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.

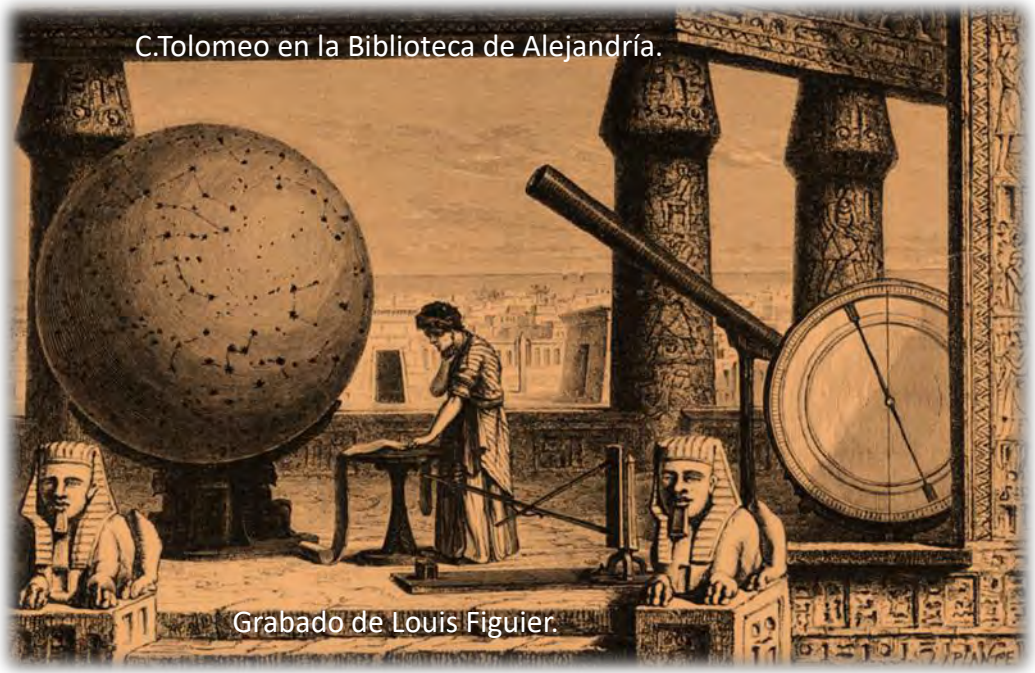
Varios milenios después comenzarían las observaciones sistemáticas del cielo estrellado, posibilitándose así el descubrimiento de los planetas por sus desplazamientos aparentes y un tanto erráticos (de ahí su nombre) que los distinguirían del comportamiento regular del resto de las estrellas. En cuanto que el hombre se hizo transcendente 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.

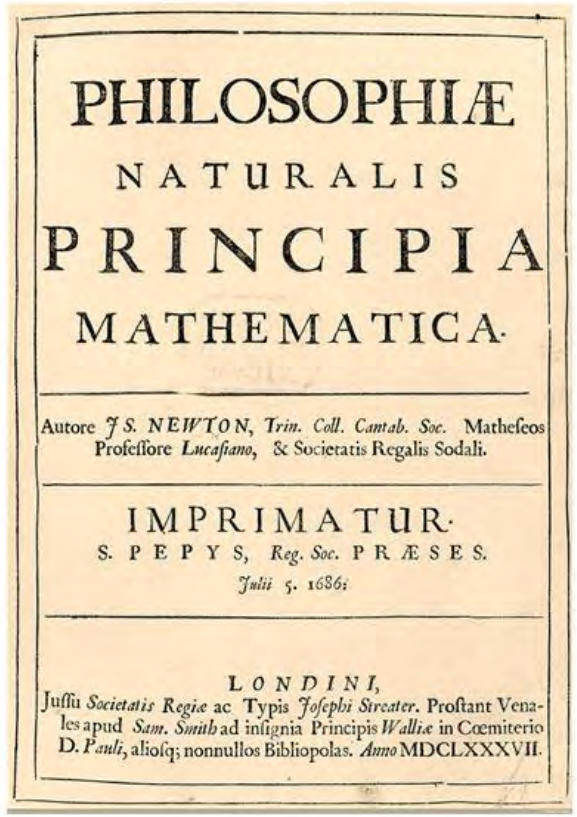
Dos de las cuestiones más sobresalientes que han merecido la atención de los estudiosos de esta rama del saber, han sido la figura y el tamaño de la Tierra. Tres han sido los modelos físico-matemáticos que han presidido tales inquietudes científicas: la esfera, el elipsoide y el geoide. La esfericidad 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 27o 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 meridano 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.*

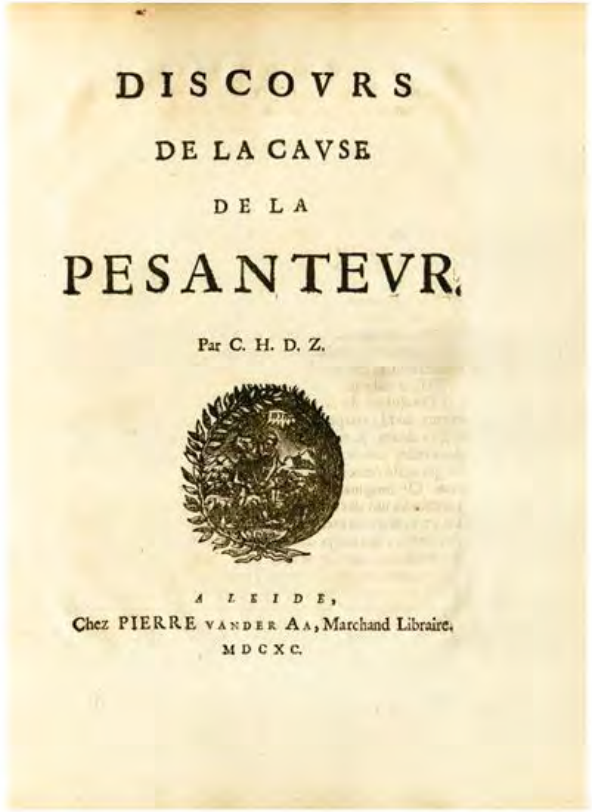
Dos años después, en el 1672, de que Picard culminase su medida, la Academia de Ciencias de París envió al joven astrónomo Jean Richer a la isla de Cayena, para que efectuara las observaciones previstas por Cassini I. Para ello transportó, desde la metrópoli, un péndulo de segundos, comprobando de inmediato 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.


PHILOSOPHIÆ
NATURALIS
PRINCIPIA
MATHEMATICA.

Autore *J S. NEWTON, Trin. Coll. Cantab. Soc.* Matheseos Professore *Lucasiano*, & Societatis Regalis Sodali.

IMPRIMATUR.
S. PEPYS, *Reg. Soc.* PRÆSES.
Julii 5. 1686.

LONDINI,
Jussu *Societatis Regiæ* ac Typis *Josephi Streater*. Prostant Venales apud *Sam. Smith* ad insignia Principis *Walliæ* in Cœmiterio D. *Pauli*, aliosq; nonnullos Bibliopolas. *Anno* MDCLXXXVII.


DISCOVRS
DE LA CAVSE
DE LA
PESANTEVR.

Par C. H. D. Z.

A LEIDE,
Chez PIERRE VANDER AA, Marchand Libraire.
MDCXC.

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 ($\alpha \approx\approx 1/578$), 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 vraye grandeur des dégrés de la Terre, tant en longitude qu´en latitude, & pour y assujettir toutes les Opérations Gémétriques 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. Xl.*

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.*

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 abregée de ce voyage, qui contient la description du pays dans lequel le 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 1º13'17".3, lo que le permitió calcular el desarrollo de un grado de meridiano, a una latitud media de -33º18', 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.

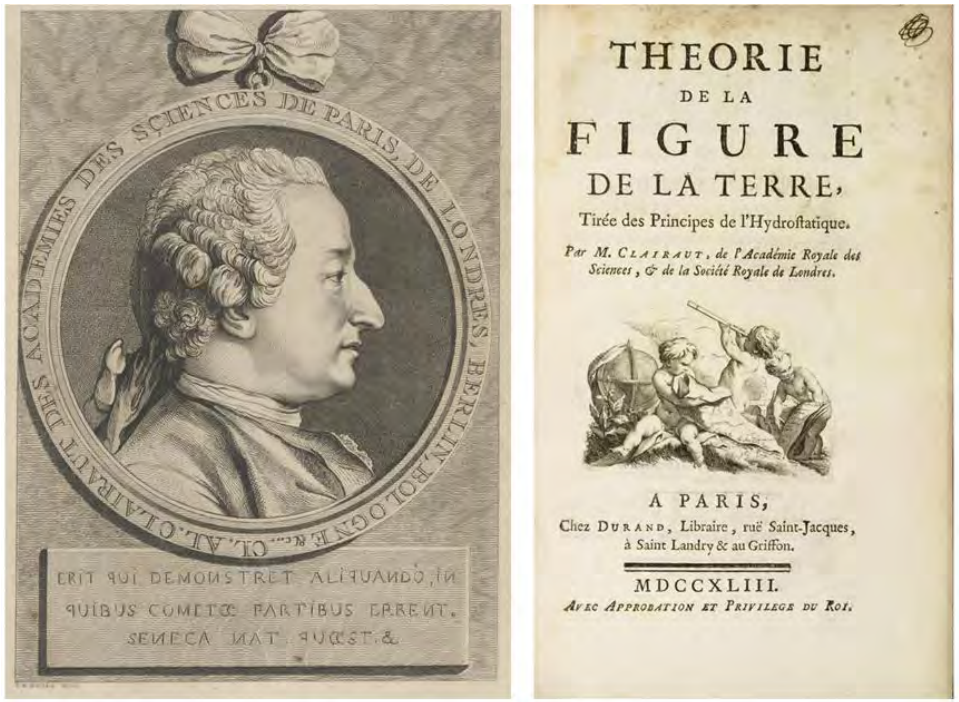
A finales del siglo XVIII, se habían terminado prácticamente todas las medidas de meridiano, incluidas sus verificaciones, así como el cálculo del aplastamiento terrestre; comparando dos a dos los desarrollos correspondientes. Al mismo tiempo se comprobó el crecimiento irregular de los meridianos, una circunstancia que fue asociada al fenómeno de la desviación de la vertical por los jesuitas Christopher Maire y Ruder Josip Boscovich. El hecho incontestable era que los arcos no eran exactamente elípticos, complicándose la cuestión por las interpretaciones contradictorias. Se evidenció así la necesidad de seleccionar los datos disponibles, eligiendo sólo los más fiables. Ese fue el proceder de Leonhard Euler, que dedujo además un aplastamiento de 1/230, cuantificando además los errores cometidos en las diferentes misiones geodésicas. No obstante, la proliferación de medidas meridianas, o de paralelo, cada vez más precisas no contribuyó, en sentido estricto, a mejorar las dimensiones calculadas para el elipsoide terrestre por dos razones principales: en primer lugar la existencia de las desviaciones de la vertical (que impide la coincidencia generalizada de las coordenadas astronómicas con las geodésicas) y por otro lado el propio concepto de superficie terrestre que no se concretó con claridad hasta el siglo siguiente.

A pesar de todo, los defensores a ultranza de las tesis newtonianas continuaron con sus investigaciones teóricas, al insistir en la bondad de la Teoría de las Fluxiones enunciada por Newton. Fue el caso de Mac. Laurin, el cual, aprovechando la alabanza al personaje, demostró que si la Tierra fuese una masa fluida y homogénea adoptaría la forma elipsoidal a consecuencia de su rotación diurna, concluyendo además que dicho elipsoide oblato sería su estado de equilibrio. Sus trabajos posteriores sobre los modelos de equilibrio, al variar la densidad, no avanzaron de manera sustancial hasta que Alexis Claude Clairaut, uno de los expedicionarios a Laponia, escribió en 1743 su brillante Teoría de la figura de la Tierra: *Theorie de la Figure de la Terre, tirée des príncipes de l´hydrostatique.* La aportación más notable fue suponer que su interior estaba compuesto por capas concéntricas con densidad variable.

Sus resultados fueron intrínsecamente expuestos mediante las dos fórmulas gravimétricas clásicas, a saber:

$\gamma = \gamma_E(1 + \beta \operatorname{sen} 2\varphi)$, siendo $\beta = (\gamma_P - \gamma_E) / \gamma_E$, y $\alpha = (5q/2) - \beta$, siendo $q = \omega^2 a/\gamma_E$,

o lo que es lo mismo, la razón entre la fuerza centrífuga y la intensidad de la gravedad en el ecuador; fórmulas que permiten calcular la gravedad teórica en un punto de latitud dada y relacionar el achatamiento polar del elipsoide con el aplastamiento gravimétrico del mismo (β). Otra de sus contribuciones fue la de acotar el valor del achatamiento polar, estimando que debía verificar la relación $1/294 > \alpha > 1/310$.



Alexis Claude Clairaut como miembro de la Academia de Ciencias de París, DE Londres, Berlín, Bolonia, etc,. En el pie del grabado se lee *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. Se presenta también el frontispicio de su celebrado libro centrado en el estudio de la figura de la Tierra.

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 Systêm du Monde*, en el que desarrolla los tres epígrafes del título.

De la figure de la terre, de la variation de la pesanteur à sa surface, et du systéme décimal des poids et mesures.

Revenons du ciel, sur la terre, et voyons ce que les observations nous ont appris sur ses dimensions et sur sa figure. On a déjà vu que la terre est à très-peu près sphérique; la pesanteur par-tout dirigée vers son centre, retient les corps à sa surface, quoique dans les lieux diamétralement opposés, ou antipodes, les uns à l'égard des autres, ils aient des positions contraires. Le ciel et les étoiles paroissent toujours au-dessus de la terre; car l'élévation et l'abaissement ne sont relatifs qu'à la direction de la pesanteur.

Du moment où l'homme eut reconnu la sphéricité du globe qu'il habite, la curiosité dut le porter à mesurer ses dimensions; il est donc vraisemblable que les premières tentatives sur cet objet, remontent à des temps bien antérieurs à ceux dont l'histoire nous a conservé le souvenir, et qu'elles ont été perdues dans les révolutions physiques et morales que la terre a éprouvées. Les rapports que plusieurs mesures de la plus haute antiquité, ont entr'elles et avec la longueur de la circonférence terrestre, viennent à l'appui de cette conjecture, et semblent indiquer, non-seulement, que dans des temps fort anciens, cette mesure a été exactement connue, mais qu'elle a servi de base à un systême complet de mesures, dont on retrouve des vestiges en Egypte et dans l'Asie. Quoi qu'il en soit, la première mesure précise de la terre, dont nous ayons une connoissance certaine, est celle que Picard exécuta en France, vers la fin du dernier siècle, et qui, depuis, a été vérifiée plusieurs fois. Cette opération est facile à concevoir. En s'avançant vers le nord, on voit le pôle s'élever de plus en plus; la hauteur méridienne des

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 suponérsele, 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 Dunquerke y Barcelona con una amplitud próxima a los 9º5´. 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 (α= 1/315) no coincidiera con el que había propuesto antes (α= 1/308,64). No obstante la Comisión Internacional, ya mencionada, eligió en función de sus cálculos el valor α=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 .

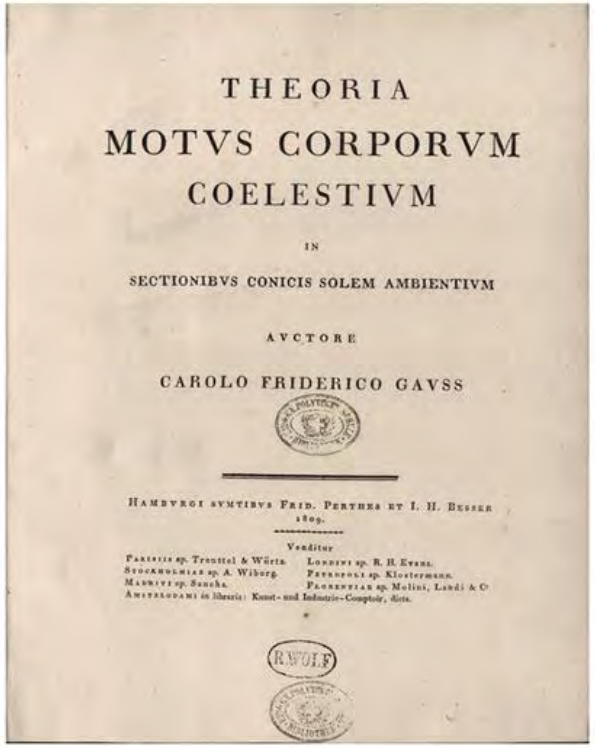
Una de las medidas geodésicas más celebradas del siglo XIX fue la que dirigió el alemán Friedrich Georg Wilhelm von Struve (1793-1864), entre 1816 y 1855, contando para ello con la ayuda del general Karl Tenner. Struve, uno de los más grandes astrónomos del siglo XIX, fue el responsable de la medida el gran arco ruso, un arco de meridiano con una amplitud de 25º20' 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 α =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^{O} 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 GAVSS

HAMBVRGI SVMTIBVS FRID. PERTHES ET I. H. BESSER
1809.

Bestimmung
des
Breitenunterschiedes
zwischen den
Sternwarten von Göttingen und Altona
durch
Beobachtungen am Ramsdenschen Zenithsector
von
Carl Friedrich Gauss,

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 caul 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 Könisberg 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 α = 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 geoide 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 despasado 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 geoide 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 geoide; 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 geoide, impuso Helmert las condiciones siguientes: tener el mismo volumen y eje de rotación que el geoide, 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 geoide y el correspondiente al elipsoide. Así surgió un método ideado por él (1880) para determinar el geoide 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 geoide con relación al elipsoide eran menores de 100 metros.

DIE
MATHEMATISCHEN UND PHYSIKALISCHEN
THEORIEEN
DER
HÖHEREN GEODÄSIE.
EINLEITUNG UND I. TEIL:
DIE MATHEMATISCHEN THEORIEEN.
VON
Dr. F. R. HELMERT,
LEIPZIG,
DRUCK UND VERLAG VON B. G. TEUBNER.
1880

DIE
MATHEMATISCHEN UND PHYSIKALISCHEN
THEORIEEN
DER
HÖHEREN GEODÄSIE.
II. TEIL:
DIE PHYSIKALISCHEN THEORIEEN,
MIT UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE MATHEMATISCHE ERDGESTALT
AUF GRUND DER BEOBACHTUNGEN.
VON
Dr. F. R. HELMERT,
MIT IN DEN TEXT GEDRUCKTEN FIGUREN UND ZWEI LITHOGRAPHIRTEN TAFELN.
LIBRARY OF THE UNIVERSITY LEIPZIG
DRUCK UND VERLAG VON B. G. TEUBNER.
1884.

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 másicos 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:

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

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

$g = 978.052(1+0.005285\ \text{sen}^2\ \varphi - 0.000007\ \text{sen}^2\ 2\ \varphi)$ 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:

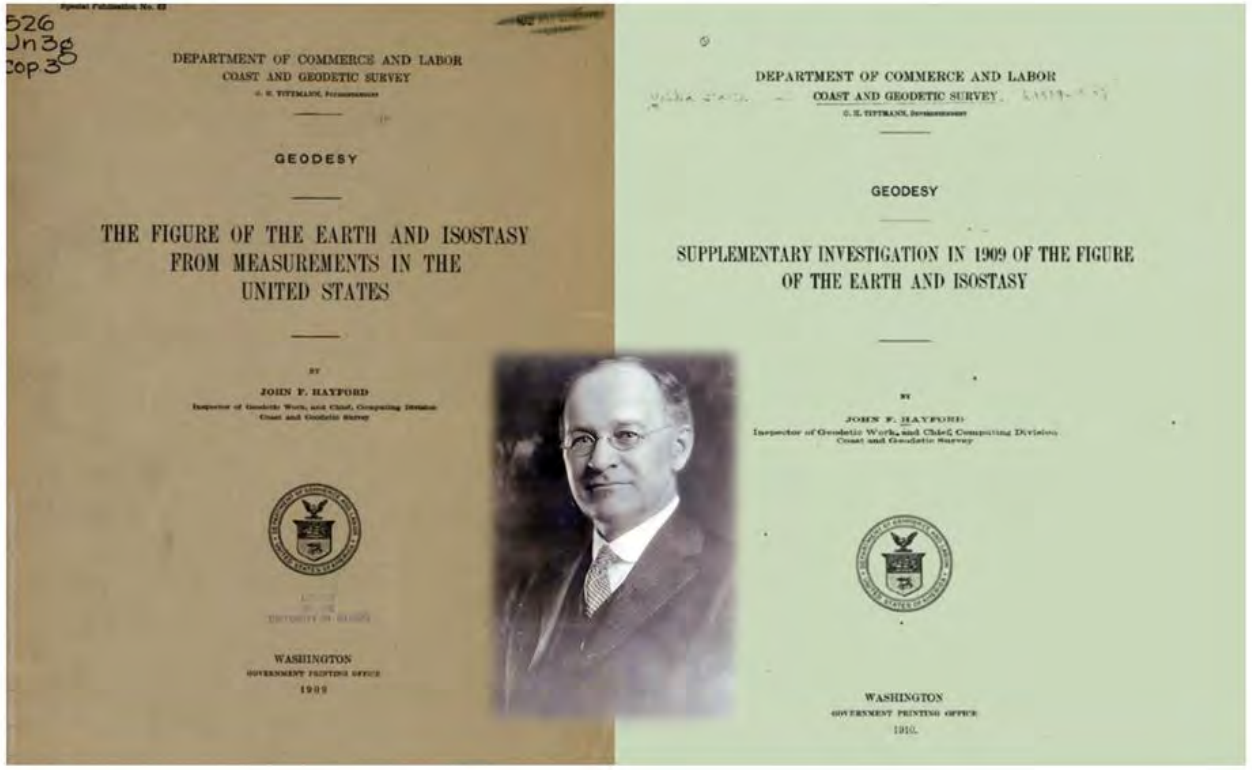
$a=6378830$ metros, con $\alpha=1/299.26$
$a=6381360$ metros, con $\alpha=1/289.76$

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 α=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 ± 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.

Dos de las publicaciones más conocidas de John Fillmore Hayford.



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: *Suplementary 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.

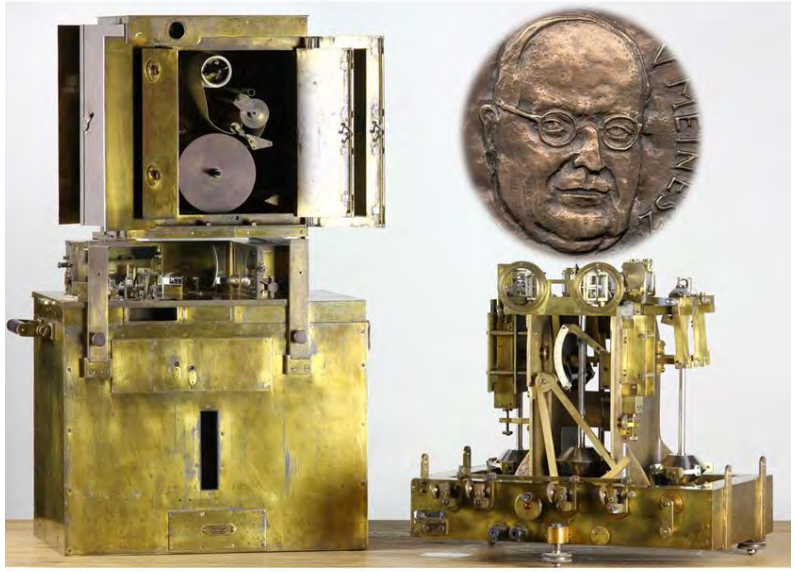
Otro de los geodestas que empleó el método de las áreas para estudiar la forma y dimensiones del elipsoide terrestre más probable, fue el ruso Feodosy Nikolaevich Krasovsky. Para ello utilizó las medidas realizadas en la extensa red geodésica y de estaciones astronómicas existente en la desaparecida 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 ± 60 m y aplastamiento α=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 geoide, 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, hacía 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.

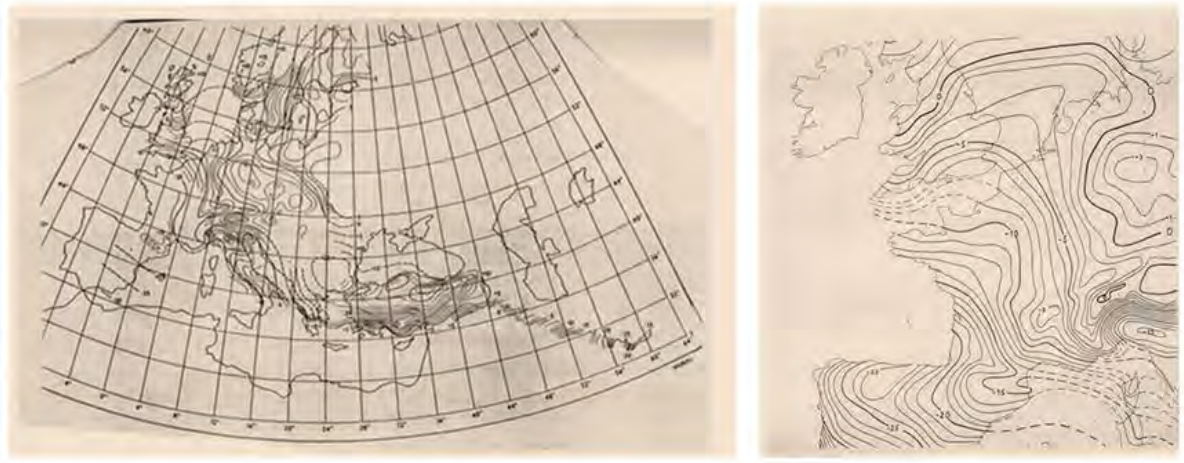


El gravímetro marino *(pendulum apparatus*) de Vening Meinesz (1923). Se ha superpuesto del anverso de la Medalla que lleva su rostro y que fue institucionalizada por *The European Geosciences Union Division of Geodesy*, para premiar las investigaciones que destaquen en esa rama científica

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 Pendulus 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 ($\varphi = 52°13'$, $\lambda = 13°4'$ 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 (***G**lobal **P**ositioning **S**ystem*). 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 (***G**ravity field and steady-state **O**cean **C**irculation **E**xplorer*).

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 convención en el manto, a nivel global, o existencia de una elevación aislada sobre un mar profundo, en términos más locales.

