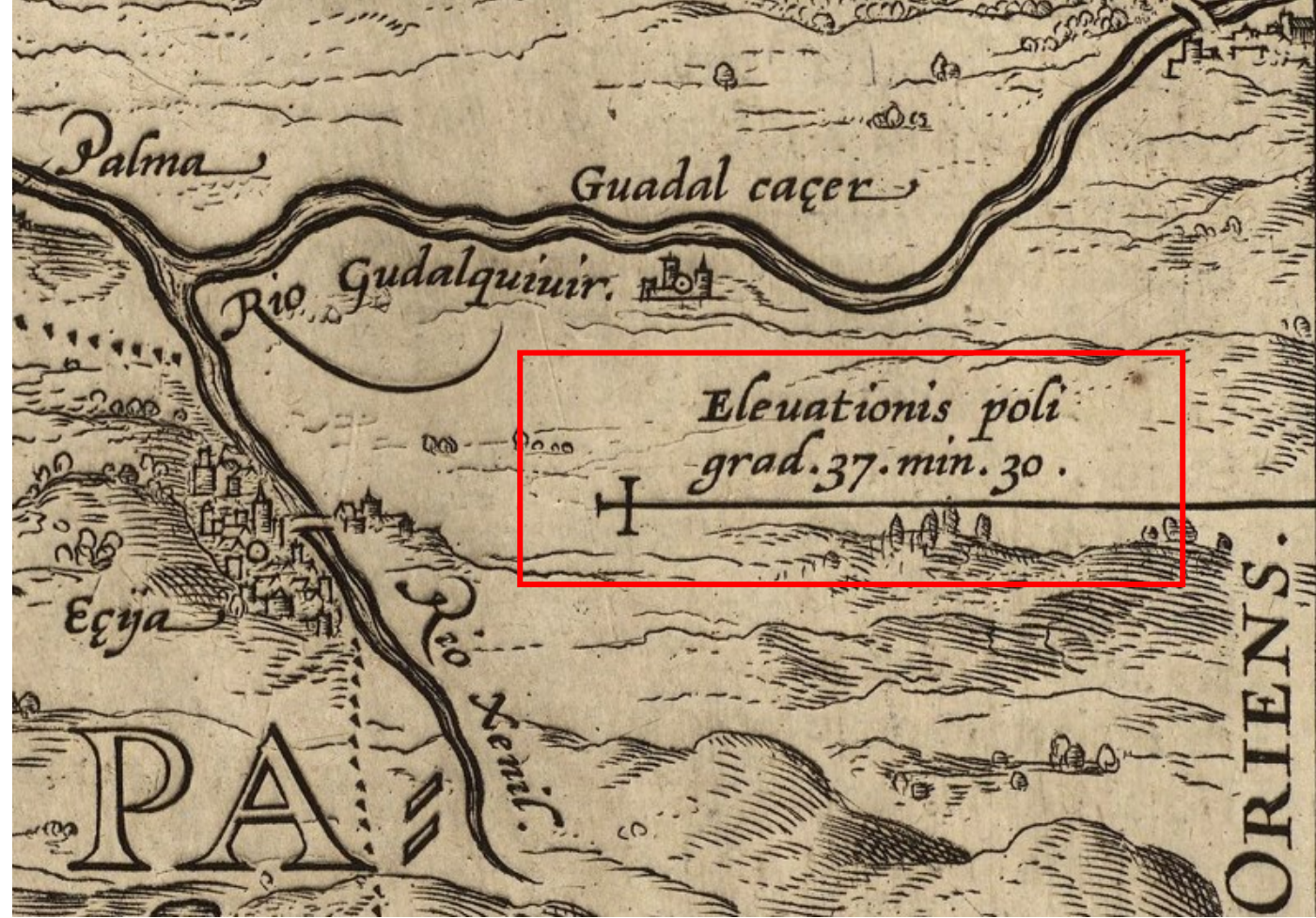
	Id. m. S.		Id. m. S.
Antuerpia	a 1 15 51	Anchona	a 1 52 43
Amuñon	a 1 10 44	Alquileya	a 1 51 45
Bayona	a 0 32 44	Boloña	a 1 41 44
Burdeos	a 0 38 45	Brindez	a 2 12 40
Brujelas	a 1 12 51	Benauente	a 1 58 40
Brujes	a 1 4 51	Capua	a 1 55 40
Chalez	a 0 58 52	Cremona	a 1 34 45
Gant	a 1 12 52	Cosencia	a 2 6 39
Genebra	a 1 22 46	Florenzia	a 1 41 43
Lobayna	a 1 17 51	Ferrara	a 1 42 44
Leon	a 1 5 46	Fosempio	a 1 47 44
Dompellier	a 1 6 43	Genoua	a 1 30 43
Darsella	a 1 12 43	Luca	a 1 38 43
Dachlina	a 1 7 51	Luna	a 1 36 43
Mantes	a 0 32 48	Milan	a 1 32 45
Marbona	a 0 59 43	Mantua	a 1 38 45
Oriens	a 0 58 47	Napoles	a 2 8 40
Paris	a 1 4 48	Nola	a 1 57 40
Rochela	a 0 30 47	Otranto	a 2 15 40
Ruan	a 0 57 49	Pavia	a 1 30 44
Rems	a 1 12 48	Padua	a 1 42 45
Colosa	a 0 52 43	Pissa	a 1 38 43
Treuers	a 1 18 49	Potencia	a 2 4 40
Turon	a 0 53 43	Parma	a 1 56 44
Valencia	a 1 16 45	Perusa	a 1 46 42
Viena	a 1 16 44	Roma	a 1 57 41
Atrech	a 1 18 53	Rauena	a 1 45 44
		Rijolis	a 2 8 38
		Saona	a 1 27 43
		Salerno	a 1 58 41

La longitud está referida
al meridiano de la
ciudad de Sevilla

Fue impresso en la muy noble y muy
leal ciudad de Sevilla en casa de Martin de Mont
tesdoca. Siendo primeramente visto y examina
do por los reuerendos padres Rector y Co
legiales del insigne Collegio de Sancto
Thomas de Aquino, por comission y
mádado de los muy reuerendos seño
res Inquidiores apostolicos.
Acabose a veynte dias del
mes de Junio, del año de
mil y quinientos y
cincuenta y
quatro.

Fue impresso en la muy noble y muy
leal ciudad de Sevilla en casa de
Martin de Montesdoca. Siendo
primeramente visto y examinado por
los reverendos padres rector y
Colegiales del insigne Colegio de
Santo Tomás de Aquino, por
comisión y mandado de los muy
reverendos señores inquidiores
apostólicos. Acabose a veinte días
del mes de Junio, del año de mil y
quinientos y cincuenta y cuatro.

J. Chaves fue igualmente un cartógrafo que se esmeraba por la presentación del mapa, como evidencian los que se publicaron en el Teatro de Ortelius, el del occidente de Andalucía (*Hispalensis Conventus, Sive Andaluzae Pars*) puede ser el paradigma. Pocas novedades pueden añadirse a lo ya escrito sobre el mismo, salvo que posee un detalle astronómico que suele pasar desapercibido: la indicación expresa de la latitud al Este de la desembocadura del río Genil en el Guadalquivir, mediante el rótulo *Elevationis poli grad.31.min.30* (la latitud de un lugar se puede definir como la altura del polo sobre el horizonte del mismo). Otro de los mapas de Chaves que revela su habilidad como delineante fue el de Florida, también



reproducido por Ortelius, debiendo destacar la graduación latitudinal y longitudinal de sus marcos (omitida en el mapa anterior); este mapa se basó posiblemente en los comentarios realizados por los componentes de la expedición comandada por Hernando de Soto (1500-1542). Ante tal situación es procedente pensar que muchas de aquellas representaciones cartográficas fuesen más ornamentales (aunque ocasionalmente llegasen a ser secretos de estado) que imágenes fidedignas del territorio; ya que, en general, se confeccionaban apoyándose en relatos. y a lo sumo en croquis en los la imaginación primaba sobre cualquier otra circunstancia.

L A F L O R I D A .

ESTA es parte de America Septentrional, llamase Florida, por la Pasqua Florida, por que este dia primeramente aportarõ a ella y la hallarõ los Españoles, año de 1512. Theuet (que se paresse) dize que assi fue llamada por ser toda verde y Florida. Prouaron muchas vezes los Franceses tomar habitacion en ella; mas hasta oy no han podido contra la voluntad de los Españoles, que los han echado d'ella muchas vezes. La gente que en ella mora es barbara, suzia y inhumana: como arañas, hormigas, lagartos, serpientes, y otros semejantes animales suzios y ponconosos: la tierra es harto fertil, y rica de oro. De esta region, mi embio le figuente, Iacobò Colio Orteliano, mi coñado de un testigo de vista, comẽ escriue. Los naturales son de un color amarillo: las mugeres de los Reyes por alguna arte vienen negras. Tocca al Rey dar a cadauno una muger, o que mas diga vender. Si la muger se hallare adultera, castigada es, saber, atada una dia por las espaldas, a un arbol, con los braços estendidos, las piernas apartadas, y assottada de vergas. Tres horas, despues el parto, la muger lleva la creatura al ryo, por lauarla. No tienen asada, ni tampoco hacuela. En lugar de arado toman unas asses, con que labran la tierra. Seminan frumentõ, d' al vulgo llamado Tricito, el qual les da, dos o tres vezes a l' año frutas maduras. Tambien tien fazeolos, &c. Seminan en Mayo, Iunio, y Iulio, cadauno a las seys semanas, tiene fruto maduro. Podeis leer de esta region un librillo imprimido, escrito por Iacobo Morguetto.

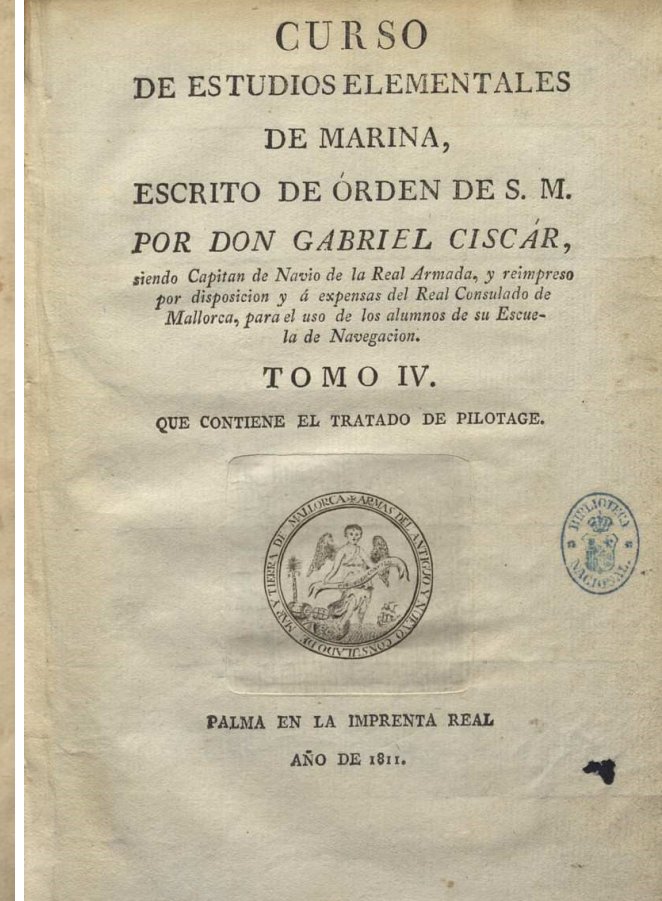
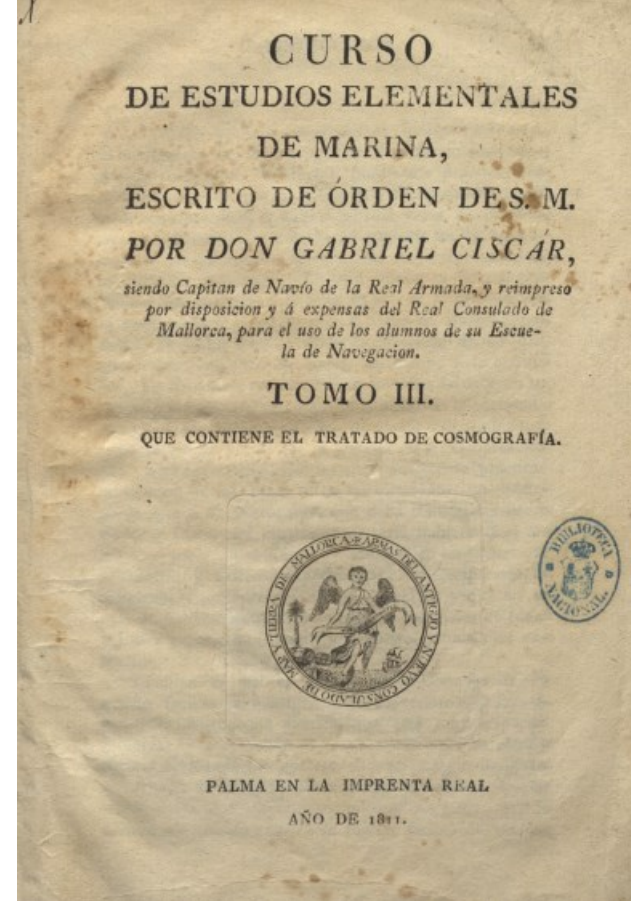


Gabriel Ciscar y Ciscar (1760-1829)

Geodesta, matemático e ilustre marino valenciano que, a propuesta del Ministerio de Marina, representó a España ante el Instituto de Francia, durante las deliberaciones previas a la aprobación del Sistema Métrico Decimal; el ministro justificó su decisión, manifestando que «la superioridad de conocimiento de Ciscar es tan generalmente reconocida que aun sus mismos émulos no pueden negarle que es el primer hombre de la Nación, considerado por su saber matemático». Más tarde lo acompañaría el también matemático asturiano Agustín Bernardo de Pedrayes y Foyo (1744-1815), el cual había sido nombrado por el Ministerio de Estado. G. Ciscar, que llegó a ser ministro de Marina, se jubiló como teniente General de la Armada y fue varias veces Regente. Tras ingresar en la Academia de Guardiamarinas de Cartagena, llegó a ser director de la misma en 1788 y su primer profesor de matemáticas. Ciscar fue condenado a muerte por Fernando VII, pero logró salvarse al refugiarse en Gibraltar y pasar allí el resto de sus días.

Para el mejor desempeño de su docencia, preparó los tres manuales siguientes: Aritmética (1795), Cosmografía (1796) y Trigonometría esférica (1796). No obstante, su obra principal fue el *Curso de Estudios Elementales de Marina*, estructurada en cuatro capítulos: Aritmética, Geometría, Cosmografía y Pilotaje; aunque en un principio pensara incluir dos más: Maniobra, Artillería y Táctica. La obra se estuvo reeditando desde su aparición (1803) hasta el año 1873. Otra de sus publicaciones, con la que incrementó su reputación científica, fue la reimpresión del Examen Marítimo de Jorge Juan; incluyendo en la introducción del mismo el comentario que sigue: «Para facilitar la inteligencia de la Obra a los principiantes, que supongo

bien impuestos en la geometría y trigonometría elementales, diestros en la resolución de las ecuaciones de primero, segundo y tercer grado, y familiarizados con las principales propiedades de las secciones cónicas tratadas por el método algebraico, empiezo con. una exposición de los principios generales á que me referiré en lo sucesivo». Es cierto que Ciscar gozaba ya de gran prestigio, desde que en el mismo año 1803 se publicase su libro *Explicación de varios métodos gráficos, para corregir las distancias lunares con la aproximación necesaria para determinar las longitudes en el mar, y para resolver otros problemas interesantes de astronomía náutica*, un trabajo que había ultimado dos atrás en Cartagena y que había dedicado a M. Godoy, Generalísimo del ejército y armada de S.M. católica, Coronel General de los regimientos suizos &c.&c.



EXPLICACION

DE VARIOS MÉTODOS GRÁFICOS,

PARA CORREGIR LAS DISTANCIAS LUNARES

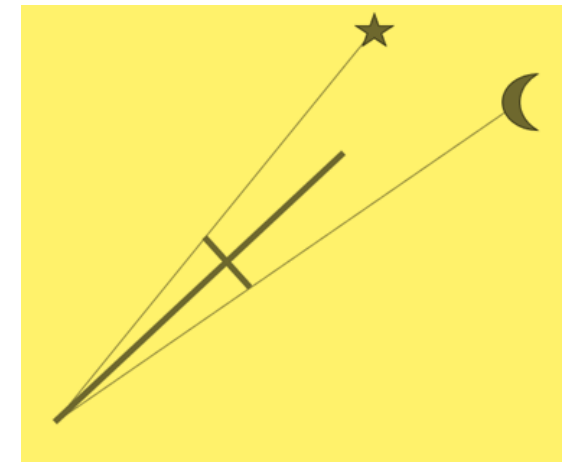
CON LA APROXIMACION NECESARIA

PARA DETERMINAR LAS LONGITUDES EN
LA MAR, Y PARA RESOLVER OTROS PROBLEMAS
INTERESANTES DE LA ASTRONOMÍA
NÁUTICA.

*POR DON GABRIEL CISCAR,
CAPITAN DE NAVIO DE LA REAL ARMADA.*

MADRID EN LA IMPRENTA REAL
AÑO DE 1803.

El libro fue esencialmente didáctico, puesto que cada uno de sus nueve capítulos fue acompañado por una serie de ejercicios (con su enunciado y resolución), en los que hizo patente sus conocimientos astronómicos: I) Explicación de las escalas que permiten corregir las alturas observadas de los astros; II) Explicación de las escalas que sirven para corregir las distancias entre la Luna y las estrellas; III) Método gráfico para corregirlas distancias lunares, cuando se han observado ambos astros; IV) Método gráfico para corregir las distancias lunares cuando se dispone de un «reloj arreglado»; V) Resolución gráfica de los problemas propios de la trigonometría esférica; VI) Resolución gráfica de algunos problemas que pertenecen a las fórmulas diferenciales; VII) Explicación de los métodos gráficos para determinar las cinco o seis correcciones menores que han de aplicarse a las distancias lunares; VIII) Métodos para disminuir los defectos del estampado (asociados a la humedad y sequedad del papel) y verificar los instrumentos; IX) De los principios en que se funda la construcción de las escalas, y de algunas mejoras que pueden hacerse en ellas. Las peculiaridades de las observaciones propias de la astronomía náutica, fueron expuestas con toda claridad en la introducción: «los astrónomos terrestres insisten sobre un piso sólido y estable...y tal vez difieren el





Logotipo del Bureau International de Poids et Mesures. La Ciencia sostiene el metro, custodiada por Mercurio (con un mapa, un compás y un globo terrestre) y una alegoría de la Tecnología (con una rueda, un martillo, un yunque y un engranaje). metpΩ xpΩ (uso de la medición)

cálculo para cuando se hallan libres de ocupación y con la cabeza despejada...Las observaciones marinas se hacen sobre un cuerpo flotante, cuyas agitaciones son muy sensibles aún en los tiempos más calmosos, y obligan al observador a tomar precauciones para no ser arrojado violentamente contra el costado del buque en tiempo de borrasca».

G. Ciscar recopiló durante su estancia en París valiosa información metrológica, que le permitió redactar a su vuelta (en 1800) un valioso documento, dando cuenta del novedoso sistema que se pretendía instaurar: Memoria elemental sobre los nuevos pesos y medidas decimales fundadas en la naturaleza; firmándolo como Capitán de Navío de la Real Armada y Miembro de la Comisión de Pesos y Medidas del Instituto Nacional de Francia, por parte de S.M.C. (Su Majestad Católica). La Memoria se dividió en cinco capítulos, acompañados de anexos y de las tablas que mostraban las equivalencias entre las unidades antropométricas clásicas y las que se pretendían introducir. En el primero se realizó una brillante introducción sobre el origen e imperfección de las medidas y pesas actuales; en el segundo se expuso el nuevo sistema de medidas y

pesos decimales; el tercero daba a conocer la nueva nomenclatura métrica de los franceses y las razones que había para sustituirla por otra castellana; el cuarto justificaba la adopción del nuevo sistema; refutándose en el

quinto las objeciones a este, a la vez se apuntaban los modos en que se podía facilitar su introducción.

Es cuando menos sorprendente que Ciscar pretendiera, en cierto modo, mantener los nombres de los patrones clásicos españoles, a la vez que introducía nuevos vocablos en sustitución de los franceses. He aquí algunos ejemplos: «El *gradil* o grado decimal se considera dividido en cien minutos primeros, que pudieran llamarse *primeriles*: y cada primeril o minuto decimal se considera dividido en cien *segundiles* segundos decimales» (Advertencias preliminares). «La diezmillonésima parte del cuadrante del meridiano terrestre, que los franceses llaman *metro*, y

nosotros llamaremos *medidera* o vara decimal, es el principio de donde se derivan todas las nuevas medidas; y la cantidad de agua destilada contenida en el cubo de una décima de dicha vara es el término general de comparación para las pesadas. Los franceses llaman *kiliograma* á la expresada unidad fundamental de los pesos, que nosotros designaremos con el nombre de *unal* ó *libra decimal*» (Introducción). G. Ciscar valoraba muy positivamente el nuevo sistema, cuando afirmaba: «No hay duda en que las denominaciones derivadas del griego y del latín manifiestan la naturaleza de las nuevas unidades con elegancia y precisión. Pero estas ventajas, tan apreciables para los sujetos instruidos, dejan de serlo para el pueblo, tomando esta palabra con toda su extensión. La ignorancia presuntuosa toma desde luego el partido de ridiculizar la introducción de las voces nuevas y desconocidas, para desquitarse anticipadamente de la crítica a que puede exponerle su mala aplicación». Sin embargo, estaba convencido también de la bondad de las españolas: «...después de las medidas naturales, las medidas españolas merecían la preferencia sobre todas las demás usadas en Europa».

<i>Nombres adoptados por los Franceses.</i>	<i>Nombres castellanos correspondientes.</i>
Miriámetro.....	Legua decimal.
Kiliómetro.....	Milla decimal.
Hectómetro.....	Centena de varas.
Decámetro.....	Decena de varas.
Metro.....	Vara ó medidera.
Decímetro.....	Décima.
Centímetro.....	Céntima.
Milímetro.....	Mílma.
Decimilímetro..	Decimílma.
Centimilímetro.	Centimílma.

Parecería como si Ciscar no se hubiese percatado de que el Sistema Métrico Decimal pretendía romper con todos los patrones pretéritos, a los que los revolucionarios consideraban monárquicos, dando a las nuevas un carácter universal. Más de veinte años después (1821), publicó G. Ciscar la segunda parte de su obra metrológica: *Apuntes sobre Medidas, Pesos y Monedas*; estructurada en dieciocho capítulos. En el primero de ellos se refirió a la prolongación del Meridiano de Francia hasta la isla de Formentera, que resultó básica para la correcta evaluación del metro. En esta ocasión parece observarse menor fervor por el Sistema Métrico Decimal, llegando a criticar abiertamente la graduación centesimal de la circunferencia en el capítulo segundo; atendiendo a los inconvenientes de su empleo en las observaciones astronómicas, indefectiblemente ligadas a la graduación sexagesimal. El capítulo cuarto comienza con una sugerencia que resultaba un tanto contradictoria, rezaba así: «Haciendo en la vara de Burgos, tan conocida en Castilla, y de la cual se hace uso en todos los arsenales y fábricas de la Armada, la ligera disminución de una línea y dos décimos de punto, propuesta por primera vez en la Memoria publicada en el Almanaque náutico de 1810, impreso en 1807, se lograría una vara tan natural como el metro o medidera de los franceses; pues que estaría comprendida doce millones de veces en el cuadrante del meridiano terrestre, así como el metro está comprendido diez millones de veces en dicho arco, que es la cuarta parte del perímetro del meridiano». El colofón de esta segunda aportación es una tabla en la que relacionan entre sí a las unidades geográficas y náuticas con la vara, la braza y el pie.

Expresiones geográficas y náuticas. .	Brazas.	Varas.	Pies.
Una vuelta de la tierra.	24 millones.	48 millones.	144 millones.
El cuadrante ó distancia del ecuador al polo.	6 millones.	12 millones.	36 millones.
El grado de 90 en el cuadrante. . .	66666 ⁶ &c., esto es, 66666 y $\frac{6}{9}$, ó 4 pies.	133333 ³ &c., esto es, 133333 y $\frac{3}{9}$, ó 1 pie.	Cuatrocientos mil.

Marítimo en Sicilia. (Su latitud es un promedio de doce determinaciones de diversos sugetos de la Armada, y la longitud procede de habersele enfilado con cabo San Víctor al N. 70° 30' E.).....	38° 00' 36"	18° 13' 20"
Levenzo.....	38° 00' 00"	18° 32' 20"
La Valeta en Malta.....		20° 46' 00"
Isla Gozo (lo mas O.).....		20° 21' 00"
Isla Folfona.....	35° 48' 00"	
Trípoli de Berbería (el fuerte de la marina.).....	32° 54' 47"	19° 30' 53"

G. Ciscar realizó asimismo tareas geodésicas dignas de atención, tanto como observador como calculador, las cuales figuran en la recopilación: *Memorias sobre las observaciones hechas por los navegantes españoles en distintos lugares del globo las cuales han servido de fundamento para la formación de las cartas de marear publicadas por la dirección de Trabajos Hidrográficos de Madrid;* firmadas por José Espinosa Tello (1763-1815) en 1809, como jefe de escuadra y primer director de dicho establecimiento. Las observaciones las efectuó Ciscar durante los meses de febrero y abril de 1796, cuando ya era brigadier y viajaba, a bordo

de la fragata S.M. la Soledad, desde Cartagena a Trípoli. El objetivo de las mismas era fijar la posición de varios cabos e islas al Sur de Cerdeña y al Oeste de Sicilia, así como la fortaleza de Tripoli. Las latitudes las obtuvo observando las alturas meridianas del Sol, con un sextante; y las longitudes, con relación al meridiano de Cádiz, mediante un cronómetro construido por John Arnold (1736 - 1799), cuyo estado no varió en los dos meses que duró la campaña.

Los cálculos efectuados por G. Ciscar fueron esencialmente gravimétricos, pues se refirieron a las observaciones pendulares llevadas a cabo por los tenientes de navío José Espinosa y Ciriaco Cevallos Neto (1764-1816), miembros de la expedición comandada por Alejandro Malaspina (1754-1810); el cual había recibido el 22 de diciembre de 1790 la Real orden de ejecutar observaciones con el péndulo de segundos, « en lugares convenientes, para que

comparadas con las que han de verificarse en aquel reino (se refería a Francia), pudieran perfeccionar los conocimientos actuales sobre la verdadera figura de la Tierra, determinando si el hemisferio meridional es más aplanado». Comentaba luego Espinosa que las experiencias las hicieron siempre tres operadores: dos contaban el número de oscilaciones del péndulo simple durante una hora, mientras el tercero atendía el reloj del Observatorio, y apuntaba el segundo de tiempo en que oía la voz del que cantaba el péndulo simple. «El practicarlas con la mayor exactitud ha estado en nuestra mano, pero para sacar consecuencias de estas observaciones delicadas se requería que las manejase un matemático profundo. Por esto recurrimos al Brigadier Don Gabriel de Ciscar, quien por un efecto de su amor a las ciencias y de la amistad que nos une, ha tenido la condescendencia de calcular dichas observaciones, y sacar de ellas los resultados que contiene el escrito que ponemos a continuación».



Corbetas Descubierta y Atrevida

Consequencias que se deducen de las observaciones hechas con el péndulo invariable. Por Don Gabriel de Ciscar, Brigadier de la Real Armada.

Los cálculos que serán referidos a continuación forman parte del Apéndice III: *Experiencias sobre la gravedad hechas con un péndulo invariable en los puertos de Europa, América y Asia, mar Pacífico y Nueva Holanda en el viaje de las corbetas Descubierta y Atrevida*, el cual se incluyó al final de la Memoria segunda: *Observaciones practicadas en las costas del continente de América...con un apéndice en el que se da razón de varias observaciones astronómicas y físicas*

hechas en un viaje por el interior de América meridional, y de las ejecutadas en ambos hemisferios con un péndulo invariable.

G. Ciscar vació los resultados obtenidos en seis tablas, cuyas dos primeras columnas fueron idénticas, por identificar las estaciones de observación con sus correspondientes latitudes. En la primera expuso el número de oscilaciones calculadas y observadas, suponiendo que el aplanamiento era de $1/336$ y que el péndulo oscilaba 3607 veces por hora; la segunda listaba datos análogos para un aplanamiento de $1/321$ y 3607.02 oscilaciones por hora; la tercera daba los valores de la longitud del péndulo que batía segundos, supuesto un achatamiento de $1/336$, partiendo de que la longitud de ese péndulo en el ecuador era de 439.21 líneas del pie de París (la cual había sido deducida por P. Bouguer); en la cuarta procedió de manera análoga pero con un achatamiento de $1/321$, en la quinta se detallaron los valores de la gravedad calculados y observados, según un aplanamiento de $1/236$ y las observaciones hechas con un péndulo invariable, tomando por unidad la que se experimenta en el ecuador; en la sexta se repitieron los mismos cálculos, pero considerando un aplanamiento polar de $1/221$.

Ciscar manifestaba acto seguido que las observaciones más apropiadas para calcular el achatamiento son las hechas en el ecuador y «en latitudes muy crecidas», pues la exactitud de la determinación aumenta con el cuadrado del seno de la latitud del lugar en que se hizo.

Hemisferio boreal

Lugares.	Latitudes.
Mulgrave.....	59° 33'
Nutka.....	49° 35'
Monterey.....	36° 36'
Cádiz.....	36° 32'
Macao.....	23° 12'
Acapulco.....	16° 50'
Manila.....	14° 36'
Umatag.....	13° 18'
Zamboanga.....	6° 55'
Equador.....	00° 00'

Hemisferio austral

Puerto Egmont.	51° 21'
Santa Elena.....	44° 30'
Concepcion.....	36° 42'
Montevideo.....	34° 55'
Puerto Jakson....	33° 51'
Isla Babao.....	18° 39'
Lima.....	12° 05'
Equador.....	00° 00'



«En atención a esto, cuando se trata de determinar el aplanamiento comparando la observación hecha en el Ecuador con las correspondientes a otras latitudes, parece conforme a las reglas de la probabilidad deducir el promedio, dando a cada una de dichas observaciones un influjo proporcional al cuadrado del seno de la latitud en que se ha hecho». Ciscar aclaró el sentido de sus cálculos en el apéndice *Exposición de los principios que han servido de base para calcular las observaciones hechas con el péndulo invariable*. Evidenciando en el mismo su pericia en el uso de los logaritmos y que había estudiado *La Mecánica* de P. S. Laplace, de hecho la tuvo en cuenta al explicar como *Determinar el aplanamiento correspondiente a las observaciones*; aclarando la cuestión con la inclusión de ejemplos (Mulgrave y Nutka). Esta aportación gravimétrica, poco divulgada, de Ciscar fue concluida el 7 de noviembre de 1807 en la localidad murciana de Cartagena.

Esta no fue la única aportación gravimétrica de Ciscar, pues ya había efectuado en 1800 una determinación absoluta de la gravedad en Madrid, con un equipo de cuatro péndulos traídos al efecto desde París. El valor obtenido $g = 980.4486 \text{ cm.s}^{-2}$; se reprodujo en numerosas ocasiones (al menos hasta el año 1967) gracias a que fue incluido en las Tablas de logaritmos confeccionadas por el matemático Vicente Vázquez Queipo (1804-1893). Ciscar llegó incluso a evaluar la verdadera longitud del péndulo simple que batía segundos, tal como reconoció en su momento Joaquín Barraquer y Rovira (1834-1906), aunque añadiera acto seguido que solo podía aceptarse como «una curiosa noticia, sin los requisitos propios de un resultado de observaciones».

Cuando se hallaba refugiado en Gibraltar, escribió G. Ciscar una especie de testamento científico, al que denominó Poema Físico-Astronómico; el cual dedicó a Sir Arthur Wellesley (1769-1862), más conocido como Duque de Wellington, como muestra de agradecimiento «por haberle proporcionado lo necesario para vivir desahogadamente». La composición, firmada el 31 de mayo de 1828, constó de una introducción y siete cantos: I) A la Tierra, II) A sus movimientos de rotación y traslación, III) Al Sol, IV) A las Estrellas fijas, V) A los planetas primarios y cometas, VI) A la Luna, VII) A los planetas secundarios o satélites. Comentaba Ciscar en su prólogo que los que se tomaran el trabajo de leerla, «se convencerán de que es error craso el afirmar que *no hay antípodas*: de que *no son bárbaros que hablan sin prueba los que dicen que el cielo se extiende por debajo de la Tierra*: de que *no se hacen sospechosos de herejía los que creen que es redonda*: de que la opinión de su movimiento giratorio, lejos de ser impía y absurda, es una verdad demostrada: de que los diablos no mueven las tempestades: de que las *auroras boreales* no son combates de ángeles con espíritus malignos: de que los *fuegos fatuos*, que suelen verse en los sepulcros, no son las almas de los muertos: de que los volcanes no son bocas del infierno: de que pueden aparecer *meteoros* luminosos de todas formas, sin excluir las de cruces; etc.»

Á la Tierra.

1 ¡Madre comun de todos los vivientes,
Del Sumo Criador primera hechura!
Millones de tus hijos, indolentes,
Desconocen de un todo tu hermosura,
Y aún sobre tu tamaño y tu figura
Suponen los absurdos más patentes.
Cual te imagina plana, ilimitada,
Cual por un mar inmenso sustentada.
No fueran de extrañar tales errores,

Al Sol.

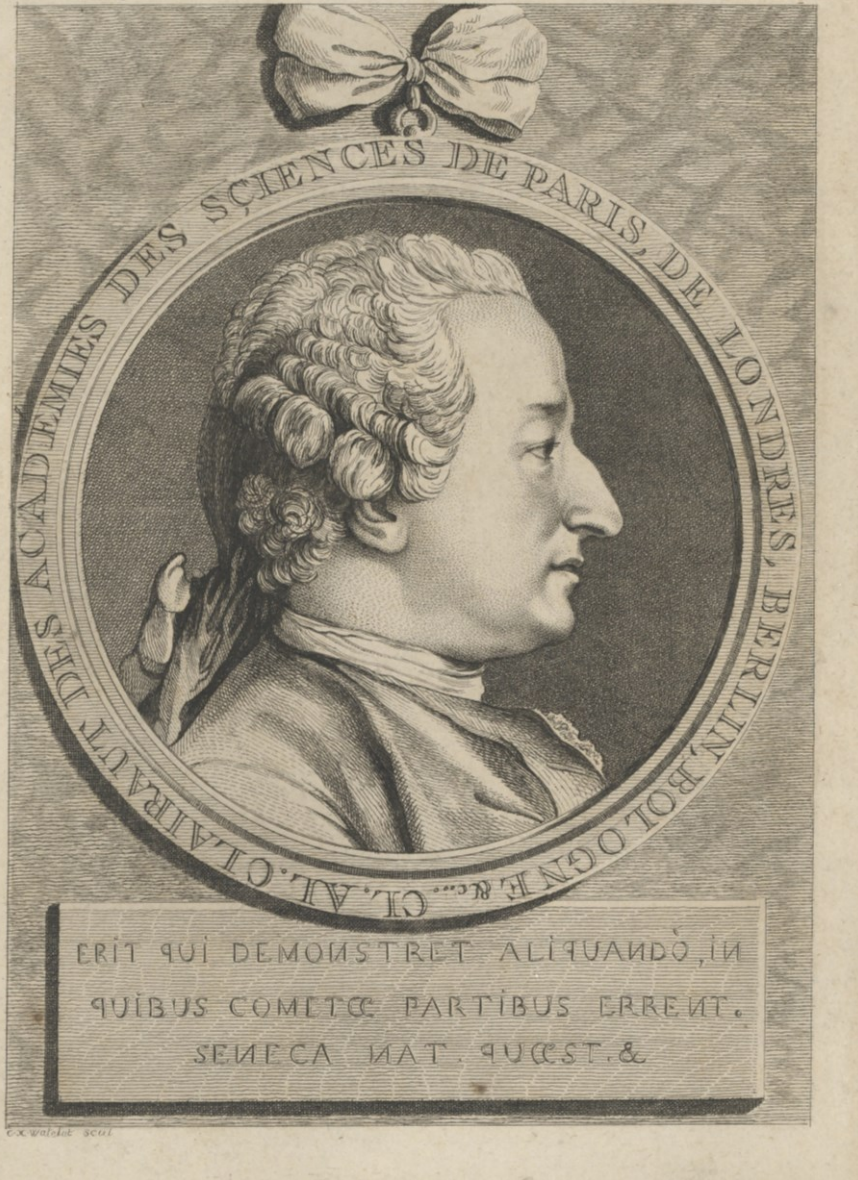
1 Oh padre de las luces celestiales
Si á tu enorme grandeza comparamos
El terráqueo Globo, que habitamos
Los degradados míseros mortales,
Parecerá un pintado jilguerillo,
Volando con el águila rapante;
O un tierno y desmedrado gozquecillo

De las estrellas fijas.

1 De los objetos más interesantes,
Por muchas y muy sólidas razones,
Es el determinar las posiciones
De las bellas antorchas centellantes,
Que, á guisa de preciosos diamantes,
Adornan de la noche el negro manto.
Hácia ellas se dirigen los semblantes
Humanos orgullosos, entre tanto

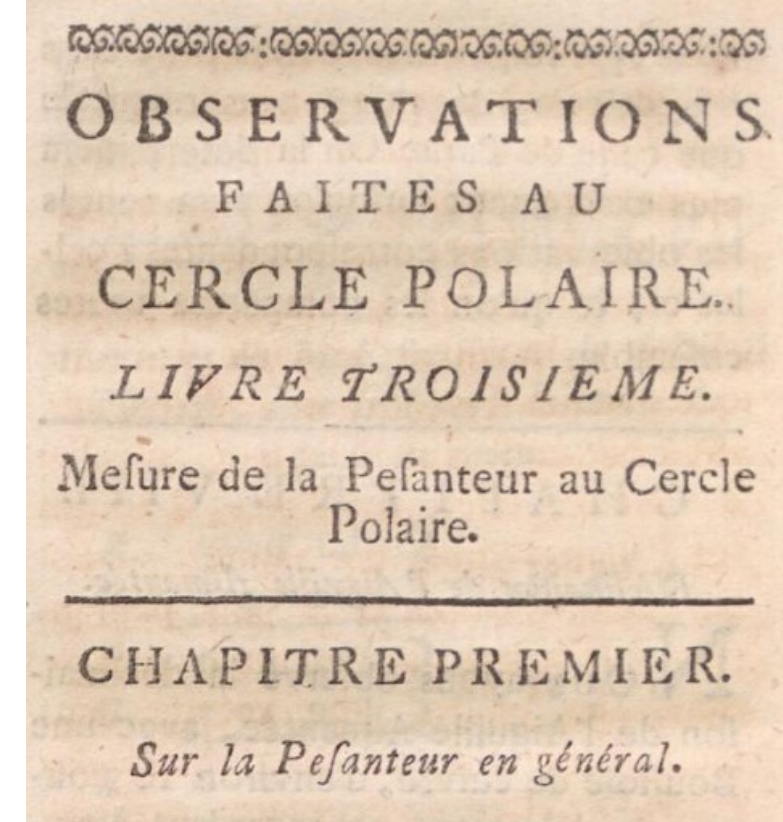
Claude Alexis Clairaut (1713-1765)

Geodesta y matemático que colaboró con P. Maupertuis en la medición de un grado de meridiano en Laponia y comprobó la variación de la gravedad. Su precocidad en la comprensión de las ciencias exactas fue sorprendente, con menos de diez años estaba familiarizado con los Elementos de Euclides y con diez ya pudo estudiar los libros del marqués de L'Hôpital (1661-1704). A los 13 leyó su primer trabajo ante la Academia de Ciencias de París: *Quatre problèmes sur de nouvelles courbes*. Tres años después se produjo su ingreso en la misma por sus aportaciones al análisis de las curvas de doble curvatura, aunque el rey no permitió que ingresara hasta el año 1731 (no se podía ingresar con menos de 20 años); siendo no obstante el miembro más joven elegido hasta entonces. Fue en su seno cuando comenzó a tomar partido por las tesis newtonianas, sobre la forma de la Tierra, de la mano de Maupertuis; también data de la misma época su ayuda a la marquesa del Châtelet en la traducción al francés de los Principia de I. Newton. Gracias a Maupertuis, conoció a J. Bernoulli en Basilea, cuyo estilo siguió al escribir sus comentarios sobre los máximos y mínimos, en el año 1733. Al año siguiente estudió las ecuaciones diferenciales, ahora conocidas con su nombre, proponiendo una solución singular aparte de la integral general de este tipo de ecuaciones.



Erit aliquando qui demonstret in quibus cometae partibus errent, una de las famosas predicciones de Seneca (Cuestiones Naturales) que hacía referencia a la futuro cálculo de las trayectorias de los cometas.

Poco después de que partiera para el virreinato de Perú la expedición, auspiciada por la Academia de Ciencias, que debía medir el grado de meridiano en aquella latitud, Maupertuis propuso realizar otra a Laponia con el mismo objetivo relacionado con la controversia sobre la figura de la Tierra; uno de los académicos que lo acompañaría sería precisamente Clairaut, quien posiblemente habría colaborado con él en la redacción del proyecto. Los trabajos se ejecutaron en el periodo 1736-1737, con el resultado de 57437 toesas para el desarrollo del grado, la conclusión fue obligada al ser mayor que los determinados en Francia: el desarrollo de los grados crecía con la latitud y por tanto la curvatura de la Tierra tenía que ser menor en las zonas polares que en las ecuatoriales, tal como defendía Newton. Dicho resultado fue comunicado de inmediato a la Academia de Ciencias por Maupertuis y por Clairaut a la Royal Society. Poco después, en 1738 se hizo el pronunciamiento *formal en el libro: La figure de la Terre, déterminée par les observations de Mm. de Maupertuis, Clairaut, Camus, Le Monnier,... et de l'abbé Outhier,... accompagnés de M. Celsius,... faites par ordre du Roy au cercle polaire. Par M. de Maupertuis;* acompañado por otro que vino a ratificarlo en el año 1740: *Degré du méridien entre Paris et Amiens déterminé par la mesure de M. Picard et par les observations de MM. de Maupertuis, Clairaut, Camus, Le Monnier,... d'où l'on déduit la figure de la Terre par la comparaison de ce degré avec celui qui a été mesuré au cercle polaire.* La expedición a Laponia, como su homóloga americana, no solo fue geométrica, sino que también tuvo una importante componente física; reflejada en el título, hartamente elocuente, con que se abordó en el primer libro: *Observations faites au Cercle Polaire (mesure de la pesanteur).*



T A B L E

DES ACCÉLÉRATIONS DE LA PENDULE;
 ET DES ALLONGEMENS DU PENDULE;
depuis l'Equateur jusqu'au Pole.

LATITUDE du LIEU.	ACCÉLÉRATION de la Pendule pendant une revolu- tion des Fixes.	Parties de Ligne, & Lignes d'Allongement du Pendule.
00	0"	0
5	1,6	0,016
10	6,4	0,064
80	206,8	2,103
85	211,6	2,152
90	213,2	2,169

Ese apartado se subdividió en los capítulos siguientes: I) Sobre la gravedad en general; II) Experiencias hechas en Pello sobre la gravedad; III) Observaciones hechas en París con el mismo instrumento; IV) Aceleración del péndulo; V) Experiencias hechas con otros instrumentos; VI) Reflexiones sobre el aumento de la gravedad; VII) Manera de hallar la dirección de la gravedad. La elección de Pello no fue casual, pues pretendieron medir la gravedad en un lugar que estuviese cerca del Polo, y su latitud fue de $66^{\circ} 48'$. En el capítulo III se concretó que la longitud el péndulo que batía segundos en París era de 440.57 líneas, mientras que en Pello fue de 441.17 líneas; de manera que el valor de la gravedad aumentaba con la latitud. Tal resultado animó a los expedicionarios, y sobre todo a Clairaut, a confeccionar una tabla en la que se detallase como se iba incrementando la gravedad desde el Ecuador hacia el Polo; suponiendo para ello que lo hacía aproximadamente como el cuadrado del seno de la latitud. En el capítulo VII se planteó un

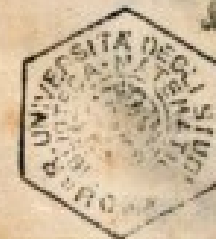
problema directamente relacionado con el que luego sería denominado esferoide de Clairaut: «Siendo conocida la figurade la Tierra, y la relación entre la gravedad en el ecuador con la existente en una latitud dada, hallar el ángulo que forma la dirección de la gravedad actual, con la de la gravedad primitiva, o el punto del eje de la Tierra, hacia el que tiende la gravedad».

La virulencia de la controversia sobre la forma de la Tierra, debió influir sobre Clairaut para que en el año 1743 publicase una de sus obras más relevantes, proporcionando así un soporte teórico a los resultados experimentales que se habían logrado en la expedición geodésica de Laponia, se trata de su *Théorie de la Figure de la Terre, tirée des principes de l'hydrostatique*; un estudio que podría considerarse continuación del artículo que envió desde Laponia a la *Royal Society* y que luego sería reproducido en sus *Philosophical Transactions*. Su contenido ya había sido leído a lo largo del año 1742 en la Academia de Ciencias, la cual consideró que se trataba de un trabajo digno de ser publicado. La obra se dividió en dos partes: A) Principios generales para hallar las hipótesis según las cuales los fluidos pueden estar en equilibrio, determinando así la figura de la Tierra y la de otros planetas, supuesta conocida la ley de la gravedad (expuesta en 12 capítulos), B) Determinación de la figura de la Tierra y de otros planetas, partiendo de que todas sus partes se atraen recíprocamente en razón inversa al cuadrado de las distancias (expuesta en 5 capítulos). La influencia newtoniana es manifiesta, como ya se encargaba de anunciarlo en su preámbulo, al referirse a los torbellinos de Descartes y concluir que no eran los adecuados para resolver un problema, cuya solución se debería apoyar en las leyes de la hidrostática.

THEORIE^{1ST.}
DE LA
FIGURE¹⁰⁶⁰
DE LA TERRE^{16/21/43}

Tirée des Principes de l'Hydrostatique.

Par M. CLAIRAUT, de l'Académie Royale des Sciences, & de la Société Royale de Londres.



A PARIS,

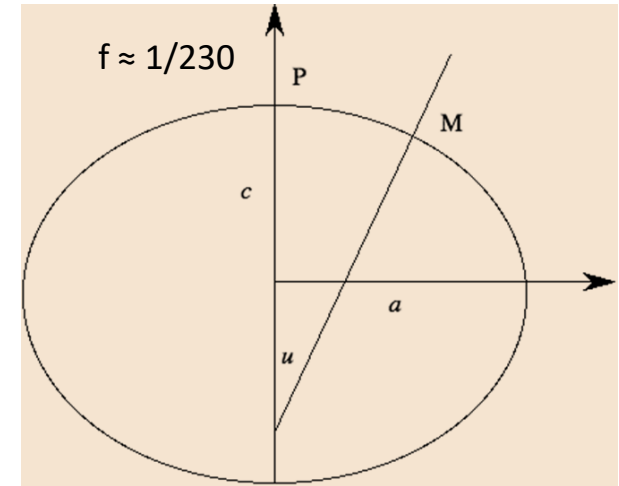
Chez DAVID Fils, Libraire, rue Saint-Jacques,
à la Plume d'or.

MDCCLXIII.

AVEC APPROBATION ET PRIVILEGE DU ROI.

Suya fue también su reflexión al respecto, incluida en el mismo preámbulo: «... Les lois de l'hydrostatique ne pourraient-elles pas permettre que cette masse d'eau eût une forme irrégulière, qu'elle fût aplatie par un pôle, allongée de l'autre et que les méridiens ne fussent pas semblables ? En ce cas les opérations faites en Laponie, en France et au Pérou ne pourraient nous donner la vraie figure de la Terre. On sait par les premiers principes de cette science qu'un fluide ne saurait être en repos à moins que la surface ne soit de niveau c'est-à-dire perpendiculaire à la ligne à plomb, parce qu'alors chaque goutte n'a plus de pente à couler d'un côté que de l'autre. De là il suit que si la force avec laquelle tous les corps tombent étant toujours dirigée vers un même centre, la Terre devrait être parfaitement ronde... mais si au contraire la pesanteur suit une ligne qui ne passe pas par le centre, la Terre ne sera plus sphérique, mais elle aura la forme nécessaire pour qu'en chacun des points de la surface elle soit coupée perpendiculairement par la direction de la pesanteur en ce point. Toute la question de la forme de la Terre est donc fondée sur la loi selon laquelle la force de pesanteur agit... ».

Uno de los resultados más determinantes obtenidos por Clairaut fue el de la relación existente entre el aplastamiento geométrico y el que se podría llamar gravimétrico. Considerado el elipsoide de revolución de semiejes a y c , se define el primero como $f = (a-c)/a$. Si u es la colatitud de un punto M del elipsoide, es decir el ángulo formado por la normal a esa superficie, en M , con el eje de rotación. La ecuación de este esferoide de Clairaut sería en primera aproximación $r = a (1 - f \cos^2 u)$. Ahora bien, si γ_E y γ_P son los valores de la gravedad en el ecuador y en los polos, se define el aplastamiento gravimétrico como $f_G = (\gamma_P - \gamma_E)/\gamma_E$, habiendo demostrado aquel que $\gamma_M = \gamma_E (1 + f_G \cos^2 u) = \gamma_E (1 + f_G \sin^2 \varphi)$. De manera que se obtuvo de esa forma el modelo teórico que sustentaría los valores determinados por las medidas pendulares realizadas por el equipo comandado por Maupertuis.



THEORIE
DE LA LUNE
DEDUITE
DU SEUL PRINCIPE
DE L'ATTRACTION
RECIPROQUEMENT PROPORTIONELLE
AUX QUARRÉS DES DISTANCES.

Par M. CLAIRAUT,

des Academies Royales de France, d' Angleterre , de Prusse,
de Suede & de l' Institut de Bologne.

TABLES
DE LA LUNE,

CALCULÉES
SUIVANT LA THÉORIE
DE LA
GRAVITATION UNIVERSELLE.

Par M. CLAIRAUT, de l'Académie Royale des Sciences, de la
Société Royale de Londres, de celles d'Edimbourg & d'Upsal,
de l'Académie de Berlin & de celle de l'Institut de Bologne.



A PARIS,

Chez DURAND, rue S. Jacques, au Griffon.
PISSOT, Quay de Conty, à la Sagette.

M. DCC. LIV.

Avec Approbation & Privilège du Roi.

Una vez publicada su teoría sobre la figura de la Tierra, comenzó su estudio del problema de los tres cuerpos y en particular el de la órbita lunar, en 1745; la primera consideración relevante que hizo fue una corrección a Newton, pues creía que sus hipótesis sobre la gravedad eran incorrectas y que la ley del inverso de los cuadrados no se cumplía, coincidiendo en esto con Euler. Sin embargo, en 1748 constató que se había confundido y que la diferencia entre el movimiento observado del apogeo lunar y el teórico se debía a errores propios de las aproximaciones de los cálculos y no a la ley de la atracción universal; y así lo hizo saber en la Academia de Ciencias. Cuando Euler supo el nuevo descubrimiento hecho por Clairaut dijo que ese había sido el más relevante y profundo que había sido hecho en matemáticas. En el año 1752 se publicó por fin la *Théorie de la lune déduite du seul principe de l'attraction réciproquement proportionelle aux quarrés des distances*, completándose dos años después con las Tablas de la Luna, calculadas según la teoría de la gravitación universal. Ese trabajo fue premiado por la Academia Imperial de Ciencias de San Petersburgo, que lo convocó en 1750 con el siguiente título: *Si toutes les inegalités, qu'on a observées dans le mouvement de la Lune, s'accordent avec la Theorie Newtonienne ou non? & quelle est la vraie Theorie de toutes les inegalités, don ton peut deduire exactement pour un instant quelconque proposé le lieu de la Lune?*

Superado el problema anterior, Clairaut aplicó el problema de los tres cuerpos para fijar los parámetros orbitales del cometa Halley y poder predecir su regreso.

El cometa Halley visto desde Londres, en el año 1759. Samuel Scott (1702-1772)



Tras cálculos más exactos que los anteriores, anunció a la Academia de Ciencias de París que su perihelio tendría lugar el 15 de abril de 1759; aunque realmente se produjo el 13 de marzo, el asombro que produjo fue tal que llegó a proponerse rebautizar el cometa con el nombre de Clairaut, al que llegaron a referirse como un nuevo Tales.

La óptica, y más concretamente la aberración de la luz, fue otra de las actividades científicas en la que estuvo interesado Clairaut, comprobando su existencia durante las observaciones astronómicas que realizó en Laponia; teniéndola en cuenta después en sus investigaciones sobre los cometas y los planetas. Incluso prestó atención a la posibilidad de incorporar a los telescopios lentes

compuestas, de distintas clases de vidrio, capaces de corregir sus efectos. Clairaut fue miembro, además de la Academia de París, de las sociedades científicas más prestigiosas de su tiempo: *la Royal Society* de Londres, la Academia de Berlín, la Academia de San Petersburgo y las Academias de Bolonia y Uppsala.



INSTITUT DE FRANCE
Académie des sciences



Séance publique

TRICENTENAIRE DE CLAIRAUT,
MATHÉMATICIEN ET GÉOPHYSICIEN

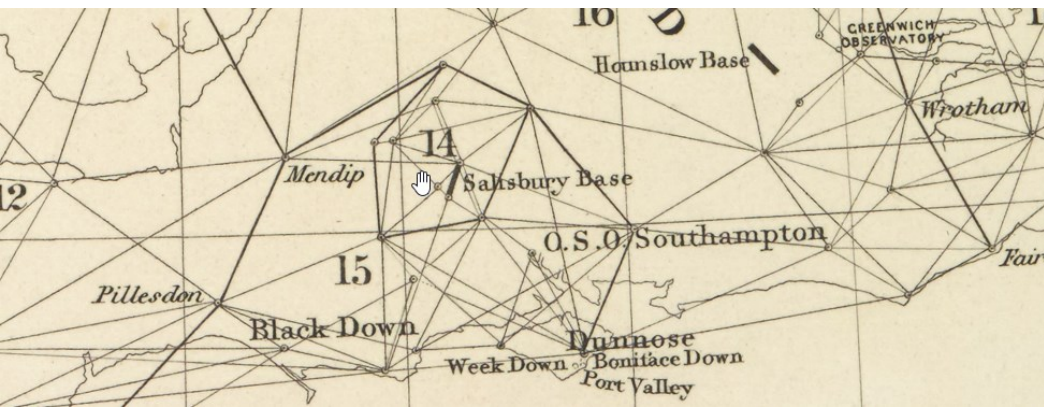
Mardi 14 mai 2013 de 14h00 à 17h00



Alexander Ross Clarke (1828-1914)

Coronel del Cuerpo de Ingenieros Militares y uno de los geodestas ingleses más eminentes que, tras ingresar en el *Ordnance Survey*, fue el artífice de la red geodésica de la gran Bretaña; su libro de Geodesia llegó a ser referente en la bibliografía de esa disciplina y su modelo elipsoidal fue representado en los mapas topográficos de muchos países de la órbita anglosajona y también en Francia. Su ingreso en el centro cartográfico, con sede en la ciudad de Southampton, se produjo en el año 1850, siendo destinado a Canadá al año siguiente y permaneciendo allí hasta el 1854. A su vuelta, se estableció definitivamente en esa ciudad, en la que siguió residiendo el resto de su vida. En el año 1855 alcanzó el grado de segundo capitán, siendo nombrado jefe del departamento encargado de los levantamientos trigonométricos y altimétricos de Gran Bretaña e Irlanda. La triangulación presentó aquí la singularidad de no seguir el patrón de las cadenas a lo largo de meridianos y paralelos, sino que cubrió todo el territorio con una red continua de triángulos. La tarea la cumplió con extraordinaria minuciosidad y rapidez, convirtiéndose a partir de entonces en un autor prolífico, destacando sobre todo la memoria publicada en 1858: *Account of the Observations and Calculation, of the Principal Triangulation; and of the Figure, dimensions and mean specific gravity of the Earth as derived therefrom.*

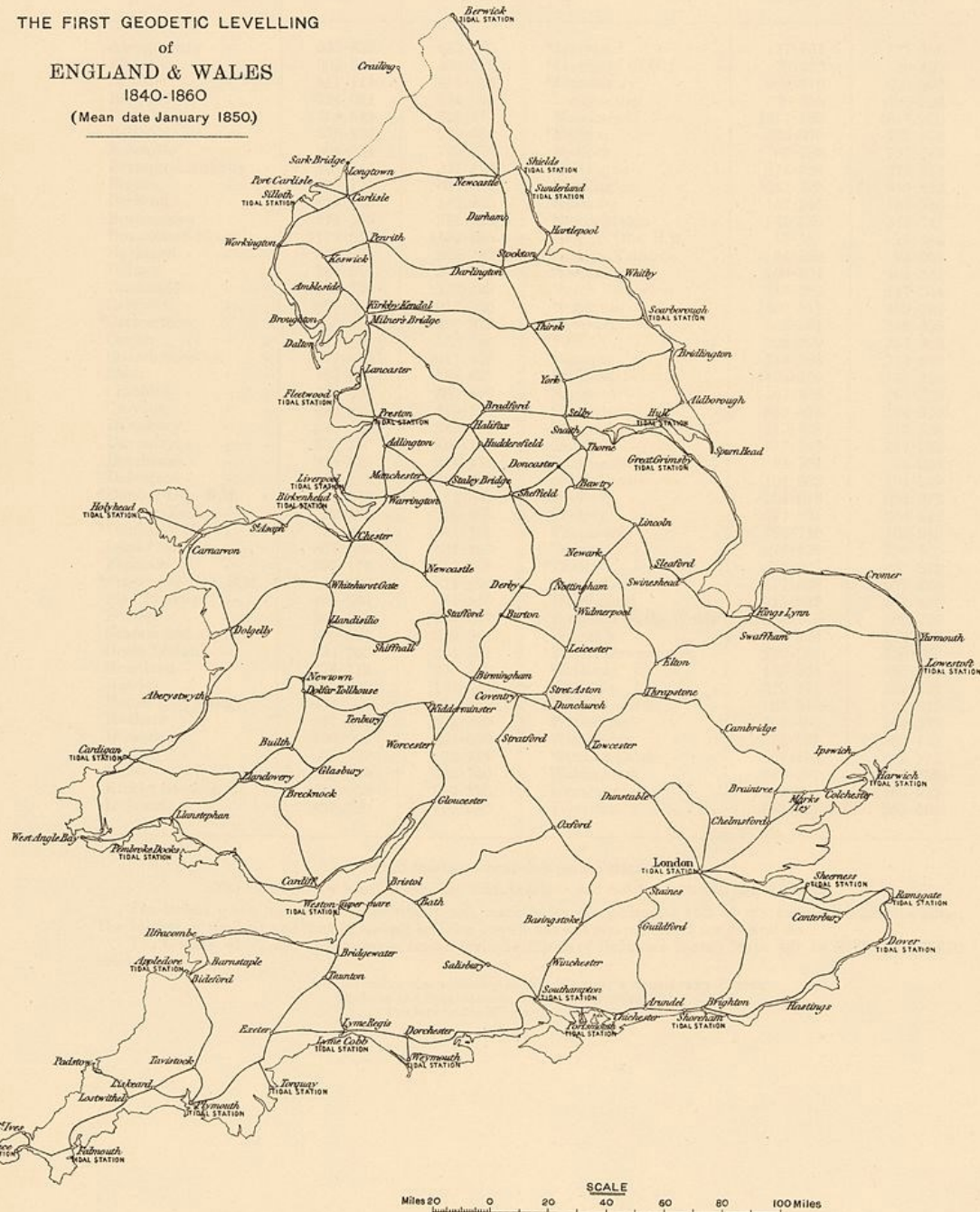
Un trabajo monumental, con más de 800 páginas, cuidadosamente ilustrado, que desvelaba los pormenores de tan relevante proyecto geodésico, a lo largo de las catorce secciones siguientes: I) Descripción de las estaciones (vértices), II) Descripción de los instrumentos, III) Reducción de las observaciones, III) Reducción de las observaciones, IV) Observaciones terrestres y astronómicas, V) Medida de las bases, VI) Fundamentos del Cálculo, VII) Reducción de la triangulación, VIII) Triángulos y distancias, IX) Distancias cenitales terrestres y altitudes, X) Conexión entre las observaciones terrestres y astronómicas, XI) Determinación de la desviación de la vertical en varias estaciones astronómicas de la triangulación (Puntos de Laplace), XII) Determinación del elipsoide que mejor se adapta a la superficie de Gran Bretaña e Irlanda XIII) El desarrollo lineal del grado & Latitudes, longitudes y dirección del meridiano en diferentes vértices, XIV) La figura de la Tierra.



Detalle de las bases geodésicas de Salisbury y Hounslow, Southampton y el Observatorio de Greenwich



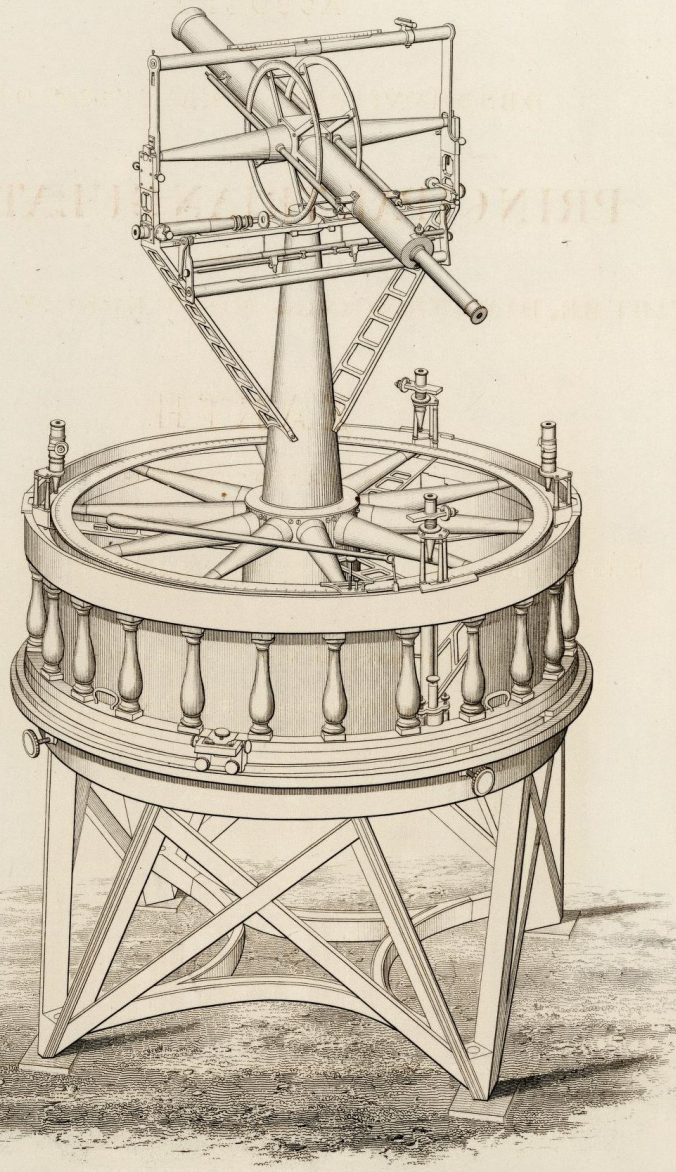
THE FIRST GEODETIC LEVELLING
of
ENGLAND & WALES
1840-1860
(Mean date January 1850.)



En el año 1861 publicó otra memoria referida a la nivelación del Reino Unido: *The Account of the levelling of England, Wales and Scotland*. Ese levantamiento altimétrico fue independiente del planimétrico que se acaba de citar, y fue ejecutado entre los años 1841 y 1860. Clarke aplicó el método de los mínimos cuadrados para compensar todas las líneas de nivelación, que enlazaban las diferentes señales repartidas por toda la isla; considerando como puntos de referencia fundamentales los extremos de las mismas y en sus puntos de intersección, el origen de las altitudes se localizó en Liverpool. Los itinerarios principales (con doble nivelación) discurrieron por las carreteras principales, alcanzando un desarrollo próximo a las 10000 millas; aunque se establecieron otros secundarios para fijar las altitudes de los vértices geodésicos, usando para ello la nivelación trigonométrica. Aunque en su momento se consideró fiable, el progreso en la construcción de niveles y la incorporación de las miras parlantes, junto a la desaparición de muchas de las señales colocadas, hizo que en 1911 se pensara en repetirla; esa nueva nivelación se efectuó a lo largo del periodo 1912-1921.

Clarke mostró siempre un espacial interés por la figura de la Tierra, creyendo en principio que ya era conocida con suficiente aproximación, al recordar los parámetros elipsoidales que habían sido fijados por Bessel (semieje ecuatorial de 6377397 m y un achatamiento de 1/299.15). No obstante, él analizó tres posibilidades y concluyó que el mejor ajuste lo proporcionaba el elipsoide definido por un semieje mayor de 6378293 m y un aplastamiento polar de 1 /294.26. En el año 1860 volvió a ocuparse de la cuestión (*On the Figure of the Earth*), al leer el artículo *Essai d'une détermination de la véritable Figure de la Terre*, publicado por el astrónomo y general alemán Theodor von Schubert (1758-1825) en la revista *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*. Lo relevante de esta contribución fue su estudio riguroso de un modelo de elipsoide triaxial, sobre el que los cálculos geodésicos son mucho más complicados que los que se realizan sobre la superficie de un elipsoide de revolución; dado que la incertidumbre de sus parámetros no era despreciable, optó por el segundo modelo. No obstante, estos fueron los asociados a su modelo triaxial: $c=20853768$ pies, $a=20926485$ pies, a una longitud de $13^{\circ}58'30''E$, y $b=20921177$ pies, a una longitud de $103^{\circ}58'30''E$; c era el semieje polar, a y b los semiejes ecuatoriales, El aplastamiento lo supuso comprendido entre 1/309.4 y 1/286.8. Casi veinte años después, en 1878, lo hizo de nuevo (*On the Figure of the Earth*) en la revista *Philosophical Magazine and Journal of Science* (Londres, Edimburgo y Dublín), indicando que el valor del aplastamiento polar parecía aumentar al involucrar en su cálculo mayor número de arcos.

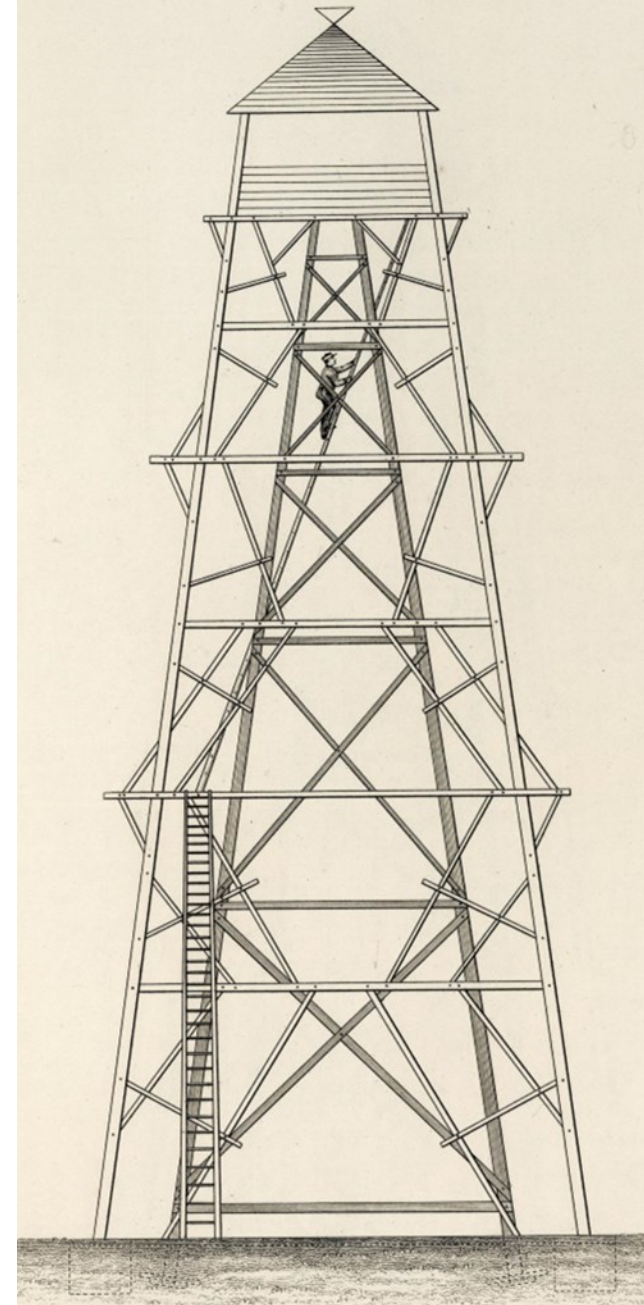




El gran teodolito de Ramsdens, usado en la medida de los ángulos horizontales de la triangulación inglesa.

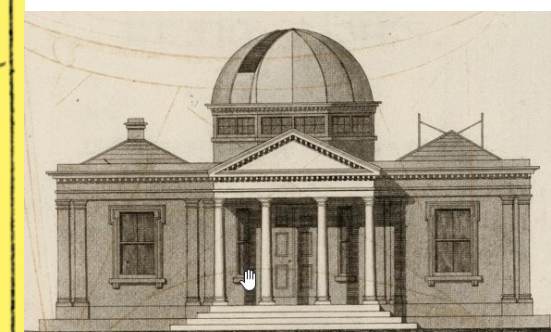
Con la experiencia acumulada de tantos años al frente de los trabajos geodésicos en el *Ordnance Survey*, publicó Clarke en 1880 un manual con el sencillo título de *Geodesy*, verdadero libro de texto universalmente valorado, cuya vigencia duró casi cien años; justamente hasta que los progresos en la medida electromagnética de distancias y el desarrollo de la era espacial propiciaron la respectiva aparición de las poligonales de alta precisión y las novedosas técnicas posicionamiento (Global Positioning System: GPS). El temario abordado constó de los catorce capítulos que se citan a continuación: I) Operaciones Geodésicas, II) Trigonometría esférica, III) Mínimos Cuadrados, IV) teoría de la Figura de la Tierra, V) Distancias, Acimutes y Triángulos, VI) Líneas geodésicas, VII) Medida de Bases, VIII) Instrumentos de Observación, IX) Cálculo de la Triangulación, X) Cálculo de las Longitudes y Latitudes, XI) Altitud de los Vértices, XII) Conexión entre las Operaciones Geodésicas y Astronómicas, XIII) Figura de la Tierra, XIV) Péndulos.

Torre de observación



Una interesante aportación metrológica de Clarke, también merece ser reseñada. Tuvo lugar tras haber propuesto F.G.W. von Struve, en 1860, la interconexión entre todas las redes geodésicas europeas. El gobierno británico decidió incorporarse al proyecto, aceptando la invitación de los gobiernos implicados, a la vez que sugirió la conveniencia de comparar los diferentes patrones lineales usados en la medición de las respectivas bases. Todos los participantes aceptaron la sugerencia británica y enviaron sus patrones lineales a Southampton, para que fuesen contrastadas sus longitudes. Clarke publicó los resultados del experimento en su artículo *Comparisons of the Standards of Length of England, France, Belgium, Prussia, Russia, India, Australia, made at the Ordnance Survey Office, Southampton* (1866). Todas las comparaciones se hicieron en un edificio construido al efecto, luego conocido como *Bar room*.

Measures.	Expressed in Terms of the Standard Yard. — Y.	Expressed in inches. — Inch = $\frac{1}{36}$ Y.	Expressed in lines of the Toise. — Line = $\frac{1}{864}$ T.	Expressed in Millimetres. — Millimetre = $\frac{1}{1000}$ M.
The Yard	1·0000000	36·000000	405·34622	914·39180
Copy No. 55 of the Yard at its Standard Temperature of 62·00 F.	0·9999996	35·999986	405·34606	914·39143
Ordnance Standard Foot " " " 62·00	0·33333284	11·999982	135·11521	304·79681
Indian Standard Foot " " " 62·00	0·33333611	12·000100	135·11653	304·79980
Ordnance 10-foot Bar O ₁ " " " 62·00	3·33333717	120·000138	1351·15563	3047·97616
Ordnance 10-foot Bar OI ₁ " " " 62·00	3·33335432	120·000755	1351·16259	3047·99184
Indian 10-foot Bar I _S " " " 62·00	3·33340138	120·092450	1351·18166	3048·03488
Indian 10-foot Bar I _B " " " 62·00	3·33353284	120·007182	1351·23495	3048·15508
Indian 10-foot Bar I _b " " " 62·00	3·33331457	119·999324	1351·14647	3047·95550
Australian Standard O ₄ " " " 62·00	3·33330427	119·998954	1351·14230	3047·94608
Australian Standard OI " " " 62·00	3·33333747	120·000149	1351·15576	3047·97644
Ordnance Toise " " " 61·25	2·13166458	76·739925	864·06219	1949·17660
Ordnance Metre " " " 61·25	1·09374800	39·374928	443·34662	1000·11420
Royal Society's Metre à traits " " " 32·00	1·09360478	39·369772	443·28857	999·98324
Prussian Toise No. 10 " " " 61·25	2·13150911	76·734328	863·99917	1949·03444
Belgian Toise No. 11 " " " 61·25	2·13150851	76·734306	863·99893	1949·03390
Russian Double Toise P " " " 61·25	4·26300798	153·468287	1727·99419	3898·05952
The Toise.....	2·13151116	76·734402	864·00000	1949·03632
The Metre	1·09362311	39·370432	443·29600	1000·00000



Observatorio astronómico.
Ordnance Survey.
Southampton

A.C. Clarke fue miembro de la *Royal Society* de Edimburgo y de la *Royal Astronomical Society*. En el año 1887 recibió la prestigiosa medalla de la *Royal Society* de Londres, con la siguiente mención:

The medal which, in accordance with the usual rule has been devoted to mathematics and physics, has this year been awarded to Colonel A. Clarke for his comparison of standards of length, and determination of the figure of the earth. Col. Clarke was for some 25 years the scientific and mathematical adviser for the Ordnance Survey, and while acting in that capacity he became known to the whole scientific world as possessing unique knowledge and power in dealing with the complex questions which arise in the science of geodesy. His laborious comparison of the standards of length, carried out under General Sir Henry James, R.E., are universally regarded as models of scientific precision. His determination of the ellipticity and dimensions of the earth from the great arcs of meridian and longitude involved a very high mathematical ability and an enormous amount of labour. The conclusion at which he arrived removed an apparent discrepancy between the results of pendulum experiments and those derived from geodesy, and is generally accepted as the best approximation hitherto attained as to the figure of the earth.

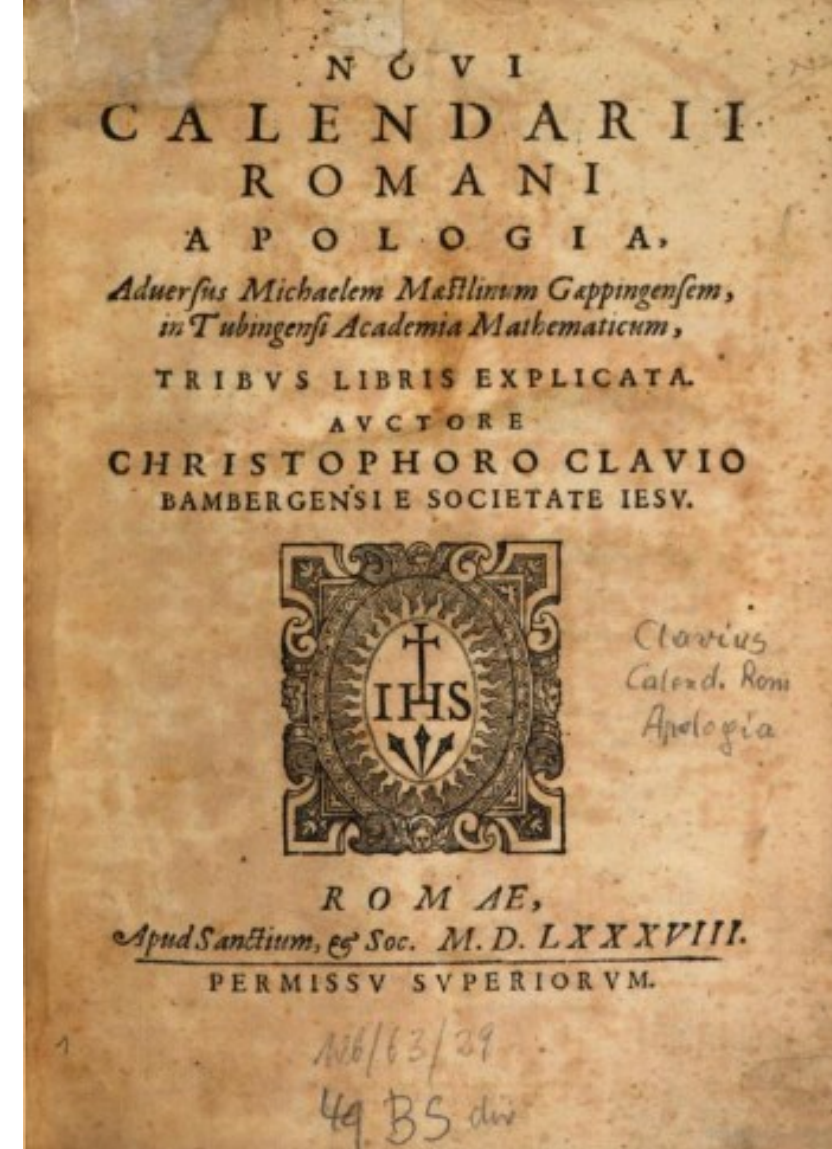
Christophorus Clavius (1538-1612)

Jesuita alemán, astrónomo y matemático insigne (el Euclides de su tiempo fue llamado), cuyo papel en la comisión para la reforma del calendario fue decisivo. Propició con su informe la supresión del que fuera impuesto por Julio Cesar (100-44 a.C.), en favor del promulgado por el papa Gregorio XIII (Inter Gravissimas. 1582); de ahí su nombre de gregoriano, al igual que el anterior se llamó juliano. Tan pronto como ingresó en la Compañía de Jesús (no fue miembro de pleno derecho hasta 1575) comenzó su formación académica en la Universidad de Coimbra, donde fue alumno de P. Nunes. Su interés por las matemáticas y por la astronomía fue permanente, habiendo jugado un papel determinante el eclipse solar ocurrido el mes de agosto del año 1560; como él mismo recordaría en 1593 cuando se publicó su traducción comentada de la Esfera de Sacrobosco: «... lo observé hacia el mediodía en Coimbra en Lusitania ...en el que la Luna se colocó entre mi vista y el Sol con el resultado de que cubrió todo el Sol durante un período de tiempo considerable. Había oscuridad de alguna manera más grande que la noche; tampoco se podía ver dónde se pisaba.



Las estrellas aparecieron en el cielo y (maravilloso de contemplar) los pájaros cayeron del cielo al suelo aterrorizados por tan horrible oscuridad». Ese mismo año de 1560 se trasladó a Italia y estudió en el Collegio Romano, siendo ordenado sacerdote en 1564, comenzando entonces su actividad como profesor de matemáticas, que ya no abandonaría jamás.