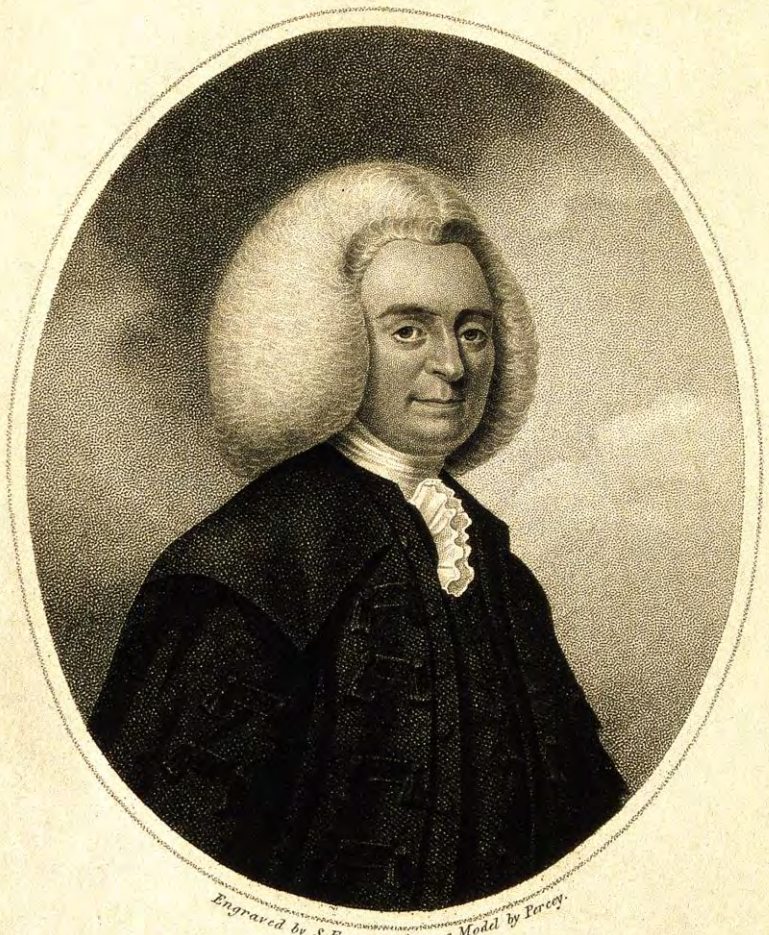
El listado onomástico de los autores relacionados, en mayor o menor grado con la geografía astronómica, ordenado alfabéticamente, es extenso. Aunque se refieran más de 300 autores no pretende ser completo, si bien puede considerarse significativo. La selección se ha efectuado tomando como guía el incluido 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. Figuier : *Vies des savants illustres depuis l´antiquité jusq´au dix-neuvième siecle*; 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

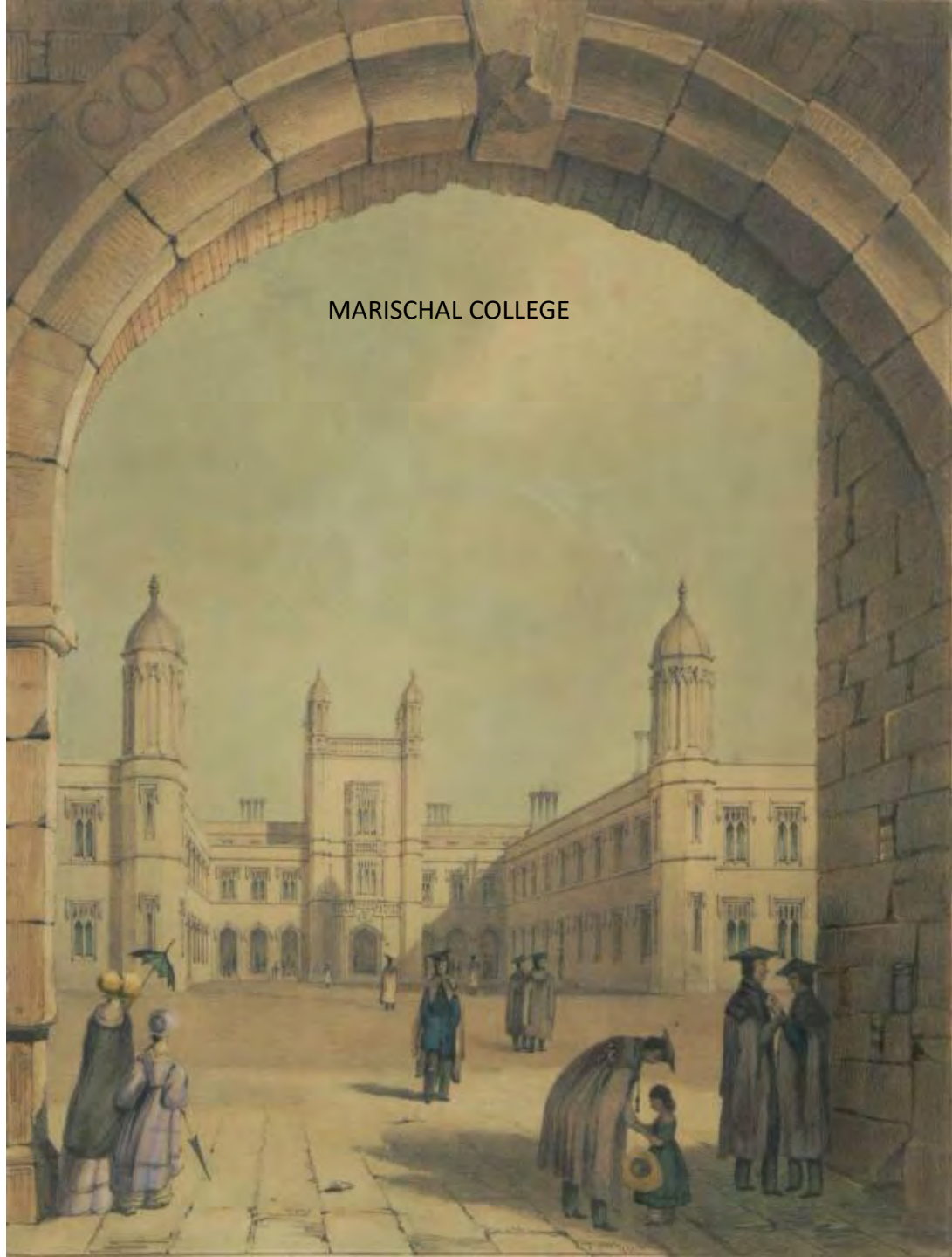


Collin Maclaurin (1698-1746)

Matemático escocés firme defensor de las teorías de Newton y estudioso como él de la forma de la Tierra. Finalizada su etapa escolar, ingresó en la Universidad de Glasgow con tan solo 11 años, animado por, su tío y tutor, el pastor Daniel Maclaurin. Pronto destacó por su interés en las matemáticas, y concretamente en los *Elementos de Euclides*, dominando al año siguiente (1710) sus seis primeros libros (tenían trece). En dicha universidad fue alumno de Robert Simson, cuyas enseñanzas sentaron las bases de su progreso en el estudio de la Teoría de las fluxiones de Newton, así como en la geometría cartesiana. En junio de 1713, Maclaurin defendió públicamente el trabajo que le permitiría obtener el grado *Master of Arts*, titulado *Dissertatio philosophica inauguralis, de gravitate : Aliisque viribus naturalibus, quam cum annexis corollariis, favente summo numine, auctoritate dignissimi vice-cancellari*, que dedicó con agradecimiento a su tío: «Al reverendo Daniel Maclaurin, el pastor más fiel de la Iglesia de Kilfnan, el más estimado tío paterno, por su verdadero amor filial…». Aún resulta sorprendente que con tan solo 15 años fuese capaz de inspirarse en los Principia y en la Óptica de Newton, además de en la Astronomía Física y Geometría de David Gregory, para hacer su disertación sobre el poder de la gravedad. Tras obtener el grado

permaneció en Glasgow un año más estudiando teología, pues quería entrar en la iglesia presbiteriana, aunque al final acabara decidiendo lo contrario.

Concluido ese periodo se fue a vivir con su tío, y continuó estudiando, con tanto aprovechamiento que en el año 1717 fue nombrado profesor de matemáticas en el *Marischal College* de la Universidad de Aberdeen, tras haber superado una serie de pruebas y quedar por delante de los demás candidatos. Dos años después viajó a Londres, coincidiendo en varias ocasiones con Isaac newton, tal como dejó escrito en una de sus cartas: «I received the greatest civility from members of the Royal Society and particularly from the great Sir Isaac Newton with whom I was very often»; de hecho, fue entonces cuandofue elegido Felow de la *Royal Society.* De vuelta a Aberdeen aceptó la invitación de Alexander Home para que acompañase a su hijo, como tutor, durante su viaje a Francia. Allí permaneció Maclaurin dos años, escribiendo durante su estancia en Lorraine un ensayo sobre el choque de cuerpos (*Demonstration des loix du choc des corps*), con el que ganó el concurso convocado por la Academia de Ciencias de París en el año 1724. Cuando regresó a Escocia, quiso incorporarse a la Universidad de Edimburgo, contando para ello


MARISCHAL COLLEGE

PIECE
QUI A REMPORTÉ LE PRIX
DE
L'ACADEMIE ROYALE
DES SCIENCES,
Proposé pour l'année mil sept cens vingt-quatre, selon la Fondation faite par feu M. Roüillé de Meslay, ancien Conseiller au Parlement de Paris.

A PARIS, rue S. Jacques,
Chez CLAUDE JOMBERT, au coin de la rue des Mathurins, à l'Image Nôtre-Dame.

M. DCC. XXIV.
AVEC APPROBATION ET PRIVILEGE DU ROY.

DEMONSTRATION DES LOIX DU CHOC DES CORPS.

SECTION I.

Où l'on expose les Axiomes & Principes qui ne sont point contestez touchant le mouvement des Corps.

I.

TOut Corps en repos reste dans cet état jusques à ce que quelque cause étrangere le mette en mouvement ; & tout Corps en mouvement continue à se mouvoir dans une ligne droite, sans changer sa vîtesse, aussi long-tems qu'aucune cause étrangere n'agit point sur ce Corps. 1.

II.

Le changement de force, c'est-à-dire, son augmentation ou diminution, est toûjours proportionnel à la 2.

prix de l'academie 1724.

Figure 1re

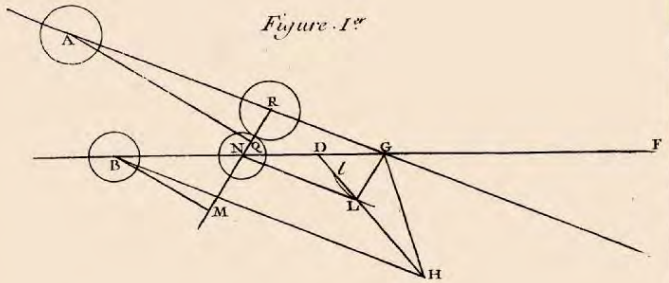
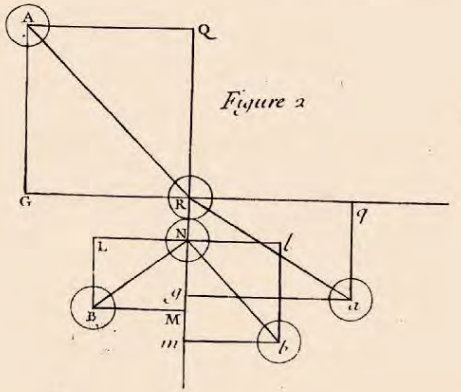


Figure 2



pl.2.

Universidad de Edimburgo

con el decidido apoyo y recomendación expresa de Newton, según se desprende del siguiente fragmento de una de las cartas que le escribió al interesado: «I am very glad to hear that you have the prospect of being joined with Mr James Gregory in the Professorship of Mathematics at Edinburgh, not only because you are my friend, but principally because of your abilities, you being acquainted as well with the improvements of Mathematics as With the former state of those sciences. I heartily wish you good success, and shall be very glad to hear of your being elected». El interés de Newton por Maclaurin era del todo evidente, ya que tras ser nombrado, escribió al Lord Provost de Edimburgo en los siguientes términos: «I am glad to understand that Mr Maclaurin is in good repute amongst you, for I think he deserves it very well: And to satisfy you that I do not flatter him, and also to encourage him to accept the place of assisting Mr Gregory, in order to succeed him, I am ready (if you will please give me leave) to contribute twenty pounds per annum towards a provision for him till Mr Gregory's place becomes void, if I live so long». El nombramiento de Maclaurin como professor de matemáticas de esa Universidad se hizo efectivo el 3 de noviembre del año 1725.

La mayoría de las contribuciones científicas de C. Maclaurin fueron publicadas en las *Philosophical Transactions* de la *Royal Society*. De entre todas ellas se ha seleccionado una del año 1739, incluida en el volumen editado el 31 de marzo, titulada *A Rule for finding the Meridional Parts of a Spheroid with the same exactness as of a Sphere*. Se

trata de una breve disquisición geodésico-cartográfica, en la que se calcula la latitud creciente para cualquier elipsoide, oblato o prolato, con la misma exactitud que para la esfera; hallando en cada caso la diferencia entre el arco elipsoidal y el esférico correspondiente. Otros de sus artículos fueron publicados en las Memorias de la Academia de Ciencias de París y en *Essays and Observations, Physical and Literary read before a Society in Edinburgh, ahora conocida como Royal Society of Edinburgh*; en esta última hubo dos exclusivamente astronómicos, referidos uno a ciertos cambios repentinos observados sobre la superficie de Júpiter y otro a explicar el porqué varia la oblicuidad de la eclíptica.

XIV. *A Rule for finding the* meridional Parts *to any* Spheroid, *with the ſame Exactneſs as in a* Sphere, *by* Colin Mac Laurin, F. R. S. *Communicated by* Andrew Mitchel, *Eſq;* F. R. S.

Geometria Organica:
SIVE
DESCRIPTIO
LINEARUM CURVARUM
UNIVERSALIS.

AUCTORE
COLINO MAC LAURIN, *Matheſeos in Collegio Novo Abredonenſi Profeſſore, & Reg. Soc. Soc.*

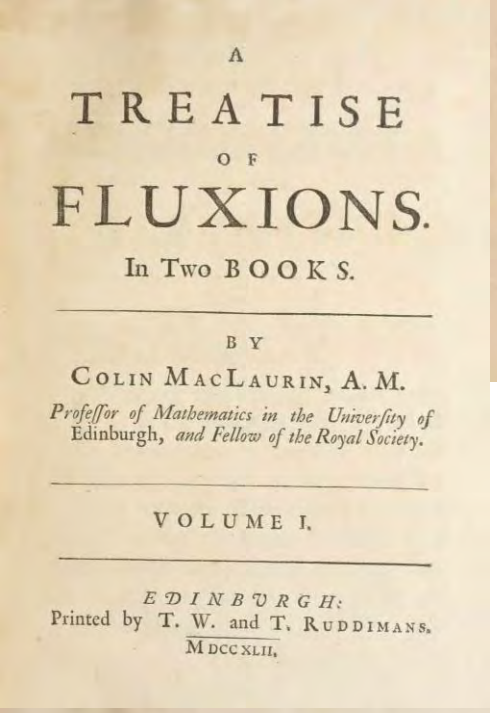
OBSERVATORIO DE MARINA DE SAN FERNANDO.

LONDINI:
Impenſis GUL. & JOH. INNYS, Regiæ Societatis Typographorum in Areâ Occidentali D. Pauli. MDCCXX.

VIRO ILLUSTRISSIMO
D. *ISAACO NEWTON*, Eq. Aur.
Regalis Societatis PRÆSIDI.

ETSI non deerant, Vir ampliſſime, Cauſæ variæ, quæ hanc audaciam, magno tuo Nomini Lucubratiunculas haſce inſcribendi, cohibere poſſent; vicit tamen eas omnes ſingularis tua in me meoſque conatus qualeſcunque Benevolentia; cui rependendæ quidem nunquam par ero, agnoſcendæ certe nulla in re deeſſe debeo. Nec erat cui pari jure dicari poſſent hæc Theoremata: Te enim præcipue inde

La primera obra mayor de Maclaurin fue su *Geometria organica: sive descriptio linearum curvarum universalis, publicada en Londres* (1720). Redactada mientras daba clase en la Universidad de Aberdeen, fue dedicada a Isaac Newton, su principal mentor. El libro consta de cuatro partes: en la primera aborda el estudio de las cónicas, en la segunda el de las curvas cúbicas nodales, en la tercera de las cúbicas y las cuárticas y en la cuarta el de las propiedades generales de las curvas. Entre sus novedades más relevantes cabe citarse la clasificación de las curvas cuárticas y la demostración de que «Dos curvas algebraicas planas de orden m y n tienen en general mn puntos en común».

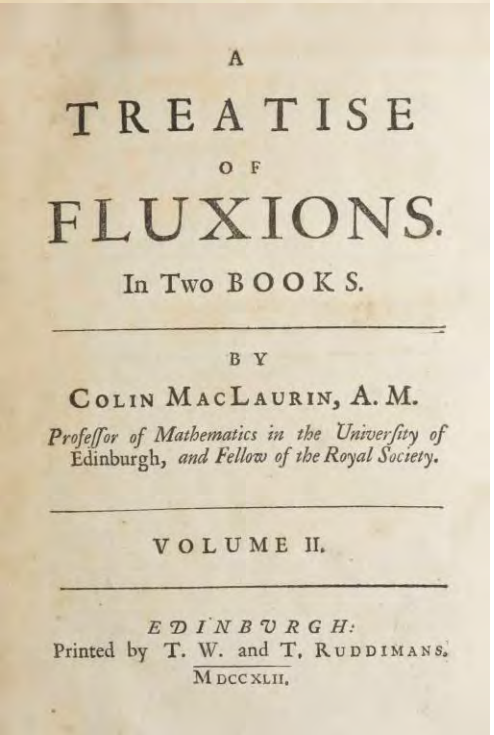


A
TREATISE
OF
FLUXIONS.
In Two BOOKS.

BY
COLIN MACLAURIN, A. M.
Professor of Mathematics in the University of Edinburgh, *and Fellow of the Royal Society.*

VOLUME I.

EDINBURGH:
Printed by T. W. and T. RUDDIMANS.
MDCCXLII.

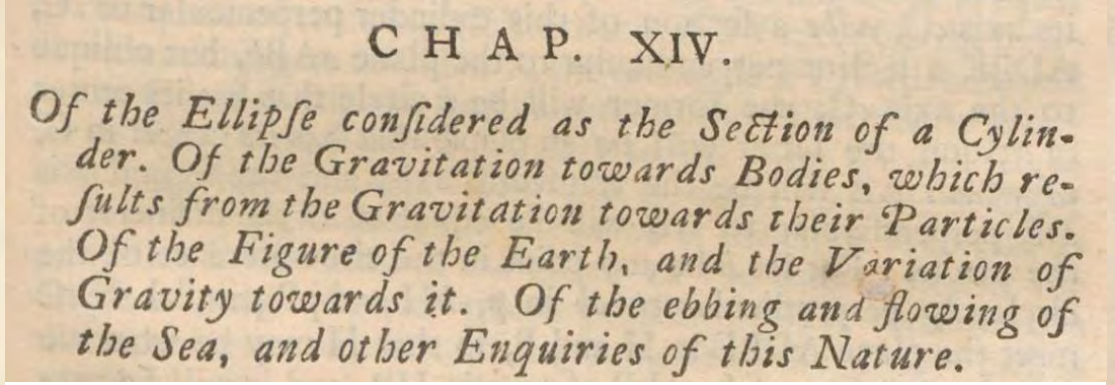


A
TREATISE
OF
FLUXIONS.
In Two BOOKS.

BY
COLIN MACLAURIN, A. M.
Professor of Mathematics in the University of Edinburgh, *and Fellow of the Royal Society.*

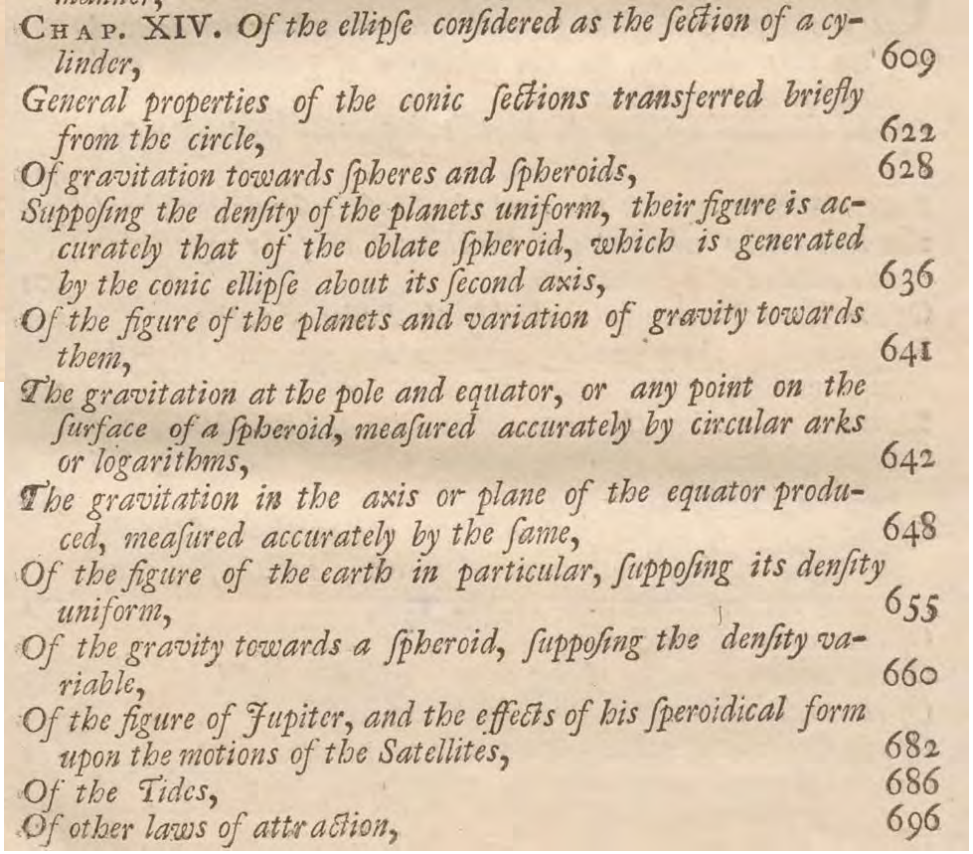
VOLUME II.

EDINBURGH:
Printed by T. W. and T. RUDDIMANS.
MDCCXLII.



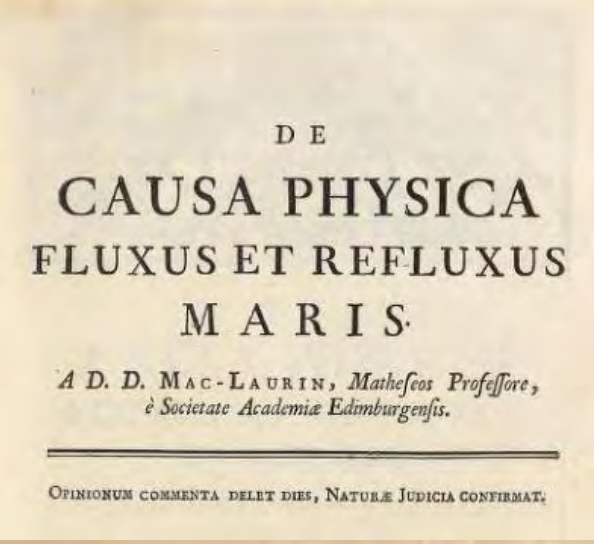
CHAP. XIV.

Of the Ellipſe conſidered as the Section of a Cylinder. Of the Gravitation towards Bodies, which reſults from the Gravitation towards their Particles. Of the Figure of the Earth, and the Variation of Gravity towards it. Of the ebbing and flowing of the Sea, and other Enquiries of this Nature.



CHAP. XIV. *Of the ellipſe conſidered as the ſection of a cylinder,* 609
General properties of the conic ſections transferred briefly from the circle, 622
Of gravitation towards ſpheres and ſpheroids, 628
Suppoſing the denſity of the planets uniform, their figure is accurately that of the oblate ſpheroid, which is generated by the conic ellipſe about its ſecond axis, 636
Of the figure of the planets and variation of gravity towards them, 641
The gravitation at the pole and equator, or any point on the ſurface of a ſpheroid, meaſured accurately by circular arks or logarithms, 642
The gravitation in the axis or plane of the equator produced, meaſured accurately by the ſame, 648
Of the figure of the earth in particular, ſuppoſing its denſity uniform, 655
Of the gravity towards a ſpheroid, ſuppoſing the denſity variable, 660
Of the figure of Jupiter, and the effects of his ſperoidical form upon the motions of the Satellites, 682
Of the Tides, 686
Of other laws of attraction, 696

Espoleado por la crítica virulenta que hizo el obispo de Cloyne, George Berkley, a propósito del cálculo diferencial de Newton, C. Maclaurin creyó necesario salir en defensa de su mentor, preparando para ello su *Treatise of Fluxions* (1742), considerado desde entonces su magnum opus. La obra fue dividida en dos libros bien diferenciados, en tanto que el primero usó un lenguaje esencialmente geométrico, mientras que en el segundo se enfocaban los problemas, prácticamente los mismos planteados en el primero, bajo un punto de vista algebraico. El libro primero constó de catorce capítulos y el segundo de cinco, presentándose su contenido en dos volúmenes. En el volumen número uno solo figuraron los once primeros capítulos, exponiéndose los ocho restantes en el número dos. Desde el punto de vista geodésico resulta trascendental el capítulo XIV, pues se abordó en el mismo el estudio de la forma de la Tierra atendiendo a los dos puntos de vista tradicionales: geométrico y físico; así se desprende de su enunciado y de los títulos de los epígrafes que lo desarrollan. El trabajo fue dedicado al II Duque de Argyle y I de Greenwich.



DE

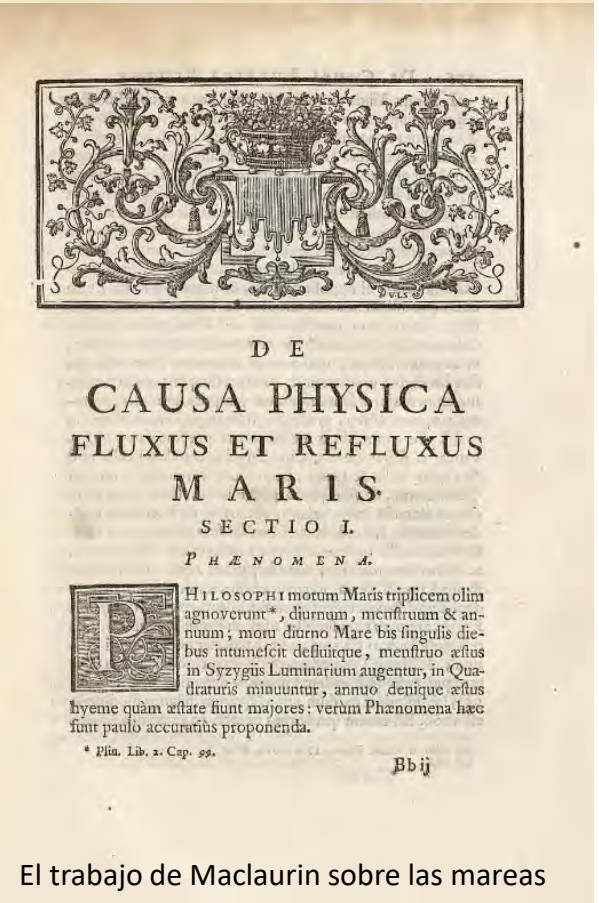
CAUSA PHYSICA

FLUXUS ET REFLUXUS

MARIS.

A D. D. MAC-LAURIN, *Matheſeos Profeſſore,*
è Societate Academiæ Edinburgenſis.

OPINIONUM COMMENTA DELET DIES, NATURÆ JUDICIA CONFIRMAT.



DE

CAUSA PHYSICA

FLUXUS ET REFLUXUS

MARIS.

SECTIO I.

PHÆNOMENA.

PHILOSOPHI motum Maris triplicem olim agnoverunt*, diurnum, menſtruum & annuum; motu diurno Mare bis ſingulis diebus intumeſcit defluitque, menſtruo æſtus in Syzygiis Luminarium augentur, in Quadraturis minuuntur, annuo denique æſtus hyeme quàm æſtate fiunt majores: verùm Phænomena hæc ſunt paulò accuratiùs proponenda.

* Plin. Lib. 2. Cap. 99.