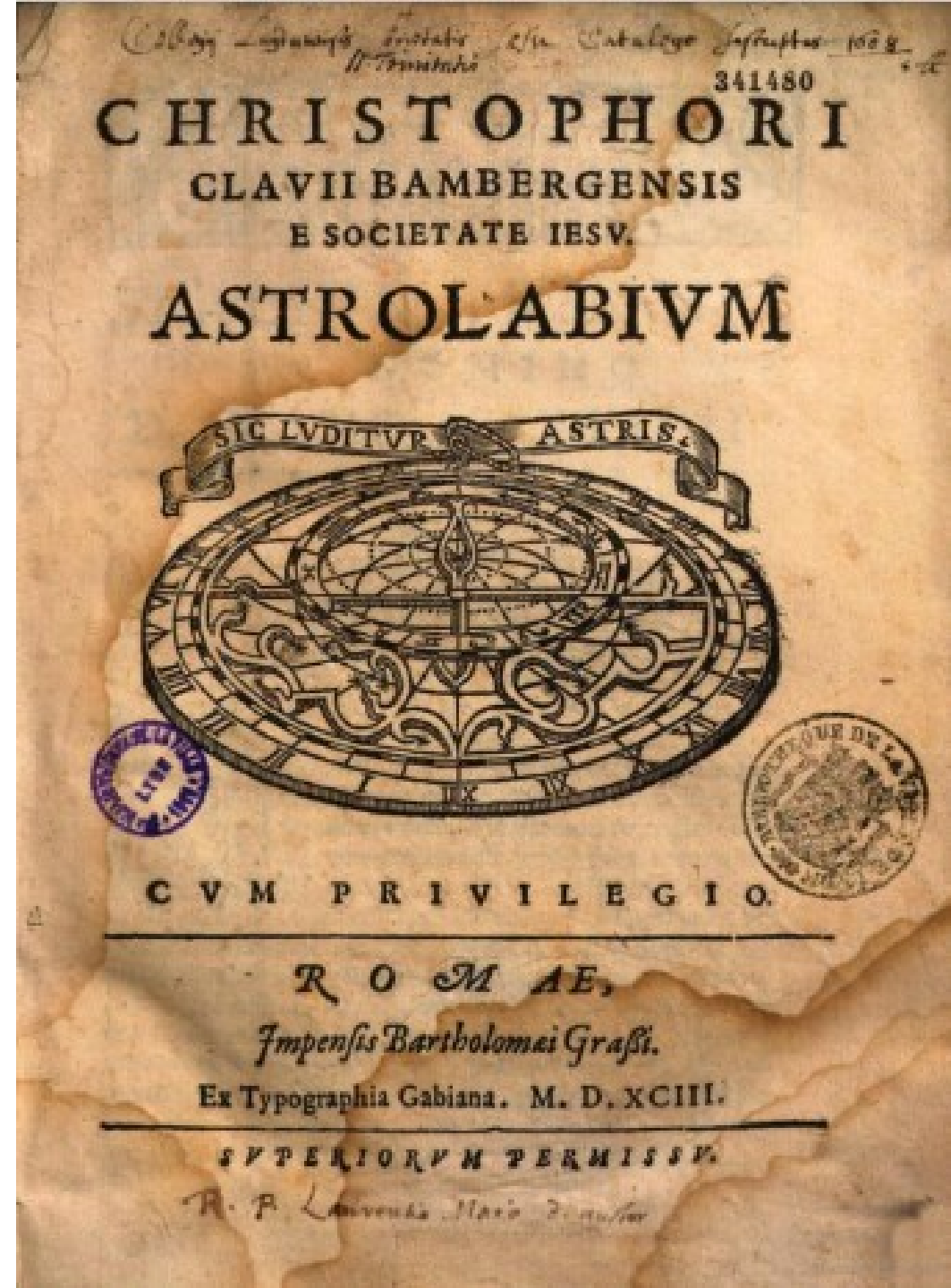
Aunque Clavius fuese un autor prolífico, sus trabajos sobre la reforma del calendario son los que le dieron mayor fama. Es sabido que el origen del problema surgió en el año 395, cuando la Iglesia decidió celebrar la Pascua el domingo siguiente a la luna llena del equinoccio de primavera en el hemisferio Norte (el de otoño en el Sur). Ahora bien, como la duración del año trópico es aproximadamente de 365.242189 días, es decir 0.7811 días más que los previstos en el calendario juliano, resultaba que en 1000 años se habría producido un desfase cercano a los diez días. Como tanto en el concilio de 1511, como en el de Trento (1563) se le pidió al Papa que solucionase la cuestión, se creó la comisión correspondiente. Clavius que era uno de sus miembros más antiguos propuso entonces que el miércoles 4 de octubre de 1582 (juliano) fuese seguido por el jueves 15 de octubre (gregoriano); por otra parte, los años bisiestos coincidirían con los que fuesen exactamente divisibles por cuatro, excepto los que terminasen en 00, que tendrían que ser divisibles por 400 (de esa forma se requerirían unos 3500 años para que el desfase fuese de un día). Fueron tantas las protestas por los que suponían que el Papa de Roma les había robado diez días, que Clavius se vió obligado a escribir *Novi calendarii romani apologia* (1588), para defenderse de todos los ataques.





Clavius fue asimismo traductor de los clásicos, entre los que han de destacarse los Elementos de Euclides y las Esferas de Teodosio de Bitinia; otras de sus obras fueron libros de Álgebra y Aritmética, el segundo fue usado entre otros por Leibniz y Descartes. También ideó instrumentos de medida, como el cuadrante, de inmediata aplicación en las operaciones topográficas, tal como puso de manifiesto en sus ocho libros de *Geometria Practica* (1604). Su tratado de gnomónica fue una aportación fundamental para el diseño y construcción de todo tipo de relojes de Sol (*Fabrica et usus instrumenti ad horologiorum descriptionem peropportuni: accessit ratio describendarum horarum a meridie & media nocte exquisitissima, & nunquam ante hac in lucem edita*. 1586). Al final de su actividad profesional recopiló la mayoría de sus trabajos en *Christophori Clavii e Societate Jesu opera mathematica, quinque tomis distributa*, publicada en el año 1612, cuyo frontispicio se encuadró entre las alegorías de la Geometría y de la Astronomía; debiendo subrayar que en el volumen tercero, dedicado a la esfera de Sacrobosco, incluyó un tratado sobre la construcción y manejo del astrolabio (con numerosas ilustraciones) que ya había sido editado en 1593.

Calvius conoció a Galileo y tuvo con él una cierta relación de amistad, llegando a enviarle un ejemplar de los libros que iba publicando; cuando desde el Colegio Romano se le solicitó informe sobre las obras de aquel, tardó en emitirlo al no disponer de un telescopio con aumentos suficientes como para corroborar la autenticidad de los descubrimientos anunciados (satélites de Júpiter, fases de Venus, montañas en la Luna) . Hubo que esperar a sus últimos comentarios sobre la esfera de Sacrobosco (1612), para que se refiriera a ellos: «... Este instrumento muestra muchas más estrellas en el firmamento de las que se pueden ver sin él, especialmente en las Pléyades, alrededor de las nebulosas de Cáncer y Orión, en la Vía Láctea y en otros lugares. . . y cuando la Luna está en cuarto creciente o medio llena, parece tan notablemente fracturada y rugosa que no puedo maravillarme lo suficiente...Consulté el librito fiable de Galileo Galilei, impreso en Venecia en 1610 y llamado Sidereus Nuncius, que describe varias observaciones de las estrellas que vio por primera vez». Seguidamente se refirió al planeta Venus, para indicar que, junto a otros observadores, había contemplado sus fases desde Roma.



Finalmente se refirió a las lunas de Júpiter «Júpiter tiene cuatro estrellas errantes, que varían sus lugares de manera notable tanto entre sí como con respecto a Júpiter, como describe Galileo Galilei con cuidado y precisión». Clavius que siempre había sido tan firme defensor del modelo geocéntrico de Tolomeo, como opositor del heliocéntrico de Copérnico, pareció dudar de su validez: «dado que las cosas son así, los astrónomos deberían considerar cómo se pueden disponer los orbes celestes para salvar estos fenómenos».



Medalla conmemorativa de la reforma del calendario. Reverso: En el centro una cabeza de carnero con cinco estrellas, de los cuernos cuelga una corona, bajo la leyenda ANNO·RESTITVTO·MDLXXXII. Toda la imagen está rodeada por un gran dragón que se muerde la cola.

ΚΛΕΟΜΗΔΟΥΣ

ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΜΕΤΕΩΡΩΝ

BIBLIA ΔΥΟ.

CLEOMEDIS

CIRCULARIS DOCTRINAE DE
SUBLIMIBUS

LIBRI DUO.

RECENSUIT, INTERPRETATIONE LATINA INSTRUIT,
COMMENTARIUM

ROBERTI BALFOREI

SUASQUE ANIMADVERSIONES ADDIDIT

JANUS BAKE.

LUGDUNI BATAVORUM,

APUD S. ET J. LUCHTMANS,

ACADEMIAE TYPOGRAPHOS,

MDCCCXX.

Cleomedes

Astrónomo griego del que se ignora su lugar y año de nacimiento, a veces se indica que fue discípulo de Posidonio, y que por tanto debió vivir en el siglo I a. C. En otras ocasiones se comenta que su obra la escribiría en el siglo IV d.C. apoyándose en una supuesta coincidencia del orto de Aldebarán (la más brillante de la constelación de *Tauro*) y el ocaso de Antares (la más brillante de la constelación de *Scorpio*); el defensor de esta segunda hipótesis fue el matemático y astrónomo austriaco Otto Eduard Neugebauer (1899-1990), gran estudioso de la obra de Cleomedes. En la historia de la astronomía se reconoce la importancia que tuvieron los dos libros de que constó, centrados en el movimiento circular de los cuerpos celestes (*Κυκλικῆς Θεωρίας Μετεώρων Βίβλια δύο*); una de cuyas primeras ediciones se realizó en Leiden (*Cleomedis Circularis doctrinae de Sublimibus libri duo*. 1820). Desde el punto de vista geodésico también ocupa un puesto privilegiado, ya que se mencionan por vez primera los supuestos intentos de hallar el perímetro terrestre; apoyándose en las medidas de grado efectuadas en los meridianos de Alejandría y de Lysimacheia (fundada por Lysimaco, general de Alejandro Magno), siendo Eratóstenes y Posidonio los operadores respectivos.

Los dos volúmenes de Cleomedes se dedicaron expresamente tanto al estudio de la Tierra (el primero), como al del Sol y la Luna (el segundo). En la introducción presentó la estructura y principios del cosmos defendido por el estoicismo (Zenón de Citio. 336-264 a.C.): un todo regido por la naturaleza y rodeado por un vacío infinito. Tanto la Tierra como las estrellas fijas se relacionaban con cinco círculos fundamentales y paralelos, a saber: el ecuador, los trópicos de Cáncer y Capricornio, así como los círculos polares ártico y antártico. En el cielo estarían ligados a los ortos y ocasos de las estrellas, y al movimiento anual del Sol con respecto al observador. En cuanto a la Tierra, tales círculos fijan las zonas geográficas asociadas a la temperatura. Son destacables los capítulos V (La forma de la Tierra es esférica), VI (La Tierra es el centro del Cosmos), VII (Digresión: Las medidas de Posidonio y Eratóstenes de la circunferencia de la Tierra). El segundo volumen se enfocó bajo un punto de vista diferente, atendiendo a las propiedades físicas de las luminarias: tamaño y efectos de su iluminación; prestando especial atención al análisis de los eclipses, mencionando que la sombra de la tierra arrojada sobre la Luna probaba la esfericidad de la misma.

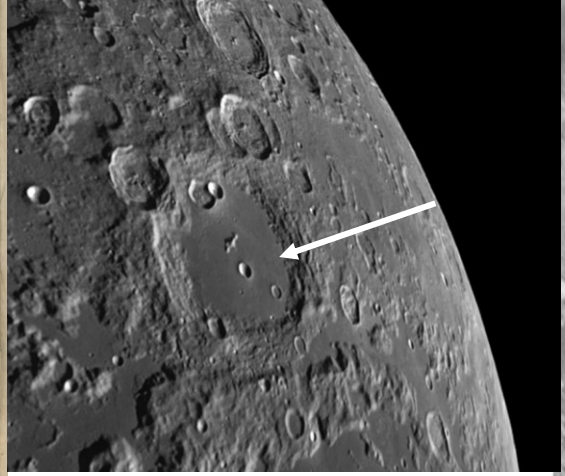


MANUSCRITO
(1300-1499)

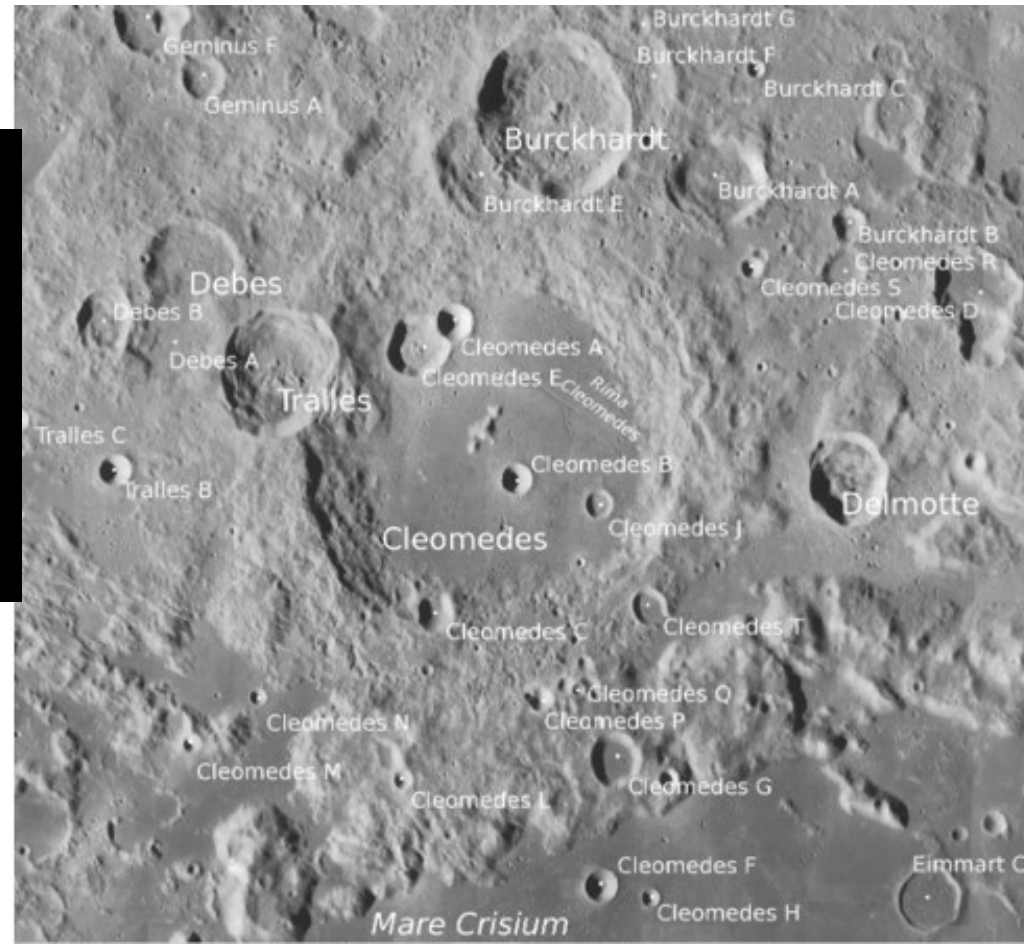
308 λ ν ι α μ ε π λ ε ι η ς +



Su primera sección, la más extensa, trató de refutar dos de las proposiciones epicúreas (Epicuro.341-271 a.C.) simultáneamente inconsistentes: el Sol tiene el tamaño que parece y que tiene un pie de ancho. El resto del volumen se dedicó a lo ya anunciado, con especial atención a la reflectividad de la Luna. El texto de Cleomedes tuvo especial relevancia en Bizancio, pero en Occidente comenzó a pasar desapercibido a partir del siglo XVI.



Detalle del mosaico global de la Luna LROC - WAC →





Francisco Coello de Portugal y Quesada (1822-1898)

Coronel del Cuerpo de Ingenieros del Ejército y el cartógrafo español por excelencia. Como miembro del Junta General de Estadística promovió el desarrollo de la cartografía topográfica en España, con la publicación y aplicación de la Ley para la Medición del Territorio. Su obra más conocida fue el Atlas de España y sus Posesiones de Ultramar, con mapas a escala de $1/200000$, el cual nació como complemento indispensable de los numerosos planos a mayor escala con que se iluminó el conocido Diccionario Geográfico Estadístico Histórico de España y sus posesiones de ultramar, ideado por su amigo Pascual Madoz e Ibáñez (1806-1870) y finalizado en 1850. Otra de las actividades más reseñables de Coello y Madoz, fue la recuperación para España de gran parte de los mapas y planos levantados por Felipe Bauzá y Cañas (1764-1834). Suyo fue también el proyecto de dotar a España de un catastro polivalente, con planos a escala $1/2000$ en los que figurase la información geográfica completa (altimetría y planimetría); la presentación de los planos correspondientes se hizo en forma de hojas individualizadas, representando el territorio limitado por un cuadrado de un kilómetro de lado (las hojas kilométricas). La tarea

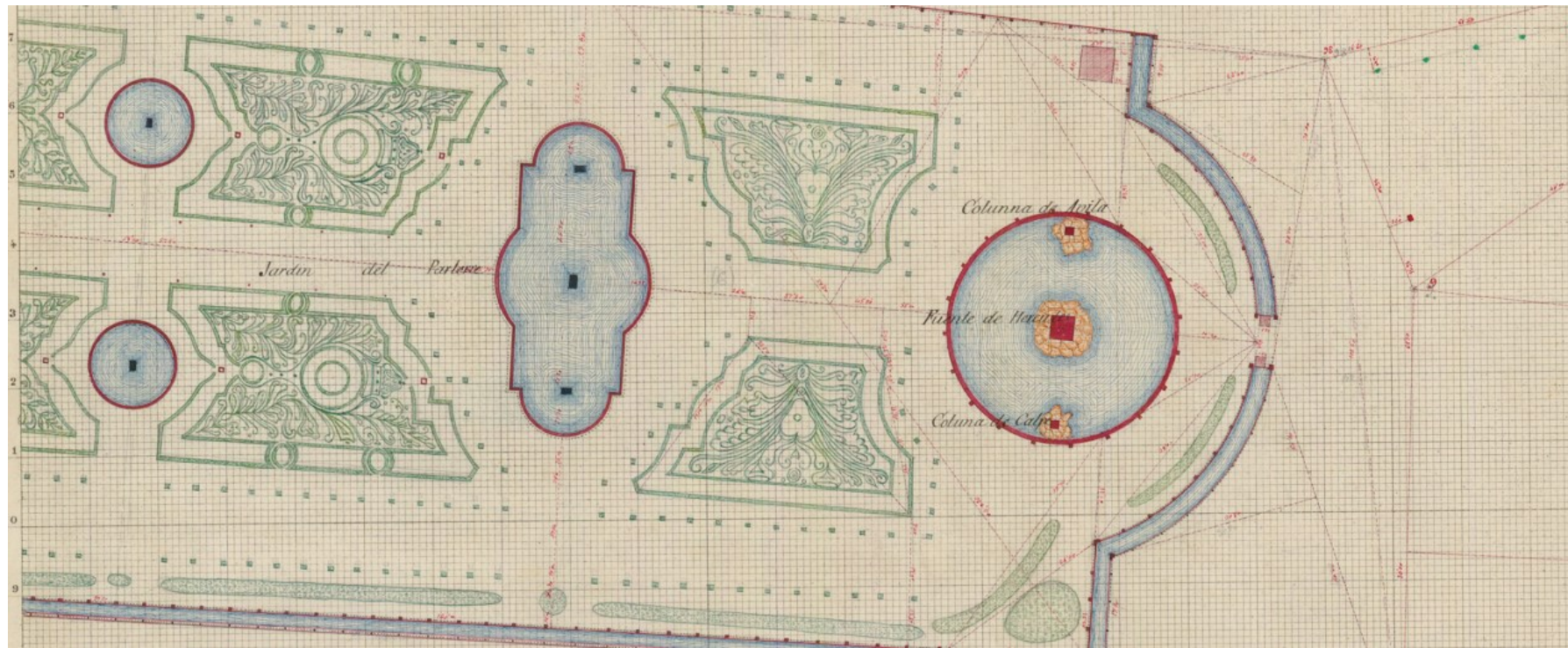
era tan ambiciosa como inabordable, por la limitación impuesta por los medios de su época, con la dificultad añadida de las múltiples trabas que continuamente debía superar y que le llevaron a presentar la dimisión y a abandonar la carrera militar (4.VIII.1866). A partir de entonces se centró en las actividades propias de la Sociedad Geográfica de Madrid, de la que fue miembro fundador (1876) y presidente durante muchos años. El 29 de noviembre de 1898 tuvo lugar una Velada en memoria del Exmo. Sr. Francisco Coello, en cuya conclusión se señalaba como su biografía era la historia de los estudios geográficos de España, «...Por él se ha mantenido el cultivo de la Geografía entre nosotros; por él existe y ha tenido vida esta Sociedad; por él se nos conoce en Europa».

La Comisión de Estadística General del Reino y la Junta General de Estadística fueron los dos nombres que tuvo una institución clave para el desarrollo cartográfico de España, baste decir que el Instituto Geográfico (1870) fue una Subdirección General de la misma. Tres años después se transformó este novedoso centro de carácter civil en la Dirección General del Instituto Geográfico y Estadístico, integrándose en ella todas las competencias propias de la Junta.



Hoja kilométrica 31 L. Término Municipal de Aranjuez

En el año 1858 se produce un importante avance cualitativo en el seno de la Comisión, al incorporarse como Vocal Francisco Coello de Portugal y Quesada, por entonces Teniente Coronel del Cuerpo de Ingenieros . El nombramiento lo firmó el 9 de abril Francisco Javier de Istúriz Montero (1790-1871), Presidente del Consejo de Ministros. La decisiva colaboración de Coello no tardó en dejarse sentir a través de una de las leyes más relevantes en la historia de la cartografía española. La ley en cuestión fue la llamada Ley para la medición del Territorio, publicada el día 5 de junio de 1859 y firmada en Aranjuez por Leopoldo O'Donnell y Joris (1809-1867). La trascendencia de la misma radica en la definitiva institucionalización de la geodesia, como soporte imprescindible de las representaciones cartográficas geoméricamente fiables, así como en su intento por evitar la dispersión de responsabilidades administrativas en el ámbito cartográfico; ese fue al menos el espíritu que informó los nueve artículos de que constaba.



Detalle de los Jardines de Aranjuez

La Fuente de Hércules, entre las columnas de Ávila y Calpe.

Escala 1/500

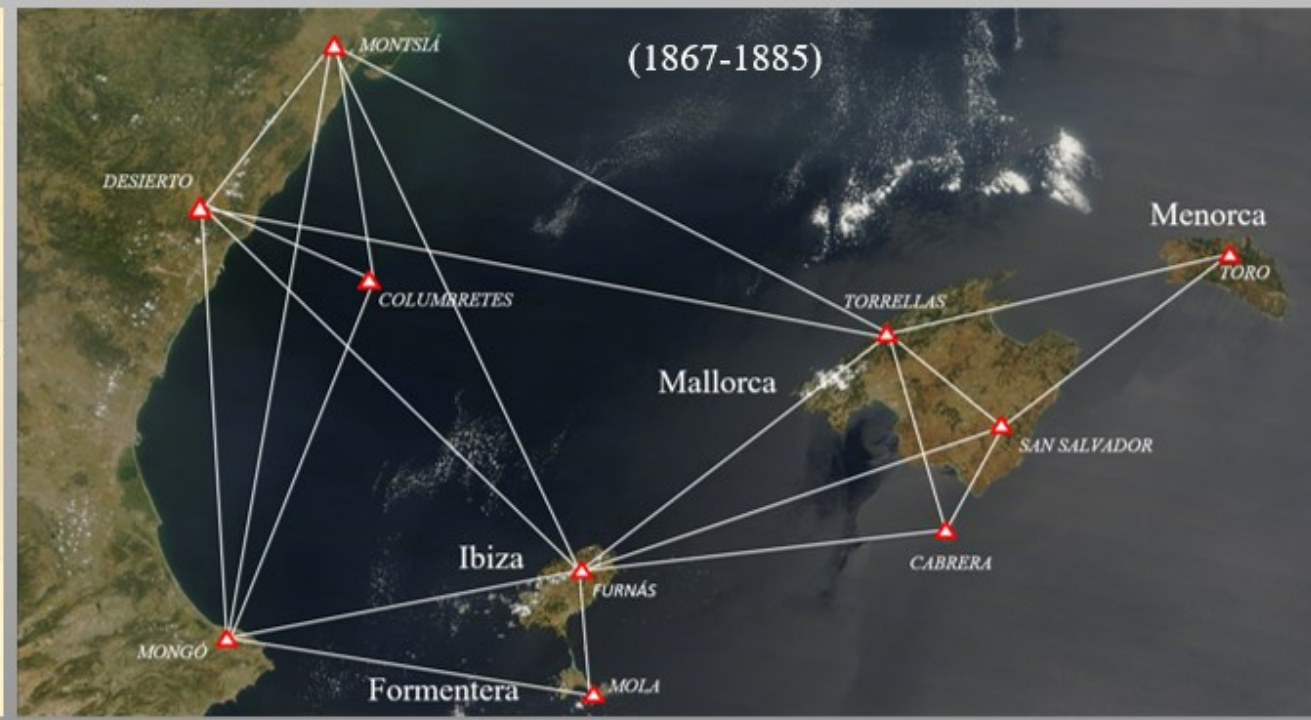
Tres fueron los aspectos básicos contemplados en la ley anterior: I) Los trabajos geográficos pasaron a depender del Consejo de Ministros, contemplándose las áreas Geodésica, Marítima, Geológica, Forestal, Itineraria y Parcelaria; II) se impuso el empleo de las triangulaciones geodésicas de primero y segundo orden, que realizarían los Oficiales de los Cuerpos de Artillería, Ingenieros y Estado Mayor; III) La cartografía pasó a ser topográfica, en tanto que todos los planos se deberían ir levantando dentro de las zonas en que sucesivamente se hallasen ultimadas las triangulaciones geodésicas, aunque se añadiera «en cuanto sea posible».

El reglamento de la ley fue publicado el 20 de agosto de ese mismo año, desarrollándolo a lo largo de 48 artículos. La exposición de motivos del mismo rezumaba autocomplacencia y una buena dosis de exagerada lisonja, al calificar el proyecto de «alta trascendencia y de tal entidad, que fue valentía el idearlo, y será glorioso timbre el emprenderlo. En el reinado de V.M., Señora, las obras grandes se quitan unas a otras el privilegio de la admiración, y hasta el interés de la novedad».



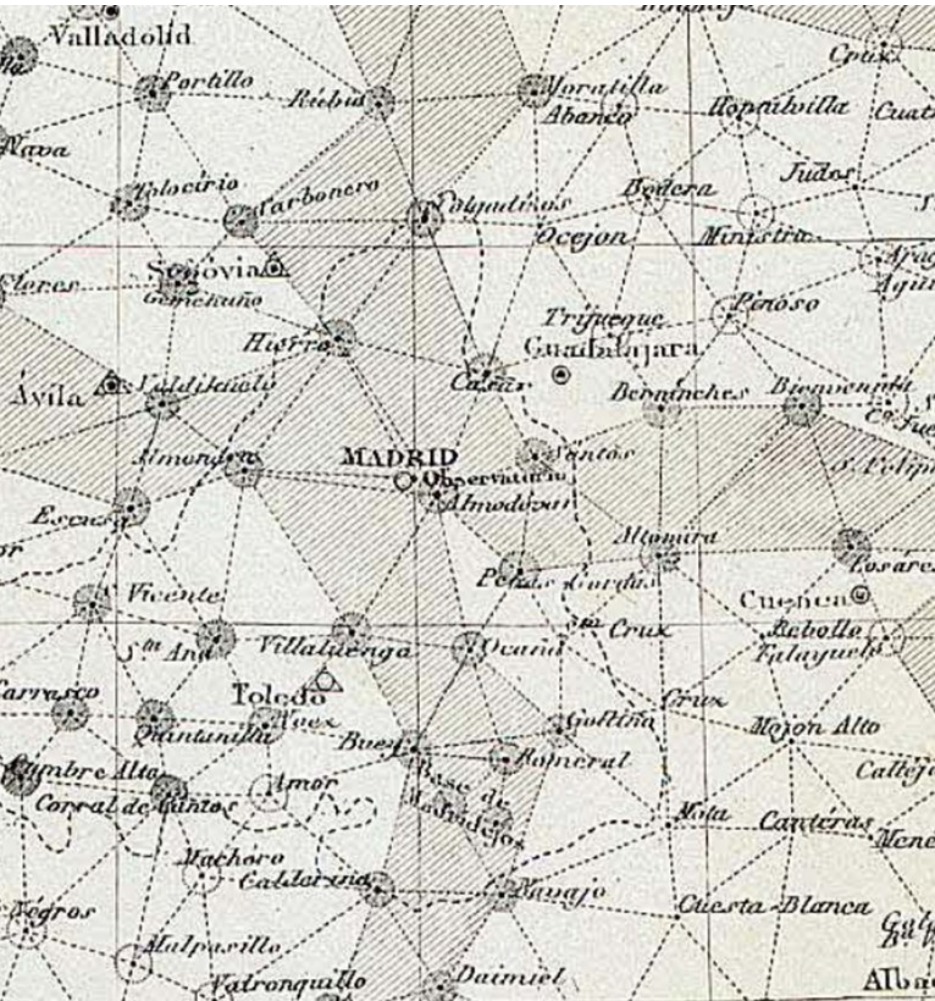
En el capítulo cuarto del Reglamento se acordó agilizar las operaciones geodésicas, incorporando a las brigadas de campo seis nuevos oficiales. En el quinto se decidió prolongar la red triangular de primer orden hasta el litoral peninsular y a las Islas Baleares, contemplándose su observación una vez finalizada la de las cadenas del meridiano y paralelo de Madrid. En el artículo siguiente se programaron triangulaciones de segundo y tercer orden, que deberían comenzarse en las provincias de Madrid, Gerona y Baleares, para continuar después con las de Barcelona, Tarragona, Castellón y Valencia, las cuales se enlazarían con la cadena del litoral más meridional. Finalizada esa tarea se procedería de forma análoga en Guipúzcoa, Vizcaya y el resto del litoral septentrional.

Isabel II (1830-1904)



En el artículo once del Reglamento se hizo ver la conveniencia de efectuar el deslinde y amojonamiento de los Términos Municipales, «por medio de hitos, postes y mojones perceptibles, a fin de que los planos parcelarios puedan formarse con desembarazo y prontitud». El problema de la conservación de tales límites se le encomendó a los Gobernadores provinciales, «quienes tendrían que cuidar de que sean respetadas las señales que sobre el terreno se emplearan, tanto para la triangulación como para los planos parcelarios». El levantamiento de los Planos de Población también se contempló en este articulado, consignándose en el número 27 que los arquitectos provinciales y municipales serían los responsables de los mismos. En tales planos, extensibles, en la medida de lo posible, a todo el territorio municipal, se representarían en primer lugar las manzanas y después su distribución en solares. El artículo 34 fue especial relevante para el posterior ejercicio de la topografía, puesto que dispuso la creación de una «Escuela especial, temporal o permanente, dirigida por la Comisión de Estadística general, donde

por medio de explicaciones, de conferencias y de operaciones se complete en breve término la instrucción teórica y práctica del personal auxiliar necesario para los trabajos de que aquí se trata». Esa Escuela de Topografía Catastral fue el centro en el que se formaron los primeros topógrafos profesionales de España, los cuales acabarían integrándose en el Instituto Geográfico desde su creación en 1870; se trató pues del más directo antecedente de la Escuela de Topografía que se crearía años después, impartándose sus clases en locales cedidos por aquel junto a su sede central de la calle del general Ibáñez de Ibero.



La ejecución de los trabajos comenzó con el proyecto, construcción y observación de las triangulaciones geodésicas, expresamente encomendadas a los oficiales del ejército, ya señalados, los cuales continuaron con su tarea aún después de haberse fundado el Instituto Geográfico. Al temprano éxito de la operación contribuyó decisivamente la organización de los trabajos, facilitada al haber dividido el territorio en los llamados distritos geodésicos; tal como se verá al final de este resumen. Dentro de cada uno de ellos había integradas varias provincias en las que se venían realizando los trabajos, siempre bajo la atenta coordinación de un único jefe facultativo. Precisamente Carlos Ibáñez de Ibero, el futuro director del Instituto Geográfico, fue jefe del distrito de Levante, un cargo que ostentaba cuando inició su participación en el enlace balear ya referido.

Cadenas de meridiano y de paralelo en el entorno de Madrid (1865)

«Los planos parcelarios de los distritos municipales se emprenderían después de haber completado la red de triángulos en una provincia o en parte considerable de la misma. La inspección y comprobación de los planos parcelarios hechos por personas particulares, se encargará generalmente a Jefes o Ayudantes de brigada que hayan triangulado el territorio respectivo».

El 21 de abril de 1861 la Comisión pasó a denominarse Junta General de Estadística, la cual se dividió en las secciones de Geografía y Estadística. El Real Decreto estableció asimismo la estructura de las mismas, correspondiendo a la primera la siguiente: un Vocal de la Junta, el Director de las operaciones geodésicas, el Director de las operaciones topográfico catastrales y un tercero encargado de las restantes: especiales, geológicas, hidrológicas, forestales e itinerarias. Para la Dirección de operaciones geodésicas se eligió a Francisco de Luján y Miguel-Romero (1798-1867), correspondiendo la de operaciones topográfico-catastrales a Francisco Coello. La Dirección de Coello fue denominada después Dirección general de Operaciones Geográficas, a raíz de que la Junta de Estadística fuera reestructurada por O'Donnell (15 de julio de 1865); la otra Dirección general fue la de Estadística. La Dirección de operaciones topográfico-catastrales se encargaría de los trabajos parcelarios (incluyendo los de las zonas fronterizas y plazas de guerra), de los planos de población y de la Escuela de Ayudantes, que venía funcionando desde su creación.



LA
JUNTA GENERAL

DE

ESTADISTICA.

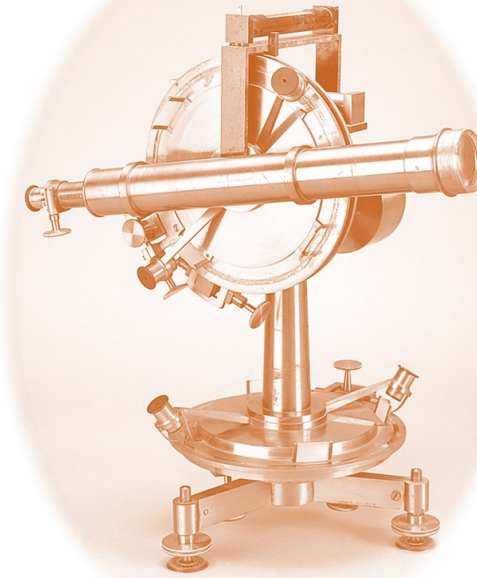
DE LO POCO QUE HACE, LO MUCHO QUE CUESTA Y
LOS DESACIERTOS QUE COMETE.

Panfleto oponiéndose al proyecto catastral de Coello, promovido posiblemente por los grandes propietarios, reacios a contribuir por sus bienes.

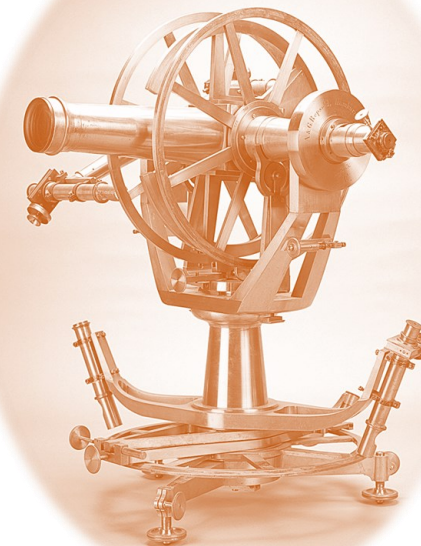
NOTA. Los artículos que componen este opúsculo vieron la luz en *El Contemporáneo* en los días 8, 17 y 31 de agosto, 8 de setiembre y 22 de diciembre de este año.

La fecha del 1 de febrero de 1862 fue decisiva para la historia de la Junta General de Estadística, pues fue entonces cuando sometió al Consejo de Estado el reglamento de las operaciones asociadas a la medición parcelaria del territorio. En él, redactado fundamentalmente por Coello, se resumió magistralmente su sapiencia topográfico-catastral al defender abiertamente la necesidad de formar un catastro con el rigor geométrico necesario y basado en unos principios que asegurasen su polivalencia. Indirectamente se consideraba la cuestión topográfico-catastral como un problema de estado, cuya resolución no se podría llevar a cabo desde un determinado ministerio, sino desde un organismo especialmente creado a esos efectos. El reglamento constó, en su versión definitiva, de 216 artículos, expuestos en torno a los epígrafes siguientes: 1) Operaciones preliminares, señalamiento y trazado del término actual de cada localidad, 2) Levantamiento del plano topográfico parcelario, 3) Medición de las superficies, 4) Formación de las listas y cédulas catastrales de las fincas, reconocimiento y aceptación de estas por los respectivos poseedores, y consignación de las observaciones que se presenten, 5) Examen y comprobación de todos los planos y documentos, 6) Conclusión de las operaciones en cada término y 7) Disposiciones generales. Este reglamento tuvo su continuación en el que se preparó en el Instituto Geográfico con relación al Catastro Topográfico Parcelario.

La necesidad de dar un mayor impulso a la medición del territorio y el interés por coordinar mejor los trabajos de las dos Direcciones afectadas: la de operaciones geodésicas y la de las operaciones topográfico-catastrales, propiciaron el establecimiento de los denominados Distritos geodésico-catastrales. La Real orden data del día 1 de agosto de 1864, aclarando en su exposición el camino independiente que habían seguido hasta entonces las dos Direcciones «sin más contacto que el de la resolución de sus expedientes en la sección geográfica primero, y luego en la Junta General, como centro de unidad». En un principio se crearon solamente tres distritos geodésico-catastrales, constituidos por las provincias siguientes: 1º) Islas Baleares, Castellón, Valencia y Alicante; 2º) Guipúzcoa, Vizcaya, Álava y Navarra; y 3º) Gerona, Barcelona y Tarragona. En ellos se realizarían simultáneamente todas las operaciones requeridas por la formación del mapa topográfico y catastral de España. Los distritos serían de dos clases. En la primera se integrarían los de las islas adyacentes o aquellos del interior de la Península cuyos trabajos se localizasen a 110 km del lugar en que residiera el Jefe del Distrito, mientras que a la segunda pertenecerían los restantes.



Teodolito Brunner
de segundo orden (1861)



Teodolito Repsold
de primer orden (1865)

Jean Baptiste Colbert (1619 -1683)

Ilustre ministro del rey Luis XIV que reformó las finanzas, desarrolló el comercio, hizo resurgir a la marina, creó la Academia de Inscripciones (1663) y la integró en la Academia de Pintura, Escultura y Arquitectura que situó en el Louvre (1664). Gracias a él se constituyó la Academia de Ciencias (1666), en la que ingresó al año siguiente, así como la Escuela de Lenguas Orientales, el Gabinete de Medallas, el Observatorio, la Academia Francesa en Roma; enriqueció tanto el Museo del Louvre como la Biblioteca real, ampliando también el Jardín Botánico. Cuando Colbert constituyó la academia de Ciencias no dudó en integrar en ella a los sabios más preclaros de su tiempo: Cassini I, Huygens y Picard, entre otros. Su primera sesión se celebró el 22 de diciembre de 1666, en la Biblioteca del Rey en París. Tres años después Luis XIV la colocó bajo su protección, siendo sus miembros designados por él, previa presentación por la Academia.



MES^{re} JEAN BAPTISTE COLBERT Ch^{ter} Marquis
de Seignelay, Et autres lieux Con^{te} du Roy. En tous Ses Con^{seils}
Cōmand^{ans} des Ordres de Sa Maj^{esté} Secretaire d'Etat et de Ses Cōmādem^{ens}
Intendant General de la Marine Fils Ainsné de Mes^{re} Jean Baptiste
Colbert, Ministre Et Secretaire d'Etat Et de Dame le Charon Sa femme
A Espouse en p^{re} Noces Mad^{ame} d'Allegre, Issüe des Comtes d'Allegre, maison Illustre
en Auvergne, dont il a eu Vne fille Vnique, Et en 2^e Noces, Mad^{ame} de Matignon, fille du
Marquis de Matignon, Gouverneur de Normandie,

Paris Chez la Veuve Bertrand Rue St Jacques, a la Pomme d'Or, pres St Severin, Avec Privilege du Roy

A lo largo del siglo XVIII se reorganizó varias veces, agregándole en 1785 una Clase de Física General y otra de Historia Natural, a las seis que ya existían: Geometría, Astronomía, Mecánica, Anatomía, Química y Botánica. El 8 de agosto de 1793, la Convención Nacional suprimió todas las academias. La Constitución de 22 de agosto de 1795 y la ley de octubre de 1795 crearon un Instituto Nacional de Ciencias y Artes que agrupaba a las antiguas academias científicas, literarias y artísticas, sin vinculación bajo el Antiguo Régimen. El Instituto tuvo tres clases: Ciencias Físicas y Matemáticas, Ciencias Morales y Políticas, Literatura y Bellas Artes.

El Canal de Languedoc, luego llamado del Mediodía o de los dos mares, conecta el Océano Atlántico con el Mar mediterráneo, así como las ciudades de Burdeos y Toulouse.



COLBERT PRÉSENTE A LOUIS XIV
LE PLAN DU CANAL DE LANGUEDOC.

La primera sesión formal de la Academia de Ciencias fue inmortalizada por Henri Testelin (1616-1675) en un monumental óleo sobre tela de 348 x 590 cm, que adorna el Palacio de Versalles. Todos los personajes, en él representados, son perfectamente identificables por la fiabilidad de sus retratos: Luis XIV, J.B. Colbert, Jean Baptiste du Hamel (1624-1706), G. D. Cassini, Felipe duque de Orleans (1640-1728), Claude Perrault (1613-1686), C. Huygens, Pierre de Carcavi (1643-1684), J. Picard, P. de La Hire, Edme Mariotte (1620-1684), Jean Gallois (1632-1707). Son muchos los objetos que los acompañan y que ilustran las diversas actividades científicas de la institución: esqueletos de animales, esfera armilar, reloj, globo terrestre (a la izquierda), Plano del canal de los dos mares, libros, planos de fortificaciones y globo celeste (a la derecha). En el cuadro se abre una ventana ficticia para mostrar el edificio del Observatorio que C. Perrault estaba empezando a construir. La Academia de Ciencias de París adquirió de inmediato un prestigio internacional, que aún mantiene, conservando el nuevo estatus concedido por Luis XIV, en 1699, hasta el final del Antiguo Régimen; en adelante, la Academia fue el instrumento de una ciencia oficial que contribuyó más que nunca al prestigio y gloria del rey.



Colbert

Luis XIV

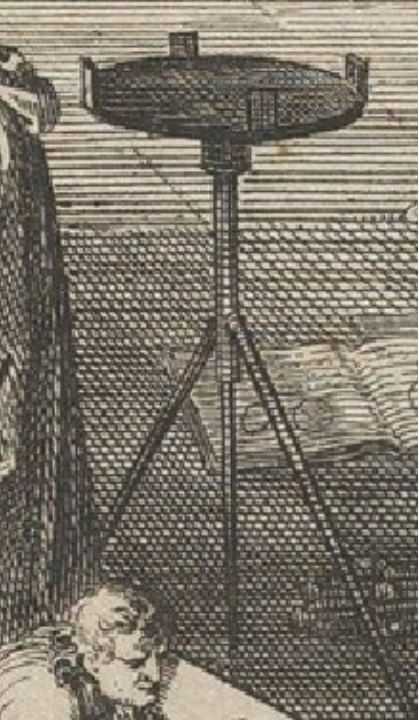


De la Academia de Ciencias comenzaron a hacerse grabados desde sus comienzos, sobresaliendo los efectuados por el ingeniero Sebastien Leclerc (1637-1714). En el año 1671 presentó uno de 41.9 x 30.8 cm, para conmemorar la visita que giró el rey Luis XIV. De izquierda a derecha, y en primer término, figuran Luis II de Borbón Condé (1621-1686), el duque de Orleans, Luis XIV y Colbert; Cassini, entre el príncipe Condé y el hermano del rey, gesticula con su mano izquierda, mientras Perrault permanece de pie entre el rey y Colbert. Se observan en el cuadro un esqueleto humano, que separa a dos grandes ventanas con arco de medio punto; otro de un animal, una esfera armilar, un globo terráqueo, un heliostato, un mapa enrollado en el suelo, un plano de una fortaleza, un gran telescopio y otros instrumentos propios de un laboratorio químico. A través de las ventanas se divisan cuidados jardines, un cuadrante astronómico y el observatorio en construcción. Otro de sus grabados más conocido, de 381 x 249 mm, con el título Academia de las Ciencias y de las Bellas Artes, parece ser que lo hizo expresamente para complacer al rey, de ahí su dedicatoria (*par son tres humble tres obeissant et tres fidèle serviteur et sujet Seb. Le Clerc*). Sin embargo, la escena no representa a ninguna institución en particular, aunque ilustre las





actividades propias de dos de las academias parisinas del siglo XVII: *l'Académie royale des sciences* y *l'Académie de peinture et de sculpture*. Leclerc se valió de detalles vaciados en trabajos previos para ambas, aunque no puedan identificarse otros elementos tales como la arquitectura y el vestuario antiguos, y la expresa referencia a la Escuela de Atenas de Rafael. Hay otros detalles como la representación de la teología, el mago leyendo la palma de la mano de un joven (el contrapunto del progreso de la ciencia bajo el Rey Sol) y una anamorfosis de una calavera (en referencia a la vanidad), que le dan un aspecto místico al grabado; todos ellos estrechamente relacionados con un libro que Leclerc publicaría al final de su vida, *Le Nouveau système du monde conforme à l'Écriture sainte où les phénomènes sont expliqués sans excentricité*, publicado en 1706.



Además de las ciencias y las artes plásticas, Leclerc incluyó representaciones de las artes liberales. La retórica está representada por un orador al fondo, enmarcado por un arco en la columnata, la aritmética por un grupo en primer plano a la izquierda que estudia trigonometría y la música por un grupo de músicos sentados en el muro de piedra al fondo, a la izquierda. Las esferas y los diagramas de la izquierda representan el estudio de la astronomía. Si estas referencias pretendían señalar la contribución personal de Leclerc a los campos científicos representados, la amplia variedad de instrumentos que incluyó en el cuadro, podrían hacer referencia a la gran colección que había formado. Aunque este grabado no fuese de gran formato, incluyó, salvo error de cálculo, ciento sesenta y dos personajes y un número igualmente importante de máquinas, útiles, instrumentos y objetos diversos.

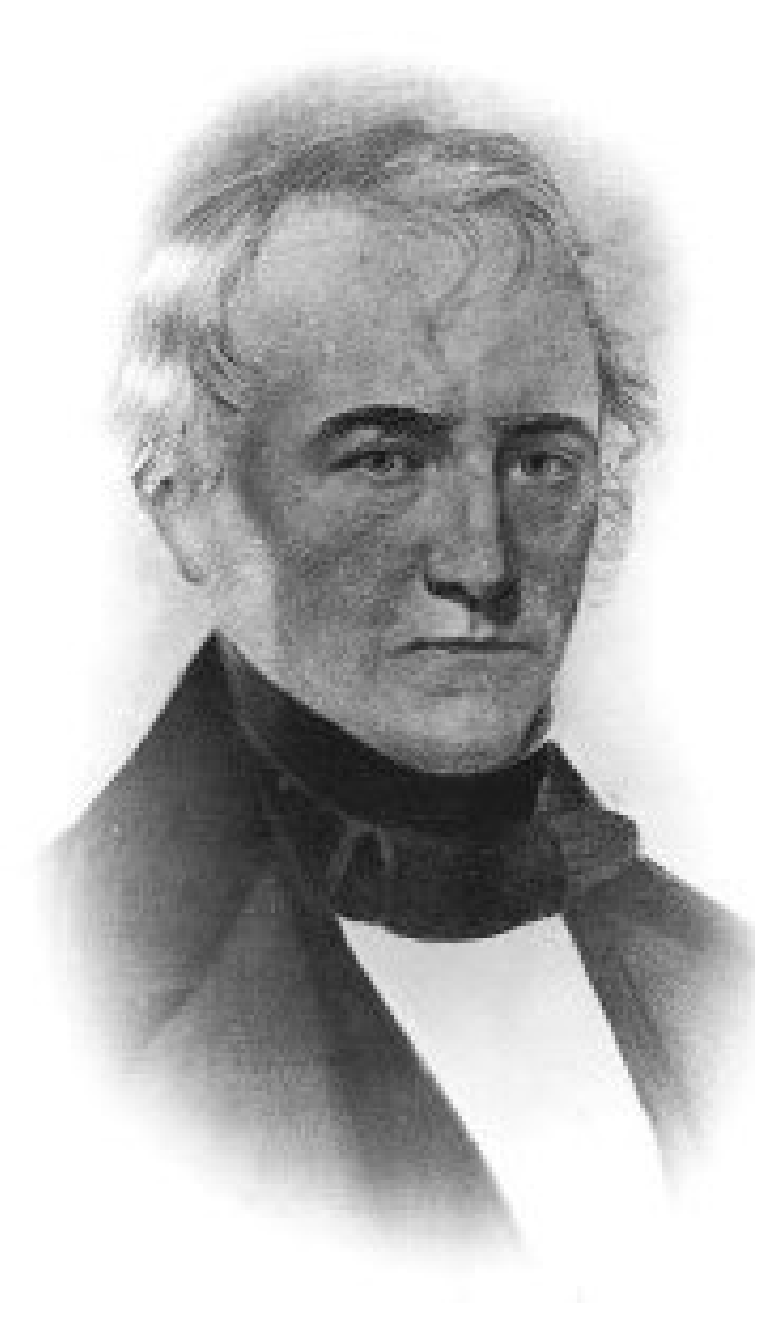




L'ACADEMIE DES SCIENCES
DEDIEE
ET DES BEAUX ARTS
AU ROY.

Par son tres humble, tres oboissant et tres

fidelle serviteur et sujet Seb. le Clerc.

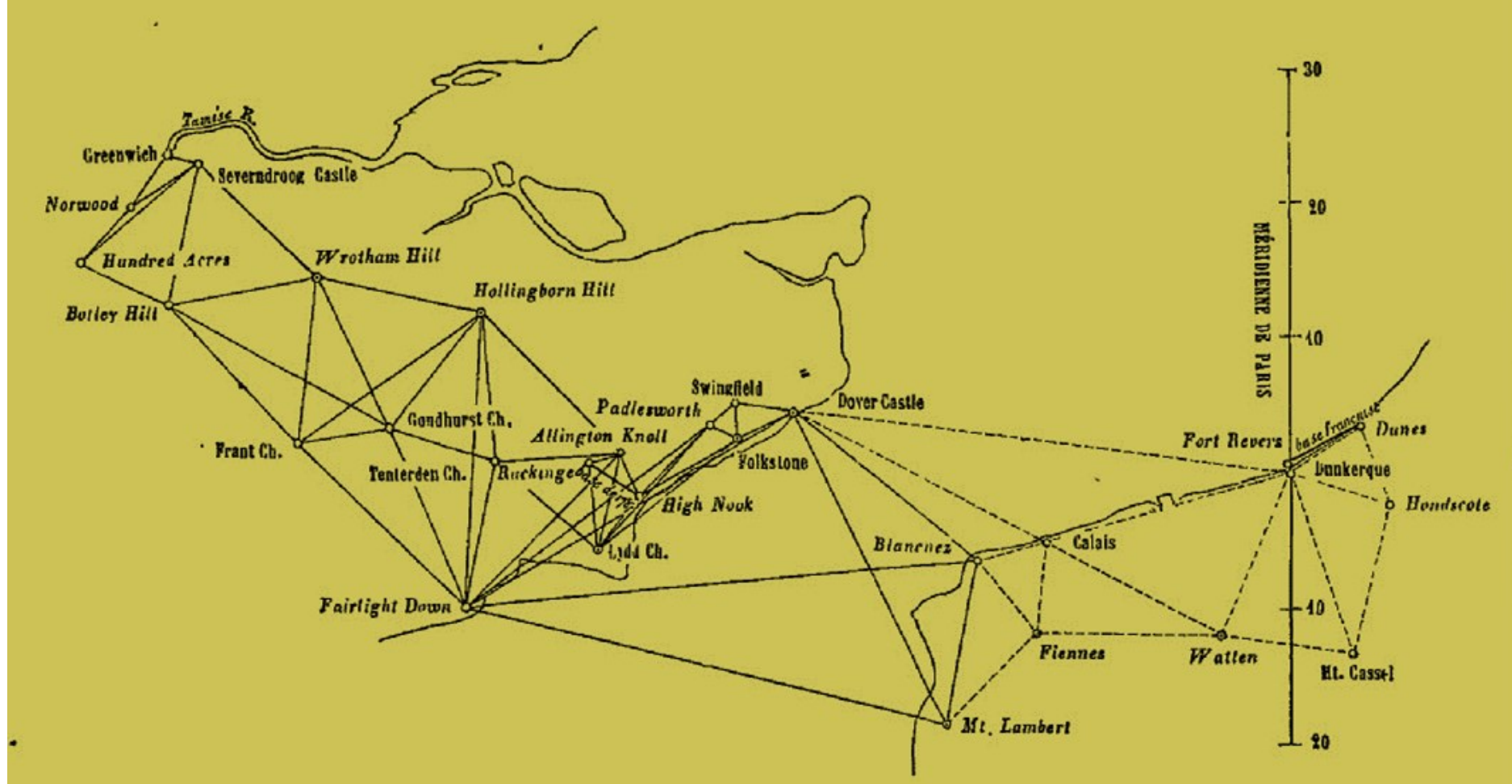


Thomas Frederick Colby (1784-1852)

General de los ingenieros reales y geodesta británico, que fue director del *Ordnance Survey* e inventor de un instrumento para medir las bases geodésicas, con el que consiguió disminuir la incertidumbre lineal en las triangulaciones correspondientes. En el año 1802, siendo aún teniente, ingresó en ese Centro, permaneciendo en él el resto de sus días. Entre sus primeros trabajos figuran la determinación de acimutes por observación a la Polar (1804), así como los de auxiliar del coronel Mudge en la medida de la base de Rhuddlan Marsh y en diferentes observaciones astronómicas (1806); igualmente reseñables son sus posteriores tareas de reconocimiento de los vértices geodésicos en las montañas del Sur de Gales. Durante los periodos de gabinete en la Torre de Londres (sede del *Ordnance Survey*) efectuó labores de cálculo y de formación de mapas. En el año 1811 se publicó el tercer volumen del levantamiento trigonométrico de Inglaterra (*An Account of the Trigonometric Survey carried on by order of the Master-General of His Majesty's Ordnance, in the years 1800-1809*), apareciendo Colby como autor junto a Mudge. Una vez decidida, en 1813, la prolongación del meridiano hacia el Norte, Colby, acompañado del topógrafo James Gardner, se trasladó al Suroeste de Escocia para triangular aquella región. En campañas posteriores (1816-1817) realizó trabajos análogos en la costa oriental, hacia

Orkneys y Shetland. En 1817, midió, junto a Gardner, la base geodésica de Belhelvie Links, la única de Escocia.

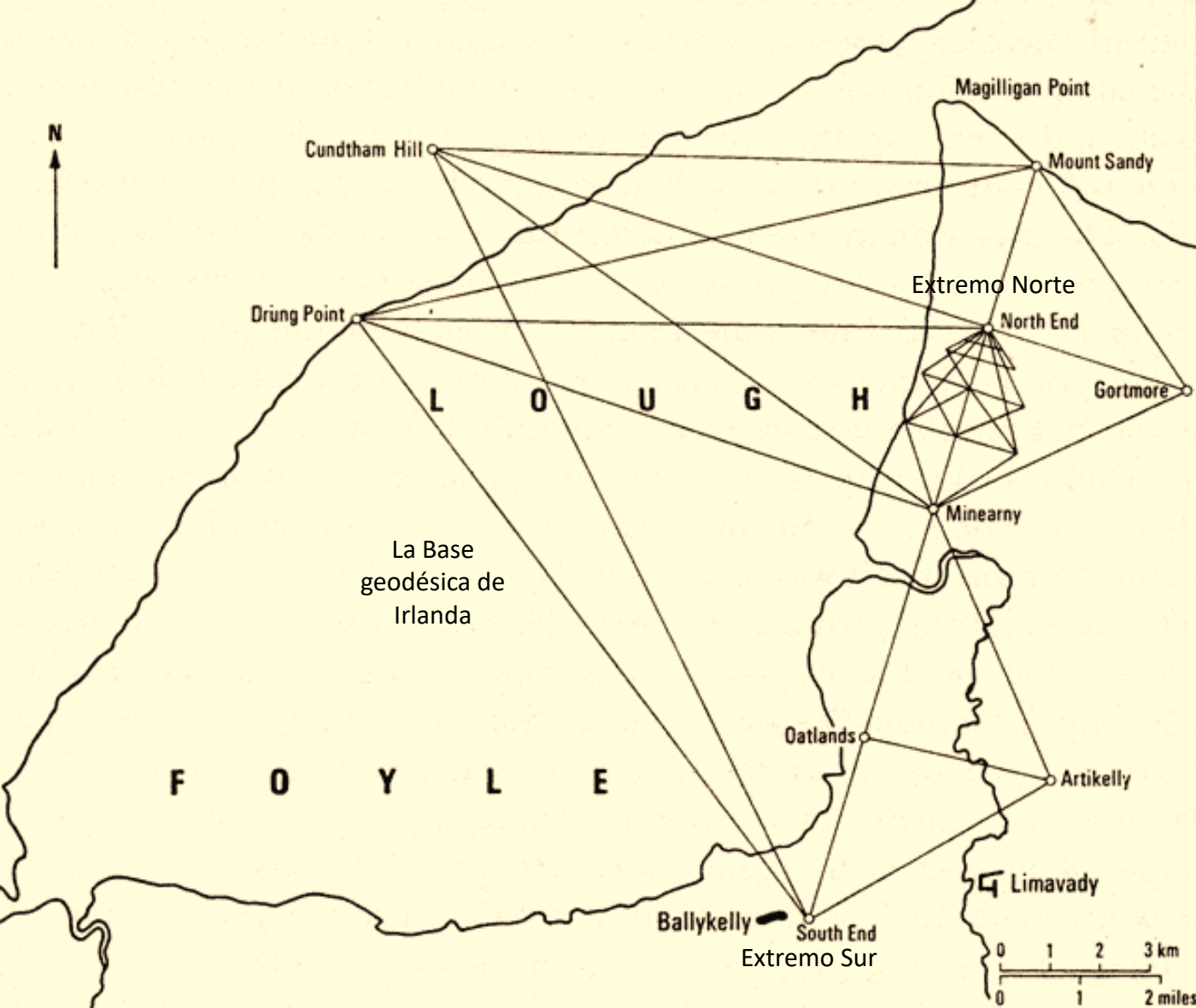
Aunque hubo un intento fallido de colaboración entre Biot y Colby, cuando el primero hizo sus observaciones gravimétricas en Shetland; Colby acompañó al ya general Mudge, cuando este participó junto a Biot y Arago en las mediciones practicadas en Dunkerque, con el sector de Ramsden instalado en su arsenal. A comienzos del año 1820 falleció Mudge y el Duque



de Wellington, que dirigía por entonces el *Ordnance Survey*, nombró a Colby máximo responsable de todos los levantamientos topográficos. En abril del mismo ingresó en la *Royal Society* y ocupó un asiento en la Oficina de las Longitudes, permaneciendo en ella hasta que la disolvió el Parlamento en el año 1828. Entre 1821 y 1823 fue comisionado por *la Royal Society*, junto al capitán H. Kater, cooperasen con los franceses D. F. Arago y C. L. Matthieu en la revisión del enlace astronómico y geodésico entre los observatorios de Greenwich y París; publicándose los resultados de su participación en las *Philosophical Transactions* (1 de enero de 1828).

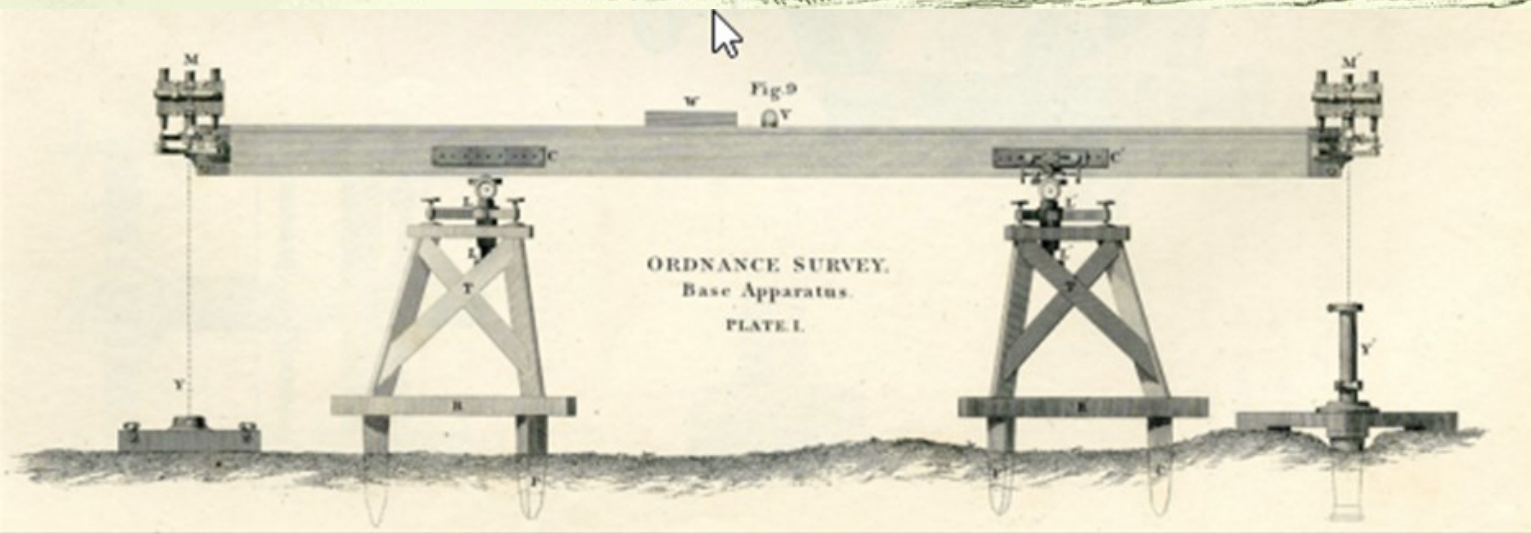


En el año 1824, el gobierno británico ordenó que se hiciera el mapa topográfico de Irlanda, creyendo que de ese modo contarían con un poderoso instrumento con el que tratar de solucionar mejor los problemas económicos, políticos y militares relacionados con la isla. El duque de Wellington responsabilizó de la empresa a Colby, por sus conocimientos teóricos y amplia experiencia adquirida en los años anteriores. Su primera decisión fue la redacción de un proyecto de red geodésica continua y constituida por triángulos de diferentes órdenes, en cuyos vértices se irían apoyando los levantamientos topográficos posteriores; mediante los cuales se captaría la información geográfica necesaria, que sería plasmada en los mapas con los que se culminaría la empresa veintitrés años después. La organización de los trabajos fue exclusivamente militar, contando Colby con la participación de tres compañías, cada una de 105 soldados, que serían adiestradas convenientemente para que efectuasen labores topográficas de reconocimiento; luego diversificadas para que pudiesen participar en las mismas los propios irlandeses. Los trabajos dieron comienzo en el año 1825, en la montaña Divis, en las cercanías de Belfast.



Con estos trabajos, Colby se incorporó a la historia de la geodesia, máxime cuando en su transcurso diseñó y construyó un novedoso instrumento con el que medir las bases geodésicas con una exactitud nunca vista hasta entonces. El aparato, al que llamó *compensation bar*, medía 10 pies de largo (entre pivotes) y estaba compuesto por una aleación de hierro y latón, con microscopios incorporados. La medición, en el lado Sur del estuario Lough Foyle, la inició Colby el 6 de septiembre de 1827 y fue ultimada por su colaborador, el capitán Thomas Drummond (1797-1840) el 20 de noviembre de 1828, contando para ello con un total de 60 auxiliares; el resultado final fue una longitud de 41640.8873 pies, es decir unas 8 millas. Los detalles de tal operación se describieron en el artículo *An account of the measurement of the*

Lough Foyle base in Ireland, firmado por el capitán William Yolland (1810-1885) en 1847. Colby ordenó la construcción de dos barras estándar de 10 pies de largo, para que sirviesen de patrón metrológico a una temperatura de 62°F.



La primera nivelación de Irlanda, dirigida por Colby, fue completada en el año 1846, siendo publicada la memoria correspondiente por el Ordnance Survey en 1855 (Abstracts of Principal Lines of Spirit Levelling in Ireland, Carried on During the Years 1839 to 1843, Under the Direction of the Late Major-General Colby). Las altitudes fueron referidas al nivel de estiaje de las mareas vivas, observado el 8 de abril de 1837, en el faro Poolbeeb sito en la bahía de Dublín; el cual resultó estar 20.900 pies por debajo de la referencia permanente del mismo. A partir de ella se nivelaron geoméricamente, entre 1839 y 1843, una serie de líneas que irradiaban desde dicha ciudad; aunque nunca se publicó una relación formal de altitudes, en la que se indicara la fiabilidad esperada, sus valores estuvieron vigentes hasta que fue reemplazada en la segunda mitad del siglo siguiente. No obstante, apoyándose en ellos, se distribuyeron por todo el territorio una serie de señales de nivelación, a las que se enlazarían los trabajos alimétricos asociados a la formación del mapa; tales señales adoptaron una forma sencilla, una barra horizontal bajo la que figuraba la cabeza de la flecha que la apuntaba.



Referencias colocadas en diferentes edificios públicos de Dublín, como señales testigos del cero hidrográfico.

Building.	Position of the mark on the building.	Elevation of the mark above the bolt at Buckingham Lock.
		feet.
Four Courts	Pavement or floor of portico at principal entrance	+ 0·928
General Post-Office .	Pavement or floor of portico	+ 3·145
Bank of Ireland	Pavement or floor of colonnade at principal entrance	+ 6·113
Custom House	Pavement or floor of portico at principal entrance	+ 2·195
Carlisle Bridge	Copper bolt driven horizontally into the stone-work of the battlement, 3·900 feet below the top of the battlement, and 2·840 feet above the centre of the road	+ 8·705
Queen's Bridge	Copper bolt driven horizontally into the stone-work of the battlement, 4·450 feet below the top of the battlement, and 1·580 foot above the centre of the road	+ 8·019
Trinity College	An arrow cut on the stone-work at the principal entrance in College Green, 3·300 feet above the surface of the ground	+ 4·026
Poolbeg Light House	A mark on the surface of the base-course, under the south window (the mark lower than the bolt at Buckingham Lock)	- 0·020

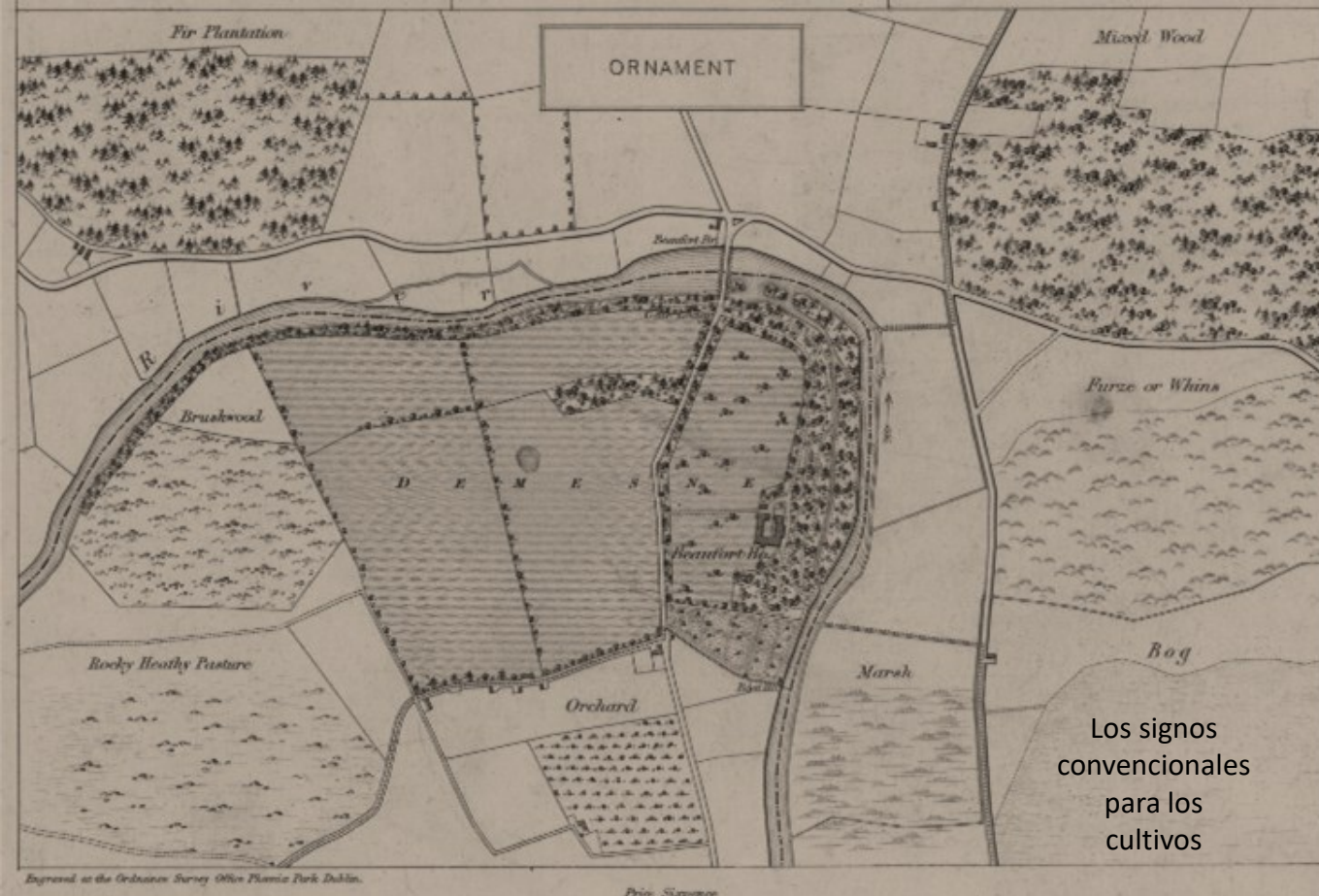
Cuando Colby estableció el datum altimétrico debió pensar en la conveniencia de estudiar con más profundidad y sistemáticamente la amplitud de las mareas, consultando a tal efecto al astrónomo real G. Airy. Este último daba cuenta de dicha consulta en su extenso trabajo 8124 páginas): On the laws of the tides on the coasts of Ireland, as inferred from an extensive series of observations made in connection with the Ordnance Survey of Ireland; publicado en las Philosophical Transactions el 1 de enero de 1845: «In the spring of 1842 I was informed by Colonel Colby, R. E., Director of the Trigonometrical Survey, that in the

operations of the Survey of Ireland it had become necessary to adopt a line of reference for the elevations ascertained in the running of various lines of level through the country; and that it was his intention to institute a series of observations of the height of the water in different states of the tide, in order to refer the levels to the mean height of the sea, or to its height at some definite phase of the tide. Colonel Colby stated also that he was desirous that the observations should be made subservient to improvements in the theory of the tides, and requested my assistance in sketching a plan of observation which would be most likely to contribute to that end». Airy comentó las sugerencias que le había hecho a Colby, acerca del emplazamiento de las diferentes estaciones y de la secuencia de las observaciones, a fin de registrar diariamente la marea completa (*from high wáter to high water, or from low water to low water*); así como la necesidad de que el cero de la marea fuese enlazado con las líneas de nivelación, para que cada observación fuese referida al mismo nivel hidrostático.

Una tarea fundamental para la formación del mapa fue la recopilación de la información toponímica, la cual fue encomendada a irlandeses bilingües que habían sido profesores en las escuelas católicas de Hedge (consideradas ilegales por los ingleses); toda ella se recogió en una serie de libros, uno para cada parroquia de Irlanda, conocidos ahora como *The Ordnance Survey Name Books*. Para cada topónimo se indicó el nombre recibido, el nombre finalmente adoptado para la ciudad y el que figuraría en el mapa de las seis pulgadas (la escala prevista para el mapa era la de seis pulgadas por milla, $\approx 1/10560$) publicado en 1837; asimismo figuraba en la relación el nombre irlandés y en muchos casos su significado primitivo. En el capítulo Observaciones se incluyeron datos complementarios tales como las principales características topográficas, tanto naturales como artificiales, el nombre del propietario, los alquileres cobrados a los inquilinos del propietario, el tipo de suelo y su aprovechamiento, además de ciertos detalles de grandes edificios, iglesias y accidentes geográficos destacados. El responsable de tan magna obra fue John O'Donovan (1806-1861), un erudito irlandés contratado por el *Ordnance Survey*, que llegó a ser profesor de lenguas celtas en la *Queen's University* de Belfast; de ahí que tales libros sean a veces denominados con su nombre.

List of Names as written on the Plan <i>Sheet 27 No. 6</i>	Various modes of Spelling the same Names	Authority for those modes of Spelling	Situation	Descriptive Remarks, or other General Observations which may be considered of Interest
<i>Benwell</i>	<i>Blinwell</i>	<i>Mr. Kenyon's History of Northumberland</i>	<i>In the North-west</i>	<i>An extremely fine and pleasant</i>
	<i>Do.</i>	<i>Mr. J. Chalkley Esq. of the plan</i>		<i>Village, distant about 2 1/2 miles</i>
	<i>Do.</i>	<i>Mr. Chalkley</i>		<i>west from Newcastle. It contains</i>
	<i>Do.</i>	<i>White's Directory</i>		<i>several neat Cottages and a Milling</i>
	<i>Do.</i>	<i>List of Voters</i>		<i>Office, School, and one</i>
	<i>Do.</i>	<i>Mr. MacDonnell's Map of the Roman Wall</i>		<i>Public House.</i>
	<i>Benwell or Benwall</i>	<i>Brand's Hist. of Newcastle</i>		<i>"I suspect the etymology of the name of this station is "</i> <i>"Benwall"; the head of the wall — as it is situated</i> <i>on very high ground." Brand's Hist. Appendix page 605</i>

Detalle de la
información
toponímica



Los signos
convencionales
para los
cultivos



Equipo topográfico del
Ordnance Survey (O.S.)

«Los mapas de seis pulgadas por milla fueron, en cierto modo, la herramienta de que se valió Gran Bretaña para asimilar culturalmente a Irlanda, cambiando los topónimos gaélicos de los núcleos urbanos irlandeses por otros anglicanizados»

(Tesis doctoral de Reese C. Hentges: *The Irish Ordnance Survey Six Inches to One Mile Map of Ireland, Anglicitazion and Otherness*. University of Washington Tacoma.2015). Ese hecho nunca fue aceptado por la población de Irlanda, lo que contribuyó decisivamente al deterioro de las relaciones anglo irlandesas. Este mapa de Irlanda realizado por oficiales del O.S. tuvo alrededor del 50% de topónimos ajenos a su cultura. El malestar surgió antes de que se finalizase el mapa, al crearse en el año 1839 la Joven Irlanda; surgiendo así un sentimiento nacionalista y separatista que desembocó en la aparición de la Hermandad Republicana Irlandesa, como respuesta a la injerencia británica. El mapa se ultimó en el año 1847, editándose al final 1939 hojas; el coste del proyecto fue de 720000 libras.

Cristóbal Colón (ca. 1451-1506)

Almirante de Castilla, descubridor del nuevo mundo y notable cosmógrafo, una condición que hizo valer en todos sus viajes; aunque cometiese un error tan considerable al fijar la longitud geográfica de aquellos territorios. Durante su primer viaje observó la Estrella polar en varias ocasiones para calcular la latitud del lugar, usando el cuadrante, el astrolabio náutico o la ballestilla, así lo recordaba el protagonista en su diario: citando concretamente las medidas de los días 30 de octubre, 2 y 21 de noviembre, de 1492, y el 3 de febrero de 1493, usando en esta última el cuadrante y el astrolabio. Su hijo Hernando Colón y Enriquez de Arana (1488-1539), refería con sumo detalle otra observación que hizo en la isla de Jamaica en el año 1504, durante el cuarto viaje, comprobando el movimiento aparente de la Estrella alrededor del Polo Norte celeste: «Estando ya a mediados de julio, dice que tomó la altura del Polo con gran diligencia y mucha certidumbre, y halló grande y maravillosa diferencia de lo que solía suceder en el paralelo de las Azores. Porque allí cuando estaban las guardas en el brazo derecho, esto es en la parte de Oriente, entonces la estrella del Norte se halla más baja, y luego se iba encumbrando; de modo que, cuando las guardas estaban encima de la cabeza, entonces la Polar tenía de altura dos grados y medio, y luego que pasaba de allí, volvía a descender los mismos cinco grados que había subido».

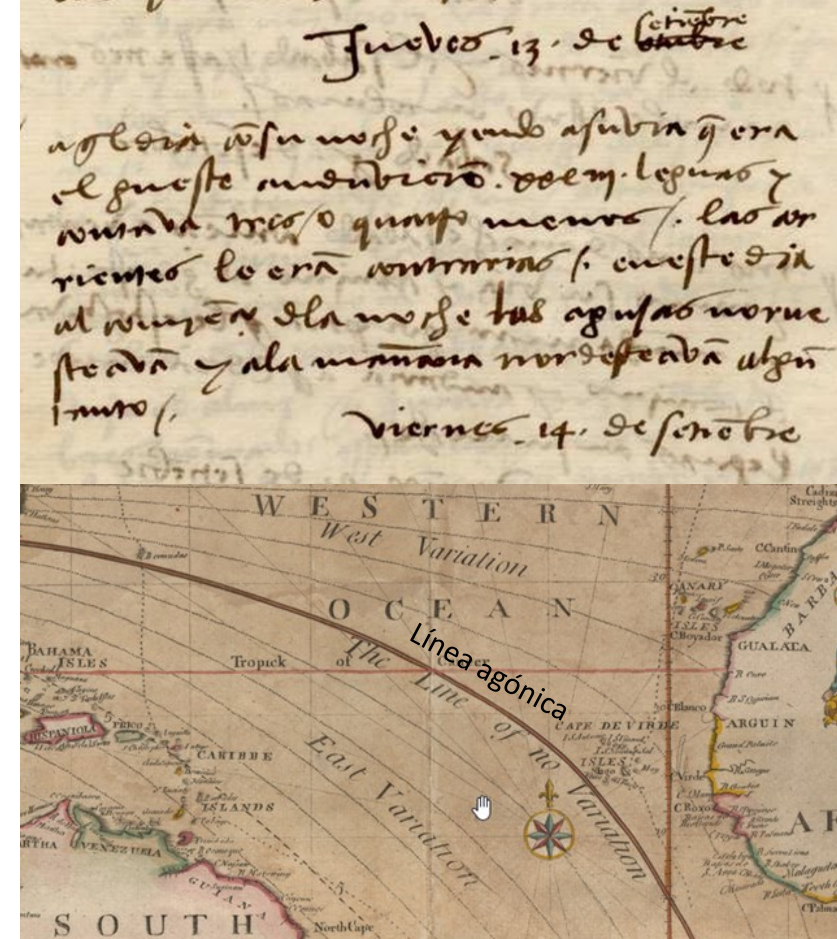


Meses antes, concretamente en la noche del 29 de febrero, se produjo un eclipse total de Luna, identificado a veces como el eclipse de Colón, pues fue usado por él en dos ocasiones: para asegurar su avituallamiento y para calcular la longitud geográfica de la isla. Dado que los indígenas se negaban a seguir proporcionándole vituallas, les asustó al decirles que el Dios cristiano iba a ocultar la Luna; y para su sorpresa así sucedió, con el pavor consiguiente. Para evitárselo, Colón les dijo que hablaría con Dios e informarle de su arrepentimiento, con la promesa de que aceptaría de buen grado que la Luna volviese a su estado natural. No se sabe a ciencia cierta la publicación en que se apoyó Colón, si las Tablas de Regiomontanus o el Almanaque de Zacuto, válido para el periodo comprendido entre 1475 y 1506.



Colón, que ya había observado otro eclipse lunar en la Española (15 de septiembre de 1494), aprovechó el ocurrido en 1504 para determinar la longitud geográfica del lugar, mostrando así que poseía sólidos conocimientos astronómicos. En su diario figure que la longitud de la isla, con relación a Cádiz, era de $7^{\text{h}} 15^{\text{m}}$; un valor que obtendría como diferencia entre la hora a que observó el eclipse y la fijada para el mismo en alguna de las efemérides en que se apoyaba. En cualquier caso sorprende que cometiera un error tan considerable, próximo a las $2^{\text{h}} 30^{\text{m}}$ o a los $37^{\circ} 30'$, en unidades angulares; equivalentes a unos 4160 km, supuesto un radio de la Tierra próximo a los 6370 km. Actualmente, se pretende explicar su cuantía, presumiendo que usaría las Tablas de Regiomontanus, en las que se indicaba la hora de la mitad del eclipse en Nuremberg y no la del comienzo del mismo; con tal resultado resulta coherente que Colón pensara que estaba camino de China.

Cristobal Colón fue testigo de primera mano de un suceso excepcionalmente importante para la historia del magnetismo terrestre, el cual tuvo lugar durante la noche del día 13 de septiembre de 1492 a unas 100 leguas al Oeste de las Islas Azores; cuando la nao capitana Santa María cruzó la línea agónica, llamada también agónica o de declinación nula (es decir aquella que es el lugar geométrico de los puntos en que coincide la dirección del Norte magnético con la del Norte geográfico). El fenómeno se describió de manera escueta en el diario de aquel primer viaje: «En este día, al comienzo de la noche, las agujas noruesteaban, y a la mañana nordesteaban algún tanto». En crónicas posteriores se daban mayores explicaciones: «Aquel día con su noche, yendo a su vía, que era el oeste, anduvieron XXXIII leguas, y contava tres o quatro menos. Las corrientes le eran contrarias. En ese día, al comienzo de la noche, las agujas noruesteaban y a la mañana nordesteaban algún tanto, de lo que conoció que la aguja no iba derecha a la estrella que llaman del Norte, o Polar, sino a otro punto fijo e invisible». Aunque por entonces se sabía que la declinación magnética variaba con la longitud geográfica, fue Colón el primero en comprobarlo fehacientemente, pues atendiendo a la descripción es obvio que cruzaron la línea agónica, pasando por lo tanto de un valor oriental a otro occidental. Puede asegurarse sin exageración que fue en aquellas fechas cuando comenzó el estudio del magnetismo terrestre en occidente, gracias a las observaciones efectuadas por el Almirante.





Tanto Cristobal Colón como su hermano Bartolomé (c. 1461-1514), fueron prolíficos y acreditados cartógrafos, antes y después de la reconquista de Granada, hasta el punto de que ambos vivieron de los mapas durante su estancia en Lisboa. Lamentablemente no se conservan mapas o planos que se puedan atribuir al primero sin ningún género de dudas, aunque la excepción a la regla la protagonizan sendos ejemplos que merecen ser reseñados. El primero de ellos es conocido en la literatura cartográfica con el nombre de Mapa de Colón, desde que en el año 1924 se lo atribuyera el historiador francés Charles Marie de la Roncière en la publicación *La Carte de Christophe Colomb*, aparecida el mismo año en París; el pergamino lo descubrió en su Biblioteca Nacional, en donde se conserva identificado con la referencia (B. N. Cartes et Plans, Rés. Ge AA 562). El documento cartográfico es realmente el conjunto de dos mapas, separados por una línea dorada, dibujado sobre un

pergamino de 1.1x 0.7 m; el de la izquierda es en realidad una carta celeste que refleja la concepción geocéntrica del universo que imperaba por aquel tiempo, el de la derecha es un portulano al uso en el que destacan el Atlántico y el mar Mediterráneo. El portulano está limitado por cuatro rosas de los vientos de las que parten las correspondientes líneas de navegación, apareciendo representada la cuenca mediterránea y el litoral atlántico, desde Escandinavia hasta la desembocadura del río Congo. Una de sus características más destacables, en este

contexto, es la localización de las ciudades importantes del interior; el hecho de que figuren Granada y Santafé con los pendones de Castilla y León permite pensar que ha de ser posterior al 2 de enero de 1492. Asimismo, debe subrayarse que en uno y otro mapa aparecen textos que guardan estrecha relación con las apostillas que aparecen en los libros usados por Colón, en una de las cuales se remite al lector a cuatro mapas que contenían esferas, una costumbre poco habitual en aquella época. Hay pues sobradas razones para suponer que él fue el cartógrafo responsable, aunque todavía falte la prueba definitiva que confirme tal suposición.

A la vuelta de su primer viaje, el 15 de febrero de 1493 desde las Islas Canarias, escribió una extensa carta a los reyes católicos en la que daba cuenta de su descubrimiento.

Únicamente nos interesa resaltar, de tan trascendental documento, la identificación que se hace de una serie de islas en los siguientes términos: «A la primera que yo hallé puse nombre San Salvador a conmemoración de Su Alta Majestad,

el cual maravillosamente todo esto ha dado; los Indios la llaman Guanahaní; a la segunda puse nombre la isla de Santa María de Concepción ; a la tercera Fernandina; a la cuarta la Isabela ; a la quinta la isla Juana y así a cada una nombre nuevo». La carta fue rápidamente impresa y reeditada en numerosas ocasiones, baste decir que en los cinco años siguientes se publicaron diez mil ejemplares de la misma, siendo usual el ilustrarla con mapas imaginarios de

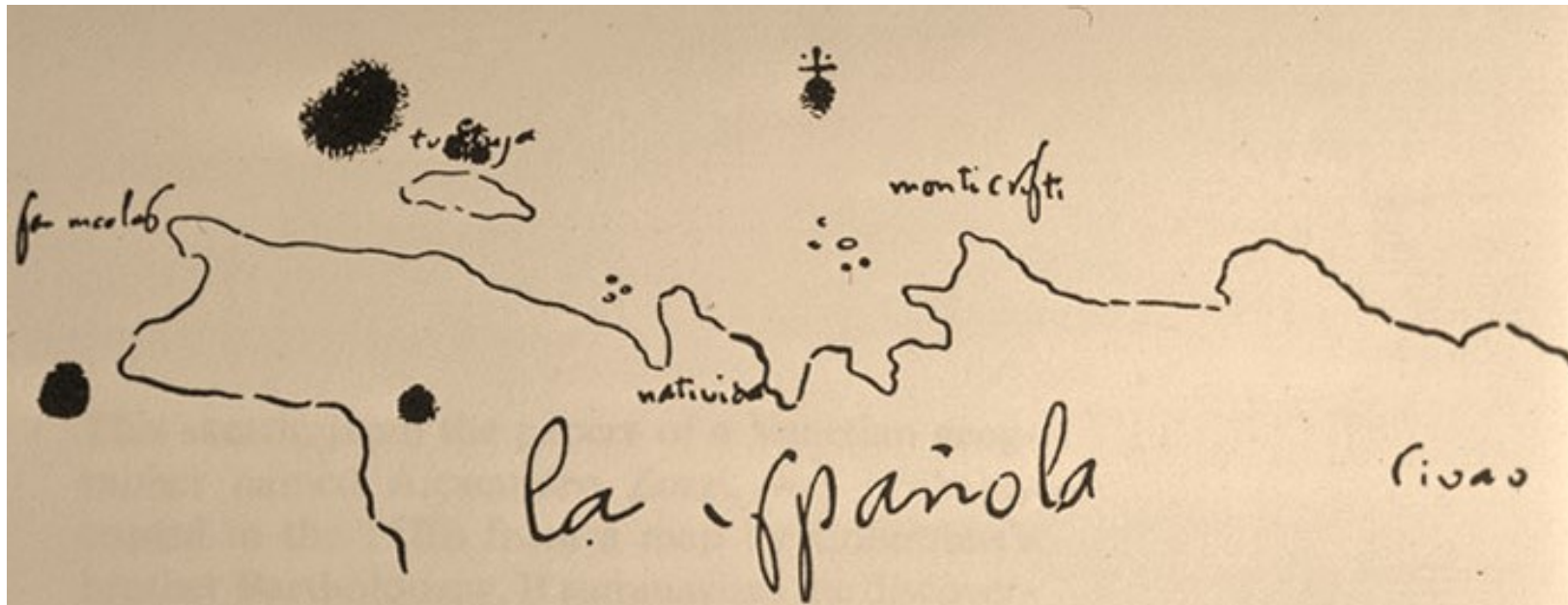


De Insulis inuentis



Epistola de Insulis nuper inventis. Basilea. 29 de abril de 1493

las islas. Es de suponer que Colón los supervisaría en cierta medida, en cualquier caso fueron las primeras imágenes renacentistas de sus descubrimientos. Hay otros documentos cartográficos relevantes que indistintamente se le atribuyen a Cristóbal y Bartolomé Colón, se trata en este caso de meros croquis en los que se representan también los territorios recientemente conquistados. El primero de ellos, dibujado quizás entre 1492 y 1493, se conserva en el archivo de la Casa de Alba (Palacio de Liria. Madrid) y es la imagen cartográfica de una parte del litoral caribeño, concretamente la costa norte de la Isla Española (Haití).



La importancia de este documento, descubierto en el año 1894, para la historia de la cartografía es capital, por tratarse del primer mapa europeo del nuevo mundo; su formato es de 56 x 39cm. En él figuran varios



Hay otra prueba irrefutable de la actividad cartográfica de Colón, referida por el Almirante turco Muhyiddin Piri Re'is (c. 1470-1554) en su celebrado mapamundi del año 1513. El mapa es realmente un fragmento del original, que se conserva en el Museo Topkapi Saray de Estambul, cuyas dimensiones son de 63 x 90 cm. En el borde occidental del mapa figura un extenso texto que es harto elocuente, en cuanto que el autor confiesa, entre otras cosas, que la representación del Caribe la dibujó apoyándose en un mapa de Cristobal Colón que había llegado a su poder y que al parecer fue realizado en el año 1498; el párrafo en cuestión dice lo siguiente: Las costas e islas (del Nuevo Mundo) de este mapa son tomadas del mapa de Colón. La afirmación de Piri Re'is está muy bien documentada puesto que fue su tío Kemal Re'is el que se lo proporcionó, tras habérselo requisado a un esclavo español que había sido tripulante de un barco que capturó la flota turca, por él comandada, mientras navegaba por las proximidades de Valencia en el año 1501. El mapa se lo presentó Piri re'is al sultán en el año 1517 y al parecer se archivó en el palacio de Solimán el magnífico; allí permaneció en el anonimato hasta que Gustav Adolf Diessmann (1866- 1937), en el año 1929, lo descubrió durante las investigaciones que estaba realizando en el futuro Museo Topkapi.

Vanos, inútiles deseos. La antigüedad injusta privó a este héroe de esa gloria debida a su gran merecimiento. Américo Vespucio se la arroga, las naciones todas llaman América a esta parte del globo que habitamos; pero los hombres que han existido en tres siglos, y las generaciones futuras al pronunciar este nombre detestarán en su corazón lo que ejecuta la lengua. Mil plumas tan imparciales como enérgicas y elocuentes forman la apoteosis de Colón. La República de Génova le erige una estatua. Un nuevo Fidias está perfeccionando lo que hemos de consagrarle en testimonio de nuestra veneración y reconocimiento. Entretanto respetemos sus cenizas, gloriémonos de poseerlas; confiemos en ellas más que en nuestros Morro y Cabaña. Ellas infundirán temor a las potencias enemigas de la Española, guardarán nuestras costas, defenderán este puerto; y al ver el sepulcro que las contiene (permitidme usurpe esta expresión al panegerista del Conde de Saxe) a vista del mármol que las encierra se elevará el espíritu de todos los españoles, les inspirará el coraje, la magnanimidad, el amor generoso de la gloria, el celo por el Rey y por la Patria.

Elogio de Cristóbal Colón por Tomás Romay y Chacón (1764-1849), escrito el 8 de febrero de 1796. La Habana





Hernando Colón y Enríquez de Arana (1488-1539)

Hijo de Beatriz Enríquez de Arana (1465-1522) y de Cristóbal Colón. Su padre le procuró buena educación al conseguir que fuese paje del príncipe Juan, el hijo de los Reyes Católicos. Hernando Colón fue un bibliófilo convencido, pues llegó a reunir quince mil volúmenes a partir de la biblioteca que había heredado, transformándose después en la actual Colombina; que, aunque mermada, se conserva en Sevilla. No obstante, su actividad principal fue la de cosmógrafo, afición compartida con su progenitor, en la que llegó a ser maestro consumado. Su posición social debió ser relevante y así lo prueba el que apareciese la casa que construyó, junto a la Puerta de Goles, en varios grabados de la época; sobresaliendo por su colorido el de la vista panorámica de Sevilla incluida en el *Civitates Orbis Terrarum*.



Hernando Colón tuvo el mérito de pretender hacer un mapa de España, basándose en reconocimientos topográficos de todo el territorio, integrado en el proyecto *Descripción y Cosmografía de España* (o simplemente Itinerario). Aunque todos los trabajos de campo fuesen, al parecer financiados por el mismo, sería sorprendente que los hubiese iniciado sin contar con el beneplácito, e incluso el encargo, del propio Carlos V. La recopilación de la información geográfica empezó el 3 de agosto de 1517 («lunes 3 de agosto de 1517, comencé el Itinerario. La primera descripción corresponde a Zaragoza, y la última, a la Membrilla, villa de la Mancha»). *Itinerario de D. Fernando Colón*), participando activamente tanto él como sus colaboradores. En todos los casos se anotaron datos tales como el nombre de las poblaciones, el número de habitantes y la relación de las distancias a que se hallaban los núcleos limítrofes. La intención de formar el mapa quedó de manifiesto en la instrucción para dibujar la cuadrícula: «para hacer las tablas serán cuadradas por grados de longitud y latitud y cada grado en millas, cuyas líneas cruzarán toda la tabla como en un tablero de ajedrez, porque fácilmente del original donde se pintare al principio se puedan sacar los otros».



Cristóbal Colón y sus hijos: Diego (1479-1526) y Fernando. Grabado de 1794

A vos el que es ó fuere nuestro Corregidor ó Juez de residencia de la Ciudad de Córdoba ó á vuestro Alcalde en el dicho oficio é á cada uno de vos á quien esta nuestra carta fuere mostrada salud é gracia, sepades que somos informados que D. Fernando Colón ha enviado por estos nuestros Reinos algunas personas con su poder é con ciertas cartas nuestras ó sus traslados para que entiendan en hacer cierta descripción é cosmografía de toda España y porque á nuestro servicio cumple que no se entienda agora en lo susodicho, fué acordado por los del nuestro Consejo é conmigo el Rey consultado que debiamos mandar, dar esta nuestra carta para vos en la dicha razón é nos tuvimoslo por bien: porque vos mandamos que agora ni de aquí adelante no consintais ni deis lugar que ninguno, ni algunas personas usen de las dichas é cédulas que sobre lo susodicho mandamos dar ni entiendan en hacer ni hagan la dicha descripción é cosmografía ni cosa alguna de ello é les mandeis nuestra parte é nos por nuestra carta les mandemos que luego sin dilación alguna é sin esperar para ello otra nuestra carta ni mandamiento, ni segunda, ni tercera, vos den y entreguen las dichas nuestras cartas ó sus traslados ó el poder qué para ello tienen, é lo que por virtud de ellas han fecho é lo enviar todo á los del nuestro Consejo, porque así cumple á nuestro servicio.

Resulta incomprensible que hubieran de pasar seis años para que se ordenase la suspensión de los trabajos geográficos de H. Colón, aunque su bibliotecario, el bachiller Juan Pérez esbozara una posible explicación: «la cosmografía de España que estaba empezada a hacer...no se acabó...mi señor don Hernando Colón quiso tomar este trabajo inmenso y costa grande sino que la envidia no lo dejó llevar al cabo». También cabría sospechar que el reciente conflicto con los comuneros de Castilla hubiese ejercido su influencia. En el año 1898 el historiador gaditano Rodolfo del Castillo Quartilliers (1845-1917) dio a conocer un documento esencial para entender la verdadera historia del Itinerario de H. Colón: la carta mediante la cual se daban por concluidos los trabajos que se venían ejecutando con relación al mismo; el contenido de la misma fue del todo explícito, como puede comprobarse en el cuadro adjunto. La firma de la misma se realizó en Valladolid el 13 de junio de 1523.

La suspensión de los trabajos del mapa no supuso el final de la relación de H. Colón con la monarquía, pues en 1524 fue nombrado miembro de la comisión hispano lusa encargada de fijar en Badajoz la longitud geográfica del archipiélago de las Molucas. En el Archivo General de Indias se custodian dos manuscritos en los que el cosmógrafo se pronunció sobre tan complicada cuestión, en su tiempo era imposible determinarla con la suficiente certidumbre. A pesar de ello citó en el primero diversos procedimientos para conseguirlo, desde el de navegar con rumbo de 45°, para que el incremento de latitud fuese idéntico al de longitud, hasta los astronómicos clásicos de observar un cierto fenómeno (eclipse lunar principalmente) de forma simultánea desde los dos puntos involucrados, para hallar a continuación las diferencias entre las horas respectivas de la observación. Sin embargo, su contribución realmente singular, por su carácter innovador, fue la sugerencia de conseguirlo transportando la hora, por medio de un instrumento (el futuro cronómetro) capaz de proporcionar en el mar la hora que sería en ese momento en el puerto en que se inició la travesía. A modo de resumen redactó H. Colón el informe titulado: *Parecer de los astrónomos y pilotos españoles de la junta de Badajoz sobre la demarcación y propiedad de las islas del Maluco*. Aunque se defendiera que las Islas se encontraban dentro de la zona de influencia española, la realidad es que verdaderamente caían dentro de la zona portuguesa.

Don hernando Colon dize q para mostrar q los malucos son de su mag y los posee co
justo titulo e propiedad en ninguna forma se den llevar el camino q hasta aq
esta ordenado es saber q se hiziesen dos cartas una en q se contuviese verdadera
mente la navegacion que hazen los portugueses para nodar lugar a q se estendiese
mas delo justo / y otra en q se pusiese la mesma navegacion mucho en nro favor
para q si ellos mostrasen alguna falsa o emendada q asi mesmo nosotros les mos
trafemos la nra verda muy en nro favor y sellos por fiasen q era la suya / y si
buena q nosotros hiziesemos lo mesmo por fiasen por la nra

La Razon por q esto no se deve hazer es por q nosotros no tenemos el aparato ny
autoridad de mostrar q tal navegacion esta segun dezimos asi como ellos lo podran
mostrar y probar y seran co Razon sobre esto creydos pues cotidianamente lo na
vega Mayormente q pues nolo des cobrimos yendo por sus tierras ny en mis perio
asitan poco lo dedemos contar por el Quanto mas q nro fin e yntento principal
no es mostrarles y probarles lo q ellos medidaren ser poco o mucho lo q ellos an na
vogado por q esto oviera lugar si nosotros presupusieramos q ellos ovian halla
do los malucos antes que remos declarar q pertenecen ala corona despana
por lo qual se forma la siguiente forma //

En una carta o espera se pormã las tierras q por sus mag. estan descubier
tas por la via del ocidente juntamente co los malucos y las otras tierras cercan
uicinas q descubrieron los del espceria y dirase por parte de sus mag. q confor
me ala capitulacion mandaro navegar y descubrir al ocidente dela linea
dentado y q por a qlla Braga es suyo // Los aduersarios estonce no podran
Responder sino q navegando tanto al ocidente q ellos lo descubrieron por imero por
q esto toca ala posesion y no ala propiedad por manera q notienen otra mas
presta sino dezir q sus mag. navegaron tanto al ocidente q pasaron el me
dio mundo q les pertenece y q por tanto pues los malucos esta adelante del di
cho medio mundo no pertenecen a su m. Al qual se Respondera q no costa
q solo el medio mundo podian sus mag. navegar y dado caso q constase negar
sea q es mas del medio mundo y asi yncubira a los portugueses probar es
ta negativa y como la prueba sea dificil su mag. sera justo posesor en tanto
q lo averiguã //

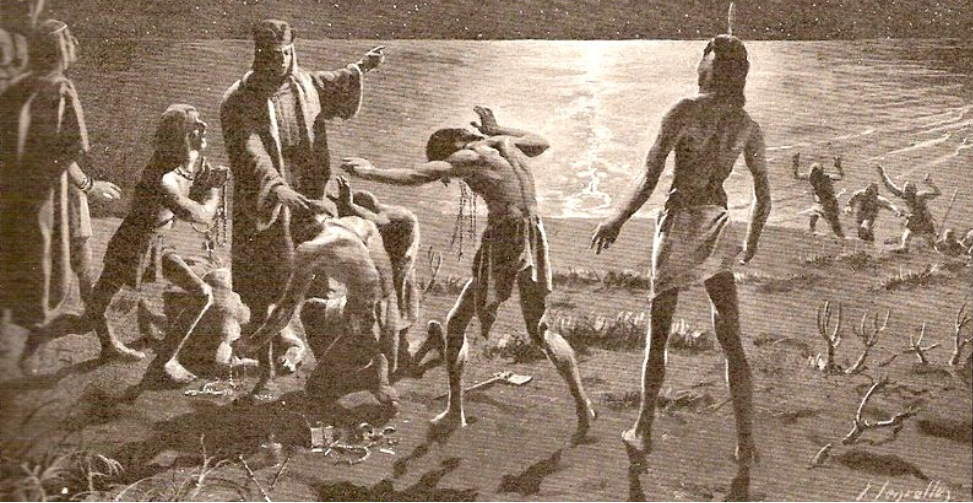
y otra forma si midiesemos por la parte de los portugueses nosotros seria
mos obligados a probar q el medio mundo por el oriente se fenecce ante de lle
gar a los dichos malucos y asi la dificultad dela prueba de cosa tan maer
ta caeria sobre nosotros y entanto q no lo probasemos pareceria a todo el
mundo q ynjusta e forciblemente los tenia sus mag. pues q es manifesto
q quic algo a de probar es por falta de claridad de su justicia y asi el di
cho do her. con dize ser este su parecer y para firmado de su nombre //

Rosa de los vientos rodeada por la corona mensual y por la zodiacal. Mapa de D. Ribero 1529



En el año 1526 recibió H. Colón el encargo de confeccionar el denominado Padrón Real, una especie de mapa de estado, que sirviese de modelo a cualquier mapamundi o globo terráqueo compuesto a partir de entonces y al que deberían ceñirse los pilotos de la Casa de Contratación. Cuando H. Colón recibió la Real Cédula solicitó la colaboración de Alonso de Chaves (c.1485-1587) un cosmógrafo que ya era prestigioso; habiéndosele impuesto la participación del cartógrafo portugués Diego Ribero «nuestro piloto y maestro de hacer cartas de navegar». No hay constancia de que H. Colón formase el mapa en cuestión, a pesar de que le fue reclamado. Si lo hicieron en cambio tanto Ribero, en 1527 y en 1529, como Chaves en 1536 (cuando presentó una carta universal). El mapa del portugués, incorporó la información geográfica recopilada durante la expedición magallánica, presentando por primera vez el océano Pacífico en toda su amplitud, así como la línea de demarcación acordada en el Tratado de Tordesillas; esta representación fue considerada el primer mapa científico del mundo

Eclipse total de Luna (29.II.1504).



Barcos anclados en las costas de Jamaica, corroídos por la broma



Dos veces estuvo H. Colón en el nuevo mundo, una con su padre y otra con su hermano Diego. El día 3 de abril de 1502, se inició desde Sevilla el cuarto y último viaje de Cristóbal Colón, con la intención de encontrar el paso hacia Asia; el resultado fue catastrófico a causa del huracán que dañó sus naves e hizo que acabara anclado en las costas de Jamaica, refugiado en los barcos que se salvaron. Colón viajó con su hijo Hernando, previa autorización real pues solo tenía 13 años, al que probablemente le enseñaría el eclipse del 29 de febrero de 1504 (con el que logró engañar a los nativos para que continuaran proporcionándole víveres); el comportamiento de Hernando durante la travesía debió ser ejemplar, según se desprende de las palabras del almirante: «El dolor del hijo que yo tenía allí me arrancaba el ánimo, y más por verle de tan nueva edad de trece años en tanta fatiga y durar en ello tanto. Nuestro Señor le dio tal esfuerzo que él avivaba a los otros, y en las obras hacía él como si hubiera navegado ochenta años, y él me consolaba». La vuelta a España la hizo junto a su padre, llegando a Sanlúcar de Barrameda el 7 de noviembre de 1504.

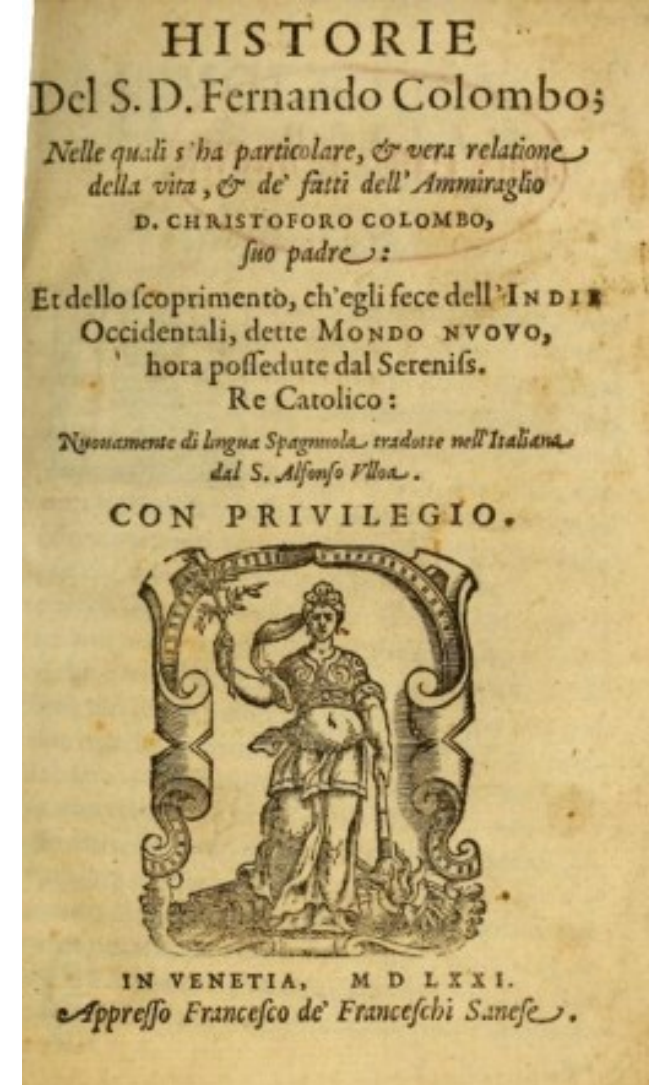


De esa misma localidad partió, el 9 de junio de 1509, con su hermano Diego hacia Santo Domingo, el cual debía tomar posesión como gobernador (llegó a ser segundo almirante de las Indias). En esta ocasión, H. Colón solo permaneció dos meses en aquellas tierras, hasta que su hermano lo mandó de vuelta a España para que continuase sus estudios.

El Papa y Cristóbal Colón discuten sobre temas geográficos, apoyándose en un mapamundi y en un globo terráqueo.

British Museum. S. XVII

Durante el periodo 1536-1539 H. Colón homenajeó a su padre al escribir la Historia del Almirante, un libro excepcional según el historiador Antonio Rumeu de Armas (1912-2006), que le dio toda la fama póstuma que adquirió; su objetivo fue la exaltación de la vida y obra de un «varón digno de eterna memoria» en palabras de su hijo. El original se extravió, siendo la versión italiana del 25 de abril de 1571, la más antigua que se conserva (*Historie del S.D. Fernando Colombo; nelle quali s'ha particolare & vera relatione della vita, & de fatti dell' Ammiraglio D. Christoforo Colombo, suo padre*). La obra se compone de dos partes claramente diferenciadas: «La primera abarca los capítulos I a XV, y polariza su atención en biografiar a Cristóbal Colón antes de acometer la gesta imperecedera del descubrimiento. La segunda comprende los capítulos XVI a CVIII, y hace objeto de su estudio la descripción pormenorizada de las cuatro inmortales navegaciones al Nuevo Mundo, que aparecen enlazadas entre si con relatos sucintos de los acontecimientos intermedios...La primera adolece de vacuidad, inconsistencia y pobreza de datos; la segunda, de prolijidad, solidez y riqueza de pormenores...Los capítulos biográficos están plagados de supercherías, invenciones, errores y anacronismos; las páginas consagradas a los viajes son modelo de veracidad, precisión y justeza. Hasta el tono es distinto. La biografía es agria, rencorosa, agresiva y polémica, en desacuerdo absoluto con el carácter y el temperamento de Hernando, según lo retratan los contemporáneos. La crónica de los viajes objetiva y serena, aunque con la natural pasión para defender de todo escarnio, vejación o mancha la gloria paterna» (Antonio Rumeu de Armas: *La época de Hernando Colón y su Historia del Almirante*. 1990).





Charles Marie de la Condamine (1701-1774)

Naturalista, cartógrafo y matemático, miembro de la expedición geodésica que midió un grado de meridiano en América central, la cual fue promovida por la Academia de Ciencia de París para poner fin a la polémica sobre la forma de la Tierra: los newtonianos proponían un elipsoide oblato (aplastado por los polos) y los cartesianos uno prolato (aplastado por el ecuador). Al finalizar sus trabajos, los expedicionarios estuvieron de acuerdo en elegir el modelo de Newton, aunque con ligeras modificaciones en el valor del achatamiento elipsoidal. Los académicos franceses, junto al personal auxiliar, partieron juntos para el virreinato del Perú en abril de 1735, siendo Louis Godin el astrónomo responsable; no en vano fue él quien hizo la propuesta de efectuar allí la medición. Nada más llegar a su destino comenzaron las desavenencias entre ellos, pues Godin, Bouguer y La Condamine alcanzaron Quito por diferentes vías. Tampoco lograron formar un único equipo para ejecutar los trabajos, de modo que Godin y los dos españoles (Jorge Juan y Antonio de Ulloa) formaron uno y la Condamine con Bouguer

otro; de vuelta en Francia, diez años después, el desencuentro entre estos dos también fue manifiesto. El hecho de que Godin acabase instalado en Cádiz y el fallecimiento de Bouguer, favoreció que todo el reconocimiento social fuera para La Condamine, cuyo nombre quedó indefectiblemente ligado a tan relevante observación geodésica; Y. Laissus dijo que este era peor matemático que Bouguer y peor astrónomo que Godin, aunque supo transmitir mejor que ellos la importancia de la misma.

HISTOIRE
DE
L'ACADEMIE
ROYALE
DES SCIENCES.
ANNÉE M. DCCXXXII.

OBSERVATIONS
MATHÉMATIQUES ET PHYSIQUES
*Faites dans un Voyage de Levant en 1731
& 1732.*

Par M. DE LA CONDAMINE.

La Condamine se formó con los jesuitas en su Liceo Luis el Grande (París), en donde también había estudiado Voltaire, de ahí que acabasen entablando amistad; como también haría después con Maupertuis. Tras un fugaz intento de seguir la carrera militar, no tardó en optar por las matemáticas, la física y la química, con especial interés por el magnetismo. Sus frecuentes contactos con el mundo científico aceleraron su ingreso en la Academia Real de Ciencias, el 12 de diciembre de 1730. A raíz de su ingreso, y siguiendo al parecer los consejos de Maupertuis, emprendió viaje a Oriente; publicando a su regreso el trabajo *Observations mathématiques et Physiques faites dans un voyage de Levant en 1731 et 1732*. Su contenido lo desarrolló bajo los epígrafes siguientes:

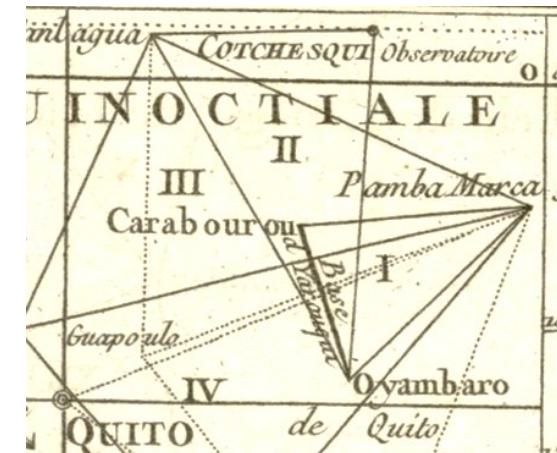
Astronomía, Navegación, Geografía, Mecánica, Anatomía, Química, Botánica, Física e Historia Natural; concretando sus observaciones en cada uno de ellos.

En Astronomía, por ejemplo, citó sus cálculos de la latitud en Argel, Trípoli, Alejandría y Constantinopla; habiendo hallado la longitud de la primera, observando el eclipse de Luna que tuvo lugar 8 de agosto de 1729, fijando la hora por medio de un péndulo de segundos. En el capítulo dedicado a la Geografía hizo saber los defectos de las cartas náuticas, por no disponer de la posición fiable de puntos en el litoral; mientras que en de la Física detalló sus observaciones de las alturas barométricas y la variación de la declinación magnética.

Dibujo panorámico de la base de Yaruqui, incluido por La Conamine en su libro *Mesure des trois premiers degrés du méridien dans l'hémisphère austral*, tirée des observations de MM. de l'Académie royale des sciences envoyés par le roi sous l'Équateur. 1751

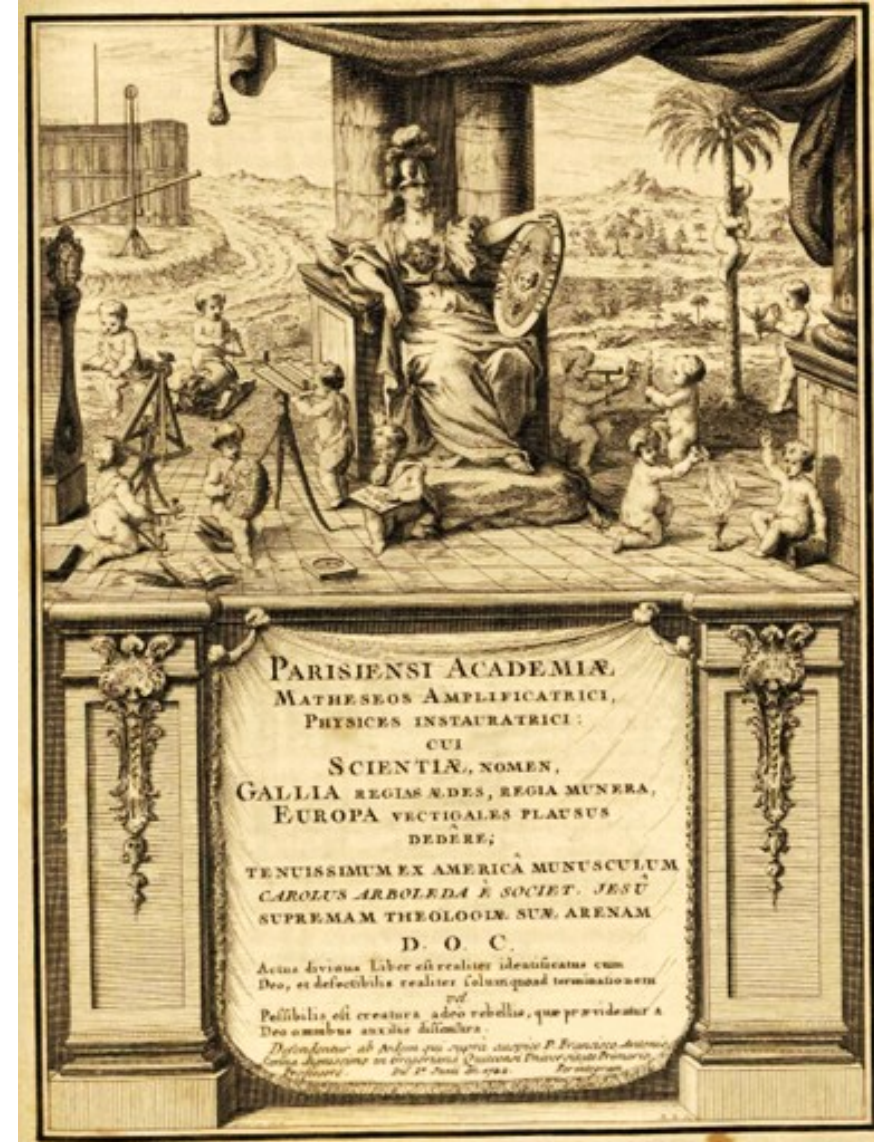


Enlace de la base con la red triangular



La presentación de la memoria anterior supuso su consolidación como observador perspicaz y hábil cronista, máxime cuando esta había causado muy grata impresión en la Academia de Ciencias; de hecho, en 1735 fue ascendido a matemático asociado, y dispuesta su integración en la expedición que debería medir el desarrollo de un grado en la América ecuatorial. Parte esencial de la operación fue el establecimiento de una base en la llanura de Yaruqui, de unos 12228 m de largo, la cual serviría para dar escala a la red triangular que discurriría por el arco de meridiano. Una vez finalizada la medición, surgió un serio contratiempo al decidir La Condamine que se deberían colocar en sus dos extremos (Caraburu, al Norte, y Qyambaro, al Sur) sendos monumentos tetraédricos coronados por una flor de lis, con sus caras orientadas hacia los cuatro puntos cardinales. El problema se planteó a propósito de la leyenda que los acompañaría, que en un principio no contemplaba incluir los nombres de los expedicionarios españoles. A pesar del desacuerdo, las pirámides se construyeron, aunque tras un prolongado pleito fueron demolidas en su totalidad, por disposición del Consejo de Indias (26 de julio de 1746), al dictaminar que no era permisible un monumento francés en territorio español.

Además de las observaciones geodésicas propiamente dichas, se efectuaron por parte de los expedicionarios otras relacionadas con disciplinas como la etnografía, la astronomía, la gravimetría, la aeronomía, la geografía, la geología y la cartografía. El propio Ch. de la Condamine comentaría, años después (1751), en su libro *Journal du voyage fait par ordre du roi, a l'Équateur, servant d'introduction historique a la mesure des trois premiers degrés du Méridien*, como se había gestado durante su estancia en Quito el *Plan de Quito, capitale de la Province de même nom dans le Royaume de Pérou*. Tras indicar que su domicilio estaba identificado con la letra X, señaló que realmente el plano lo había levantado a estima su colaborador Jean Louis Morainville, ingeniero del Rey; sin embargo, apuntaba que su escala gráfica de 500 toesas era fiable, por haberse apoyado en un plano previo de Jorge Juan y Antonio de Ulloa. Destaca en su campo la representación de la meridiana de la Torre de Merced, así como que figure el valor de la declinación magnética ($8^{\circ} 30'$). La Condamine no descuidó tampoco sus actividades académicas, como prueba la tesis doctoral que mencionó en el libro anterior; la cual fue defendida por el joven jesuita criollo Carlos Arboleya. A ella asistiría con gusto el académico por haber sido dedicada a la Academia de Ciencias y figurar como ilustración una alegoría de la misma en forma de Minerva, acompañada de diferentes putti que juegan con los atributos de las materias propias de la institución; al fondo se representó el edificio del Observatorio de París acompañado de un gran telescopio.





Cuando finalizó la medición del grado de meridiano, todos los expedicionarios siguieron itinerarios diferentes para volver a su país de destino. La Condamine expuso todas las peripecias del suyo en un libro que él mismo tradujo al castellano: Extracto del diario de observaciones hechas en el viage de la Provincia de Quito al Parà, por el Rio de las Amazonas y del Para a Cayana, Surinam y Amsterdam; destinado para ser leído en la Asamblea pública de la academia Real de las Ciencias de París. (1745). La aventura científica, relatada con singular maestría, detalla las

numerosas observaciones astronómicas que realizó a orillas del río Marañón, el primer nombre con que fue conocido el Amazonas, para calcular la latitud; observando incluso los eclipses de los satélites de Júpiter, fijando así la longitud de la desembocadura del río Napo en más de cuatro horas con relación a París. Las medidas topográficas fueron constantes, para ir hallando la anchura y profundidad del gran río; así como la altitud barométrica de los lugares por donde navegaba, usando como unidad la toesa (aunque la transformase en varas castellanas, a razón de 5 toesas por 12 varas). También efectuó medidas de la intensidad de la gravedad, confirmando su dependencia de la latitud; observaciones que repetiría después durante los siete meses que pasó en Cayena. . Es curiosa su referencia a la existencia de las mujeres sin marido, deduciendo por los informes recibidos «la existencia de las Amazonas americanas, con los usos y costumbres que se atribuyen a las antiguas Amazonas asiáticas. Los más añadieron que ellas pasaron la banda del Norte del Río, en lo interior del continente hacia el Río Negro, u otro de los que por la misma banda desaguan en el Marañón». Las mareas en el Amazonas fue otros de los fenómenos que observó, analizando el flujo marino en su desembocadura conocido como pororoca; años después (1769) publicó *Lettre sur les Marée de la Riviere des Amazones*.

Las amazonas y la reina Coñori, grabado de Theodore de Bry (1528-1598)



Todos sus trabajos de campo le permitieron a Ch. la Condamine confeccionar el mapa resumen de la primera expedición científica que estudió dicho río, una cuidada representación planimétrica de toda la cuenca amazónica dibujada con una escala de leguas marinas de 20 al grado y comprendida entre los dos océanos. El mapa, sensiblemente rectangular, lo divide la imagen de la equinoccial en dos partes de similar amplitud, limitadas por arcos de meridiano y de paralelo; refiriéndose las longitudes al observatorio de París. El dibujo incluyó, con líneas de puntos, el curso del río principal con las embocaduras de algunos afluentes que trazó el jesuita Samuel Fritz (1654-1723) en su mapa de 1707.



PREMIERE PARTIE.

MESURE GEOMETRIQUE

DE L'ARC DU MERIDIEN,

OU

OPERATIONS SUR LE TERREIN,

Pour fixer la position & déterminer la longueur de
la Ligne Méridienne.

La Condamine llegó a París el 23 de febrero de 1745, después de haber pasado varios meses en Amsterdam. Tras varios desencuentros con Bouguer publicó en el año 1751 su Memoria sobre la expedición geodésica: *Mesure des trois premiers degrés du méridien dans l'hémisphère austral, tirée des observations de MM. de l'Académie royale des sciences de Paris envoyés par le roi sous l'équateur*; dividida en dos partes, constando la primera de 28 capítulos y la



MESURE

DES

TROIS PREMIERS DEGRES

DU MERIDIEN

AU DELA DE L'EQUATEUR.

SECONDE PARTIE.

MESURE ASTRONOMIQUE

DE L'ARC DU MERIDIEN,

OU

DETERMINATION DE LA VALEUR DE L'ARC CELESTE

Qui répond à la Mesure géométrique.

segunda de 31. En el número 27 de la primera parte se concretó el valor del desarrollo del arco de meridiano, obtenido a partir de la triangulación, concluyendo que su longitud total fue de 176950 toesas, una vez reducido al nivel más bajo de los vértices geodésicos (alrededor de 1226 toesas sobre el nivel del mar). En cuanto a la amplitud angular del mismo, se fijó en el capítulo número 23 de la segunda parte, resultando ser de $3^{\circ} 7' 1''$; de manera que ya se pudo calcular en el siguiente capítulo el desarrollo correspondiente al grado, 56750 toesas «que j'assgne au degré du Meridien proche de l'Equateur, est très approachante de laveritable»- En el capítulo número 30 hizo una interesante digresión sobre el aplastamiento polar de la Tierra, bajo el epígrafe *Des divers rapports des axes du Sphéroïde terrestre, tirés de la comparaison des divers degrés mesurés.*

M E S U R E

D E S

TROIS PREMIERS DEGRÉS

DU MÉRIDIEN

DANS L'HEMISPHERE AUSTRAL,

*Tirée des Observations de M.^{rs} de l'Académie Royale
des Sciences, Envoyés par le Roi sous l'Équateur:*

Par M. DE LA CONDAMINE.

Fuit alter

Descriptit radio medium qui gentibus Orbem. Virgil.



A P A R I S,
DE L'IMPRIMERIE ROYALE.

M. D C C L I.

266 *MESURE DES TROIS PREMIERS DEGRÉS, &c.*

degrés soit prouvé par des mesures qui n'ont pas été prises sous le même Méridien à de grandes distances*, pour prononcer que la courbe du Méridien n'a point d'irrégularité; conten-
tons-nous aujourd'hui de croire que la Terre a une moindre courbure vers les Poles que vers l'Équateur, puisque le raisonnement & toutes les mesures actuelles concourent jusqu'ici à le prouver; mais laissons au temps, & aux observations multipliées, à décider de l'uniformité de cette courbure, ainsi que de sa quantité.

Il n'est donc plus permis de douter que le degré du Méridien ne soit plus petit près l'Équateur que vers le Pole, & de-là il s'ensuit nécessairement, que la Terre est aplatie vers les Poles, & rehaussée sous l'Équateur. Je n'insisterai pas sur les preuves d'une conséquence avouée de tous les Mathématiciens, & que M. de *Maupertuis*, dans son Discours sur la mesure du degré au Cercle polaire (*page 8*), & dans plusieurs autres ouvrages, à mise à la portée de tout le monde, en l'exposant de la manière la plus claire & la plus sensible; je me contenterai de faire le raisonnement suivant en faveur de ceux

Nicolás Copérnico (1473-1543)

Sacerdote y astrónomo polaco que revolucionó el pensamiento científico, negando que la Tierra fuese el centro del mundo y que carecía de movimiento; muy al contrario, la Tierra estaba dotada de dos movimientos: uno diario de rotación en torno a su eje y otro anual de traslación alrededor del Sol. Protegido por su tío materno Lucas Watzenrode (1447-1512), recibió formación humanística antes de ingresar en la Universidad de Cracovia. Su estancia en ella resultó crucial para su vida profesional, así lo reconocería el mismo a la vez que recordaba cómo había estudiado en ella latín, matemáticas, astronomía, geografía y filosofía; su libro de consulta en astronomía fue el *Tractatus de Sphaera de Sacrobosco* (1220). Cuatro años estudió en Cracovia, hasta que decidió volver a Torun, su ciudad natal. Por indicación de su tío se trasladó a la Universidad de Bolonia, para complementar su formación con estudios de derecho (1496-1499). Allí se alojó en casa del profesor de astronomía Domenico Maria de Novara (1454-1504), asistiéndole en sus observaciones; de hecho pudo hacerlo en la de la ocultación de la estrella Aldebaran por la Luna.



Da antico ritratto di Scuola Bolognese già conservato dal Celebre
Astronomo Tom. Perelli, ed ora posseduto dal Prof. Cav. Sebastiano Ciampi
in Firenze.

En el año 1500 se trasladó a Roma, permaneciendo allí durante un año dando clases de astronomía y matemáticas. Mientras tanto, observó el eclipse de luna que tuvo lugar el 6 de noviembre de 1500. En la primavera de 1501 volvió a Polonia para ocupar una canonjía en Frombork, pero no tardó en volver a Italia autorizado por su tío, que estaba interesado en que ultimase sus estudios de derecho y de medicina. De nuevo en Italia se instaló en Padua, con el deseo expreso de continuar dedicándose a la astronomía. No obstante no abandonó sus otros estudios, obteniendo en Ferrara el título de *doctor juris canonici* el 31 de mayo de 1503. Después volvió a Padua para continuar sus estudios de medicina y poco tiempo más tarde a su diócesis para ocupar su puesto de canónigo. Fue entonces cuando compró una colección de

instrumentos que posteriormente utilizaría en sus observaciones astronómicas, imprescindibles para redactar su obra más conocida: *De revolutionibus orbium coelestium*, enlazando así con los sabios griegos, salvando un periodo de unos 2000 años. Sus investigaciones astronómicas las compatibilizó con el cuidado médico de su tío, del que era además secretario y consejero personal. Alrededor de cinco años mantuvo esa actividad, residiendo en el castillo de Heilsberg, cerca de Frombork, la residencia oficial del obispo de Ermland. Muerto su tío en 1512, Copérnico tuvo más tiempo para centrarse en sus estudios y observaciones astronómicas. Dos años después distribuyó a sus amigos un opúsculo manuscrito, del que ellos sabían que él era el autor aunque no figurase su nombre. Su título fue *De hypothesibus motuum coelestium a se constitutis Commentariolus-*



Copérnico en Toruń

Nicolai Copernici

de Hypothesibus motuum caelestium
à se cons titutis

commentariolus.

Copia de 1543

Multitudinem orbium caelestium Maiores nostros
eam maxime ob causam posuisse uides, ut apparentes
in sideribus motuum sub regularitate saluarent.
Valde n. absurdum uidebatur caeleste corpus in
absolutis rotunditate non semp aequè moueri.
Fieri aut posse aduertunt, ut et compositione
atq; conuexu motuum regularium diuersimode
ad aliquem situm moueri quippiam uideretur.
Id quod Calippus & Eutoxus p concentricos
circulos deducere laborantes non potuerunt.
Et his oium in motu siderum rectiore ratione
no solum eorum quae circa reuolutiones siderum
uidentur, uerumetiam quod sidera motu scan-
dere in sublime, modo descendere nobis uidentur,
quod concentricitas minime sustinet. Itaq; potè-
or sententia uisa est p eccentricos & epicyclos
id agi, in qua demum maxima pars sapientum
conuenit, attemen quae ab Ptolomeo et plerisque
alijs passim de his prolata fuerunt, quany ad nos
nosum responderent, non paruum quoy uidebant
habere

MS.
HIC.

Este trabajo, conocido como *Pequeño Comentario*, ya establece las bases de su teoría heliocéntrica. Se trata pues de un documento excepcional, para la historia de la ciencia, que contiene los siete postulados siguientes: No hay un centro para el universo; El centro de la Tierra no es el centro del Universo; El centro del universo está cerca del Sol; La distancia de la Tierra al Sol es insignificante comparada con la distancia a las estrellas; La rotación de la Tierra se manifiesta a través del movimiento diario y aparente de las estrellas; El movimiento anual y aparente del Sol es causado por la traslación de la Tierra en torno a él; El movimiento retrógrado y aparente de los planetas es causado por el movimiento de la Tierra desde la que son observados. Cuando escribió ese comentario, Copérnico ya estaba pensando en su obra maestra, pues dejó escrito en él que por razones de brevedad, había creído que era mejor omitir las demostraciones matemáticas para la obra que estaba preparando. Parece ser que el comentario lo escribió en 1514 y que los seis libros de que consta *De revolutionibus* los comenzó al año siguiente.



Sol

Órbitas planetarias



Nicolás Copérnico ante la Academia de Ciencias de Polonia (Varsovia)

NICOLAI COPERNICI TORINENSIS
DE REVOLUTIONIBVS ORBI-
um coelestium, Libri VI.

.Habes in hoc opere iam recens nato, & ædito,
studiose lector, Motus stellarum, tam fixarum,
quàm erraticarum, cum ex ueteribus, tum etiam
ex recentibus obseruationibus restitutos: & no-
uis insuper ac admirabilibus hypothesibus or-
natos. Habes etiam Tabulas expeditissimas, ex
quibus eisdem ad quoduis tempus quàm facilli-
me calculare poteris. Igitur eme, lege, frue.

Ἀγαπίστος ἔσθις εἶπα.

Norimbergæ apud Ioh. Petreium,
Anno M. D. XLIII.

El Comentario de Copérnico llegó veinte años después a Roma, sin que el papa hiciese objeción alguna ni sobre la teoría ni sobre el autor de la misma. Es más el cardenal Nicolás Schönberg (1472-1537) le invitó a que publicase sus descubrimientos, aunque no consiguiera sus propósitos. Tiedemann Giese (1480-1550), obispo de Kulm, también le animó a que lo hiciera por el bien de la ciencia y de la humanidad, pero Copérnico seguía sin decidirse; quizás por el temor al escándalo o a la reacción hostil de los teólogos. Sin embargo todo cambió cuando Georg Joachim Rheticus (1514-1574) llegó a Frombork para

AD CLARISSIMUM VIRVM
D. IOANNEM SCHONE-
RVM, DE LIBRIS REVOLVTIO-
nũ eruditissimi viri, & Mathema-
tici excellentissimi, Reuerendĩ
D. Doctoris Nicolai Cop-
ernici Torunnæ, Cas-
nonici Varmiense-
sis, per quendam
Iuuenem, Ma-
thematicæ
studio
sum
NARRATIO
PRIMA.

ALCINOVS.

Ἐπιπέριον ἔστι τῆς γινόμενης ἐπιτομῆς τῶν ἀστρονομικῶν φαινομένων

conocer las nuevas teorías astronómicas y dos meses después hizo un resumen de la obra de Copérnico, que tituló *De libris revolutionum Copernici narratio prima*, impresa en Dantzic en el año 1540. El éxito fue inmediato, imprimiéndose de nuevo en Basilea al año siguiente. La reacción de Copérnico no se hizo esperar, entregando el manuscrito de sus trabajos al referido obispo, quien lo confió a su vez a Rheticus. Este lo mandó imprimir en Nuremberg, en el año 1543, en la imprenta de Johannes Petreius. El título elegido por Copérnico fue el siguiente: *De revolutionibus orbium coelestium* (Sobre los giros de los orbes celestes). Lamentablemente le encargó la revisión a Andreas Osiander (1498-1552), un teólogo luterano que incluyó un supuesto prólogo, sin firma, atribuido falsamente a Copérnico, pero que este nunca reconoció haberlo realizado.

El teólogo debió temer una mala acogida por sus colegas, por suponer la obra contraría a los preceptos bíblicos, añadiendo que no debía considerarse como verdadera aunque resultase sencilla y conveniente para el cálculo.



Conversaciones con Dios. Jan Matejko (1873)

Realmente, la introducción de la obra de Copérnico aparece en la dedicatoria del ejemplar destinado al Papa Paulo III, señalando que su redacción obedecía al desacuerdo reinante entre los matemáticos y a la multiplicidad de sistemas astronómicos, incapaces de justificar adecuadamente los movimientos celestiales. Continuaba afirmando que, tras consultar la amplia bibliografía previa, descubrió como algunos autores creían en el movimiento de la Tierra, comprobando tras analizarlo como hipótesis que así se podía explicar perfectamente el universo observable. La conclusión era obvia el error había consistido en hacer de la Tierra el centro del mundo y de dichos movimientos. Copérnico reprochaba a Tolomeo, pero sobre todo a Aristóteles, que

era absurdo querer mover el *locus* y no el *locatum*. El astrónomo polaco defendía la rotación de la Tierra, respondiendo a la vieja objeción de que los graves caían hacia ese centro del universo, que los situados en otros planetas caerían hacia ellos y no hacia el centro de la Tierra, para él todos los cuerpos terrestres participaban del movimiento de la Tierra, siendo arrastrados por ella. En todo caso ha de recordarse que el universo de Copérnico no coincidía con el de la física clásica, ya que como el de Aristóteles estaba limitado por la esfera de las fijas (el cielo estrellado), aunque esta estuviese centrada en el Sol.

DOS IMÁGENES DEL SISTEMA HELIOCÉNTRICO DE COPÉRNICO

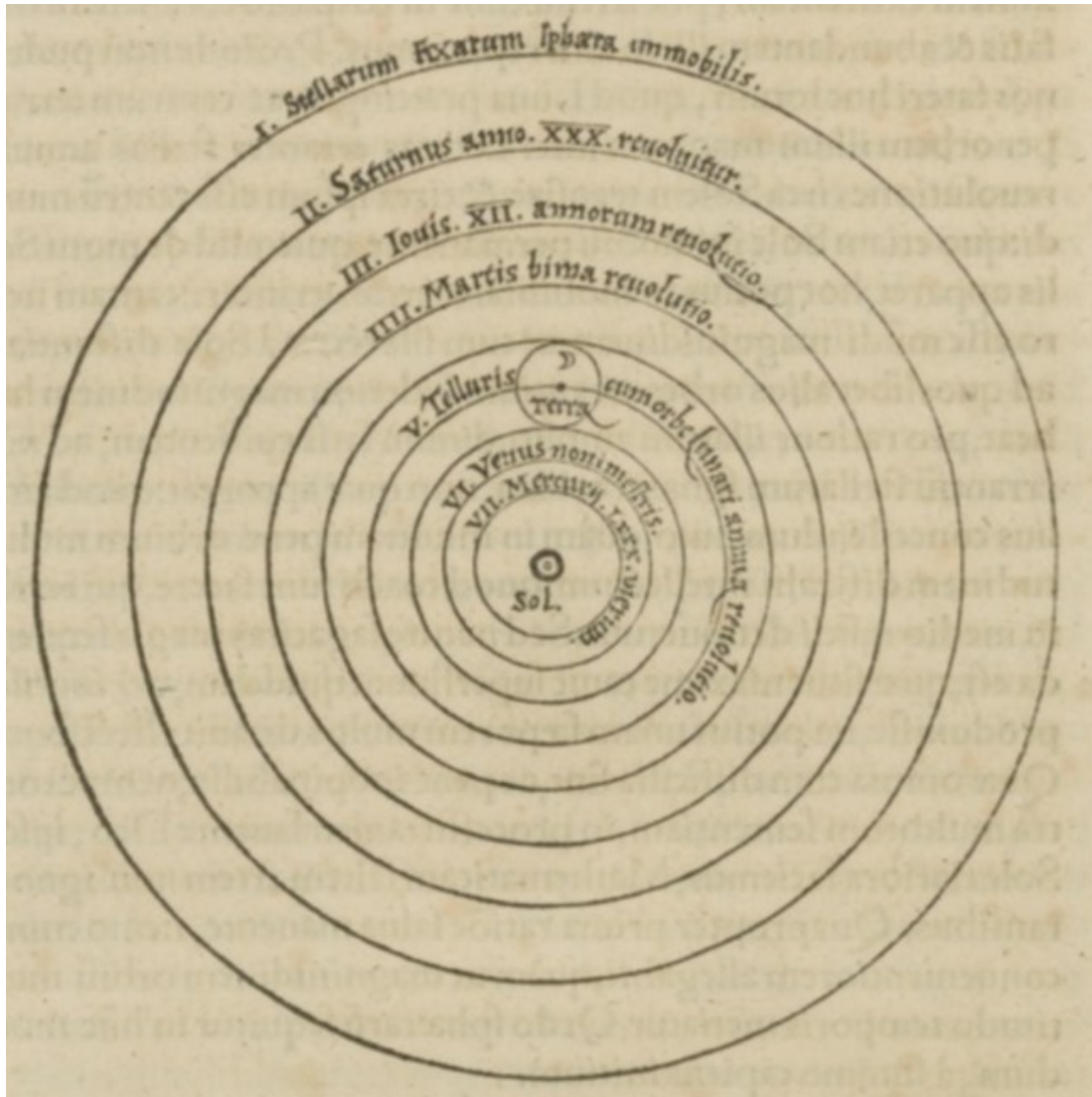


Ilustración en *De revolutionibus*



Andreas Cellarius en su *Harmonia Macroscópica* (1660)

Aunque la difusión de la obra de Copérnico fue relativamente rápida, en el año 1566 se hizo una nueva edición usando el resumen de Rheticus como introducción, no ocurrió lo mismo con la adopción del nuevo sistema propugnado por él. Entre los que asumieron su hipótesis revolucionaria debe citarse en primer lugar a Rheticus, continuando con Michael Mästlin, maestro de Kepler, Gemma Frisius, Benedetti y Giodano Bruno. Como ferviente partidario de sus teorías debe destacarse a Thomas Digges, quien en 1573 proclamó la falsedad del sistema de Tolomeo en un estudio dedicado a la nova de 1572. En el año 1576 publicó *A Perfit Description of the Caelestiall Orbes according to the most aunciente doctrine of the Pythagoreans, lately revived by Copernicus and by Geometricall Demonstrations approved*, obra que marca un hito importante en la historia del pensamiento por negarse en ella la existencia de la esfera de las fijas, proclamando que su radio era infinito. No obstante es también cierto que ese límite lo identificaba con el reino de los cielos, pero en todo caso se anticipó a Bruno al romper en pedazos la bóveda finita en que se creía, por entonces, que estaba encerrado el mundo. No es nada fácil encontrar firmes partidarios de Copérnico en el siglo XVI, la razón puede ser el temor a chocar con la filosofía aristotélica tan firmemente arraigada y por supuesto con los defensores a ultranza de la tradición bíblica, defendida en aquellos momentos con más ardor por protestantes que por católicos. El proceso de cambio de paradigma iniciado por Copérnico, ciencia por teología, es pieza clave para entender el avance que supuso en el conocimiento científico.

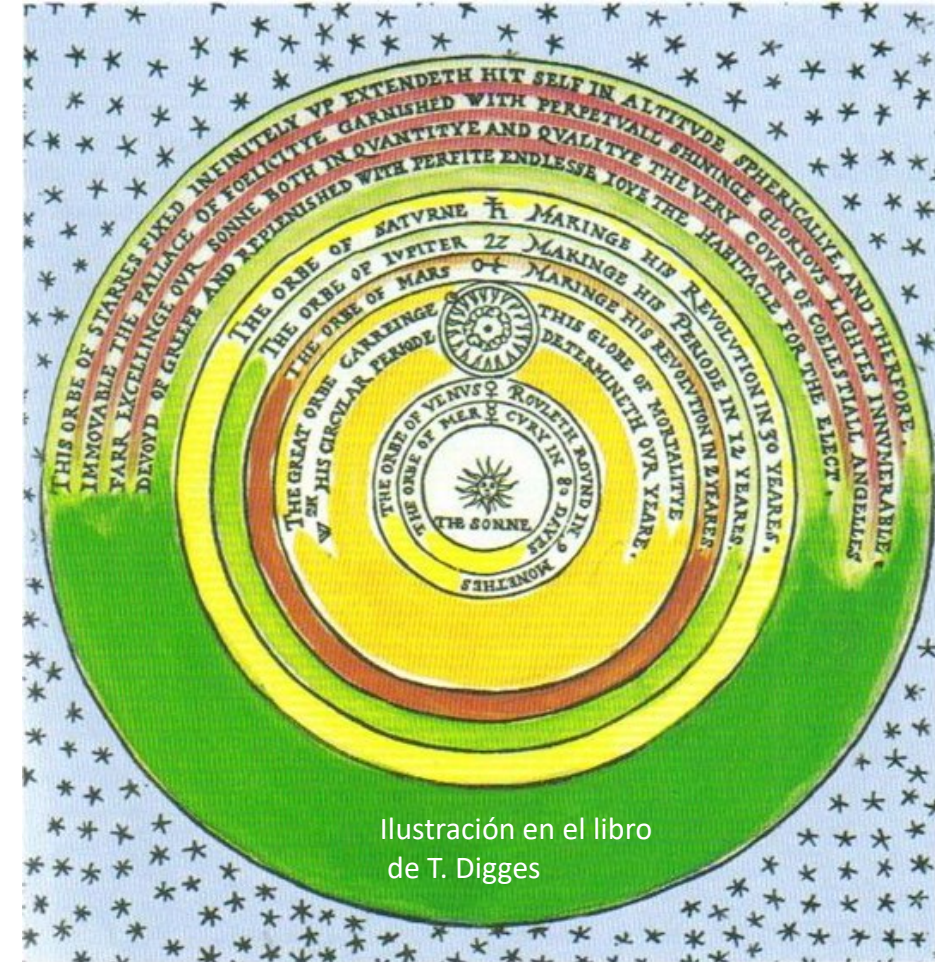


Ilustración en el libro de T. Digges

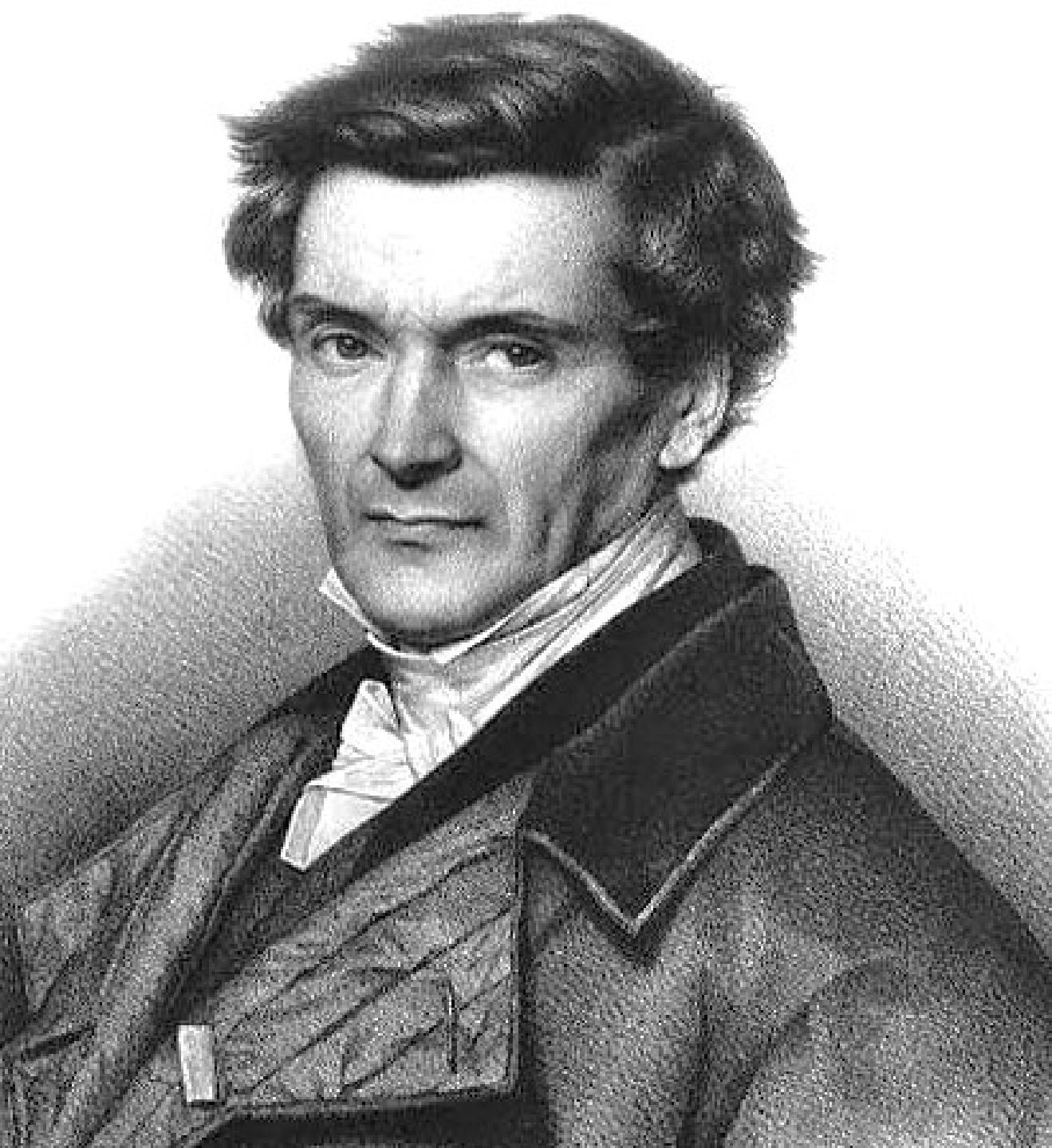


COPÉRNICO EXPLICANDO SU
MODELO HELIOCÉNTRICO AL PAPA
ALEJANDRO VI (RODRIGO BORGIA) Y
A VARIOS ARTISTAS DE SU CORTE.

(1) Castiglione... (2) Perugino... (3) Bembo... (4) Domenico Maria... (5) Michelozzi... (6) Alessandro VI... (7) M.A. Buonarroti... (8) Cesare Borgia... (9) Leonardo da Vinci... (10) Copernico... (11) Fracastoro... (12) Bramante.

NICOLÒ COPERNICO SPIEGA IL SUO SISTEMA DINANZI ALESSANDRO VI E LA SUA CORTE

QUADRO DI ALBERTO GERSON DI VARSAVIA



Gaspard Gustave Coriolis (1792-1843)

Matemático e *ingénieur des ponts et chaussées* (análogo al ingeniero de caminos en España), alumno y después profesor de la *École Polytechnique* de París; universalmente reconocido por el efecto que lleva su apellido y es de tanta aplicación para entender fenómenos propios de la aeronomía y de la oceanografía. Nacido en el año en que fue abolida la monarquía en Francia, ingresó en el Cuerpo de Ingenieros nada más finalizar sus estudios en la referida escuela; en la que fue nombrado profesor de Análisis en el año 1816, atendiendo la sugerencia de su antecesor Augustin Louis Cauchy (1789-1857). Más adelante, en 1832, fue también profesor de Mecánica Aplicada en la *École des Ponts et Chaussés*; accediendo al puesto de director en 1836, el mismo año en que ingresó en la Academia de Ciencias (Sección de Mecánica). Coriolis estudió bajo el prisma matemático problemas de ingeniería tales como la fricción y el rendimiento de la maquinaria.

A él se debe la introducción en la física de los vocablos trabajo y energía cinética, con igual significado que tienen en la actualidad; en ese campo colaboró activamente con Jean Victor Poncelet (1788-1867) y Claude-Louis Henri Navier (1785-1836). No obstante, su contribución científica más referida fue la introducción de dos nuevos conceptos en los siguientes trabajos: 1) Mémoire sur le principe des forces vives dans les mouvements relatifs des machines (1831) y 2) Mémoire sur les équations du mouvement relatif des systèmes de corps (1835); concretamente dos tipos de fuerzas: fuerza motriz y fuerza centrífuga compuesta. Esa segunda fuerza guardaba a su juicio cierta analogía con la fuerza centrífuga ordinaria, tal como apuntaba en la memoria de 1735: «C'est à cause de cette analogie que j'ai cru devoir donner à ces nouvelles forces la dénomination de forces centrifuges composées, elles participent en effet du mouvement relatif par la quantité de mouvement, et du mouvement des plans mobiles par l'emploi de leur axe de rotation et de leur vitesse angulaire». Con ella, que acabaría denominándose fuerza de Coriolis, e incluso efecto Coriolis, se explicaron los más diversos fenómenos de rotación de un sistema de referencia con respecto a otro (péndulo de Foucault, movimientos de las masas de aire y de agua sobre la superficie del globo, la desviación de la trayectoria de proyectiles de largo alcance etc.).

MÉMOIRE

Sur le principe des forces vives dans les mouvements relatifs des Machines;

PAR M. G. CORIOLIS.

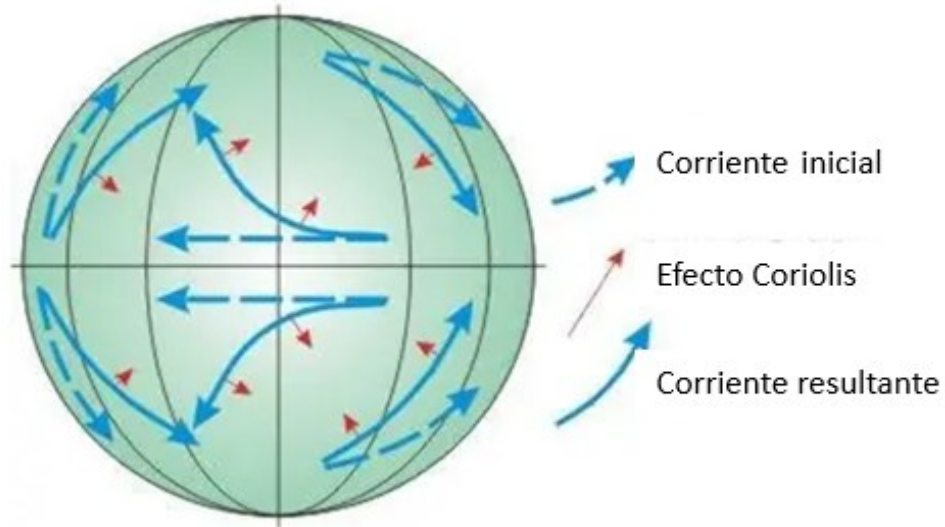
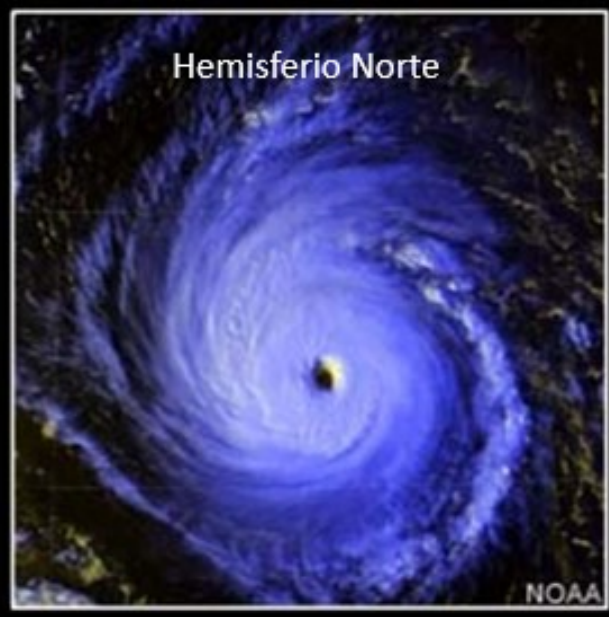
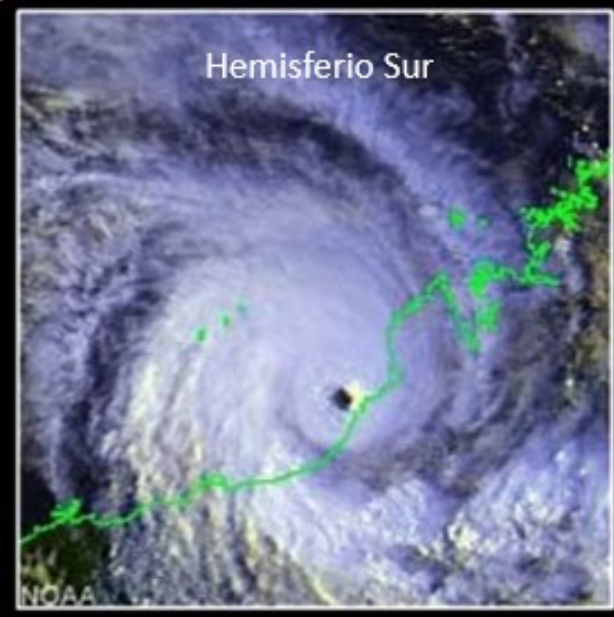
LU À L'ACADÉMIE DES SCIENCES, LE 6 JUIN 1831.

MÉMOIRE

Sur les équations du mouvement relatif des systèmes de corps;

PAR G. CORIOLIS.

Dans un Mémoire qui fait partie du XXI^e Cahier du *Journal de l'École Polytechnique*, j'ai montré que pour appliquer le principe des forces vives aux mouvements relatifs des systèmes entraînés avec des plans coordonnés ayant un mouvement quelconque dans l'espace



No obstante, la aplicación más relevante de esa pseudo fuerza se presenta en la meteorología y en la oceanografía, ya que los movimientos que se producen a gran escala, tanto en la atmósfera como en los océanos, son lo suficientemente lentos como para que el desplazamiento asociado a la rotación de la Tierra influya en la trayectoria del viento o del agua. La magnitud de la desviación debida al efecto Coriolis está directamente relacionada con la variación de la velocidad lineal (asociada a la rotación terrestre) con

la latitud; dicha variación es de 800 km/h, entre los polos y los paralelos de 60°, pero de tan solo 200 km/h entre el ecuador y los paralelos de 30°; de ahí que la desviación aumente al acercarse a los polos disminuya cuando se aproxima al ecuador (en donde se anula). Las consecuencias son obvias en el campo de meteorología y en de la oceanografía: el sentido de rotación de los ciclones dependerá del hemisferio en que se originen: horario en el septentrional y antihorario en el austral; en lo que respecta a las corrientes oceánicas, se desviarán a su derecha en el hemisferio Norte y hacia su izquierda en el hemisferio Sur.



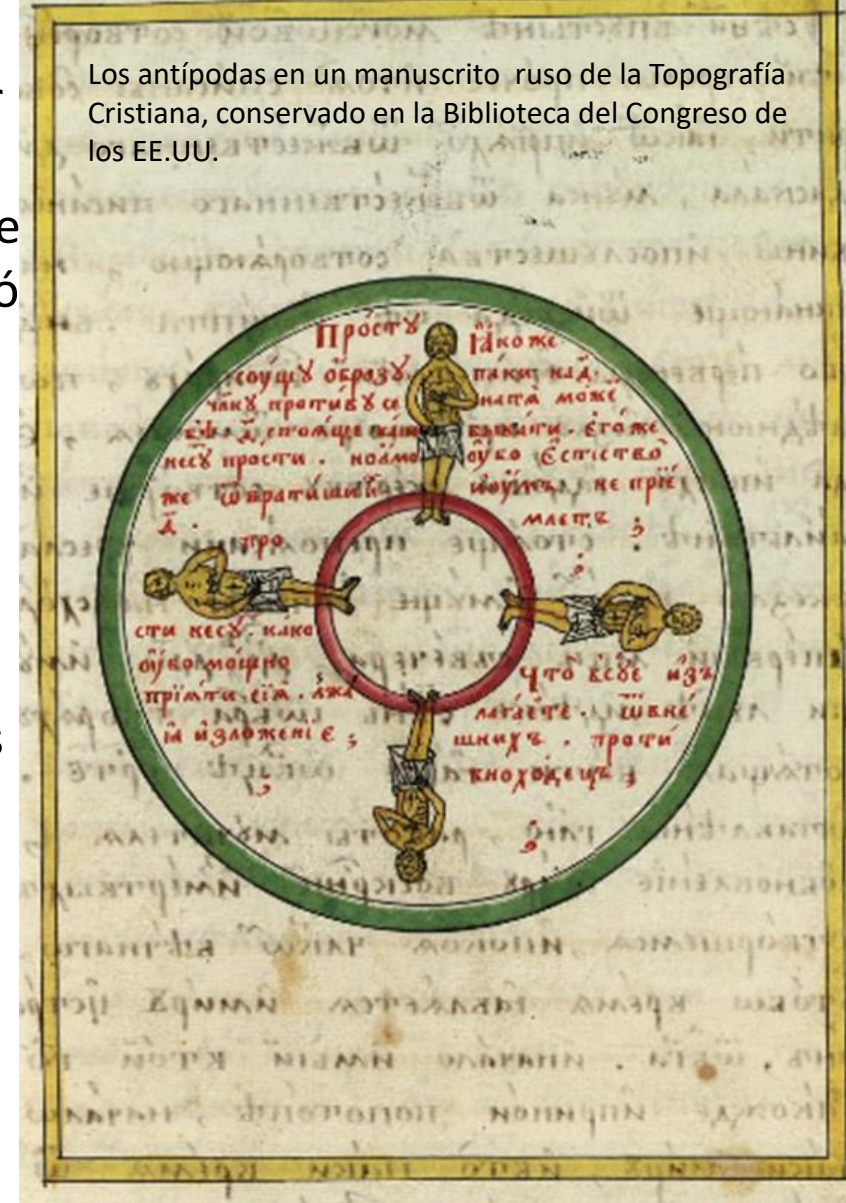
Supuesta imagen de
Cosmas Indicopleustes

Cosmas Indicopleustes (1ª mitad del S. VI)

Viajero y monje, nacido en Alejandría, que consideró herejes a los que defendían la esfericidad de la Tierra y la existencia de antípodas; escribió *La Topografía Cristiana*, en la que defendía que Dios le dio a la Tierra la misma forma que al tabernáculo. Vivió Cosmas en un tiempo difícil para el progreso, pues todavía mediatizaba el pensamiento la herencia recibida de los primeros cristianos, los cuales, en su afán de romper con su pasado pagano, llegaban a despreciar lo que ignoraban. Lucio Cecilio Frimiano Lactancio (c.245-c.325), considerado el Cicerón cristiano, ya había dejado escrito a propósito de los partidarios de la esfericidad terrestre: « ¿Puede alguien ser tan insensato como para creer que hay hombres con los pies más altos que sus cabezas, o lugares donde llueva hacia arriba? ». La opinión de Lactancio no era baladí, pues fue nada menos que preceptor de Crispo, el hijo mayor del emperador Constantino I (c. 272-337). Aunque Cosmas indicara que no había recibido mucha formación en su juventud, de sus escritos parece desprenderse lo contrario, ya que debió conocer la obra

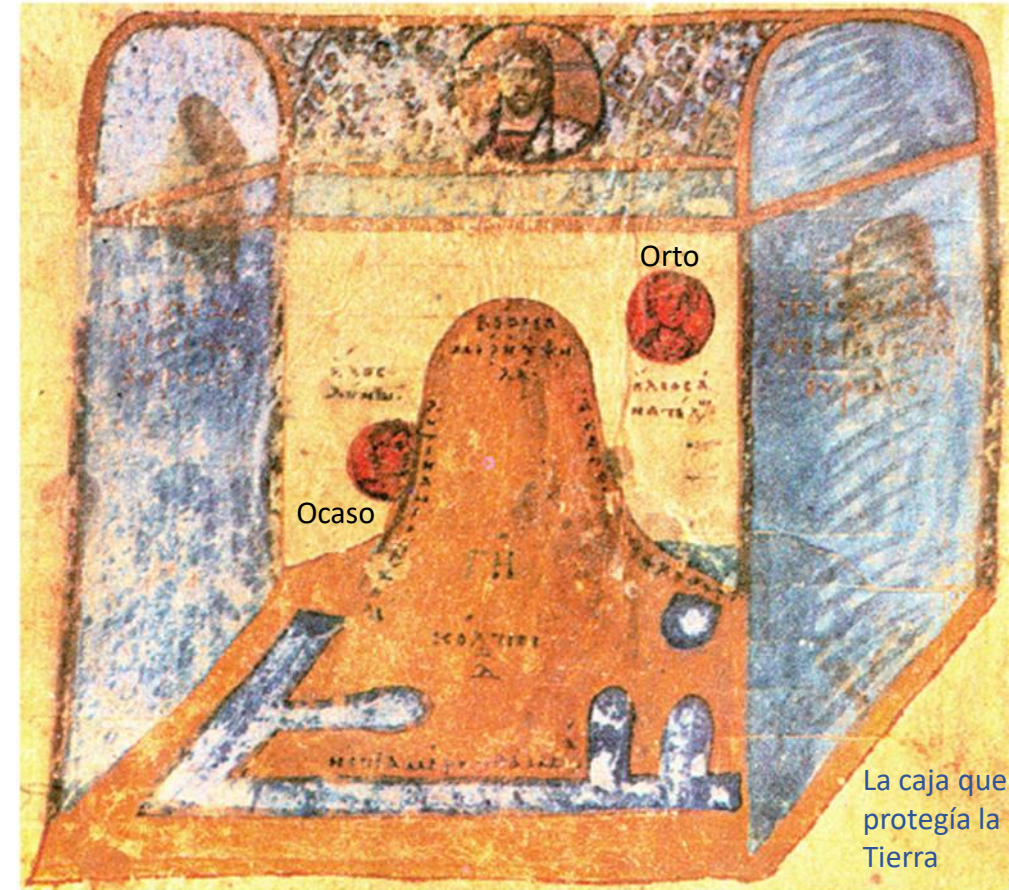
de sabios como Aristóteles o Tolomeo. Al parecer, sus actividades comerciales le llevaron fuera de Egipto, atravesando el Mediterráneo, el Mar Rojo y el Golfo Pérsico, recopilando información geográfica sobre las tierras situadas más al Este; se ignora si realmente estuvo en la India, como se colige del nombre por el que es conocido. En el último periodo de su vida se refugió en el monasterio de Raithu, en la península del Sinaí, donde se supone que quiso propagar la verdad del cristianismo; escribiendo para ello no solo su Topografía, sino también otras dos obras: Geografía y Astronomía, ahora perdidas. La Topografía Cristiana constó de doce libros, aunque los dos últimos no parecen haber sido escritos por el mismo autor que los del resto de la obra. El programa de la misma refleja con nitidez el pensamiento de Cosmas : I) Los lugares e imágenes del Universo, la herejía de afirmar que los cielos son esféricos y que hay antípodas; errores paganos que pueden ser la causa de los terremotos. II) La posición, forma, largo y ancho de la Tierra, el lugar del Paraíso...III) La Torre de Babel. IV) Teoría de los eclipses y denuncia de la doctrina de la esfera. V) Descripción del Tabernáculo. VI) el tamaño del Sol. VII) Duración de los cielos. VIII) Interpretación de la canción de Ezequías, la retrogresión del Sol, antiguos relojes. IX) Los cursos del Sol, la Luna y otros cuerpos celestes; sus movimientos efectuados por los ángeles. X) Pasajes de los Padres del cristianismo, que confirman sus puntos de vista. XI) Descripción de ciertos animales y plantas de la India y de la Isla Taprobana. XII) Narraciones del viejo Testamento avaladas por registros caldeos, babilonios, persas y egipcios, la isla de la Atlántida.

Los antípodas en un manuscrito ruso de la Topografía Cristiana, conservado en la Biblioteca del Congreso de los EE.UU.