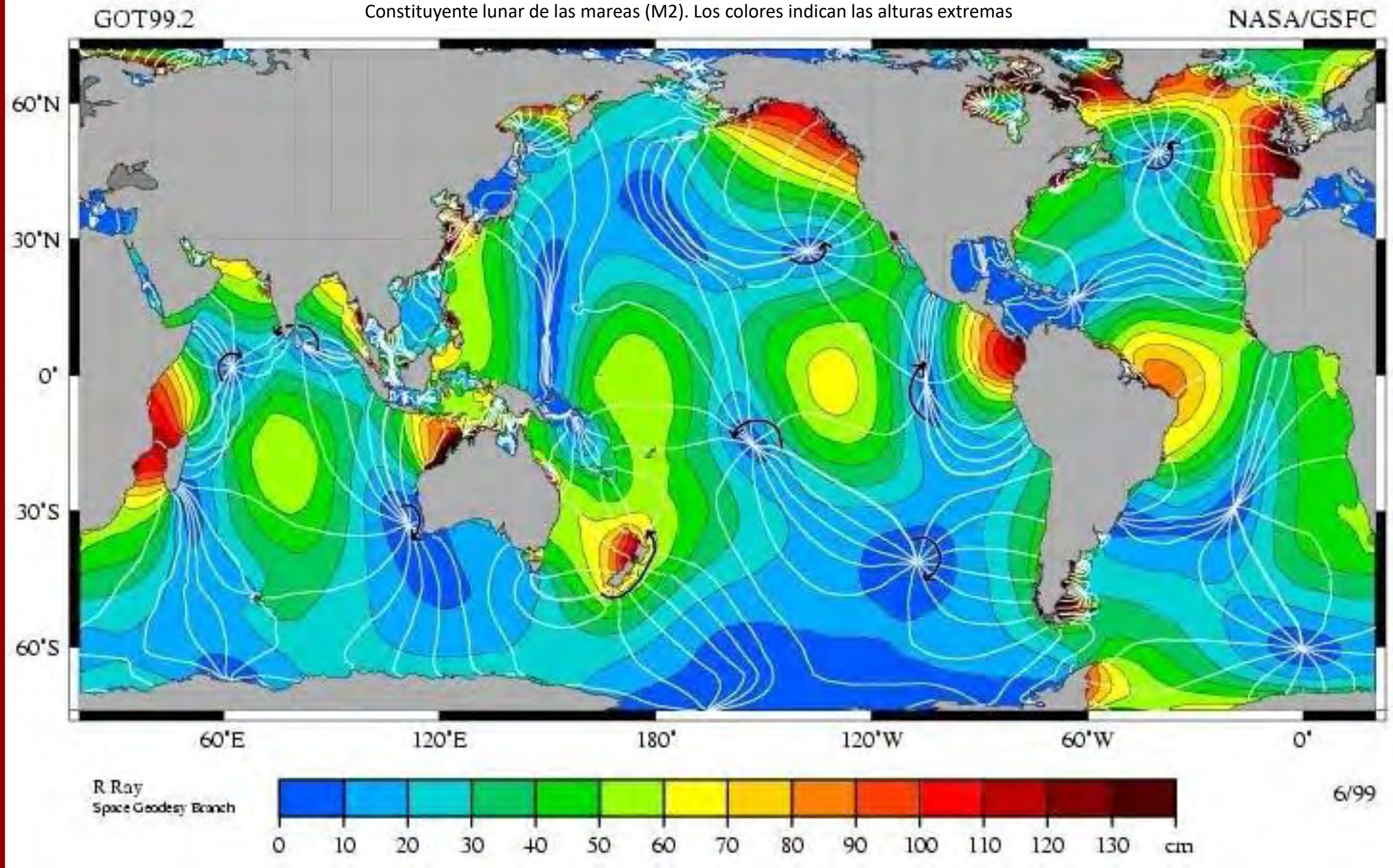
Bbij

El trabajo de Maclaurin sobre las mareas

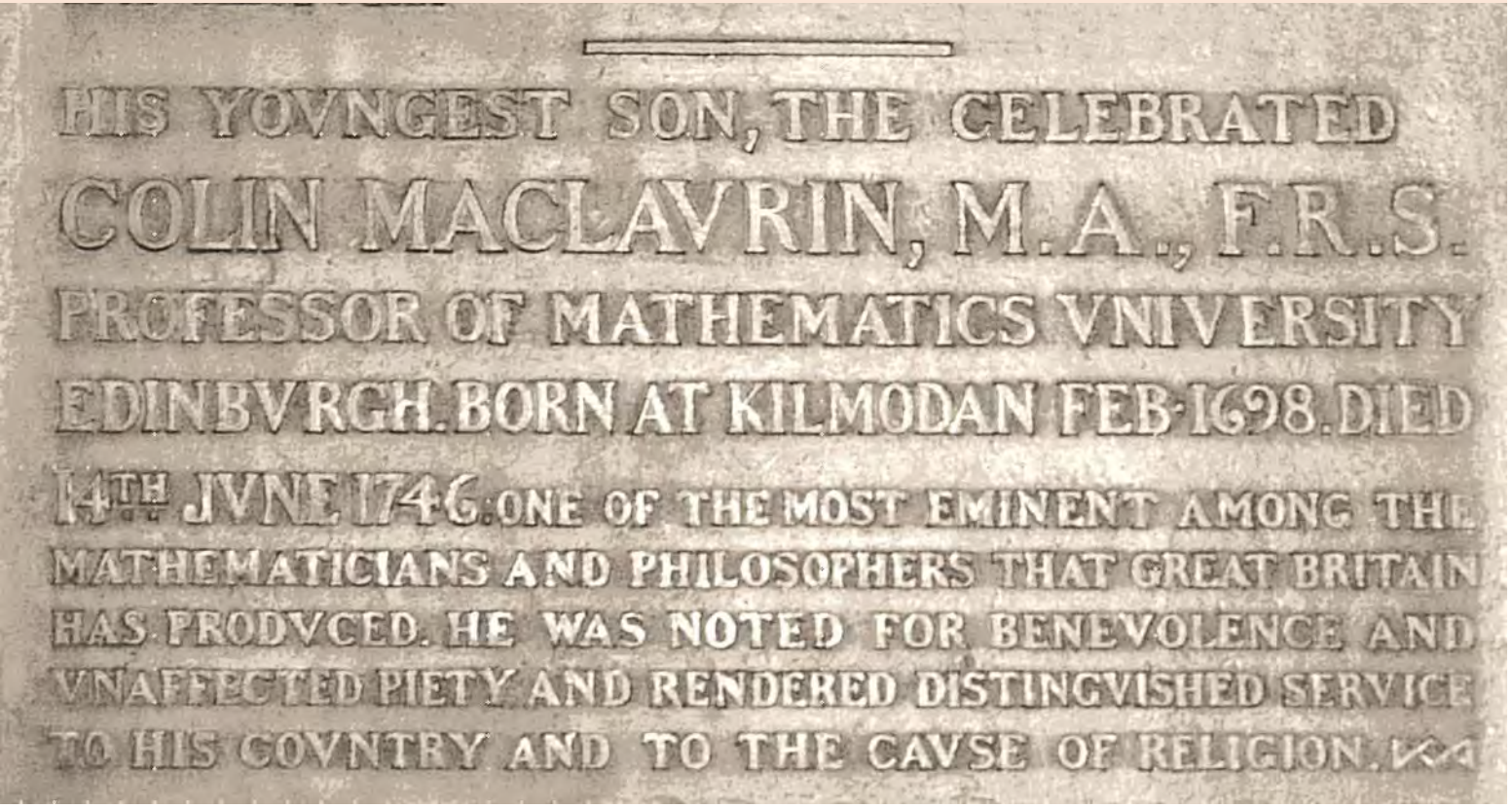
Sin embargo, el interés de Maclaurin por la figura de la Tierra ya se dejó sentir en la memoria que presentó para conseguir su *Master of Arts*, y más tarde en algunos de sus escritos recogidos, a título póstumo, en la publicación *Account of Sir Isaac Newton´s philosophical discovers* (1748); comentando entonces que la Tierra tenía la forma de un elipsoide aplastado por los polos, de modo que su diámetro ecuatorial era la línea mayor y el diámetro polar, el menor de todos los posibles. Por otra parte, ha de recordarse que la Academia de Ciencias de París anunció en la primavera de 1738 la convocatoria de un premio para el año 1740, con la intención de que se diese una explicación científica del flujo y reflujo del mar; debiendo presentar los trabajos correspondientes en el otoño de 1739. El premio fue otorgado a los cuatro concursantes siguientes: Maclaurin, Euler, D. Bernoulli y A. Cavalleri, siendo los tres primeros newtonianos convencidos y el último un jesuita partidario de Descartes; la memoria presentada por Maclaurin se tituló: *De Causa Physica Fluxus et Refluxus Maris*. Asimismo, hay que hacer notar que en ese mismo año,1739, Maclaurin había enviado a Martin Folkes, vicepresidente de la Royal Society, un manuscrito en el que demostró que la verdadera figura de la Tierra, en el supuesto de que su densidad fuese constante, era exactamente la del elipsoide oblato.

Se da la circunstancia de que la filosofía y los resultados del premio citado, se desarrollaron precisamente en el capítulo XIV del *Tratado de las Fluxiones*, ya referido. Entre los resultados más interesantes figuran los siguientes: demostración de que la intensidad de la gravedad en un punto dado, de la esfera o del elipsoide, se descompone en dos fuerzas, una perpendicular al eje de rotación y otra al plano del ecuador, con el

Constituyente lunar de las mareas (M2). Los colores indican las alturas extremas



Placa recordatoria de la familia Maclaurin en Kilmodan Church



añadido de que todas las partículas equidistantes del eje anterior, tienden hacia él con igual magnitud, así como todas las que distan igual del ecuador gravitan hacia el mismo, ya se encuentren sobre la superficie terrestre o bajo ella. Otro resultado digno de mención fue la introducción deal concepto de superficie de nivel, aunque más relevante fuese todavía su cálculo del aplastamiento polar (epígrafe 655 del C. XIV. Libro I, Volumen II). Otras de las contribuciones científicas de Maclaurin fueron: Comentarios al eclipse anular de Sol que observó desde Edimburgo el día 1 de Marzo del año 1737; además de la carta que escribió el 26 de enero de 1741 a Martin Folkes, presidente de la *Royal Society*, haciéndole saber los errores que había descubierto en los mapas de la costa septentrional de Bretaña, entre Dunsby Head y Faro Point. Tampoco puede dejar de citarse su famosa serie, un caso particular de la de Brook Taylor que dio a conocer en su *Treatise of Fuxions:*

$$f(x) = f(0) + f'(0)(x) + \frac{f''(0)}{2!}(x)^2 + \ldots + \frac{f^{(n')}}{n!}(x)^n + \ldots$$

Maimónides (1135/38 -1204)

Filósofo y astrónomo cordobés que padeció la diáspora, aunque siempre recordase Sefarad. Hijo de un matemático distinguido, nació Mošeh ben Maimon a finales del mes de marzo, siendo conocido entre los musulmanes como Abu-Imran Musa ben Maimun ibn Abdallal y entre los cristianos como Maimónides. Cuando tenía 13 años se vio obligado a huir de Córdoba con su padre y hermanos (su madre ya había fallecido), al producirse la invasión almohade; instalándose posiblemente en Almaería emigró con su familia a Fez, luego a Palestina y finalmente a Egipto; instalándose primero en Alejandría y definitivamente en el viejo Cairo. Como bien se dice en un resumen de la Real Academia de la Historia, «es muy posible que su formación filosófica, científica y médica se realizara durante estos años en estrecho contacto con maestros musulmanes, pues la gran cultura árabe y musulmana que tuvo, así como el amplio conocimiento de la ciencia de su época son prueba

de una sólida y excelente formación». Ya durante su estancia en Fez presentó su obra astronómica, un calendario científico aplicado al judaísmo y un comentario sobre al Talmud, anuncio de futuros trabajos a ese respecto. También ejerció como médico, gozando de muy buena reputación, llegando a resumir los dieciséis libros de Galeno, escribiendo además tratados de toxicología y farmacopea. Maimónides fue un autor tan prolífico como polifacético, el más brillante desde la época del Talmud, no en vano estudió, además de la medicina, la lógica, la filosofía, la psicología, la lingüística y la jurisprudencia, así como las matemáticas, la astrología (que rechazaba) y la astronomía. Su idea de que el dominio de las ciencias era indispensable para una adecuada práctica religiosa, es un claro exponente de su pensamiento.

Dado el contexto tan limitado del presente repertorio, se limitarán los comentarios siguientes solo a esa última disciplina. Las primeras reflexiones astronómicas de Maimónides las efectuó en su juventud, concentrándolas sobre todo en cuestiones cosmográficas, influenciado por las enseñanzas del astrónomo sevillano Abu Muhammad Jabir ibn Aflah y por las del zaragozano Ibn Bayya (Avempace); contribuyendo así al desarrollo de la disciplina en el occidente del mundo islámico. Dignas de mención fueron en ese

Placa colocada en la casa de Fez, donde vivió Maimónides.

Placa colocada en la sinagoga Moses ben-Maimon, sita en el barrio judío del Cairo

Cubierta de la Guía de Perplejos (S. XV)

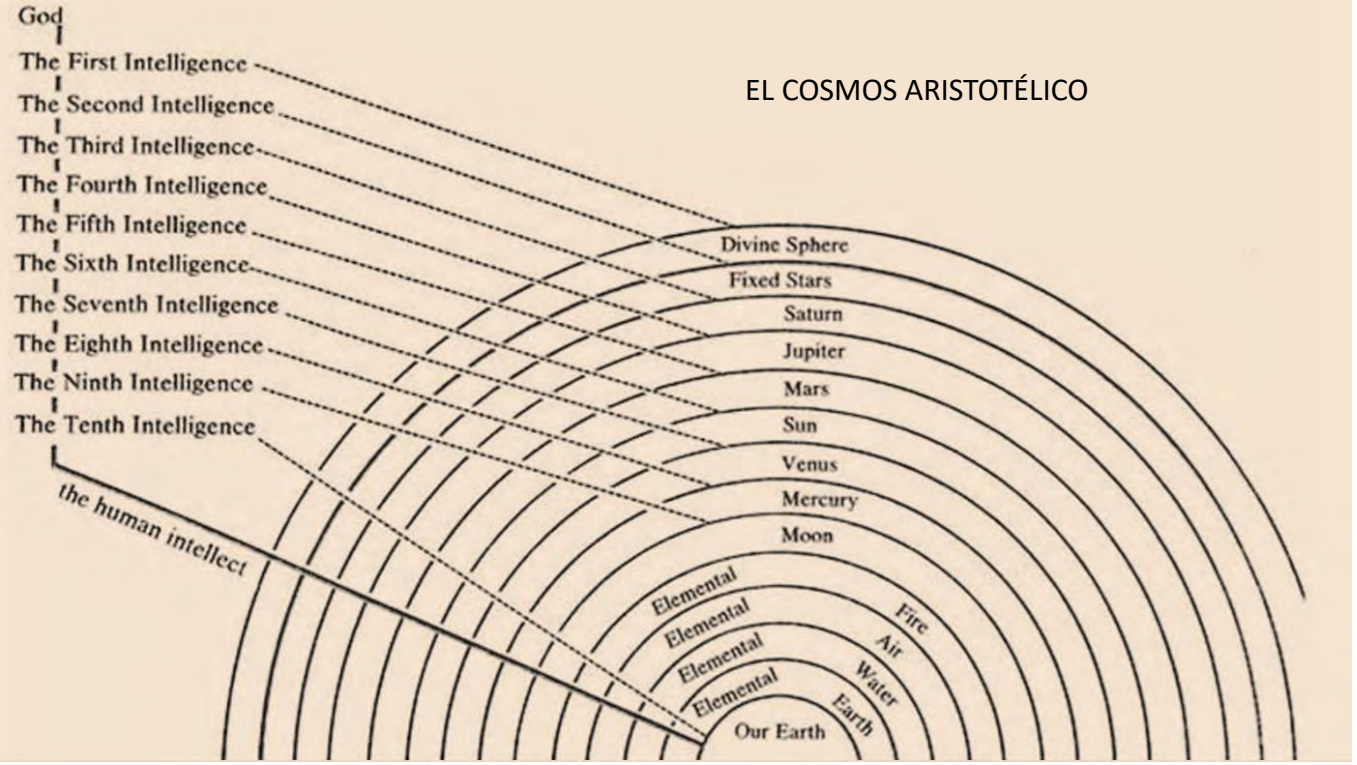
sentido las ediciones revidadas de ciertos textos escritos por otros autores andalusíes, como el ya citado Jabir y el rey zaragozano al Muqtadir ibn Hud. Las primeras referencias más concretas de las aportaciones del sabio cordobés figuran en varios lugares de su obra más relevante, esto es: *La Guía de Perplejos* (*Moreh Nevukhim*), escrita en árabe en el año 1190 y traducida al hebreo poco tiempo después. El propio autor justificó el titulo anterior señalando que iba dirigida a los lectores ignorantes y superficiales, que tomaban al pie de la letra los textos sagrados, «aún las personas enteradas se descarriarían y confundirían si entendieran estos pasajes en su sentido literal». Se dividió la obra en tres libros, contando el primero con 76 capítulos, el segundo con 48 y el tercero con 54.

El capítulo LXXII del libro primero se tituló *Analogía del universo y del hombre,* comentándose en su inicio que «La suprema esfera celeste…en su totalidad está formada de orbes celestiales, los cuatro elementos y sus combinaciones, y no hay vacío en ella, sino que todo espacio está lleno de materia. La tierra ocupa el centro, rodeada de agua, él agua está circundada por el aire, el fuego envuelve al aire y a su vez es envuelto por la quinta esencia. Estas substancias forman numerosas esferas, compenetradas unas en otras, sin que haya espacio intermedio ni vacío. Todas las esferas circulan con uniformidad

constante, cada cual según su naturaleza. Empero comparadas unas con otras, unas son más veloces y otras más lentas. La suprema esfera, que todo lo encierra en sí, se mueve con la mayor celeridad y arrastra a las demás en su movimiento, pues las demás cosas están respecto de ella en la misma relación que la de, las partes al todo». Más adelante se refiere al hombre en estos términos: «Así como el cuerpo humano consta de órganos principales y de miembros que de ellos dependen y que no pueden existir sin la dirección de aquellos órganos, así el universo está formado de la parte principal, la quintaesencia, que encierra los cuatro elementos, y de las demás partes subordinadas, dirigidas y compuestos».

Cuatro astrónomos en el Código Mishné Torá, compilado por Maimónides en Egipto. Biblioteca Vaticana.

En el libro II hay varios capítulos con reflexiones astronómicas de Maimónides. Así por ejemplo, en el IV (*Sobre la intervención de Dios y las inteligencias en el movimiento de las esferas celestes*) comentó que la esfera celeste poseía alma y que esta era precisamente la responsable de su movimiento, añadiendo que «El movimiento circular de la esfera es debido a la acción de alguna idea; pero como las ideas solo se dan en seres inteligentes, se deduce que la esfera celeste es un ser dotado de inteligencia». Poco después, se refirió al modelo de universo defendido por los antiguos, recordando especialmente el protagonismo de Aristóteles: «Los antiguos filósofos contaban diez inteligencias, porque enumeraban las esferas que contienen



EL COSMOS ARISTOTÉLICO

estrellas y la superior que lo abarca todo, aunque algunas incluyen varias órbitas diferentes. Hay en conjunto nueve esferas, es a saber; la que todo lo comprende, la de las estrellas fijas, y las de los siete planetas. A las nueve esferas corresponden nueve Inteligencias, siendo la décima Inteligencia el Entendimiento Activo. Pruébase la existencia del último por la transición de nuestro entendimiento de potencia a acto,… Porque todo cuanto pasa de potencia a acto, requiere un agente externo de la misma especie, que efectúe la transición…Esta es la teoría y opinión de Aristóteles, de las que nos ofrece pruebas, cuando la prueba es posible, en diversas obras de su escuela. En suma, él cree que las esferas son seres animados e inteligentes, capaces de comprender plenamente los Principia de su existencia».

En el capítulo IX (*Del número de esferas celestiales*) efectuó una descripción detallada de las esferas anteriores, recordando el desacuerdo al situar las correspondientes a Venus y Mercurio, superiores o inferiores del Sol, y como Tolomeo consideró que eran inferiores, mientras que otros astrónomos andalusíes sostenían lo contrario: «En suma, como quiera que ello fuere, los antiguos; solían poner a Venus y Mercurio más altos que el Sol, y contaban con ello cinco esferas; la de la Luna, que es sin duda la más próxima a nosotros; la del Sol, que desde luego está más alta que la de la Luna; luego, la de los cinco planetas, la esfera de las estrellas fijas, y la suprema esfera que no contiene estrella alguna. Por consiguiente, hay cuatro esferas que contienen figuras estelares…, y son las esferas de

las estrellas fijas, de los cinco planetas, del Sol y de la Luna. Por encima de todas hay una esfera vacía y sin estrellas». En el capítulo siguiente (X. *De las cuatro maneras de manifestarse el influjo de las esferas celestes en la Tierra*) se refirió Maimónides a las mareas y a los cuatro elementos: « Hablan los filósofos del peculiar influjo de la luna sobre el elemento agua. Pruébase por el ascenso y descenso de las aguas, coincidente con el creciente y decreciente de la luna. El influjo de los rayos del Sol en el fuego puede observarse en el enfriamiento y calentamiento de la Tierra, según que el Sol se acerque o se retire o se oculte. Todo esto es tan claro que no necesita ser explicado. Me ha parecido que las cuatro esferas estelares que influyen en el nacimiento de todos los seres terrenos deben ejercer su influencia, cada una sobre cada uno de los cuatro elementos, siendo la causa de sus movimientos y mudanzas. Así la esfera lunar mueve al agua, la solar al fuego, la planetaria a aire, y la de las estrellas fijas a la Tierra».

El capítulo XXIV (*De que es difícil de alcanzar para el hombre el conocimiento de las cosas celestes*) del segundo libro es en el que expresó con más claridad sus dudas astronómicas, llegando a afirmar que el conocimiento cabal de la astronomía estaba vedado al hombre. Al inicio del mismo reconoció haber aprendido del

Miniatura de los cuatro elementos, con un enfermo y un médico que sostiene una botella. Brunetto Latini. *Le Livre du Trésor*

Ilustración con que se abría el segundo libro de la Guía de perplejos, en una copia un manuscrita e iluminada en Cataluña en el año 1348. Maimónides muestra a sus alumnos un astrolabio, al enseñarles la medida del hombre, en relación a la del cosmos circundante.

Almagesto todo lo que sabía, aunque asegurase que tanto los ciclos como las esferas excéntricas, o la combinación de ambas, eran conjeturas; «mi gran amor a la verdad me fuerza a declarar el embarazo en que me hallo tratando de estas cosas, y a confesar que no he oído a nadie que haya establecido esas doctrinas de manera probada». Antes ya había manifestado que Aristóteles explicaba los fenómenos del mundo sublunar de acuerdo con la lógica, « pero de las cosas que hay en los cielos, el hombre apenas conoce unos cuantos cálculos matemáticos… Los ciclos están demasiado lejos de nosotros, en lugar y rango exaltadísimo. Las facultades humanas son asaz deficientes para comprender ni siquiera la prueba genérica que los cielos encierran de que existe un Dios que los puso en movimiento. Ignorancia y acaso cierto género de locura es fatigar nuestros pensamientos en busca de cosas que están más allá de nuestro alcance, sin que poseamos instrumentos para acercarnos a ellas».

La última referencia astronómica en esta obra de Maimónides es recogida en el capítulo XIV (*De si es*

voluntad del creador que las esferas celestes regulen las actividades humanas) del libro tercero, siendo de especial interés por abordar la cuestión de las distancias: «es bueno reflexionar sobre las investigaciones que se han hecho para medir el tamaño y distancias de las esferas y estrellas. Estas distancias se han establecido de manera precisa en radios terrestres, y son bien conocidas, puesto que lo es la circunferencia y el radio de la Tierra. Ha sido probado que la distancia que hay entre el centro de la Tierra y la superficie exterior de la esfera de Saturno es el camino que se recorrería, a jornadas, en muchos miles de años solares… aprende de la altura de los cielos cuán lejos estamos de, comprender a Dios, porque es infinita la distancia que hay entre nosotros y los cuerpos que nos rodean, los cuales se nos ocultan en cuanto a su esencia, y más, aún en cuanto a sus acciones».

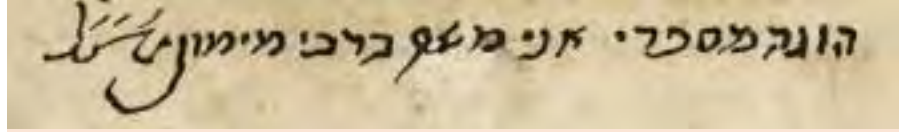
Ilustración de la obra *De universo*, escrita por William de Auvergne, obispo de París entre 1228 y 1249. Ofrece una figura sorprendente del universo, pues en lugar de la clásica imagen redonda centrada en la Tierra, recorre el largo de la página animando al lector a examinarla, para leer en la parte superior *caelum empireum* (reino de los cielos) y proseguir hasta la inferior hasta el reino terrenal, simbolizado por un bosque arbolado dentro de la circunferencia correspondiente.

La aportación astronómica más sustancial de Maimónides se incluyó, sin embargo, en su obra mayúscula, esto es en el *Mishné Torá*, el mejor código de la ley judía que fue escrito en la etapa postmalmúdica; único por su alcance, originalidad y leguaje (el único que escribió en hebreo). El código, recopilado en Egipto, fue dividido en catorce libros, con un

Biblioteca del Congreso (EE.UU). Este documento se considera el más espléndido de los manuscritos existentes del *Mishné Torá*, El manuscrito fue realizado por un copista español, que encargó a un artista que ilustrara la obra y dejó espacio en los márgenes para dibujos, paneles decorativos e iluminaciones. Las ilustraciones se realizaron en Italia, posiblemente en el taller de Mateo De Ser Cambio en Perugia, hacia 1400. Algunos encabezamientos ornamentales y signos de divisiones textuales se realizaron en España. Muchos cambios textuales importantes en los márgenes del manuscrito corresponden a los encontrados en la versión de esta obra corregida por el propio Maimónides.

Eduard Baneth

Otto Neugebauer


Firma de Maimónides en su *Mishné Torá*. Bobdelian Library

total de noventa y tres capítulos; desarrollándose en el Libro tercero, de las estaciones o de los tiempos, (*Hilchot Kiddush HaChodesh*) todo lo relacionado con la santificación de la Luna nueva, al analizar la conexión entre el calendario y a astronomía. El mayor enigma en torno a este libro es que fue escrito en dos etapas, los primeros diez capítulos, que datan de 1170, básicamente repiten la astronomía elemental del Talmud, con un año solar de 365 ¼ días y cuatro estaciones iguales. Al parecer, después de haber estudiado el Almagesto, añadió en 1178 nueve capítulos a los diez iniciales, pudiendo predecir así la llegada de la media luna creciente, basándose en los parámetros lunisolares determinados por los astrónomos árabes, dándose la circunstancia de que fueron muy pocos escritores judíos los que se atrevieron a cuestionar sus cálculos. La primera reseña crítica es esta obra de Maimónides fue realizada entre 1898 y 1903 por el rabino alemán Eduard Baneth, el cual creía que el sabio se había aproximado a la duración del año trópico más que cualquier otro erudito de la Edad Media. En cambio el matemático y astrónomo austriaco, y luego estadounidense, Otto Neugebauer, defendió, en su artículo *The Astronomy of Maimonides and its Sources* (1949), que este podría haber obtenido casualmente su resultado, copiando y redondeando las velocidades medias del Sol y la Luna , que figuraban en los trabajos de al Battani.

Maimónides presentó sus cálculos en forma de reglas, al igual que los otros preceptos del código, sin explicar el porqué de las operaciones descritas y sin mencionar las fuentes en

en las que se apoyó. No obstante, el texto reflejó el estado del conocimiento astronómico de su tiempo, conservando principios cuidadosamente conservados a lo largo de muchas generaciones, tales como la elongación y el arco de visión, necesarios para determinar la visibilidad de la Luna nueva. Efectivamente, la elongación expresa en grados la separación entre el Sol y la Luna, de manera que cuanto mayor sea, más brillante será el creciente y mejor se percibirá en el crepúsculo vespertino; una elongación menor, por el contrario, ira asociada a un huso extremadamente delgado, que solo se percibirá al aproximarse la noche. El arco de visión indica la altura negativa del Sol (bajo el horizonte) en el momento en que se pone la Luna, un valor que, para un horizonte dado, depende sobre todo del intervalo de tiempo transcurrido entre los ocasos de los dos astros. Maimónides dio a conocer los valores extremos de esas dos magnitudes, así como su relación mutua.