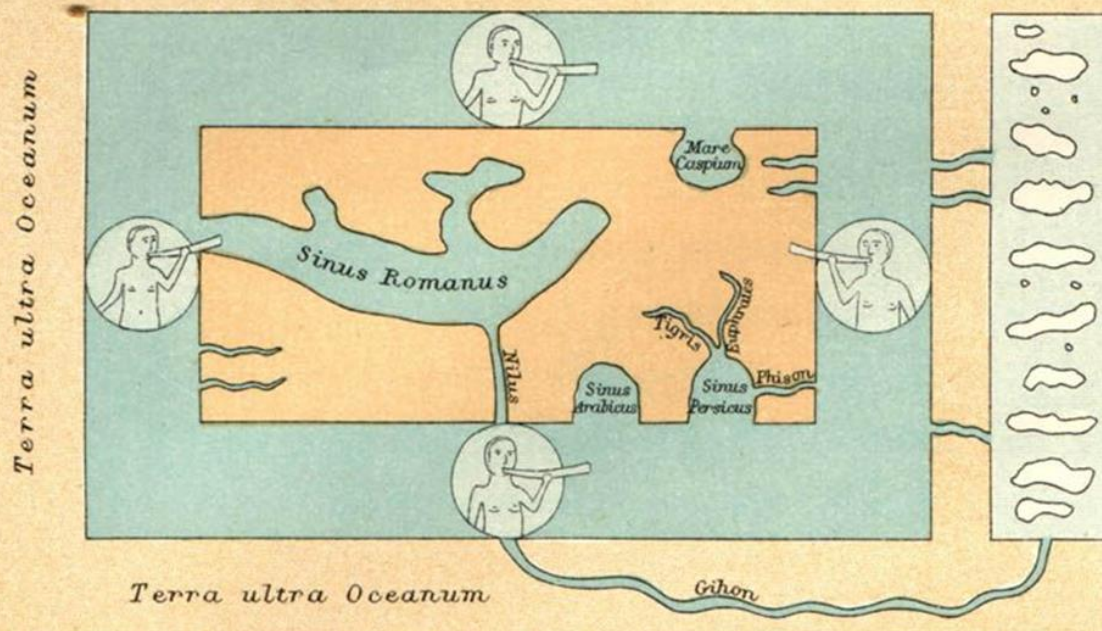


Cosmas no solo pensaba que la Tierra era plana, sino que también pensaba que el cosmos era una especie de caja cubierta por una bóveda de cañón, al que luego volveremos. Fue furibundo al atacar a los infieles que no lo creían, a la vez que se burlaba de sus representaciones del cielo y de la Tierra. Su referencia a la figura de la segunda fue poco concreta, tratando de explicar su analogía con la del tabernáculo, subrayando que el mandato bíblico del Éxodo, «harás la mesa de dos codos de largo y uno de ancho», ya se había cumplido en la imagen de la Tierra: un rectángulo con un largo, de Este a Oeste, doble que el ancho, de Norte a Sur. Según él, la Tierra estaba dividida en dos partes, una la habitada y rodeada por un mar intermedio (el río amargo del mapamundi babilónico), al que los paganos llaman océano, y otra que estuvo habitada antes del diluvio, en la que se encontraba el paraíso. Más adelante se refería

de nuevo a los paganos, para indicar que dividían la totalidad de la Tierra en tres partes: Asia, Libia y Europa; dibujando Asia al Este, Libia al Sur y Europa al Norte, aunque extendida hacia el Oeste. «En nuestra parte de la Tierra hay cuatro golfos que penetran de frente en el océano pagano, el golfo nuestro (*el Mediterráneo*) que abarca desde Cádiz, al Oeste, y se extiende a lo largo de los territorios sometidos a Roma... Esos golfos son los únicos navegables, no siendo posible en el océano a causa de sus numerosas corrientes y la densa niebla que obscurece los rayos de Sol...». Más allá del lado oriental del océano periférico se localizó el paraíso, lleno de flores y árboles, del cual partían cuatro ríos que fluían bajo el océano, uno de ellos el Gihon (Nilo) desembocaba en el Golfo Romano, mientras que los otros tres (Tigris, Éufrates e Indo) lo hacían en el Golfo Pérsico. Rodeando el océano



Terra ultra Oceanum, ubi ante diluivium habitant homines



se representó «la tierra más allá del océano», viviendo en su zona superior los hombres, antes de que se produjera el diluvio universal. Esta representación plana del mundo es una especie de compromiso entre el ecúmene helenístico y las enseñanzas bíblicas (los cuatro ríos del paraíso, las cuatro esquinas de la Tierra y la «tierra más allá del océano»), Cosmas atribuyó ese mapa al historiador Éforo de Cime (c.405-330 a.C.). Unido a ese modelo plano de la Tierra, contempló Cosmas otro para el Cosmas, igualmente basado en los textos sagrados. De acuerdo con ellos , cielos y tierra estarían dentro de una caja gigantesca; ocupando esta la parte inferior, como



si estuviese reposando aparentemente sobre una extensión oceánica, aunque tratase de exponer que la tierra estaba rodeada por las aguas. El cielo, por el contrario, figuró como una banda acuosa en la parte superior. La parte visible de la representación era inaccesible a lo invisible. Los cielos descenden a la tierra por cuatro paredes, como si estuviesen soldadas a sus cuatro lados más allá del océano. El borde superior de la pared del Norte se curva en la cima del cielo, para unirse con la parte superior del muro Sur y formar la bóveda; el dosel del cielo que el monje comparó como si se tratara del techo abovedado de un baño. El cuadro que se presentaba estaba dividido en dos partes por el firmamento, en la inferior se encontrarían los ángeles y los habitantes de la Tierra, flotando los primeros cerca del techo sosteniendo el Sol, la Luna y las estrellas; cuyos

movimientos controlaban. En el piso superior, desde el firmamento hasta la bóveda, estaría el segundo cielo; en el que se encontraba el reino de los bienaventurados (santos y ángeles) y entronizado en lo más alto el mismo Cristo. De algunos pasajes del Libro IX se podría deducir que Cosmas estimó que la distancia de la Tierra al firmamento era doble de la que separaba a este de la bóveda. Aseguraba Cosmas que en los confines de la Tierra, en algún lugar del lejano Norte helado, había una inmensa montaña cónica, en la que se oculta el Sol al final del día y hace que la oscuridad se propague también al océano. Una vez dada la vuelta al cono, reaparece por el Este para dar luz a un nuevo día. El paralelismo con el tabernáculo lo estableció al considerar que el orto y el ocaso del Sol estaban presentes en el mobiliario con que se adornaba. En candelabro colocado al sur de su mesa no era más que el símbolo de las luminarias del cielo que brillaban sobre la Tierra; la moldura que Moisés instaló alrededor de la mesa de los panes de la ofrenda, era la alegoría del océano que rodeaba el mundo de su tiempo, más allá de la cual se situaría el mundo de los patriarcas, al otro lado del océano, «donde vivió el hombre». Lo más llamativo del modelo de Cosmas sea probablemente la gran altitud que supuso para la montaña cónica, que casi rozaba el firmamento; la explicación más plausible fue la de evitar la paradoja de que se presentara la noche en un recinto en el que se hallaba el Sol, de ahí que lo imaginase girando permanentemente alrededor de la misma.

Modelo del Cosmos en un manuscrito ruso de la Topografía Cristiana, conservado en la Biblioteca del Congreso de los EE.UU.





Charles Augustin Coulombe (1736-1806)

Ingeniero militar y sobre todo físico, el más sobresaliente del siglo XVIII, sus investigaciones eléctricas y magnéticas, aún siguen pareciendo igual de sorprendentes. A él se debió la ley que rige la fuerza de atracción entre dos cargas puntuales, cuya magnitud es directamente proporcional al producto de las mismas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa, la ley lleva su nombre, así como la unidad en que se expresan dichas cargas. Estudió Coulomb en el prestigioso Colegio de las Cuatro Naciones, fundado por deseo expreso del cardenal Giulio Raimondo Mazarini (1602-1661), recibiendo clases de astronomía, matemáticas, química y botánica, su interés por las dos primeras materias le llevaron a ingresar en la Sociedad de Ciencias de Montpellier (1757), leyendo en ella varios de sus artículos. En el año 1760 logró entrar en la Escuela real de Ingenieros de Mézières, gracias al curso de matemáticas impartido por Charles Étienne Louis Camus (1699-1768); graduándose como teniente del Cuerpo en 1761. Como tal efectuó múltiples trabajos relacionados con el diseño estructural, fortificaciones, mecánica de suelos y topografía; aunque en 1764 fuese destinado a la isla Martinica, colonia

francesa desde el año 1658. Allí se encargó sobre todo de la construcción del fuerte Bourbon (hoy Desaix), una experiencia que aprovecharía sobremanera para escribir sus memorias teóricas sobre mecánica. Cuando volvió a la metrópoli, en 1772, fue destinado a Bouchain, aunque comenzó a escribir desde entonces sobre mecánica aplicada; presentando su primer trabajo a la Academia de Ciencias de París al año siguiente: *Sur une application des règles, de maximis et minimis à quelque problèmes de statique, relatifs à l'architecture*. En él explicó, a través del cálculo y de la física, la influencia de la fricción y cohesión en algunos problemas de estática; debiendo destacar

como más significativo el empleo del cálculo variacional para resolver problemas de ingeniería. No obstante, se trata de un trabajo que no ha sido suficientemente valorado, quizás por el hecho de que Coulomb planteara métodos de aproximación a los problemas propios de la mecánica estructural, en lugar de hallar las soluciones numéricas de problemas específicos. Desde Bouchain fue trasladado a Cherbourg, aprovechando mientras tanto para preparar su célebre memoria sobre la brújula magnética, con la que participó en el concurso convocado por la referida academia en el año 1777: *Recherches sur la meilleure manière de fabriquer les aiguilles aimantées, de les suspendre, de s'assurer qu'elles sont dans le véritable méridien magnétique, enfin de rendre raison de leurs variations diurnes régulières*. Coulomb, que compartió el premio de 4200 libras con el holandés J.H. van Swinden, resumió en él sus primeras investigaciones sobre la balanza de torsión; mostrando como con ella podían disponer los físicos de un método para poder medir con fiabilidad fuerzas extremadamente pequeñas.

E S S A I

Sur une application des règles de Maximis & Minimis à quelques Problèmes de Statique, relatifs à l'Architecture.

Par M. COULOMB, Ingénieur du Roi.

I N T R O D U C T I O N.

C E Mémoire est destiné à déterminer, autant que le mélange du Calcul & de la Physique peuvent le permettre, l'influence du frottement & de la cohésion, dans quelques problèmes de Statique. Voici une légère analyse des différens objets qu'il contient.

RECHERCHES

SUR

LA MEILLEURE MANIÈRE DE FABRIQUER LES AIGUILLES AIMANTÉES,

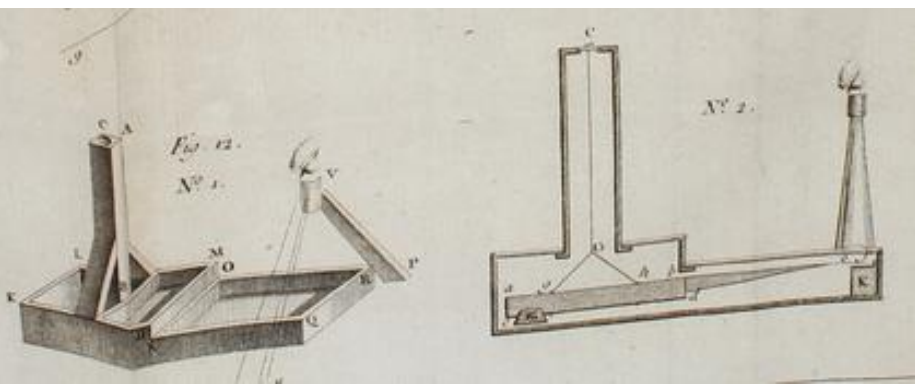
De les suspendre, de s'assurer qu'elles sont dans le véritable Méridien magnétique; enfin de rendre raison de leurs Variations diurnes régulières:

PIÈCE QUI A PARTAGÉ LE PRIX
PROPOSÉ POUR L'ANNÉE 1777.

Facilius quid non fit quam quid fit de hujusmodi rebus posse confirmari. Cic.

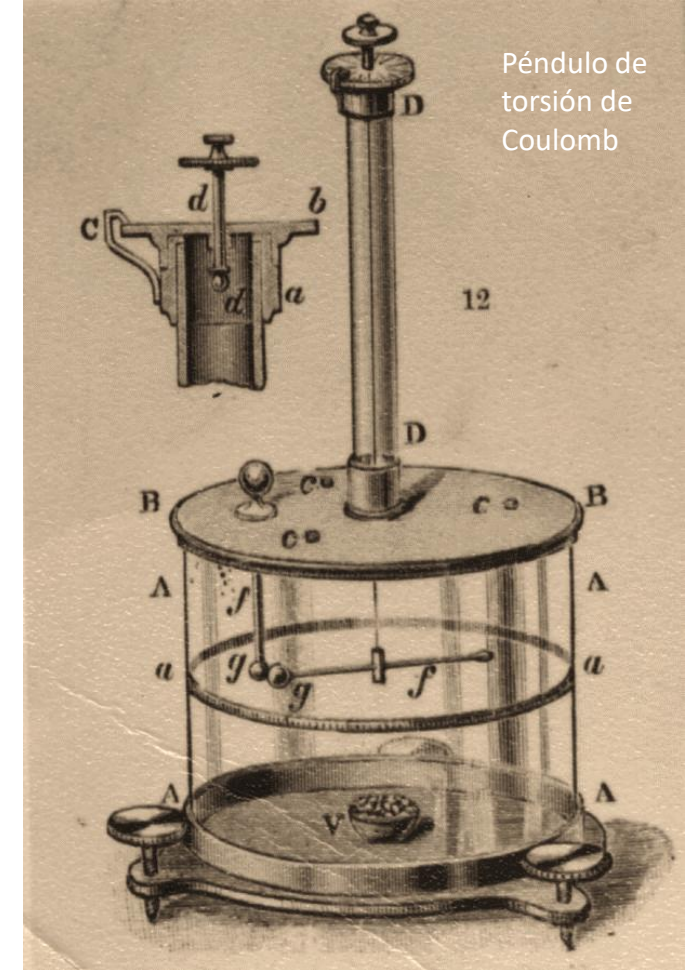
Par M. COULOMB,

Capitaine en premier au Corps-Royal du Génie, Correspondant
de l'Académie des Sciences.



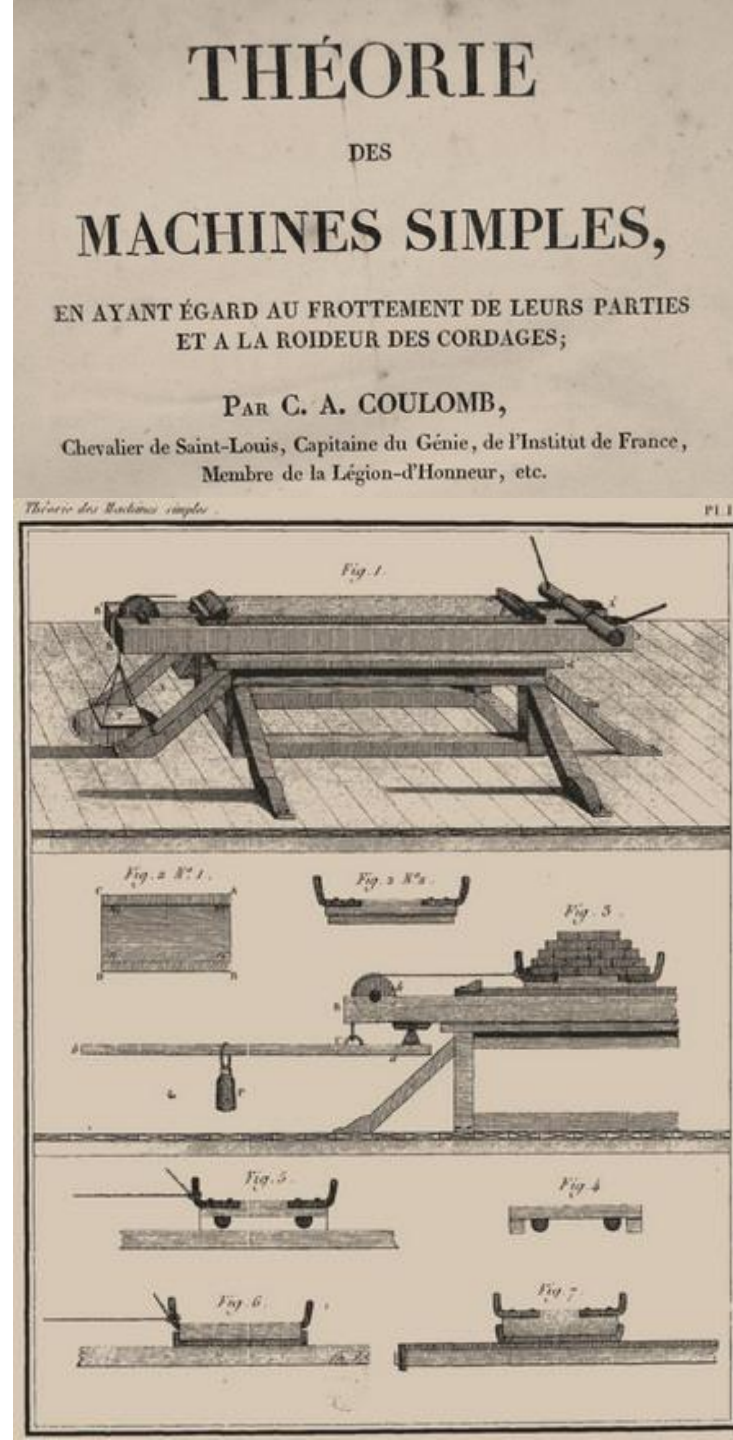
Después de recibir el premio de la Academia en 1777, el Observatorio de París le pidió que resolviera los problemas aparentemente insolubles de la declinación magnética de los instrumentos. Por ello emprendió más investigaciones sobre la torsión y en 1784 presentó los resultados obtenidos, describiendo el péndulo de torsión y analizando sus posibles aplicaciones en diversos campos de la física:

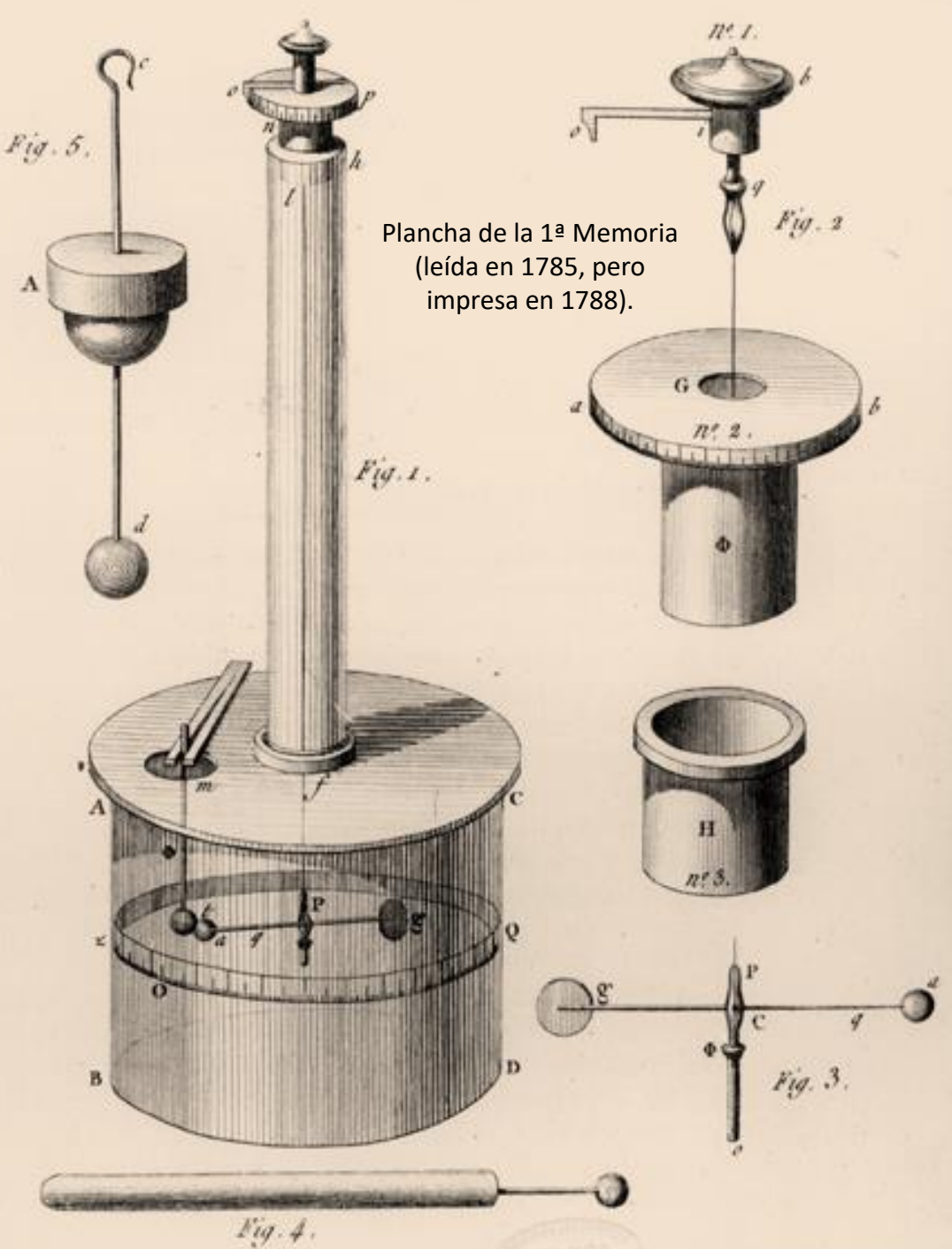
electricidad, magnetismo, resistencia de los fluidos y propiedades elásticas de la materia. Siendo cierto que Coulomb nunca abordó de manera general el estudio de la elasticidad, también lo es que la solución simple y elegante que aportó a los problemas de torsión en cilindros, así como su invención del péndulo de torsión, sirvieron de guía a los físicos que le siguieron. Al mismo tiempo Coulomb propuso una teoría apoyada en mediciones concretas, que contemplaba regiones de torsión lineal y no lineal en materiales previamente sometidos a diferentes tensiones elásticas.



Péndulo de torsión de Coulomb

En 1779, Coulomb fue enviado a Rochefort para colaborar con Marc-René de Montalembert (1714-1800), en la construcción de un fuerte, cerca de la isla de Aix, hecho enteramente de madera. Al igual que Coulomb, el marqués era ingeniero militar, pero se había alejado de la normativa al uso, simplificando los intrincados diseños geométricos de Sébastien Le Prestre, marqués de Vauban (1633-1707), al considerar las fortalezas como inmensas baterías permanentes diseñadas para lanzar un fuego abrumador contra los ejércitos atacantes, basadas en estructuras poligonales simples, a menudo con fuertes periféricos autónomos en lugar de bastiones salientes. Durante su estancia en Rochefort, Coulomb continuó sus investigaciones en mecánica, utilizando en particular los sus astilleros como laboratorios. Sus estudios sobre la fricción allí efectuados culminaron con su principal contribución en esta disciplina: *Théorie des Machines Simples, en ayant égard au frottement de leurs parties, et a la roideur des cordages*, que le valió el Gran Premio de la Academia de Ciencias en 1781 y su ingreso en la misma, en ese mismo año (Sección de Mecánica). En esta memoria estudió la fricción estática y dinámica de las superficies deslizantes y la fricción en la flexión de los cables y en la laminación. A partir del examen de muchos parámetros físicos, desarrolló una serie de ecuaciones de dos términos, siendo el primero constante y el segundo variable con el tiempo, la fuerza normal, la velocidad u otros parámetros. Los especialistas en esta disciplina creen que las contribuciones de Coulomb a la ciencia de la fricción fueron excepcionalmente grandes, «no es exagerado considerarlo creador de esta disciplina».



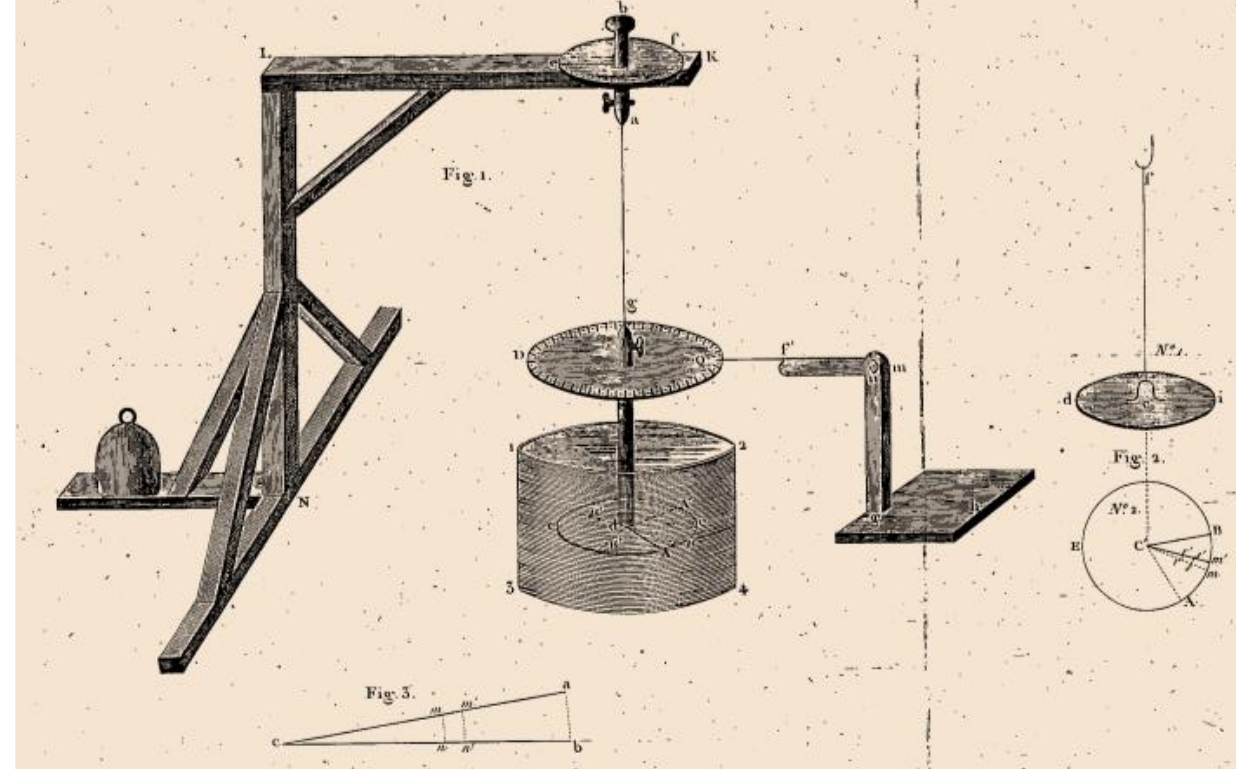


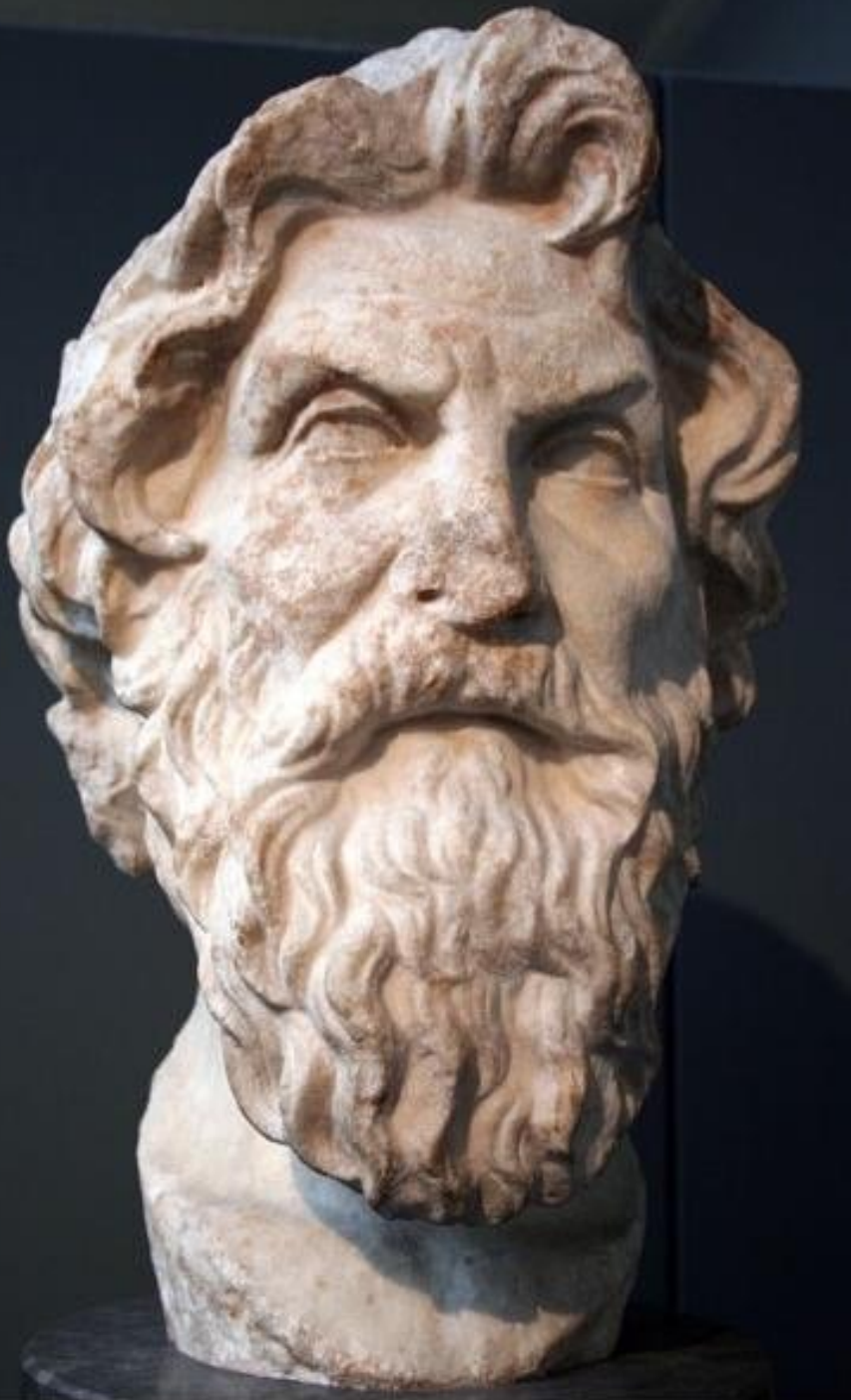
Plancha de la 1ª Memoria
(leída en 1785, pero
impresa en 1788).

Ese año de 1781 fue crucial para Coulomb, ya que decidió instalarse en París de manera permanente y no asumir a partir de entonces proyectos de ingeniería, para dedicarse de lleno a la física. Así lo hizo en los años siguientes, presentando a la Academia de Ciencias siete memorias entre 1785 y 1791; referidos a la electricidad y magnetismo, consiguiendo marcar un hito relevante en la historia de esas dos ramas de la física. Fue entonces cuando extrapoló la concepción newtoniana de las fuerzas centrales de atracción y repulsión a tales materias, sustituyendo las antiguas teorías de la electricidad atmosférica y del vórtice magnético por la hipótesis newtoniana de la interacción de todas las partículas. En su transcurso expuso las leyes de la atracción electrostática y magnética, que expresan la fuerza que actúa entre dos cargas (o dos polos magnéticos) separadas una cierta distancia; verificándolas experimentalmente con la ayuda de su péndulo de torsión. *Construction et usage d'une balance électrique fondée sur la propriété qu'ont les fils de métal d'avoir une force de réaction de torsion proportionnelle à l'angle de torsion. Détermination expérimentale de la loi suivant laquelle les éléments du même genre d'électricité se repoussent mutuellement*, fue la primera de las siete memorias citadas.

A partir de este período, Charles Coulomb participó muy activamente en los trabajos de la Academia, especialmente con los matemáticos Charles Bossut (1730-1814), Charles de Borda, Gaspard-Marie Prony (1755-1839) y Pierre Laplace. También fue miembro de numerosas comisiones, incluida la de Pesas y Medidas, así como la de Reforma Hospitalaria, por la que fue enviado en misión a Inglaterra en 1787. En los años posteriores a la Revolución Francesa, fue retirado del Cuerpo de Ingenieros (1791), se abolió la Academia de Ciencias, se suprimió su cargo de Intendente de las Fuentes y no se contó con él en la Comisión metrológica.

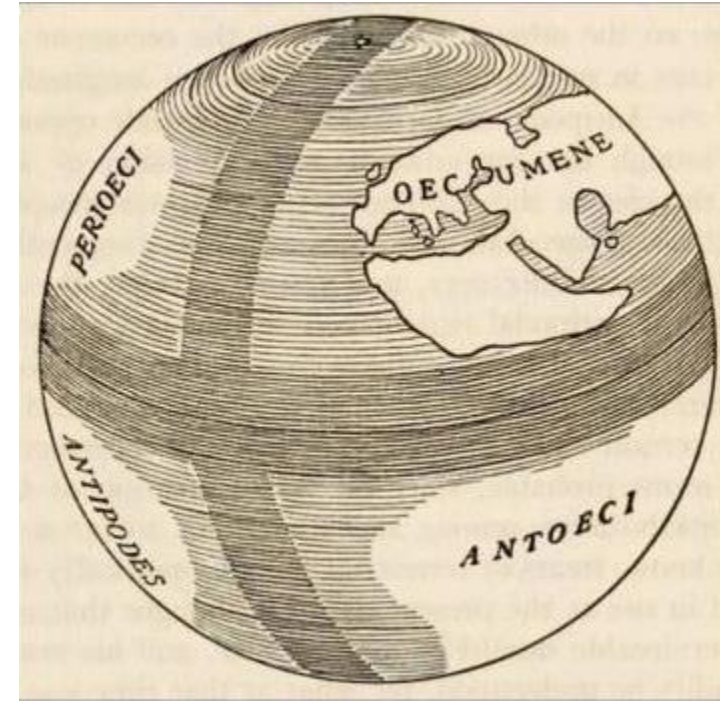
Retirado cerca de Blois, escribió *Expériences relatives à la circulation de la sève dans les arbres*, que leyó ante el Instituto Nacional de Artes y Ciencias en 1799. En 1800 leyó su memoria *Expériences destinées à déterminer la cohérence des fluides et les lois de leur résistance dans les mouvements très lents*, para cuyo establecimiento utilizó el modelo mejorado de su balanza de torsión, presentado en la imagen adjunta. En 1802, el primer cónsul Napoleón Bonaparte (1769-1821) lo nombró Inspector general de la educación pública y participó en la creación de escuelas secundarias en Francia. Biot sintetizó bien su trayectoria: «A Borda y a Coulomb se debe el renacimiento de la verdadera física en Francia, no una física prolija e hipotética, sino esa física ingeniosa y exacta que todo lo observa y lo compara con rigor».



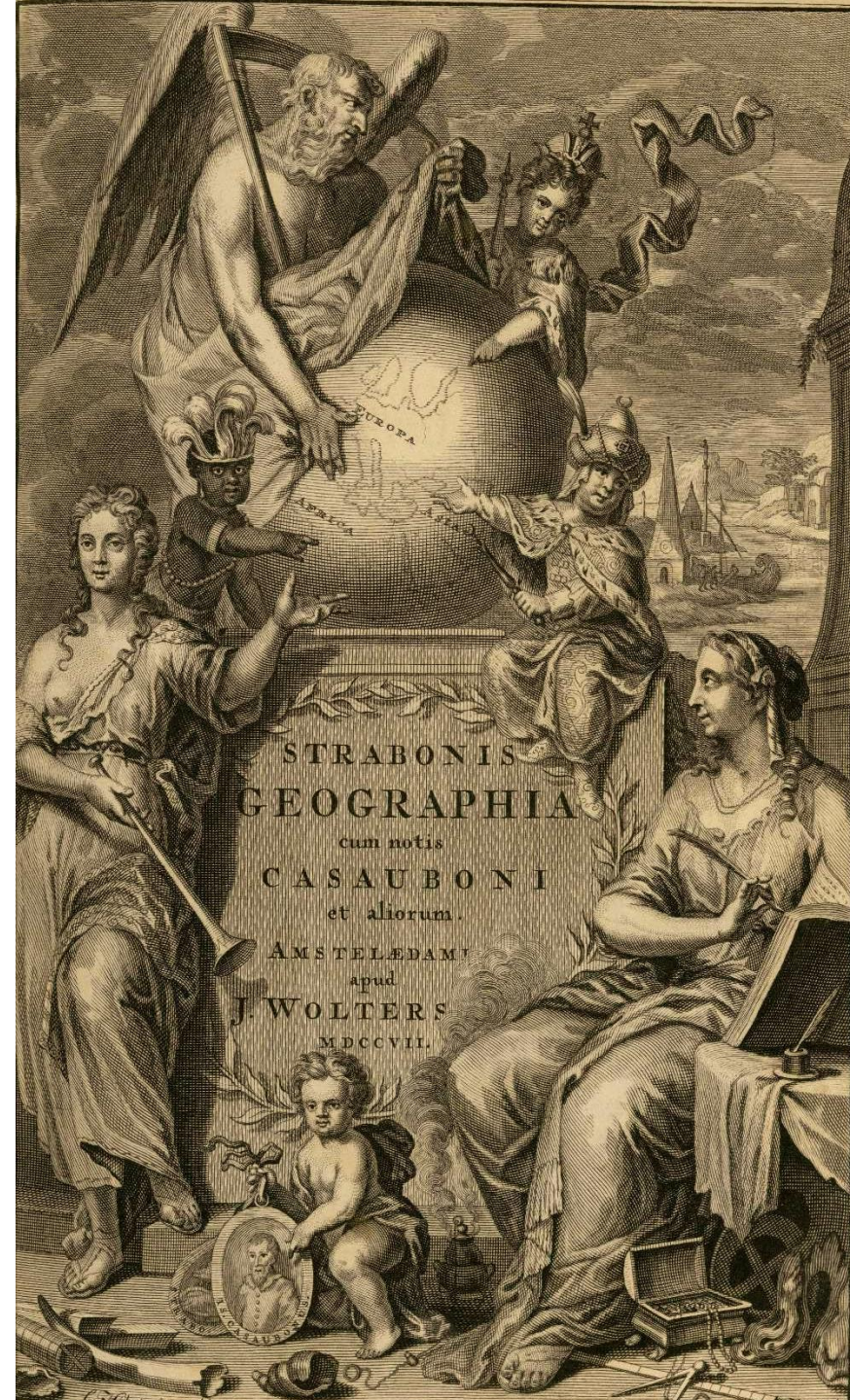


Crates de Malos (180-145 a.C.)

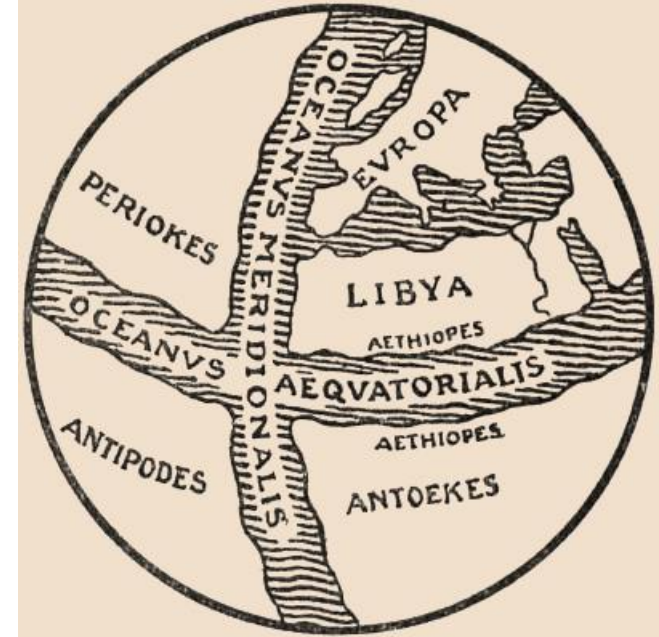
Autor del primer globo terráqueo del que se tienen noticias, al cual dividió en cuatro partes mediante dos cinturones oceánicos, que seguían la dirección de dos círculos máximos mutuamente perpendiculares, a saber: *oikoumene* (mundo habitado), *antoikoi* (los del lado opuesto, en el hemisferio austral), *perioikoi* (los que viven alrededor, en la parte occidental) y *antipodes* (habitantes del lado opuesto a los anteriores, en un lugar diametralmente opuesto al primero). Crates fue contemporáneo y rival de Aristarco, así como profundo conocedor de las obras atribuidas a Homero (Iliada y Odisea); posiblemente fue el director de la biblioteca de Pérgamo, en donde estaría expuesto su globo. Se cree que hacia el 170 a. C. fue a Roma como embajador de Eumenes II (197-159 a.C.), rey de Pérgamo y que al visitar la Cloaca Maxima se rompió una pierna; aprovechando su recuperación para impartir conferencias, que contribuyeron a impulsar el estudio de la gramática y la crítica entre los romanos. Su interés por la didáctica le llevó a pensar que la geografía se entendía



mejor si se explicaba sobre un globo, aunque solo podría ser efectiva si su diámetro tenía al menos diez pies de diámetro ($\approx 3\text{m}$). Estrabón (c.63- c.24 d.C.) comentó en su Geografía esa misma cuestión, a propósito de Crates: «Hemos trazado ahora sobre una superficie esférica la zona en la que decimos que está situado el mundo habitado y el hombre que más se aproxime a la verdad, mediante un modelo, deberá elegir un globo como el de Crates, colocar sobre él el cuadrilátero y dentro del cuadrilátero colocar el mapa del mundo habitado. Pero como se necesita un globo grande, para que sea legible y presente la apariencia adecuada a los observadores, es mejor que construya un globo de gran tamaño, si puede hacerlo; y que no tenga menos de diez pies de diámetro». Estrabón se refirió también al tratamiento que dio Crates a las climas clásicos de los griegos, quien supuso que la zona tórrida estaba ocupada por el océano y que, por analogía, se podía pensar que la zona más allá de la tórrida podría estar habitada. Al dibujar las masas continentales en su globo, el autor quiso imponer una inusual simetría que daba mayor consistencia a la opinión de Homero sobre la localización de los etíopes: divididos en dos grupos, unos al Este y otros por donde se oculta el Sol. Parece pues obvio que Crates estuvo más interesado en justificar a Homero que en la propia existencia de una masa continental africana continua, extendida a lo largo del ecuador. Cuando Macrobio escribió un comentario sobre el Sueño de Escipión, alrededor del año 390, defendió y amplió la teoría de Crates, la cual continuó estando

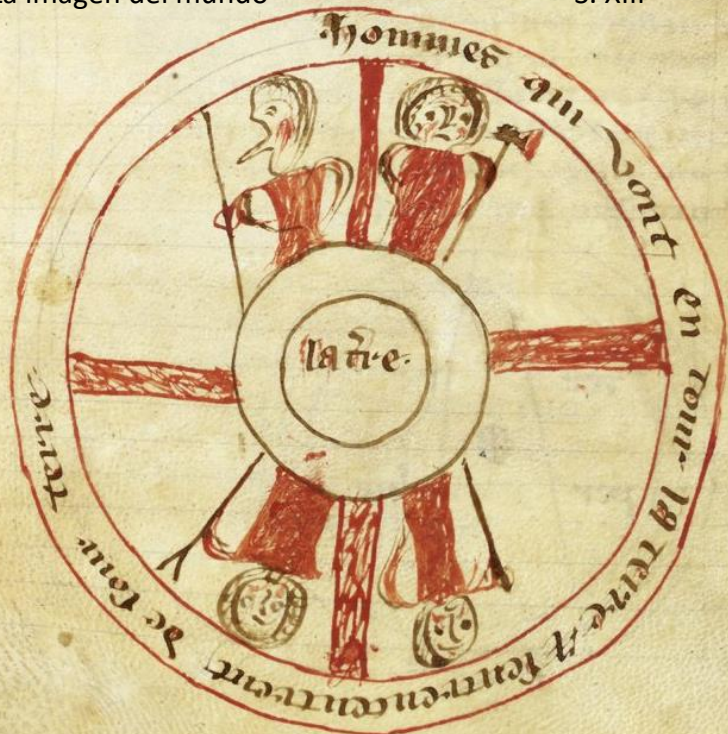


presente en la cartografía medieval, aunque se omitiesen después el *perioikoi* y los *antípodas*. No obstante, Plinio el Viejo ya había defendido que toda la esfera terrestre estaba habitada, incluida la zona de los antípodas. Se planteó así un serio problema, al no entender que hubiese hombres cuyos pies apuntasen hacia los de otros, o que no se cayeran las personas del otro lado; la existencia de un pueblo antípoda fue recurrente durante siglos, hasta que fue explorada la región durante los descubrimientos transoceánicos de los siglos XVII y XVIII. La base en que se apoyó Crates, cuando diseñó su globo, parece derivar directamente del tamaño de la Tierra previsto por Eratóstenes; combinando cuatro mundos habitados sobre la superficie de la misma. Dos estaban en el hemisferio septentrional, uno donde vivían los griegos, que ocupaban mucho menos de la mitad del hemisferio, y un segundo situado simétricamente en la otra mitad. Otros dos mundos habitados se encontraban en el hemisferio austral, simétricos con los dos localizados al otro lado del ecuador. Estos cuatro mundos estaban separados como ya se ha dicho por océanos a lo largo del ecuador y a lo largo de un meridiano, de forma tal que los mundos habitados eran islas sin comunicación ente ellas.



La imagen del mundo

S. XIII



Los antípodas en la obra de Gautier de Metz



JAFUDA
CRESQUES

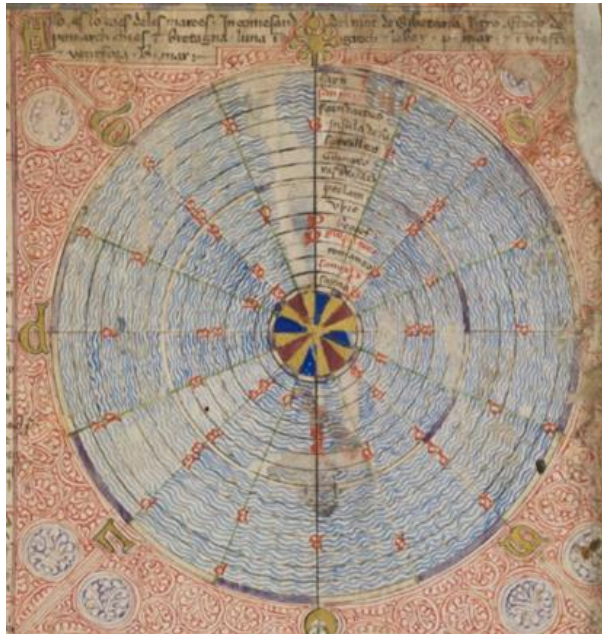
Plaza del Temple
Mallorca

Escultura de María Isabel Ballester
(2.IX.2007)

Abraham Cresques (c.1325-c.1385) y su hijo Jafudà (c.1350-c.1425)

Excelentes delineantes mallorquines, autores en 1375 del mejor mapamundi de la Edad Media, el mal llamado atlas catalán, compuesto por seis tablas de madera, las cuales estuvieron plegadas cada dos por un pergamino de 50 x 64 cm, que una vez compuestas forman un cuadro de 0.65 x 3 m. Realmente, el cabeza de familia se llamaba Elisha ben Abraham y fue protegido de los reyes de Aragón, en su condición de maestro de hacer cartas. Su hijo Jafudà se vio obligado a convertirse al cristianismo, tras el saqueo de la judería en el año 1391, adoptando el nombre de Jaume Ribes; años después acabaría instalándose en Barcelona. Aunque se siga afirmando que Jafudà se trasladó a la escuela naval de Sagres, promovida por Enrique el Navegante (1394-1460), Jaume Riera i Sans (1941-2018) demostró su imposibilidad, dado que este hijo de Abraham falleció antes de la institución de esa supuesta escuela. Tanto padre como hijo fueron considerados como maestro de mapamundis y de brújulas, maestro de mapamundis, e incluso brujuleros; de ahí que llegasen a ser considerados excelentes cartógrafos, especializados en la elaboración de cartas de navegar. El Propio J. Riera puntualizó esa información al asegurar que «tanto Cresques Abraham como su hijo Jafudà Cresques fueron excelentes dibujantes de brújulas, cartas de navegar y mapamundis. Nada más. Ni astrónomos, ni relojeros, ni matemáticos, ni cartógrafos, sino grandes conocedores del arte de la pintura o iluminación». Cresques Abraham «pintaba con materias insolubles en agua la rosa de los vientos en el fondo de las brújulas; por ello se le llama brujulero. Dibujaba y pintaba mapamundis de lujo; y cumplía su cometido con tanta competencia y tan bellamente que por ello los documentos reales le conceden los calificativos singulares de maestro de mapamundis y maestro de mapamundis y de brújulas».

Diagrama de mareas



LÁMINAS I: MAREAS, ASTRONOMÍA FIDUCIARIA Y HORÓSCOPO

Referente a las mareas, figuran distintos sectores circulares correspondientes a las clásicas direcciones de los vientos. En uno de ellos figuran 14 topónimos del litoral. Incluye además un texto que comenta la marcha de las mareas entre el noroeste de Francia y el estrecho de Gibraltar. En el mes lunar se comenta astrológicamente cada día:...en el tercer día de la luna nació Caín...no es bueno para comprar ni para vender, y tampoco para casarse...en el cuarto día de la Luna nació Abel. Es un día bueno para cualquier trabajo, para entablar un pleito. En la figura desnuda se observa una correspondencia entre sus distintos miembros y los doce signos del zodiaco: Aries empieza por la cabeza (será por lo del carnero), siguiendo con Cáncer, Leo y Virgo en el tronco, terminando con Acuario y Piscis para las extremidades inferiores.

← Mes lunar

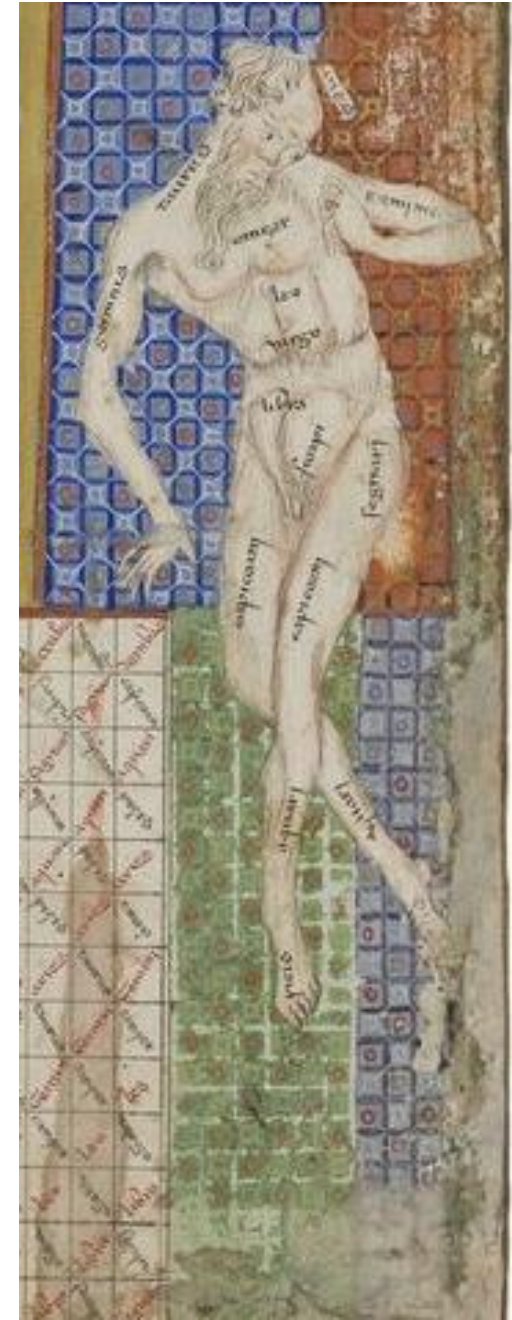
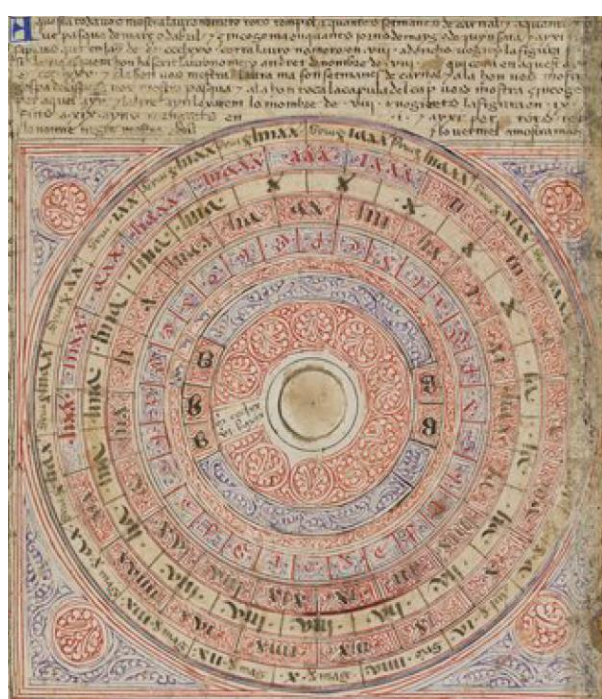
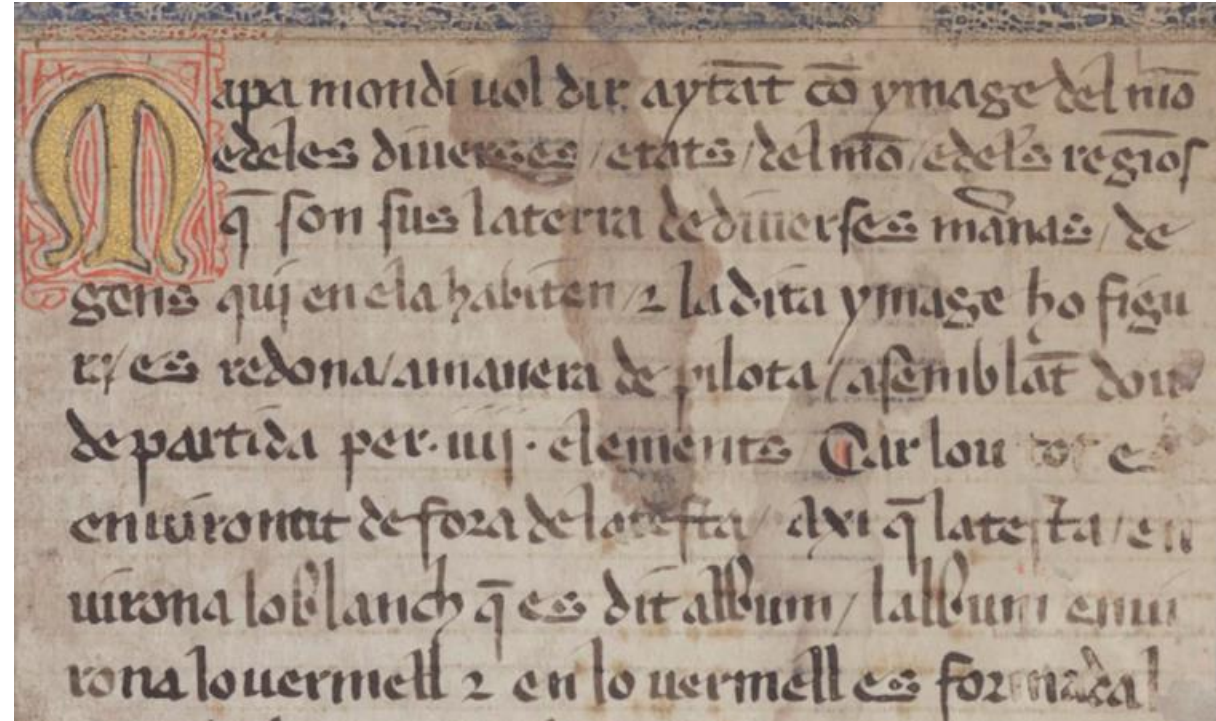


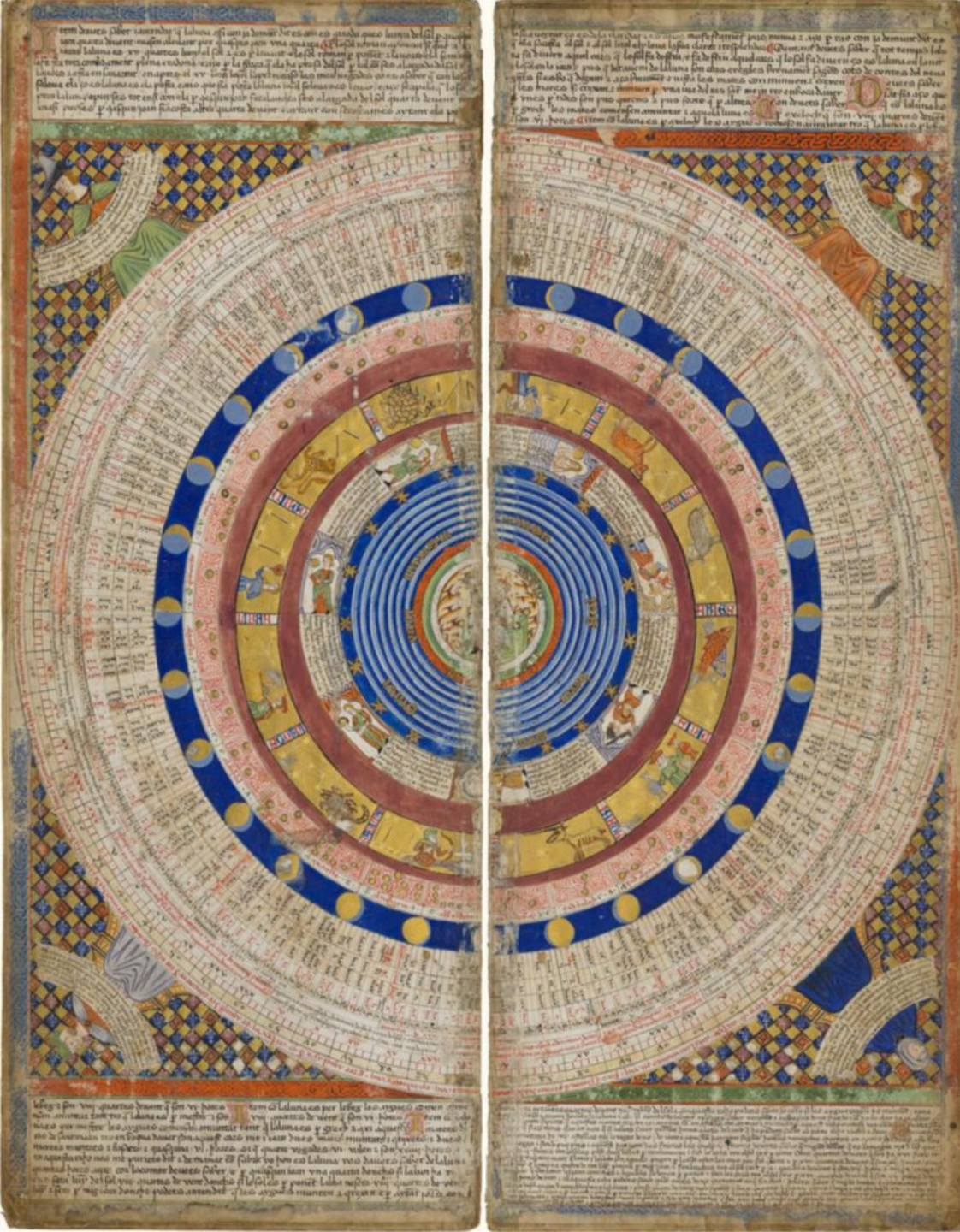
LÁMINA II: DESCRIPCIÓN DEL MUNDO



Contempla distintos epígrafes: destacando Atmósfera, Cosmología, La Materia, Forma de la Tierra y la división en T. La materia la define como la mezcla de los cuatro elementos fuego, aire, agua y tierra, con la disposición espacial siguiente: el fuego más liviano encima del aire que rodea la Tierra, bajo la cual se encuentra el agua como elemento más pesado; se ajusta por tanto al modelo plasmado magistralmente después en la portada del tríptico pintado por Jheronimus van Aken, el Bosco (c.1450-1516). Describe muy bien la esfericidad terrestre, entendiendo la insignificancia del relieve al compararlo con el radio del globo. Aceptó el tamaño de la Tierra defendido por Tolomeo, cifrando su perímetro en 180000 estadios, en lugar de los 252000 propugnados por Eratóstenes; una hipótesis que solo fue cuestionada seriamente un siglo después, con las expediciones geográficas del Renacimiento.

LÁMINAS III Y IV: EL COMPENDIO ASTRONÓMICO

Se detalla en ellas el movimiento diurno, o aparente, de las estrellas, centrándose en el de las componentes de la Osa Mayor (a la que los navegantes llaman carro según Cresques), ya que se podría calcular la hora en función de su posición sobre la bóveda celeste. No obstante, la parte esencial de estas dos hojas es su gran compendio astronómico, que originalmente llevaba incorporado un nomograma móvil. Atendiendo al modelo tolemaico, sitúa al hombre en el centro del mundo; provisto de un astrolabio, envuelto por el agua (corona circular blanca), el aire (corona verde) y de fuego (corona roja). Los planetas figuran, como dioses paganos, en órbitas azuladas, señalando la duración de sus órbitas a través de los signos zodiacales.



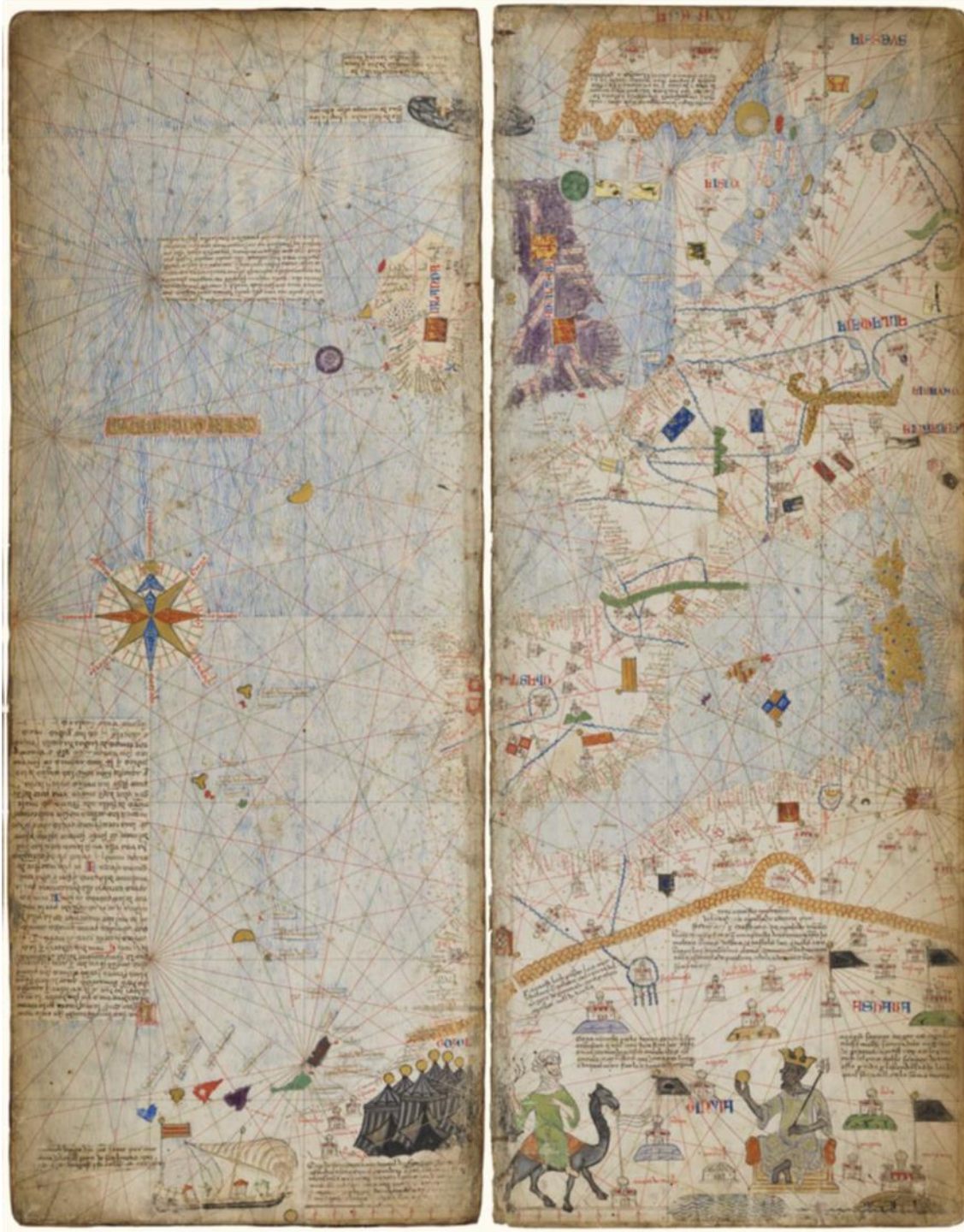
LOS SIGNOS DEL ZODIACO Y EL CALENDARIO PERPETUO



Tras los círculos planetarios continuaba la esfera de las fijas (18 estrellas). Sigue después otra corona circular con las moradas de los dioses planetarios: el Sol como rey, Venus como doncella y así sucesivamente hasta llegar a Marte, con la figura de guerrero. Rodeando a los círculos anteriores se sitúan los doce signos del zodiaco, rotulados en rojo y azul, dentro de una corona dorada inscrita en otra roja. A continuación se describe la trayectoria lunar a lo largo de distintas constelaciones, que se identifican con sus nombres árabes. Siguen las fases lunares, para llegar al calendario lunar. Se termina el cuadro con un verdadero transportador sexagesimal, que envuelve a los cinco círculos del calendario perpetuo, con la letra dominical para fijar el día de la semana y el número de días de cada uno de los meses del año. Mención aparte merece la explicación para calcular el número áureo de cualquier año. Todas las coronas referidas se encuentran en el interior de un cuadrado circunscrito a la última circunferencia, en cuyas esquinas están alegóricamente representadas las cuatro estaciones del año.

LÁMINAS V Y VI: EL OCCIDENTE DEL MUNDO

Comienza en estas láminas el dibujo del mapa propiamente dicho. En la primera de ellas se representaron Irlanda, el Atlántico, Galicia y la costa de Portugal, amén del litoral NW del continente africano. Se proporciona aquí una información interesante a propósito de la duración de los días y las noches en latitudes polares. La rosa de los vientos y las Islas azores preceden a un texto, que describe las Islas Canarias como afortunadas. Bajo las tiendas nómadas sitúa la escala gráfica, en donde el círculo representa 100 millas y el punto 20. Es de resaltar que quizás sea en este mapa en donde figure localizado por vez primera el reino musulmán de Granada.



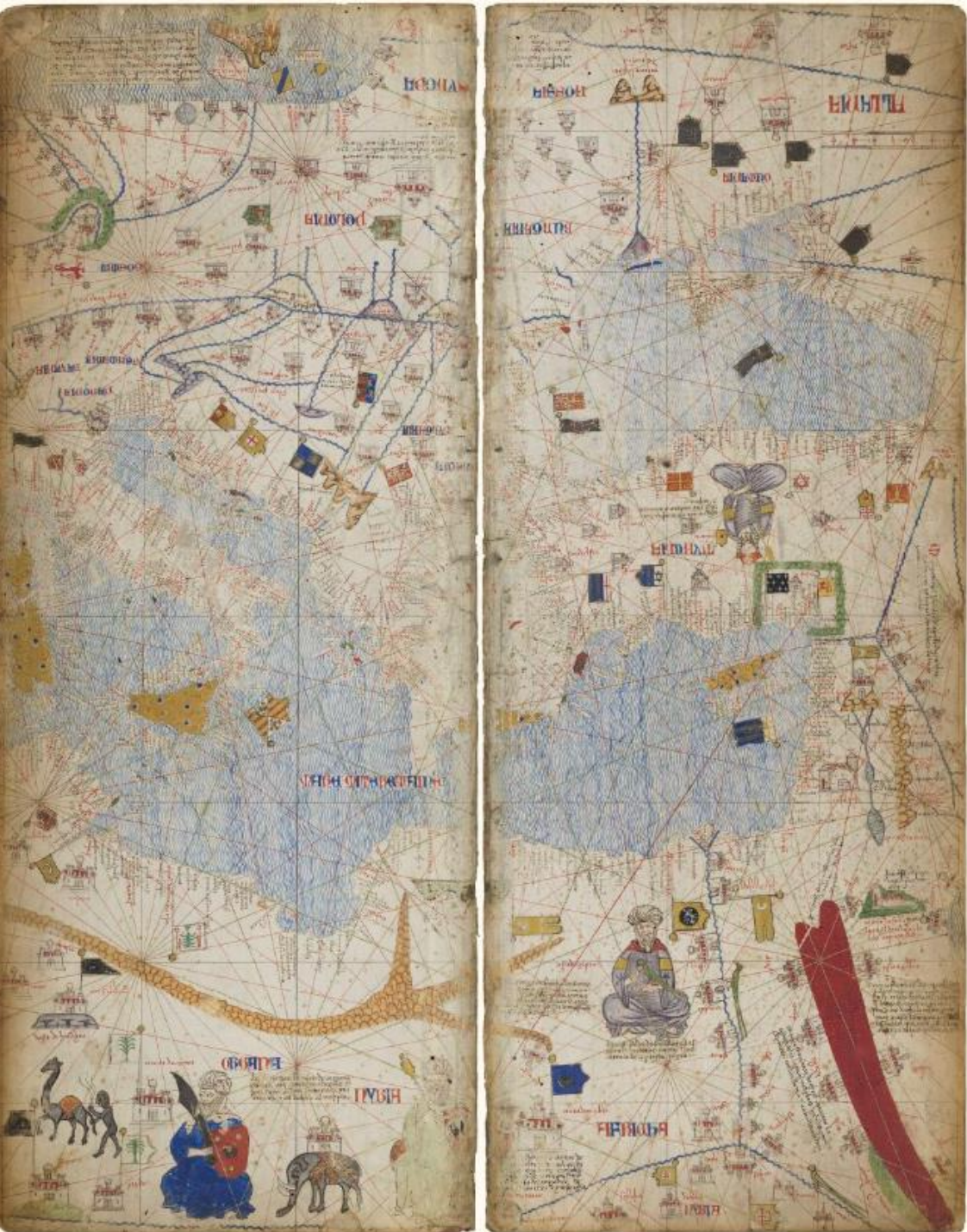
ESCALA GRÁFICA Y PENDÓN NAZARÍ



Siguiendo con la lámina nº 6, yendo de Norte a Sur en sentido horario, se describen la rigurosidad del clima y se localizan topónimos por aquellas latitudes. En el Reino Unido distingue las regiones de Escocia, Inglaterra y País de Gales. En Europa central localiza algunos lugares de los Países Bajos, así como en las cuencas de los ríos Elba, Rin y Danubio. La información sobre Francia es abundante, 135 topónimos, al igual que en el Norte de Italia, emplazando correctamente los Alpes, así como las islas de Córcega y Cerdeña. La franja verde de los Pirineos limita el norte de la zona peninsular aquí representada. Sorprende la fiabilidad de su contorno, con los cabos y golfos más relevantes, con más de 172 rótulos. En el extremo Sur del campo sobresale la imagen de la cordillera del Atlas, como barrera entre el Magreb y el Desierto del Sahara, localizando al sur la mítica ciudad de Ténbuch (Tombuctú).

LÁMINAS VII Y VIII: EL ESPLENDOR DEL MEDITERRÁNEO

En la primera imagen se sitúa al Norte, de modo poco preciso, el mar Báltico. La compleja red hidrográfica que presenta se corresponde con los ríos Oder, Warta, Elba y Danubio. Como ya ocurrió en la parte occidental del Mediterráneo, se proporciona cuantiosa información toponímica en las costas adriáticas y griegas. Igual sucede con la imagen de Italia y Sicilia, con más de 200 nombres, muy similar a la actual; debiendo destacar el gran estandarte del reino de Aragón que aparece junto a ambas. En cuanto al norte de África es reseñable la guerra civil entre los cristianos de los Ergs argelinos y el reino de Nubia, obedientes los primeros a la autoridad del rey de Etiopía; el mítico sacerdote Preste Juan.



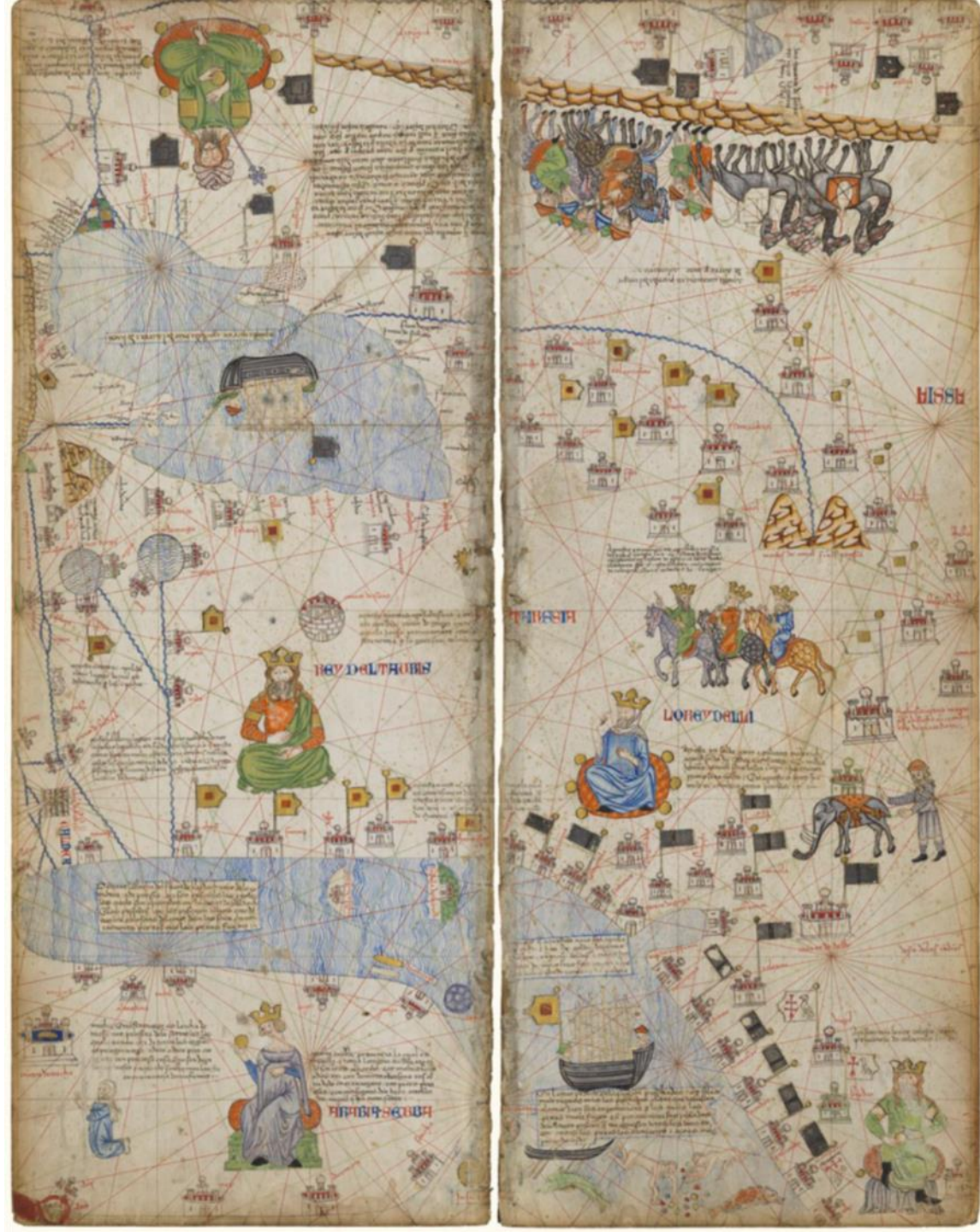
EL LITORAL DE ORIENTE MEDIO

En este extremo de la lámina 8ª sobresale la imagen que representa a la isla chipriota que, como las otras mayores del Mediterráneo, lleva un baño dorado y figura bien localizada con relación al litoral. Palestina presenta una aceptable densidad toponímica, acorde con el nuevo testamento, siendo la Iglesia del Santo Sepulcro la imagen de Jerusalén. En la península del Sinaí, se rotularon muchos lugares con resonancias bíblicas, observándose con toda nitidez el mar Rojo (Cresques aclara que sus aguas no son rojas) e incluso el paso supuestamente usado por los israelitas en su huida de Egipto. Igual de reseñable es el hecho de que se dibujase el Monasterio de Santa Catalina Virgen. En Egipto no podía faltar la ciudad de Alejandría, la traza del Nilo, su delta y la ciudad de Babilonia, cuyos restos quedarían integrados siglos después en el viejo Cairo.



LÁMINAS IX Y X: MESOPOTAMIA Y GOLFO PÉRSICO

Estas dos imágenes tienen especial relevancia en la historia de la cartografía, en tanto que en occidente fue cuando se vieron representados por primera vez aquellos territorios tan lejanos; a pesar de que la información que ofrecían era fruto de los relatos más o menos fiables, como los efectuados por Marco Polo. En la primera figura la zona del mar Caspio, Irán y el resto de Mesopotamia, para finalizar con el Golfo Pérsico y Arabia. En la décima se ofrecía la imagen de Siberia, el Noroeste de China, Afganistán, Pakistán, la India y su océano. En el Norte de la primera se situó al Señor del Sarra (Caspio), relacionado con el imperio escondido de Gengis Khan. Asimismo recoge el curso del río Volga desembocando en el Caspio, en cuya orilla sitúa varias ciudades. Al Noroeste hay un texto en el que se describen las adversidades sufridas por caravanas que hacían la ruta de la seda, junto a un bello dibujo de las mismas.



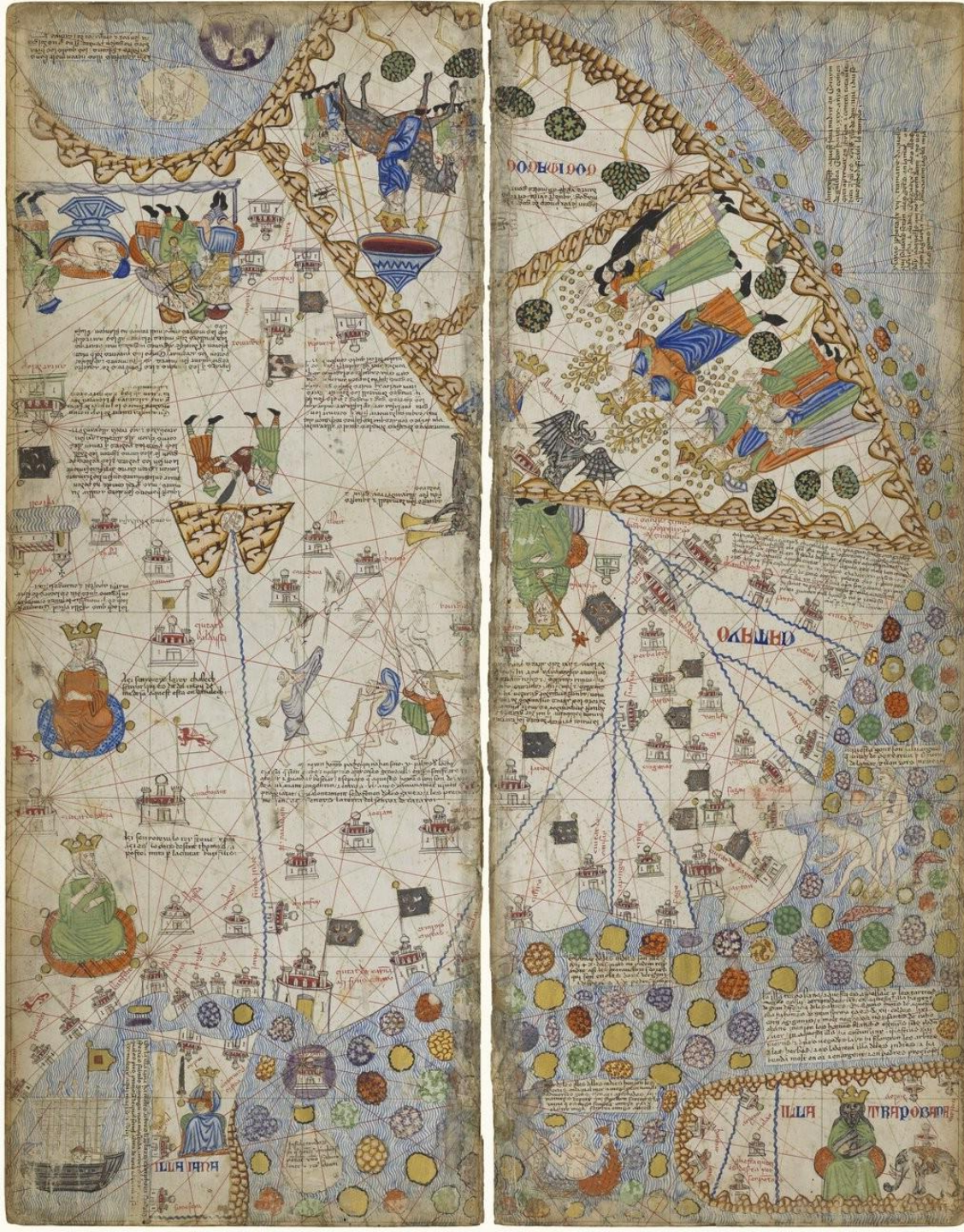
IRÁN, MESOPOTAMIA Y LA INDIA



En las regiones de Irán y Mesopotamia se localizaron los lagos Van y Urmia, de los cuales fluye el río Tigris hasta el Golfo Pérsico, en el que también desemboca, más al Oeste, el río Eufrates. Al Este de su nacimiento aparecen las montañas en que, según la tradición, se posó el arca de Noé tras el diluvio. Siguiendo con la misma influencia llega a ubicar la torre de Babel al Noroeste del golfo y en la orilla izquierda de dicho río. En el Norte de la décima lámina apenas se proporciona información sobre Siberia, predominando tan solo la caravana que se dirige a China procedente del Caspio. La parte de Asia está repleta de ciudades, mal localizadas, sobresaliendo la legendaria Samarkanda al Noroeste de unas montañas que marcan la frontera con Persia. Entre la región anterior y el sultanato de Delhi, situó Cresques los tres Reyes Magos (ninguno de los cuales es negro). Representó bajo ellos la figura del gran sultán que gobernaba ese país, rico en oro y piedras preciosas, con un gran ejército y 700 elefantes.