La Luna creciente en el crepúsculo vespertino

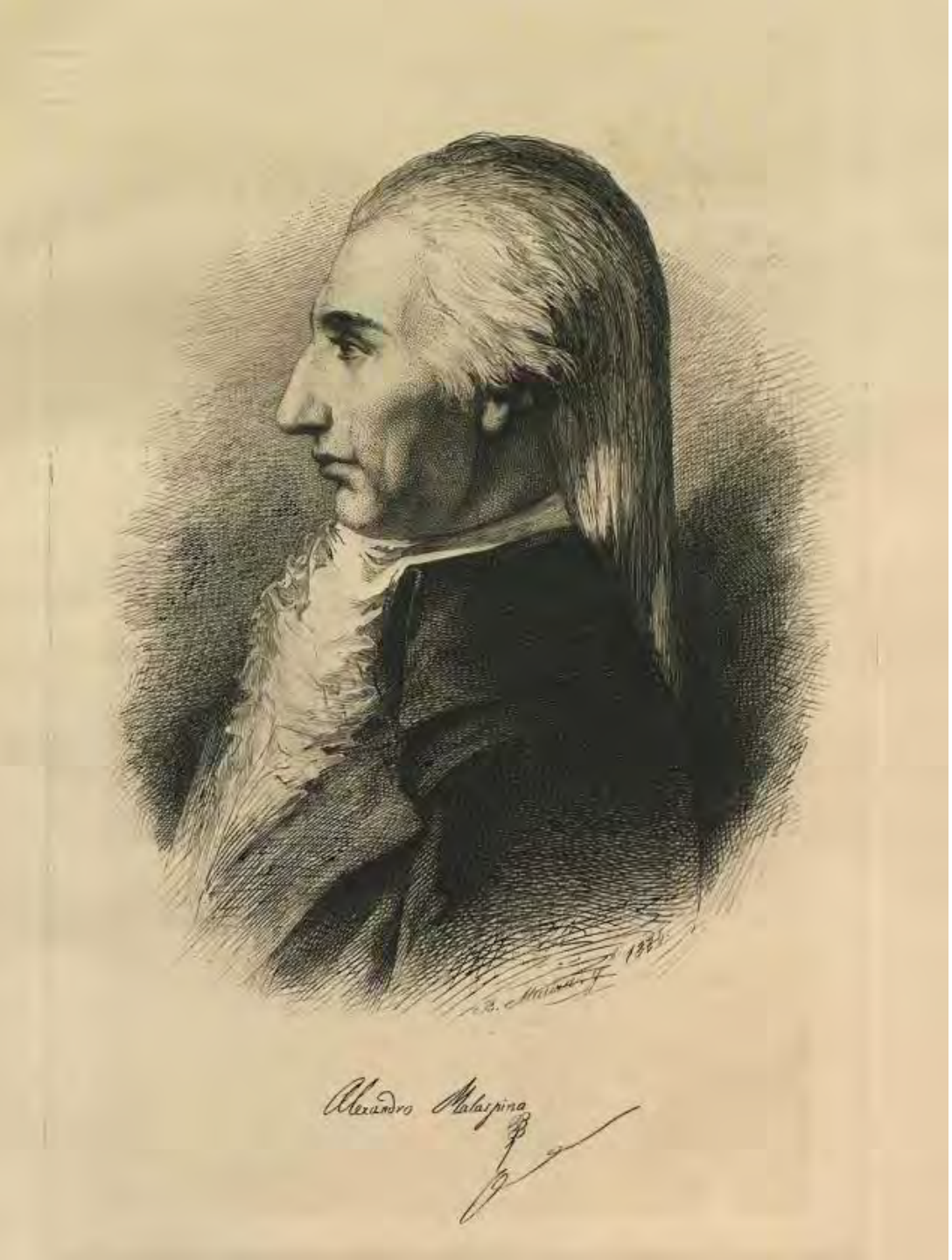
La información astronómica que proporcionó el *Mishné Torá* no fue solo la relacionada de una u otra forma con el calendario lunar, sino que se refirió a otras cuestiones de indudable interés ligadas a la geometría de la bóveda celeste; los ejemplos que se seleccionan a continuación son buena prueba de ello. En el capítulo XI enunciaron una serie de conceptos que debería aprender el lector, como paso previo a los cálculos astronómicos: «la esfera celeste se divide en 360º y 12 constelaciones. Cada constelación tiene una amplitud de 30º, comenzando con la de Aries (el carnero). Cada grado tiene sesenta minutos, cada minuto sesenta segundos y cada segundo sesenta tercios». Acto seguido situó la posición de una estrella cualquiera en relación con la de las constelaciones zodiacales anteriores,

CRECIENTE
CUARTO CRECIENTE
GIBOSA CRECIENTE
LLENA
LLENA
GIBOSA MENGUANTE
CUARTO MENGUANTE
MENGUANTE

Mosaico bizantino en el suelo de la sinagoga del Kibutz Beit Alfa (al Norte de Israel). Las cuatro figuras de las esquinas representan a los equinoccios y a los solsticios

ordenándolas del siguiente modo: Aries, Taurus, Geminis, Cancer, Leo, Virgo, Libra, Scorpio, Sagitario, capricornio, Acuario y Piscis. En el último capítulo, el XIX, describió la posición de los equinoccios sobre la línea del ecuador celeste: «Hay dos puntos de la órbita del Sol situados, en el ecuador…El primer punto es el comienzo de la constelación de aries y el segundo, opuesto, es el comienzo de la constelación de Libra. Por tanto, hay seis constelaciones inclinadas hacia el Norte, localizadas entre el comienzo de la constelación de Aries y el final de la constelación de Virgo. Y hay seis inclinadas hacia el Sur, aquellas que están entre el comienzo de la constelación de Libra y el final de la constelación de Piscis…Así el comienzo de Aries y el de Libra se encuentran en el ecuador…Por lo tanto cuando el Sol se encuentra en el comienzo de esas constelaciones no estará inclinado ni hacia el Norte ni hacia el Sur. Saldrá por el Este y se pondrá por el Oeste y las horas diurnas y nocturnas serán iguales en el mundo».

ESTACIONES Y SIGNOS DEL ZODIACO
Biblioteca Hantington.
San Marino. USA



Alejandro Malaspina y Meliluppi (1754-1810)

Marino italiano que a alcanzó fama internacional por los grandes servicios que prestó a España, durante los cinco años que duró la mayor expedición científica organizada por su gobierno y que comandó con tanto éxito que llegó a ser conocida como Expedición Malaspina; no en vano comandó su travesía por diversas partes del mundo, recopilando información sobresaliente de todo tipo: científica, artística y política.

Alejandro Malaspina realizó sus primeros estudios en la ciudad de Palermo y después en el Colegio Clementino de Roma (1765-1773), recibiendo allí enseñanzas clásicas y sobre filosofía natural y experimental. Al finalizar sus estudios presentó su primer trabajo *Theses ex Physica Generali* (1771), en el que ya entendió la importancia de la observación y de las tesis newtonianas (Todo lo que no se obtiene por experimentación u observación, es mera conjetura). En la primavera de 1773 dejó Roma para ingresar en la Orden de Malta y realizar su primera navegación por el Mediterráneo. A finales del año 1774 llegó a Cádiz, ingresando en su Escuela de Guardiamarinas el 18 de noviembre. Sus primeros ascensos tuvieron lugar en 1775 y 1776, alcanzando respectivamente los grados de alférez de fragata y de navío.

Entre 1777 y 1779 viajó a Filipinas a bordo de la fragata Astrea, atravesando por primera vez la equinoccial el 21 de enero de 1778; durante esta travesía dobló el cabo de Esperanza tanto a la ida como a la vuelta, siendo ascendido a teniente de fragata. En febrero de 1780 fue ascendido a teniente de navío. Dos años después, en 1782, empezó a tener problemas por su carácter heterodoxo, siendo denunciado ante el tribunal de la Inquisición por sospecha de herejía; aunque acabara sobreseída la causa, sin consecuencias inmediatas, de hecho fue ascendido a capitán de fragata poco tiempo después.

En el año 1784 realizó en Cádiz los llamados Estudios Superiores, recientemente instaurados (1783), en los que recibió clases de Navegación Astronómica, Cálculo Infinitesimal, Álgebra, Trigonometría Esférica, Levantamiento de Cartas, Hidrostática, Construcción Naval, Óptica y Física Experimental; coincidiendo allí con algunos de los marinos que le acompañarían años después en su famosa exploración. Dos años después circunnavegó la Tierra al mando de la fragata Astrea (1786-1788), por encargo de la Compañía de Filipinas, siendo el primer italiano en realizarla; de dicho viaje se conserva en el Museo Marítimo Vasco el diario de a bordo, escrito por Manuel de Agote y Bonechea a la sazón agente comercial de dicha compañía. Ese viaje resultó determinante para su carrera, dobló el cabo de Hornos, cruzó el océano Pacífico y regresó a Europa por el cabo de Buena Esperanza; preparando durante el mismo diversos informes científicos y comerciales.

DIARIO

DEL

VIAGE HECHO

por la Fragata de S. M.d nomb.a

ASTREA

Fletada por la R.L C.A de Filipinas, desde el Puerto de Lima à Manila por el Mar pacifico al mando del Capitan de Fragata Dn. Alexandro Malaspina Caballero del Orden de Sn Juan

Trabajado por Manuel de Agote Maestre de la expresada Fragata

Por estas asperezas se camina
de la inmortalidad al alto asiento
do nunca arriba, quien de aquí declina.

José Bustamante y Guerra

Antonio Valdés y Fernández Bazán

A poco de llegar a España, concretamente el diez de septiembre de 1788, los dos capitanes de fragata Alejandro Malaspina y José Bustamente presentaron al Ministro de Marina Antonio Valdés el *Plan de un viaje científico y político alrededor del mundo*, indicando que « viaje hecho por navegantes españoles debe precisamente implicar otros dos objetos: el uno es la construcción de cartas hidrográficas para las regiones más remotas de la América, y de derroteros que puedan guiar con acierto la poca experta navegación mercantil, y la otra la investigación del estado político de la América, así relativamente a España como a las naciones extranjeras». En su escrito apuntaron la posible duración de tan gran empresa, aproximadamente tres años y medio, «a empezar desde 1º de Julio de 1789, época en la cual pudieran salir las dos embarcaciones…las dos corbetas saldrían de Cádiz…y se dirigirían a Montevideo, en donde se hará nuevo arreglo de relojes, las posibles observaciones astronómicas y todas las indagaciones de Historia Natural». Los dos capitanes siguieron detallando los lugares que visitarían, manifestando que hacia Octubre o Noviembre de 1792 alcanzarían Nueva Zelanda, «de donde finalmente se hará rumbo al Sur, para después navegar al Noroeste, y ya montada la Nueva Holanda, entrar la derrota para el Cabo de Buena Esperanza y de allí regresar a Europa, en Abril o Mayo de 1793». Ambos oficiales mostraron su disposición de ponerse al servicio del Estado, comprometiéndose a dirigir todos los trabajos con el mayor acierto, «no solo la ilustración y penetración del Gobierno, sino también cuantas noticias puedan facilitar los particulares…En cuanto a los subalternos, la especie de Comisión exige que sean todos voluntarios y que se conozcan recíprocamente, así por lo que toca a robustez como a capacidad».

EL FONDEADERO DE LAS CORBETAS DESCUBIERTA Y ATREVIDA EN LAS ISLAS DE VAVAO VISTO DESDE EL OBSERVATORIO

Descubierta	*Atrevida*
—reloj de Berthoud núm. 13	—reloj de Berthoud núm. 10
—cronómetro de Arnold núm. 72	—cronómetro de Arnold núm. 71
—cronómetro del mismo núm. 61	—reloj de faltriquera de Arnold, propio de don José Bustamante, núm. 105.
—un cuadrante astronómico de Ramsdem, de 20 pulgadas de radio	—un cuadrante astronómico de Suson de 2 pies de radio
—cuatro anteojos astronómicos	—un reloj de segundos de faltriquera
—una aguja de inclinación de Nairne	—tres anteojos astronómicos
—dos agujas azimutales de Martínez y Knight	—una aguja de inclinación de Nairne
—dos teodolitos	—dos agujas azimutales de Nairne y Ringho
—un péndulo astronómico	—dos teodolitos
—un barómetro marino de Nairne	—un barómetro marino de Nairne
—uno *idem* de Magallanes	—uno *idem* de Magallanes
—dos barómetros de Megnie, preparados para el nivel de los mares	—un anteojo grande terrestre
—una cámara óptica	—cuatro *idem* chicos para expediciones de lanchas
—doce tubos capilares	—uno *idem* de noche
—un anteojo grande terrestre	
—cuatro chicos para expediciones de lanchas	
—uno *idem* de noche	
—un nivel de agua según los principios de Cartely	
—un recipiente para examinar el temperamento del agua a una profundidad cualquiera	

INSTRUMENTOS CIENTÍFICOS A BORDO DE LAS DOS CORBETAS DE LA EXPEDICIÓN MALASPINA

Las dos corbetas de la expedición se construyeron en el Arsenal de la Carraca (Cádiz) bajo la dirección de Tomás Muñoz, ingeniero comandante del mismo: dos embarcaciones idénticas de 306 toneladas de arqueo, servidas por una tripulación de 102 hombres por nave. Ambas fueron bautizadas con los nombres de las dos hermanas sevillanas Santa Justa y Santa Rufina, luego llamadas por Malaspina *Descubierta* y *Atrevida*; honrando así la memoria de las que fueron comandadas por el capitán James Cook: *Endeavour* y *Resolution*. Además del armamento fueron dotadas con instrumental diverso: astronómico, botánico, físico, geodésico, meteorológico y químico. La nave capitana fue la Descubierta, siendo Malaspina su Comandante, auxiliado por seis oficiales subalternos (Cayetano Valdés y Juan Vernaci entre otros), un Oficial Director de Cartas y Planos, así como un Encargado de los ramos de Historia Natural, dos puestos ocupados respectivamente por Felipe Bauzá y el teniente Coronel Antonio Pineda. El Comandante de la corbeta Atrevida fue José Bustamante, auxiliado por otros seis oficiales subalternos (Dionisio Alcalá Galiano entre ellos) y el botánico Luis Née.

En la mañana del 30 de julio de 1789 partieron del Puerto de Cádiz las dos corbetas debidamente pertrechadas, rumbo a las Islas Canarias, llegando a Tenerife a mediodía del 3 de agosto. La primera determinación científica corrió a cargo de la Atrevida, al obtener el valor de la longitud del Pico del Teide con relación al meridiano de Cádiz; para ello usaron el método cronométrico con los relojes marinos de Arnold (71) y de Berthoud (10), con los resultados

CUARTO DE CÍRCULO DE RAMSDEN CON UN RADIO DE 50 CM

ESTUCHE DE DIBUJO USADO POR FELIPE BAUZÁ

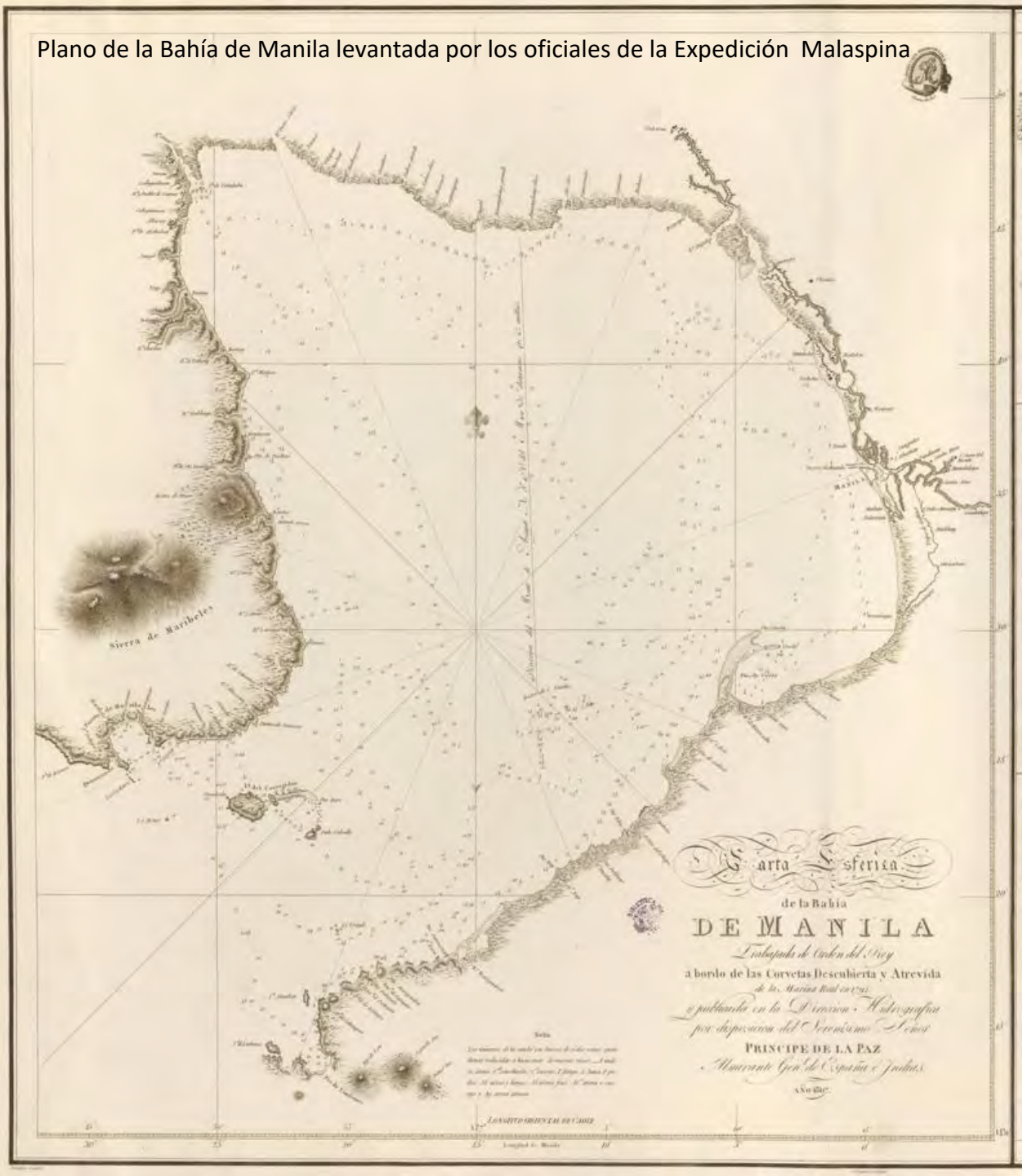
siguientes: 10º 21´44”, 10º 23´ 17” y 10º 23´49”, con un valor medio de 10º 22´ 57” Oeste (de ese modo se constató que en la expedición de J. Cook se cometió un error mayor de 20´). Al amanecer del día siguiente zarparon hacia Montevideo, cruzando la equinoccial por un punto cuya longitud fue de «17º 24´ según los relojes marinos y 17º 0´por setenta series de distancias lunares». A las tres y media de la tarde del 20 de septiembre fondearon las corbetas en Montevideo tras cincuenta y un día de navegación, permaneciendo en el Rio de la Plata casi dos meses y visitando las ciudades de Sacramento, Maldonado y Buenos Aires. Felipe Bauzá ascendió a la cumbre del monte Urdes el día 26 realizando con el teodolito una vuelta de horizonte para localizar entre otros puntos el Pan de Azúcar e Isla Flores. El 15 de noviembre levaron anclas para dirigirse a Puerto Deseado, en la costa patagónica, adonde llegaron el 2 de diciembre. El día 14 del mismo mes continuaron la travesía hacia las islas Malvinas, alcanzándolas cuatro días después. Al día siguiente zarparon las dos naves , para fondear en Valdivia tras tres días de navegación. Aprovechando la bonanza del tiempo, dispuso Malaspina que los oficiales de la Atrevida recorrieran la costa hasta Valparaíso, invirtiendo el tiempo necesario para realizar las observaciones astronómicas pertinentes, con el fin de hallar las coordenadas geográficas de los puntos más relevantes, Santiago capital incluida.

Reunión amistosa de los patagones con los tripulantes de la Descubierta

Acto seguido navegaron los expedicionarios por el litoral del Pacífico, atracando en Callao (el puerto de Lima), donde permanecieron hasta finales del mes de septiembre de 1790, recopilando toda clase de información. Siguiendo hacia el Norte, fondearon en marzo de 1791 en Acapulco, después de haber visitado Guayaquil, trasladándose algunos tripulantes a México; conversando allí con el virrey, impulsor de los reconocimientos geográficos de la costa noroeste. Seguidamente se dividió la expedición, tanto Pineda como Née y Alcalá Galiano permanecerían en Nueva España para efectuar las observaciones proyectadas, encargándose el tercero de las astronómicas; Por su parte, Malaspina y Bustamante partieron hacia la parte todavía ignota del extremo noroccidental del continente americano. La campaña en aquellas latitudes tan extremas duró hasta el verano de ese año 1791, efectuando el levantamiento topográfico de aquellas regiones hasta alcanzar Alaska; descartando la existencia mítica del paso del Noroeste, supuestamente localizado en el estrecho de Juan de Fuca. Tal como se indica en el la reseña de la expedición realizada por Real Academia de la Historia, «sus minuciosos y precursores estudios de la región constituyen hoy parte del patrimonio cultural de Canadá y Estados Unidos, así como sus trabajos en las colonias españolas contribuyeron a forjar las señas de identidad de las emergentes culturas y naciones criollas. Malaspina siguió redactando sus descripciones y reflexiones políticas, acusando a partir de esta campaña un giro en su discurso colonial, progresivamente menos axiomático y más cercano a lo singular, menos matemático y más histórico».

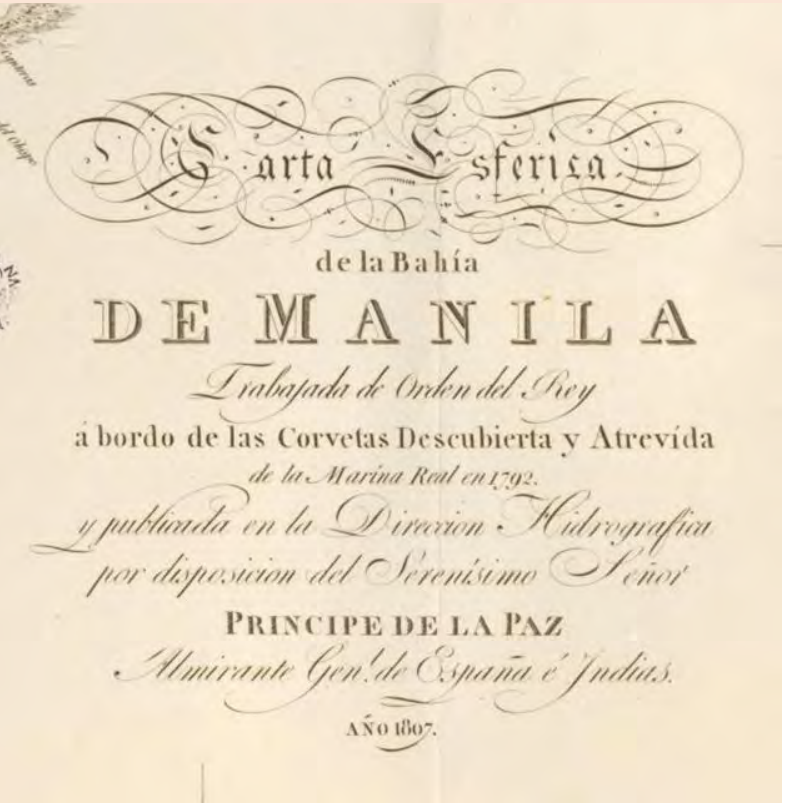
VISTA DE UNA GALERÍA NATURAL DE CIEN PIES DE LARGO Y DIEZ DE ANCHO, EN LA INMEDIACIÓN DEL PUERTO DEL DESCANSO, EN EL ESTRECHO DE JUAN DE FUCA

Plano de la Bahía de Manila levantada por los oficiales de la Expedición Malaspina



En el mes de octubre de 1791 regresaron a la ciudad de Acapulco, emprendiendo a finales de noviembre la travesía a las islas Filipinas, permaneciendo allí desde marzo a diciembre de 1792. Durante su estancia estudiaron su flora y fauna, además de formar mapas y trazar derroteros; mención especial fue la cuidada carta náutica de la bahía de Manila, en la que se incluyen resultados del sondeo de la misma. Las dos últimas visitas en los llamados Mares del Sur los llevaron hasta Australia y a las islas Vavao (Tonga), intercambiando en Puerto Jakson información con las autoridades inglesas. Ese puede ser considerado digno colofón de la expedición científica, aunque las dos corbetas no dieran la vuelta a la Tierra como estaba previsto, ya que el comandante Malaspina quiso regresar a América del Sur para concluir las observaciones astronómicas y trabajos cartográficos todavía pendientes. De ese modo volvieron a España doblando nuevamente el cabo de Hornos, llegando a Cádiz el 21 de septiembre de 1794. Malaspina cumplió gran parte de los objetivos científicos que había previsto: gran colección de mapas, interesantes observaciones gravimétricas, magnéticas y meteorológicas.

Cartela del Plano de la Bahía de Manila. La egolatría de Manuel Godoy (Generalísimo y Príncipe de la Paz) le llevó no solo a suprimir cualquier referencia a Malaspina y a sus oficiales, sino a figurar como artífice de una de sus obras.



Francesco Melzi d'Eril, vicepresidente de la República Italiana en 1802

Cuando Malaspina se trasladó a Madrid, con algunos de sus oficiales, el 7 de diciembre de 1794, fue recibido con todos los honores por la familia real, de hecho fue ascendido a brigadier de la Armada (R.O. 24.III.1795). Su primera intención fue la de ordenar y publicar toda la información recopilada durante la expedición, en seis grandes tomos acompañados de mapas y láminas. Sin embargo, la acompañó acompañó de otra eminentemente política, que frustró la primera. En efecto, pronto mostró su intención de reformar profundamente la monarquía, a fin de que las colonias pudiesen constituir una comunidad de naciones emancipadas e independientes. Esa circunstancia unida a una clara animadversión hacia Godoy (Secretario de Estado), al que calificó de sultán en alguno de sus escritos (era el supuesto amante de la reina), hizo que de acuerdo con esta (celosa por otros amoríos del generalísimo) organizara la sustitución del ministro por el duque de Alba. Al fracasar la conspiración en noviembre de 1795, fue procesado y encarcelado en la prisión coruñesa de San Antón, donde pasó más de seis años, hasta que a finales de 1802 fue liberado por iniciativa de Napoleón, a instancias de Francesco Melzi d'Eril; no obstante fue desterrado de por vida a Italia. En marzo de 1803 desembarcó en Génova y continuó hasta Mulazzo, tras lo cual se instaló en la cercana Pontremoli y comenzó a ocuparse de los problemas políticos locales. En 1805 fue nombrado Auditor Asesor del Consejo de Estado del Reino de Italia. En 1807 fue admitido, con el título de *Addomesticato*, en la Sociedad Colombina de Florencia.

Pedro de Novo y Colson, em el año 1885, reivindicó por vez primera la importancia de la Expedición de Malaspina.

La condena de Malaspina significó también la censura de su obra y la ocultación de su nombre, teniendo que transcurrir casi cien años para que se reivindicase en su país de adopción la importancia de todos los trabajos que bajo su mandato se efectuaron en una expedición tan sobresaliente. Hasta el año 1885 no se editó la obra titulada *Viaje político-científico alrededor del mundo por las corbetas Descubierta y Atrevida al mando de los capitanes de navío D. Alejandro Malaspina y Don José de Bustamante y Guerra desde 1789 a 1794*, escrita por el dramaturgo gaditano Pedro de Novo y Colson, teniente de navío y miembro correspondiente de la Real Academia de la Historia, así como numerario de la Real Academia Española. Consta la obra de una interesante Introducción histórica firmada por el autor en Madrid el 8 de mayo de 1885, en la que se hicieron algunas reflexiones sobre la conveniencia de publicar ese trabajo y otras acerca de los viajes del marino italiano y su proceso; a él se añadió un apéndice relevante, en tanto que se trató del destierro de Malaspina y del plan para relatar sus viajes, encargado por este al sacerdote Manuel Gil. Tres fueron los libros en los que se describieron las etapas contempladas en la expedición, a saber: PRIMERO) Navegación de las Corbetas desde Cádiz a Montevideo, Costa Patagónica, Malvinas, Chile, Perú, Guayaquil y panamá. Acaecimientos y tareas en los puertos que visitaron; SEGUNDO) Navegaciones desde Panamá a las Costas de Guatemala y Nueva España; sucesivas indagaciones sobre la costa Noroeste de la América, en busca de la comunicación de los dos mares, Atlántico y Pacífico, indicada por el

navegante español Lorenzo Ferrer Maldonado*; escalas en Nutka y en Monterrey; regreso de las corbetas a Acapulco y acaecimientos en aquel Puerto, hasta el momento de dar la vuelta hacia las Islas Marianas y Filipinas; TERCERO) Continuación del viaje de las corbetas a las Islas Marianas y Filipinas; Varias excursiones en entrambos Archipiélagos, y navegación de la atrevida al Puerto de Macao, últimos reconocimientos en el Mar Pacífico sobre la tierra austral del espíritu santo, la Nueva Zelanda, La Nueva Holanda y las Islas de Vavao en el Archipiélago de los Amigos, regreso al Puerto de Callao; Nuevas indagaciones hidrográficas, hechas sobre las Tierras del Fuego, Las Malvinas, la Costa Patagónica y el Río de la Plata; Regreso al Puerto de Cádiz.

VIAJE POLÍTICO-CIENTÍFICO

ALREDEDOR DEL MUNDO

POR LAS CORBETAS

DESCUBIERTA Y ATREVIDA

AL MANDO DE LOS CAPITANES DE NAVÍO

D. ALEJANDRO MALASPINA

Y

DON JOSÉ DE BUSTAMANTE Y GUERRA

DESDE 1789 Á 1794

PUBLICADO CON UNA INTRODUCCIÓN

POR

DON PEDRO DE NOVO Y COLSON

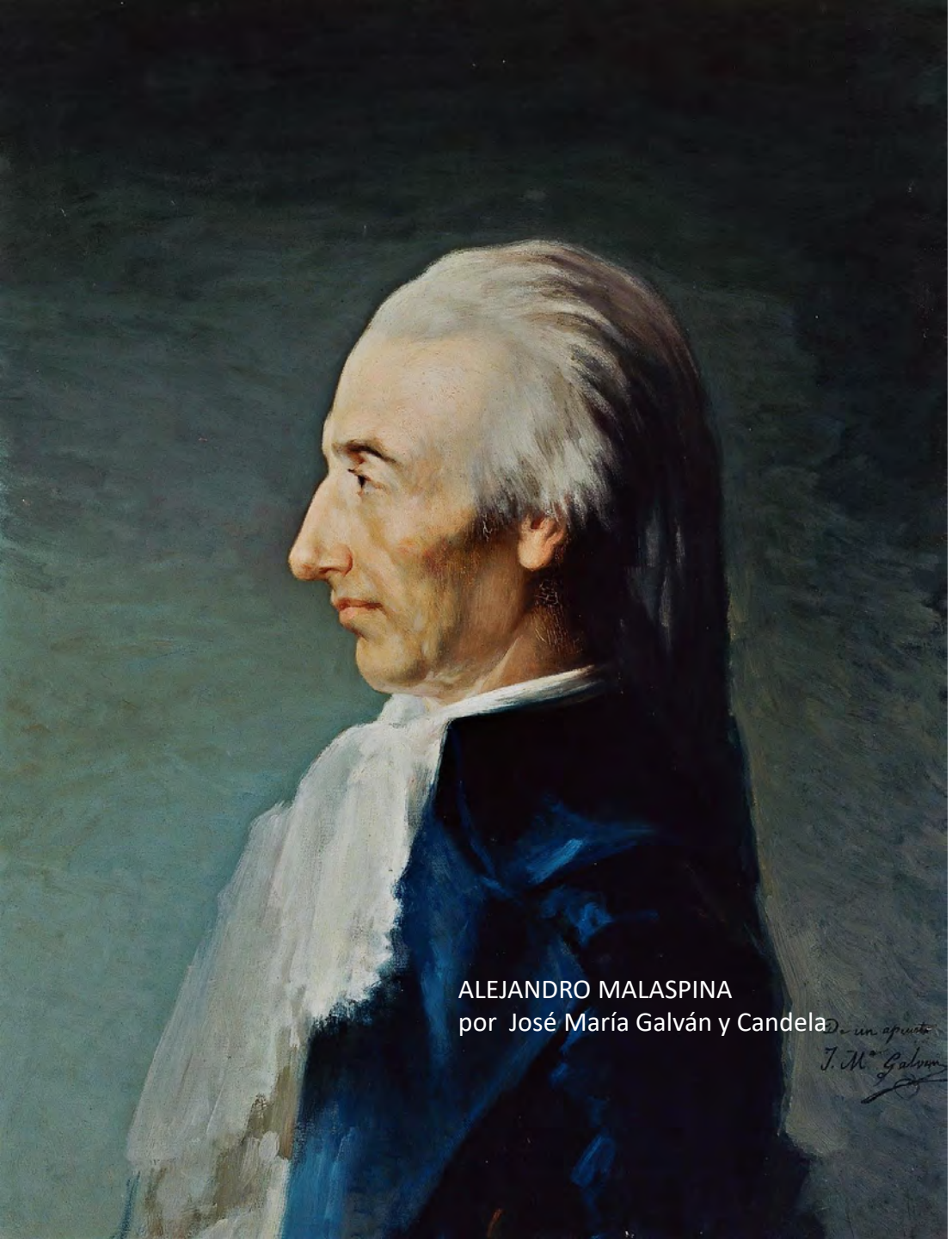
TENIENTE DE NAVÍO

ACADÉMICO CORRESPONDIENTE DE LA REAL DE LA HISTORIA

En la segunda edición de esta obra, incluyó el autor una curiosa nota final, firmada en el mes de enero de 1795, en la que se reconocía que en su trabajo solo se había seleccionado parte de la información proporcionada por Malaspina: «No menos de siete tomos en folio y no menos de dos millones de reales hubiera importado en aquella época la impresión completa y digna del viaje. Cierto que eran entonces de suma utilidad las setenta cartas levantadas por ellos, así como los dibujos que hoy ya carecen de importancia en su mayoría. Pero sin embargo de llamar compendio al presente volumen, hemos procurado encerrar en él todo lo más interesante y práctico, todo lo que puede aún servir de enseñanza a la Marina y de provecho a los navegantes. P. de N y C.»

*Supuestamente había descubierto el mítico Estrecho de Anián en el año 1588

EL ESTRECHO DE ANIAN en el mapa de Mercator: *Septentrionalium Terrarum Descriptio* (1623)



ALEJANDRO MALASPINA
por José María Galván y Candela

El interés de Malaspina por las observaciones científicas realizadas durante la expedición, lo puso de manifiesto en su discurso preliminar, reproducido en la obra anterior como encabezamiento de la Relación General del Viaje. Ciertamente, allí dejó clara su intención de darlas a conocer en dos tomos: «el primero se formará con el voluminoso diario astronómico, las observaciones meteorológicas hechas en los puertos y en el mar, y los estados de la declinación de la aguja; lo hará luego sumamente útil e instructivo un tratado de navegación y geodesia que le hará preceder D. Dionisio Galiano, aplicando a una práctica bien comprobada, varios métodos tan útiles como nuevos que ha sugerido el estudio constante de la Astronomía y de los demás ramos que corresponden al pilotaje sublime; últimamente, en una Memoria separada, el Capitán de fragata D. Ciriaco Cevallos, expone con mucha claridad el resumen de nuestras experiencias sobre la gravedad de los cuerpos, hechas con el péndulo simple constante en diferentes paralelos de entrambos hemisferios, y las refiere al mismo tiempo a la figura de la Tierrra, no tan simétrica como se suponía, y luego a una medida universal, cuya comprobación constante e invariable en diferentes parajes, dependa sencillamente de los resultados de las experiencias hechas hasta ahora , o por nosotros o por los

viajeros que nos han precedido. Corresponderán después al otro tomo, que será el sexto de la obra general, la recopilación de los elementos que han servido de base a nuestras cartas y los derroteros de las navegaciones que estas comprenden. Un tratadito sobre los vientos y las corrientes y otro sobre las derrotas más breves por alta mar de uno a otro paraje del globo, cualesquiera que sean las estaciones del año, hará ver a continuación, cuantas son las vías, y cuanto son fáciles para comunicarse continuamente entre si la América, el Asia y la Europa».

Consultando la crónica de la expedición se comprueba que la práctica totalidad de los lugares visitados por los expedicionarios fueron localizados por su par de coordenadas geográficas, con la particularidad de que en los más singulares se concretaba la metodología empleada para determinar la longitud: distancias de la Luna al Sol o a otras estrellas, eclipses de los satélites de Júpiter y procedimientos exclusivamente cronométricos, principalmente; clara evidencia de que aún no estaba resuelto del todo el problema de su obtención. Tales determinaciones proporcionaron una fuente de información geográfica considerable, que fue aprovechada para la preparación de publicaciones posteriores. Quizás fuese Felipe Bauzá el primero en hacerlo, al redactar su *Discusión sobre las longitudes de la costa de Chile y Perú*, un trabajo que fue reproducido por Pedro de

Observaciones magnéticas y astronómicas de Dionisio Alcalá Galiano, uno de los expedicionarios

TABLAS

DE

LATITUDES Y LONGITUDES

DE LOS

PRINCIPALES PUNTOS

DEL

RIO DE LA PLATA,

NUEVAMENTE ARREGLADAS AL MERIDIANO QUE PASA POR LO MAS OCCIDENTAL DE LA ISLA DE FERRO;

POR

D. ALEJANDRO MALASPINA,

BRIGADIER DE LA REAL ARMADA.

EN SU VIAGE

AL REDEDOR DEL MUNDO.

Primera Edicion.

BUENOS-AIRES.

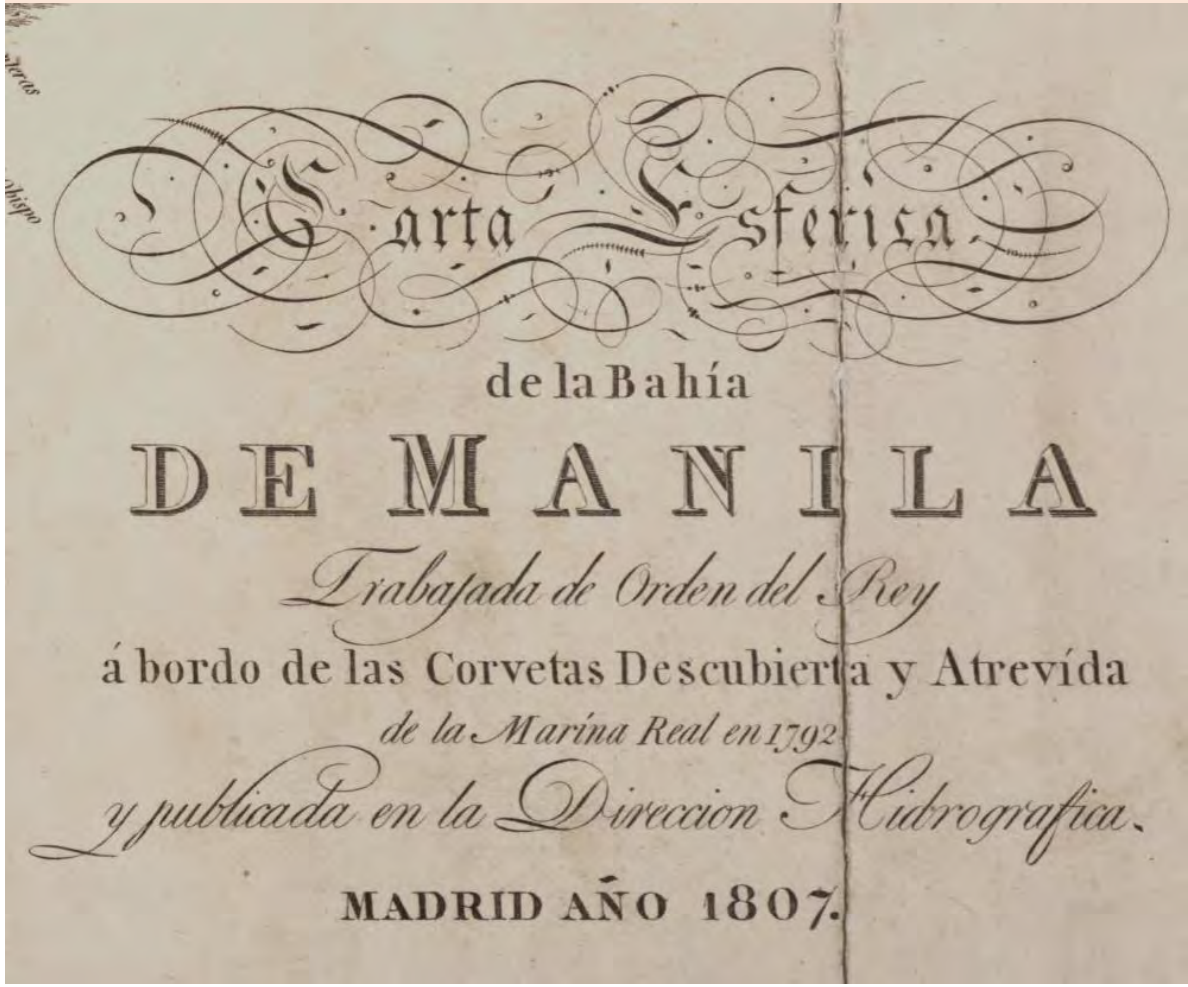
IMPRENTA DEL ESTADO.

1837.

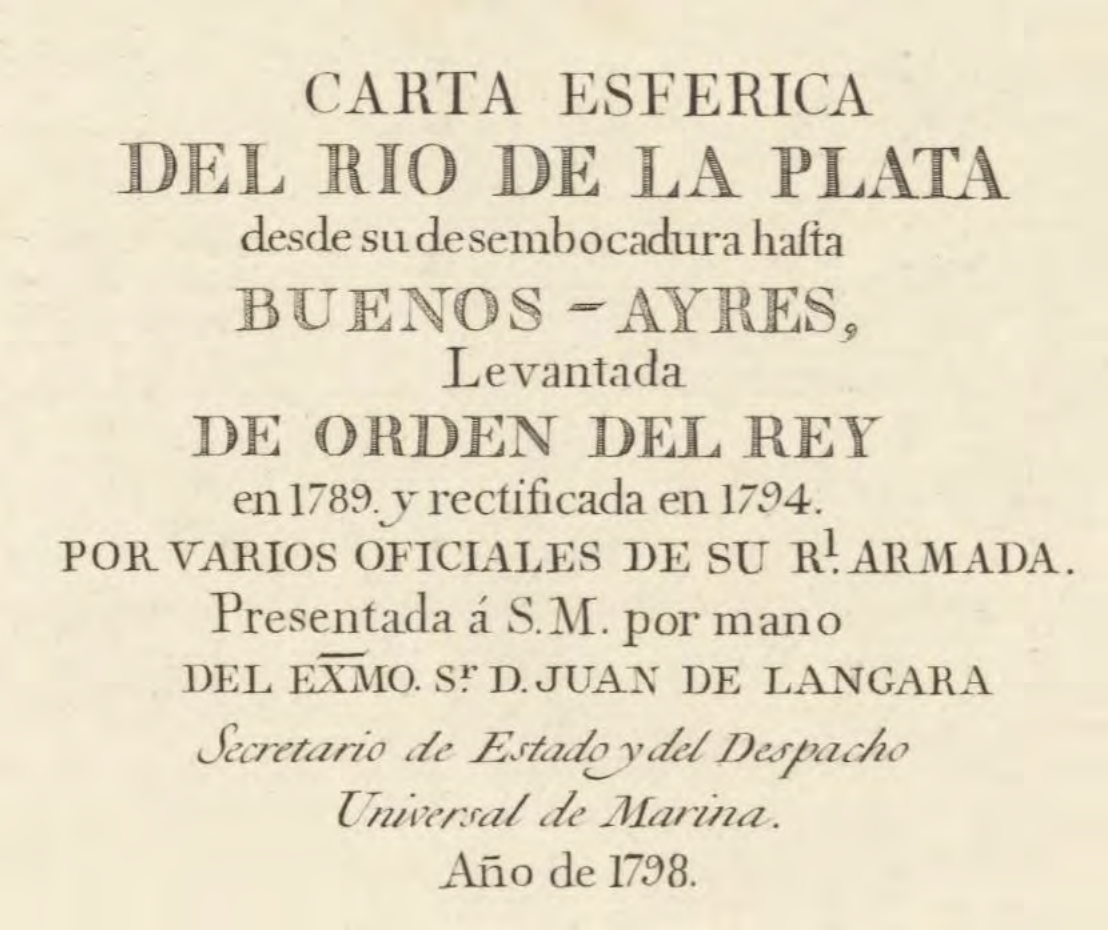
Pedro de Angelis

En este artículo Bauzá se apoyó también en otras determinaciones previas y posteriores a las de la expedición, mostrando desde el principio su conocimiento del problema de la longitud: «Es sabido que las determinaciones más propias para situar los puntos del globo astronómicamente , son las ocultaciones de las estrellas por la Luna, los eclipses de Sol, los de los satélites de Júpiter y eclipses de Luna, y en su defecto, por medio de los cronómetros marinos cunado se puede averiguar su movimiento en cortos periodo de tiempo…Por lo tanto, en esta pequeña discusión manifestaré no solo los datos que hay por observaciones hechas por individuos nacionales, sino también aquellas que hayan hecho los extranjeros, para poder proceder con acierto en asunto de tanta importancia». Otro de los autores que usó los datos de Malaspina fue el historiador Pedro de Angelis (súbdito del Reino de las dos Sicilias), el cual publicó en Buenos Aires (1837) las *Tablas de latitudes y longitudes de los principales puntos del Río de La Plata, nuevamente arregladas al meridiano que pasa por lo más occidental de la isla de Ferro; por don Alejandro Malaspina, brigadier de la Real Armada, en su viaje alrededor del mundo*. En su prólogo recordó la denuncia formulada en su momento por A. von Humboldt, señalando que los mapas publicados en Madrid después de 1799, fundados en gran parte en las observaciones realizadas en la expedición de Malaspina, en vez de su nombre solo llevaban el de las corbetas Descubierta y Atrevida.

Cartela del Plano de la bahía de Manila sin la inclusión del nombre de Godoy, Almirante Generalísimo de España e Indias.



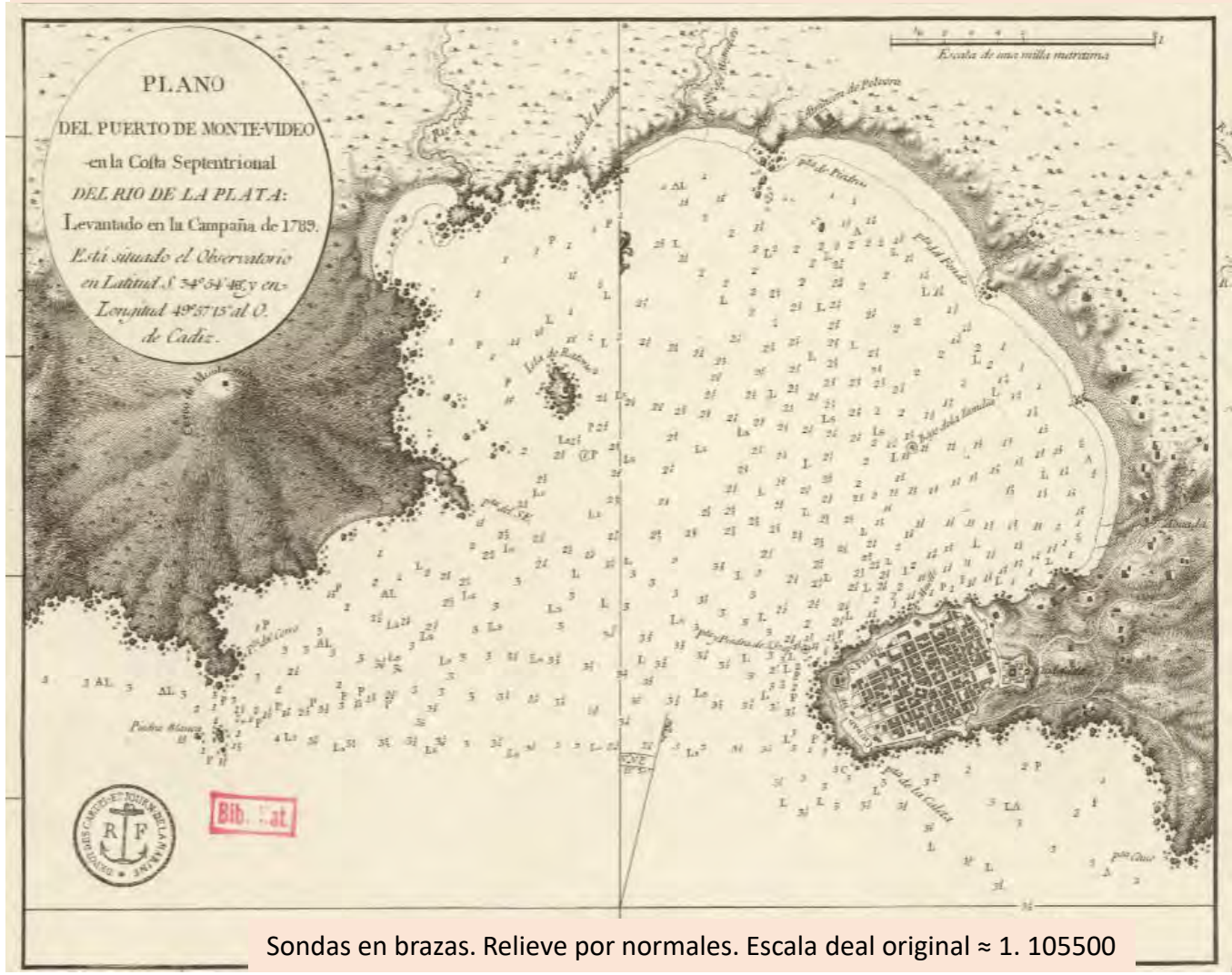
Esas tareas, tan propias de la geografía astronómica fueron complementadas con una extensa actividad topográfica, cumpliendo así unos de los principales objetivos de la expedición de Malaspina. Toda ella fue plasmada en una notable colección de mapas, planos, cartas náuticas, vistas panorámicas y otras estampas; la cual constituye un valioso legado para la cartografía histórica de los territorios explorados. Aunque la censura impuesta por Godoy pudo favorecer la desaparición de valiosa documentación, gran parte del legado fue usado por Felipe Bauzá para conformar su ingente producción cartográfica (en la *British Library* se conserva la llamada *Bauza Collection*, identificada como MSS. 17556-676). Asimismo, ha de añadirse que se conservan mapas formados por oficiales relevantes mientras servían a las órdenes de Malaspina; dos de ellos son dignos de mención. Dionisio Alcalá Galiano y José Espinosa y Tello. Alcalá Galiano, junto a Cayetano Valdés fue el autor de la *Carta Esférica de los reconocimientos hechos en 1792 en la Costa N.O. de América para examinar la entrada de Juan de Fuca y la internación de sus Canales navegables*. Espinosa y Tello, formó la Carta Esférica de la parte Interior de la América Meridional para manifestar el camino que conduce desde Valparaíso a Buenos Aires, la cual se basó en las observaciones astronómicas que hizo por aquellos parajes en el año 1794, junto a Felipe Bauzá; siendo ambos marinos, oficiales al mando de Malaspina.


CARTA ESFERICA
DEL RIO DE LA PLATA
desde su desembocadura hasta
BUENOS - AYRES,
Levantada
DE ORDEN DEL REY
en 1789. y rectificada en 1794.
POR VARIOS OFICIALES DE SU R.l ARMADA.
Presentada á S.M. por mano
DEL EXMO. S.r D. JUAN DE LANGARA
Secretario de Estado y del Despacho
Universal de Marina.
Año de 1798.