LÁMINAS XI Y XII: EL CONFÍN DEL MUNDO

En esta parte del mapamundi se dejan sentir demasiado el peso de las concepciones clásicas de los mapas de T en O y de los Beatos, observándose incluso una parte del río amargo en el extremo noreste de la última lámina; de modo que la información fiable brilla por su ausencia, al contrario de su riqueza artística. Los enclaves urbanos que figuran, en estas dos imágenes, son de Asia, India, China y algunas islas. Sitúa la ciudad de Lop, nudo en el que se bifurcaban las rutas de la seda procedente de Xián. En el Sureste de la undécima lámina se representa el imperio del Gran Khan, siendo la actual Cantón en el litoral. También dibuja en la India (Sureste de la imagen) el río Brahmaputra y se rotulan una serie de topónimos mal localizados. El extremo Noroeste del atlas lo baña el océano, como fin del orbe conocido. Bajando a su parte central aparece la capital Chambalech, sede del Gran Khan y futura Pekín, así como una secuencia desordenada de ciudades.



EL ANTICRISTO, GOG Y MAGOG

La influencia religiosa en este extremo del mapa mundi es del todo evidente, por la cantidad de referencias bíblicas y evangélicas que contiene, bastando como muestra la localización de Gog y Magog como un país, con su rey a caballo, totalmente aislado hasta el final de los tiempos. Junto a él se encuentra el Anticristo, con su corte de monjas, frailes, seculares y hasta niños esperando que caiga oro de los árboles que sacude; una de las imágenes más conseguidas de esta obra. La representación incluye al Diablo y a Alejandro Magno, rodeados de montañas, simbolizando así el aislamiento a que ha de estar sometido el Anticristo, en tanto le llegue la hora de intervenir en los tiempos previos al fin del mundo.



Se conserva este monumento cartográfico en el Departamento de manuscritos de la Biblioteca Nacional de Francia (Espagnol 30)



Nicolaus Samuelis Cruquius (1678-1754)

Nicolaas Samuëls zoon Kruik, fue un topógrafo brillante y uno de los primeros en usar las curvas de nivel, además de ingeniero hidráulico excepcional, preocupado por el drenaje del lago Haarlem mediante un sistema de bombeo. El haber sido pionero en ese campo, hizo que (a mediados del siglo XIX) se diera el nombre de Cruquius (municipio de Haarlemmermeer) a la localidad en que se conserva una de las máquinas de vapor empleadas para ello y que pertenece al Patrimonio Mundial de la Unesco. Otra de las áreas en las que descolló fue la meteorología, siendo su introductor en Holanda. Pasó su infancia en la ciudad de Delft, en donde su padre ejercía de matemático y examinador de la Compañía de las Indias Orientales (VOC). Los primeros estudios que cursó fueron los de Topografía, siendo facultado, en el año 1698, para su ejercicio en todas las provincias de Holanda; en el desempeño de su profesión recopiló una importante colección de planos y mapas, contando para ello con la colaboración de su hermano Jacob (1684-1706), topógrafo como él. La práctica de la topografía la desarrolló en paralelo a sus inquietudes hidráulicas, concretamente relacionadas con la gestión del agua; aunque a veces fuesen controvertidos sus análisis sobre la sedimentación de los ríos y la profundidad de los mismos, siempre basados en observaciones al

respecto, incluyendo igualmente las meteorológicas. En 1716 inició sus estudios en la Universidad de Leiden, asistiendo a las clases Herman Boerhaave (1668-1738), el mejor científico de Holanda. Probablemente fue durante este período cuando adquirió también los conocimientos meteorológicos que luego tanto aplicaría; por iniciativa de este entró en contacto con la *Royal Society* (a propósito de sus observaciones meteorológicas), ingresando en ella el año 1724. Ese mismo año se publicó en sus *Philosophical Transactions* una breve reseña de las observaciones que hizo con el barómetro, termómetro e higrómetro. A partir de entonces, comenzó a firmar todos sus trabajos como

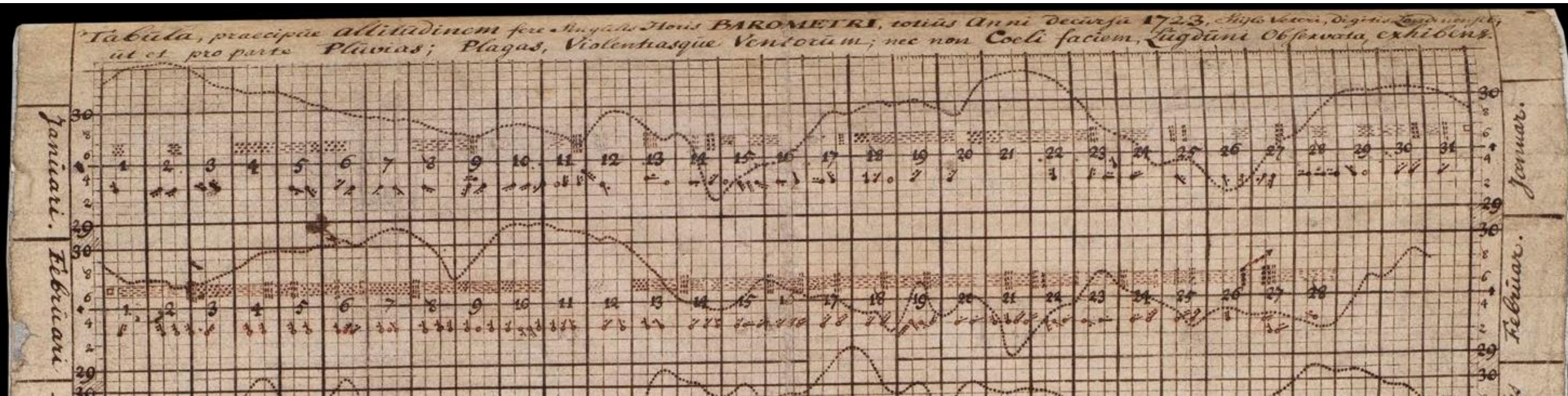
Observations made in 1723, on the Barometer, Thermometer, Hygrometer, &c. By Nicolaus Cruquius, Mathematician, and F. R. S. N° 381, p. 4. Abridged from the Latin.

In 1723 M. Cruquius made some accurate observations at Leyden, Delft, and Rheinburg, on the height of the barometer, thermometer, and hygrometer; also the quantity of rain, dew, snow, hail, and the quantity of water exhaled, &c. viz. Of the barometer, the greatest height 29 inches 8 lines, the least height 27 inches 7 lines, and the mean 29 inches: of the thermometer, the greatest degree of cold, or least height 1000 degrees, the freezing point of water at 1070, the boiling point of the same 1510, and the mean 1113: the water exhaled or evaporated 28 inches 11 lines: the rain, dew, snow and hail, at Delft 20 inches, and at Rheinburg 21.

«Krukius, estudiante de medicina, nacido en Delft». En 1725 sucedió a su padre en la VOC, ejerciendo a partir de 1733 el puesto de supervisor del dique de Spaarndam, incluidas sus esclusas y compuertas; siendo por aquel entonces cuando debió idear su plan para drenar el lago Haarlem.



Detalle de la información marginal del plano de la Junta de Aguas de Delfland



Cruquius compaginó sus trabajos topográficos con los hidráulicos, y con las observaciones meteorológicas, plasmándolos gráficamente de forma magistral. Uno de sus primeros registros data del año 1723, cuando presentó un resumen de las observaciones diarias que había realizado en Leiden. Además de usar una curva para representar la presión atmosférica, así como flechas y puntos para la dirección y velocidad del viento, empleó sus propios signos convencionales para simbolizar la lluvia, nieve, granizo, niebla, truenos y nubes; una especie de prototipos de los que luego figurarían en los primeros mapas del tiempo. No obstante, su fama ya le acompañaba desde que se publicó en el año 1712 su famoso plano de Delfland, compuesto por 25 hojas dibujadas a escala 1/10000 (una vez compuestas formarían un cuadro de 260 x 280 cm.). El encargo se realizó por la Junta de aguas en el año 1701, comenzó a ejecutarlo de inmediato en colaboración con su hermano Jacob, aunque el pronto fallecimiento de este supusiera un retraso considerable que fue denunciado por la aquella; aunque para tratar de evitarlo, contrató a

partir de 1708 a varios colaboradores. El título formal del plano fue THOOGHE HEEMRAEDSCHAP VAN DELFLANT, interrumpido en su centro por el escudo de armas de Delfland, sostenido por dos figuras alegóricas; los márgenes laterales incluyeron igualmente los escudos correspondientes a los miembros de la Junta, figurando en el borde inferior escenas pastorales y el nombre de



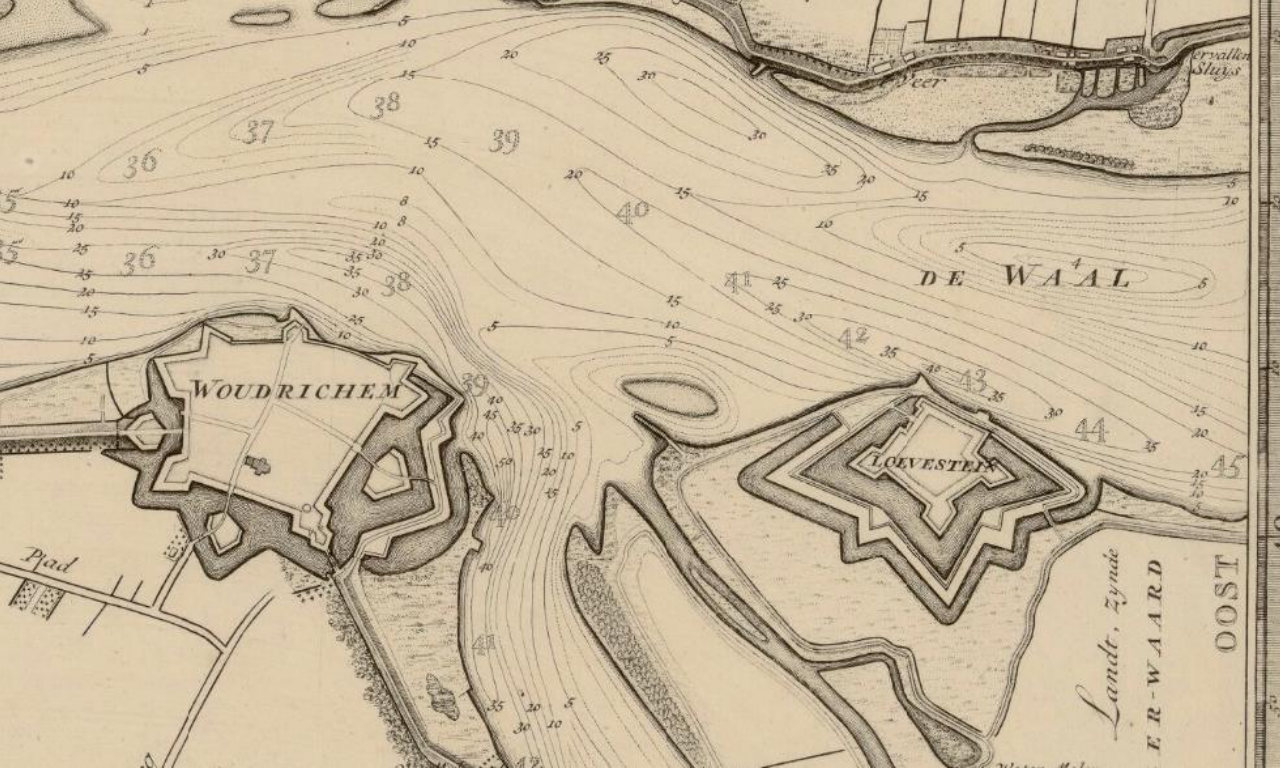
Kruikius en la esquina de la derecha (al pie del escudo familiar), junto a una figura femenina con un compás apoyado en el pitipié de una escala gráfica ($\approx 1/10000$). En el plano figuran cada una de las ciudades y pueblos de la zona, mostrando con gran detalle la disposición de los edificios, las curvas de las acequias, las carreteras y los caminos, incluidos aquellos que sólo eran conocidos por los vecinos a través de la tradición oral. Asimismo, es digno de mención el cuidado con el que se rotularon los topónimos en cada una de las hojas, de modo que el detalle indicado figurase exactamente entre la primera y la última letra del nombre que les daban. Destaca una elaborada rosa de los vientos en el lado oriental, cuyo centro lo ocupa un globo terráqueo que muestra África, Europa y partes de Asia y América del Sur; acompañado radialmente con dioses que representan el Sol, la Luna y los planetas, dibujados sobre un mapa celeste en el que se observa también el cinturón zodiacal. La localización de los detalles se facilitaba mediante una cuadrícula alfanumérica, junto a la clásica división en grados y minutos. El plano, que no fue ultimado hasta el año 1712, superó a todos los realizados en el periodo comprendido entre los siglos XVII y XVIII.



La dimensión de cada una de las 25 hojas fue de 52 x 58.5 cm, cubriendo con todas ellas un territorio de 22 x 22 km. La información geográfica correspondiente nunca fue actualizada, salvo la del plano de conjunto en 1750. A pesar de ello, la fiabilidad del plano fue tal, que aún resiste la comparación con las representaciones cartográficas actuales de igual escala. Todavía se conservan las planchas de cobre con los grabados originales, figurando los nombres de los responsables en la parte inferior izquierda. De su análisis geométrico se dedujo la inexistencia de errores sistemáticos en el original. El valor absoluto de la diferencia de distancias entre los campanarios de las iglesias, fue del orden de 38 m, con una desviación estándar de 29 m.

En los años siguientes continuó la actividad topográfica de Cruquius, proporcionando en la mayoría de las ocasiones el soporte gráfico necesario para sus proyectos hidrológicos. Uno de los levantamientos más sobresaliente fue el que efectuó entre los años 1729 y 1730, para representar el río Merwede, entre las ciudades de Woudrichem y Hardinxveld, su relevancia cartográfica radica fundamentalmente en que se usaron por vez primera las curvas de nivel para proporcionar la información batimétrica. el plano lo presentó en dos hojas, mostrando el último tramo del río, próximo a su desembocadura en Biesbosch. Esa zona del río era problemática, pues había numerosas derivaciones del cauce y por su parte principal cada vez fluía menos cantidad de agua, lo que dificultaba mantener la navegación por su curso. Para tratar de solucionar el problema, la ciudad de Gorinchem recurrió, entre otros especialistas, a Cruquius, para que informase básicamente de la morfología del fondo del río. El plano levantado fue muy detallado, informando puntualmente sobre la profundidad del río en el tramo representado, y facilitó la realización de las correspondientes actuaciones de mejora, para evitar de forma definitiva el riesgo de que dejase de ser navegable. Más de 400 días fueron necesarios para ejecutarlo, presentándose so solo en las dos hojas principales (unidas formaban un rectángulo de 57 x 129 cm), sino que también elaboró otro más general en que se dibujó toda la cuenca del río.



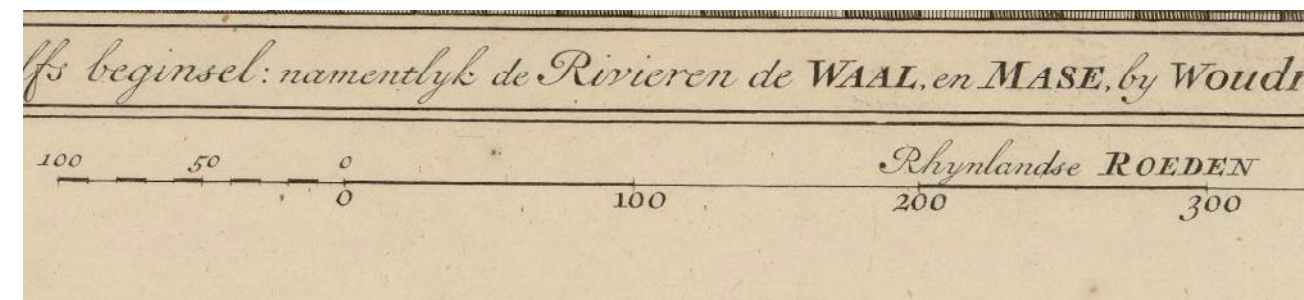


La información proporcionada por las hojas citadas fue sumamente detallada, prestando especial atención a las esclusas, diques, puentes, etc.; sin olvidar los aprovechamientos del suelo: pastizales, juncos, bancos de arena y huertos. En cualquier caso, su característica más notable fue el uso sistemático y continuo de las curvas de nivel, trazadas en función de las cotas obtenidas por medio de largas varas. El plano fue en realidad el anexo gráfico de *Rapport van de Professoren 's-Gravesande en Wittichius, en van de landmeeter Cruquius, wegens haare gedaane inspectie van de Rivier de Merwede van Gorinchem af*

benederwaarts, en wegens de voorgeslaage middelen tot voorkoming van inundation (Informe de los profesores Willem Jacob 's Gravesande (1688 -1742) y Jacobus Wittichius (1677–1739), y del topógrafo Cruquius, relativo a la inspección realizada en el río Merwede aguas abajo de Gorinchem y relativo a los medios propuestos para evitar inundaciones); una Memoria presentada el 12 de julio de 1730.



Hoja occidental



Hoja oriental

ESCALAS GRÁFICAS

DE RIVIER DE MERWEDE VAN (ONTRENT) DE STEENEN-HOEK, OOSTWAARDS-OP TOT VERBY HET DORP VAN SLEEUWYK, MET DEN OUDEN-WIEL EN DE KILLEN DIE UIT DE SELVE NA DEN BIES-BOS AFLOOPEN ETC...

DE RIVIER DE MERWEDE VAN EVEN BOVEN HET DORP SLEEUWYK, OOSTWAARDS OP VERBY GORICHEM EN DE MOND VAN DE LINGE, TOT AEN DESSELS BEGINSSEL, NAMENTLYCK DE RIVIEREN DE WAAL, EN MASE, BY WOUDRICHEM, EN LOEVESTEYN, ETC.

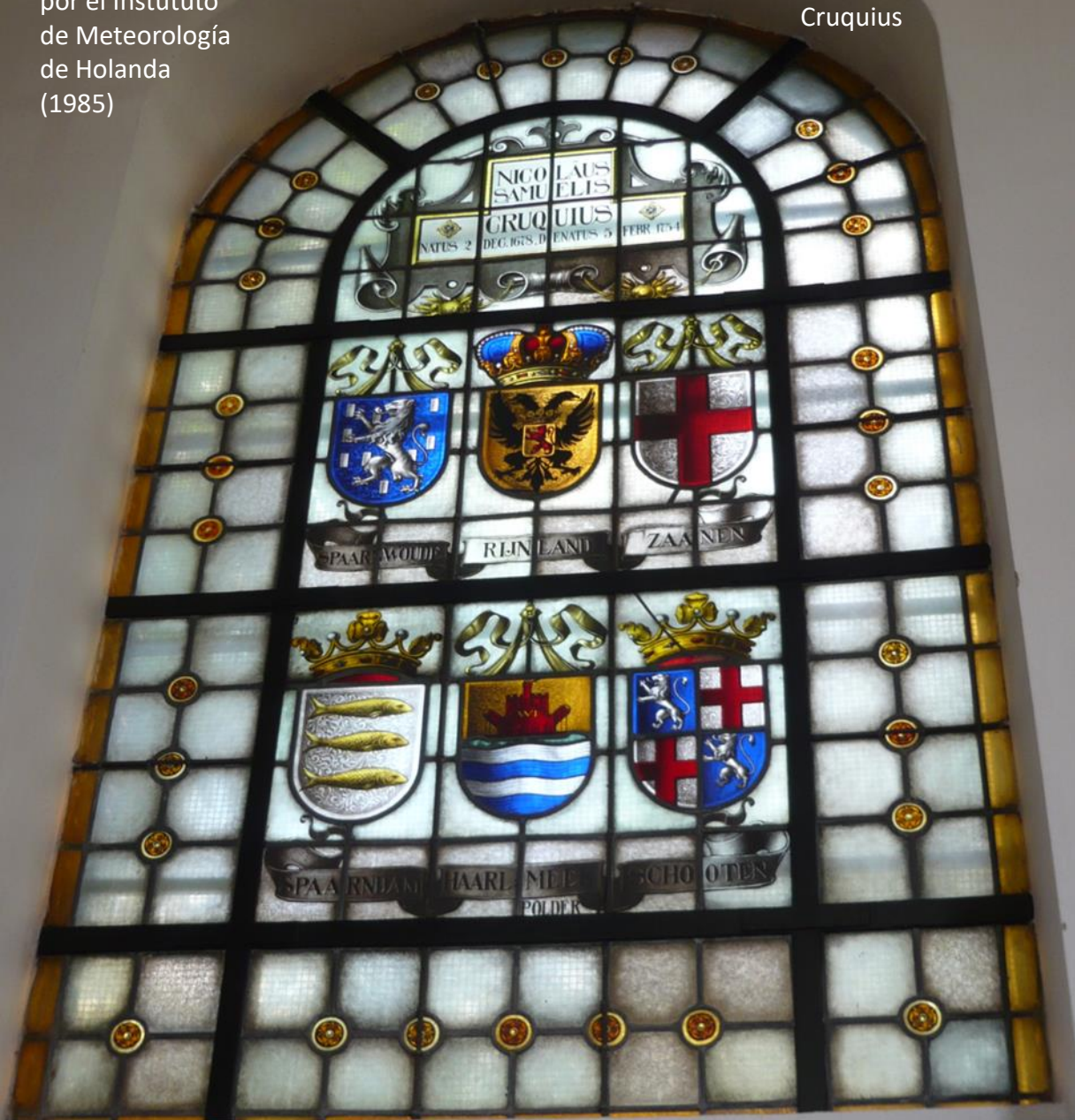


HOJA OCCIDENTAL

HOJA ORIENTAL

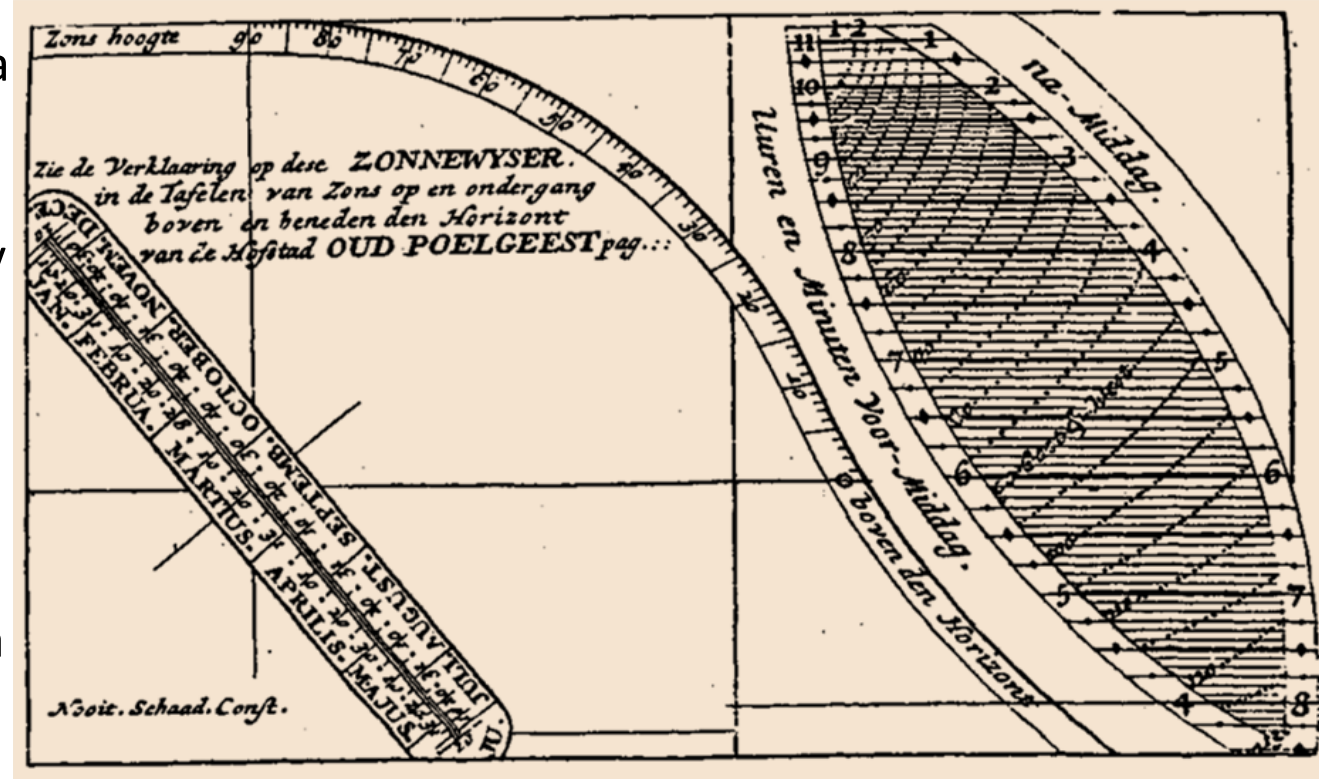
Frontispicio del libro publicado por el Instituto de Meteorología de Holanda (1985)

Vidriera de la iglesia de Spaardam en honor a Cruquius

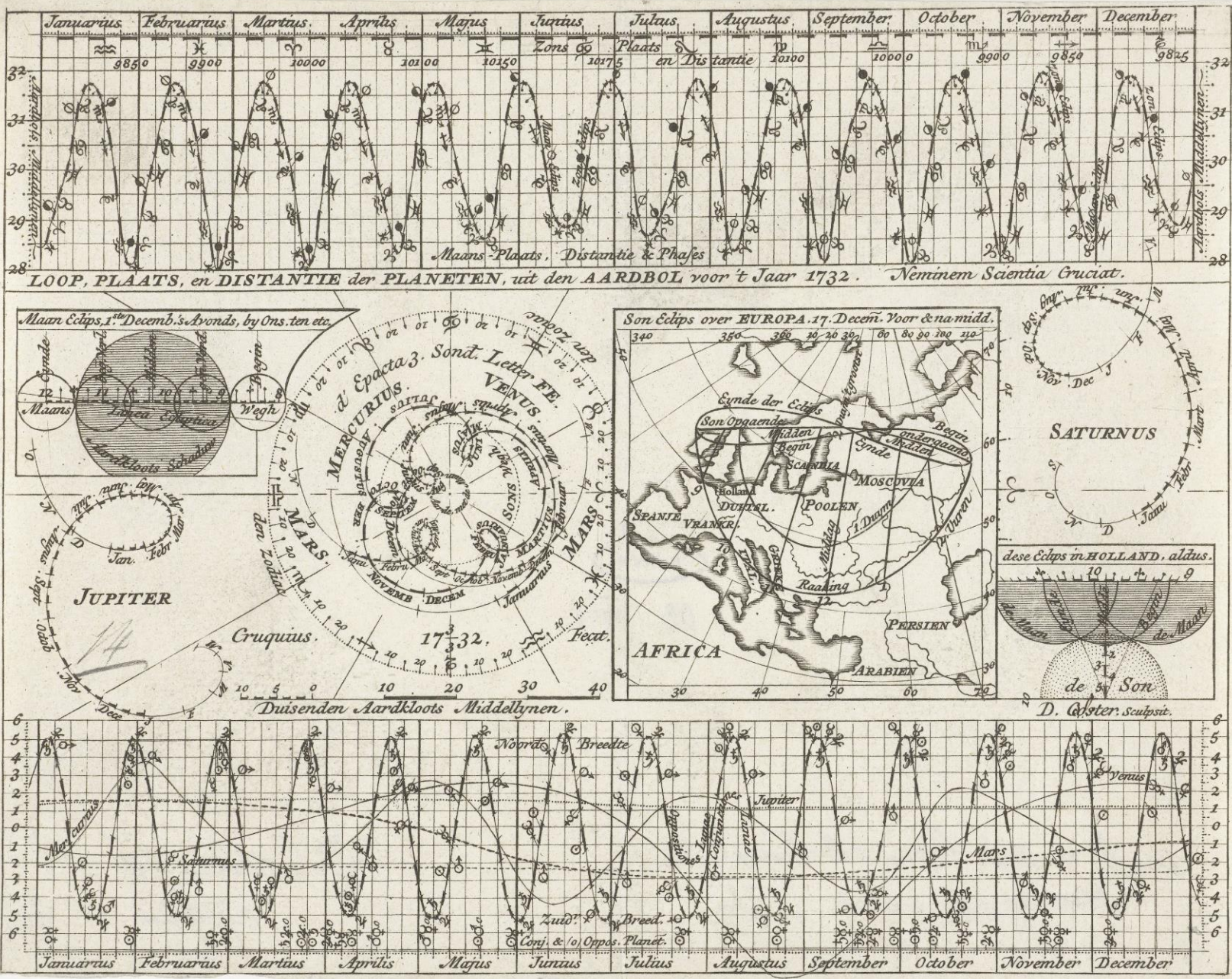


En el año 1985 se publicó el trabajo *Nicolaus Cruquius (1678-1754) and his meteorological observations*, del que fueron autores A.F.V. van Engelen y H.A.M. Geurts, meteorólogos holandeses del Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut; estudiando los cuadernos de campo y diarios del operador, referidos al periodo 1706-1734, cuyos datos son de gran interés para la reconstrucción del clima. Sus mediciones de precipitación, humedad y evaporación son las más antiguas de los Países Bajos y sus lecturas de temperatura y humedad constituyen una de las series más antiguas del mundo. Se comentan los registros referidos a: presión atmosférica (aunque no se sepa el tipo de instrumento que empleó); a la temperatura (sus series más valiosas, con una primera lectura del termómetro, diseñado por él mismo, efectuada el 29.XII.1705); humedad (sus primeros registros datan del 8.I.1710, usando una esponja empapada en cloruro de amonio, colocada luego en una balanza, se cree que fueron las primeras medidas de esa clase efectuadas en Holanda); precipitación - evaporación; y viento.

Al realizar esas observaciones meteorológicas hubo una serie de condicionamientos astronómicos a tener en cuenta, el propio Cruquius así lo hizo saber al establecer una cierta relación entre la posición del Sol y la dirección del viento, confeccionando una tabla en la que efectuó las correcciones correspondientes. En ese mismo sentido, formó otras en las que figuraban las horas de los ortos y ocasos del Sol, tablas que dedicó a su profesor H. Boerhaave; intentando usarlas para regular la marcha y estado de su reloj. Su interés en esa cuestión lo evidencia el diseño que hizo de un reloj solar hacia el año 1735. Asimismo, hay constancia, en sus registros diarios, de que estudió la posición de las estrellas e hizo diagramas con dibujos de las trayectorias de los planetas, Júpiter, Marte, Mercurio y Saturno. Cruquius comunicó por carta a la *Royal Society* su sospecha de que los planetas influían en el tiempo, añadiendo que «las observaciones británicas, francesas y holandesas sobre los efectos del Sol y la Luna en los mares y en la atmósfera, estaban tan avanzadas que pronto se podrían calcular los movimientos de marea causados por ambos». Más adelante, hacía la reflexión siguiente: «Sería muy conveniente describir con rigor los cambios atmosféricos en diversas partes del mundo, fijando la posición de los planetas en el momento en que se producen tales cambios. Una comparación sistemática de esas observaciones, a lo largo de muchos años, permitiría deducir si, como ocurre con las mareas, los fenómenos meteorológicos y particularmente los atmosféricos, dependen de alguna manera de los planetas». Cuando Cruquius se pronunciaba de esa forma, se acuñó el vocablo astrometeorología, al intuir que la astronomía y la meteorología guardaban relación; téngase en



los planetas, Júpiter, Marte, Mercurio y Saturno. Cruquius comunicó por carta a la *Royal Society* su sospecha de que los planetas influían en el tiempo, añadiendo que «las observaciones británicas, francesas y holandesas sobre los efectos del Sol y la Luna en los mares y en la atmósfera, estaban tan avanzadas que pronto se podrían calcular los movimientos de marea causados por ambos». Más adelante, hacía la reflexión siguiente: «Sería muy conveniente describir con rigor los cambios atmosféricos en diversas partes del mundo, fijando la posición de los planetas en el momento en que se producen tales cambios. Una comparación sistemática de esas observaciones, a lo largo de muchos años, permitiría deducir si, como ocurre con las mareas, los fenómenos meteorológicos y particularmente los atmosféricos, dependen de alguna manera de los planetas». Cuando Cruquius se pronunciaba de esa forma, se acuñó el vocablo astrometeorología, al intuir que la astronomía y la meteorología guardaban relación; téngase en



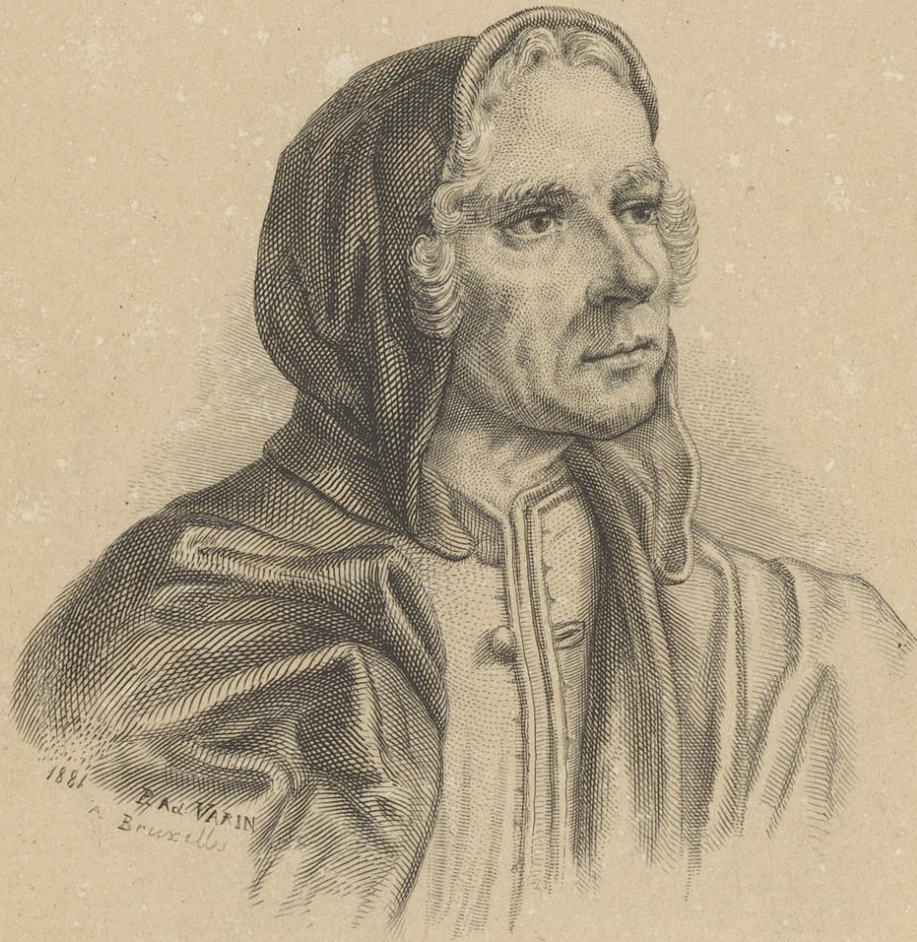
cuenta que entre la Edad Media y la Ilustración no dejaron de publicarse almanaques y otras obras populares sobre el tiempo, en las que se interrelacionaban amabas disciplinas científicas. En las primeras revisiones de las series meteorológicas, publicadas en el siglo XVIII, se discutía si los movimientos planetarios influían realmente en las condiciones meteorológicas.

Gráfico con las órbitas planetarias en el año 1732. Tablas, superior e inferior, con la posición mensual de los planetas (identificados por sus símbolos respectivos). En el centro se muestran diagramas relativos a la órbita de la Luna, el Sol y otros planetas.

La lámina (de 160 x 210 mm), incluyó en su título el lema de Cruquius: NEMINEM SCIENTIA CRUCIAT.

Nicolas de Cusa (1401-1464)

Nombre latino de Nikolaus Kryffts, un cosmógrafo, filósofo y cardenal alemán que fue clave en la transición de la Edad Media al Renacimiento. Sus primeros estudios los realizó en la escuela latina de Deventer (Holanda), después estudió filosofía en en Heidelberg (1416), derecho canónico en Padua (1417-23). En la universidad de Padua coincidió con el cartógrafo florentino Paolo del Pozzo Toscanelli, cuya amistad conservó durante toda su vida; años después le dedicaría sus obras *De geometricis transmutationibus* y *De arithmetis complementis*, siendo además el interlocutor imaginario en su diálogo sobre la cuadratura del círculo. Culminó su formación teológica en Colonia (1425), donde también fue ordenado sacerdote. Miembro activo del Concilio de Basilea desde 1432, entró al servicio de la curia romana en 1436 y fue representante del papa en las negociaciones mantenidas entre la Santa Sede con el Imperio Bizantino. En 1448 fue nombrado cardenal y en 1450 arzobispo de Bressanone, en el Tirol italiano. Aparte de su carrera eclesiástica, cultivó distintas disciplinas: desde la astronomía a la filología y desde la ciencia política a los estudios islámicos.



NICOLAS DE CUSA.

1401-1464.

Ecolâtre et archidiaque de Liège, cardinal, maître et protecteur
de Roger Van der Weyden, crée son esthétique.

Su obra filosófica más comentada fue *De docta ignorantia* (1440), doctrina de la coincidencia de diferencias que se unen en el infinito, esto es, en Dios; esa verdad última es incognoscible para la mente humana. Entre sus conclusiones estaba, por ejemplo, una idea revolucionaria del cosmos: «porque el universo es infinito, no puede tener centro excepto Dios; por tanto, la Tierra no puede ser el centro del universo». Sin embargo, esa aparente anticipación a la teoría de Copérnico obedeció más a una mera especulación metafísica que a observaciones y cálculos astronómicos. Durante el Concilio de Basilea, presentó su reforma del calendario juliano (*Die Kalender-verbesserung*.1434), proponiendo que se eliminaran siete días en el mes de mayo de 1439 y una reducción del ciclo lunar, aunque no obtuvo los apoyos necesarios. Su interés por la astronomía le hizo comprar en Nuremberg, tres instrumentos: un astrolabio de latón, un torquetum y un globo celeste de madera (diámetro 27 cm) de principios del siglo XIV, uno de los más antiguos de la cultura cristiana occidental; también se cree que en Italia compró otro metálico de 16 cm de diámetro. En su biblioteca contaba con manuscritos de la Geografía de Ptolomeo y del *Itinerarium Antoninum*. Relacionado con esas cuestiones escribió, hacia el año 1463, *De Figura Mundi*, del que se ignora su paradero.



De docta ignorantia

Deo amabili Reuerendissimo patri D^{no} Juliano sancte
aplicae sedis dignissimo Cardinali. p^{re}ceptor suo metuedo,

Admirabit et recte maximū tuū et iam pbatis
simū ingenū quod sibi hoc uelis. Quod dum me
as barbaras ineptias manuū pande attep
to, te arbitriū eligo, quasi tibi pro tuo Cardia
latus officio apud aplicā sedem in publicis
maxis negotiis occupatissimo aliq^o oti sup
sit, et post oīm latiorū septorū q^o hacten⁹ claruerit supma
noticia, et nūc grecorū etiā ad meū istū fortassis iepissimū
coceptū tituli nouitate trahi possis, qui tibi qual^o ingenio
sim iā dudū notissim⁹ existo. Sed her admiratio nō q^o pus
icognitū hic insectū putes, sed potius qua audacia ad dē
docta ignōtia tractandū ductus sim, ann tuū sciendū pau
dū spero uisendū alluciet, ferunt em nales appetitū qua
dam triste sensatio: in stomachi orificio anterre, ut sic nā
que sepam conseruacē nititur stimulata reficiat. Ita rite
puto admirari, p^{re}ter q^o phāri sciendū desiderū puenire,
ut intellectū cuiq^o intellige est esse studio ueritatis pficiat.
Rari quid et si mostri sit nos moue solent. Quamobre
p^{re}ceptor unice pro tua huanitate aliq^o dignū hic latitare
existes, et ex gmano in rebo diuis tale q^olem uocandū
modū susape, que in labor ingens admodū g^ossim fecit.

Quomō scire est ignorare. Capitulum primum

Duino munē oibus in rebus naturale quoddā desi
deriū inesse cōspiciam⁹, ut sint melior quid mē
quo hoc cuiusq^o natūe patitur condicio, atq^o ad
hūc finē opari instrumtaq^o habē oportūa q^o uidi
au conatu est conueniens p^{ro}posito cognoscendi ne sit frustra
appetitus et inamato pondē prope natūe quiete attige pos
sit. Quod si fortassis secus cōtingit, hoc ex accidenti euenire neces
se, ut dū infirmitas gustū aut opinio ratiōs seduat. Quā
obre sanū libere intellectū uerū q^o insauiabilē iudicio distar
su cūcta perlustrando attige cupit, apphenū amorofo am
plexu cognosce dicit, nō dubitātes uerissim⁹ e^o au oīs sana
mes neq^o differe. Des at uestigātes in copare p^{ro}positū
rectū p^{ro}portūbilē metū iudicāre, copatia uq^o e^o oīs nūq^oscio
medio p^{ro}portūis utens ut dū her que nūq^ont p^{ro}portū
reducatōe p^{ro}supposito possit cōpari finale est apphenōis.

Las ideas cosmológicas de Cusano, como también es conocido, estaban impregnadas de misticismo y las expuso en el segundo libro de su obra *De Docta Ignorantia*. Al mencionar el universo se puede pensar en un primer momento que se estaba refiriendo al cosmos, incluida la esfera, con la Tierra, los planetas y las estrellas; considerando que el Sol era una de ellas y que las órbitas planetarias no eran círculos perfectos. resulta especialmente llamativa su creencia de que el eje de la Tierra no fuese fijo. En una segunda lectura se constata como el universo era para él el epitome de la creación, entendiendo que el universo no solo se refiere a lo cosmológico, o a lo creado, sino que también se trata del espacio metafísico, en el que se esta moviendo el hombre. El movimiento físico dentro del universo material, solo era para Cusa una parte del movimiento general de la creación, insistiendo en que la falta de centro y de circunferencia en ese movimiento cosmológico general no es sino la consecuencia visible de ser Dios el único y metafísico centro y circunferencia. El hombre, en ese aspecto, se asemeja al ser supremo, en tanto que cuando se encuentra en cualquier lugar también piensa que es el centro.

Pero el cambio y el movimiento finitos, ontológicamente hablando, también son cuestiones de más y menos y no tienen un máximo o mínimo fijo. Esta relatividad ontológica llevó a Cusano a algunas conclusiones notables sobre la Tierra y el universo físico, basadas no en observaciones empíricas sino en fundamentos metafísicos. La Tierra no está fija en un lugar determinado porque nada está completamente en reposo; tampoco puede ser el centro físico exacto del universo natural, incluso si parece más cerca del centro que las estrellas fijas. Como el universo está en movimiento sin centro ni límites fijos, ninguna de las esferas de la visión del mundo aristotélica y ptolemaica es exactamente esférica. Ninguno de ellos tiene un centro exacto y la esfera más exterior no es un límite. Por tanto, el universo es infinito, en el sentido de que no tiene límites físicos. Cusano desplaza así la típica imagen medieval del universo creado hacia visiones posteriores, pero sobre bases ontológicas. Para él, el centro y la circunferencia exactos del universo creado se encuentran sólo en Dios. Lo que consideramos límites centrales y exteriores depende de nuestro punto de vista. De esta manera la *docta ignorantia* reconoce que el universo natural mismo, como imagen contraída de Dios, tiene un centro físico que puede estar en cualquier parte y una circunferencia que no está en ninguna parte.

Nicolai de Cusa Cardinalistit. Petri ad uincula de docta Igno-

rantia. Liber II.

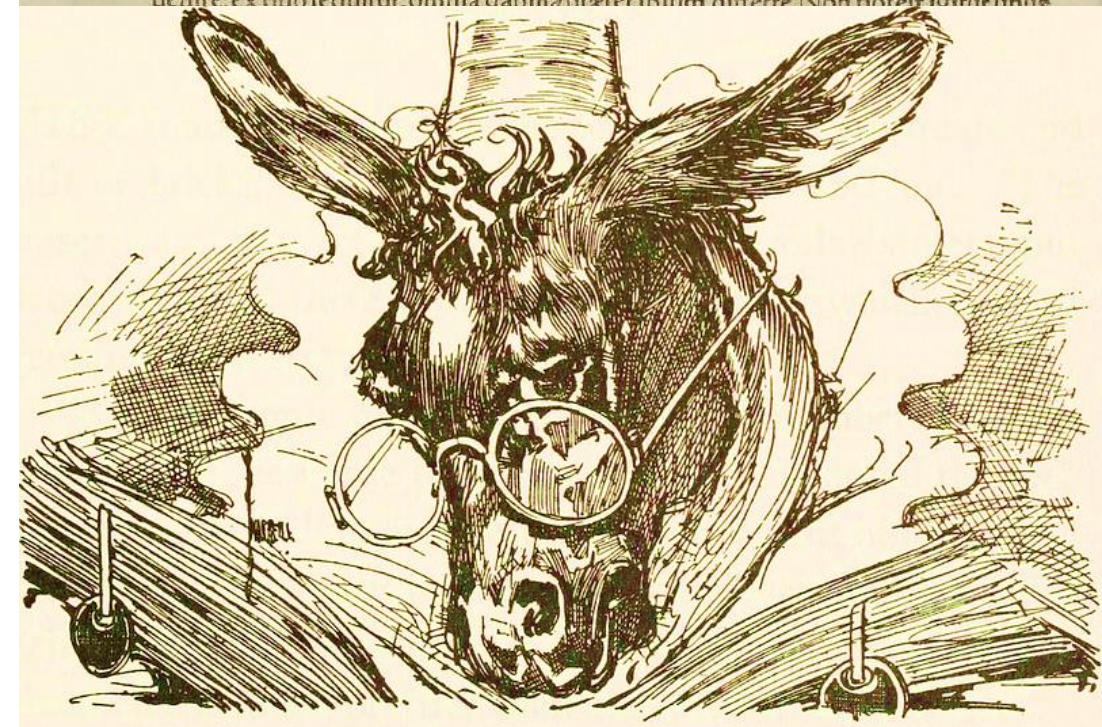


Doctrina ignorantiae taliter circa absoluti maximi naturam expedita per symbolicos quosdam characteres: amplius per ipsam aliquantulum in umbra nobis resplendentem, eadem uia ea inquiramus, quae omne id quod sunt, ab ipso absoluto maximo sunt. Cum autem causatum sit penitus à causa, & à se nihil, & originem atque rationem qua est id quod est, quanto propinquius & similis potest concommittetur: patet difficile contractionis naturam attingi, exemplari absoluto incognito. Supra igitur nostram apprehensionem, in quadam ignorantia nos doctos esse conuenit, ut praecisionem ueritatis uti est non capientes, ad hoc saltem ducamur, ut ipsam esse uideamus, quam nunc comprehendere non ualemus. Hic est mei laboris finis in hac parte, quem clementia tua iudicet & acceptet.

Correlaria praebularia, ad inferendum unum infinitum uniuersum. Cap. I.

Vnum uniuersum infinitum.

Proderit plurimum doctrinae ignorantiae, correlaria praebularia, ex principio nostro praemitti. Praestabunt enim quandam facilitatem ad infinita similia, quae pari arte elici poterunt, & dicenda facient clariora. Habuimus in radice dictorum, in excessis & excedentibus ad maximum, in esse & posse, non deueniri. Hinc in prioribus ostendimus, praecisionem & aequalitatem soli Deo conuenire, ex quo sequitur, omnia dahilia praeter ipsum differre. Non potest igitur unum





Monumento a Nicolas de Cusa en Coblenza

Cusa ocupa asimismo un lugar prominente en la historia de la cartografía, como autor del primer mapa moderno de Europa central. La región representada fue el territorio comprendido entre Flandes y la desembocadura del río Danubio y entre Jutlandia y el río Po. No se conserva el mapa original, ni se saben las fuentes en que pudo basarse el cardenal. No obstante, al examinar su contenido y otros documentos con él relacionados, pueden extraerse algunas conclusiones fiables. Las representaciones cartográficas de esa parte de Europa fueron dadas a conocer siguiendo dos modelos principales: uno debido a Henricus Martellus (c.1440 - c. 1496) y otro a Nicolaus Germanus (c.1420 - c.1490). El primero parece haber reproducido el mapa de Cusa en su *Insularium Illustratum* (Florencia \approx 1490), con un formato de 33.5 x 51 cm. El segundo fue presentado por Germanus, con información añadida al Norte de la imagen (proporcionada posiblemente por el entorno del eclesiástico), su grabado sobre una plancha de cobre (40.3 x 55.2 cm) comenzó en Roma (a partir de 1470), aunque las copias de que se dispone se imprimieran en Basilea a partir de 1530. Es evidente que el modelo segundo fue una clara revisión del primero, cabiendo la posibilidad de que Germanus contactara con el mismo Cusa en Italia o en Alemania. El estudio geométrico de esta segunda presenta una clara distorsión en la red de meridianos y paralelos (al Este y al Oeste) posible reflejo de la heterogeneidad de las fuentes a las que recurrió.

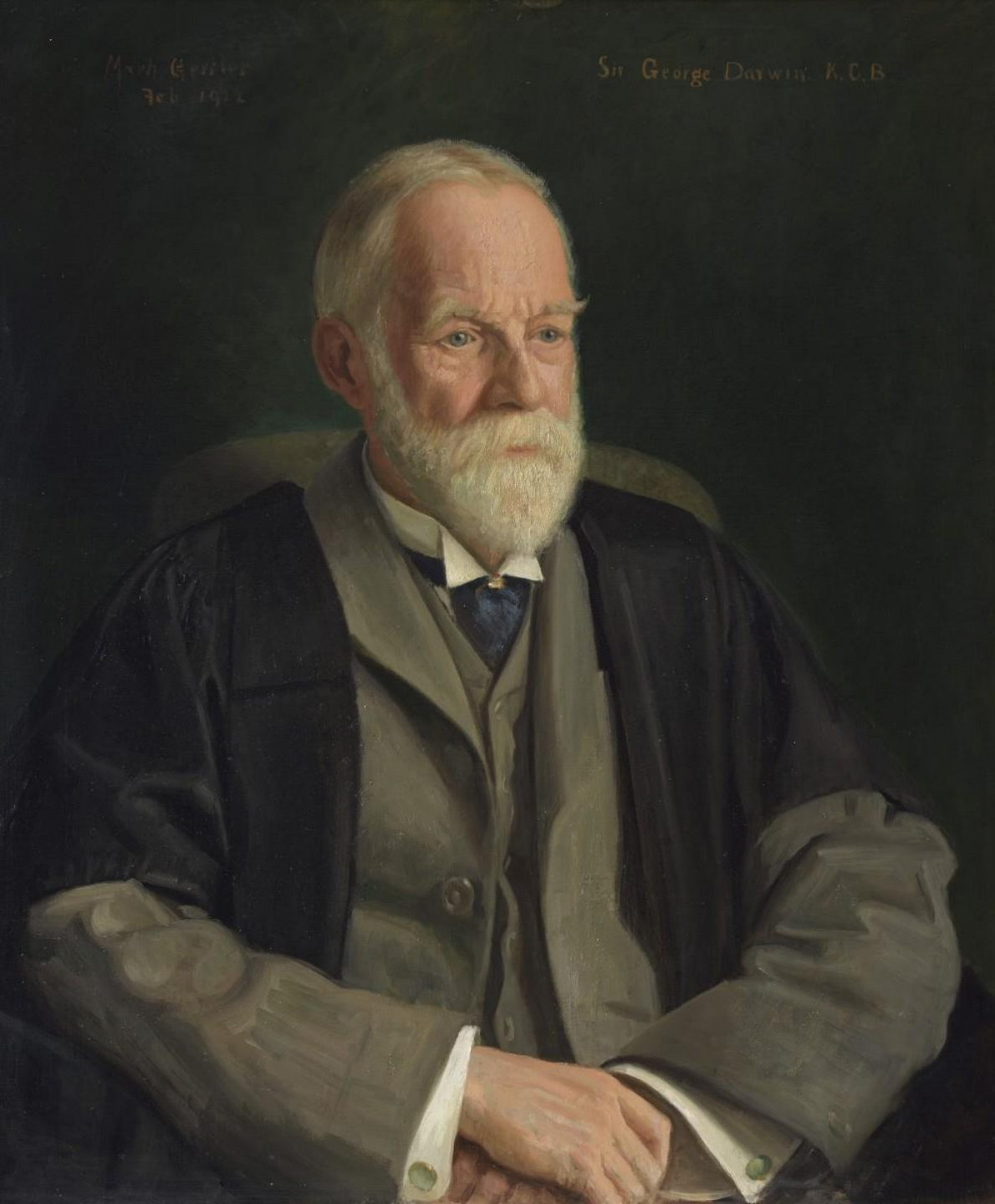
QUOD PICTA EST PARVA GERMANIA TOTA TABELLA: ET LATVS ITALIE GELIDAS QVOD PROSPICIT ALPES: SAVROMATVM QVE TRVCE POPVLI: GENTES QVE PROFVNDIO VIGNE ADRIACO: PELOPVS REGNVM QVE VETVSTI: PANNONIOS ET FINDIT AGROS QVA FRIGIDVS HISTER: ATQVE LICAONIOS TERRARVM QVICQVID IN AXES VERGIT: ET EQVOREAS RHODANVS QVACVBERAT VNDAS: ET MVLE PVNCTVS VRBES VILLE QVE NOTATE: GRACIA SIT CVSE NICOLAO: MVRIE QVONDAM QVI TYRIO CONTECTVS ERAT: SPLENDOR QVE SENATVS INGENS ROMANI: NVLLI EXPLORATA PRIORVM: ET LOCA QVIV MODICO CELARI IVSSIT IN ERE.

EYSTAT ANNO SALVTIS 1491. XII KALENDIS AVGVSTI PERFECTVM.



Quod pictum est parva Germania tota tabella. .. gracia sit Cusae Nicolao. murice quondam. Qui Tyrio contectus erat : splendor que senatus Ingens Romani : nulli explorata priorum. Et loca qui modico celari iussit in aere... Eystat anno salutis 1491. XII Kalendis Augusti perfectum.

EL MAPA DE CUSA, DE ACUERDO CON EL MODELO DE NICOLAUS GERMANUS



Sir George Howard Darwin (1845–1912)

Catedrático de astronomía en Oxford, especializado en el estudio de mareas e hijo de Charles Darwin (1809-1882), celebrado autor de la obra *On the Origin of Species by Means of Natural Selection*, publicada en el año 1859. Aunque naciera en una atmósfera cargada de ideas, pronto se decantó por las matemáticas y la astronomía. En el año 1864 ingresó en el Trinity College de Cambridge, graduándose en 1868 tras haber cursado el llamado *Mathematical Tripos*. Si bien siguió luego estudiando derecho, al final volvió a sus orígenes y en 1883 ocupó la cátedra de Astronomía y Filosofía Experimental en la universidad de dicha ciudad. Cuando accedió a ella ya estaba interesado en la teoría de las mareas, siguiendo la línea marcada por W. Thomson al aplicarle un método analítico similar al empleado en el estudio de la luna y los planetas; cuyos resultados trasladó a la Asociación Británica. G.H. Darwin sentía una profunda admiración y respeto por aquel, así se desprende de lo que dejó escrito: «Early in my scientific career it was my good fortune to be brought into close

personal relationship with Lord Kelvin. Many visits to Glasgow and to Largs have taught me to look up to him as my master, and I cannot find words to express how much I owe to his friendship and to his inspiration». El trabajo de Lord Kelvin fue continuado por Darwin, el cual publicó diversos artículos e informes de indudable valor teórico y práctico. Uno de los más notables *On the precession of a viscous spheroid, and on the remote History of the Earth*, contempló las relaciones entre la Luna y la Tierra, deduciendo que, si ambas hubieran sido alguna vez viscosas, habrían formado parte de una masa común; «lo que llevaría inmediatamente a preguntarse como y por qué se rompió el planeta.

Desafortunadamente, las condiciones de estabilidad de las masas de fluidos en rotación son desconocidas y, por lo tanto, lo más que se puede hacer es especular sobre el tema (*The Philosophical Transactions*. 1.I.1879)». Esa hipótesis de la formación de la Luna según la cual fue extraída de una Tierra fundida, en una etapa temprana de su formación, por la acción de las mareas del Sol, se considera ahora incorrecta.

XIII. *On the Precession of a Viscous Spheroid, and on the remote History of the Earth.*
By G. H. DARWIN, M.A., Fellow of Trinity College, Cambridge.
Communicated by J. W. L. GLAISHER, M.A., F.R.S.

Received July 22,—Read December 19, 1878.

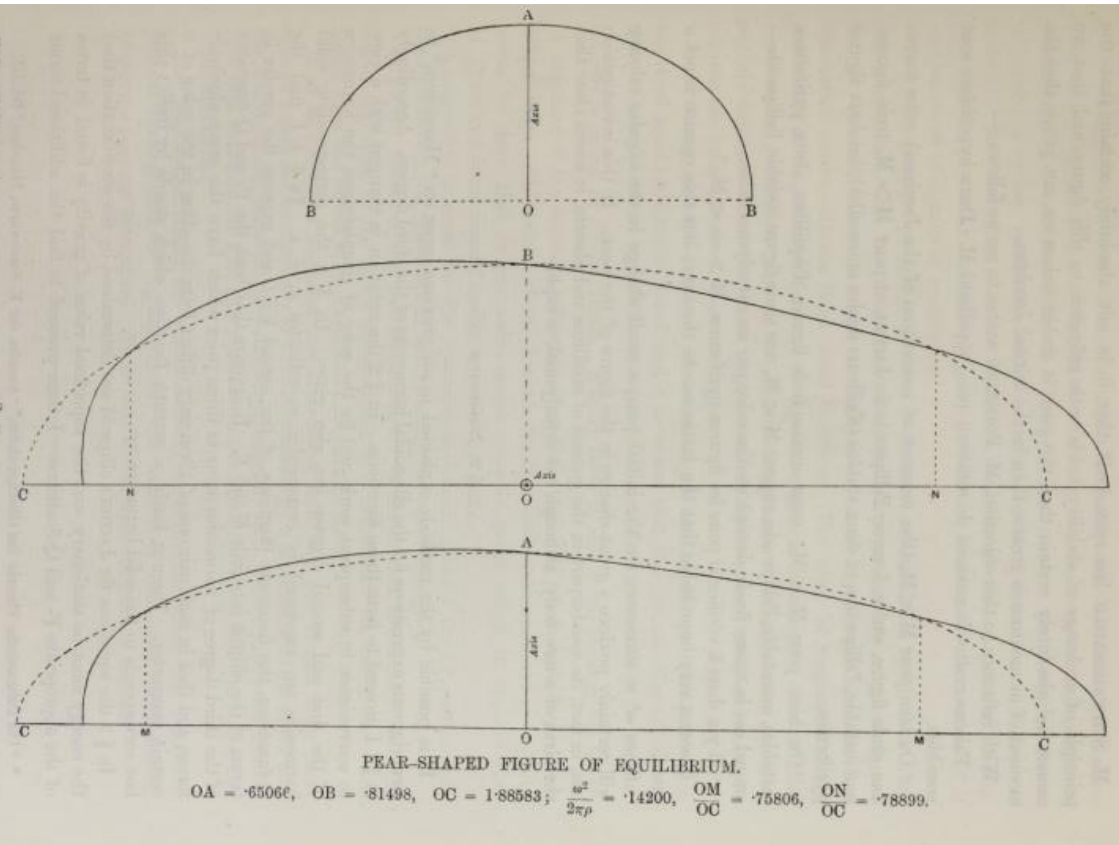


George Darwin: Great Tidal Bore (Darwin College, Cambridge)
Proyectada en una conferencia celebrada en el año 1897

VI. *On the pear-shaped Figure of Equilibrium of a Rotating Mass of Liquid.*

By G. H. DARWIN, F.R.S., Plumian Professor and Fellow of Trinity College, Cambridge.

Received October 21,—Read November 21, 1901.



En otros trabajos referidos a esa misma línea de investigación, incluyó en sus resúmenes algunos comentarios que merecen ser reproducidos: «en la discusión siguiente aceptaré el núcleo de la hipótesis nebular y examinaré que modificaciones son necesarias por la influencia del efecto de las mareas...», también contempló la posibilidad de que las excentricidades de las órbitas planetarias, fuesen debidas al mismo efecto. Además de las aportaciones en ese campo, contribuyó con diversas memorias al análisis de las figuras de equilibrio adoptadas por un líquido en rotación. Es sabido que durante un tiempo se pensó que dicha figura debería ser esferoidal, aunque investigaciones posteriores defendieran que la figura de equilibrio tendría forma de pera; un resultado al que llegaría también Darwin, pero partiendo de un punto de vista diferente: *On the pear-shaped Figure of Equilibrium of a rotating Mass of Liquid* (1901), publicado por la *Royal Society* en sus *Philosophical Transactions* (En el año 1910 lo incluyó en otra obra más general (527 pp): *Figures of Equilibrium of Rotating Liquid and Geophysical Investigations*). Una cuestión

más mecánica, a la que prestó la misma atención, fue el problema de los tres cuerpos, particularizado para el sistema orbital Sol-Tierra-Luna. A pesar de que hoy día hayan quedado superadas las conclusiones de Darwin, no ha de olvidarse que fue él quien por primera vez analizó matemáticamente la evolución de tal sistema.

THE TIDES

AND KINDRED PHENOMENA IN THE SOLAR SYSTEM

THE SUBSTANCE OF LECTURES DELIVERED
IN 1897 AT THE LOWELL INSTITUTE,
BOSTON, MASSACHUSETTS

BY

GEORGE HOWARD DARWIN

PLUMIAN PROFESSOR AND FELLOW OF TRINITY COLLEGE IN THE
UNIVERSITY OF CAMBRIDGE



BOSTON AND NEW YORK
HOUGHTON, MIFFLIN AND COMPANY
The Riverside Press, Cambridge
1899

47-137
20/12/99

El prestigio alcanzado por E.H. Darwin a finales del siglo XIX, hizo que fuese invitado, en 1887, por el Instituto Lowell de Boston, para impartir allí una serie de conferencias sobre *Las Mareas*; en ellas se apoyaría después para preparar su trabajo más reconocido, publicado en el año 1898 con el título *The Tides, and Kindred Phenomena In The Solar System*. En su preámbulo invitaba al lector a que se interesase por un fenómeno tratado en muchas obras de divulgación astronómica, aunque sin profundizar en los métodos de observación ni en la predicción de las mareas. Anunciándole que en los capítulos finales se abordarían cuestiones relacionadas con el origen y la historia del Sol y de otros sistemas celestes, «que, aunque no afecten a nuestra vida en la Tierra, difícilmente puede dejar de ser interesantes para todos aquellos cuyas mentes estén impregnadas, en algún grado, del espíritu científico». En él, además de dar una explicación general de la naturaleza de las mareas y de sus observaciones y predicciones, se ofrece una explicación muy asequible de todas sus teorías, combinado con acierto lo popular y lo científico. Veinte fueron los capítulos del libro, a saber: 1) Mareas y métodos de observación, 2) Seiches de los lagos, 3) Mareas en ríos-molinos de marea, 4) Bosquejo histórico, 5) Fuerza generatriz de la marea, 6) Desviación de la vertical, 7) La distorsión elástica de la

superficie terrestre por cargas variables, 8) La teoría del equilibrio en las mareas, 9) Teoría dinámica de la onda, 10) Mareas de lagos- Cartas de marea, 11) Análisis armónico de la marea, 12) Reducción de las observaciones de marea, 13) Las tablas de marea, 14) Grado de exactitud en la predicción de mareas, 15) Nutación de Chandler, la rigidez de la Tierra, 16 y 17) La fricción de marea, 18) La figura de equilibrio de una masa líquida en rotación, 19) La evolución de los sistemas celestes, 20) Los Anillos de Saturno. El texto fue iluminado con una serie de imágenes y tablas que facilitaron la comprensión del mismo.

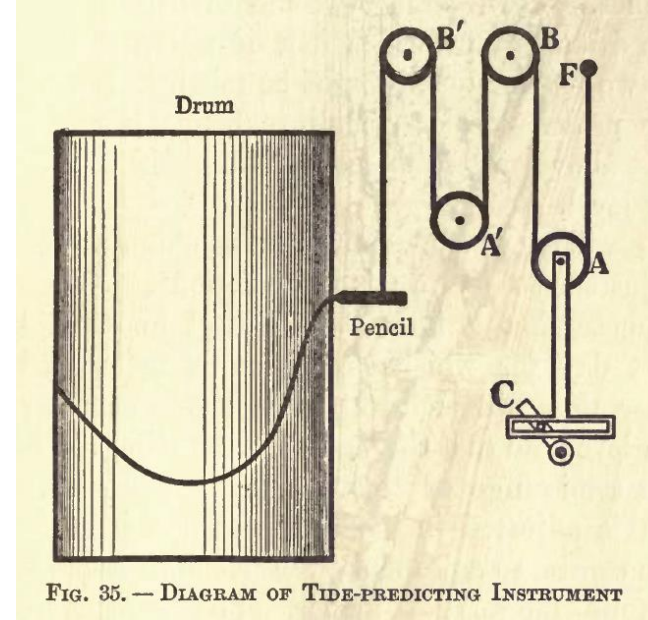


FIG. 35. — DIAGRAM OF TIDE-PREDICTING INSTRUMENT

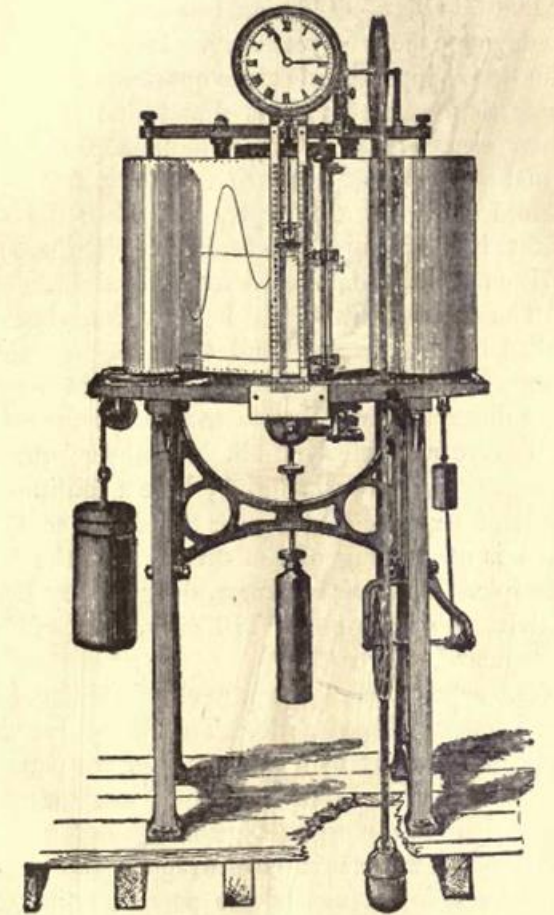


FIG. 4. — LÉON'S TIDE-GAUGE

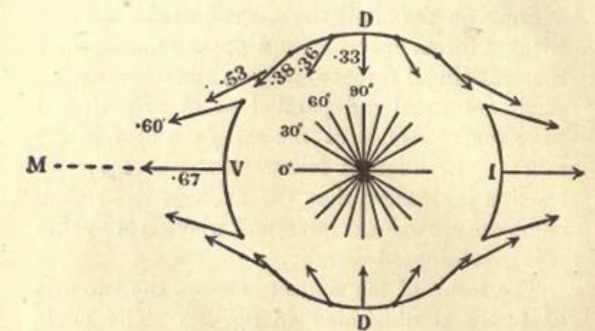


FIG. 22. — TIDE-GENERATING FORCE

E. H. Darwin ingresó en la Royal Society en 1879, ganado su medalla real en 1884 y la de Copley (la más prestigiosa de la R.S.) en 1911. Por iniciativa de la misma, en 1898, el gobierno inglés lo nombró su representante en la Asociación Geodésica Internacional, siendo elegido Vicepresidente en el año 1907, aunque la elección definitiva fuese confirmada en la siguiente asamblea de esa institución; se dio la circunstancia de que tuvo lugar precisamente en Londres atendiendo a la propuesta de Darwin. En esa asamblea intervino Darwin para referirse a la desviación de la vertical, supuestamente inducida por la atracción de la Luna y del Sol, recordando como él y su hermano Sir Horace Darwin (1851-1928), habían estado investigado a ese respecto durante más de 20 años.



Helmert revelaría poco después (*The Observatory, a monthly review of astronomy* . Vol. XXXI. October 1909. Nº 414.pp.375-378) que la invitación de Darwin la había formulado durante la asamblea anterior, celebrada en Budapest (1906). Las reuniones se celebraron en Londres y en Cambridge, siendo la primera vez que se reunió la asociación en la gran Bretaña. El inicio de la conferencia fue el 21 de septiembre, en la sede de la asociación de la Ingeniería Civil (Great George Street. Westminster), teniendo lugar las siguientes en la Escuela de Botánica de Cambridge, durante los días 28, 29 y 30.

LOS SOCIOS MÁS DISTINGUIDOS DE LA ROYAL SOCIETY

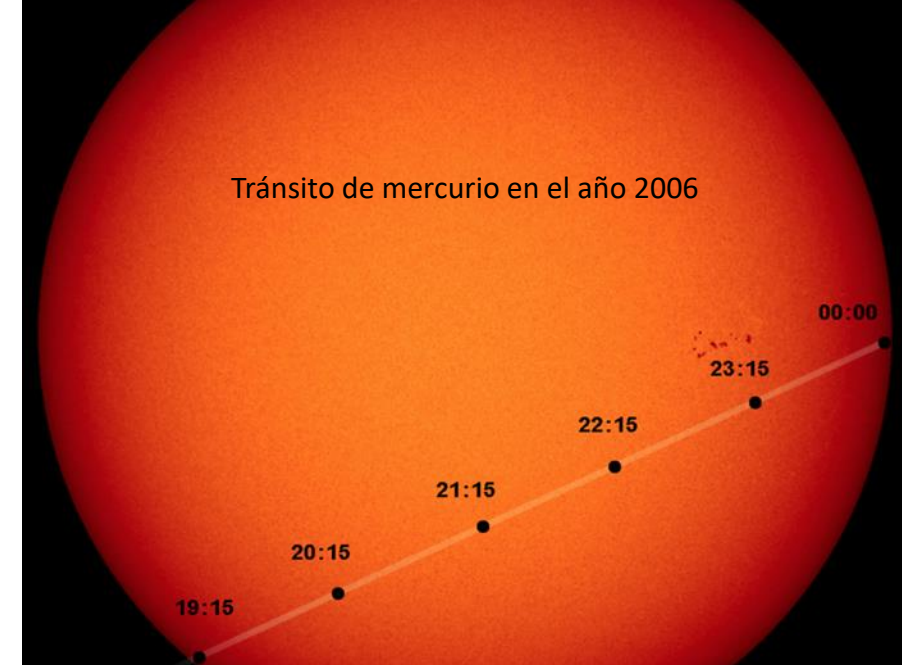


Jean-Baptiste Joseph Delambre (1749-1822)

Astrónomo y matemático que midió el meridiano de París y calculó su aplastamiento polar, contribuyendo así a la definición del metro y a la implantación del Sistema Métrico Decimal. Se educó con los jesuitas en su colegio de Amiens y después se trasladó a París para iniciar sus estudios universitarios, pero no pudo acceder a la universidad por sus problemas de visión; no obstante, sus conocimientos de idiomas le permitieron ampliar sus estudios de forma autodidacta, centrándose en las matemáticas por sus innatas habilidades para el cálculo. Aunque hacia 1771 se hiciese llamar abate de Lambre, con la llegada de la revolución cambió el nombre por Delambre para obviar cualquier atisbo aristocrático. Su interés por el griego le condujo a la astronomía clásica y posteriormente a la moderna, tras haber leído el tratado de Lalande. A raíz de ello comenzó a asistir a las clases que daba este en el Collège de France, con tanto aprovechamiento, que cuando Lalande necesitó un asistente, no dudo en pensar en él. Delambre aprovechó el instrumental, que le proporcionó su maestro para realizar una serie de observaciones astronómicas, que serían incorporadas en las nuevas ediciones del *Traité d'astronomie* (1792).

Una de las más interesantes fue la del tránsito de Mercurio, en 1786, pues Delambre perseveró a pesar de que a la hora prevista estaba nublado y consiguió verlo después, comprobando por tanto que las tablas correspondientes no eran del todo exactas. El resultado fue comunicado por Lalande a la academia de Ciencias, en una sesión a la que asistió el propio interesado, y en la que Laplace comentó los cálculos matemáticos que permitían deducir las perturbaciones por un planeta en la órbita de otro. Delambre quedó tan impresionado que decidió analizar la órbita de Urano para verificar la hipótesis de Laplace. Fruto de sus investigaciones fueron las Tablas de Júpiter y Saturno (1789), y las del Sol, Júpiter, Saturno, Urano y los satélites de Júpiter (1792); premiadas por la Academia de Ciencias en los años 1791 y 1792, debiendo subrayar el comentario tan elogioso que recibió: «astronome d'une telle sagesse et d'un tel courage, capable de reprendre 130 années d'observations astronomiques, d'en évaluer leurs insuffisances et d'en extraire une juste valeur ... ». Hay que recordar asimismo que todas las observaciones las efectuó en el observatorio que se había levantado en su propio domicilio. Se ignora si se produjo aquí la clásica reacción causa efecto, pero el caso es que Delambre ingresó en esa Academia en 1792, como geómetra asociado; convirtiéndose en su Secretario para las Ciencias Matemáticas, a partir del año 1800. A partir de entonces no dejó de crecer su prestigio, siendo reconocido por todos sus compañeros; Arago, por ejemplo, comentó a propósito de sus trabajos: «Al perfeccionar los métodos del cálculo astronómico, merece, por la variedad y elegancia de ellos, un lugar distinguido entre los matemáticos de los que puede presumir Francia».

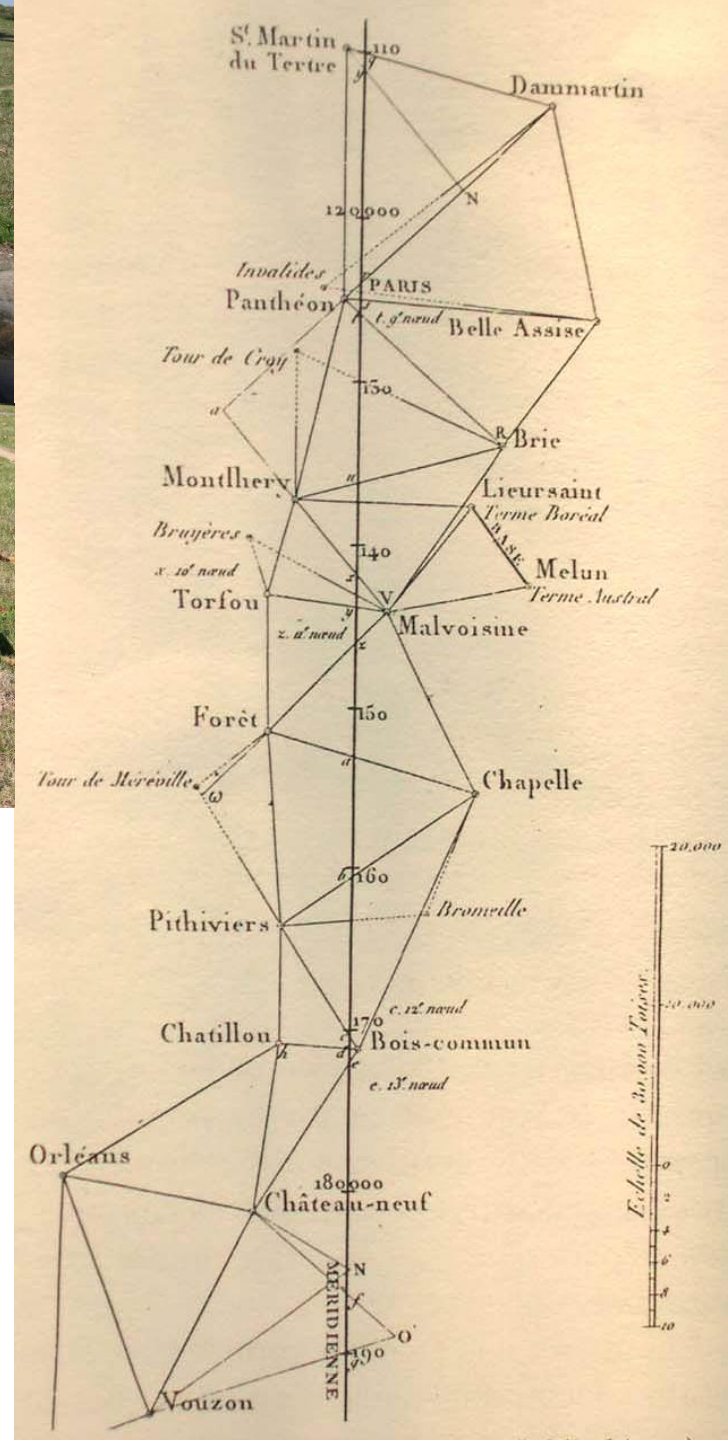
Unos años antes, en 1790, la Academia había creado una Comisión metrológica compuesta por Borda, Condorcet, Laplace, Legendre y Lavoisier para que elaborasen un informe sobre un nuevo sistema universal de pesos y medidas.





Después de algunos cambios de dirección, finalmente recomendó, en un informe del 26 de marzo de 1791, que el sistema se basara en un metro definido como una diezmillonésima parte de un cuarto del meridiano de la Tierra. El informe fue aprobado por la Asamblea Nacional una semana después y quedaba por calcular un valor más preciso de la longitud del meridiano. La Academia de Ciencias nombró a Méchain, Legendre y Dominique Cassini para llevar a cabo las mediciones necesarias. La tarea a la que se enfrentaban era la observación y cálculo de una triangulación geodésica extendida entre el arco de meridiano comprendido entre Dunkerque y Barcelona, el cual se dividió en dos sectores con Rodez como extremo común. Finalmente, los operadores de campo responsables fueron Delambre, al que se le asignó el arco más septentrional, y Méchain, encargado del tramo Rodez Barcelona; los trabajos se iniciaron en junio de 1792. Las dificultades que tuvieron que superar no solo fueron las esencialmente científicas, sino que también soportaron y superaron las impuestas por la revolución. Delambre fue arrestado en varias ocasiones y finalmente se vio en la necesidad de suspender la medición del arco durante dieciocho meses, hasta que pudo reiniciarla en mayo de 1795, triangulando el tramo entre Orleans-Bourges en ese año, Bourges-Evaux en 1796 , y Evaux-Rodez en 1797.

Paralelamente había determinado astronómicamente la latitud de Dunkerque, fijando su valor en diciembre de 1795, y medido la base de Lieusaint- Melun, entre abril y junio de 1798, cuya longitud resultó ser de 6075.90 toesas. De esa forma, Delambre pudo calcular los desarrollos del grado en distintos puntos del arco y obtener el valor del aplastamiento polar, comparando los primeros con el que había hallado Bouguer durante la expedición geodésica al virreinato de Perú. Tras realizar los oportunos cálculos, propuso la fracción $1/308.64$, definiendo el metro como 443.328 líneas (recuérdese que la toesa se dividía en 864 líneas), a tenor de la fórmula $m = 443.9271 - 27.70019 \alpha + 378.642 \alpha^2$. No obstante, para que la medida francesa fuese refrendada por un comité internacional de expertos se decidió crear otra Comisión, cuya primera reunión se celebró en noviembre de 1798. Sus cálculos del desarrollo del arco de meridiano medido arrojaron os resultados de 551583.765 toesas y 551583.512 toesas, decidiendo refrendar el valor medio de 551583.72 toesas; aunque Delambre propusiera un desarrollo definitivo de 551584 toesas. La Comisión fijó asimismo un aplastamiento de $1/334$, proponiendo la equivalencia entre el metro y las 443.296 líneas; de acuerdo con el dictamen de la misma resultaban para el cuarto de meridiano 5130740 toesas.





ALEGORÍA DE LA MEDIDA



GENIO ABARCANDO UN CUARTO DE MERIDIANO

BASE

DU SYSTÈME MÉTRIQUE DÉCIMAL,

OU

MESURE DE L'ARC DU MÉRIDIEN

COMPRIS ENTRE LES PARALLÈLES

DE DUNKERQUE ET BARCELONE,

EXÉCUTÉE EN 1792 ET ANNÉES SUIVANTES,

PAR MM. MÉCHAIN ET DELAMBRE.

Rédigée par M. Delambre, secrétaire perpétuel de l'Institut pour les sciences mathématiques, membre du bureau des longitudes, des sociétés royales de Londres, d'Upsal et de Copenhague, des académies de Berlin et de Suède, de la société Italienne et de celle de Gottingue, et membre de la Légion d'honneur.

SUITE DES MÉMOIRES DE L'INSTITUT.

TOME PREMIER.

PARIS.

BAUDOIN, IMPRIMEUR DE L'INSTITUT NATIONAL.

JANVIER 1806.