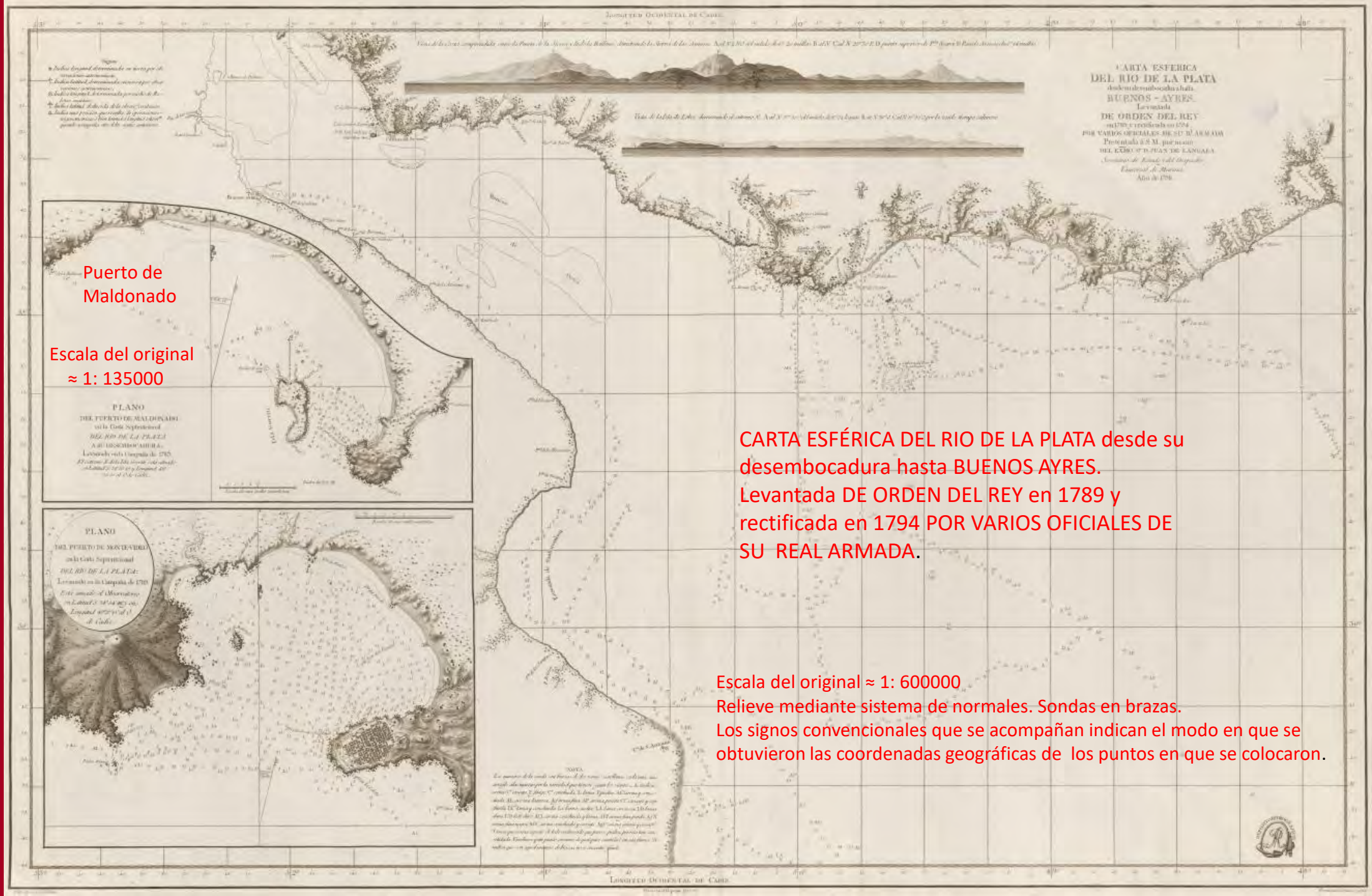
A propósito de las Cartas Esféricas, es obligado comentar la génesis de la referida al *Rio de la Plata, desde su embocadura hasta Buenos Aires, y en la costa inmediata oriental hasta el Cabo de Santa María, trabajada a bordo de las corbetas de S. M. , Descubierta y Atrevida. Año de 1789*; haciendo para ello una selección del texto reproducido en la obra de Novo y Colson. Las primeras observaciones astronómicas se realizaron en Montevideo, asignado a su longitud un valor provisional de 50º 5´45" al Oeste de Cádiz; basándose para ello en las diferencias entre las horas locales del lugar y las fijadas en las tablas astronómicas, referidas a la posición de la Luna y a los satélites de Júpiter. En cuanto a las latitudes de los diferentes puntos, se obtuvieron realizando las observaciones correspondientes con sextantes o cuartos de círculo. Para situar la isla de Lobos se efectuó una triangulación apoyada en una base «de una milla escasa», localizada junto a Maldonado, cuyo puerto fue situado por intersección directa a partir de la Isla Gorrite y de la Punta de la Ballena. Para ligar la costa hasta Montevideo, se realizaron vueltas de horizonte en la cumbre del Pan de Azúcar y en Punta Negra, Finalmente, se midieron otras dos bases, una en Puerto Maldonado y otra en la Punta de las carretas, «unen de tal modo a los triángulos traídos desde la Punta del Este, quelas diferencias parciales en latitud y longitud relativamente al Pan de Azúcar, son absolutamente iguales al total de las diferencias observadas entre Montevideo y la Isla Gorrite». La Isla Flores también fue localizada por intersección directa. En el Banco Inglés se obtuvieron

repetidos valores de su latitud y longitud. Tras los trabajos de sondeo, prosiguió la triangulación hasta el río Santa Lucía, «el reloj 105 y una altura meridiana del Sol, tomada con el sextante, determinan directamente la posición de un extremo de la Isla san Gabriel: las demás contiguas, los arrecifes que las rodean y los puntos de la costa inmediata, inclusa la misma colonia, están sujetas a marcaciones y enfilaciones, aunque capaces de algún leve error, por haberse tomado con una aguja portátil y estar sujetas, no a base medida, sino a unas distancias echadas a ojo». La diferencia de longitudes entre Buenos Aires y Montevideo, se obtuvieron cronométricamente en una travesía de pocas horas y examinada inmediatamente antes y después; «la latitud se ha observado con el cuarto de círculo grande y entrambos datos se han traído al fuerte». Todos los puntos sitos entre la Plaza Mayor de Buenos Aires y la Ensenada Barragán se enlazaron mediante una triangulación, determinando a continuación toda la costa hasta el frontón del cabo San Antonio. La delineación del plano fe realizada por Felipe Bauzá y el grabado por Fernando Selma. La presentación del mismo corrió a cargo de Juan de Langara, que al igual que Godoy quiso cobrar el protagonismo que ambos robaron a Malaspina.

Plano del Puerto de Montevideo, en la Costa Septentrional del Rio de la Plata. Levantado en la campaña de 1789. está situado el observatorio en latitud S. 34º 54´48” y en longitud 49º 57´152 al O. de Cádiz.



Sondas en brazas. Relieve por normales. Escala deal original ≈ 1. 105500



CARTA ESFÉRICA DEL RIO DE LA PLATA desde su desembocadura hasta BUENOS AYRES.
Levantada DE ORDEN DEL REY en 1789 y rectificada en 1794 POR VARIOS OFICIALES DE SU REAL ARMADA.

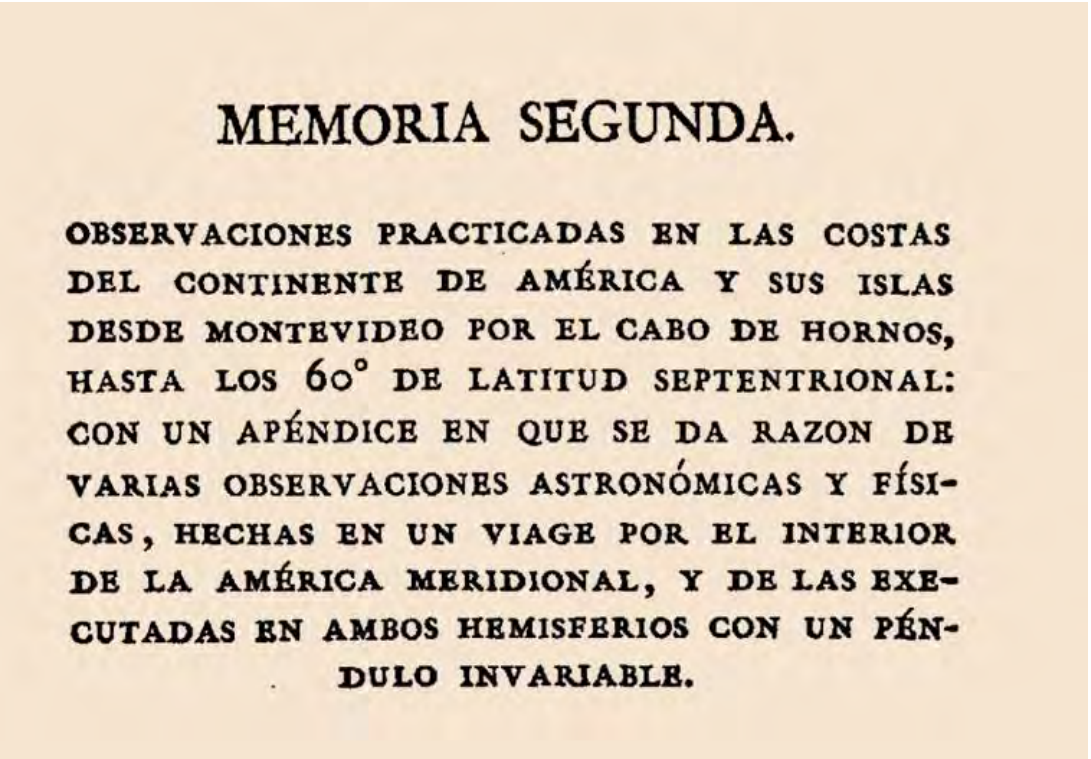
Escala del original ≈ 1: 600000
Relieve mediante sistema de normales. Sondas en brazas.
Los signos convencionales que se acompañan indican el modo en que se obtuvieron las coordenadas geográficas de los puntos en que se colocaron.

Epílogo. La Lealtad de José Espinosa y Tello (1763-1815)

Sin el ánimo de restar importancia a la publicación de Pedro de Novo y Colson, ha de reseñarse la existencia de un extensísimo informe eminentemente técnico y de carácter oficial que vio la luz en el año 1809. El autor fue el ya citado José Espinosa y Tello, que en su momento sirvió a las órdenes de Alejandro Malaspina, habiendo elegido como título el siguiente *Memorias sobre las observaciones astronómicas 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. José Espinosa y Tello . Imprenta Real.* Madrid (1809). Espinosa era a la sazón Jefe de Escuadra de la Real Armada y primer Director de dicho establecimiento. Las Memorias a que se refiere el título son las siguientes: I) De lo correspondiente a las costas de España y África; las del mar Mediterráneo, islas Canarias y de los Azores; II) De las costas del continente de América y sus islas, desde Montevideo por el cabo de Hornos, hasta los 60º de latitud N; III) De las islas Marianas, Filipinas, Nueva Holanda y Archipiélago de los amigos ; IV) De las costas de América septentrional y sus islas. A modo de prólogo se incluyó un discurso preliminar, para informar sobre los progresos y estado de la hidrografía en España, escrito por Luis María de Salazar y Salazar, Intendente general de Marina. Dejando de lado el análisis de tan interesante y extensa (170 páginas) lección de historia, solamente se referirá la valiente reivindicación que hizo de la Expedición de Malaspina. Tras realizar un breve comentario de su periplo, añadió: «El público ciertamente esperaba con ansia

ver el fruto de tal empresa; y a la verdad era muy de desear que no quedasen obscurecidos ni olvidados unos trabajos tan importantes. La común utilidad de los navegantes, los progresos de su arte, la perfección de la hidrografía, y la gloria de la misma nación, se interesaban en que saliesen a luz. Sin embargo, contra todos estos poderosos motivos, y contra todas nuestras esperanzas y deseos, el viaje de las corbetas sufrió la suerte y el olvido que por desgracia han tenido en España otras muchas obras clásicas de esta especie y los nombres de sus autores. Con harta razón nos lamentamos pues ahora de esta fatalidad; pero no sería bien que nos introdujésemos a

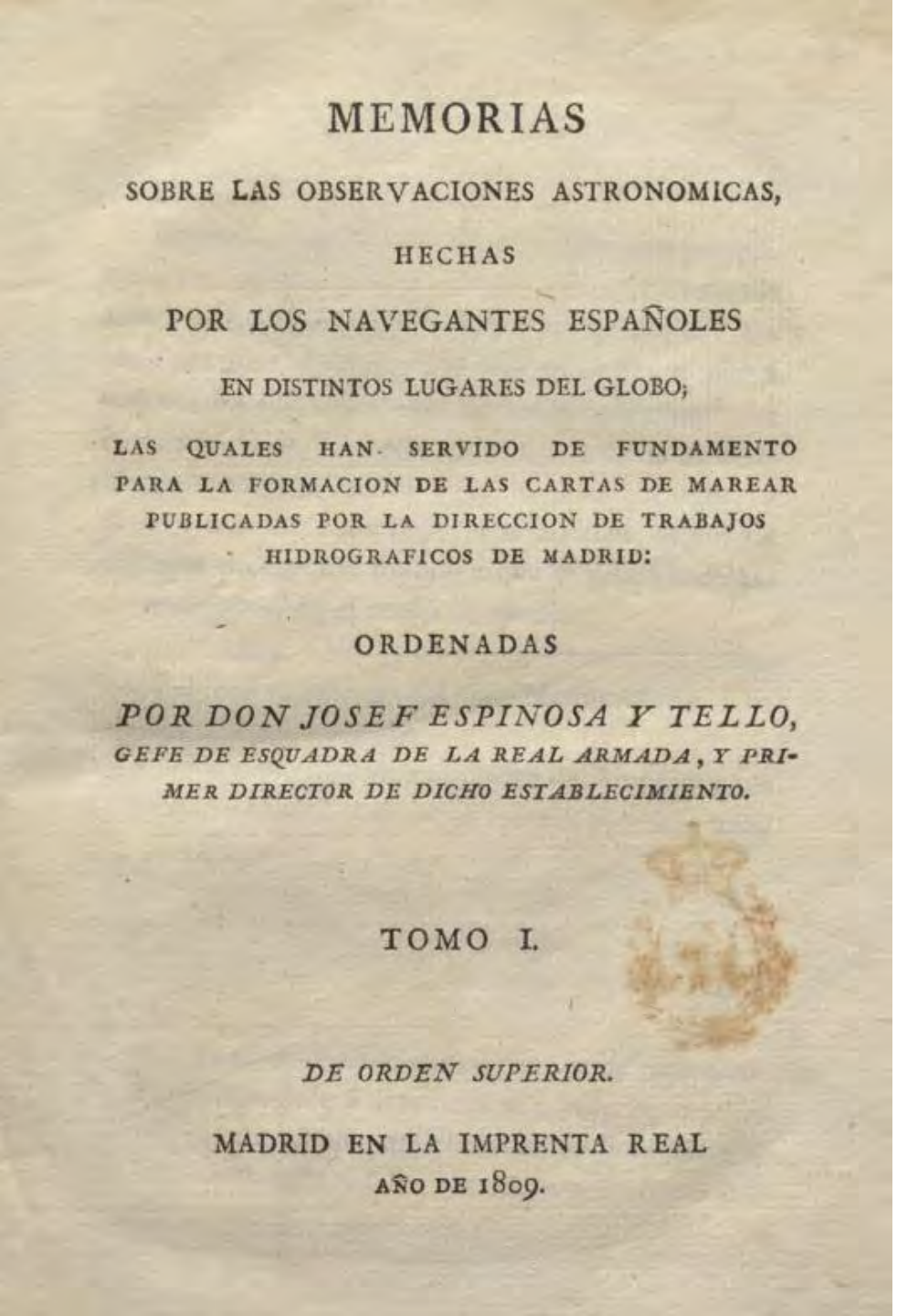
Luis María de Salazar y Salazar


MEMORIA SEGUNDA.

OBSERVACIONES PRACTICADAS EN LAS COSTAS DEL CONTINENTE DE AMÉRICA Y SUS ISLAS DESDE MONTEVIDEO POR EL CABO DE HORNOS, HASTA LOS 60° DE LATITUD SEPTENTRIONAL: CON UN APÉNDICE EN QUE SE DA RAZON DE VARIAS OBSERVACIONES ASTRONÓMICAS Y FÍSICAS, HECHAS EN UN VIAGE POR EL INTERIOR DE LA AMÉRICA MERIDIONAL, Y DE LAS EXECUTADAS EN AMBOS HEMISFERIOS CON UN PÉNDULO INVARIABLE.

discurrir sobre las causas de que ha provenido. Debiendo consolarnos la reflexión de que ya que no hayamos logrado ver impresa la relación importante de tan curiosa expedición, al menos no se han perdido los frutos de ella, como era de temer que sucediese, a no haberse reunido en la Dirección de hidrografía todo cuanto se trabajó entonces en lo concerniente a este ramo, y consta en las Memorias segunda y tercera que ahora da a luz».

Espinosa aprovechó su ascenso para ser meridianamente claro en la introducción de la segunda Memoria, siendo su intención



MEMORIAS

SOBRE LAS OBSERVACIONES ASTRONOMICAS,

HECHAS

POR LOS NAVEGANTES ESPAÑOLES

EN DISTINTOS LUGARES DEL GLOBO;

LAS QUALES HAN SERVIDO DE FUNDAMENTO PARA LA FORMACION DE LAS CARTAS DE MAREAR PUBLICADAS POR LA DIRECCION DE TRABAJOS HIDROGRAFICOS DE MADRID:

ORDENADAS

POR DON JOSEF ESPINOSA Y TELLO,

GEFE DE ESQUADRA DE LA REAL ARMADA, Y PRIMER DIRECTOR DE DICHO ESTABLECIMIENTO.

TOMO I.

DE ORDEN SUPERIOR.

MADRID EN LA IMPRENTA REAL

AÑO DE 1809.

«tratar únicamente de las tareas hidrográficas practicadas…para trazar las cartas marítimas de que ya disfruta el púbico, y lo haremos con la posible concisión en cuanto baste a dar una idea del buen éxito que tuvo tan útil empresa, en cuyo progreso y como base fundamental de ella se hicieron las observaciones astronómicas que contiene esta Memoria». La exposición de su contenido la estructuró en cuatro apartados, figurando en el último de ellos otra serie de observaciones, «que interesan mucho la geografía física y la náutica, como son las del péndulo invariable, las de la variación e inclinación de la aguja, las de las mareas, las de la velocidad del sonido, y las del barómetro y termómetro aplicadas a la averiguación de las diferencias del nivel de los lugares en que se ejecutaron; las incluimos asimismo en esta memoria en estados que comprehenden no solo las hechas en las costas de América, sino también las practicadas en el Océano Pacífico, y en los mares de Asia, para que teniéndolas todas reunidas puedan más bien sacarse las consecuencias o resultados generales a que den lugar, y hacerse las comparaciones que convengan».

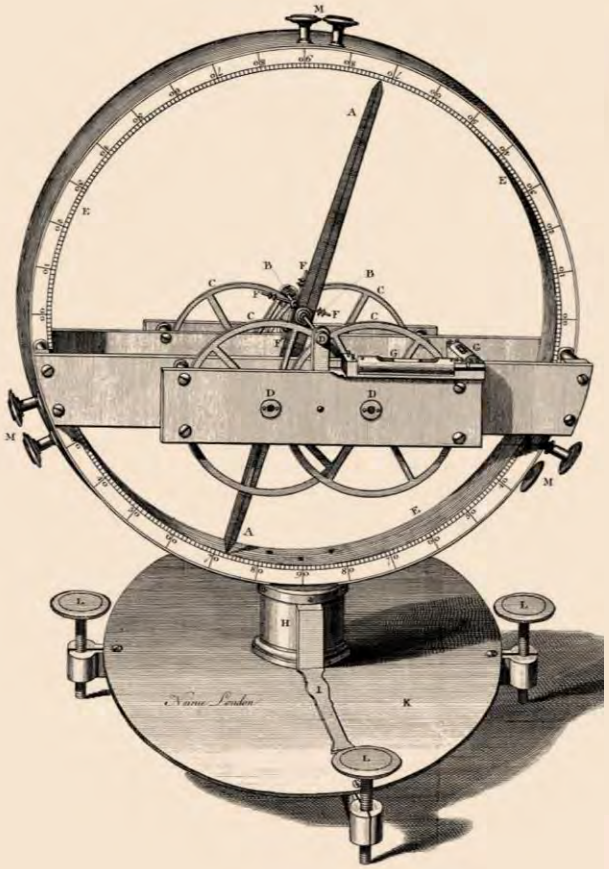
Para dar cuenta de dichas tareas, redactó una especie de diario de operaciones, proporcionando los datos, lugares y operadores correspondientes. Con relación a las observaciones magnéticas, apuntó espinosa que las hicieron en varios de los puertos en que fondearon,

«valiéndose para las de inclinación de una excelente aguja construida por Nairne…y para observar la variación magnética empleamos los teodolitos de la colección remitida de Londres por el Señor Magallanes hechos por Jorge Adams».

En Montevideo el 10 y 23 de Setiembre de 1789.

	La cara del instrumento al E.	al O.
El extremo de la marca N..	42° 35′	42° 50′
El extremo de la marca S...	43° 05′	43° 20′
Repetida el 23.....	41° 00′	41° 40′
	41° 10′	42° 10′
Promedios.....	41° 57′½	42° 30′
Inclinacion media del Polo S. de la aguja.....		42° 13′¾
Variacion magnética N. E.....		13° 40′

Aguja Nairne. 1772



Teodolito de George Adams c. 1781

Varios fueron los lugares en que se estacionaron los instrumentos magnéticos: Montevideo, Puerto Deseado, Puerto Egmont de las islas Malvinas, Manila y Puerto Jakson (Australia), entre otros. «estas fueron las observaciones que practicamos en las épocas referidas para encontrar la inclinación de la aguja y su variación magnética. Siempre las hicimos en tierra en el Observatorio, y aunque hubiéramos deseado practicar también en el mar las de inclinación en el discurso de nuestro dilatado viaje, no lo hicimos porque nunca nos pareció que la embarcación estaba en bastante reposo para poder conseguir resultados de confianza».

Resúmen de las observaciones hechas sobre las mareas para manifestar el establecimiento ú hora de la pleamar en varios puertos de América y Asia en los dias de plenilunio ó novilunio, y la elevacion y corriente de las aguas en la misma época.

Nombres de los lugares.	Horas de la pleamar.		Pies que sube la marea.	Velocidad horaria de la corriente.
			P. p.	
Isla Fernando Noroña.....	4h 00′	t.e	5....4	
Isla Trinidad del S.	4h 00′	t.e	11..00	
Puerto Deseado....	1h 00′	t.e	36..00	De 4 á 5 millas.
Puerto de la Soledad en Maluinas.	4h 30′	t.e	7..00	
Puerto Egmont en idem.....	6h 50′	t.e	9....6	1 milla en el fondeadero.
S. Cárlos de Chiloe.	11h 00′	m.a	22..00	De 3 á 3½ millas.
Concepcion.....	10h 00′	m.a	6..00	
Valparaiso.....	9h 25′	m.a	3....2	
Coquimbo.....	2h 37′	t.e	6..00	
Callao de Lima. ...	6h 15′	m.a	3....6	
Guayaquil.....	7h 19′	m.a	12....4....3	millas.
Panamá.....	4h 20′	t.e	17 .00	
Realejo.....	2h 43′	t.e	6..00	
Acapulco.....	1h 19′	t.e	4....6	
Monterey.....	8h 00′	m.a	3....6	
Isla Guaxan en las Marianas.....	8h 20′	m.a	1....6	
Palapa en Filip.s ...	6h 10′	t.e	5....6	
Puerto de Cavite en idem.....	10h 40′	m.a	2....5	

NOTA. Las observaciones de mareas en Fernando Noroña, y la isla Trinidad las hizo el Señor Don Juan de Lángara en 1774.

La observación de las mareas fue otro de los propósitos contemplados en la Expedición Malaspina, Espinosa comentaba en la Memoria que « tuvimos especial cuidado en nuestro viaje de hacer observaciones sobre tan importante materia; tanto mas que sabíamos se carece de ellas hasta ahora por lo relativo á las costas de la América meridional que hemos visitado, y lo mismo por lo que hace á las islas Marianas y Filipinas. Nuestra corta mansión en muchos surgideros solo nos permitió averiguar con certidumbre su establecimiento el día del plenilunio, y la elevación y curso de las aguas en dicha época; pero en Guayaquil, Panamá, Realejo y Acapulco, donde estuvimos mas de asiento, hicimos observaciones mas prolijas. Por lo que empezaremos por dar estas, y pondremos después un resumen o estado general de todas las que hemos practicado en nuestras campañas de 1789, 90, 91 y 92 para que puedan considerarse bajo un mismo punto de vista».

En Cavite en la bahía de Manila.

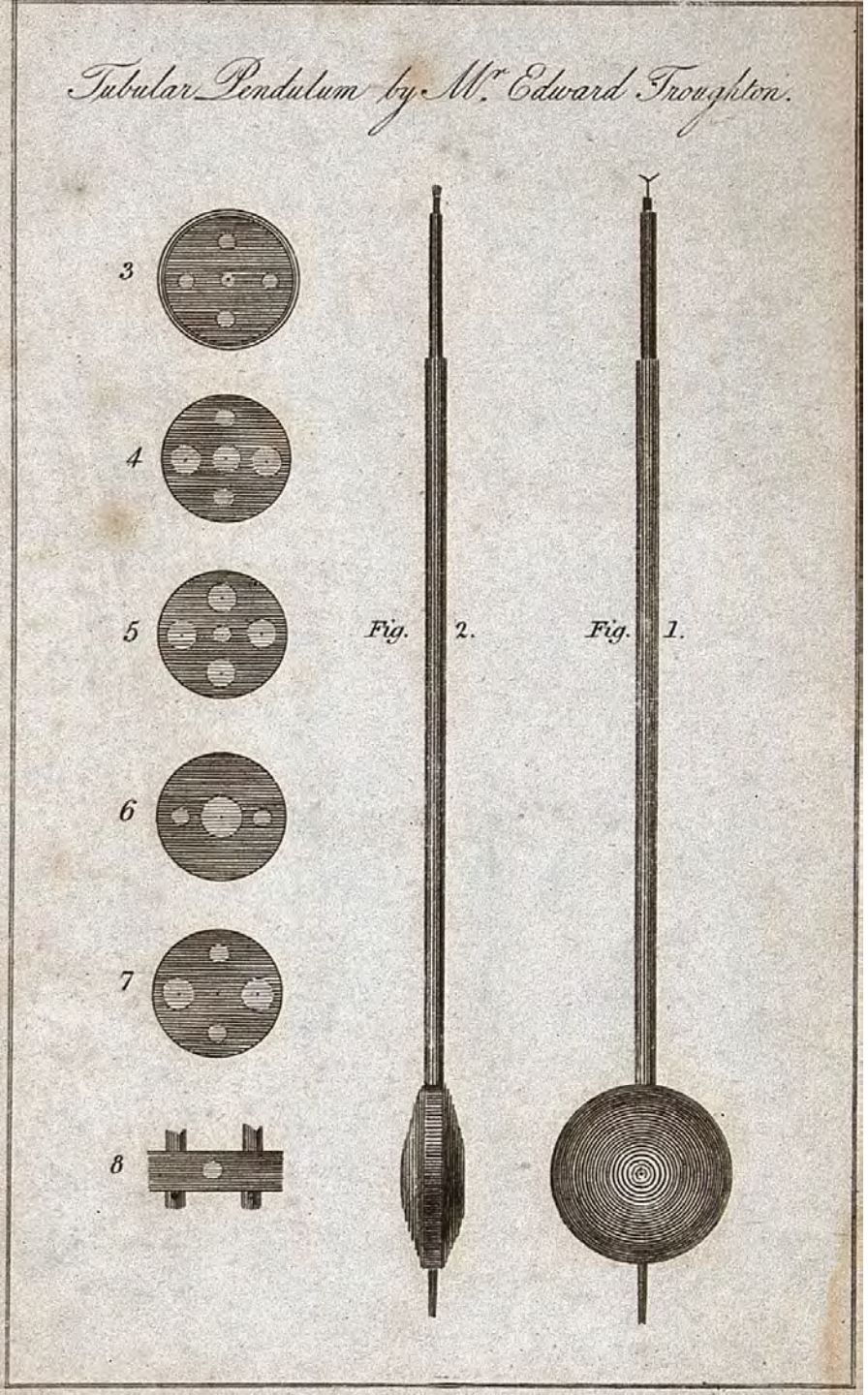
P....Pies,
p...Pulgadas

Fases de la Luna.	Dias del mes de Octubre.	Horas de la pleamar.	Horas de la baxamar.	Cantidad media que subió ó baxó la marea.
				P. p.
	23	4h 30′ m.a	1h 00′ t.e	2.....7
	24	6h 00′ m.a	2h 00′ t.e	2.....0
	28	9h 15′ m.a	4h 40′ t.e	2.....3
Luna llena á las 6h 27′ de la mañana...	29	10h 45′ m.a 11h 15′ n.e	4h 40′ t.e	2....10 .....

NOTA. Resulta el establecimiento del puerto de Cavite ó la hora de la pleamar el dia del plenilunio á las 10h 40′ de la mañana.

La Memoria II de Espinosa tuvo un Apéndice, cuyo tercer apartado es de singular importancia para la historia de la gravimetría española, su título así lo certifica: *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*. La inclusión de ese capítulo gravimétrico obedece a una orden del 22 de diciembre de 1790, comunicada a Malaspina por el Ministro de Marina Antonio Valdés. En ella se comentaba la iniciativa metrológica de Francia, relacionada con la futura implantación del Sistema Métrico Decimal, y la posibilidad de que la nueva unidad de las medidas lineales fuese la longitud del péndulo que batía segundos a una latitud de 45º. Deseoso el Rey de España de aprovechar esa circunstancia para propiciar el desarrollo de la geografía, decidió que se efectuasen observaciones sobre ese particular, ejecutándolas «en los lugares convenientes, para que comparadas con las que han de verificarse en aquel reino, puedan perfeccionar los conocimientos actuales sobre la verdadera figura de la tierra, determinando si el hemisferio meridional es mas aplanado, ¿cuál sea esta diferencia y las demás que pueda haber en la forma exterior de nuestro globo, supuesto que su superficie no sea tan simétrica como comúnmente se imagina? Como estos puntos han de resolverse por las medidas de varios grados en diferentes regiones, o por las observaciones del péndulo en cierto número de lugares, conducen á V. S. uno, construido de intento con el mayor cuidado, los Tenientes de Navío Don Josef de Espinosa y Don Ciriaco Cevallos».

VISTA DE LA POBLACIÓN Y PUERTO DE ACAPULCO, SACADA DESDE EL FRONTÓN DEL GRIFO. En primer término, un grupo de pescadores y varias embarcaciones. A la izquierda las corbetas Descubierta y Atrevida, y al fondo el hospital de los Padres Hipólitos junto a un caserío y detrás una cordillera. A la derecha y sobre un montículo, el Fuerte de San Carlos.



El ministro se refirió luego a la necesidad de se comparasen las longitudes del péndulo en lugares diferentes, para inferir por su diferencia la variación en la figura del meridiano. De ahí que encomendara a Malaspina medir tal longitud a una latitud Sur de 45º, para de ese modo «ligar nuestras investigaciones con las de los Académicos franceses», practicadas en el paralelo septentrional de igual latitud. Ambos marinos se incorporaron a la expedición en Acapulco, el 24 de febrero de 1791. A Espinosa se debe la siguiente descripción del péndulo: «consistía en una lente de cobre pendiente de una barra de madera cortada en el sentido longitudinal según la fibra. La barra terminaba por el otro lado con una pieza de metal cónica, en donde encajaba una lámina de acero que suspendía al péndulo por medio de un eje que la atravesaba por su extremo superior. Toda la máquina estaba dentro de una caja, que permanecía cerrada aun durante el tiempo de las experiencias; la puerta tenia un cristal en la parte que correspondía a la lente y detrás de él se veía un limbo graduado, que servía para medir la magnitud de las vibraciones, así como para nivelar el péndulo, haciendo concurrir sobre el principio o el cero de la graduación un índice colocado en el extremo inferior del péndulo». Espinosa explicó inmediatamente después el modus operandi seguido por los tres observadores que efectuaban la medición: «Dos contaban el número de vibraciones del péndulo simple durante una hora, alternando de minuto en minuto en el cuidado de pronunciarlas en voz alta, mientras el tercero

atendía al reloj del Observatorio, y apuntaba el segundo de tiempo en que oía la voz del que contaba al péndulo simple. De este modo logramos aproximar las experiencias entre sí, sin que se apartasen sus resultados mas de un medio segundo». El proceso de datos consiguiente, en relación con la figura de la Tierra, le fue encomendado al Brigadier de la Armada Gabriel Ciscar, amigo de los expedicionarios, «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». Los cálculos efectuados por el matemático valenciano relacionaron las medidas efectuadas en los dos hemisferios, presentando los valores obtenidos para las gravedades en dos tablas: atendiendo la primera a un achatamiento polar de 1/236 y la segunda a otro de 1/321;

Gravedades segun el cálculo correspondiente á $\frac{1}{236}$ de aplanamiento, y segun las observaciones hechas con el péndulo invariable, tomando por unidad la que se experimenta en el equador.

HEMISFERIO BOREAL.

Lugares.	Latitudes.	Gravedades calculadas.	Gravedades observadas.	Diferencias positivas.	Diferencias negativas.
Mulgrave.....	59° 33′	1‘00423	1‘00436	0‘00013	
Nutka.....	49° 35′	1‘00330	1‘00289	.....	0‘00041
Monterey.....	36° 36′	1‘00203	1‘00153	.....	0‘00050
Cádiz.....	36° 32′	1‘00202	1‘00180	.....	0‘00022
Macao.....	23° 12′	1‘00088	1‘00032	.....	0‘00056
Acapulco.....	16° 50′	1‘00048	1‘00046	.....	0‘00002
Manila.....	14° 36′	1‘00036	1‘00059	0‘00023	
Umatag.....	13° 18′	1‘00030	1‘00004	.....	0‘00026
Zamboanga.....	06° 55′	1‘00008	1‘00014	0‘00006	
Equador.....	00° 00′	1‘00000	1‘00000		

HEMISFERIO AUSTRAL.

Puerto Egmont.	51° 21′	1‘00347	1‘00318	.....	0‘00029
Santa Elena.....	44° 30′	1‘00280	1‘00298	0‘00018	
Concepcion.....	36° 42′	1‘00203	1‘00183	.....	0‘00020
Montevideo.....	34° 55′	1‘00186	1‘00188	0‘00002	
Puerto Jakson....	33° 51′	1‘00176	1‘00178	0‘00002	
Isla Babao.....	18° 39′	1‘00058	1‘00062	0‘00004	
Lima.....	12° 05′	1‘00025	1‘00022	.....	0‘00003
Equador.....	00° 00′	1‘00000	1‘00000		

Gravedades segun el cálculo correspondiente á $\frac{1}{236}$ de aplanamiento, y segun las observaciones hechas con el péndulo invariable, tomando por unidad la que se experimenta en el equador.

HEMISFERIO BOREAL.

Lugares.	Latitudes.	Gravedades calculadas.	Gravedades observadas.	Diferencias positivas.	Diferencias negativas.
Mulgrave.....	59° 33′	1‘00423	1‘00436	0‘00013	
Nutka.....	49° 35′	1‘00330	1‘00289	.....	0‘00041
Monterey.....	36° 36′	1‘00203	1‘00153	.....	0‘00050
Cádiz.....	36° 32′	1‘00202	1‘00180	.....	0‘00022
Macao.....	23° 12′	1‘00088	1‘00032	.....	0‘00056
Acapulco.....	16° 50′	1‘00048	1‘00046	.....	0‘00002
Manila.....	14° 36′	1‘00036	1‘00059	0‘00023	
Umatag.....	13° 18′	1‘00030	1‘00004	.....	0‘00026
Zamboanga.....	06° 55′	1‘00008	1‘00014	0‘00006	
Equador.....	00° 00′	1‘00000	1‘00000		

HEMISFERIO AUSTRAL.

Puerto Egmont.	51° 21′	1‘00347	1‘00318	.....	0‘00029
Santa Elena.....	44° 30′	1‘00280	1‘00298	0‘00018	
Concepcion.....	36° 42′	1‘00203	1‘00183	.....	0‘00020
Montevideo.....	34° 55′	1‘00186	1‘00188	0‘00002	
Puerto Jakson....	33° 51′	1‘00176	1‘00178	0‘00002	
Isla Babao.....	18° 39′	1‘00058	1‘00062	0‘00004	
Lima.....	12° 05′	1‘00025	1‘00022	.....	0‘00003
Equador.....	00° 00′	1‘00000	1‘00000		

teniendo en cuenta además que la unidad elegida para expresar la gravedad fue la referida al ecuador. Ciscar comprobó, apoyándose en la teoría de Clairaut, que «las observaciones más propias para determinar el aplanamiento son las hechas en el ecuador y en latitudes muy crecidas; y a iguales errores en los datos, las determinaciones serán tanto más exactas cuanto mayores sean los cuadrados de los senos de las latitudes en que se hubiesen hecho las observaciones».

LAS EXPERIENCIAS DE LA GRAVEDAD POR MALASPINA Y BUSTAMANTE EN PUERTO EGMONT DE LAS ISLAS MALVINAS

El cuadrante y el péndulo se instaron en tiendas contiguas, colocando junto al péndulo dos cronómetros, muy por encima del suelo para protegerlos de la humedad y la escarcha.

De acuerdo con ello dedujo un aplastamiento próximo a 1/310, empleando las observaciones de Mulgrave y Nutka, por ser las más separadas del ecuador en el hemisferio septentrional. En cambio, usando las de Mulgrave, Nutka, Monterey y Cádiz resultó 1/285, «tal vez demasiado grande, sin embargo de ser mucho menor que el deducido por Newton, y por los primeros geómetras que se ocuparon en la determinación de un elemento tan interesante». Contrariamente, en el hemisferio meridional se obtuvieron valores prácticamente idénticos para el aplastamiento 1/323, basándose en las observaciones efectuadas en puerto Egmont y santa Elena, y 1/318, cuando las estaciones elegidas fueron las del puerto Egmont, santa Elena, Concepción, Montevideo y puerto Jakson, «y de esto resulta que es poquísima la incertidumbre que cabe en el aplanamiento del hemisferio austral». A Alejandro Malaspina le cupo el honor de haber dirigido el primer levantamiento gravimétrico de carácter global, obteniendo unos resultados con una incertidumbre sorprendente para su tiempo.

Piara y sepulcro de la familia del cacique An-Kau en el puerto de Mulgrave (en las costa noreste de Canadá)

Aunque pueda resultar chocante, Chile y Canada, sobre todo, son los únicos países del mundo en donde se respeta y recuerda permanentemente la figura del marino Alejandro Malaspina, a la vez que se valora positivamente la importancia de la gesta científica que lideró. Se da la circunstancia de que, durante la

LA CORDILLERA DE SAN ELÍAS, VISTA DESDE LA BAHÍA DE YAKUTAT

expedición, Dionisio Alcalá Galiano bautizó un paraje como Ensenada de Malaspina; posteriormente se le dio el nombre del marino egabrense a una restaurante llamado Atrevida). Son varios los topónimos canadienses en los que figura el nombre de Malaspina: una península, un estrecho y un parque; los dos primeros fueron bautizados así por el capitán George Henry Richards en 1859, influenciado posiblemente por la proximidad de la citada ensenada. No obstante, los más llamativos son la montaña y el glaciar de Malaspina, localizados dentro del parque nacional de Kloana, que forman parte del complejo montañoso de San Elías. Mucho más reciente fue la creación, en 1969, de la *Malaspina University-College*, hoy rebautizada como *Vancouver Island University*, si bien continua usando el primer

EL GLACIAR DE PIEDEMONTE MALASPINA, uno de los mayores del mundo.
Imagen Lansat (24.IX.2014)

emblema, diseñado en torno a la imagen de una corbeta de la misma planta que la Descubierta y la Atrevida, las dos naves de la Expedición Malaspina

Abdallah al-Mamun (786-833)

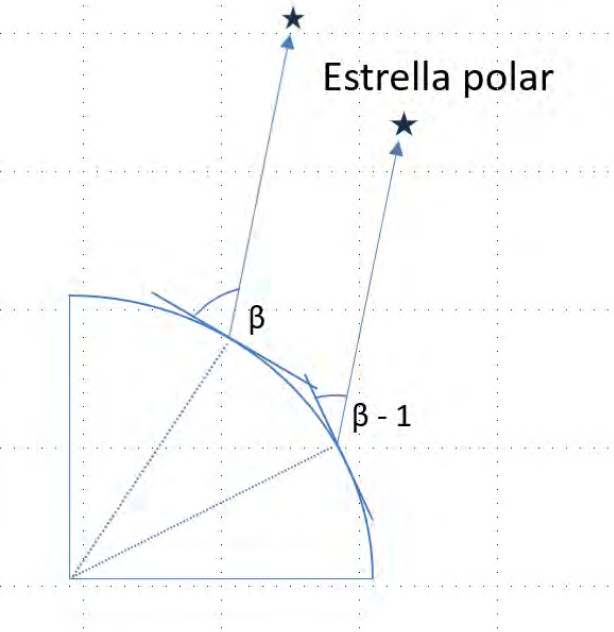
Califa abásida que gobernó en Bagdad, entre 813 y 833, fundó la mayor biblioteca, tras la de Alejandría, y ordenó medir la Tierra, gracias a su mecenazgo se fundó en el año 829 el primer observatorio permanente del mundo. Al- Mamun heredó el interés por las ciencias de su padre Harun al Rachid, el cual ordenó la construcción de la llamada Casa de la Sabiduría (Bayt al Hikma); luego convertida por su hijo en una especie de Academia abierta a sabios de todos los orígenes y credos. Por iniciativa suya se firmó un tratado con el emperador bizantino Miguel III , por el que se traducirían en Bagdad una colección de obras hebreas, siriacas, griegas e indias; las traducciones al árabe eran supervisadas semanalmente por un comité de expertos presidido por el propio califa. Semejante decisión del califa no fue en absoluto baladí, ya que gracias a ella llegaron a occidente muchas de las obras escritas en épocas pretéritas. Una de las traducciones más señaladas fue la del almagesto de Tolomeo, efectuada por al-Jwarizmi, el matemático y astrónomo, protegido por al-Mamun y miembro de la Casa de Sabiduría; que recordaba como el califa, Imán y Emir de los

creyentes, lo había animado a componer obras eminentemente prácticas, incluyendo «agrimensura de terrenos, la excavación de canales, la geometría y otras cosas por el estilo».

Estudiando los instrumentos matemáticos en la Casa de la Sabiduría

El mecenazgo de al-Mamun se centró especialmente en la astronomía y las matemáticas, siendo él quien encargó los primeros programas de observación continua de la historia de la astronomía, que se prolongaron durante años en Bagdad y Damasco. Entre sus objetivos estaban los eminentemente religiosos: determinación de la quibla (dirección hacia la Meca) y fijar las horas en que se debería orar, y otros que contribuyeron al progreso en la navegación, el calendario y las mediciones geográficas. Tal importancia concedió a la astronomía, que mando construir dos observatorios, uno en cada una de dichas ciudades, desde los que midió personalmente la oblicuidad de la eclíptica, fijándola en 23°35’. Fue aquella una época en la que se llegaron a perfeccionarse instrumentos de observación de origen griego, tales como el astrolabio, los relojes de sol o el cuadrante. Enterado al-Mamun de que en la antigüedad se había determinado el radio y el perímetro de la Tierra, quiso realizar en su reino una experiencia parecida; para decantarse por alguno de los distintos valores que le atribuyeron los geómetras clásicos, Eratóstenes incluido. Para ello recurrió a un grupo de sabios entre los que se encontraban los hermanos Banu Musa, que serían a la postre los artífices de la operación. Tales hermanos eran hijos de un conocido astrónomo, que fueron acogidos por el califa, inculcándoles este último el interés por las ciencias; hasta tal punto, que acabarían convirtiéndose también en mecenas de las mismas. Los

hermanos Banu Musa fueron tres, a saber : Jafar Muhammad ibn Musa ibn Shakir, Ahmad ibn Musa ibn Shakir y al-Hasan ibn Musa ibn Shaki. Con tal fin se desplazaron al desierto de al-Sinjar, al Norte de Iraq, en donde fueron midiendo la altura de la estrella polar, sobre el horizonte, a lo largo del meridiano, hasta que varió un grado. La medición se hizo primeramente en dirección Norte, hasta alcanzar el valor buscado, y luego se repitió buscando el Sur por el mismo itinerario (previamente señalizado); al mismo tiempo fueron midiendo la distancia recorrida con cuerdas. Finalizada el trabajo, repitieron todo el proceso en al-Kufa, al Sur de Irak, y promediaron los valores obtenidos, asignando al grado de meridiano un desarrollo de 66 2/3 millas; de modo que resultó para el perímetro de la circunferencia terrestre un total de 24000. Remitimos a los interesados en otras medidas de grado realizadas por los geodestas musulmanes al trabajo del orientalista italiano Carlos Alfonso Nallino *Il valore metrico del grado di meridiano secondo i geografi arabi* (Fratela Bocca Editori. 1893).



Asimismo, realizaron observaciones astronómicas en Bagdad, refiriendo al-Biruni que

habían fijado la duración del año solar en 365 días con un añadido menor de seis horas. Los tres hermanos hallaron además la longitud de la estrella Regulus (*α Leonis*, la más brillante de la constelación) desde su domicilio situado en un puente de Bagdad. Es sabido que fueron igualmente responsables de la publicación de un libro sobre la medida de figuras planas y esféricas (*Kitāb maʿrifah masāḥat al-ashkāl al-basīṭah wa-al-kuriyyah*), una obra que sería traducida al latín en el siglo XII por Gerardo de Cremona: *Liber trium fratrum de geometria and Verba filiorum Moysi filii Sekir*, la cual fue muy consultada en los siglos XIII y XIV.

El califa al-mamun tuvo inquietudes cartográficas, como revela su encargo de un mapamundi, que ilustra una enciclopedia conservada en la biblioteca del museo Topkapi Sarai de Estambul. La representación recoge una extensión considerable de los tres continentes, en los que se reconocen las costas y mares mas frecuentados por los marinos árabes. El reinado de este califa fue el más brillante de la historia del Islam, correspondiéndole a él todo el mérito de completar la obra iniciada su abuelo Mansur; gracias a él se recopilaron muchas de las obras de la biblioteca de Alejandría.

Una página del libro sobre la Medida de figuras planas y esféricas.

Columbia University, New York

Dinar de oro de al-Mamun, acuñado en Egipto (830/1)

El pueblo rinde pleitesía al nuevo califa al- Mamun, del libro Tarikh-i Alfi (1593)

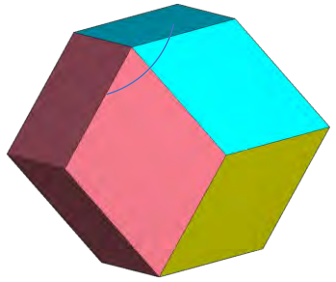
El califa al- Mamun (d) manda un mensaje al emperador Teofilo

Giacomo Filippo Maraldi (1655-1729)

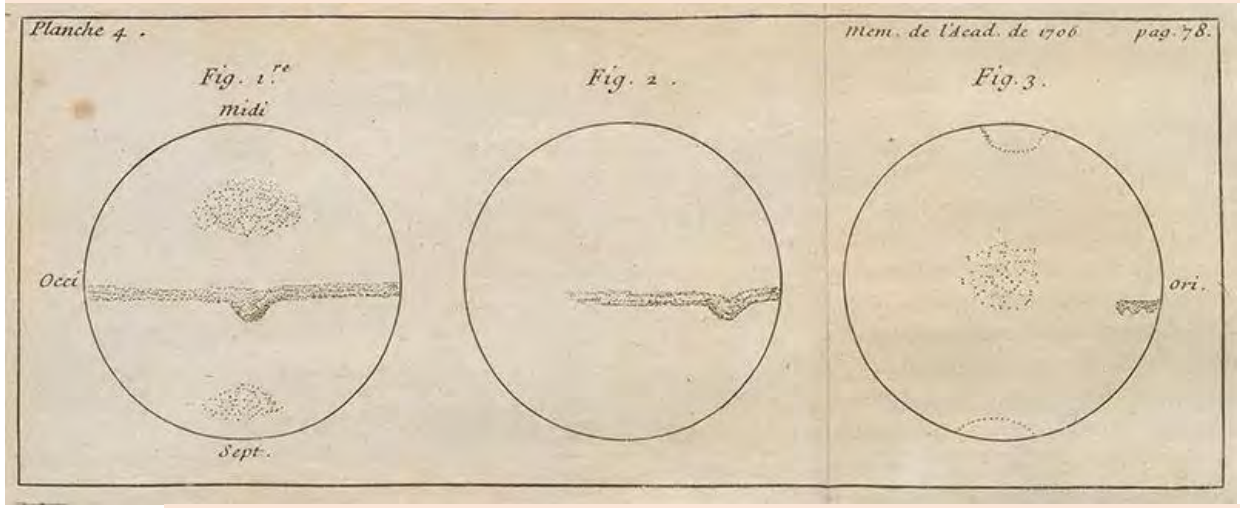
Astrónomo italiano afincado en Francia, tras ser invitado por su tío Cassini, en 1687, para colaborar con él en el Observatorio de Paris; ocasionalmente es referido como Maraldi I, para distinguirlo de su sobrino Giovanni Domenico, también conocido como Maraldi II. Cassini I hizo que G. F. Maraldi, a veces referido como Jacques Philippe Maraldi, fuese elegido alumno astrónomo de la Academia de Ciencias en el año 1694; alcanzando el grado de alumno asociado en enero de 1699, uniendo en marzo el de geómetra asociado. En su actividad astronómica destacan sus cuidadosas observaciones de Marte, aunque en 1695 descubriese la estrella variable *R. Hydrae*, determinando su periodo de rotación (≈ 24h 40m); al comprobar que la misma región vuelve a ser visible tras 36 rotaciones del planeta (o 37 rotaciones de la Tierra). Asimismo, describió con detalle algunos aspectos de su superficie, sugiriendo en 1719 que las zonas blanquecinas de sus polos podrían ser casquetes de hielo; llegando a comprobar que cambiaban de tamaño, prueba evidente de que existían estaciones. Igual de destable fue su trabajo *Considerations sur la Theorie des Planetes*, publicada el 24 de noviembre de 1704. Suyas fueron también una serie de observaciones de los satélites de Júpiter, de varios cometas (vistos en 1699, 1702, 1706, 1707, 1723 y 1729), calculando algunas de sus órbitas. Un episodio relevante del Observatorio, fue la visita que giró el rey Luis XV, el 24 de julio de 1721, para observar un eclipse parcial de Sol, aunque Maraldi y Jacques Cassini aprovechasen la visita para comentarle un mapa de la

Luna; la explicación resultó provechosa, pues cinco años después, Maraldi fue nombrado Primer Geógrafo del Rey. Participó activamente en la prolongación del meridiano de Francia, extendiendo la triangulación iniciada por J. Picard hasta alcanzar los Pirineos. En las primeras campañas colaboró con su tío Cassini I y su hijo Cassini II, completando el proyecto en el año 1718 junto a su primo y al astrónomo G. de la Hire. Dos años después publicó Cassini II los resultados de las observaciones y cálculos en el libro *De la Grandeur et de la Figure de la Terre*, en el que se apoyaría para defender, como había hecho su padre, la idea de que la Tierra estaba achatada por el ecuador, contrariamente a lo que había afirmado Newton en sus celebrados Principia. Maraldi I también contribuyó al progreso de la geometría, cuando en el año 1712 afirmó que el ángulo interno de un dodecaedro rómbico (o rombododecaedro) valía 109o 28´, un valor que fue corroborado por Colin Mac Laurin en 1739; de ahí que hoy día sea conocido como ángulo de Maraldi.

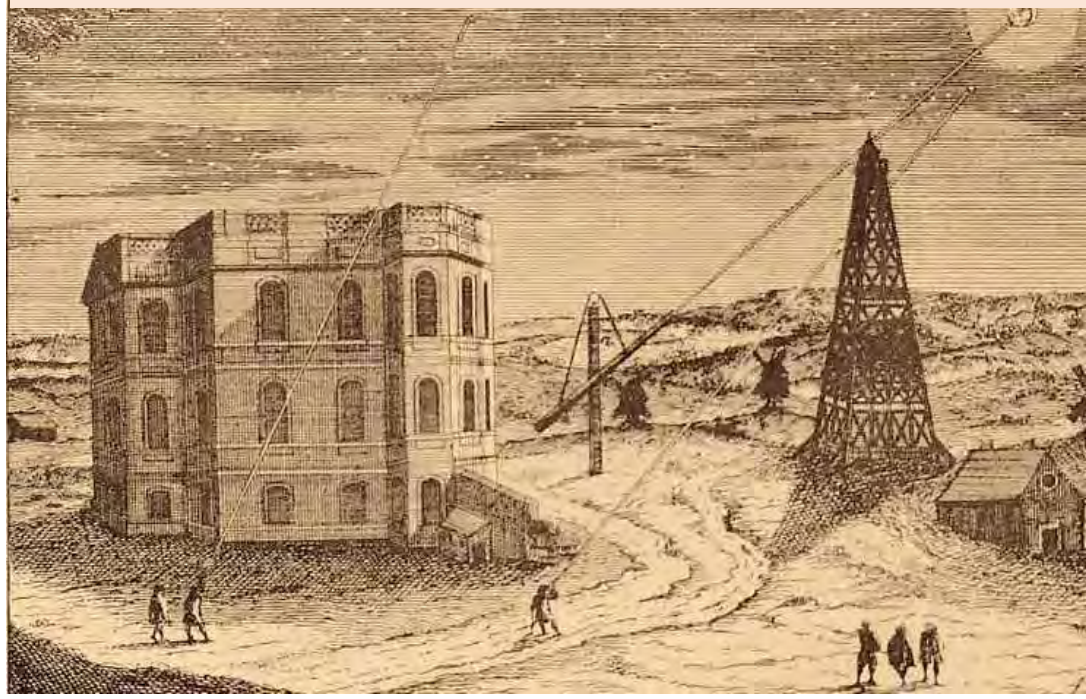
El dodecaedro rómbico es un poliedro que tiene 12 caras iguales con forma de rombo, 24 aristas y 14 vértices. Es uno de los sólidos de Catalan; tiene la característica de llenar completamente el espacio cuando se reúnen varios de ellos al igual que un hexágono llena el plano



G.F. Maraldi. OBSERVATIONS SUR LES TACHES DU MARS.
Mémoires de l'Académie Royale des Sciences(1720)



Observatorio de París en 1705. Torre de Marly



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. XXI

EIDGEN. POLYTECHN. SCHULE BIBLIOTHEK

CARTE DE FRANCE, ou sont marquez les triangles qui ont servu a determiner la merdiene de Paris.

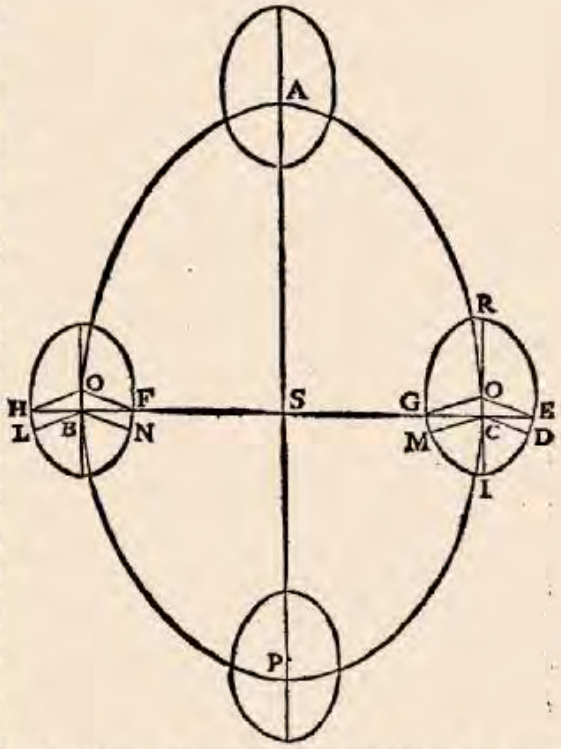
Giovanni Domenico Maraldi (1709-1788)

Astrónomo y geodesta italiano que se trasladó a Francia para integrarse en el Observatorio de París, como había hecho su tío Maraldi I. Estudió en el colegio de los jesuitas de San Remo, antes de recibir su formación matemática en la Universidad de Pisa; probablemente fue entonces cuando se despertó su interés por las ciencias exactas. Su talento fue reconocido por su tío Giacomo Filippo, el cual reclamó su presencia en París durante la primavera de 1727. Su aprendizaje astronómico continuó, tras fallecer su tío en 1729, de la mano de Cassini II; con tanto éxito que en 1732 ya presentó en la Academia de Ciencias de París dos trabajos sobre el movimiento de los satélites de Júpiter, que a la larga sería su principal línea de investigación: *Des deux inégalités du quatrième satellite de Jupiter* y *Des noeuds et de l'inclinaison de l'orbe du troisième satellite à l'égard de l'orbe de Jupiter*, publicadas en *Histoire de l'Académie royale des sciences. Année MD*CCXXXII; de ese mismo año datan sus *Observations météoroliques faites pendant 1732*. En lo referente a Júpiter, continuó la secuencia de observaciones que había efectuado su tío, estudiando sus satélites y la práctica totalidad de sus eclipses durante cincuenta años (solo

DES DEUX INEGALITES
DU IV.me SATELLITE DE JUPITER.

Par M. MARALDI.

ON trouve dans les ouvrages de l'Académie les Tables des Satellites de Jupiter. Celles du 1er Satellite y ſont conſtruites ſuivant deux différentes méthodes. On calcule par la ſeconde les Eclipſes de ce Satellite avec plus de facilité & de briéveté que par la premiére. M. Caſſini, qui eſt l'auteur de ces Tables, avouë qu'il n'a point appliqué la ſeconde 8 Mars 1732.