C. n.º 282. ^{bi}

Una vez recibidos los informes de Méchain, se procedió a la construcción de la barra de platino que debería servir de patrón lineal del nuevo sistema metrológico de carácter universal. Todos los pormenores del proyecto fueron publicados por Delambre en su voluminoso trabajo (cuatro volúmenes): *Base du système métrique décimal, ou Mesure de l'arc du méridien compris entre les parallèles de Dunkerque et Barcelone, exécutée est 1792 et années suivantes*. El primero de ellos se publicó en el año 1806, contándose que cuando se lo presentó a napoleón, este le dijo: «las conquistas van y vienen, pero este trabajo perdurará». El segundo volumen, publicado en 1807, expuso los datos para calcular con precisión las latitudes de Dunkerque y Barcelona. El tercer volumen de 1810 examinó los errores en los cálculos y la excentricidad de la Tierra. El cuarto volumen se publicó el año 1821, con el título *Recueil d'observations géodésiques, astronomiques et physiques, exécutées par ordre du Bureau des Longitudes de France, en Espagne, en France, en Angleterre et en Écosse, pour déterminer la variation de la pesanteur et des degrés terrestres sur le prolongement du Méridien de Paris, faisant suite au troisième volumen de la Base du Système Métrique, redigé par MM. Biot et Arago*; volumen que fue un sentido homenaje de los dos académicos, y posiblemente de la misma Academia, a los responsables de las trabajos de campo que lo hicieron posible.

El gran matemático Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830), que escribió el obituario de Delambre, opinaba a ese respecto que: «la importancia intrínseca de la empresa, las cuestiones astronómicas, geométricas y físicas que se han tenido que abordar, unidas a los célebres sabios franceses que la defendieron, permiten concluir que ninguna otra aplicación de las ciencias ha sido comparable a la de esta, ni presenta la misma exactitud, utilidad y grandeza. Esa ha sido la opinión de todas las

Copia del prototipo, basado en el metro provisional, colocado en diferentes lugares de París (1796-1797)



Academias europeas y el convencimiento del Instituto de Francia, tan solemnemente expresado».

Delambre contribuyó decisivamente al estudio de la geodesia histórica, aunque fuese de forma póstuma. En efecto, el astrónomo Guillaume Bigourolan (1851-1932) preparó para su edición un trabajo que tenía preparado aquel, al que había llamado *Histoire de la Mesure de la Terre*, y que vio la luz, en 1912, como *Grandeur et Figure de la Terre*. La presentación del libro fue una breve introducción, seguida de un apretado resumen de las antiguas medidas de la Tierra, desde Eratóstenes a Norwood. A continuación, se expuso el contenido, estructurado en los siete capítulos siguientes: I) Primera Medida del meridiano de Francia, II) Primera medida del arco de Laponia, III) Segunda medida del meridiano de Francia, IV) Primera medida del arco de Perú, V) Medida de diversos grados, entre 1750 y 1780, VI) Tercera medida del meridiano de Francia y VII) Medidas de grado posteriores a 1800. El editor advirtió al comienzo que las notas a pie de página llevarían sus iniciales G.B. salvo aquellas que hubiesen sido extraídas de la *Base du Système Métrique*, en las que figuraría Delambre.

J.-B.-J. DELAMBRE.



GRANDEUR ET FIGURE

DE LA TERRE.

OUVRAGE AUGMENTÉ DE NOTES, DE CARTES,
ET PUBLIÉ PAR LES SOINS

DE

G. BIGOURDAN,
MEMBRE DE L'INSTITUT.



PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE

DE L'OBSERVATOIRE DE PARIS ET DU BUREAU DES LONGITUDES,
Quai des Grands-Augustins, 55.

1912



El curriculum vitae de Delambre estuvo jalonado de importantes logros: en el año 1795 fue miembro fundador del Bureau des Longitudes, convirtiéndose en su presidente en 1800. Al año siguiente fue nombrado Secretario de la Academia de Ciencias, convirtiéndose en una de las figuras científicas más influyentes de Francia. En el año 1807 fue nombrado catedrático de Astronomía, en el Colegio de Francia, sintiendo el legítimo orgullo de haber sucedido a su maestro Lalande (fallecido en ese mismo año). En 1809 le concedió la Academia de Ciencias el premio a la mejor publicación de la última década, por sus trabajos sobre el Sistema Métrico; el concurso se convocó a instancias de Napoleón, que quiso recompensar así tan brillante trayectoria. Napoleón lo hizo también Caballero de la Legión de Honor en 1804, la investidura se produjo en el *Hôtel National des Invalides*.



DELAMBRE

La última etapa de su vida profesional la dedicó a escribir sobre la historia de las matemáticas y de la astronomía. En febrero de 1808 leyó en el Instituto de Francia su *Rapport historique sur les progrès des sciences mathématiques depuis 1789*, publicada después en 1810. Igual de notable fue su contribución a la historia de la astronomía, que publicó en cuatro volúmenes: *Histoire de l'astronomie ancienne* (1817), *Histoire de l'astronomie moderne* (Dos tomos.1821), e *Histoire de l'astronomie au dix-huitième siècle* (1827); este último a título póstumo, preparado por el matemático y astrónomo Claude-Louis Mathieu. Delambre pretendió crear una especie de repositorio donde se pudieran encontrar ideas, métodos y teoremas que han servido sucesivamente para el análisis de los fenómenos.

← Detalle del Monument aux Illustrations picardes (1877), erigido en Amiens (la ciudad natal de Delambre)

RAPPORT HISTORIQUE

SUR LES PROGRÈS

DES SCIENCES MATHÉMATIQUES

DEPUIS 1789,

ET SUR LEUR ÉTAT ACTUEL;

Présenté à SA MAJESTÉ L'EMPEREUR ET ROI, en son Conseil d'état, le 6 Février 1808, par la Classe des Sciences physiques et mathématiques de l'Institut, conformément à l'arrêté du Gouvernement du 13 Ventôse an X;

RÉDIGÉ par M. DELAMBRE, Secrétaire perpétuel de la Classe pour les Sciences mathématiques.

IMPRIMÉ PAR ORDRE DE SA MAJESTÉ.



A PARIS,

DE L'IMPRIMERIE IMPÉRIALE.

M. DCCC. X.



René Descartes (1596-1650)

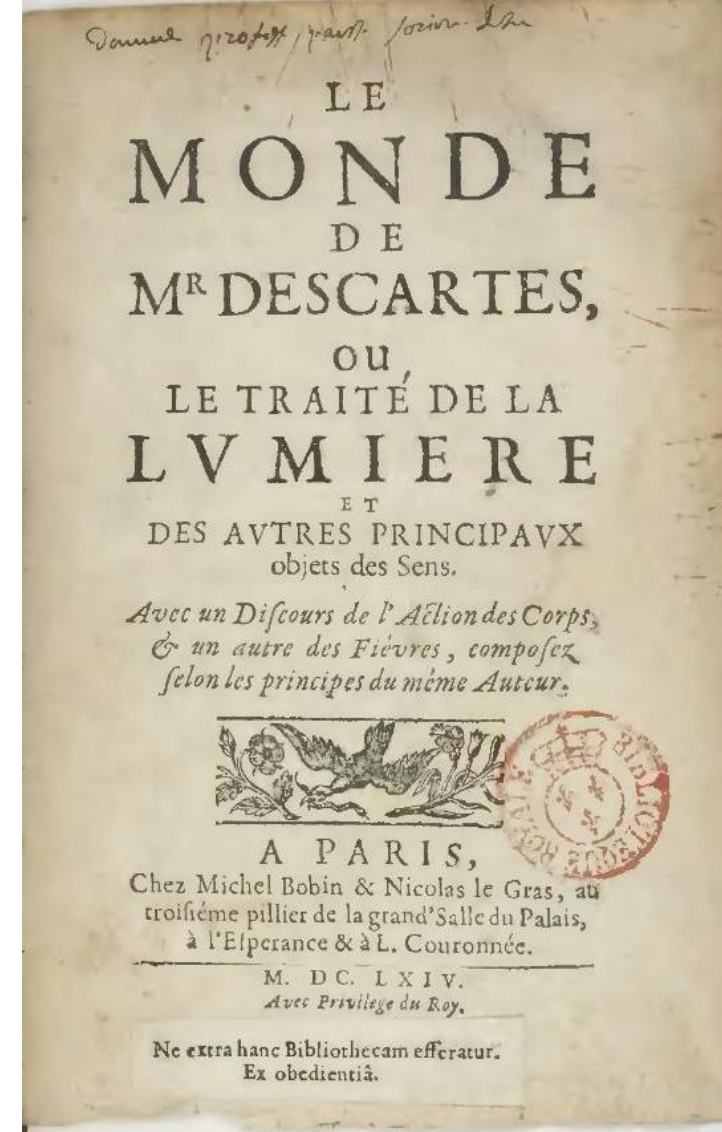
Filósofo para el que las matemáticas eran la única cosa cierta, con él se inició el estudio de la geometría analítica. Sus primeros estudios los hizo en el Real Colegio de La Flèche, dirigido por los jesuitas, en donde demostró tener talento para las ciencias; aunque luego obtuviese la licenciatura de derecho en la Universidad de Poitiers (1616). Sin embargo, optó por incorporarse al ejército, aprovechando esa circunstancia para viajar por Europa; al parecer, nunca le gustaron demasiado las letras, a tenor de lo que escribió en su obra más reconocida (*Discours de la méthode pour bien conduire sa raison, et chercher la vérité dans les sciences*.1637): « Abandoné por completo el estudio de las letras, resolviendo no buscar otro conocimiento que el que pudiera encontrarse en mí mismo o en el gran libro del mundo. Pasé el resto de mi juventud viajando, visitando cortes y ejércitos, mezclándome con personas de diversos temperamentos y rangos, reuniendo diversas experiencias, probándome en las situaciones que la fortuna me ofrecía, y en todo momento reflexionando sobre lo que se me presentaba para obtener algún beneficio de ello». En el año 1628 decidió trasladarse a Holanda, buscando un lugar tranquilo, para poder trabajar lejos de la sociedad parisina; no obstante, siempre seguiría en contacto con el filósofo y sacerdote francés Marin Mersenne (1586-1648).



Grabado por Julius Rebel

DESCARTES

Poco después de establecerse en Holanda, Descartes comenzó a escribir su primer tratado importante sobre la física: *Le Monde, ou Traité de la Lumière*, pues así se lo comunicó a M. Marsenne en octubre de 1629: «es el tema que he estudiado más que cualquier otro y en el que, gracias a Dios, no he perdido el tiempo del todo. Al menos creo que he encontrado cómo probar verdades metafísicas de una manera que es más evidente que las pruebas de la geometría; en mi opinión, es decir: no sé si podré convencer a otros de ello. Durante mis primeros nueve meses en este país no trabajé en nada más». Al parecer para el año 1633 ya lo había ultimado, pero al enterarse del arresto domiciliario de Galileo temió que pudiera causarle problemas y nunca quiso hacerlo público; de hecho, al final fue una obra póstuma que no se editó en su totalidad hasta el año 1664. En esa primera ocasión, se presentó el texto desarrollado a lo largo de catorce capítulos, siendo reseñables en este contexto los siguientes: V) Reducción de los cuatro elementos a tres, con su explicación y establecimiento; VI) Descripción de un mundo nuevo, muy fácil de conocer...; VII) Porqué ley y porqué medios, las partes del mundo se sacan de ellas mismas, fuera del caos, y de la confusión en que estaban; VIII) Como se forman en el mundo los cielos, el Sol y las estrellas; IX) Origen, curso y otras propiedades de los cometas y planetas en general...; X) Explicación de los planetas y principalmente de la Tierra y la Luna; XI) Lo que es la gravedad; XII) Flujo y reflujo del mar; XIII) En qué consiste la luz; XIV) Las propiedades de la luz; XV) La manera en que el Sol y las estrellas actúan sobre nuestros ojos. Descartes tomó partido por el nuevo modelo de Copérnico, aunque el temor a la inquisición le pudo impedir defender la rotación diaria de la Tierra sobre su eje.



CHAP. VIII.

Comment dans le Monde auparavant décrit, il se formera un Soleil & des Etoiles.

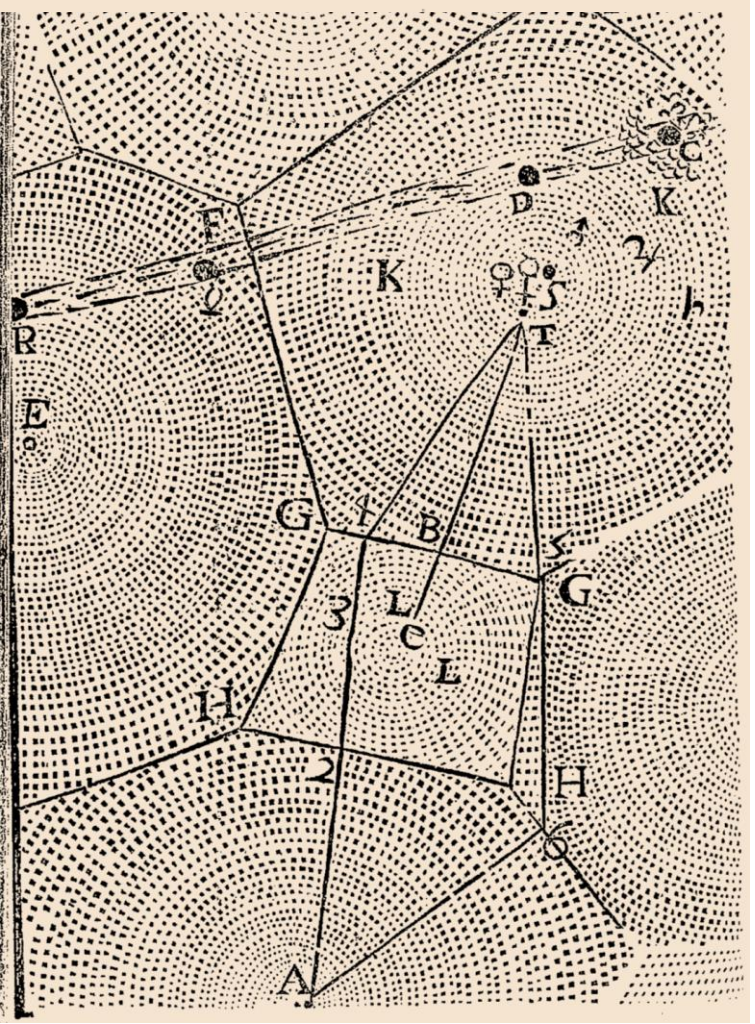


Ilustración de los torbellinos de Descartes

El mismo Descartes explicó lo que pretendía con su Tratado de la Luz: «Mi designio era incluir en él todo lo que creía saber sobre la naturaleza de los objetos materiales, pero temiendo no poder comprenderlo todo, resolví exponer mis opiniones sobre la luz, para aprovechar la oportunidad de agregar algo sobre el Sol y las estrellas fijas, pues de ellos procede la luz... que la transmiten a los planetas, cometas y Tierra, ... y finalmente sobre el hombre, ya que es espectador... A esto agregué mucho respecto a la sustancia, la situación, los movimientos y las cualidades de los cielos y las estrellas. He venido a hablar de la Tierra, a mostrar cómo sus partes tienden hacia su centro, cómo, con el agua y el aire en su superficie, la disposición de los cuerpos celestes, especialmente la Luna, debe provocar un flujo y un reflujo... Sin embargo, no estaba dispuesto a concluir que este mundo había sido creado de la manera que describí; porque es mucho más probable que Dios lo haya hecho al principio tal como debía ser. Sólo hablé de lo que sucedería en un mundo nuevo, si Dios creara ahora en algún lugar materia suficiente para componer uno, y agitara confusamente las partes de modo que se produjera un caos, y después de eso permitiera que la naturaleza actuara de acuerdo con las leyes que Él había establecido. Señalé cuáles son las leyes de la naturaleza y luego mostré cómo la mayor parte de la materia en este caos debe, de acuerdo con estas leyes, disponerse para presentar la apariencia de los cielos, cómo algunas partes deben componer una Tierra y algunos planetas. y cometas, y otros un Sol y estrellas fijas».

La obra más conocida de Descartes fue su *Discours De La Méthode pour bien conduire sa raison et chercher la vérité dans les sciences, plus La Dioptrique, Les Meteores et La Geometrie, qui sont des essais de cette Methode* (1637). Fue publicado en francés, cuando todavía el latín era el idioma científico, siendo el núcleo del mismo las matemáticas; para él lo único seguro y el medio de adquirir el conocimiento, mejor que la lógica aristotélica. Descartes intentó probar con los dos primeros ensayos que su Método era mejor que el vulgar y creyó haberlo conseguido con el tercero. La *Dioptrique* fue un trabajo dedicado a la óptica, sin aportar demasiadas novedades, aunque fuese notable su llamada a la experimentación. En cuanto a los *Météores*, se trata de unas lecciones de Meteorología en las que intentó estudiar el tiempo bajo un prisma científico; aunque se deslizaran errores que podría haberlos superado con algunos sencillos experimentos. Uno de ellos se refirió a la creencia de que el agua hervida se congelaba más rápidamente, lo cual ya había sido negado por Roger Bacon tres siglos antes, «... y vemos por experiencia que el agua que se ha mantenido en un fuego durante algún tiempo se congela más rápidamente que de otra manera, la razón es que aquellas de sus partes que se pueden plegar y doblar más fácilmente se expulsan durante el calentamiento, dejando solo aquellas que son rígidas».

DISCOURS
DE LA METHODE

Pour bien conduire sa raison, & chercher
la verité dans les sciences.

PLUS
LA DIOPTRIQUE.
LES METEORES.
ET
LA GEOMETRIE.

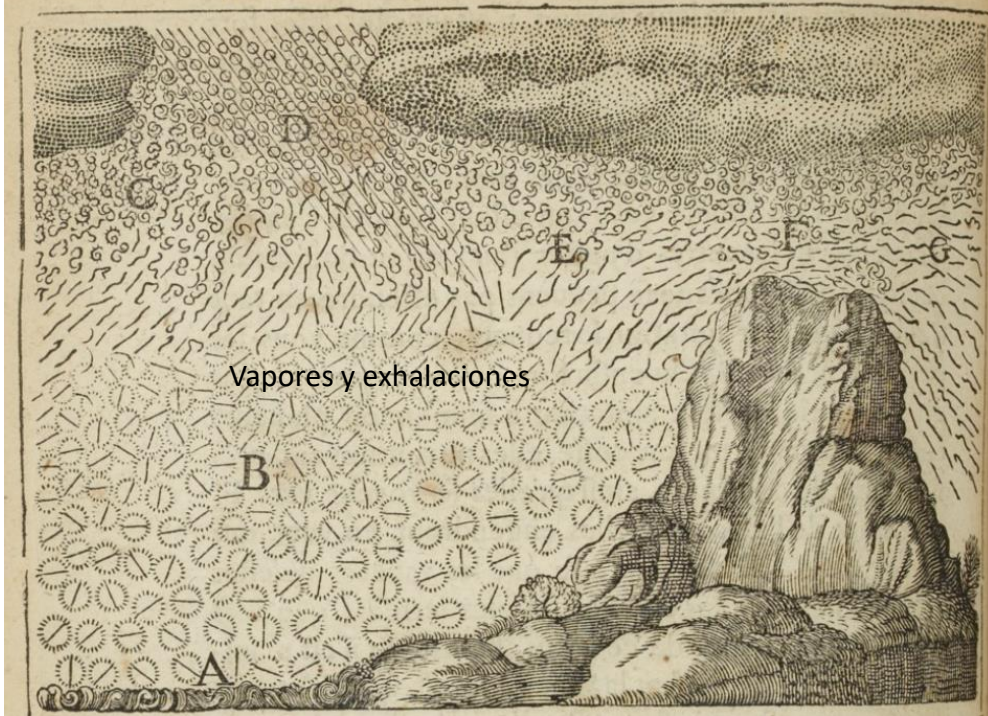
Qui sont des essais de cete METHODE.



A LEYDE
De l'Imprimerie de IAN MAIRE.

C I O I O C X X X V I I I .

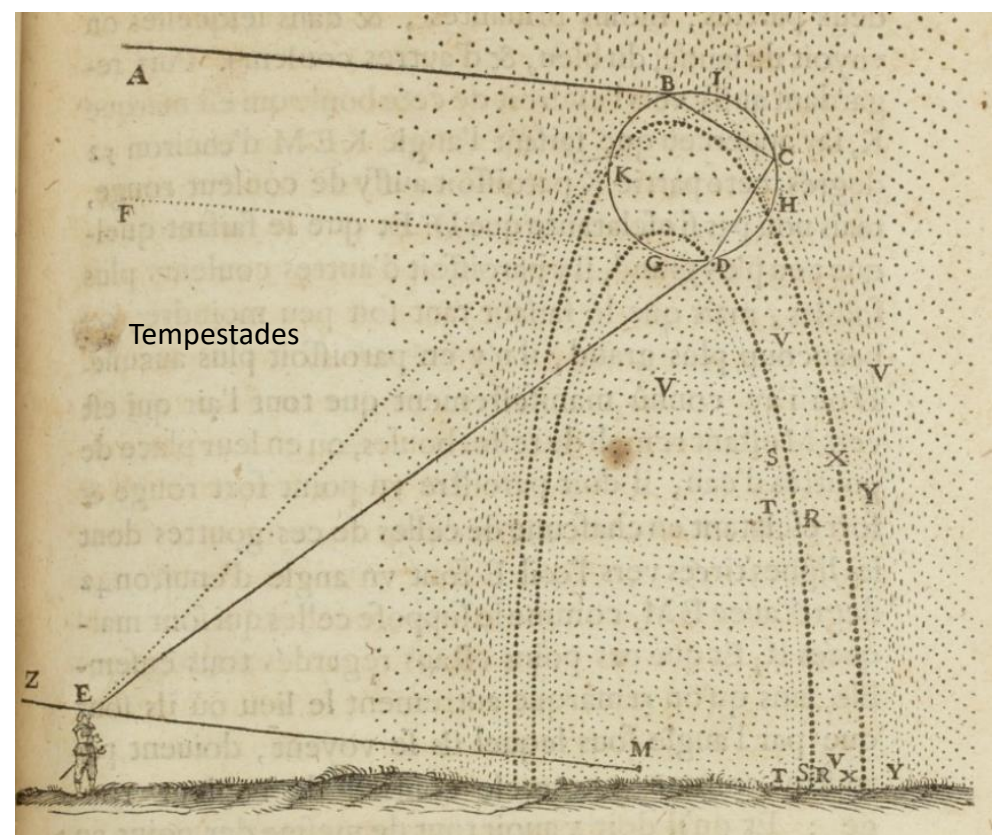
Avec Privilège.



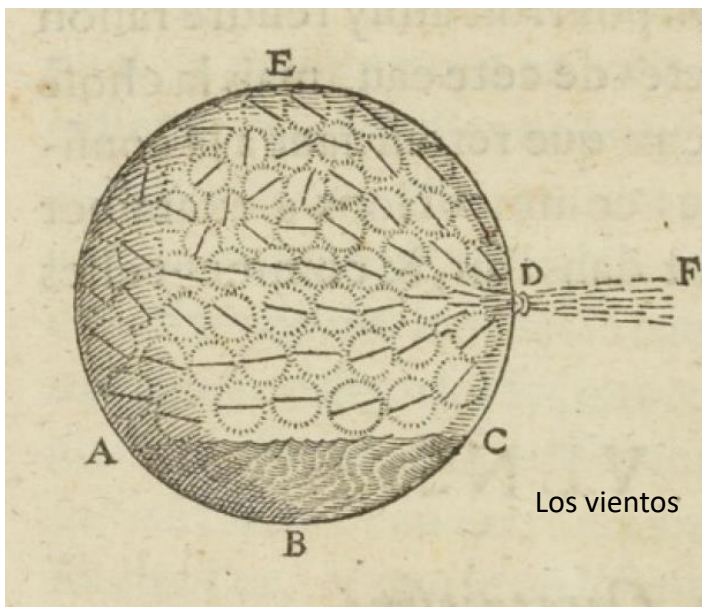
Vapores y exhalaciones



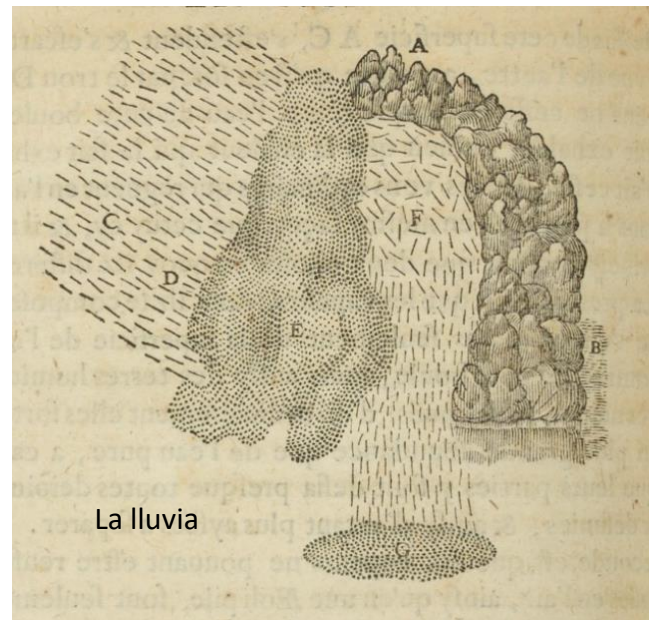
El Sol y la Tierra



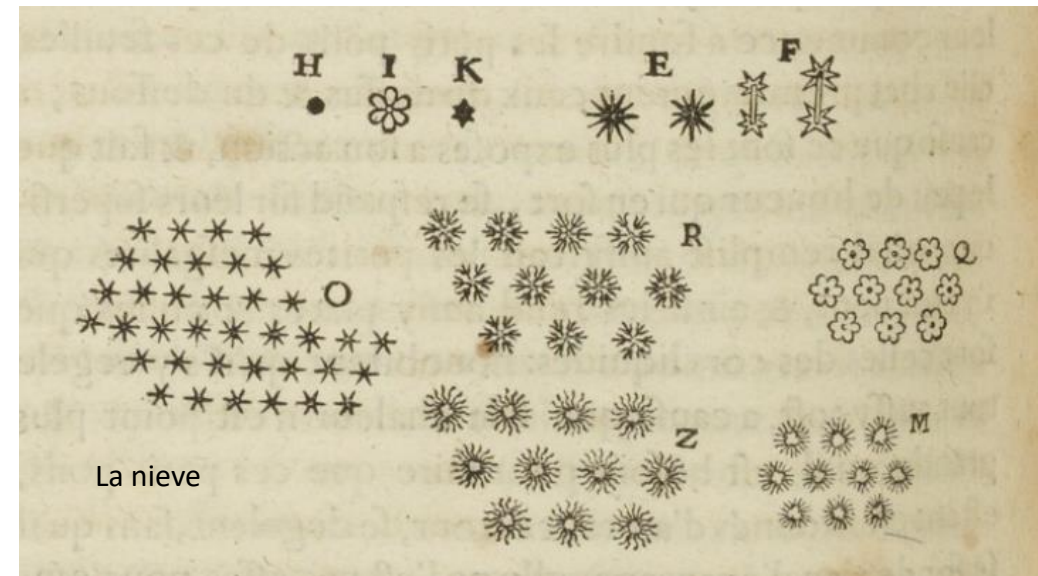
Tempestades



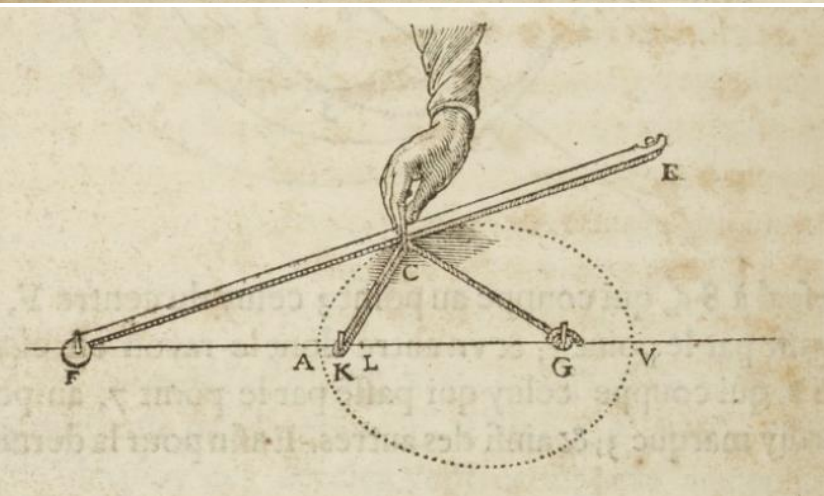
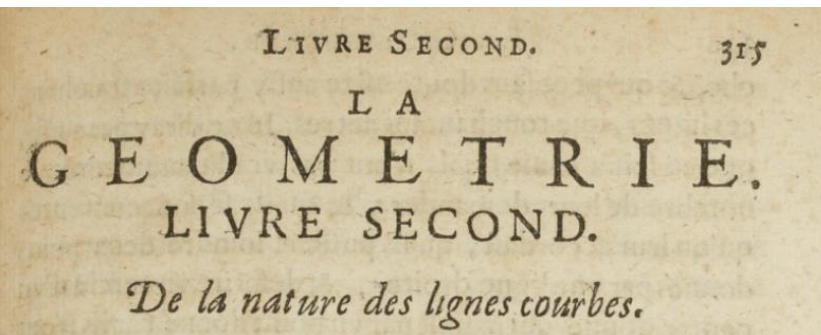
Los vientos



La lluvia



La nieve



La Geometría del Método, fue con diferencia la contribución científica de más valor y el único trabajo esencialmente matemático que publicó. En la introducción de su libro primero afirmaba Descartes que «todos los problemas de geometría pueden reducirse fácilmente a tales términos que el conocimiento de la longitud de ciertas líneas rectas es suficiente para construirlos», explicando luego como la geometría, podía combinarse con la aritmética y el algebra para resolver también problemas. Explicó asimismo como operar con segmentos y el medio de hallar gráficamente las raíces de las ecuaciones. En caso de disponer de varias ecuaciones, señaló el procedimiento a seguir: «si hay varias, debemos usar cada una en orden, ya sea considerándola sola o comparándola con las demás, para obtener un valor para cada una de las rectas desconocidas y así debemos combinarlas hasta que quede una sola recta desconocida, la cual es igual a alguna recta

conocida, o cuyo cuadrado, cubo, cuarta potencia, quinta potencia, sexta potencia, etc., es igual a la suma o diferencia de dos o más cantidades, una de las cuales es conocida, mientras que las otras consisten en medias proporcionales entre la unidad y este cuadrado, o cubo, o cuarta potencia, etc., multiplicado por otras rectas conocidas. Puedo expresar esto de la siguiente manera:

$$z=b, \text{ o } z^2 = b^2 -az, \text{ o } z^3 = az^2 +b^2z -c^3, \text{ etc.}$$

esto es, z , la cual he tomado como unidad, es igual a b ; o, el cuadrado de z es igual al cuadrado de b disminuido en a multiplicado por z ; o, el cubo de z es igual a a multiplicado por el cuadrado de z , más el cuadrado de b multiplicado por z , disminuido por el cubo de c , y análogamente para otros».

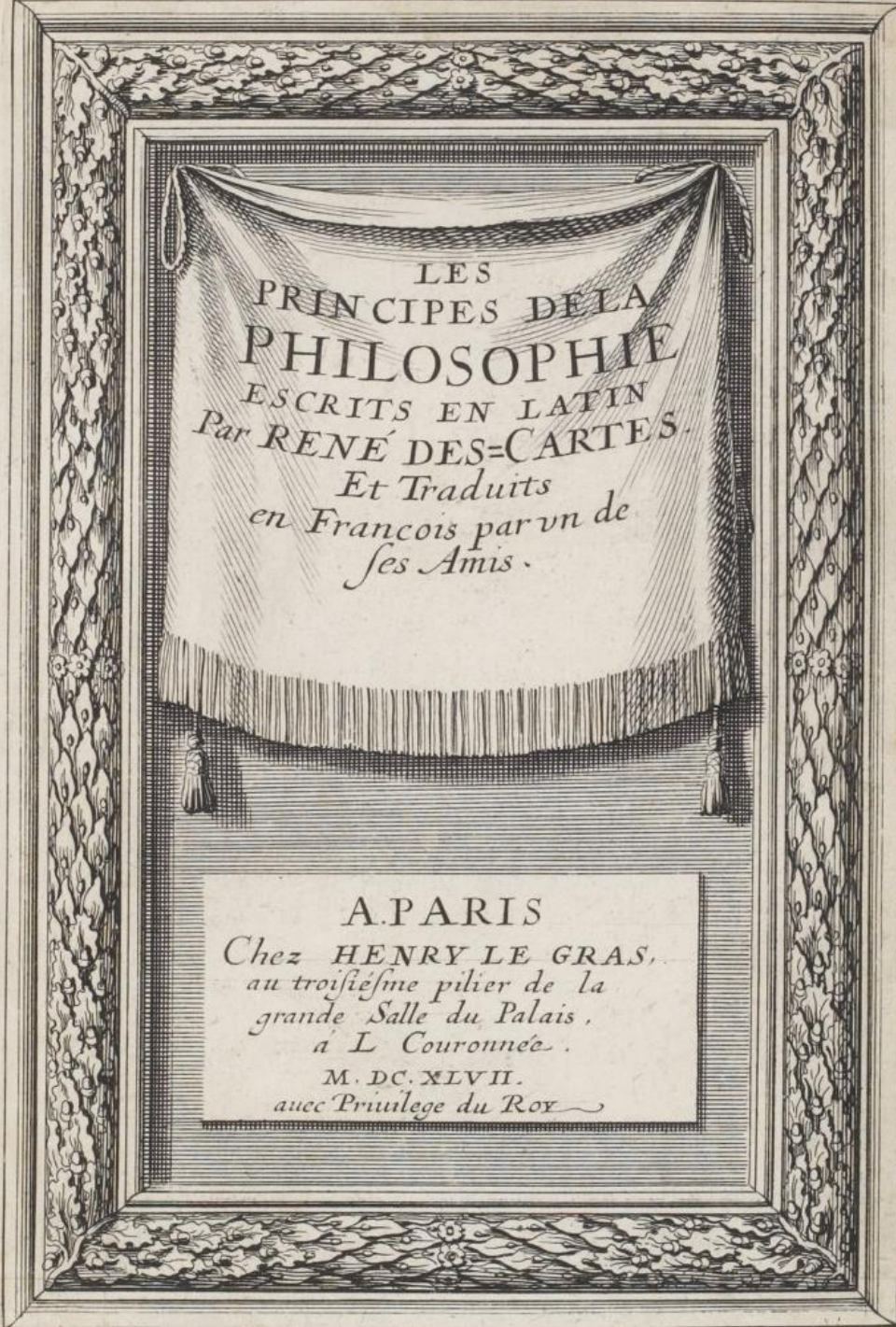
La obra más completa de Descartes, *Principia Philosophiæ*, se publicó en Ámsterdam en 1644, y fue básicamente una síntesis del Discurso del método y de sus Meditaciones metafísicas (*Meditationes de prima philosophia, in qua Dei existentia et animæ immortalitas demonstrantur*). Con ella presentó un modelo filosófico que pretendía sustituir al aristotélico, impartido por entonces en las universidades, al introducir un sustento matemático que transformase su estudio en otro mecánico. La teoría cartesiana, a pesar de sus limitaciones, fue defendida en Francia después de que Newton demostrase la imposibilidad de ese sistema dinámico. Como dijo el físico escocés Sir David Brewstwer (1781-1868), en su biografía del sabio inglés, «arraigado como estaba el sistema cartesiano... no era de extrañar que las doctrinas puras y sublimes de los Principia fueran recibidas con desconfianza... La mente no instruida no podía admitir fácilmente la idea de que las grandes masas de los planetas estaban suspendidas en el espacio vacío, y retenían sus órbitas por una influencia invisible». La versión francesa se la encargó Descartes al abate Claude Picot (1614-1668), para la que preparó un prólogo: «Carta del autor al traductor del libro, que puede ser utilizada como prefacio»; fue publicada en París (1647).

Renati
RENATI
DESCARTES
PRINCIPIA
PHILOSOPHIÆ.



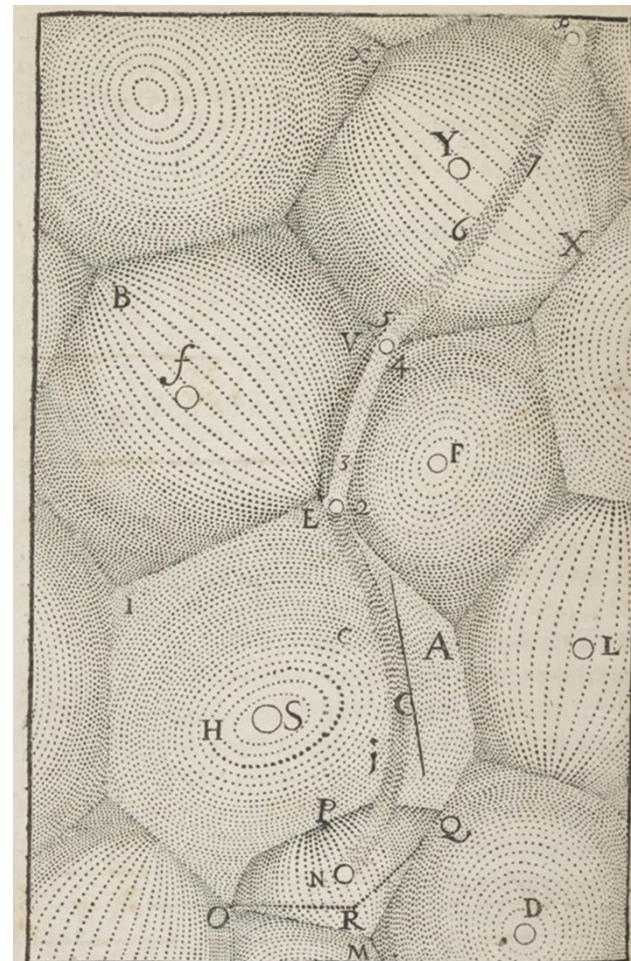
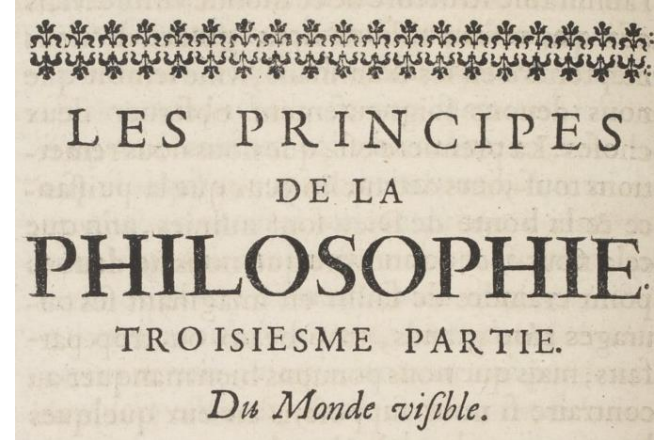
AMSTELODAMI,
APUD LUDOVICUM ELZEVIRIUM,
ANNO MDCLXIV.
Cum Privilegio.

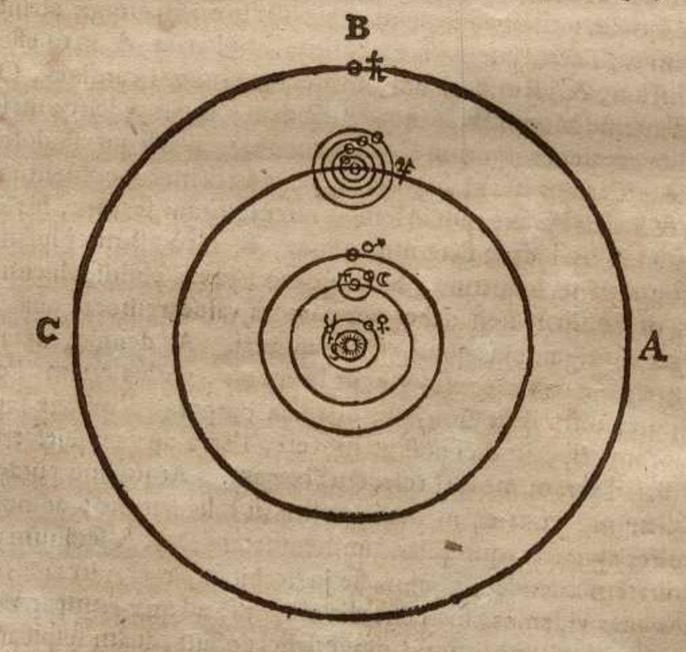
Ne extra hanc Bibliothecam efferatur. Ex obedientiâ.



El libro se dividió en cuatro partes, a saber: I) Sobre los principios del conocimiento humano, II) Sobre los principios de las cosas materiales, III) Sobre el mundo visible y IV) Sobre la Tierra. El propio Descartes así lo manifestaba en el prólogo citado: «...Y en fin, cuando juzgué que estos tratados anteriores habían preparado suficientemente el espíritu de los lectores para recibir los Principios de la Filosofía, los he publicado también y dividí este libro en cuatro partes, de las cuales la primera contiene los principios del conocimiento y se puede llamar la filosofía primera, o bien la metafísica: razón por la cual, a fin de entenderla bien, es pertinente leer antes las Meditaciones que escribí sobre el mismo tema. Las otras tres partes contienen todo lo que hay de más general en la física, a saber, la explicación de las primeras leyes o principios de la naturaleza y del modo en que están compuestos los cielos, las estrellas fijas, los planetas, los cometas y el universo en general; después, en particular (la explicación) de la naturaleza de esta Tierra y del aire, del agua, del fuego, del imán que componen los cuerpos que puede uno encontrar más comúnmente por todas partes alrededor de ella, y la de todas las cualidades que se advierten en estos cuerpos, tales como la luz, el calor, el peso, y otras semejantes; y mediante esto, pienso haber empezado a explicar toda la filosofía en orden, sin haber omitido ninguna de las cosas que deben explicarse antes de las últimas que he descrito».

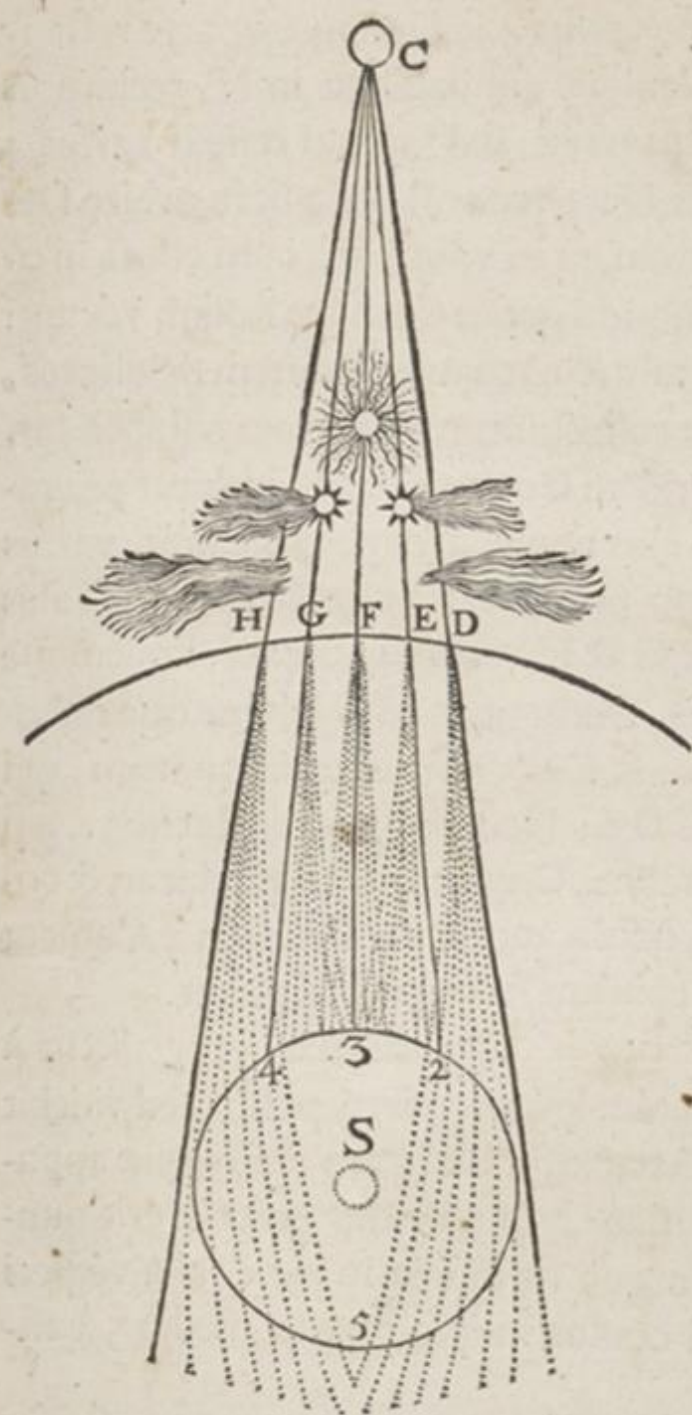
Los vórtices cartesianos fueron la piedra angular de su filosofía, el vórtice no era más que una gran banda circular de partículas materiales. Sobre ellas se situarían las trayectorias de planetas y cometas, aunque Descartes intentase explicar con su teoría todos los fenómenos celestes. Todo el modelo cartesiano está compuesto por una red de vórtices separados y entrelazados. En nuestro sistema solar, por ejemplo, la materia dentro del vórtice se ha configurado como un conjunto de bandas estratificadas, cada una de las cuales alberga un planeta, que gira alrededor del Sol a diferentes velocidades. Las bandas están formadas por partículas materiales diminutas, como glóbulos del tamaño de un átomo (materia secundaria), o en desechos infinitesimales (materia primaria) que son restos del impacto y fractura de los elementos más grandes; la materia terciaria, por el contrario, se refiere al material macroscópico. Tal división de la materia en tres partes, está presente en todos los fenómenos cosmológicos del sistema, incluida la gravedad. Descartes explicaba esta del modo siguiente: un planeta o cometa llega a descansar en una banda de vórtice cuando su tendencia hacia afuera dirigida radialmente, para alejarse del centro de rotación, se equilibra con una tendencia igual en partículas diminutas que componen el anillo de vórtice. Contrariamente, si el planeta tiene una tendencia centrífuga mayor o menor que los elementos pequeños en un vórtice particular, entonces, respectivamente, ascenderá al vórtice superior (y posiblemente alcanzará el equilibrio con las partículas en esa banda) o será empujado hacia abajo hasta el vórtice inferior. La gravedad terrestre fue explicada por descartes de forma análoga, a partir de las partículas diminutas que rodearían a la Tierra.

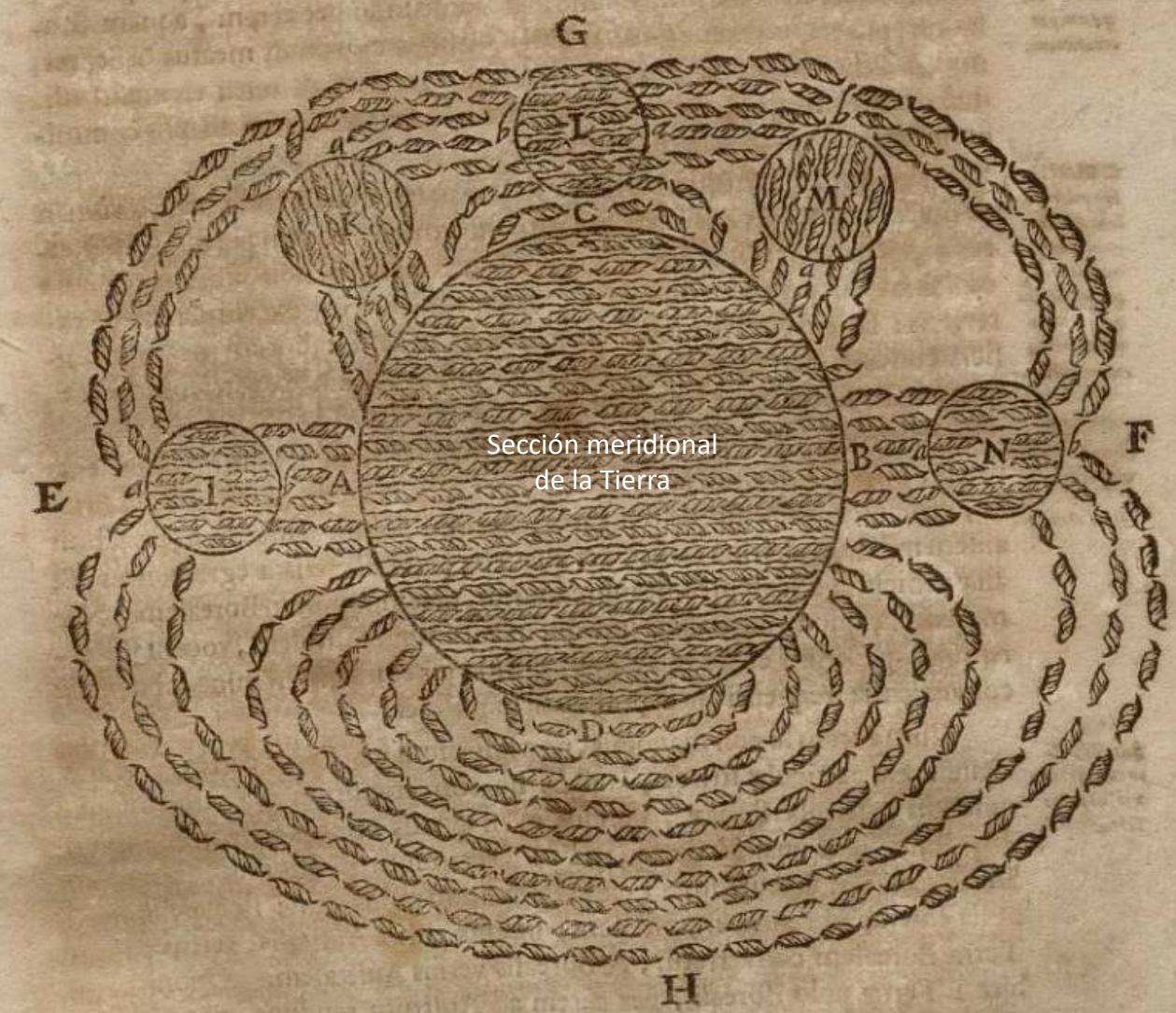




Descartes fue mucho más concreto cuando se refirió al sistema solar, en esa misma tercera parte de sus principios, indicando que, aunque la Tierra fuese aparentemente de mayor tamaño que los demás cuerpos del cosmos y que tanto la Luna como el Sol parecieran más grandes que las estrellas, vistos realmente no eran así. Apuntaba entonces que la distancia de la Tierra a la Luna era de unos treinta diámetros terrestres y que la de la del Sol debería ser de seis o setecientos: «... y

comparando seguidamente esas distancias con el diámetro real de la Tierra, y los aparentes de la Luna y del Sol, concluiremos que la Luna es más pequeña que la Tierra y que el Sol es bastante más grande». Más adelante indicaba que «Mercurio distaba del Sol más de doscientos diámetros de la Tierra, Venus más de cuatrocientos, marte novecientos o mil, Júpiter de tres mil en adelante y Saturno como seis mil. Referente a las estrellas fijas, por su apariencia se diría que están más cerca de la Tierra o del Sol, qué de Saturno, pero tampoco hay mucho que nos impida suponerlas a una distancia inconmensurable; de manera que, en lo tocante a los movimientos de los cielos, están tan alejadas de la Tierra, que Saturno, en comparación con ellas, está extremadamente próximo». También explicaba la visión de los cometas, incluyendo la disposición de su cola, desde diferentes posiciones de la Tierra sobre su órbita circular alrededor del Sol.





En la cuarta parte de los Principios abordó Descartes el estudio del magnetismo, tanto celeste como terrestre, presentando la primera representación gráfica del segundo; la cuestión revistió especial importancia, ya que durante mucho tiempo fue el paradigma de los poderes ocultos. aunque Descartes reconociese la labor experimental de W. Gilbert, enfocó su estudio como un suceso mecánico causado por el movimiento de pequeñas partículas helicoidales que circulaban a través de poros paralelos en imanes: « a través del polo Sur (A), a través del polo Norte (B), y luego a través del espacio alrededor del imán (G, H) de regreso al polo Sur». Cuando tales partículas se aproximaban a un trozo de hierro, pasaban por sus poros y causaban la fuerza magnética; se trataba según él de un torrente de corpúsculos que salían del cuerpo magnético, cuya forma resultaría determinante para que se produjera la

atracción o la repulsión. Descartes creía que los planetas también eran magnéticos, al igual que las estrellas, describiendo como estas podrían llegar a colapsar cuando se llenaran de manchas análogas a las solares. Al extinguirse la estrella, sería atraída por un vórtice próximo y orbitar su estrella central como si se tratara de un planeta. Esos planetas, como la Tierra, llevan la huella magnética de sus orígenes estelares, al poseer canales axiales entre sus polos magnéticos acomodados a las partículas helicoidales dextrógiras o levógiras.

SOBRE LOS PRINCIPIOS DEL CONOCIMIENTO HUMANO

No se debe intentar la comprensión de lo infinito, sino que sólo se debe pensar que todo aquello en lo que no encontramos límites, es indefinido.

De este modo no nos veremos nunca envueltos en las disputas acerca de lo infinito, pues sería ridículo que nosotros, siendo finitos, intentásemos determinar algo infinito y, de esta forma, suponerlo finito, pues intentamos comprenderlo. Por tal razón, no pretenderemos dar respuesta a quienes se cuestionan si la mitad de una línea finita es infinita, si el número infinito es par o impar, o bien otras cuestiones semejantes, puesto que sólo quienes se imaginan que su ingenio es infinito parecen ser los que estiman que tales dificultades han de ser analizadas. Nosotros, viendo cosas en las que, en cierto sentido, no apreciamos límites, no aseguraremos que sean infinitas por tal razón, sino que simplemente las consideraremos indefinidas.

Un Arcángel revela la naturaleza física del universo a un grupo de filósofos, físicos y matemáticos (Pintura de James Barry. 1795). En la parte superior (de izquierda a derecha): Sir Francis Bacon, Copérnico, Galileo (con un telescopio), Newton, el arcángel y un ángel. En el lado inferior: Tales de Mileto, con un rollo en el que figuran diagramas cosmológicos y geométricos; Descartes, con un libro; Arquímedes, Grosseteste y Roger Bacon.



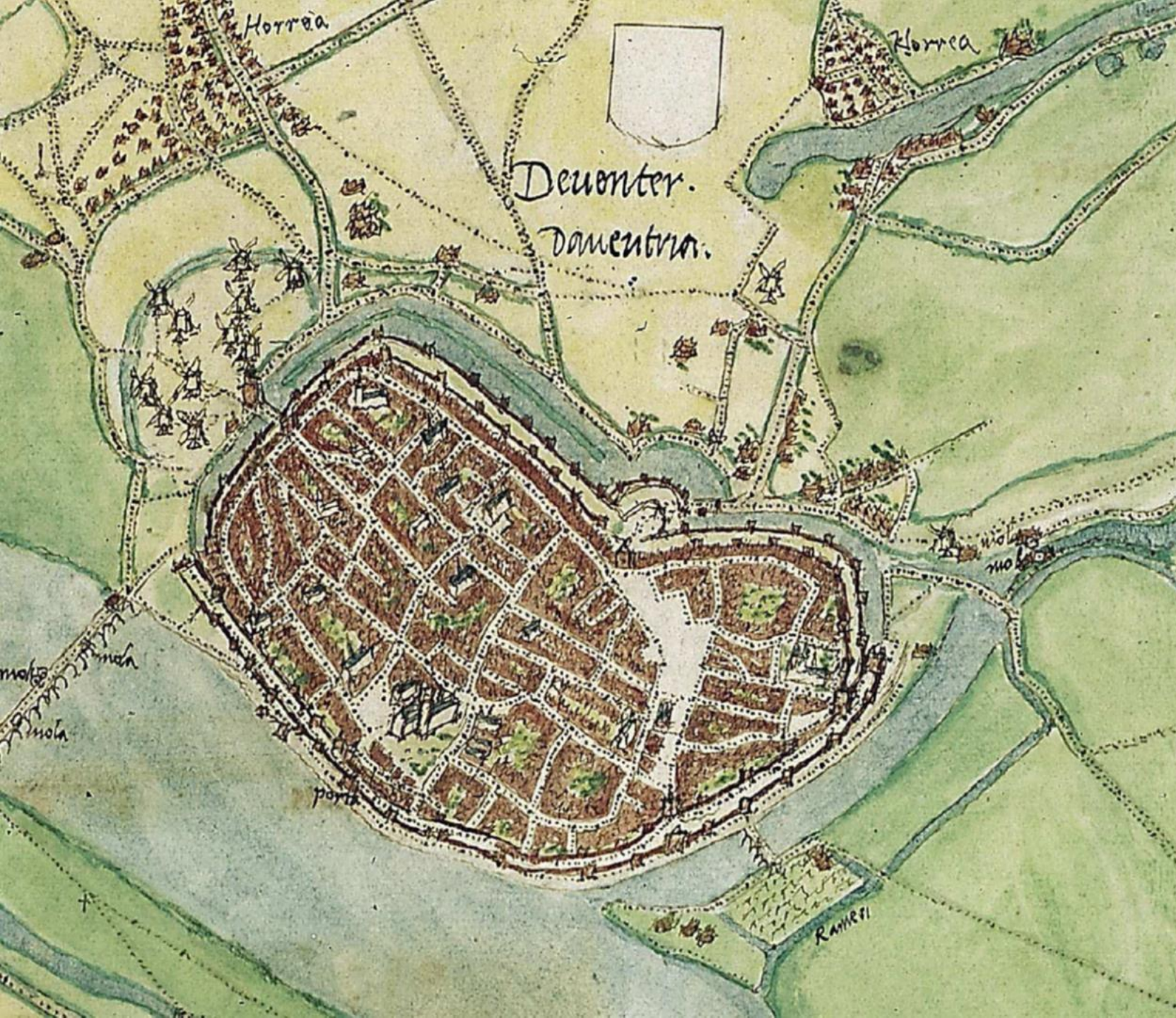


Sin llegar a alcanzar la popularidad de los relojes de Sol, los relojes nocturnos también fueron muy solicitados; hasta el punto de ser contruidos con dimensiones reducidas para transformarlos en instrumentos de bolsillo fácilmente transportables. Uno de los ejemplos más sobresalientes de este tipo se conserva en el *Rijksmuseum* de Amsterdam, radicando su importancia en que pudiese haber sido fabricado exprofeso para ser regalado a René Descartes ; así parece desprenderse, al menos, de la dedicatoria que lleva incorporada (A RENÉ DESCARTES). Es probable que el filósofo y matemático lo utilizara en sus viajes, a tenor de las longitudes geográficas de las ciudades que lleva incorporadas. No se sabe quién se lo regaló pero sí quién lo hizo: *fait à Amsterdam par J. Rolas van Vries*. A pesar de sus dimensiones, se distinguen perfectamente las partes esenciales del nocturlabio: un círculo externo con los doce meses del año, con sus días divididos en decenas, el círculo dentado de las horas, con el saliente de la media noche, y la alidada con su rótulo Index. En realidad el instrumento es un compendio astronómico, ya que el nocturlabio propiamente dicho es la tapa de un estuche, en cuyo interior hay una brújula y un reloj de Sol anular.

Jacob van Deventer (ca.1505-1575)



Cosmógrafo, profesor de la Universidad de Lovaina, y topógrafo prolífico que levantó los planos de todas las ciudades de los Países Bajos. Deventer comenzó a estudiar medicina en esa universidad en el año 1520, llegando a ejercer como médico entre 1526 y 1533; la institución era también un referente para los cosmógrafos y constructores de toda clase de instrumentos matemáticos. No hay constancia de cuando empezaría a interesarse por ambas cuestiones Deventer, pero si es notorio que fue un brillante topógrafo, riguroso y trabajador incansable que pronto se convertiría en un cartógrafo de renombre. En dicha universidad llegó a ser profesor de G. Frisius, médico y cosmógrafo como él, además de amigo personal de Carlos V.



Es probable que Deventer coincidiera con el futuro emperador, cuando este frecuentó la Universidad de Lovaina, y que incluso hubiese participado en su formación geográfica. En el periodo indicado ya era conocido Deventer como constructor de instrumentos, pero sobre todo por la calidad de sus levantamientos topográficos. Así lo prueba el hecho de que Carlos V contase con él, cuando sintió la necesidad de contar con una representación cartográfica de los Países Bajos. Deventer, que por aquel entonces residía en Malinas, inició los trabajos de campo en el año 1534 y los finalizó en 1547. Durante su ejecución continuó usando el novedoso procedimiento de la triangulación, que sería descrito por su alumno Frisius en la

medir y describir todas las ciudades de aquí, además de ríos y pueblos de alrededor, incluyendo pasos fronterizos y que se escribiera todo en un libro que contenga la imagen de cada provincia y de cada pueblo en particular...». Para facilitar su labor, recibió de Felipe II un salvoconducto, fechado el 5 de junio de 1559 que le permitía acceder a todo el territorio; renovándose sucesivamente en 1562, 1563 y 1564. A continuación, dibujó en acuarela 223 vistas de otras tantas ciudades, dándolo por concluido en diciembre de 1571; al año siguiente se exilió en Colonia, huyendo del saqueo de Malinas. Los planos levantados por Deventer sirvieron de soporte a Mercator, que indudablemente los consultaría para confeccionar su mapa de

« De par le roy. A tous noz lieutenans, gouverneurs, bailliz, meyres, escoutettes, bourgmestres, eschevins, gens de loy, tollenaires, gardes des villes, pontz, portz, passaiges, destroitcz et autres fortz, et tous autres noz justiciers, officiers et subgetz et ceulx de noz vassaulx, amy, alliez et bienveillans, cui ce regardera et ces présentes seront monstrées, salut et dilection. Comme nous ayons donné charge à nostre géographe maistre Jacques de Deventer, de visiter, mesurer et desseigner toutes les villes de noz pays de par-deçà, aussi les rivières et villaiges circumvoisins, semblablement les passaiges ou destroitcz des frontières, et le tout rédiger en ung livre contenant pourtraict de chascune province, en après démonstration de chascune ville particulière; pour ce est-il que mandons et commandons à vous de nostre obéyssance, et requérons à ceulx de nos amys, allyez et bienveillans, et à chascun de vous endroit soy et si comme à luy appartiendra, que ayez à laisser passer partout librement et franchement ledict maistre Jacques Deventer avecq ses serviteurs et bagaiges, et au surplus luy donner et faire donner toute ayde, faveur et assistance requise pour le meilleur effect et accomplissement de sadicte charge, en luy faisant au surplus à cest effect ouverture des villes, places, forteresses et autres lieux où il aura à faire, sans aucun contrediet ou empeschement. Car ainsi nous plaist-il. Donné en nostre ville de Bruxelles, le vje jour de juin xv^e lix. »



Flandes, y luego a Ortelius para realizar el mapa general de las diecisiete provincias incluido en las sucesivas ediciones de su conocido atlas. Asimismo, parece segura la influencia metodológica de Deventer en las vistas panorámicas de las ciudades españolas que efectuó Anton van der Wingaerde (ca.1525-1571), por encargo de Felipe II.

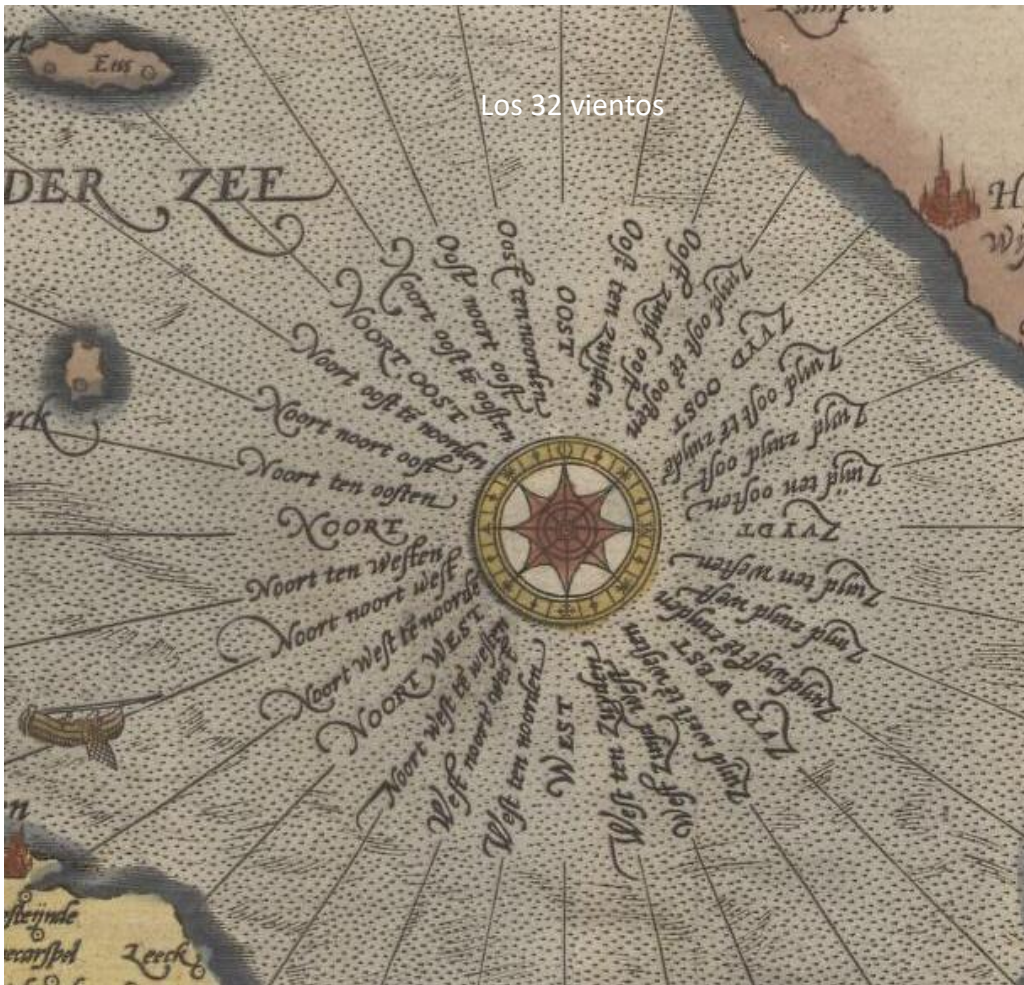
La actividad cartográfica de Deventer no se ciñó solamente a los planos a escala grande, sino que la fue compatibilizando con la formación de mapas a escala menor: el mapa general de los Países Bajos publicado en 1552 es buena prueba de ello. Unos años antes se publicaron varios de sus mapas provinciales a escala 1/180000: Brabante (1536), Holanda y Utrecht (1542), Güeldres (1543), Zelanda (1547), Frisia, Groningen, Overijssel y Drenthe (1545); lamentablemente no se

conservan los originales, aunque si las referencias que incluyó A. Ortelius en su catálogo de autores. Asimismo, se observa su influencia en un mapa de Flandes de Mercator (1540), en varias copias realizadas por el editor italiano Michele Tramezzino (1526-1571) entre 1555 y 1558, así como en la producción cartográfica del ya citado Ortelius y en la Cosmografía de Sebastian Münster (1488-1552). A modo de conclusión, la captación de la información geográfica efectuada por Deventer, se centró principalmente en la localización planimétrica de ciudades y pueblos, prestando menor atención a otros detalles topográficos como ríos, lagos, caminos y bosques. La simbología usada



para la representación de edificios religiosos fue pictórica, aunque se esforzara en el posicionamiento matemático de cada objeto; de ello quedó constancia en los signos convencionales del mapa de Gelderland, al mencionar las torres de iglesia que había usado como vértices de la triangulación. Los mapas murales de Deventer, en varias hijas, fueron usados como elementos decorativos en castillos, palacios y mansiones; ensalzando el status y modernidad de sus propietarios.

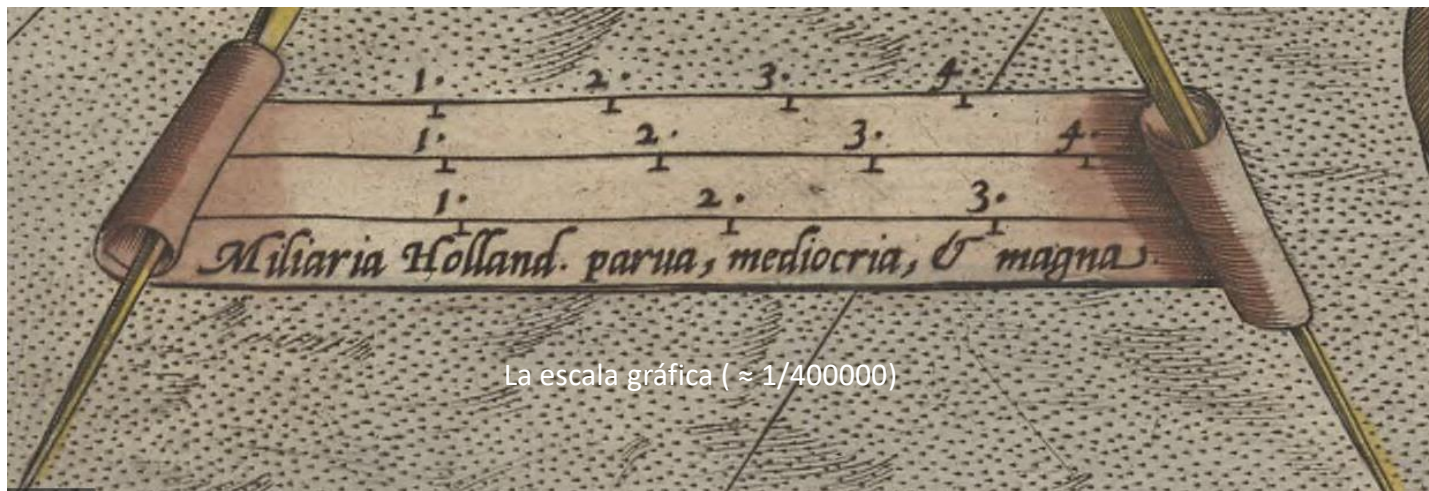
Los 32 vientos



La cartela con el nombre de Deventer



Tres detalles del mapa de Holanda, formado por Jacob van Deventer (1573) e incluido por Ortelius en su *Theatrum Orbis Terrarum*



La escala gráfica (~ 1/400000)

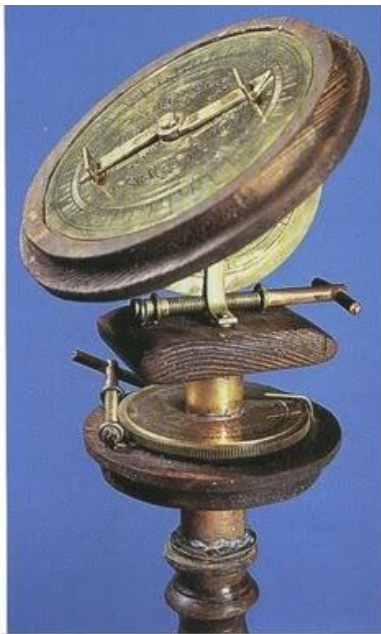
Dicearco de Mesina (ca.355 – ca.285 a.C.)



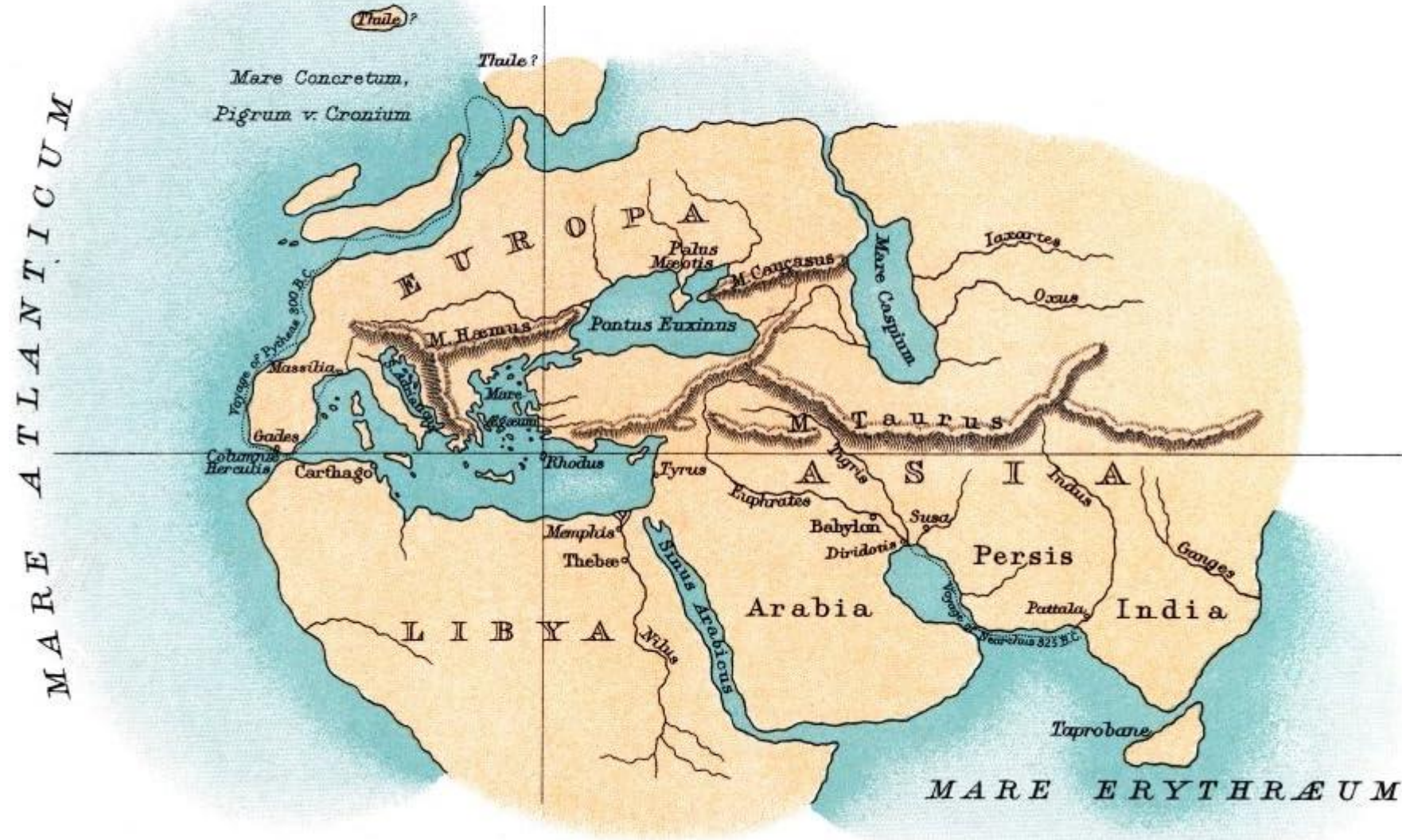
Celebrado filósofo y geógrafo peripatético al que se le atribuye la primera medición de la Tierra y la partición del mundo, por medio del llamado diafragma; un paralelo de referencia con extremos en las Columnas de Heracles (Estrecho de Gibraltar) y el monte Tamarum, en el extremo Oriente. Al parecer fue uno de los discípulos más jóvenes de Aristóteles. Se cree que fue autor prolífico y diverso, según se desprende de los fragmentos que se conservan de sus obras; entre las de contenido geográfico han de citarse las dos siguientes: Circuito de la Tierra y Medición de las Montañas. En la primera se describía el ecúmene, dividiéndolo en dos partes por el denominado diafragma: una al Norte y otra al Sur del mismo; refirió las inundaciones del Nilo y calculó las distancias entre varios puntos de esta línea, a saber: 7000 estadios entre los estrechos de Gibraltar y Mesina, 3000 entre el Estrecho de Mesina y el Peloponeso y más de 10000 entre el Peloponeso y el mar Adriático. La segunda fue referida por Plinio el viejo, indicando que midió no solo las montañas del Peloponeso, sino que también lo hizo con otras tan señaladas como el Monte Pelión (1200 pasos), al Sureste de Tesalia, en cuya cumbre habitaba el centauro Quirón; en cuanto al instrumento empleado para ello, debió ser la dioptra (un antecedente remoto del nivel alfiler).

en cuanto al instrumento empleado para ello, debió ser la dioptra (un antecedente remoto del teodolito). Dicearco quiso demostrar que las montañas no eran tan altas como se pensaba y que su altura no afectaba, por lo tanto, a la esfericidad de la Tierra.

Dioptra

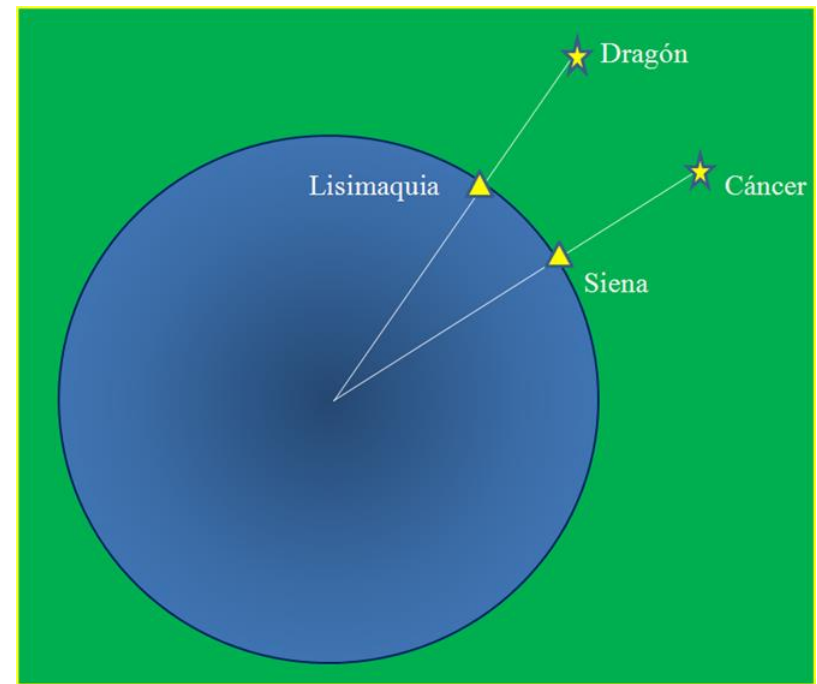


EL MUNDO DE DICEARCO



El origen del mapa es Rodas. Los ejes cartesianos son el diafragma (paralelo) y el meridiano (ordenadas)

Al parecer Dicearco observó que en el cenit de Lisimaquia estaba la cabeza de la constelación del Dragón, mientras que el cenit de Siena se correspondía con la de Cáncer. Como el arco determinado por las dos constelaciones lo cifró en $1/15$ de la circunferencia celeste, las verticales de las dos ciudades abarcarían sobre la superficie terrestre un arco de idéntica amplitud. Dado que la distancia entre ambas ciudades se estimaba en unos 20000 estadios, resultaba para la totalidad de la circunferencia una longitud de 300000 estadios. La ciudad de Lisimaquia, en la actual Turquía, fue fundada por Lisímaco de Tracia, uno de los generales de Alejandro Magno. Aunque la equivalencia métrica no es rigurosa, pues no se sabe a ciencia cierta el tipo de estadio empleado, con tales valores resultaría un perímetro terrestre próximo a los 47430 km y un radio de unos 7549 km.

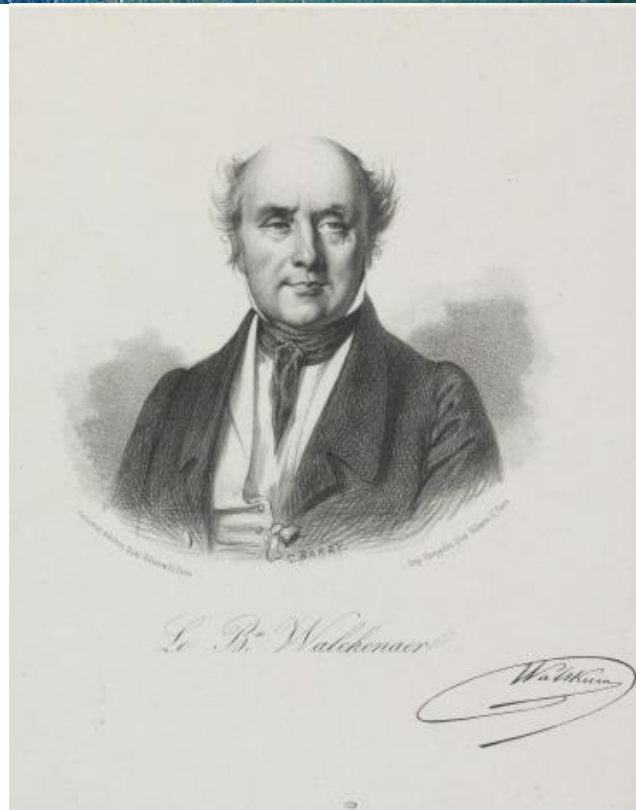
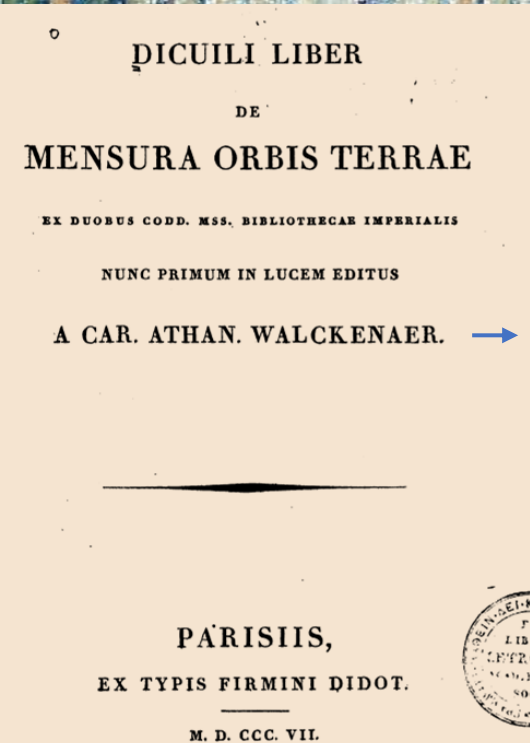


Monjes irlandese homenajean al Sol



Dicuil (fl. 825)

Un monje irlandés, profesor en la corte de Carlomagno (ca.745-814). Fue geógrafo, además de gramático, y autor de la obra literaria más importante escrita en la Irlanda del siglo IX. Pasó a la posteridad por la titulada *Liber de Mensura orbis Terrae*, en la que se mencionan por vez primera a los eremitas irlandeses que se afincaron en Islandia (795) y quedaron sorprendidos al observar el Sol de media noche. La primera impresión latina de este libro, pero comentada en francés, fue hecha en París (1807) por Charles Athanase Valcknaer (1771-1852). La obra, escrita hacia el año 825, se dividió en los nueve capítulos siguientes: 1) Europa, 2) Asia, 3) África, 4) Egipto y Etiopia, 5) Largo y ancho del mundo, 6) Los cinco grandes ríos, etc, 7) Sobre las islas, 8) Largo y ancho del mar Tirreno y 9) Sobre las seis montañas más altas. La obra se basó en una descripción del mundo (*Mensuratio orbis*) que encargó al parecer el emperador hispano Teodosio I (347-395), así lo reflejan los cinco primeros capítulos; siendo los siguientes resúmenes de lo escrito por autores como Plinio el viejo o San Isidoro.



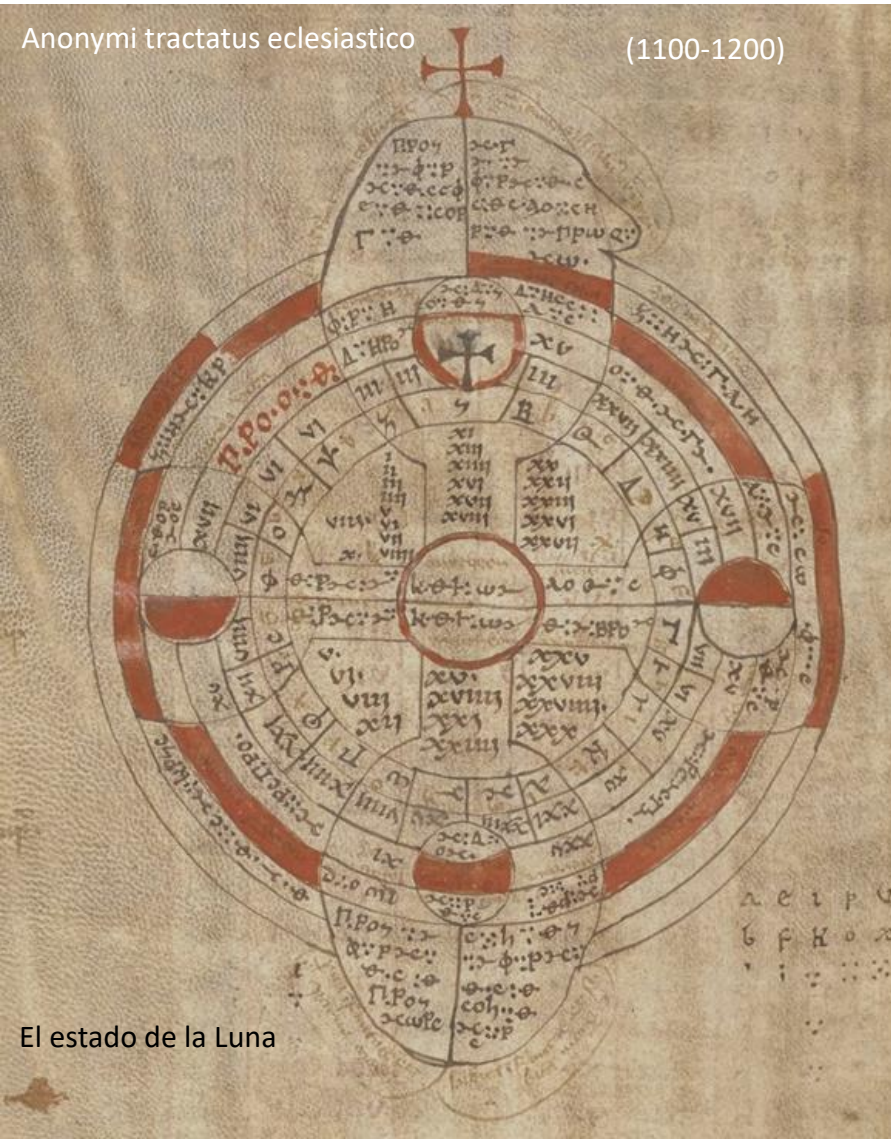
No obstante, se presentan aportaciones novedosas transmitidas a Dicuil por otros monjes irlandeses que viajaran por otros territorios: como las referencias al canal histórico que conectaba el Nilo y el Mar Rojo, transformado siglos después en el que uniría los dos mares; u otras relacionadas con las pirámides y el Nilo, o con islas próximas a Gran Bretaña e Irlanda. Dicuil fue precavido al concretar las cifras, llegando a dejar espacios en blanco para que el lector curioso pudiese completarlos; aunque resulten curiosidades tales como asignar 495 millas al río Tiber y 302 al Tajo, o bien una longitud de 722 millas al Jordán y al Ganjes solo 453. Otras de sus fuentes fueron Cosmografías o Corografías de las que no se tienen noticias.



Aunque la obra más conocida de Dicuil sea la geográfica, ya referida, escribió otra astronómica unos años antes, entre 814 y 816, periodo en el que el interés carolingio por el conocimiento hizo posible la proliferación de textos astronómicos en la corte francesa. La obra en cuestión fue un cómputo astronómico, del que se conservan dos manuscritos: el de Tours 803 (ff.58-103) y el de Valenciennes 404(ff. 66-118); respectivamente estudiados por dos medievalistas: el francés Alfred Cordoliani (1919-2018) y el irlandés Mario Esposito (1887-1975). Este último publicó su trabajo *A Ninth-Century Astronomical Treatise* en 1920 y el primero en 1960, con el título *Le Comput de Dicuil*. El Cómputo se dividió en cuatro libros, unos escritos en prosa y otros en verso. Esposito comentó que su valor científico era escaso, con una disposición un tanto caótica en la que los capítulos se iban sucediendo de forma arbitraria. La influencia de los autores pretéritos fue evidente, sirva de ejemplo la discusión en verso, a comienzos de libro II, acerca de las distancias entre el cielo y la Tierra, o entre los siete planetas, defendidas en la

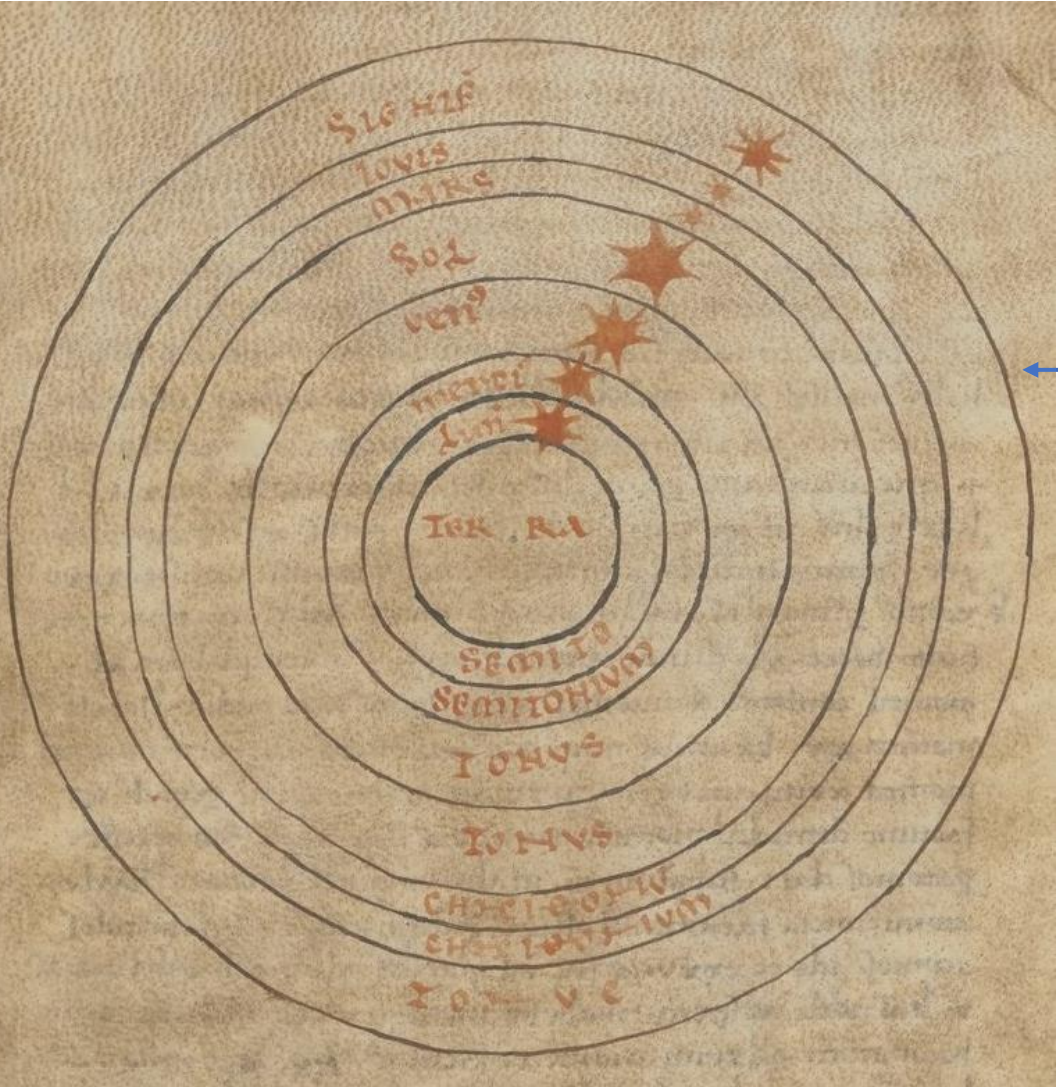
antigüedad y que figuran en la Historia Natural de Plinio; en la que también se apoyaría después al preparar su obra sobre la Medida de la Tierra. Como profesor de gramática, Dicuil mostró un gran interés por los temas métricos, uno de los atractivos especiales por los que buscaba complacer al rey Ludovico Pio (778-840), Luis el Piadoso, a quien dedicó su obra.

Cordoliani aportó datos relevantes, como el hecho de que la redacción del cómputo obedeció en cierto modo a la atención que prestaba el rey a Dicuil, o que el índice del manuscrito de Tours muestra que el autor añadió dos capítulos a su cuarto libro y otros dos, a modo de un quinto libro. Otra de las cuestiones que apuntaba fue la falta de coincidencia entre algunos epígrafes de los dos manuscritos: De quatuor ciclis in cido solis et lunae, en el de Valenciennes, se transformó en De lunae cursum in cido ante minore loquebar, en el de Tours; las divergencias se constatan igualmente al fijar la fiesta de la Pascua, en los años bisiestos. A propósito de esa festividad, es obligado reseñar que en el quinto libro del manuscrito de Tours (capítulo I), se expone la estructura del ciclo pascual en 33 versos; dedicando el siguiente, ya en prosa, a las epactas lunares y a sus relaciones con los días de la semana. Una información añadida se proporcionó en forma de tablas. En el primer libro, capítulo VII, figuran dos para hallar el estado de la Luna a primeros de cada mes para cada uno de los 19 años del ciclo. El capítulo III de libro tercero incluyó una tabla que permitía saber el estado de la Luna el día de Pascua en cada año del ciclo decemnovental.



El estado de la Luna

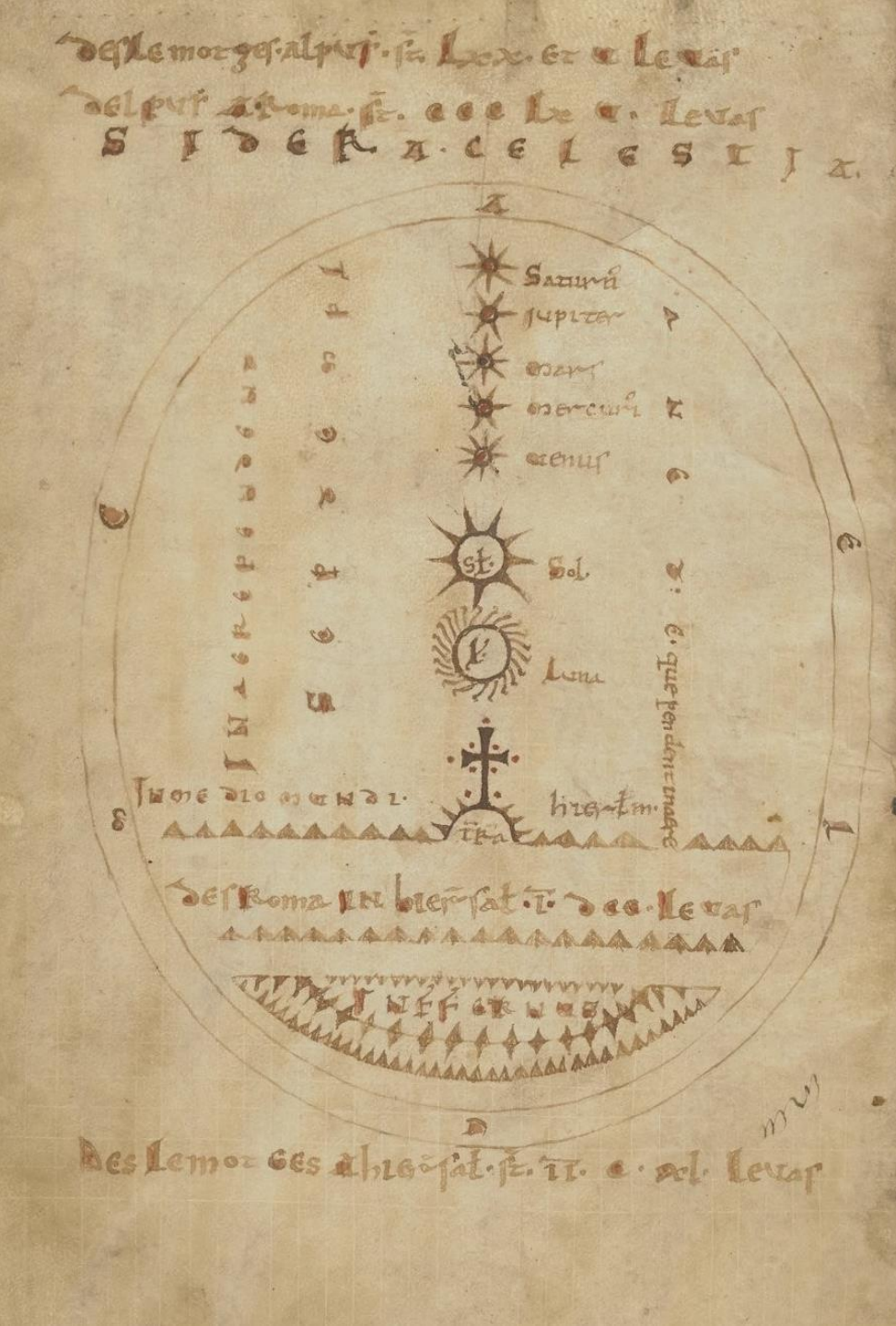
El libro cuarto se ilustró con seis tablas, válidas para un periodo de 35 años, con independencia de que fuesen comunes o bisiestos; pudiendo deducir con ellas el calendario festivo, el estado de la luna, así como el comienzo de la cuaresma y la fecha de la Pascua.




La Tierra y los siete planetas

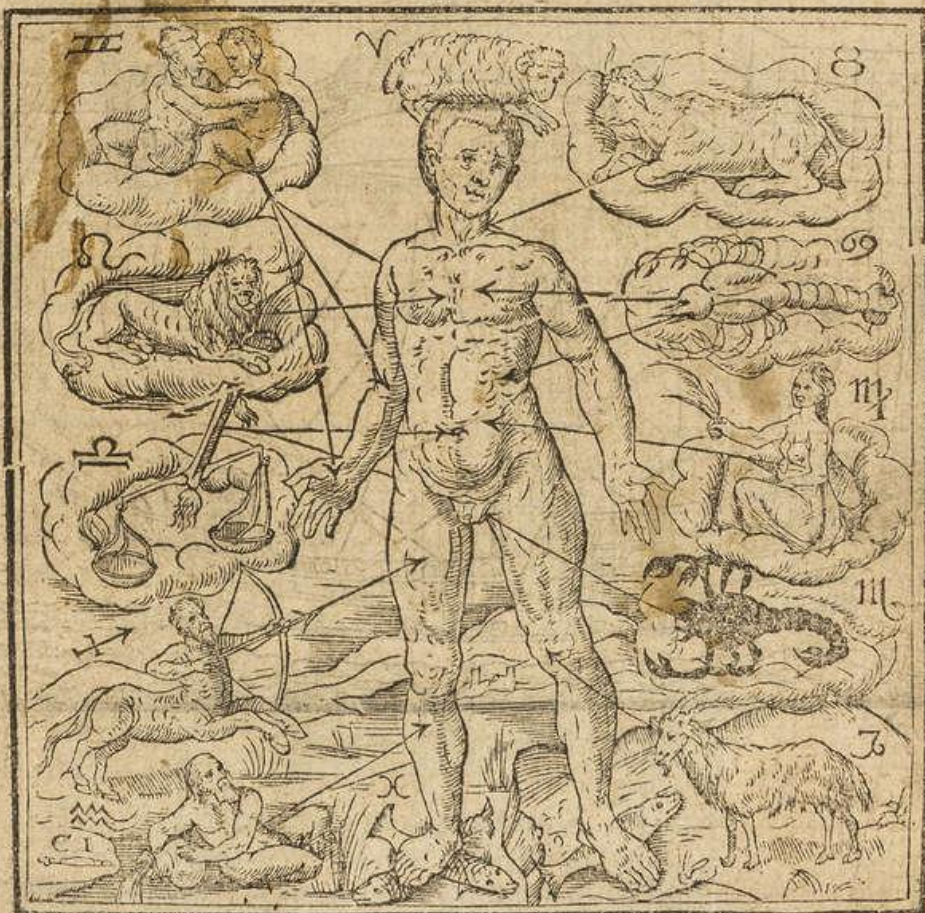
ANONYMI
TRACTATUS
ECLESIASTICO
(1100-1200)

La Cruz de Cristo,
los siete planetas
y el infierno



 A Prognostication euerlastinge of righte good effecte, fruitfully augmented by the auctour, containyng plaine, briefe, pleasaunt, cholen rules to iudge the weather by the Sunne, Moone, Starres, Comets, Rainebow, Thunder, Cloudes, with other extraordinary tokens, not omitting the Aspects of Planets, vvith a briefe iudgement for euery of Plenty, Lacke, Sickenes, Dearth, VVarres &c. opening also many naturall causes vvorthy to be knowven.

To these and other now at the last, are ioyned diuers Generall, pleasaunt Tables, vvith manye compendious Rules, easye to be had in memory, manitolde vvayes profitable to al men of vnderstanding. Published by Leonard Digges Gentleman. Lately corrected and augmented by Thomas Digges his sonne.

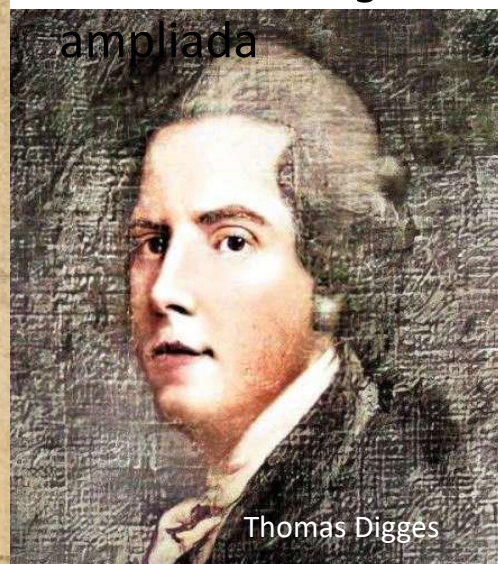


Imprinted at London by Thomas Marth.

Anno 1576.

Leonard (1520-1559) y Thomas Digges (1546-1595)

Leonard Digges fue un excelente topógrafo, hábil instrumentista y versado en astronomía, aunque no tanto como su hijo Thomas, el cual también destacó como matemático; a ambos se les considera también inventores del telescopio, suponiendo además que el segundo se adelantó a Galileo al observar el cielo nocturno y comprobar la existencia de numerosas estrellas invisibles a simple vista. Leonard estudió en el *University College* de Oxford, aunque nunca se graduó. No obstante, su interés por las matemáticas, le llevaron al estudio de la topografía, adquiriendo de inmediato una buena reputación en el ejercicio de la misma. También prestó atención a la astronomía, llegando a publicar en 1553 una obra titulada *A Prognostication of Right Good Effect*, revisada y ampliada



Thomas Digges

ampliada en los años siguientes por su hijo Thomas, con el nuevo título de *Prognostication euerlasting* en el año 1556. La obra se escribió en inglés, contribuyendo a la mejor difusión de los conocimientos astronómicos; a la vez que proporcionaba información sobre el calendario festivo, el modo de hallar la hora diurna o nocturna,

el movimiento de la Luna y la descripción de variados fenómenos meteorológicos. Asimismo, añadió un resumen del modelo del universo, propuesto por Tolomeo, acompañado de tablas en las que se indicaban las dimensiones de los planetas y sus órbitas.

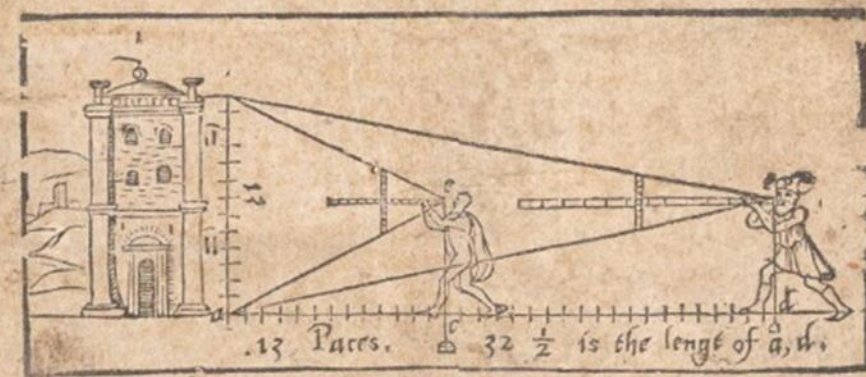
El *Pronóstico* de L. Digges alcanzó tal éxito, que se animó a publicar en ese mismo año otro libro de iniciación a la topografía, escrito también en latín, titulado *Tectonicon*; explicando además el uso continuado de la regla plegable para calcular superficies y volúmenes. También dejó escrito otro trabajo, al que llamó *Pantometria*, que sería publicado a título póstumo por su hijo. Otra de las facetas en que destacó L. Digges fue en la de la instrumentación, influido sin duda por la amistad que mantuvo con John Dee (1527-1609), matemático y consejero de la reina Isabel I de Inglaterra, ya que tuvo acceso en su biblioteca a la obra de R. Bacon; que en su *Opus Majus* mencionaba las lentes que permitían acercar el Sol, la Luna y las estrellas. Estimulado por su lectura, estudio los principios de la refracción y reflexión de los telescopios (llamados entonces *Perspective glasses*), construyendo como mínimo uno de ellos; al que llamó *Theodelitus*, el cual sería descrito por su hijo años después. Al parecer fue a J. Dee al que L. Digges encomendó la formación de su hijo, que solo tenía trece años cuando quedó huérfano. Pronto adquirió bajo su tutela sólidos conocimientos astronómicos y matemáticos, usándolos en el año 1571

A BOOKE

named Tectonicon,

briefely shewing the exact measuring, and speedie reckoning all maner of Land, Squares, Timber, Stone, Steeples, Pillers, Globes, &c. Further, declaring the perfect making and large vse of the Carpenters Ruler, containing a Quadrant Geometricall; comprehending also the rare vse of the Squire. And in the end a little Treatise adioyned, opening the composition and appliencie of an Instrument called the profitable Staffe. With other things pleasant and necessary, most conducible for Surueyers, Landmeaters, Ioyners, Carpenters, and Maions;

Published by Leonard Digges
Gentleman, in the yeare of our
LORD. 1576.

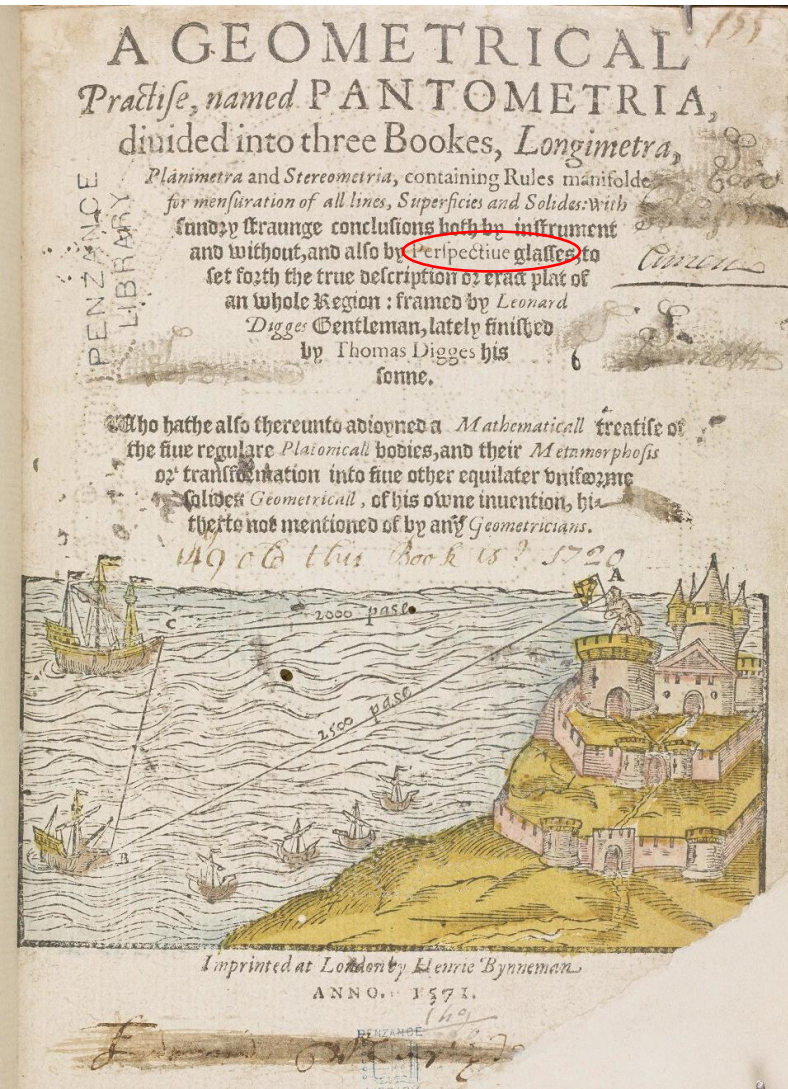


Imprinted at London in Fleete
strate, neere to S. Dunstons
Church, by Thomas
Marsh.

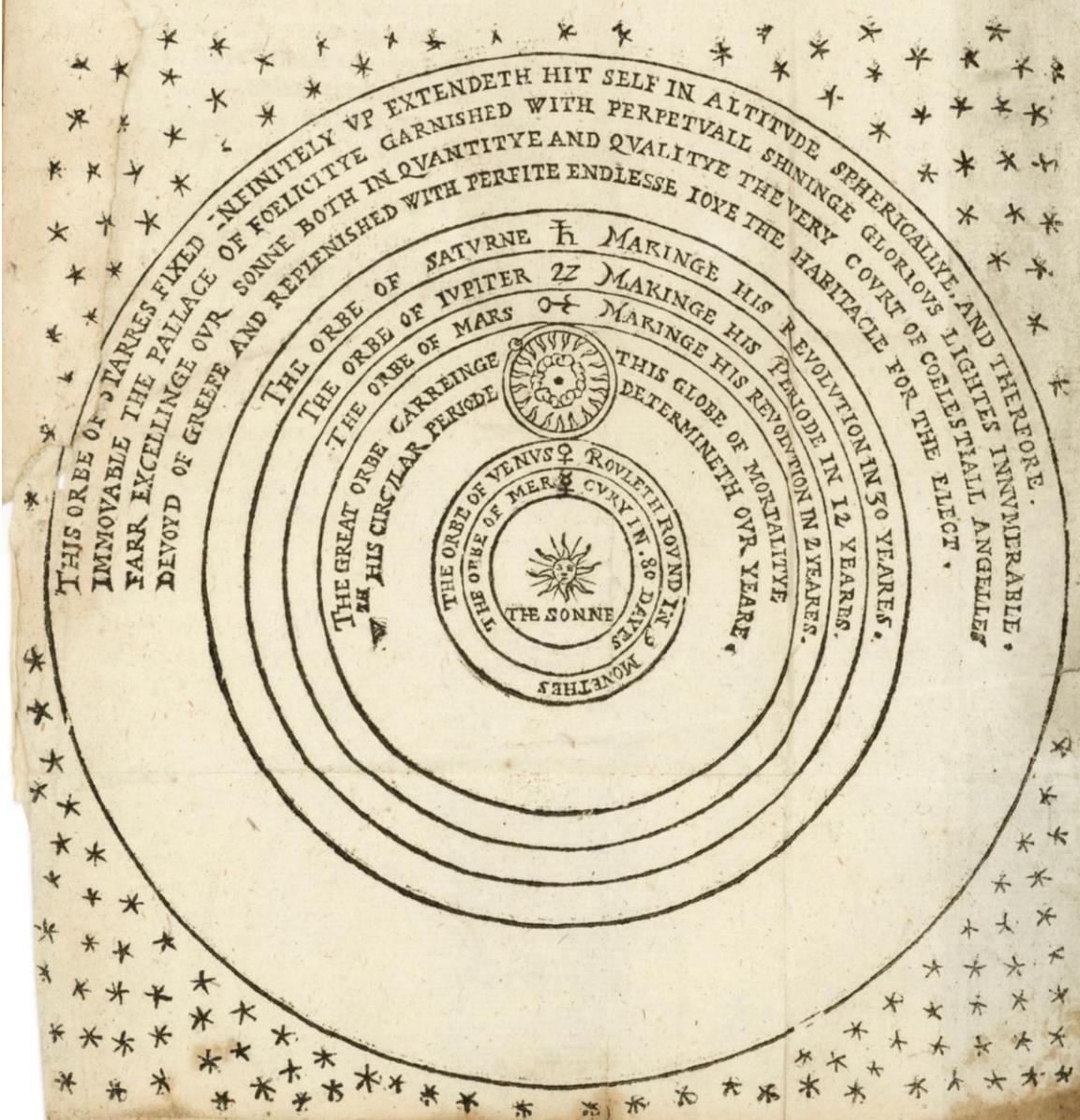
1585.

para publicar su primer libro: *A Geometrical Practise, named Pantometria; divided into three bookes Longimetra, Planimetra and Stereometria ...* y dos años después el segundo: *Alae seu Scalae Mathematicae, quibus visibilium remotissima coelorum...*, una obra fundamental para la historia de la astronomía, en la que refería la nueva estrella descubierta en la constelación de Casiopea. La imagen de esta constelación sería usada como frontispicio de es segunda obra, dedicada a William Cecil (1520-1598), conocido como Lord Burghley , también consejero de

la reina Isabel I. En este segundo libro se constata que la supernova, tan ligada al nombre de T. Brahe, también fue observada por T. Digges y además con notable exactitud; muy próxima a la obtenida por el astrónomo danés, así lo reconoció este al dedicarle a la observación de Digges más de treinta páginas en la obra que escribió para dar cuenta de su descubrimiento. En el año 1576 se publicó una nueva edición del Pronóstico de su padre, de especial interés por los aditamentos que añadió, sobre todo el titulado *A Perfit Description of the Caelestiall Orbes according to the most aunciante doctrine of the Pythagoreans, latelye revived by Copernicus and by geometricall demonstracions approved,*



A perfit description of the Coelestiall Orbes,
according to the most auncient doctrine of the
Pythagoreans, &c.



defendiendo no solo el novedoso modelo heliocéntrico, sino también la infinitud de la extensión del universo; se trató en definitiva de la primera versión inglesa de la obra de Copérnico. El dibujo con el que iluminó su discurso es un valioso diagrama para los amantes de la ciencia, que fue acompañado de una extensa leyenda explicativa; cuya traducción al español podría ser la siguiente: «Este orbe de estrellas fijas infinitamente extendidas en altitud de modo esférico, y por lo tanto inamovible, el palacio de la felicidad guarnecido con el perpetuo brillo de innumerables luces magníficas, más allá de nuestro Sol, tanto en cantidad como en calidad, toda la corte de ángeles celestiales, desprovisto de dolor y pleno de alegría inacabable y perfecta, la morada del elegido». Asimismo se indica en cada una de las órbitas planetarias el periodo de revolución anual, del planeta respectivo, en torno al Sol: Saturno (830 años), Júpiter (12 años), Marte (2 años), Tierra (1), Venus (9 meses) y Mercurio (80 días).

T. Digges recordó en su *Pantometria* la contribución óptica de su padre, a propósito del telescopio: « Mi padre, con sus experimentos, acompañados de demostraciones matemáticas, logró divisar por medio de lentes dispuestas



convenientemente, divisar objetos lejanos, leer cartas, distinguir monedas; que habían sido colocadas por sus amigos a una distancia de siete millas». Aunque pueda resultar exagerada la afirmación de T. Digges, referida a las siete millas, podría deducirse de los que comentó a ese respecto J. Dee, al referir la posibilidad de deducir el movimiento de tropas a esas distancias. En todo caso, fue más explícito, en ese mismo libro, cuando explicó el modo de medir, usando lentes y desde el litoral, la distancia a que se encontraba un barco: «...pero resultan maravillosas las conclusiones que pueden obtenerse mediante lentes cóncavas y

convexas de forma circular y parabólica...las cuales, por refracción unirán o separarán las imágenes producidas por la reflexión de otras. Con ese tipo de lentes, o conjunto de ellas, situadas en la posición debida, se podría no solo poner ante tus ojos las imágenes de cualquier ciudad o pueblo, ... sino también aumentar y dilatar cualquiera de sus detalles». Los comentarios de Digges fueron refrendados por los de Lord Burghley (en torno a 1580), cuando temiendo la invasión de la flota española quiso cerciorarse de la posibilidad de usar los instrumentos anunciados por aquél y por J. Dee. Para ello recurrió a William Bourne (ca. 1535-1582), el cual explicó en su informe la fabricación de lentes y espejos parabólicos, refiriendo, al final del mismo, las posibles aplicaciones del instrumental referido; con tales detalles que permiten sospechar que él mismo pudo hacer incluso alguna observación telescópica.

A la vista de tales antecedentes no es nada aventurado sugerir la posibilidad de que T. Digges observase el cielo nocturno con el aparato ideado por su padre, de esa forma cobraría más sentido su revolucionario comentario acerca de la infinidad del universo.

Plano del puerto de Dover, levantado por Thomas Digges poco antes de 1595. El puerto presentaba problemas derivados de la acumulación de sedimentos e inundaciones. Las propuestas para solucionarlos presentadas por él, fueron llevadas a cabo; tras su presentación al gobierno, en torno al año 1584. El escudo de armas corresponde a Lord Burghley, Secretario de Estado de la reina Isabel I.



Dionisio Periegeta (fl. S. II)

Escritor alejandrino que debe su sobrenombre a la periégesis de la ecúmene (*Περιήγεις τῆς οἰκουμένης* u *Orbis descriptio*), una obra muy comentada en la Edad Media, por haber sido usada como libro de texto escolar. Siguiendo la tradición de su tiempo, contemporáneo de Marino de Tiro (60- ca.130) y de Claudio Tolomeo, hizo la descripción del mundo habitado por medio de un poema que constó de 1185 hexámetros. De su contenido se desprende que al redactarla debió tener a la vista un mapa, probablemente el atribuido a Eratóstenes, en el que figurarían representados parcialmente los tres continentes conocidos entonces; ocupando el Mediterráneo el centro del cuadro. Es más, en su versión original parece que fue ilustrado con mapas, ya que varias de las anotaciones marginales presentes en los manuscritos, que se conservan, se refieren a ellos: alguna llega incluso a señalar que el dibujo del mapa o el contorno de un país determinado no concordaba con la descripción de Dionisio; lo que lleva a pensar que los copistas continuaban copiando el modelo previo acríticamente, sin preocuparse de adaptar la representación al texto que supuestamente la describía.

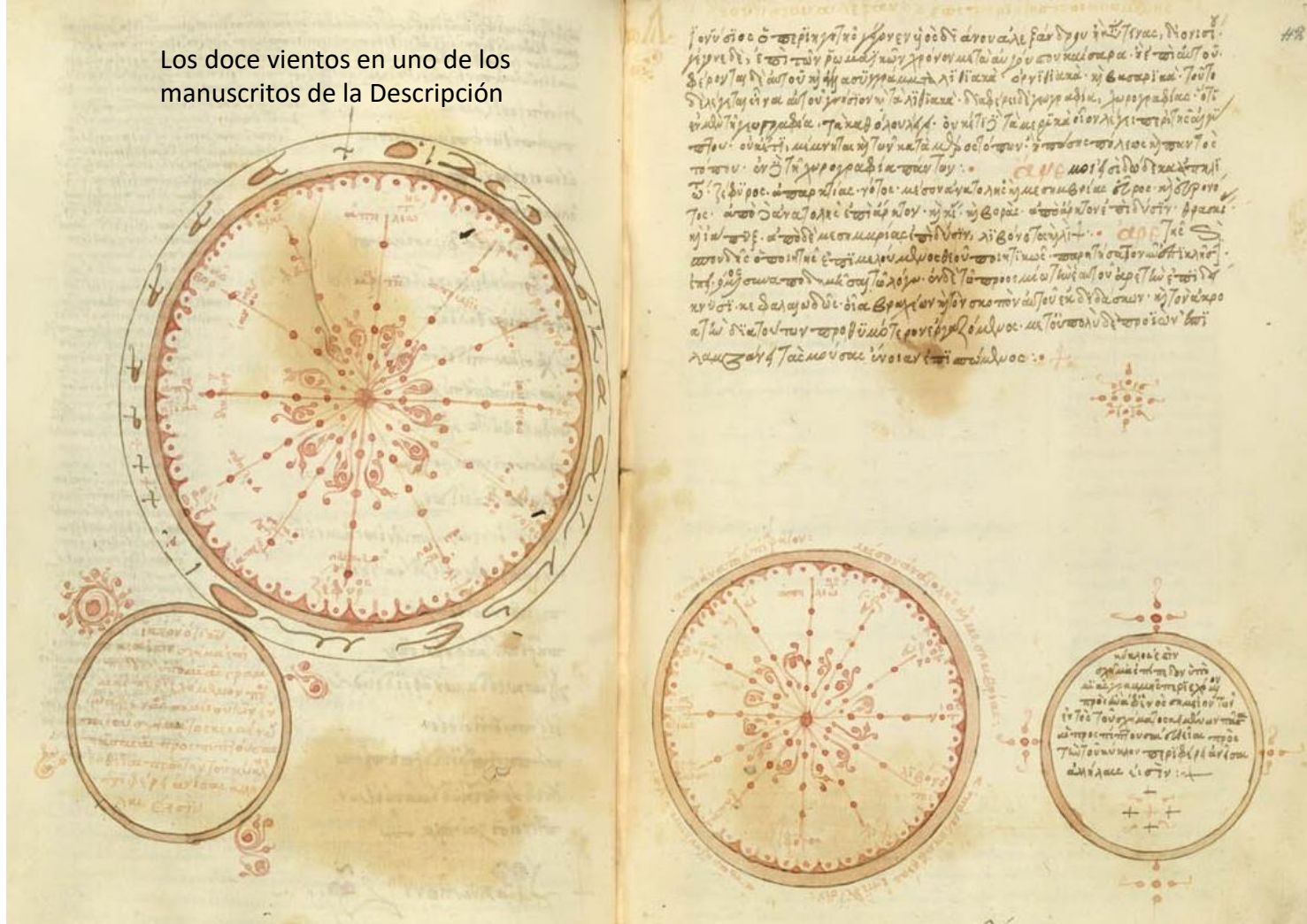


← Frontispicio de una edición de la Descripción (1697)

Aunque el poema estuviese escrito con claridad y un estilo distinguido, refleja la escasa información geográfica de que se disponía. La estructura de su contenido así lo confirma: Prólogo general, División de los continentes, Océano, Prólogo de los continentes, Libia, Europa, Islas, Asia y Epílogo. El defecto es mucho mayor cuando se describen las zonas perimetrales, ese fue el caso de la Península Ibérica, que casi pasa desapercibida en las estrofas siguientes:

...Aquí, junto a los límites, las columnas de Heracles, se alzan, como una gran maravilla, junto al extremo de Gades, bajo el alto pico de los lejanos atlantes, donde también una columna de bronce sube al cielo, alto y envuelto en densas nubes. En primer lugar, para empezar, el Mar Ibérico fluye, que es el comienzo de Europa y de Libia. Porque se enrolla en medio de los dos. Los pilares se alzan en sus orillas, de este lado y de aquel, uno mirando a Europa, el otro a Libia. Después de esto viene el arroyo de Galacia, donde la tierra de Massalia se extiende, con su puerto curvo. Después de estos fluye el mar de Liguria, donde habitan los hijos de los italianos...

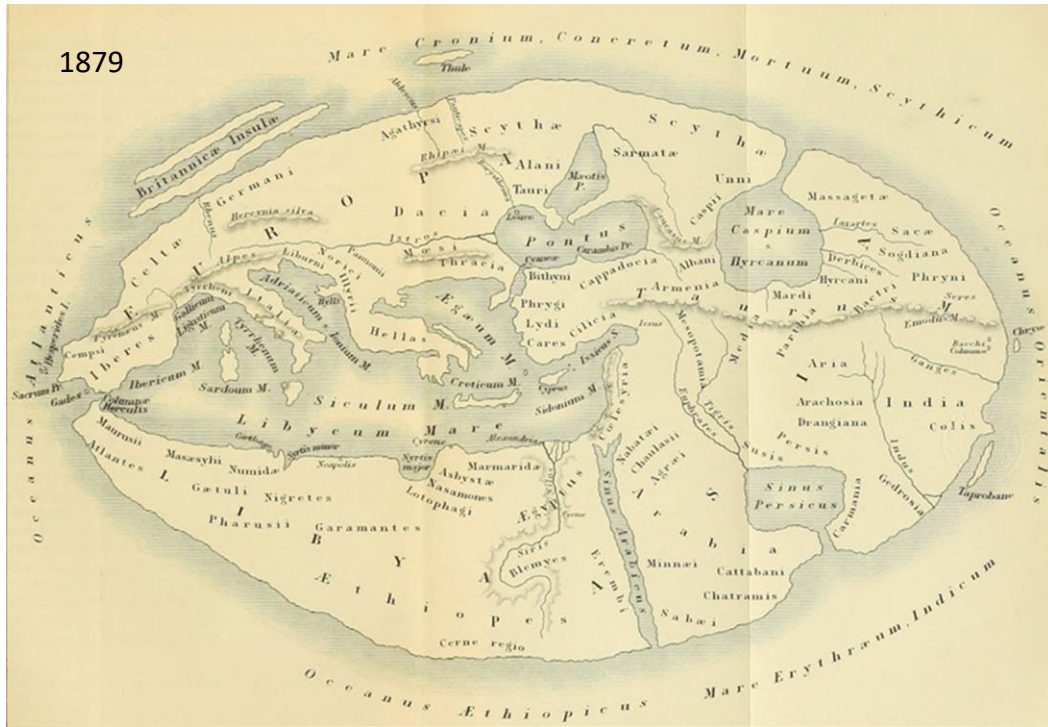
Los doce vientos en uno de los manuscritos de la Descripción



No obstante, fue referida luego en otras partes de la Descripción, cuando se comentó, por ejemplo, qué en los límites de Europa, cerca de las Columnas, habitaba el pueblo de los valientes íberos; añadiendo que esa tierra era como piel de buey y que después de ellos estaba el monte Pirineo y el hogar de los celtas. La última

Párrafo extraído y traducido de la Tesis Doctoral: *A Commentary on Dionysius of Alexandria's, Guide to the Inhabited World, 174-382*, defendida por Yumma Zahra Nadezhda Khan. *University College London (2002)*

referencia, indirecta, a la Península Ibérica se efectuó al indicar que cerca de la cumbre de Abyla (Ceuta), uno de los Pilares, se encontraba la hermosa Tartessos. Los Pilares de Heracles, tan ligados al estrecho de Gibraltar, fueron referencia obligada para concretar los límites geográficos de Libia (entre los Pilares y Cirene), de Europa (entre los Pilares y la isla de Thule), así como para las Islas (las existentes entre los Pilares y Grecia, y las existentes entre los Pilares y Hellesponto, es decir el Estrecho de los Dardanelos).



El mapa del mundo según Dionisio Periegeta, una ilustración propuesta por Sir Edward Herbert Bunbury (1811-1895), en su libro: *A history of ancient geography among the Greeks and Romans, from the earliest ages till the fall of the Roman Empire*. El dibujo sigue el modelo que propuso Eratóstenes.

La influencia de los autores previos (fundamentalmente Posidonio y Eratóstenes) sobre el poema de Dionisio es clara, llegando a asegurar en los versos del comienzo que la forma de la ecúmene es más oblata que circular, esto es más extendido en longitud que en latitud. La simetría que presenta la Descripción es herencia de la que contemplaron autores tan clásicos como Herodoto (ca. 484-425 a. C.), aunque mucho más acentuada (llegando a defender la existente entre el Nilo y el Danubio).



El mapa del mundo según Dionisio Periegeta, una ilustración propuesta por Konrad Miller (1844-1933) en su obra *Mappaemundi: die altesten Welkarten*. El dibujo sigue el modelo de los clásicos mapas medievales de T en O, conservando incluso la influencia babilónica del océano periférico (el llamado Río amargo).

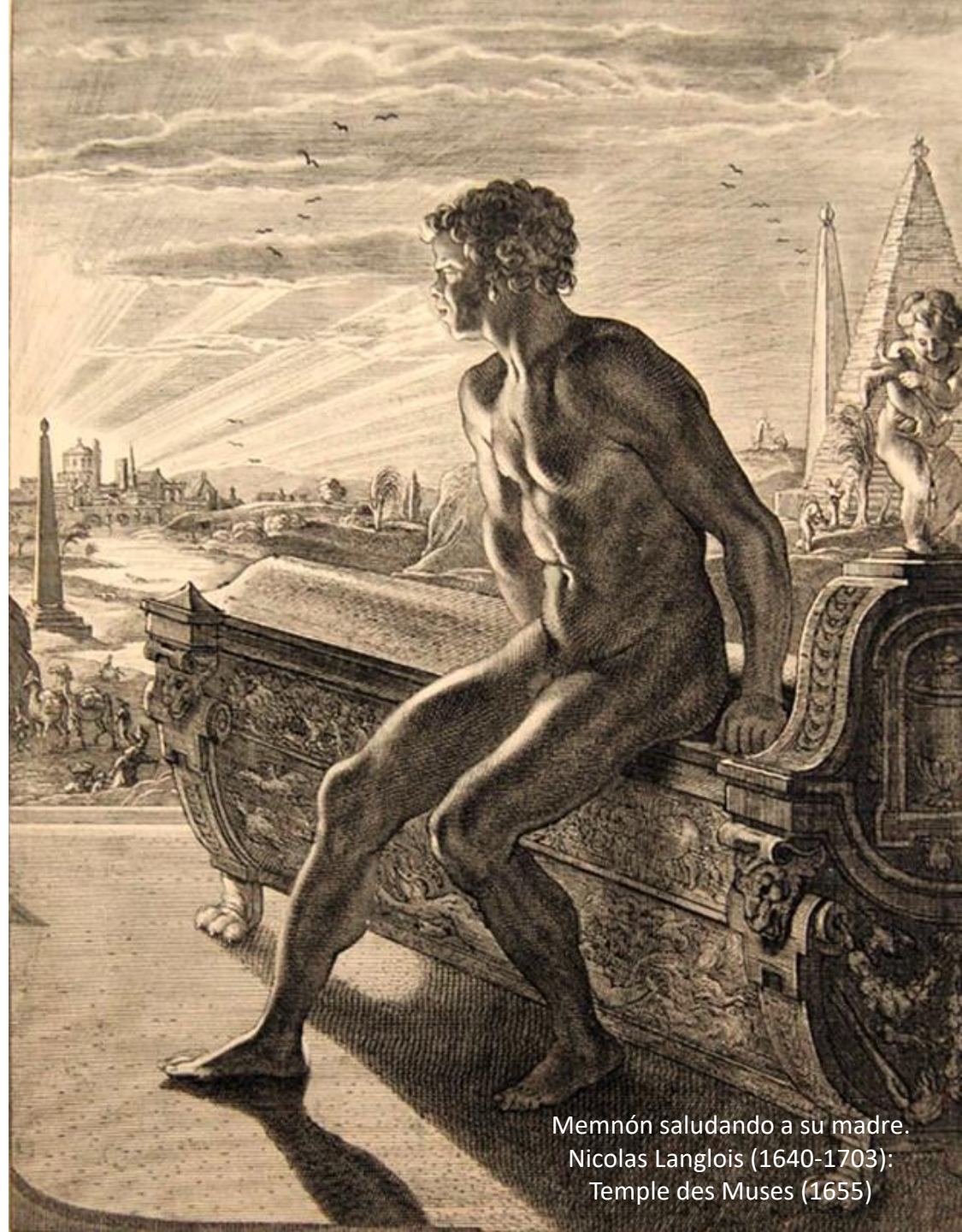


Se concluye esta reseña, recordando que Dionisio reconoció en su relato la trascendencia del antiguo Egipto y la singularidad del Nilo:

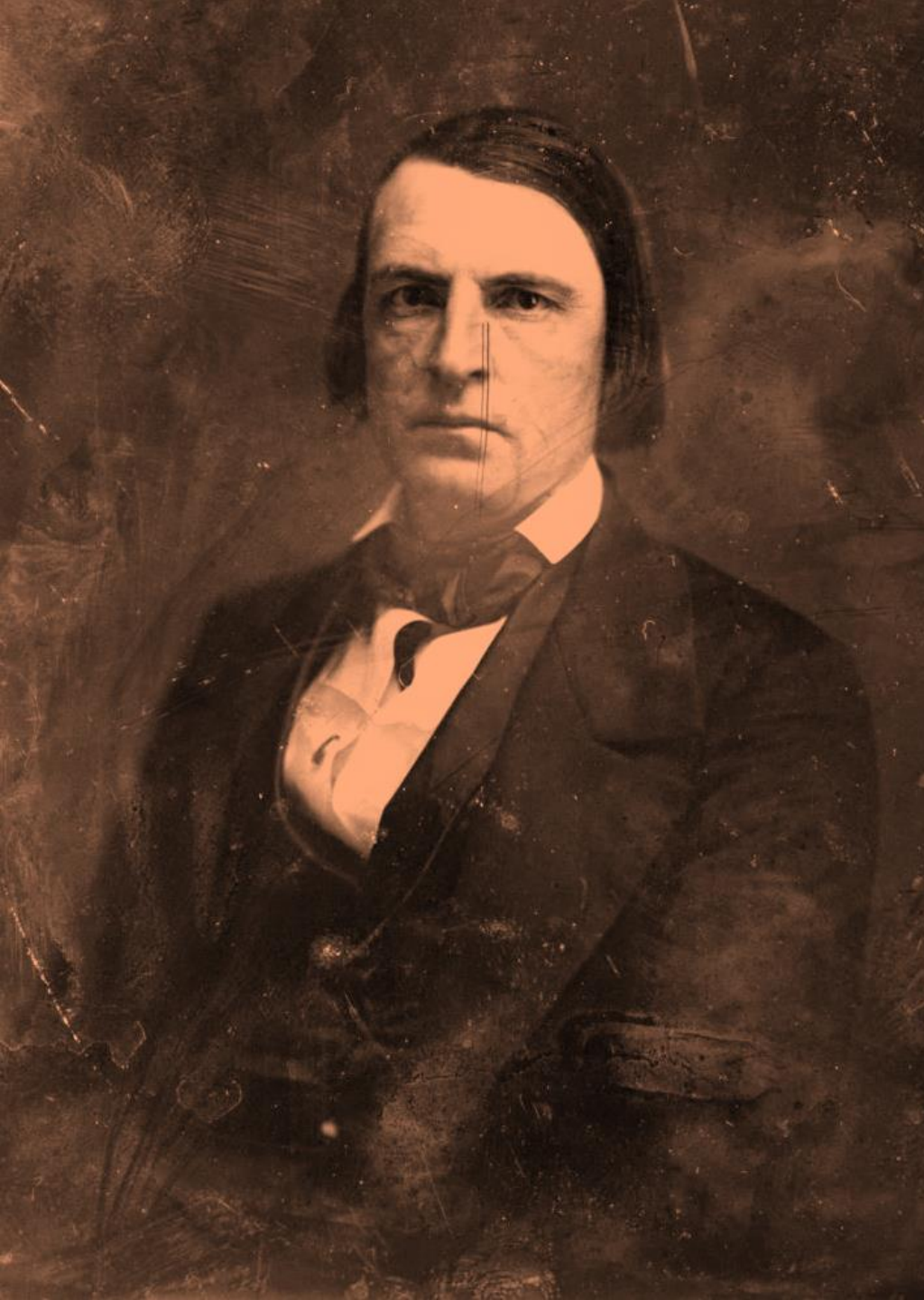
Este río también divide a Libia de la tierra de Asia,
al oeste Libia, y al este la tierra asiática.
A su lado habita una raza de hombres ilustres,
quienes fueron los primeros en distinguir los modos de vida,
el primero en poner a prueba el amado arado,
y esparcir la semilla en el surco más recto,
y el primero en dividir los cielos con líneas,
considerando en el fondo el curso oblicuo del Sol...

El delta del Nilo tampoco le pasó desapercibido, pues afirmó que su forma era puntiaguda, con su lado mayor dando al mar, y que el río tenía allí siete brazos. La mitología también la tuvo presente, calificando a Tebas de gloriosa y recordando que tenía cien puertas; en esa ciudad situó al rey etíope Memnón, dando la bienvenida a su madre Eos (diosa del amanecer).

La leyenda identificó el sonido de los colosos de Memnón con el llanto de Eos, que lloraba diariamente lágrimas de rocío por la muerte de su hijo, a manos de Aquiles, durante la guerra de Troya.



Memnón saludando a su madre.
Nicolas Langlois (1640-1703):
Temple des Muses (1655)

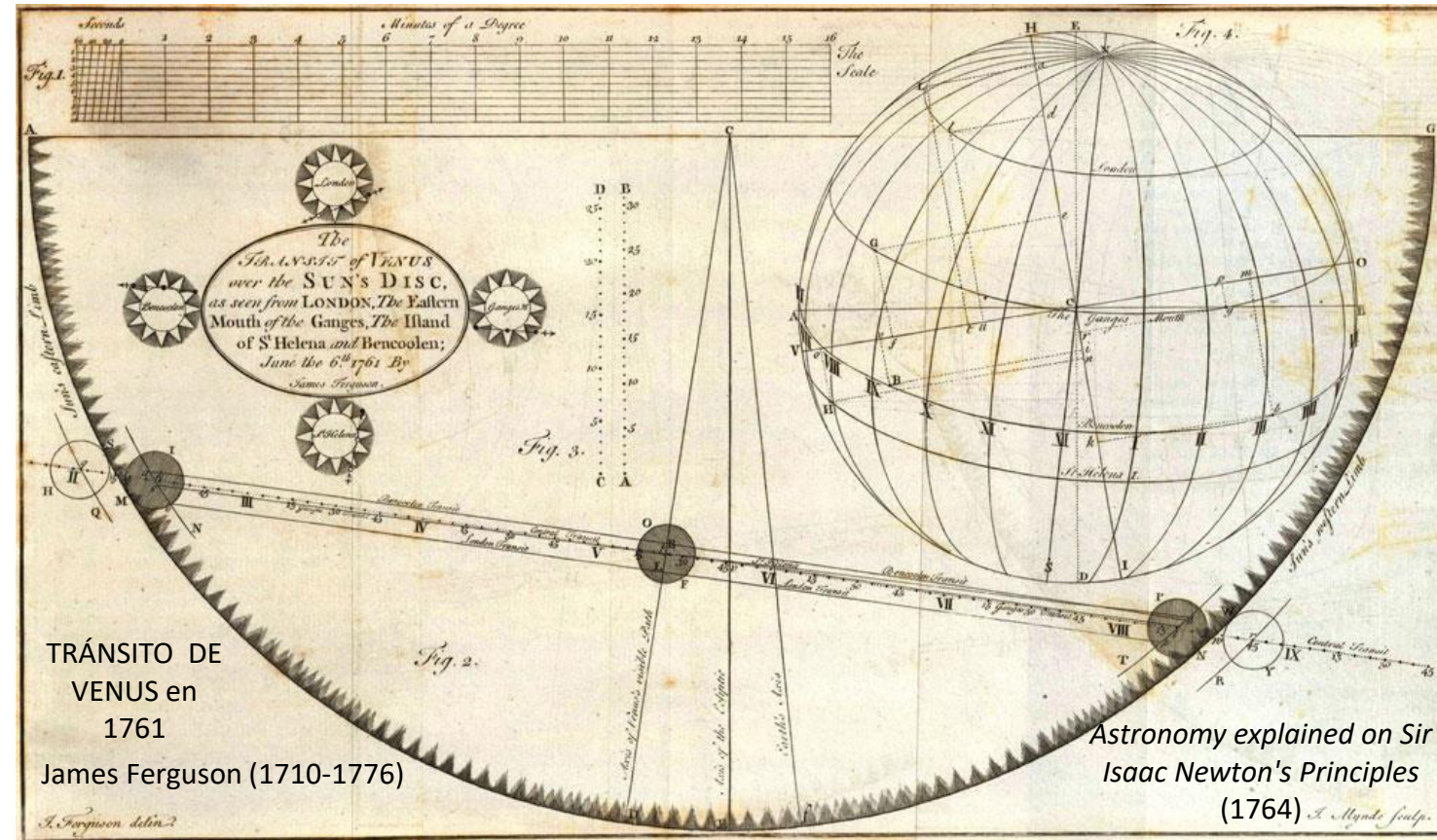


Jeremiah Dixon (1733-1779)

Brillante topógrafo inglés y buen delineante que, junto a Mason, hizo el deslinde jurisdiccional entre los estados de Peensylvania y Maryland; una línea que fue considerada, en su tiempo, frontera entre los estados libres del Norte y los esclavistas del Sur. Siendo adolescente mostró interés por las matemáticas y por la astronomía, decidiendo dedicarse al ejercicio de la topografía a partir del año 1760. John Bird, vecino suyo, lo recomendó a la Royal Society como posible ayudante de Charles Mason, el cual debía observar el tránsito de Venus en el año 1761, desde la isla de Sumatra, aunque al final se vieron obligados a hacerlo desde el Cabo de Buena Esperanza. Ambos operadores comenzaron sus observaciones el día 6 de junio, midiendo los diámetros angulares de Venus y del Sol; logrando registrar de manera independiente las horas de contacto interno y externo. Durante todo el verano midieron las distancias cenitales de varias estrellas: Arturo, Antares y Fomalhaut, entre otras, para obtener la latitud del observatorio, fijada por Mason en $33^{\circ} 55' 42''$ Sur. Su estancia allí la aprovecharon para observar, de acuerdo otros astrónomos de Gran Bretaña, los eclipses de los satélites de Júpiter, la ocultación de estrellas por la

Luna y un eclipse total de la misma; lo que permitió calcular, por las diferencias de horas locales, la longitud del citado observatorio con relación al de Greenwich: $1^{\text{h}} 13^{\text{m}}35^{\text{s}}$ Este. Ambas determinaciones de Mason y Dixon merecieron un comentario halagador del astrónomo real N. Maskelyne en 1767: *It is probable that situation of few places is better determined*; siendo usadas por otros astrónomos para calcular la paralaje solar y para deducir el valor de la intensidad de la gravedad en Ciudad del Cabo. En el mes de octubre de 1761 los dos astrónomos emprendieron el viaje de vuelta, haciendo escala en Santa Helena; en ella coincidieron con Maskelyne, que también se había desplazado a esa isla para observar el mismo tránsito. Dixon y Mason debieron fraguar entonces la amistad que les llevaría a colaborar, dos años después, en la empresa que les haría adquirir merecida fama: la delimitación de los futuros estados de Peensylvania y Maryland, cuando los dos eran aún colonias británicas.

Cuando en la *Royal Society* se estaba gestando el programa observacional del citado tránsito, concretamente en julio de 1760, tuvo lugar en Londres la presentación de un proyecto de acuerdo entre Frederick Calvert (1731-1771), 6º Barón de Baltimore y propietario de Maryland, y los hermanos Thomas (1702-1775) y Richard Penn (1706-1771), propietarios de la provincia de Peensylvania y de los condados de New Castle, Kent y Sussex (que hoy forman el estado de Delaware); con el que



Mojón en la Isla de Fenwick



Escudo de la familia Peen

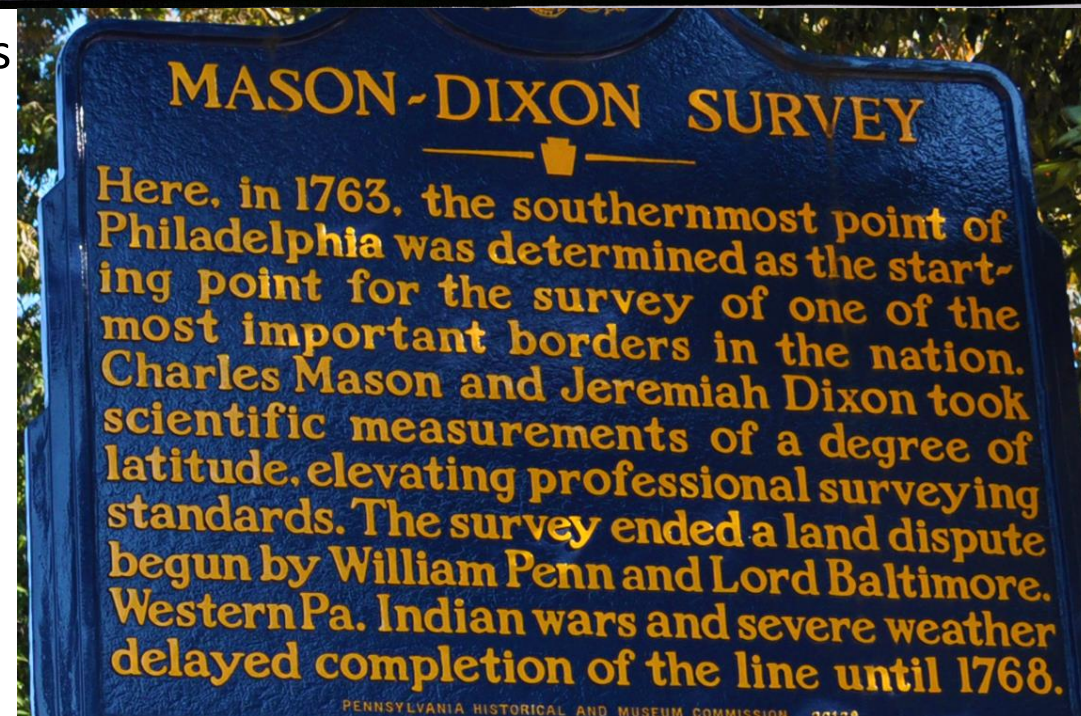
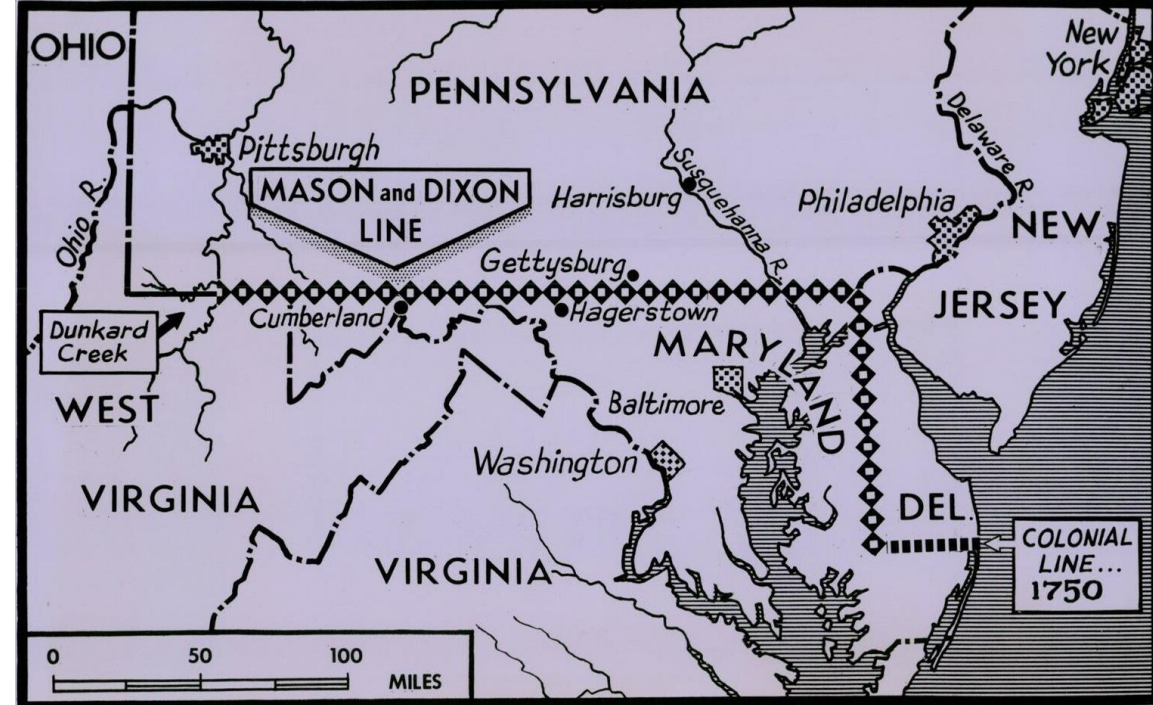


Mojón del Punto Medio

pretendían poner fin al conflicto permanente que mantenían en relación con la extensión y límites de dichos territorios. Según lo previsto en el acuerdo, se creó una Comisión compuesta por catorce delegados, siete por cada parte implicada, encargada de reconocer y materializar los límites entre Maryland y los tres condados y entre Maryland y Peensylvania. En principio se aceptó la frontera marcada por el límite meridional del condado de Sussex, que había sido establecido como tal en el año 1751 y que sensiblemente coincidía con la dirección Este Oeste; cuyos extremos eran un mojón sito en la isla de Fenwick y otro, el occidental, localizado en el llamado Punto Medio, llamado así por equidistar de la costa atlántica y la costa oriental de la Bahía de Chesapeake. Desde ese último punto se trazaría una línea hacia el Norte que debería ser tangente a la circunferencia de 12 millas de radio y con centro en el Palacio de Justicia de New Castle. A partir del punto de tangencia seguiría su meridiano hasta alcanzar el paralelo situado a 15 millas del extremo Sur de Filadelfia; la línea tangente, el arco circular y el meridiano separarían Maryland de los tres condados ya mencionados. Desde el punto de encuentro entre el meridiano y el paralelo, seguiría este último hasta llegar a un punto localizado a 25 millas, como mínimo, al Oeste del río Susquehanna, respetando los límites marcados por el Rey Carlos II para Peensylvania (cinco grados al Oeste desde el río Delaware). Los comisionados celebraron su primera reunión en New Castle durante el mes de noviembre del año 1760, decidiendo entonces los topógrafos

y el resto e personal que se encargarían del replanteo y amojonamiento del límite fronterizo. Sin embargo, sus intentos resultaron baldíos y los dos propietarios optaron por suspender los trabajos en 1763 y pedir el asesoramiento científico y técnico de la metrópoli. Fue así como intervino en el proyecto la *Royal Society*, convocando de inmediato a Mason y a Dixon para reunirse con la propiedad y responsabilizarse de la materialización de la línea sobre el terreno; los cuales recibieron el instrumental necesario para la observación: un sector cenital, dos teodolitos de tránsito (círculos meridianos portátiles) y dos telescopios reflectores con aumentos suficientes (algunos de ellos contruidos por J. Bird).

La primera operación de los dos astrónomos fue la determinación de la latitud de Filadelfia, estacionando el sector en un punto identificado hoy día con la correspondiente señal, midiendo para ello las distancias cenitales de ocho estrellas, cuando cruzaron el meridiano del lugar, y corrigiendo tales valores por refracción y reduciéndolos al 1 de enero de 1764, teniendo en cuenta la precesión, aberración y nutación; el valor obtenido fue de $39^{\circ}57'12''$ aproximadamente.



En enero de 1764 avanzaron 31 millas hacia el Oeste, hasta alcanzar la granja de John Harlam, en el condado de Chester; estableciendo allí el observatorio desde el que efectuarían observaciones astronómicas en los cuatro años siguientes. Para materializar la estación se colocó un mojón el 5 de marzo de 1764, posteriormente rodeado de mampostería, conocido en la actualidad como *Star-Gazers' Stone*.

Cada primavera abandonaban la granja para proseguir con el levantamiento topográfico de la línea y de su entorno inmediato, regresando a ella cuando llegaba el invierno. Así continuaron hasta el otoño de 1767, en que ultimaron los trabajos de campo y continuaron con los de gabinete; hasta que, a comienzos de 1768, entregaron el mapa de la demarcación a la Comisión. Todo el invierno 1766-67 y comienzo de la primavera de 1768 permanecieron en la granja cumpliendo las tareas que le habían encomendado des la *Royal Society* .



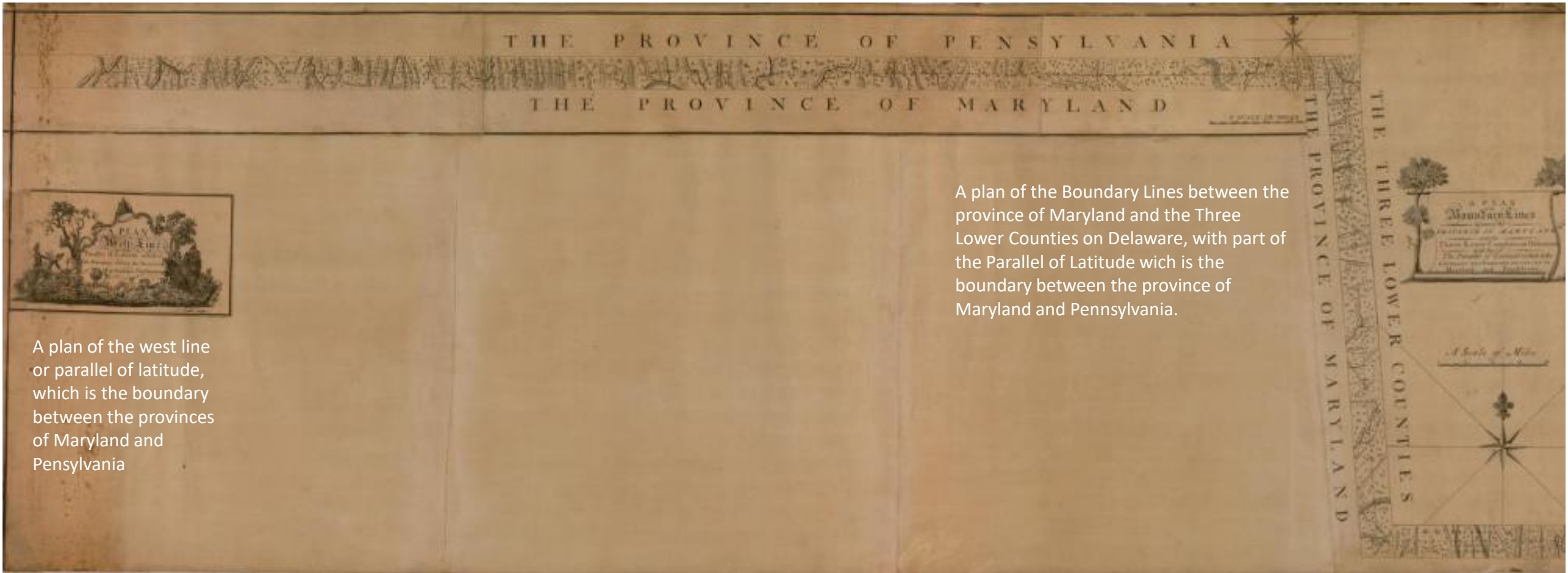
Star-Gazers' Stone.



← Círculo meridiano portátil usado por Mason y Dixon



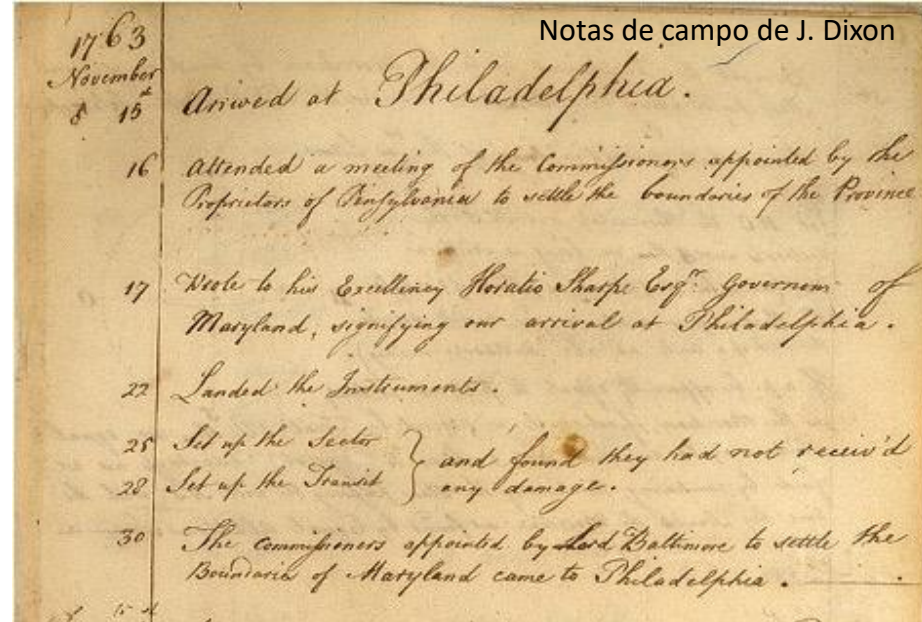
THE STAR-GAZERS' STONE
ERECTED IN 1764 BY MASON AND DIXON
IN LOCATING THE
PENNSYLVANIA-MARYLAND BOUNDARY LINE
BEING 15 MILES NORTH THEREOF AND
31 MILES DUE WEST OF PHILADELPHIA. HERE
THEY ALSO MEASURED A DEGREE OF LATITUDE
ON THE EARTH'S SURFACE SOUTHWARD, AND
MADE OTHER ASTRONOMICAL OBSERVATIONS;
HENCE THE NAME
ENCLOSED AND MARKED BY
THE CHESTER COUNTY HISTORICAL SOCIETY, 1908



A plan of the west line or parallel of latitude, which is the boundary between the provinces of Maryland and Pennsylvania

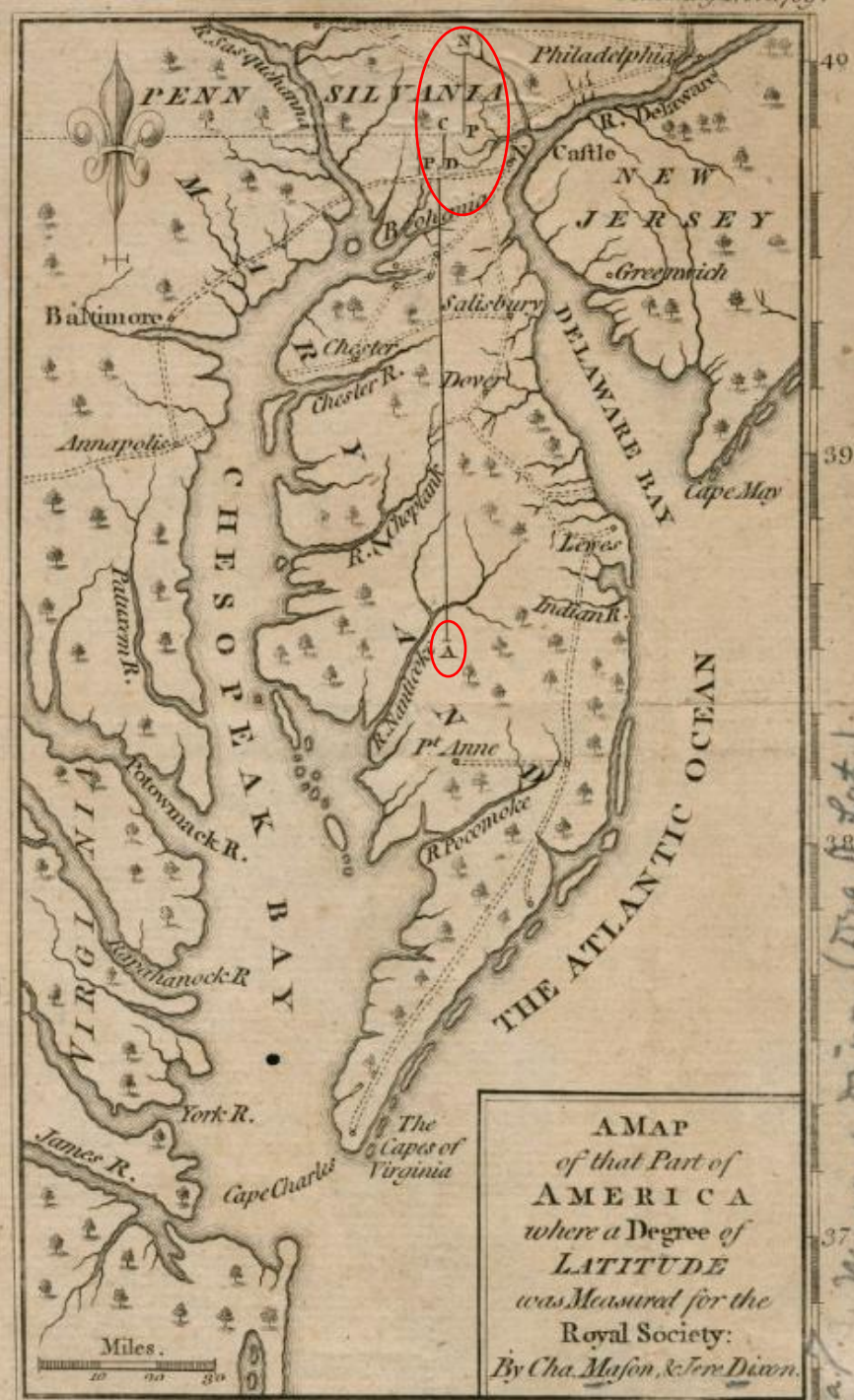
A plan of the Boundary Lines between the province of Maryland and the Three Lower Counties on Delaware, with part of the Parallel of Latitude which is the boundary between the province of Maryland and Pennsylvania.

La línea fronteriza quedó materializada mediante más de 200 mojones prismáticos de sección cuadrangular, colocados a intervalos de una milla; llevando grabados cada uno de ellos una P en la cara Norte y una M en la opuesta, con la salvedad de los levantados cada cinco millas que fueron de mayor tamaño y llevaban incorporados los escudos de armas de las dos familias, en las caras respectivas. El mapa, con dos escalas gráficas, se presentó en dos hojas, que una vez compuestas forman un rectángulo de 65 x 185 cm y tiene dos cartelas: una al Este y otra al Oeste; orlada la primera con bellos instrumentos matemáticos e indios, mientras que la segunda aparece enmarcada dos arboles. La orientación del conjunto la proporciona una flor de lis situada en el borde oriental.



Grabado de Mason y Dixon en la línea fronteriza

Mason y Dixon quisieron aprovechar su estancia en América para medir el desarrollo de un arco de paralelo y contribuir así al estudio de la figura de la Tierra; la propuesta la hizo Dixon a su amigo J. Bird, por medio de una carta enviada desde Filadelfia. Sin embargo, el encargado de comunicarlo a la *Royal Society* (24-X-1764) fue el propietario Penn, el cual hizo saber que la medida del segmento del paralelo, que separaba Pennsylvania de Maryland, no supondría desembolso alguno para la institución; la idea fue aceptada, pero se ignora por qué no se llevó a cabo. Lejos de desanimarse, aprovecharon la felicitación que le mandaron a Maskelyne por su reciente nombramiento como astrónomo real (20-VI-1765), para proponerle dos proyectos: el primero de ellos coincidía con el que habían formulado con anterioridad, aunque añadieran que la diferencia de longitudes entre los dos extremos se calcularía restando las horas locales, que fijarían la observación simultánea de las emersiones y ocultaciones de los satélites de Júpiter. La propuesta fue comunicada a la *Royal Society* por J. Bird el 17 de octubre de 1765. El segundo proyecto consistiría en la medida de un grado de meridiano, aprovechando el que servía de límite entre Maryland y los condados inferiores de Delaware. En esta ocasión si pudo ejecutarse la operación, pues la Royal Society les encomendó la medición del arco cuyos extremos fueron el Punto Medio y la granja de Harlan, bajo la



supervisión de N. Maskelyne; el cual les indicó las instrucciones a seguir mediante una carta fechada el 8 de noviembre de 1765. En primer lugar, determinaron las latitudes de los extremos, para calcular la amplitud angular del arco como diferencia de las mismas. Aunque la distancia aproximada entre los dos puntos ya la conocían por sus trabajos previos, volvieron a medirla con mayor exactitud (controlaban la humedad y la temperatura) usando varas de madera; contrastadas con un patrón de cinco pies y con cuatro reglas de 22 pies, construidas al efecto por J. Bird (hechas de abeto y cantoneras metálicas). Finalmente pudieron deducir que el grado equivalía a 68.8114 millas; resultado de dividir 6956.76 cadenas por $1^{\circ}.26373611$, la cadena de E. Gunter tenía 66 pies y 100 eslabones. Mason y Dixon pasaron el verano y el otoño de 1767, en el territorio indio de las Seis Naciones, extendiendo el paralelo limítrofe desde las montañas de los Alleghenies hasta el extremo más occidental de Peensylvania; dando por concluidos los trabajos del deslinde en enero de 1768. A partir de entonces se dedicaron a completar los de la medición del grado, con la medida de la distancia entre la granja y el Punto Medio. Finalmente, Mason y Dixon zarparon desde Nueva York para Inglaterra el 11 de septiembre de 1768.

Mapa firmado por Mason y Dixon. Figuran resaltados los puntos siguientes: A) Punto Medio, C) El extremo Noreste de Maryland, D) El punto de tangencia, N) el observatorio de la Granja de Harlan y P) señala dos posiciones, en la más al Sur, el paralelo se prolonga hacia el Este y en la otra hacia el Oeste.

La *Royal Society* valoró positivamente los trabajos geodésicos de Mason y Dixon, disponiendo su publicación en sus *Philosophical Transactions* del año 1768; concretamente en los artículos XLI, XLII y XLIII. El primero de ellos se tituló: *Introduction to the following observations, made by Messieurs Charles Mason and Jeremiah Dixon, for determining the length of a degree of latitude, in the provinces of Maryland and Pennsylvania, in North America; by the Reverend Nevil Maskelyne, B. D. F. R. S. Astronomer Royal*. El segundo: *Observations for determining the length of a degree of latitude in the provinces of Maryland and Pennsylvania, in North America*; y el tercero: *Astronomical observations, made in the forks of the River Brandiwine in Pennsylvania, for determining the going of a clock sent thither by the Royal Society, in order to find the difference of gravity between the Royal Observatory at Greenwich, and the place where the clock was set up in Pennsylvania; to which are added, an observation of the end of an eclipse of the Moon, and some immersions of Jupiter's first satellite observed at the same place in Pennsylvania: By Charles Mason and Jeremiah Dixon*.

El primer artículo, leído en la sesión del 24 de noviembre de 1768, era realmente una especie de presentación de los dos protagonistas por parte de Maskelyne, el cual recordó las observaciones del tránsito de Venus que habían realizado y el reciente levantamiento de la frontera entre las propiedades de las familias Calvert y Peen. La medida del grado de



XLII. *Observations for determining the Length of a Degree of Latitude in the Provinces of Maryland and Pennsylvania, in North America, by Messieurs Charles Maſon and Jeremiah Dixon.*

1766, October.		*'s Names.	Nearest point on the ſector.	Points on the micrometer.	Diff. between the points on the micrometer.	Apparent zen. diſtances.
24	9	Cloudy.	0	'	0	'
28	10	α Lyræ	0	5+	3 26½ 0 43½	2 19,0 0 7 19,0 North.
		γ Cygni	1	5-	4 42 6 6-	1 7,7 1 3 52,3 N.
		α D°	6	0-	5 41 5 46-	0 4,7 5 59 55,3 N.
		γ Andromedæ	2	45-	7 12 7 42	0 30,0 2 44 30,0 N.
		β Perſei	1	35-	8 15½ 8 22	0 6,5 1 34 53,5 N.
		δ D°	8	35-	5 51½ 7 33	1 25,5 8 33 34,5 N.
		Capella	7	15+	6 48½ 5 20½	1 20,0 7 16 20,0 N.
		β Aurigæ	6	25+	3 29½ 2 17½	1 4,0 6 26 4,0 N.
		Caſtor	6	5-	15 25 15 15½	0 9,5 6 4 50,5 N.

meridiano fue para el astrónomo real especialmente relevante, en tanto que las distancias lineales involucradas se midieron directamente, obviando así los posibles errores ligados a las cadenas de triángulos; también ponderó el hecho de que se hubiesen observado estrellas a uno y otro lado del meridiano, para calcular la latitud de los dos extremos del arco. El segundo artículo, de 54 páginas, fue eminentemente astronómico, puesto que se detallaron todas las observaciones necesarias para conocer la dirección de la meridiana en varios lugares, por medio del Sol o de la estrella polar. Más notables fueron las numerosas tablas que

aportaron, con los valores de las distancias cenitales de numerosas estrellas, para calcular la latitud el lugar. El tercer artículo, leído el 15 de diciembre de 1768, fue gravimétrico y también se refiere a algunos de los trabajos efectuados en América, entre diciembre de 1766 y junio de 1767, siguiendo instrucciones de Maskelyne; aparte de las observaciones pendulares dieron cuenta de la observación del final de un eclipse de Luna y de las inmersiones del primer satélite de Júpiter



Sector cenital de J. Bird

Al parecer, esa fue la última vez que colaboró con la Royal Society, dedicándose a partir de entonces a la práctica de la topografía en Durham, su ciudad natal. Uno de los planos que levantó, en 1772, fue el del parque de Demesnes (Castillo de Auckland o Palacio episcopal); probable encargo de John Egerton (1721- 1787) obispo de Durham. Dixon también confeccionó el plano del mayor condado de la zona (Lanchester Commom o Moor) en el año 1773.

Instrumentos topográficos contemporáneos de J. Dixon





Daguerrotypo
(17.III.1853)

Christian Andreas Doppler (1803-1853)

Físico y matemático austriaco que aclaró el fenómeno que se produce cuando cambia aparentemente la frecuencia de una onda, cuando la fuente de la misma se desplaza con relación al receptor; de ahí que sea referido como efecto Doppler. por recomendación del profesor de matemáticas en el Liceo de Salzburgo, cursó sus primeros estudios universitarios en el Instituto Politécnico de Viena, finalizándolos en 1825. Después de pasar cuatro años en Salzburgo, su ciudad natal, volvió a la Universidad de Viena para ampliar sus conocimientos astronómicos, matemáticos y mecánicos. En esa etapa llegó a ser asistente de Adam von Burg (1797-1882), profesor de matemáticas superiores y mecánica en dicha universidad; publicando entonces varios artículos, refiriéndose el primero a la teoría de las paralelas (1831). El periplo profesional de Doppler fue extenuante, hasta que en 1837 aceptó el puesto de profesor asistente de matemáticas aplicadas en el Instituto Politécnico de Praga. En el año 1840 ingresó en la Academia de Ciencias de Bohemia (*Königliche Böhmisches Gesellschaft der Wissenschaften*), pasando a ser miembro de pleno derecho en 1843.

Ueber das
farbige Licht der Doppelsterne

und einiger anderer

Gestirne des Himmels.

Versuch einer das Bradley'sche Aberrations - Theorem als integrierenden Theil in sich schliessenden allgemeineren Theorie.

Von

Christian Doppler,

Professor der Mathematik und praktischen Geometrie am technischen Institute und ausserordentl. Mitglied der königl. böhm. Gesellschaft der Wissenschaften.

(Aus den Abhandlungen der k. böhm. Gesellschaft der Wissenschaften (V Folge, Bd. 2) besonders abgedruckt.)

Prag, 1842.

In Commission bei Borrosch & André.

Su actividad docente siempre la compatibilizó con la investigación, publicando numerosos trabajos. El más conocido fue uno, presentado el 25 de mayo de 1842 en la Academia de Ciencias de Bohemia, siendo su título *Ueber das farbige Licht der Doppelsterne und einiger anderer Gestirne des Himmels* (Sobre la luz coloreada de las estrellas dobles y de algunas otras estrellas en el cielo). Tan brillante idea la formuló dentro de una teoría general, que consideró integrada en la que había formulado Bradley sobre la aberración de la luz. El artículo relacionó por vez primera la frecuencia de una fuente con su velocidad con relación al observador. En realidad, Doppler no le dedicó demasiado espacio al fenómeno, tratando tanto la luz como el sonido como ondas longitudinales en el éter y la materia, respectivamente; aunque supusiera que la luz era una onda longitudinal, su equivocación no afectaba al principio que defendió. Por otro lado, aunque acertara al anunciar que por su principio cambiarían los colores de las estrellas dobles, dependiendo de que el sistema se alejara o acercara a la Tierra, el efecto es demasiado pequeño como para considerarlo significativo.

La expresión analítica del principio o efecto de Kepler, viene dada por la fórmula

$f = f_0 \left(\frac{c \pm u}{c \mp v} \right)$ donde f_0 es la frecuencia de la fuente, f es la frecuencia percibida por el observador, c es la velocidad de la onda en un medio estacionario, u es la velocidad del receptor relativa al medio (positiva si el receptor se mueve hacia la fuente y negativa en caso contrario), v es la velocidad de la fuente relativa al medio (positiva si la fuente se aleja del receptor y negativa en caso contrario). Aunque su trabajo no tuvo en principio buen acogida en la comunidad científica, más tarde (1846) lo corrigió, teniendo en cuenta las velocidades relativas de la fuente y del observador, lo que permitió aplicar plenamente su novedosa teoría. Las primeras constataciones del efecto Doppler, con relación a los cambios de color, eran inobservables con el instrumental de su tiempo, en cambio con el sonido no tardaron en producirse. Ya en 1845 se llevaron a cabo experimentos con músicos que tocaban sus instrumentos, a bordo de un tren, mientras otros identificaban la nota aparente a medida que el tren se acercaba y se alejaba de ellos. No obstante, el convencimiento tardó en generalizarse, máxime cuando Joseph Petzval (1807-1891), profesor de matemáticas en la Universidad de Viena, continuó oponiéndose frontalmente a su teoría; publicando Doppler en 1852 un artículo en donde se rebatían las objeciones puestas por aquel.

Fueron muchas sus publicaciones sobre electricidad y magnetismo, la variación de la declinación magnética con el tiempo, así como otras sobre óptica y temas astronómicos. Rara es la disciplina en la que no tiene aplicación su principio.



Patio porticado
de la
Universidad de Viena

Beiträge
zur
Fixsternenkunde.

Von

Christian Doppler,

o. ö. Professor der Mathematik und praktischen Geometrie, und ordentlichem Mitglied der königl. böhm. Gesellschaft der Wissenschaften.

1. Methode, die scheinbaren Durchmesser sämtlicher Fixsterne in Bogenmass zu bestimmen.
2. Gedanken über die Möglichkeit, die absoluten Entfernungen und absoluten Durchmesser der Fixsterne auf rein optischem Wege zu bestimmen.
3. Methode, die Geschwindigkeit, mit der die Lichtmolekel bei der Wahrnehmung der Fixsterne am Orte des Beobachters schwingen, zu bestimmen.

Aus den Abhandlungen der königl. böhm. Gesellschaft der Wissenschaften (V. Folge, Band 4) besonders abgedruckt.

Prag, 1846.

Druck der k. k. Hofbuchdruckerei von Gottlieb Haase Söhne.

Contribución al estudio de las estrellas fijas

Drei Abhandlungen
aus dem Gebiete der
Wellen-Lehre,
nebst Anwendungen auf
Akustik, Optik und Astronomie.

Von

Christian Doppler,

o. ö. Professor der Mathematik und praktischen Geometrie, und ordentlichem Mitglied der königl. böhm. Gesellschaft der Wissenschaften.

1. Methode, die Geschwindigkeit, mit der die Luftmolekel beim Schalle schwingen, zu bestimmen.
2. Über eine vom Zerstreuungsvermögen des Fortpflanzungsmittels völlig unabhängige rotatorische Dispersion des Lichtes, nebst gelegentlichen Bemerkungen zur rotatorischen Brechung.
3. Über eine Vorrichtung, mittels deren sich jede noch so geringe Ablenkung eines Lichtstrahls von seiner geradlinigen Bahn wahrnehmen und messen lässt, nebst Hinweisung auf solche Fälle, wo eine derartige Ablenkung vielleicht Statt haben dürfte.

Aus den Abhandlungen der königl. böhm. Gesellschaft der Wissenschaften (V. Folge, Band 4) besonders abgedruckt.

Prag, 1846.

Druck der k. k. Hofbuchdruckerei von Gottlieb Haase Söhne.

Tres tratados de teoría ondulatoria, con sus aplicaciones a la Acústica, Óptica y Astronomía

Versuch einer Erweiterung
der
analytischen Geometrie
auf Grundlage eines
neu einzuführenden Algorithmus.

Von

Christian Doppler,

wirklichem Professor der Elementar-Mathematik und praktischen Geometrie, gewesenen ausserordentlichem Professor der höheren Mathematik am königl. böhm. technischen Institute, und ausserordentlichem Mitgliede der königl. böhm. Gesellschaft der Wissenschaften zu Prag.

Mit 9 lithographirten Tafeln.

(Aus den Abhandlungen der königl. böhmischen Gesellschaft der Wissenschaften.)

Prag, 1843.

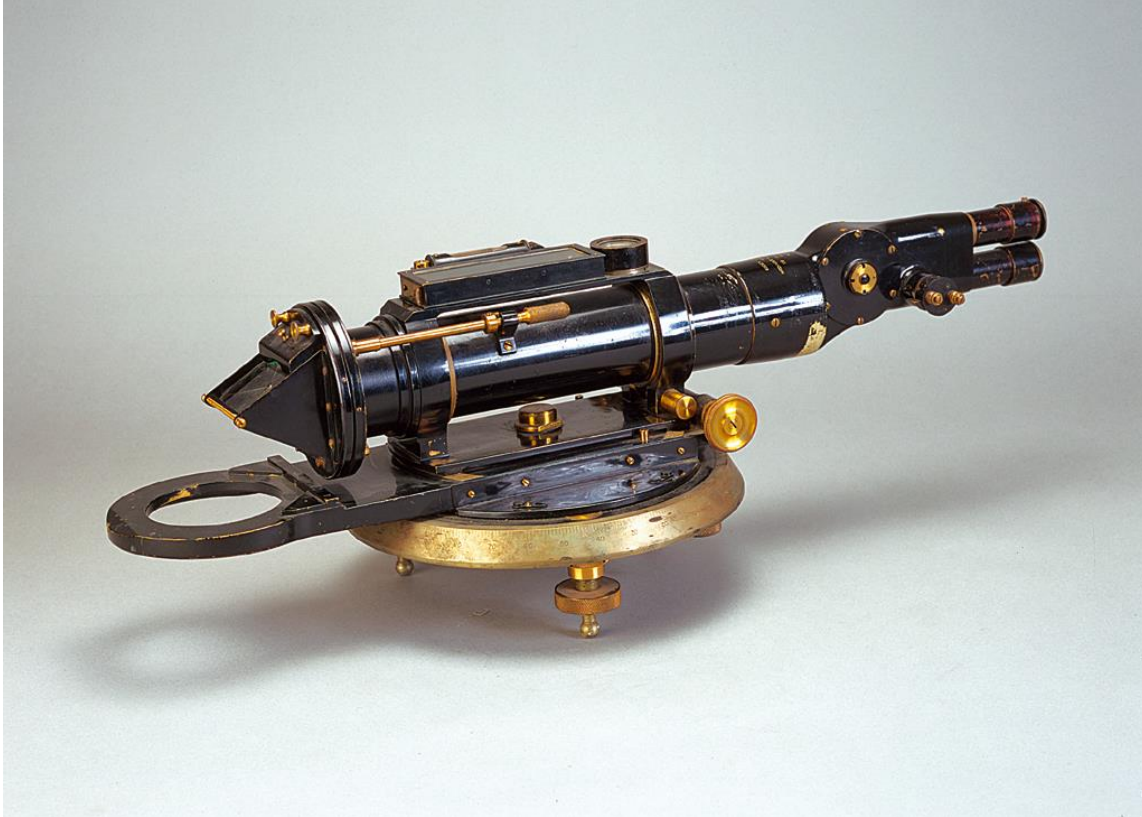
Druck und Papier von Gottlieb Haase Söhne.



73040

Ampliación de Geometría Analítica, bases de un nuevo algoritmo

Joseph Ferdinand Ludovic Driencourt (1858-1940)



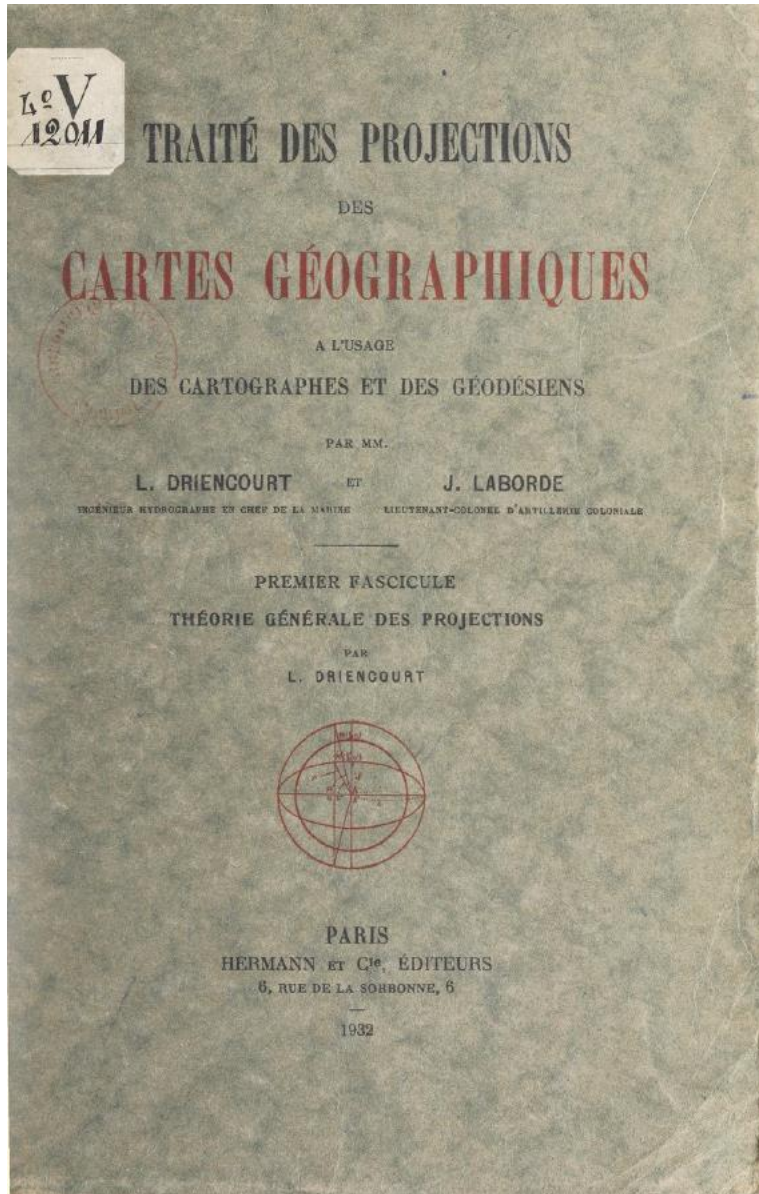
Driencourt ingresó en la École Polytechnique en 1879, para integrarse luego en el cuerpo de Ingenieros Hidrógrafos y llegó a obtener el grado de ingeniero jefe de primera clase. Participó, junto a Anatole Bouquet de la Grye (1827-1909), en la expedición que obtuvo las longitudes, con relación al meridiano de París, de Dakar, Saint Louis, Santa Cruz de Tenerife y Cádiz; como haría después (1889) con Philippe-Eugène Hatt (1840-1915) y Henri Joseph Anastase Perrotin (1845 -1904), para hacer lo propio con las de Ajaccio y Niza. En el año 1907, fue cuando participó en el diseño del instrumento, al que Claude denominó astrolabio de prisma; más tarde perfeccionado por el astrónomo francés André Danjon (1890-1967). En el año 1910 se publicó la obra

titulada *Description et usage de l'astrolabe à prisme*, firmado por ambos: A. Claude, como miembro adjunto del Bureau des Longitudes y L. Driencourt, como ingeniero hidrógrafo en jefe de la Marina.

El libro se dividió en dos partes bien diferenciadas. La primera, compuesta por seis capítulos, fue esencialmente descriptiva y teórica. El primero y el segundo se dedicaron al análisis de los principios en que se basó el astrolabio de prisma, estudiando asimismo la influencia de los errores instrumentales. El capítulo tercero se centró en la exposición general del método de las alturas iguales para la determinación de la latitud y de la longitud, prestando especial atención a las obtenidas con el instrumento en cuestión. El cálculo de las longitudes por alturas iguales de la Luna y de las estrellas, fue el objeto del capítulo cuarto. Los dos capítulos siguientes, se refirieron a la preparación de las observaciones y a la identificación de las estrellas desconocidas que fueron divisadas. La segunda parte de la obra constó de un solo capítulo, el séptimo, titulado *Práctica de las observaciones y cálculo*.

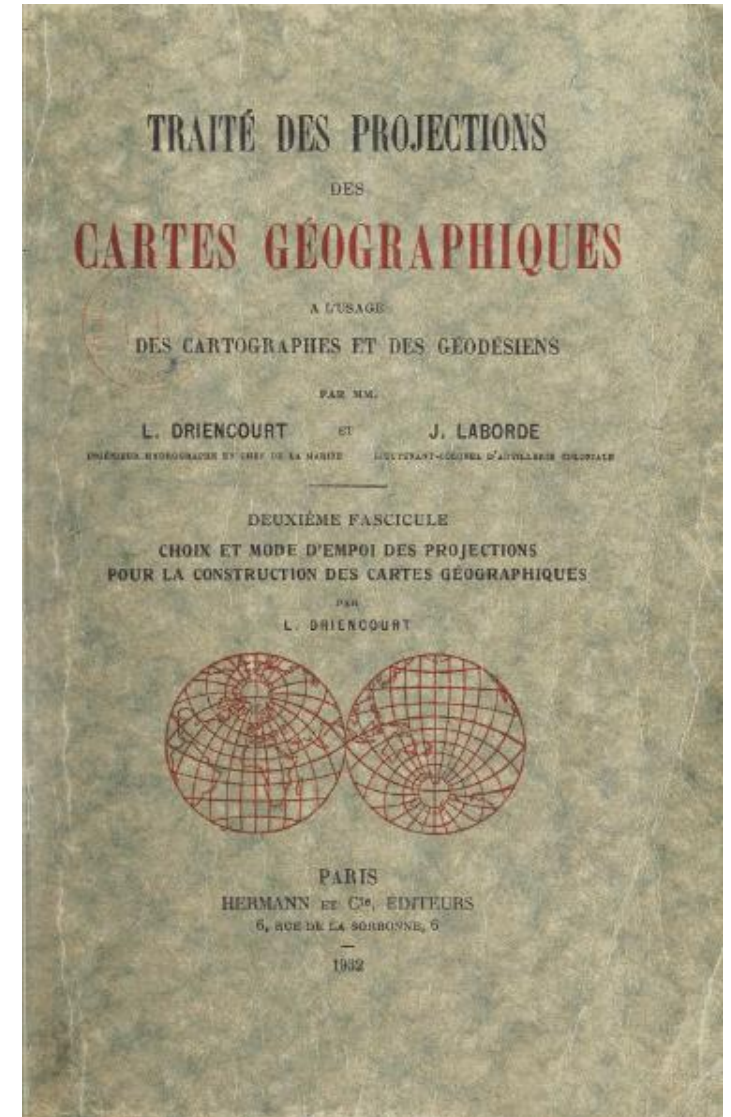


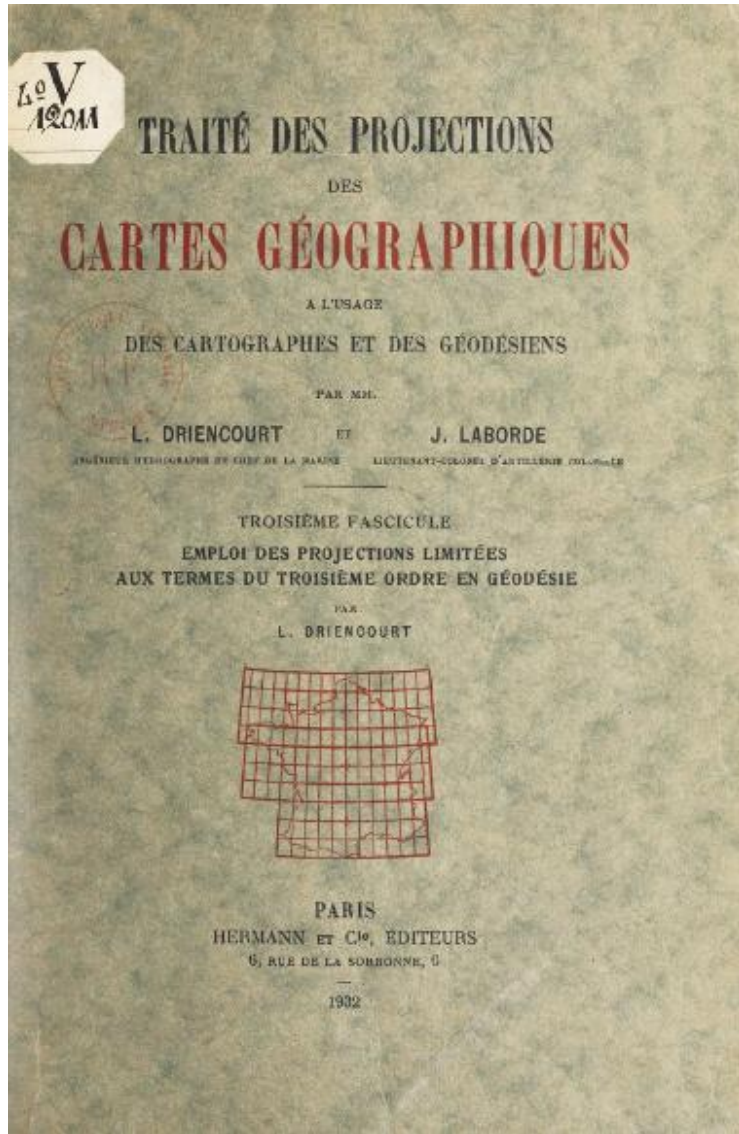
Al visar la estrella (E) a través del ocular se veían dos imágenes de la misma: una directa (1) y otra reflejada (2) por el baño de mercurio (M).



L. Driencourt escribió, junto a Jean Laborde (1882-1964), un tratado excepcional de obligado conocimiento para los estudiosos de la cartografía matemática: *Traité des projections des cartes géographiques*, à l'usage des cartographes et des géodésiens; cuyos cuatro volúmenes fueron publicados en París en el año 1932. En el primero de ellos se expuso la Teoría General de las Proyecciones, estudiando en el capítulo I las deformaciones inherentes a la representación plana de la superficie terrestre; abordándose también el de las proyecciones conformes y equivalentes. El capítulo II desarrolló las fórmulas necesarias para el cálculo de las alteraciones asociadas a cada una de las proyecciones siguientes: cilíndricas, mericilíndricas, centrales, cónicas, mericónicas, policónicas, esféricas rectangulares, esféricas oblicuoángulas, meriesféricas, y las no clasificadas.

El segundo volumen trató de la elección y el modo de empleo de las proyecciones para la formación de los mapas, incorporando una interesante introducción histórica al presentar el capítulo III: Tipos de proyección que podrían ser usados para representar la totalidad del globo terráqueo en uno o dos mapas. Los epígrafes correspondientes fueron los que se indican a continuación: elección del modo de proyección, estudio referido a la construcción y uso de las principales proyecciones empleadas en los mapamundis y planisferios. El capítulo IV abordó el mismo problema, pero particularizándolo para cuando se pretendiera representar únicamente una porción del globo. En el capítulo V se analizó cual sería el sistema cartográfico más apropiado para un determinado país (citando los ejemplos de Francia y España).

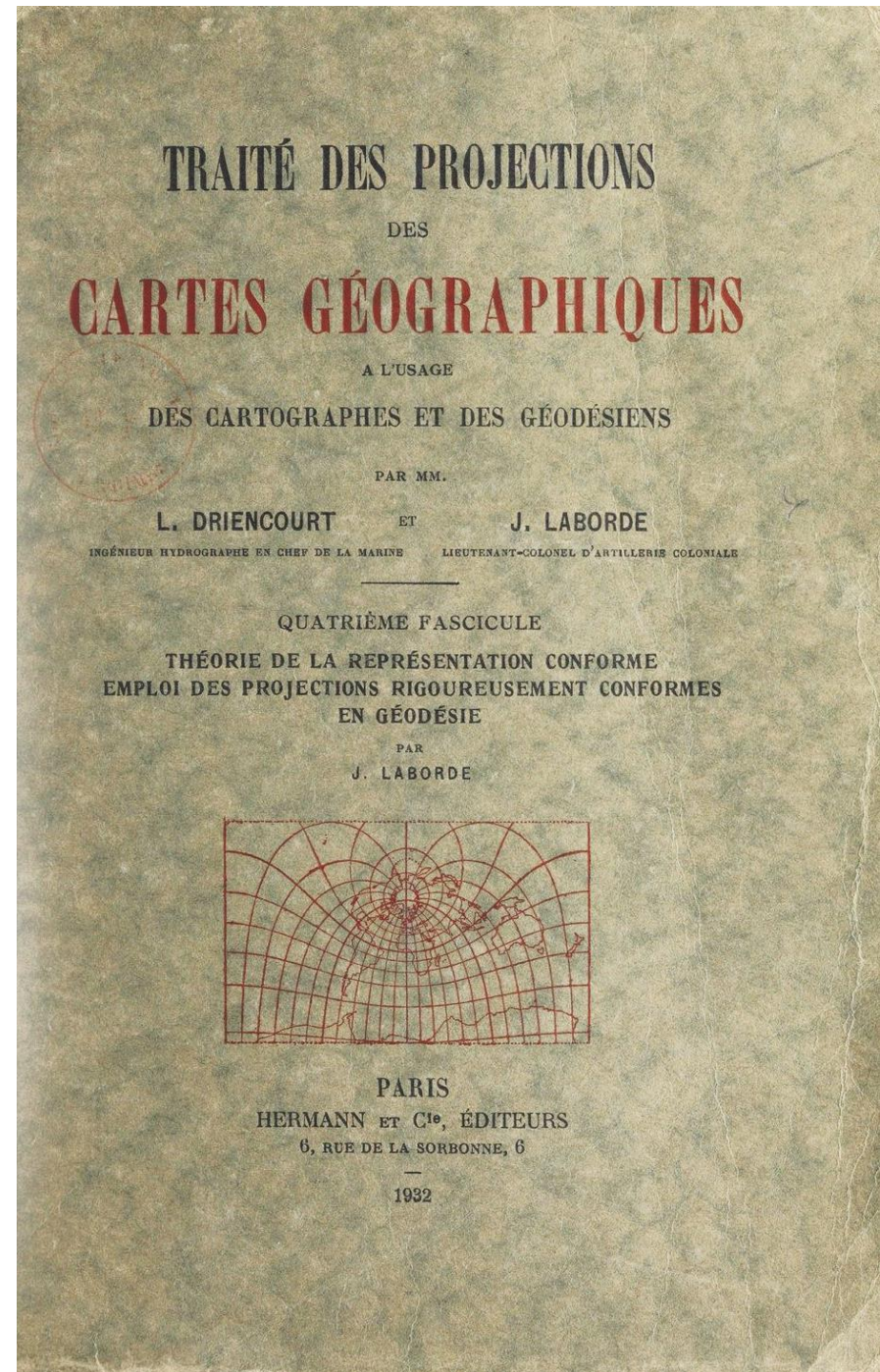




Comienza en este tercer volumen la segunda parte de la obra, abordándose en ella el estudio de las proyecciones desde el punto de vista de su empleo en geodesia. En un principio se restringió el análisis al uso de las proyecciones limitadas a los términos del tercer orden en geodesia. El objetivo de su primer capítulo fue la acotación del campo de los sistemas planos; el del segundo, la elección del mejor modo de representación y el del tercero, el estudio de las proyecciones principales.

Si Driencourt fue el redactor de los tres primeros volúmenes, Laborde lo fue del cuarto; tratando en él de la teoría de la representación conforme, así como del empleo en geodesia de las proyecciones rigurosamente conformes. El capítulo primero de este último volumen lo dedicó al estudio de las alteraciones en las representaciones conformes, considerando el supuesto de dos superficies cualesquiera. El objetivo del segundo capítulo fue la exposición y análisis de las deformaciones asociadas a la representación plana y conforme de una superficie. En el capítulo tercero se desarrolló la teoría analítica de las representaciones conformes. El capítulo cuarto fue especialmente relevante: Proyecciones conformes del elipsoide terrestre, estudiadas bajo el prisma de su empleo en geodesia. Finalmente, el capítulo quinto lo dedicó a las correcciones y el sexto al caso particular de la proyección usada en el Servicio Geográfico de Madagascar (1926).

Además de las dos obras citadas, se publicaron en las Memorias del *Bureau des Longitudes* los tres documentos siguientes: I) *Détermination par télégraphie sans fil de la différence de longitude entre Paris et Washington* (1913); II) *Extrait d'une lettre de M. Driencourt, en date du 12 avril 1915, à Monsieur le Directeur du Service Hydrographique* (1918) y III) *Remarques sur la lunette méridienne par M.M. Driencourt et Claude* (1926).





Albrecht Dürer (1471-1528)

Artista preclaro, del Renacimiento alemán, que demostró poseer sólidos conocimientos cosmográficos por muchos de sus dibujos, entre los que cabe destacar un mapamundi y dos planisferios celestes; gracias a los cuales llegó a ejercer clara influencia en la ciencia del siglo XVI, ayudando a visualizar la nueva concepción del universo. Sus primeras enseñanzas las recibió en Nuremberg, su ciudad natal, compaginándola con trabajos en el taller de sus padres; llamando la atención por la excelencia de sus dibujos desde muy joven, como el autorretrato que se hizo cuando solo tenía 13 años. Pronto se convirtió en pintor y grabador, cuyas obras tenían mayor calidad que la de sus maestros. Después de viajar por distintas ciudades europeas, optó por trasladarse a Italia en 1494, instalándose en Venecia; conociendo en ella a Giovanni Bellini (1433-1516), que tanta influencia ejercería en su producción artística posterior. Un año después regresó a Nuremberg, con el convencimiento de que debería prestar atención a las matemáticas, al igual que hacían los pintores italianos, de ahí que comenzase a estudiar los Elementos de Euclides y la obra de Vitruvio (*De Architectura*. S. I a.C.).



Aeris Ignis Aque & telluris qualis imago
Quis numerus spheris sideribusq; modus
Aurea cur totiēs comutat delia vultus
Hic Messalā meus rite docere parat

A Durero se debe este frontispicio de la obra *De Scientia motus orbis* (1504), escrita por el astrónomo judío Mashallah ibn Athari (740-815), nacido en Basora. Bajo la esfera de las fijas figuran los signos planetarios y el astrónomo con el globo y el compás (símbolo divino de la creación del mundo).

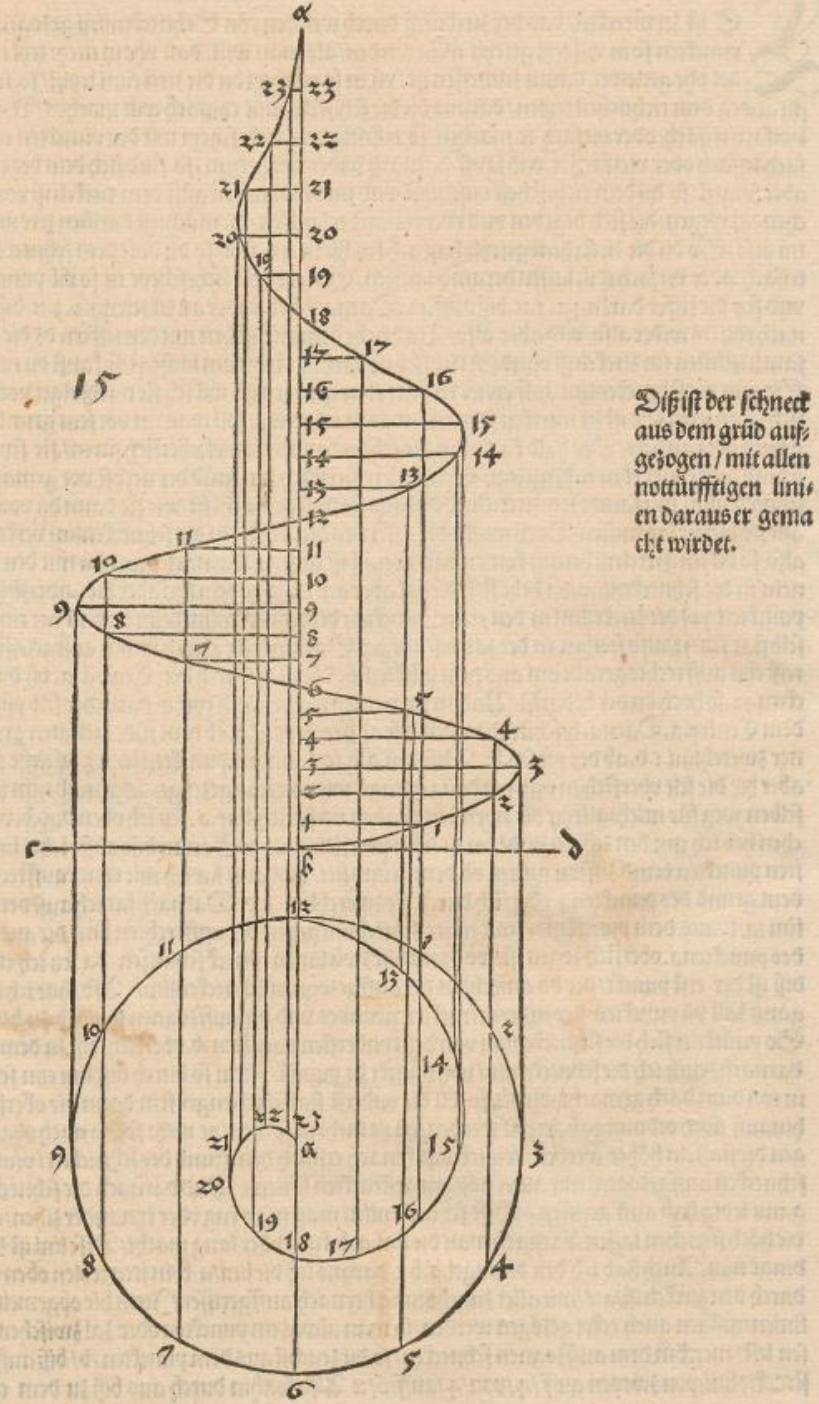
4 Con el estudio de la geometría consiguió dominar la teoría de la proporción y el manejo de la regla y compás, para construir sus inigualables figuras planas y volumétricas; en los albores del siglo XVI ya gozaba de buena reputación como artista y matemático. Entre 1505 y 1507 viajó de nuevo a Italia, pero con la intención de afianzar las aplicaciones de las matemáticas al arte; de ahí que contactara en Bolonia con Luca de Pacioli. Cuando volvió a Nuremberg insistió en sus estudios geométricos, comenzando a aparecer sus grabados más señalados, como el de la

Melencolia I (1514), que incluyó el primer cuadrado mágico (con el 34 como constante) publicado en Europa; otros elementos de interés fueron la cuidada imagen del poliedro truncado, cuyas caras parecen consistir en dos triángulos equiláteros y seis pentágonos algo irregulares, así como la esfera, el compás, que sostiene el ángel, y el cometa dibujado bajo el arco iris.



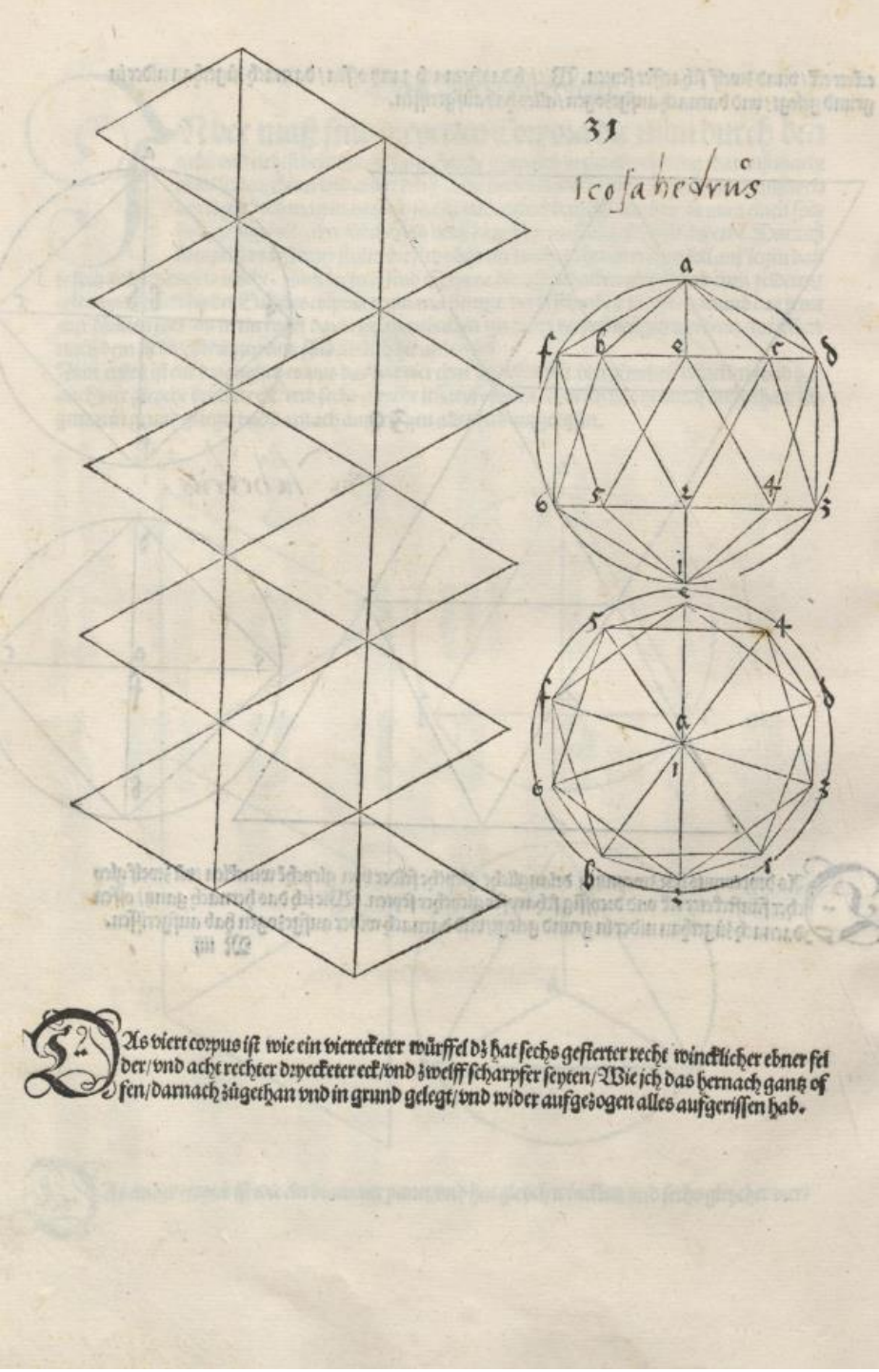


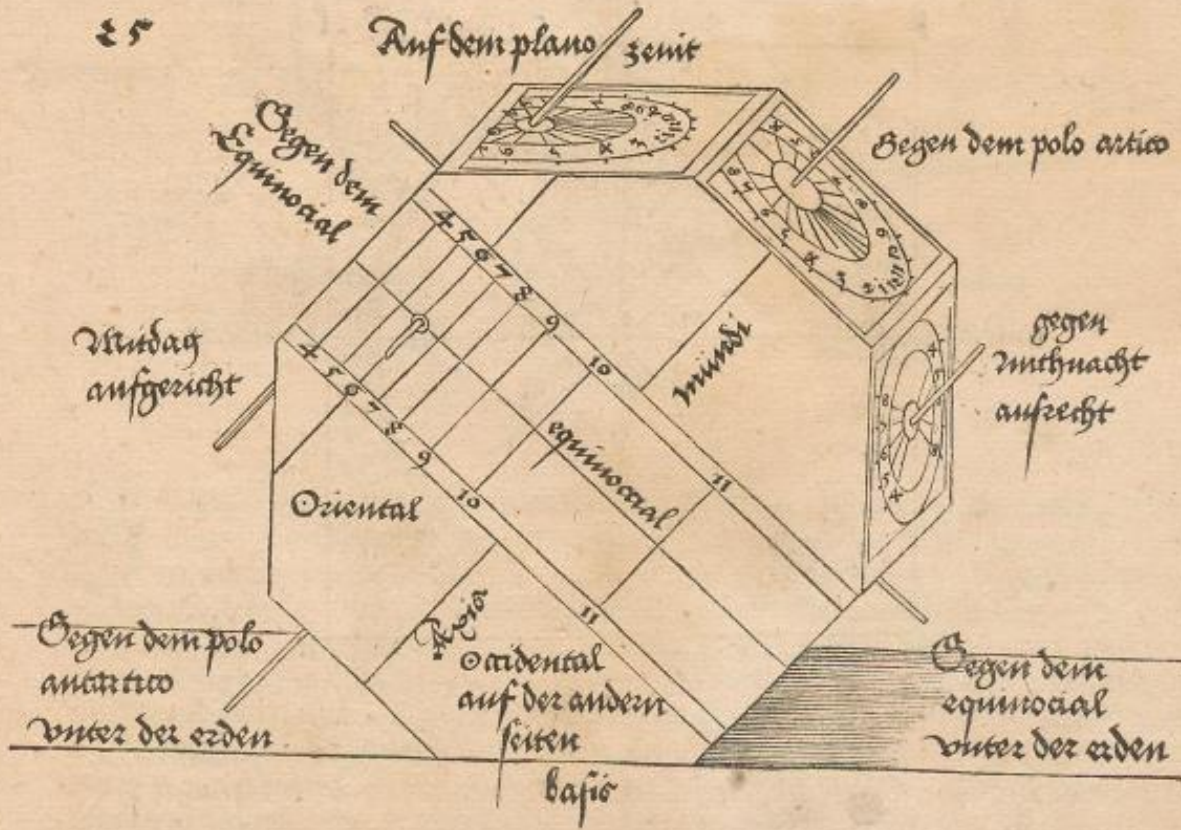
Durero llegó a ser pintor de la corte, aunque tuviese problemas con la percepción de su salario tras el fallecimiento del emperador, que consiguió solucionar después de que fuese coronado en Aquisgrán Carlos V; coronación a la que asistió el artista. Al parecer, ambos se entrevistaron en Amberes y trataron el asunto; Durero logró persuadir al nuevo emperador, el cual refrendó formalmente su nombramiento el 12 de noviembre de 1520. La ciudad de Nuremberg quiso homenajear al monarca, con ocasión de la primera Dieta imperial (Reichstag) que iba a celebrarse allí en 1521, y encargó a Durero que diseñara una medalla al efecto. La medalla se acuñó, aunque la reunión no llegó a celebrarse en Nuremberg, sino en Worms: en su anverso figura el joven emperador (con 20 años) rodeado por una orla con los catorce escudos coronados de Castilla, Aragón, León, Cataluña, Sicilia, Nápoles, Jerusalén, Andalucía, Castilla la Nueva, Galicia, Valencia, Toledo, Granada y Navarra. En la parte superior, eslabón coronado entre las columnas de Hércules y cinta en la que se lee PLUS - ULTRA. El reverso lo preside el águila bicéfala del Sacro Imperio Romano Germánico, asimismo rodeada por los trece escudos coronados de Cerdeña, Córdoba, Córcega, Murcia, Jaén, Algarve, Algeciras, Mazarrón, escudo vacío, Menorca, Mallorca, Islas Canarias y Gibraltar.



Dies ist der schnack
aus dem grund auf-
gezogen / mit allen
notdürfftigen lini-
en daraus er gema-
cht wirdet.

En los años siguientes, Durero continuó con sus trabajos habituales, centrándose principalmente en sus estudios sobre la proporción; dándolos por finalizados en el año 1523 con la redacción de su tratado. No obstante, al pensar que los conocimientos matemáticos, necesarios para su comprensión, no estaban suficientemente extendidos, preparó otro más elemental. Constó este de cuatro libros que publicó en su propia editorial, en el año 1525, con el título *Underweysung der Messung, mit dem Zirckel und Richtscheyt, in Linien, Ebenen unnd gantzen corporen* (La medición con regla y compás, en líneas planos y cuerpos).

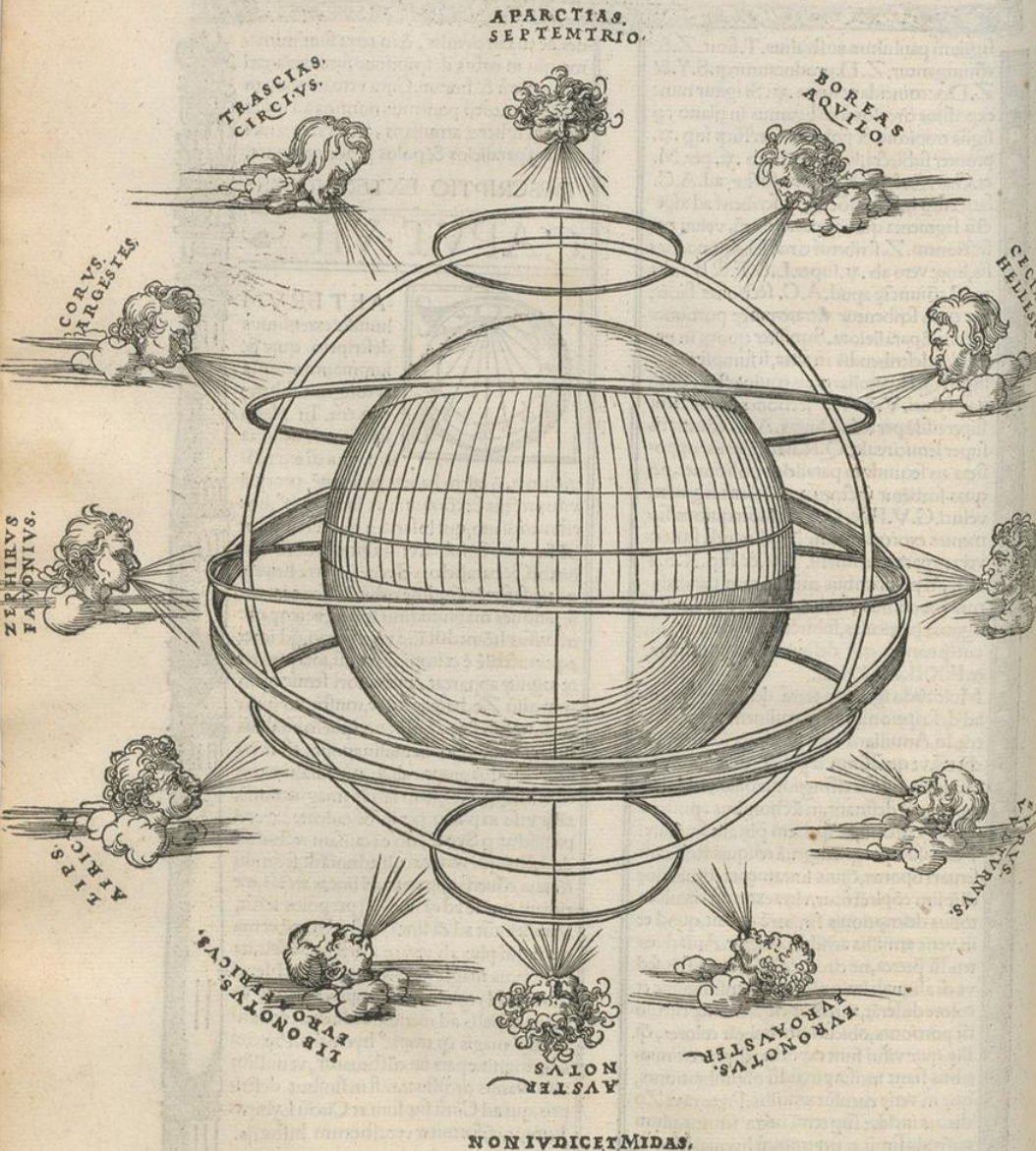




Fue esta la primera obra de geometría escrita en alemán, situando a su autor entre los matemáticos del Renacimiento; tres fueron las fuentes principales en que se basó: los manuales de los artesanos, los textos clásicos impresos y las obras de algunos artistas italianos. El primero de los libros detalló la construcción de curvas, tales como las espirales las del grupo de las cicloides y otras. En el segundo se explicó la construcción de los polígonos regulares, con 5, 7, 9, 11 y 13 lados. El tercer libro lo dedicó a los cuerpos sólidos, pirámides, cilindros etc.; salvo la segunda parte en que se explicó la construcción de los relojes de Sol y otros instrumentos astronómicos.

El último libro estudia los cinco sólidos platónicos, así como los sólidos semirregulares de Arquímedes. También en este libro se encuentra la teoría de las sombras de Durero y una introducción a la teoría de la perspectiva. En ocasiones se comenta que la geometría descriptiva se inició precisamente con esta obra de Durero, si bien su fundamento matemático definitivo fue establecido dos siglos después por el francés Gaspard Monge (1746-1818). En el año 1798 escribió su libro *Géométrie descriptive*, indicando sus dos objetos: el primero, proporcionar los métodos para representar en una lámina cualquier cuerpo de la naturaleza, siempre que pueda ser definido rigurosamente; el segundo es mostrar el modo de reconocer, a partir de una descripción exacta, la forma de los cuerpos y deducir todas las consecuencias que resultan de su forma y de sus posiciones respectivas.

El tercer sistema cartográfico de Tolomeo,
grabado por Durero

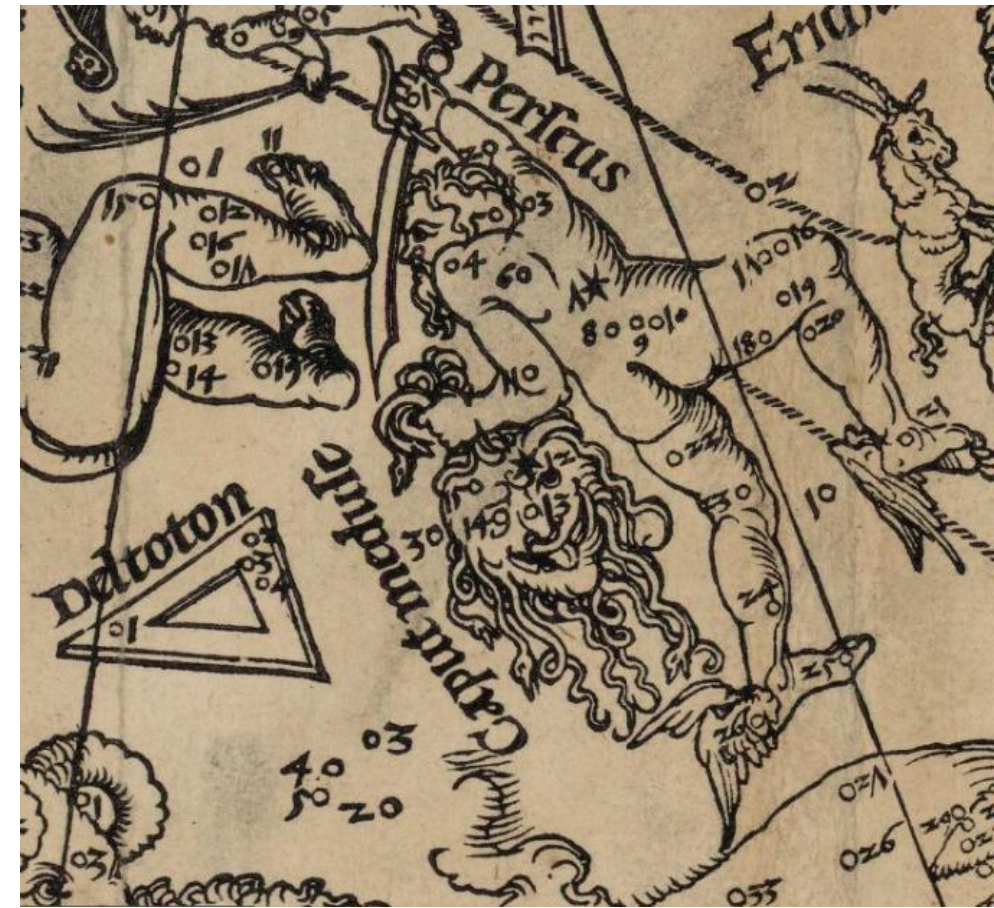


El manifiesto interés de Durero por la geometría le condujo necesariamente a la cosmografía, como prueban las ilustraciones ya citadas del astrónomo, bajo la esfera de las fijas, y del cometa que aparece en su Melancolía; además de los magníficos grabados que iluminaron una de los múltiples trabajos referidos a la geografía de Tolomeo: *Claudii Ptolemaei geographicae enarrationis libri octo Bilibaldo Pirckeym hero interprete Annotationes Ioannis de Regio Monte in errores commissos a Iacobo Angelo in translatione sua*, impreso en Nuremberg (1524); siendo Regiomontanus y Waldseemüller los responsables del texto y mapas, y Willibald Pirckheimer (1470-1530) el editor científico. Otro ejemplo sobresaliente fue el grabado que realizó del mapamundi confeccionado por su amigo y colaborador científico, Johannes Stabius (1454-1522); el cual se basó en los mapas atribuidos a Tolomeo y que figuraban en la obra anterior. Se trató del primer dibujo en perspectiva de la Tierra, que la muestra rodeada por los doce dioses de los vientos, y que guarda una semejanza innegable con el referido a una de los sistemas cartográficos ideado por el sabio alejandrino, reproducida junto a estas líneas. Se conservan muy pocos originales del siglo XVI, pero si las planchas de madera (descubiertas en 1781), a partir de las que se obtuvo la imagen reproducida a continuación.

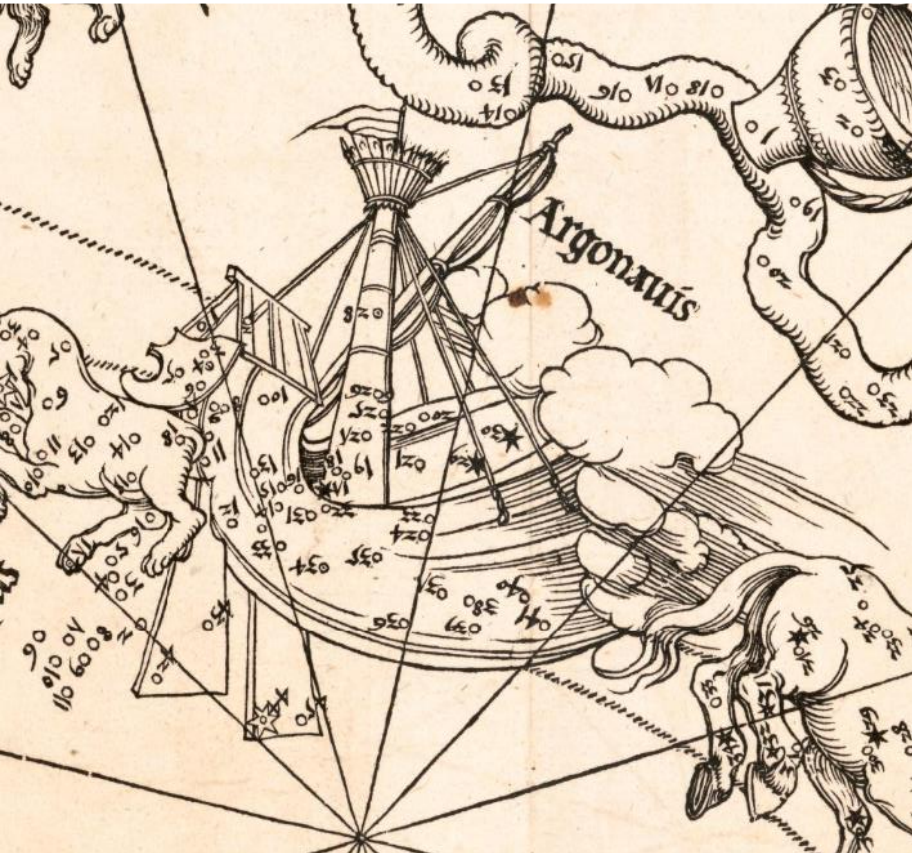


Mapamundi de Johann Stabius formado en 1515 y cuyo grabado se atribuye a Alberto Durero. La imagen del globo terrestre de llamativa volumetría, lleva información marginal: en la que figuran, además de los símbolos de los vientos, el escudo de armas del cardenal Matthäus Lang von Wellenburg (1468-1540), arzobispo de Salzburgo, en la parte superior izquierda y el emblema de Johann Stabius, astrólogo imperial, en la parte inferior izquierda. El mapa tiene la dedicatoria al cardenal en la parte superior derecha, así como el privilegio imperial y fecha en la parte inferior derecha.

El mapa anterior fue preparado al mismo que dos cartas del cielo: una para cada hemisferio, asimismo dibujadas y grabadas por Durero; se tratan probablemente de las dos europeas más antiguas. En ellas se presenta el aspecto del cielo en el Renacimiento, visto desde la superficie terrestre, incorporando las figuras clásicas de las constelaciones grecorromanas: destacando la cabeza de Medusa, sostenida por Perseo; la información proporcionada en los dos planisferios es dispar, en tanto que la correspondiente al hemisferio Sur adolece de falta de información, ya que aún no se había observado su cielo en toda su extensión. Estos dos mapas se elaboraron gracias a la colaboración habida entre Durero, Stabius y el astrónomo de Nuremberg Konrad Heinfogel (¿-1517); el segundo redactó el proyecto original y eligió el sistema cartográfico, y el astrónomo actualizó los datos del catálogo estelar de Tolomeo para el año 1500. Se respetan en las dos cartas las magnitudes estelares fijadas por Tolomeo, simbolizando las de primera, segunda y tercera magnitud con una estrella, mientras que las restantes figuran localizadas mediante pequeños círculos. Los cuadros están limitados por la representación circular de la eclíptica, orlada con los signos del zodiaco y las líneas radiales imágenes de los meridianos eclípticos. La Vía Láctea figura como una banda que se extiende por cada uno de los hemisferios. Durero usó como patrón otros mapas del cielo que había preparado, en 1503, K. Heinfogel, aunque incorporase, como novedad, en las cuatro esquinas del planisferio septentrional las imágenes de otros tantos astrónomos: Aratus Cilix, Tolomeo, Manilius y al- Sufi, responsables en cierta medida de las



La nave de los Argonautas, en el hemisferio Sur



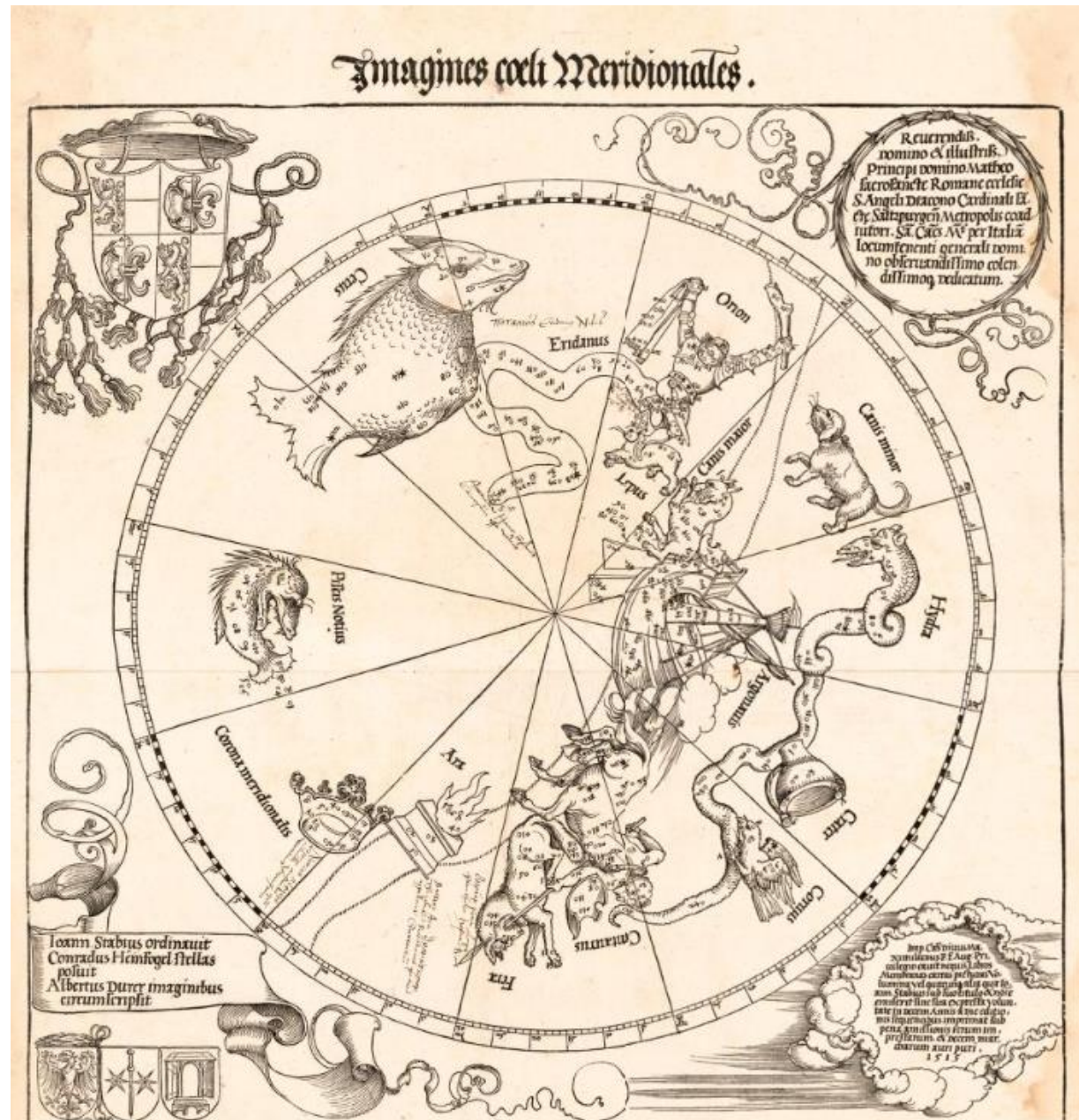
constelaciones elegidas. En la parte superior izquierda del planisferio austral figura el escudo de armas del cardenal Lang, acompañada de la dedicatoria correspondiente en la esquina superior derecha. En la esquina inferior izquierda figuran los nombres de los autores del mapa, indicando el papel jugado por cada uno de los tres, por encima de sus tres emblemas. Como colofón del mapa se incluyó en la otra esquina una cuidada cartela alabando la figura del emperador Maximiliano I (1459-1519), que sufragó

El emperador Maximiliano I pintado por A. Durero



los gastos correspondientes. Los dos planisferios llamaron poderosamente la atención de los eruditos y mediatizaron representaciones tan relevantes como las que adornaron el *Astronomicum Caesareum* de P. Apiano. Los dibujos de las constelaciones, realizados por Durero, fueron trasladados a los globos celestes contruidos tanto por G. Frisius como por su alumno Mercator. A modo de epílogo: las imágenes de los dos planisferios celestes sendas proyecciones estereográficas, en el hemisferio Norte se proyectó la esfera desde el polo Sur y en el hemisferio Sur desde el polo Norte; en ambos casos coincidió el plano de proyección con el de tangencia en los polos respectivos.

LOS DOS PLANISFERIOS CELESTES DE A. DURERO (40 X 40 CM)





Clarence Edward Dutton (1841-1912)

Geólogo y sismólogo estadounidense que acuñó la palabra isostasia, para referirse al equilibrio gravitacional de los bloques corticales que se hunden en la astenosfera, el cual origina el relieve de la superficie terrestre. Ingresó con 15 años en la universidad de Yale y se graduó en el año 1860. Dutton nació en Connecticut, se formó en el ministerio y se graduó en Yale. Luchó en la guerra civil y cuando luego fue destinado como teniente al Ordinance Corps, cerca de Albany, aprovechó para estudiar paleontología y realizar investigaciones químicas. Su primer artículo *The Chemistry of the Bessemer* fue leído en la *American Association for the Advancement of Science* en 1869. En el año 1871 fue trasladado al arsenal de Filadelfia y después al de Washington, un destino en el que centró su atención en la geología; logrando ingresar al poco tiempo en su *Philosophical Society*. En ella conoció al explorador John Wesley Powell (1834-1902), el cual lo integró en el equipo que pretendía reconocer el Río Colorado y el Gran Cañón, como parte del proyecto *U.S. Geographical and Geological Survey of the Rocky Mountain Region*.

Entre los años 1875 y 1877 el equipo reconoció y levantó topográficamente el mapa de 12000 millas cuadradas del altiplano, a escala 1/250000 y con una equidistancia de curvas de 250 pies (≈ 76 m). Ese fue pues el soporte cartográfico necesario para formar los correspondientes mapas geológicos, una vez añadida y codificada la información captada sobre el terreno; uno de ellos fue el mapa geológico de las terrazas mesozoicas del distrito del Gran Cañón y de las regiones al Sureste de las llanuras altas. Otro de los resultados más llamativos del proyecto fue la colección de dibujos panorámicos, con una plasticidad y colorido que todavía causan sensación.

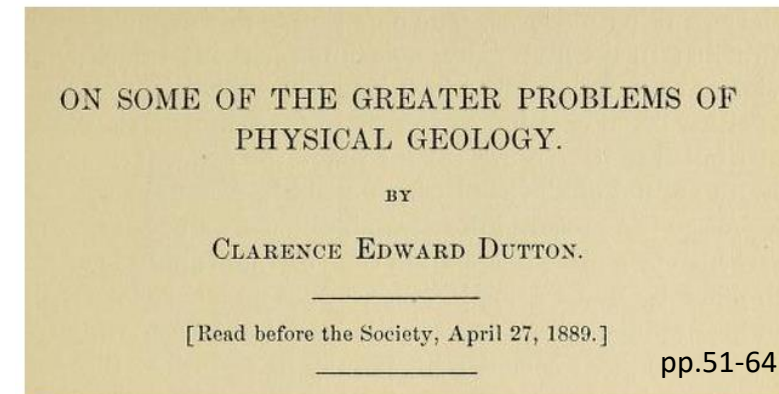
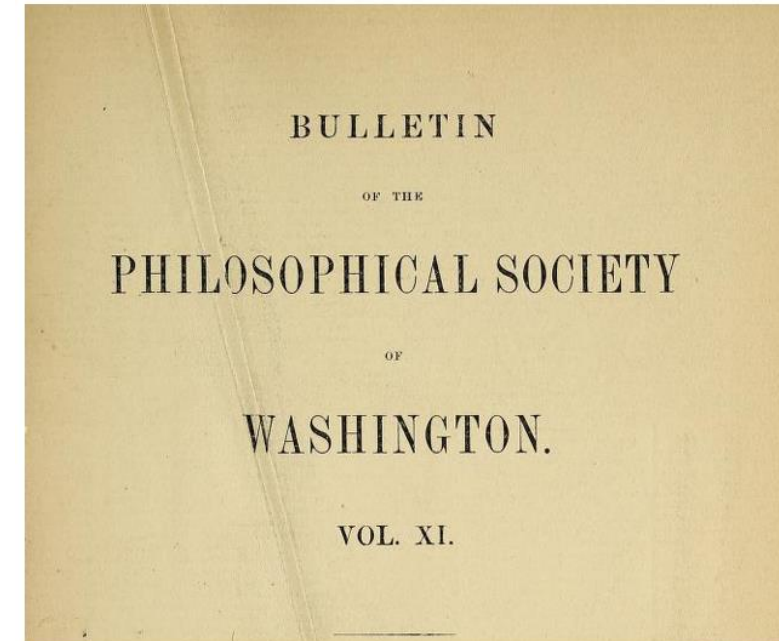
Panorama desde el punto de mayor altitud (Point Sublime)



En el año 1879 se creó el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS: *United States Geological Survey*) y se nombró director al geólogo Clarence Rivers King (1842–1901); el cual le asignó a Dutton la División de Colorado, al año siguiente. Durante diez años estudió la geología de la zona, publicando en 1882 el libro *The Tertiary History of the Grand Canyon District*, el primer estudio geológico de la zona, acompañado de un atlas con los dibujos en color ya comentados; todos ellos hechos bajo su dirección, por William Henry Holmes (1846-1933), un artista polifacético, y el pintor Thomas Moran (1837-1926).

En ese mismo año acuñó formalmente la palabra isostasia (ἴσος, igual, y στάσις, posición) en una nota a pie de página incluida en su artículo *Physics of the Earth's Crust*, en el que analizaba el trabajo efectuado por el geólogo inglés Osmond Fisher (1817-1914); el artículo de Dutton fue publicado en el *American Journal of Science* (Vol. s3-23, pp. 283-290. 1882). Esa misma idea la desarrollaría de nuevo en otro artículo: *On some of the Greater Problems of Physical Geology* (1889), publicado en la *Philosophical Society of Washington*. En él refirió que, al reconocer el Gran Cañón, había constatado como grandes bloques de la meseta, se habían formado en el mar y ahora tenían mayor altitud que los terrenos de su entorno; un fenómeno que podía explicarse por el equilibrio general de la corteza terrestre; siendo entonces cuando decidió identificarlo con la palabra *isostasy* (tras cambiar la primitiva c por la s).

* I have long been convinced that this doctrine must form an important part of any true theory of the earth's evolution. In an unpublished paper I have used the terms isostatic and isostacy to express that condition of the terrestrial surface which would follow from the flotation of the crust upon a liquid or highly plastic substratum;—different portions of the crust being of unequal density. Isobaric would have been a preferable term, but it is preoccupied in hypsometry.



Descarrilamiento de una locomotora a 10 millas al Noroeste de Charleston (cerca del epicentro)



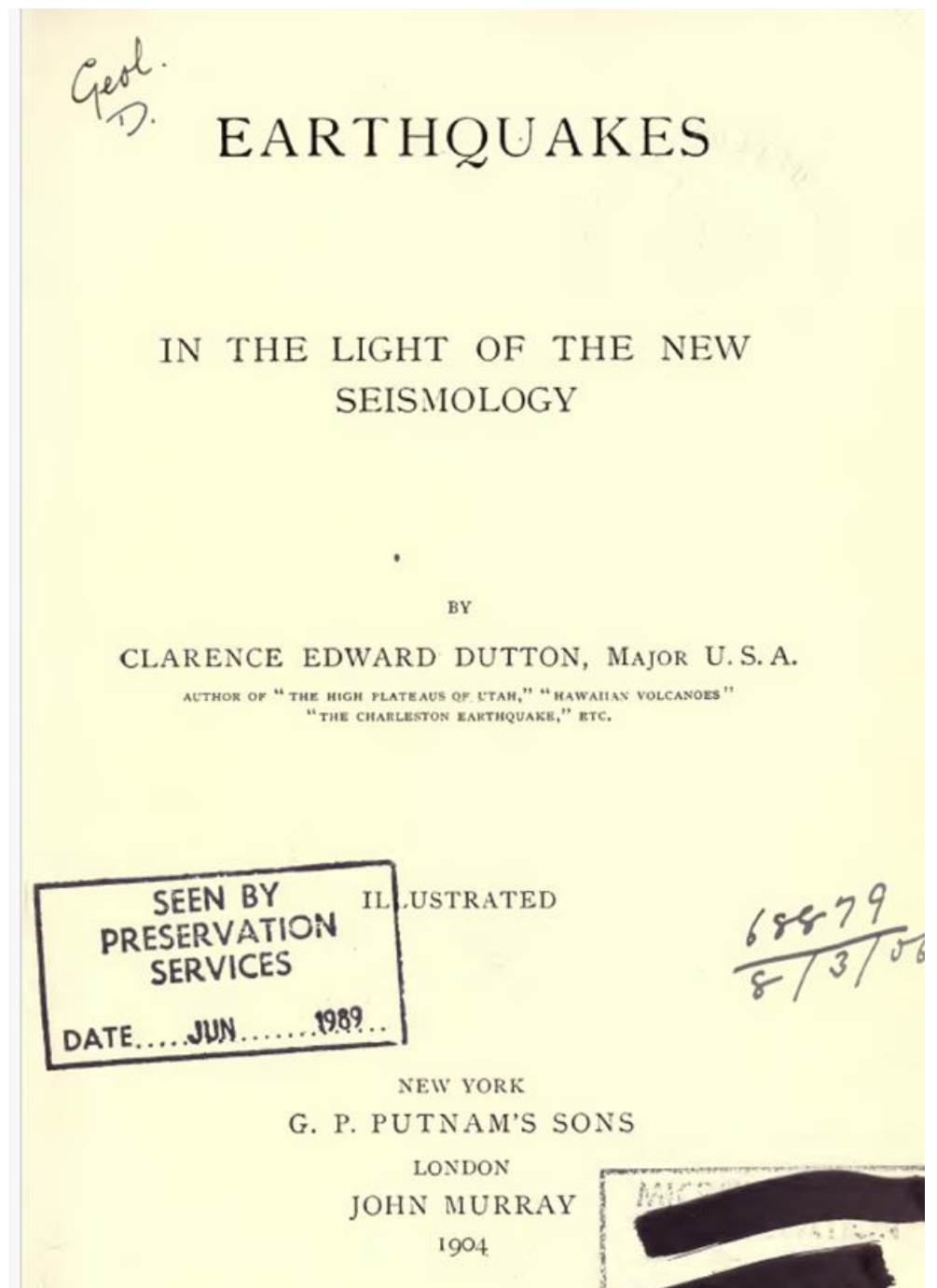
En los años siguientes estudió, in situ, el vulcanismo de las islas Haway y levantó un plano en los alrededores del Monte Tylor (Nuevo Méjico), aunque fuesen más relevantes sus trabajos topográficos en el lago Crater, por incluir las curvas batimétricas del mismo. En cualquier caso, hubo otra aportación, en el campo de la

Giro en un obelisco del cementerio de Charleston



geofísica, que marcó un hito en la historia de la sismología americana y estuvo relacionada con el estudio de los efectos producidos por el gran terremoto ocurrido en Charleston (Carolina del Sur), el 31 de agosto del año 1886. El director del USGS creyó, con razón, que esa triste oportunidad podría contribuir a potenciar los incipientes estudios sismológicos, y decidió mandar al geólogo William John Mc Gee (1853-1912) a la zona epicentral. Con la colaboración de ingenieros locales, este consiguió recopilar informaciones tales como: daños físicos, direcciones de oscilación del péndulo y otras que apuntaban cuando y como ocurrió el temblor, consiguiendo así localizar aproximadamente el epicentro del mismo. Dutton fue el encargado de redactar la memoria correspondiente a tales trabajos, cuyo resumen se publicaría en la revista *Science* (1887) y en el informe anual del USGS (1887-1888), el cual resultó ser el estudio sismológico más completo que se había realizado hasta entonces en los EE.UU. En él estimó la velocidad media de las ondas e introdujo nuevos procedimientos para hallar la profundidad focal en función de la intensidad de las sacudidas; una posible consecuencia del informe, fue la implantación en la década siguiente de una red de sismógrafos por todo el territorio.

Cuando se jubiló, en el año 1901, continuó avanzando en sus estudios sismológicos, publicando tres años después una obra que sentó cátedra: *EARTHQUAKES, in the light of the new seismology*, la cual fue ampliamente reseñada a dos columnas en el New York Times (1.X.1904). El libro constó de dieciséis capítulos magníficamente ilustrados y de un interesante anexo, en el que se reprodujo una tabla alfanumérica del eminente sismólogo francés, luego afincado en Chile, Fernand Jean Batiste Marie Montessus de Ballore (1851-1923); en ella se detalló la sismicidad mundial, detallando para cada región los terremotos registrados y la frecuencia de los mismos. Dutton resumió en el prólogo lo que entendía por nueva sismología: una disciplina eminentemente científica, en el sentido más estricto, ya que se estudiaban los fenómenos a través de los registros instrumentales de fuerzas y movimientos, velocidades y aceleraciones; una rama de la física en la que se correlaciona la elasticidad y el movimiento ondulatorio. Más adelante comentaba que «The new seismology may be said to have begun its work with the invention of the seismograph».



El contenido del libro (314 páginas) se infiere a partir de los títulos de sus capítulos: I) Naturaleza y definición, II) causas de los terremotos, III) Terremotos de origen Volcánico, IV) Descripción de los terremotos tectónicos, V) Sismoscopios y sismógrafos, VI) Sismógrafos italianos de péndulo vertical, VII) El movimiento de las ondas sísmicas, VIII) Amplitud y periodo, IX) Intensidad, X) Variación de la intensidad superficial, XI) Velocidad de propagación de las ondas terrestres, XII) Velocidad de las ondas lejanas, XIII) Deducciones de las observaciones sobre la velocidad, XIV) Distribución de la sismicidad y su representación cartográfica, XV) las regiones sísmicas del mundo, XVI) Maremotos. Dutton siguió con interés el avance de la ciencia, desatando su imaginación la radiactividad natural descubierta por el físico francés Antoine Henri Becquerel (1852-1908) y el premio nobel que recibió en 1903; hasta el extremo de pensar que esa podría ser la causa de la actividad volcánica, tal como defendió en su artículo *Volcanoes and Radiocativity*, publicado en el *Journal of Geology* (1906)

Efectos del terremoto japonés de Mino-Owari
28 de octubre de 1891



Capítulo VII

THE
JOURNAL OF GEOLOGY

MAY-JUNE, 1906

VOLCANOS AND RADIOACTIVITY¹

MAJOR C. E. DUTTON, U. S. A.

We have to regret that some of the most fundamental questions concerning radio "Volcanos and Radioactivity" activity are as yet unsolved, though we cannot expect that a new and far-reaching science should in six years have accomplished all of its immense possibilities.

C. E. Dutton