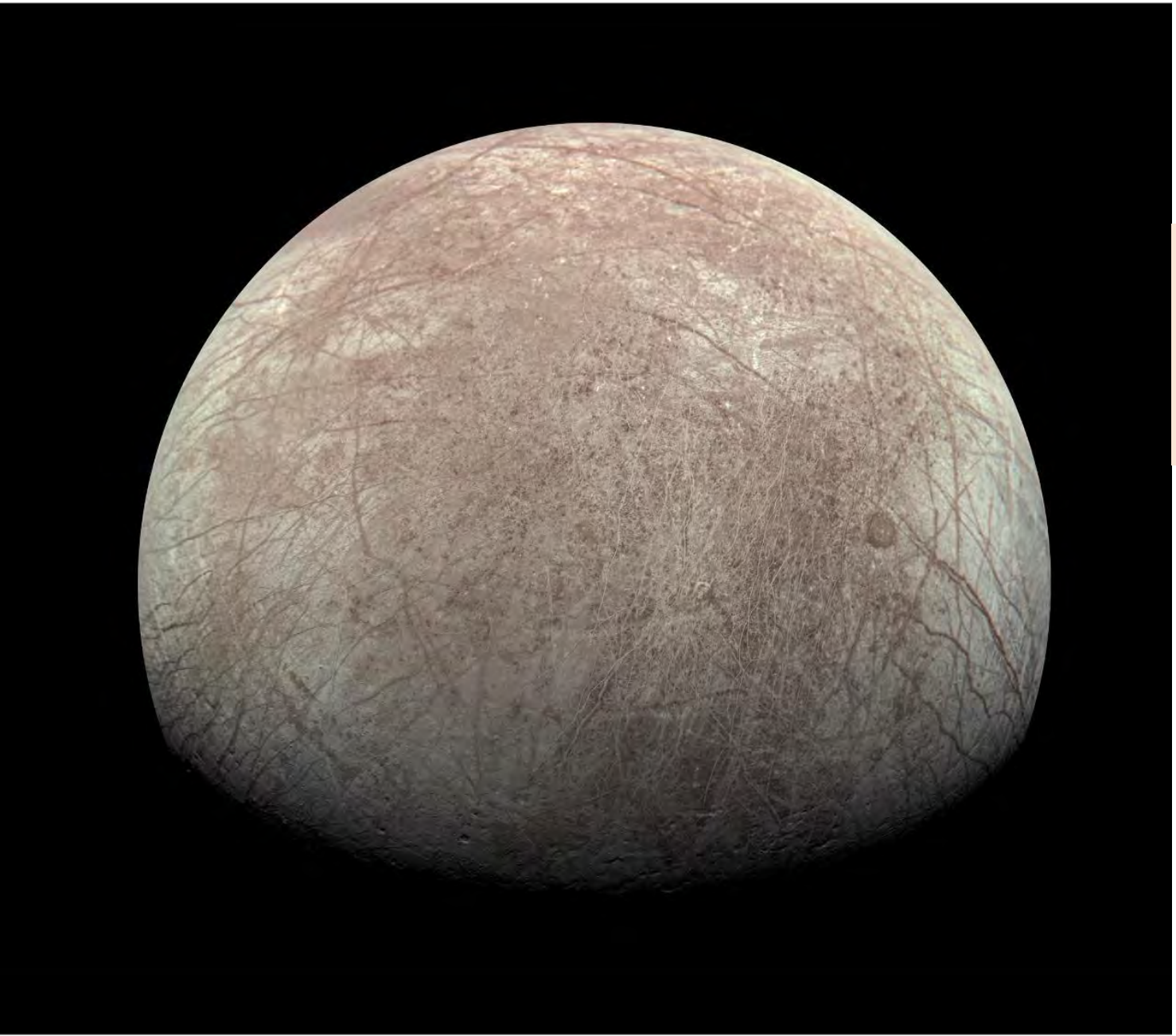
Suppoſons que l'orbe du 4me Satellite eſt excentrique de la maniére qu'il eſt repréſenté dans la Figure, où *S* eſt le Soleil, *A B P C* l'orbe de Jupiter, dont le point *A* eſt l'aphélie, & le point *P* eſt le périhélie, *C* & *B* les moyennes diſtances. Soit placé dans ces quatre points l'orbe du 4me Satellite de figure elliptique, de maniére que le point de ſon orbite, plus éloigné du centre de Jupiter, réponde à l'aphélie de cette

COMPARAISON DES OBSERVATIONS
DU QUATRIEME SATELLITE DE JUPITER,

Avec le calcul fait par les Tables de feu M. Caſſini, dont la Table de la demi-demeure du Satellite dans l'ombre a été corrigée par feu M. Maraldi.

Temps vrai des Obſervations.			Temps vrai calculé.		Différence ou inégalité ſouſtractive.		Lieu de Jupiter vû du Soleil.		Diſtance de Jupiter au nœud des Satellites.	
		H. M. S.	H. M. S.		H. M. S.		S. D. M.			
1671	31 Mars	8 29 43	9 26 42	Im.	0 56 59		4 17 21			
1676	30 Septembre	8 8 28	9 6 14	Im.	0 57 46		9 24 32			
1677	25 Juin	15 27 30	16 15 38	Em.	0 48 8		10 7 53			
	17 Septembre	10 28 12	11 18 17	Em.	0 50 5		10 25 22			
	23 Novembre	7 7 20	7 28 31	Im.	0 21 11		11 1 24			
1678	10 Novembre	9 1 57	9 32 37	Em	0 30 40		0 3 23			
1682	4 Octobre	17 53 36	18 40 12	Em.	0 46 36		4 7 24			
1684	9 Avril	9 18 54	11 7 54	Em.	1 49 0		5 20 16			
1687	12 Juillet	11 6 25					8 21 49		52°	41′
1688	17 Août	11 36 40	12 57 2	Im.	1 20 22		9 25 16			
	3 Septembre	10 25 58	11 45 29	Em.	1 19 31		9 26 44			
	9 Novembre	6 46 5	7 51 23	Im.	1 5 17		10 2 30			
1689	27 Octobre	9 33 15	10 29 6	Em.	0 55 51		11 3 39			
1693	29 Janvier	5 55 35					2 21 2		53	28
1694	7 Mars	9 14 30	9 46 33	Em.	0 32 3		3 24 40			
	26 Avril	11 7 40	11 31 13	Im.	0 23 33		3 28 43			
1696	25 Février	13 23 42	14 47 13	Em.	1 23 31		5 20 56			
	13 Mars	7 18 40	8 42 59	Em.	1 24 19		5 22 13			
1699	21 Août	8 31 56	10 25 26	Im.	1 53 30		8 29 22			
1700	5 Juillet	15 37 45	17 2 0	Im.	1 24 15		9 25 58			
1701	9 Juillet	12 31 10	13 33 52	Em.	1 2 42		10 28 24			
	8 Decembre	4 40 3	5 20 18	Im.	0 40 15		11 12 4			
1702	15 Août	15 50 0	16 13 49		0 23 49		0 4 53			
1705	22 Février	8 54 10	Im.							
		10 57 24	Em.							
	Conjonction	9 55 47	9 50 7	♂	0 5 40	ad.	2 27 30		47	0
	30 Avril	9 8 14	9 11 34	Im.	0 3 20		3 3 9			
	17 Novembre	13 36 30	13 53 0	Em.	0 16 30		3 19 53			
1706	31 Mars	9 8 1	9 27 45	Im.	0 19 44		4 0 46			
1707	7 Mai	8 57 22	9 43 56	Im.	0 46 34		5 2 24			
1708	6 Avril	8 31 20	Im.							
		10 43 15	Em.							
	Conjonction	9 37 8	11 6 51	♂	1 29 43		5 27 58		43	28
	12 Juin	10 21 44	11 45 32	Em.	1 23 48		6 2 58			

para el satélite Europa, examinó 1000 eclipses); convirtiéndose así en un referente imprescindible.



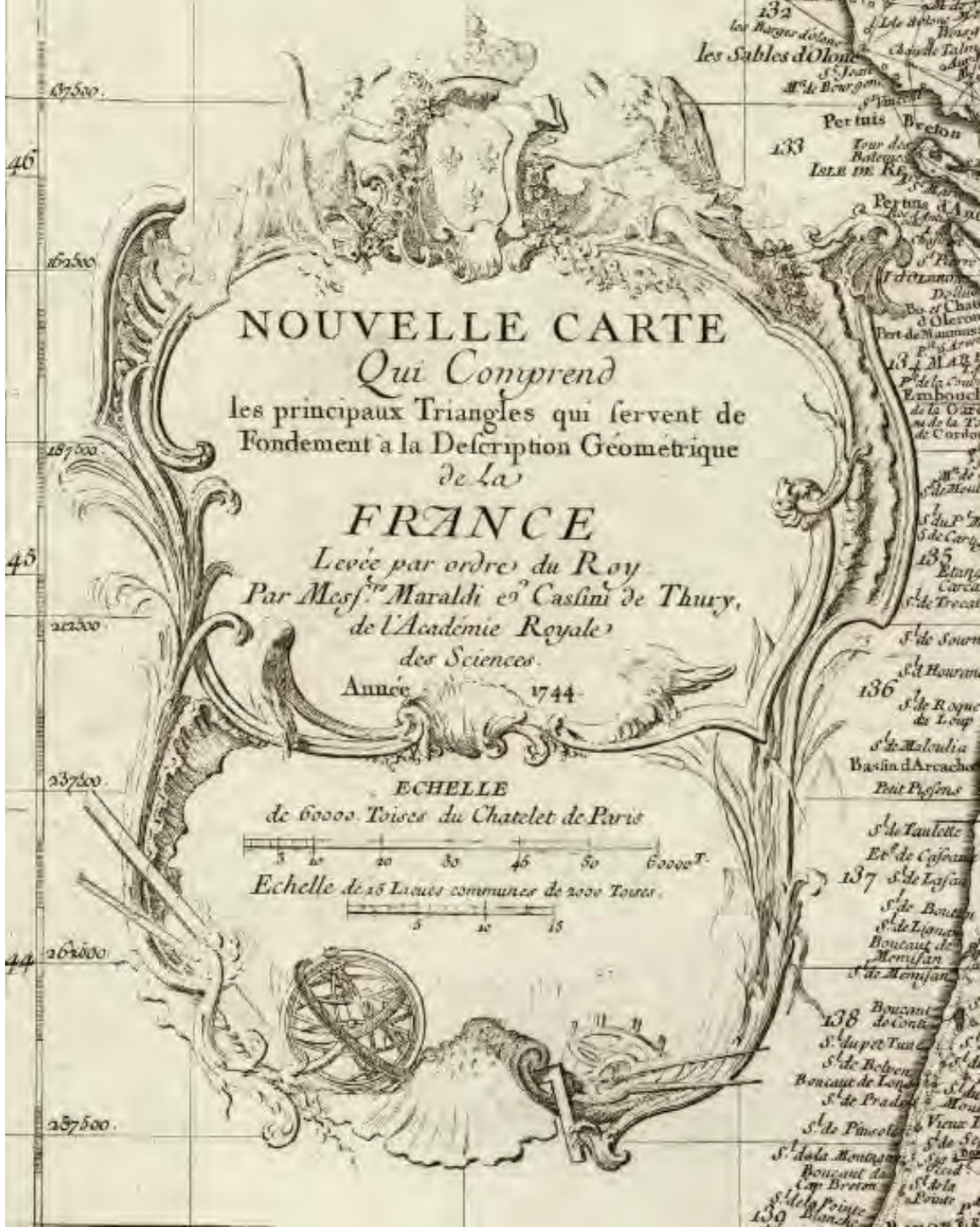
DES NŒUDS ET DE L'INCLINAISON
de l'Orbe du troiſiéme Satellite à l'égard de l'Orbe
de Jupiter.

Par M. MARALDI.

Vista de Europa, el satélite helado de Júpiter, captada por la cámara Juno de la NASA el 29 de septiembre del año 2022, con una resolución de 1 a 4 kilómetros por pixel. Al igual que ocurre con la luna terrestre, un lado de Europa siempre está orientado hacía el planeta. Es el cuarto en tamaño de sus 95 satélites y el sexto más próximo a Júpiter. Se cree que trata de uno de los lugares en donde podría florecer alguna forma de vida extraterrestre, pues podría contener elementos químicos clave para ello. La NASA lanzó el 14 de octubre de 2024 el Europa Clipper, para explorar a ese respecto zonas bajo la superficie satelital.

En el año 1733 en emprendió en Francia la medida de un arco de paralelo, al pensar que se trataba de una tarea que contribuiría a mejorar la calidad del mapa general del país; la obra sería dirigida por Jacques Cassini, contando con la colaboración de su hijo y de Maraldi. Tras una breve interrupción en la que se dedicó al levantamiento topográfico de la costa atlántica (1735), se incorporó después a una nueva medida del meridiano de París (1740). Cassini II (Jacques) resumiría las mediciones geodésicas

anteriores en la obra *La meridienne de l'observatoire royal de Paris: vérifiée dans toute l'étendue du royaume par de nouvelles observations. Pour en déduire la vraye 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* (1744). Lamentablemente no se menciona en el mismo la participación de Maraldi en tales trabajos, aunque si figurase en los numerosos mapas que se fueron publicando durante la ejecución del proyecto, concretamente, en uno de ese mismo año, 1744, figuraba una preciosa cartela con el título siguiente: *Nouvelle carte qui comprend les principaux triangles qui servent de fondement a la description geometrique de la France. Levee par ordre du Roy. Par Messrs. Maraldi et Cassini de Thury, de l'Academie Royale des Sciences. Annee 1744*. Dicho mapa fue dibujado a escala 1/2170000, ocupando un cuadro de 58 cm de alto por 91 cm de ancho. Como información marginal se incluyeron dos listados con las principales ciudades de Francia, además de otros lugares destacables, indicando su latitud, longitud y distancia al Observatorio de París, expresada en toesas y leguas. El mapa fue esencialmente planimétrico, representándose caminos y la red fluvial, amén de todos los



3
140000
4
180
5000
6220000
7
260000
112500.
87500.
62500.
37500.
50
174
109
175
AVERTISSEMENT
Celte Carte représente la France traversée par le Méridien de l'Observatoire Royal de Paris et par des Lignes perpendiculaires et paralleles à ce Meridien tracés à la distance de 60000 Toises les unes des autres.
Les Lignes marquées par un trait forment les côtés des Triang.s princip.x et repreſen.t les raions viſuels tirés de tous les Lieux d'obſerv.n.
Les Lignes ponctuées ſont celles qui ſe terminent à des Lieux qui ne ſont point compris dans la ſuite des Triangles.
Les Baſes qui ont ſervis de fondem.t aux Operations geometriq.s ſont marquées par un trait plus fort, elles ſont au nombre de 17. et ont été meſurées dans les endroits les plus propres pour reconoître les erreurs qui avoient pû ſe gliſſer dans le gr.d nomb.re des Obſerv.ns
La Longitude marquée dans les Tables eſt priſe du Méridien de l'Obſervatoire et a été déduite des Opérations Trigonometriques en ſuppoſant la terre Spherique et la grandeur du Degré moyen en France de 57060 Toiſes.
La Latitude a été conclue des meſures géométriques en ſuppoſant la Hauteur du Pole de l'Obſervatoire de 48.d 50.m 10.s Telle qu'elle réſulte des Nouvelles Obſervations rapportées dans le Livre de la Méridienne vérifiée
La Diſtance des diff.tes Lieux à l'Obſerv.re eſt leur diſtance en ligne droite, ſans avoir égard aux Sinuoſités du Chemin
Les Diſtances en Toiſes ont étés réduites en Lieues des environs de Paris de 2000 Toiſes, dont on a ſuppoſé la grandeur uniforme pour tous les Pays.
Dieſt
Halem
S. Tron
Tongres
Huy
S.t Hubert
SEDAN
Arlons
S.t Walfroid
Montmedy
LONGWY
Ocourt
Longuion
Arbre de Mar villers
Arbre sur le Puid
TRIVES
LUXEMBOURG
S. de Valmenange
Mosselle
Sierck
THIONVILLE
LANDAU
SPIRE
PHILISBOURG

triángulos de la red geodésica que cubría el país. También es reseñable la advertencia con que se acompaña, puesto que se explica en ella como se fueron conformando las cadenas triangulares a lo largo de meridianos y paralelos, trazadas a 60000 toesas los unos de los otros.

Detalle de la triangulación al Este de París

Maraldi II simultaneó sus trabajos geodésicos y cartográficos con estudios tales como los que hizo sobre la velocidad de la luz (1740), es los que tomó partido por la tesis defendida por O. Rómer, admitiendo por tanto la finitud de la velocidad de la luz y alejándose del pensamiento de los Cassini y de su tío Maraldi I. Sin embargo, lo que le ocupó permanentemente, entre 1735 y 1758, fue la confección de una especie de anuario oficial: *Connoissance des temps pour l'année … au méridien de Paris. Publiée par l'ordre de l'Académie Royale des Sciences et calculée par M. Maraldi, de la même Academie*; siendo continuada después por J. F. Lalande. G.D. Maraldi fue realmente un autor extremadamente prolífico, baste decir que entre 1733 y 1769 presentó más de

cincuenta trabajos a la Academia de Ciencias, siendo publicados en las correspondientes memorias: trece sobre los satélites de Júpiter, dieciséis sobre los eclipses de Sol y de Luna, cinco sobre los tránsitos de Mercurio y Venus por el Sol, uno sobre el meridiano de París, siete sobre los cometas, tres sobre las ocultaciones de estrellas, y nueve sobre meteorología.

Los trabajos publicados por Maraldi merecieron el elogio de sus contemporáneos. Según Lacaille, los que dedicó los cometas de 1729 y 1743 incluyeron un cálculo orbital nunca visto en Francia. Por otra parte, en el que dedicó al cometa de 1746 (*Observations de la comète qui a paru au mois d'août 1746*), dio cuenta de la observación de dos estrellas nebulosas, creyendo que deberían ser dos cúmulos estelares, aunque los pocos aumentos de los telescopios de su tiempo

CONNOISSANCE
DES
TEMPS
POUR L'ANNE'E 1737.
AU MERIDIEN DE PARIS,
PUBLIE'E
Par l'ordre de l'Academie Royale des Sciences,
ET CALCULE'E
Par M. MARALDI, de la même Academie.

A PARIS,
DE L'IMPRIMERIE ROYALE.
M. DCCXXXVII.

OBSERVATIONS

De la Comète qui a paru au mois d'Août 1746.

Par M. MARALDI.

LA Comète que l'on obſerve depuis trois mois, a été aperçue pour la première fois le 13 Août de cette année, à Lauſane, par M. de Chezeaux, qui en donna avis à M. Caſſini, par une lettre du 20 du même mois. 12 Novemb. 1746.

Le goût que ce jeune Savant a pour l'Aſtronomie, lui fait

MÉMOIRE

SUR LES ÉLÉMENS DE LA VARIATION DE L'INCLINAISON ET DE LA LIBRATION DES NŒUDS DU SECOND SATELLITE DE JUPITER.

Par M. MARALDI.

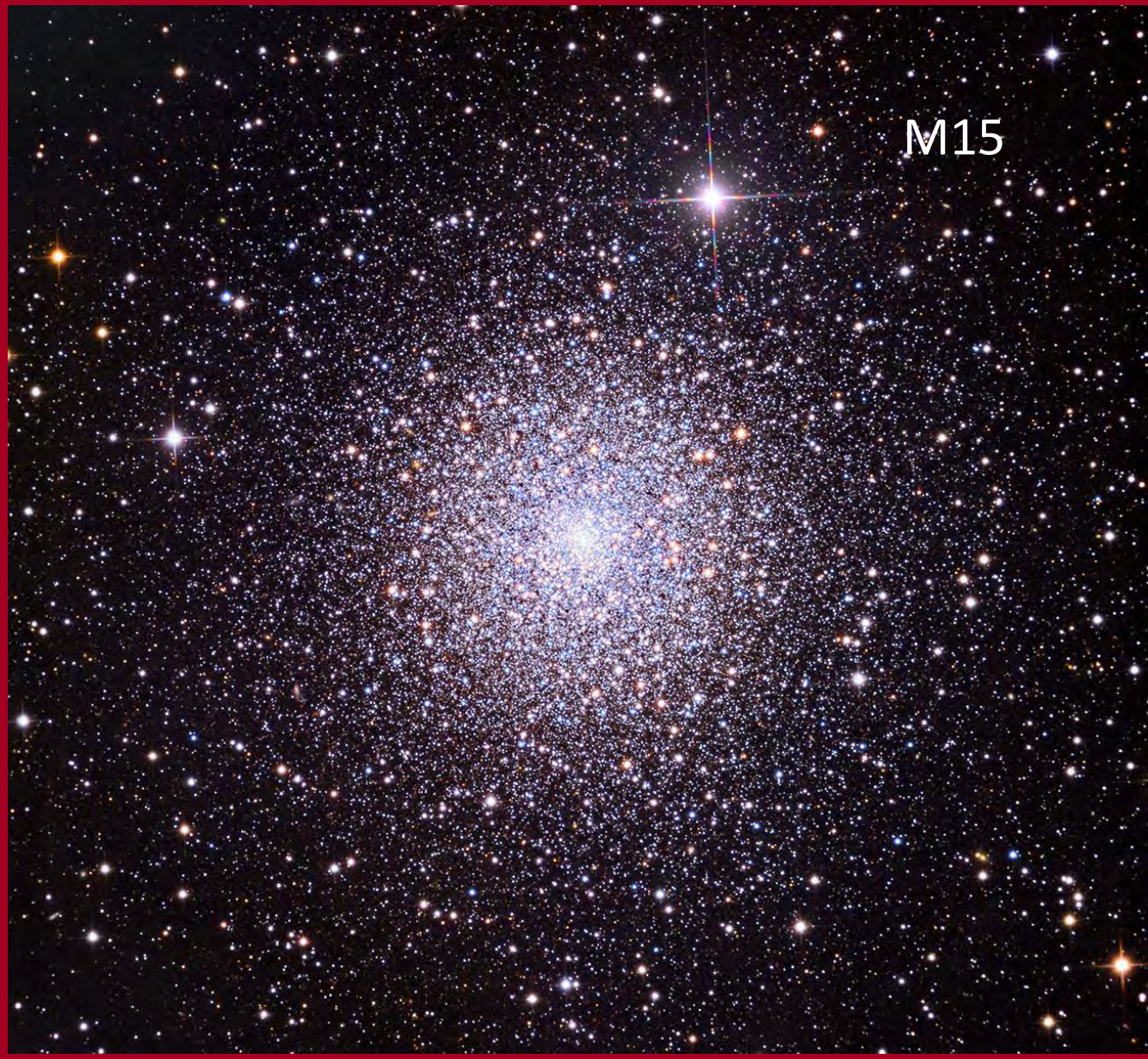
LORSQUE j'ai communiqué à l'Académie les élémens de la variation de l'inclinaiſon & de la libration des nœuds du

impidieran resolver sus componentes; hoy día se identifican como M2 y M15. No obstante su obra maestra, a juicio de Delambre, fue su memoria sobre los nodos del segundo satélite de Júpiter (*Mémoire sur les éléments de la variation de l'inclinaison et de la libration des noeuds du second satellite de Jupiter*), al haber utilizado para su preparación todas las observaciones históricas, sobre los movimientos de Europa, efectuadas hasta entonces.

Cuando falleció Lacaille en 1762, Maraldi lo homenajeó con la reedición del atlas celeste *Coelum Australe Stelliferum: Seu Observationes Ad Construendum Stellarum Australium Catalogum Institutae* (1763). Pocos años después maduró la idea de regresar a Italia, y así lo hizo, con la ayuda de su sobrino Giacomo Filippo en 1771; llevando con él instrumentos, con los que seguir observando el cielo, y libros que serían el germen de la luego llamada Biblioteca Maraldiana; cuyos fondos se fueron dispersando con la llegada del siglo XX. En los años siguientes continuó observando los satélites de

Se encuentra en la constelación de Acuario, a unos 55000 años luz, consta de unas 150000 estrellas y tiene un diámetro aproximado de 175 años luz.

Se encuentra en la constelación Pegaso, a unos 35700 años luz, consta de unas 100000 estrellas y tiene un diámetro aproximado de 175 años luz



Júpiter y enviando trabajos a la Academia de Ciencias. Su vacante en el Observatorio de París fue ocupada por P. Mechain, astrónomo y geodesta como su predecesor.

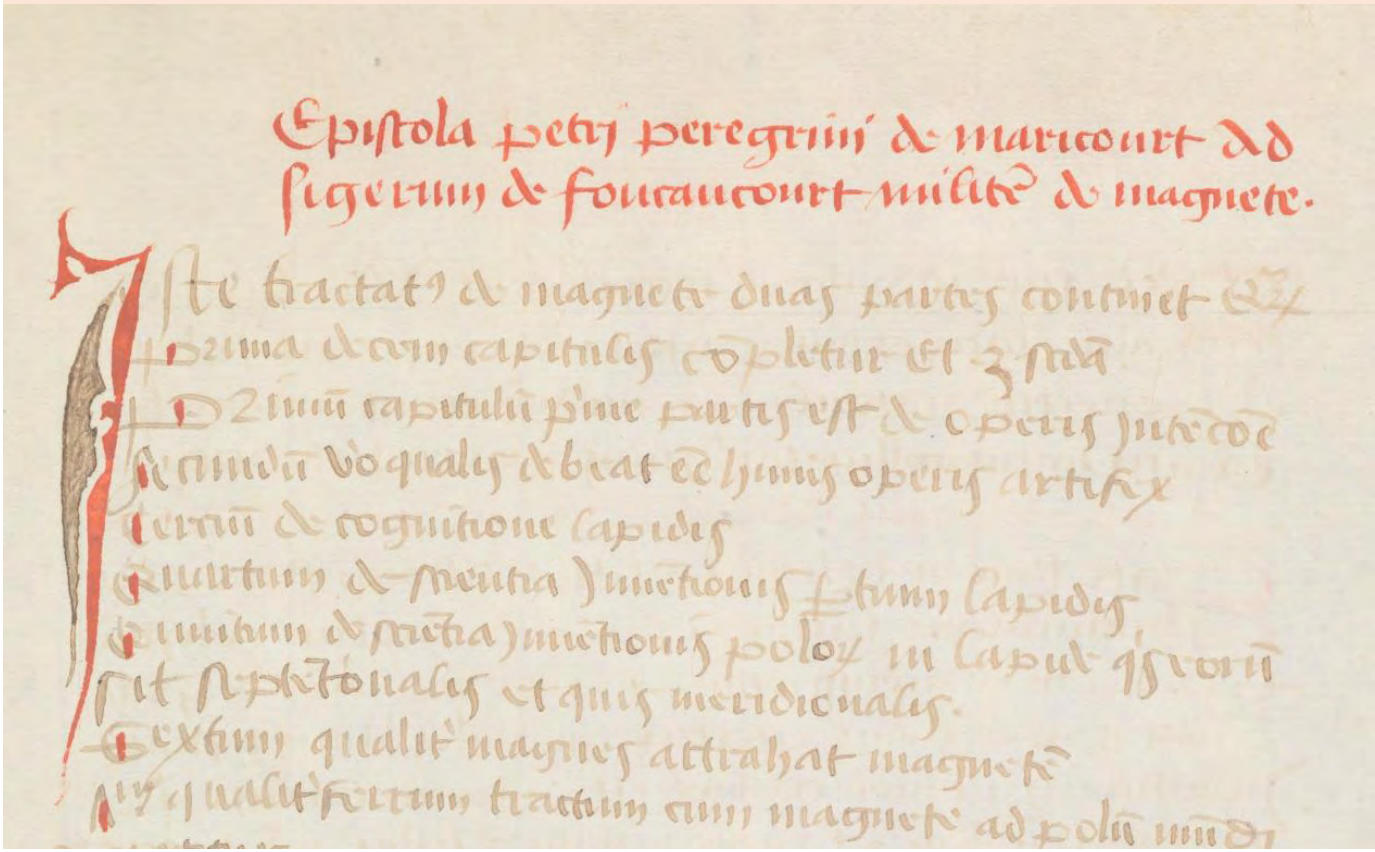
Perinaldo, localidad de la provincia italiana de Imperia, fue la cuna de astrónomos tan distinguidos como Cassini I, Maraldi I y Maraldi II. En su basílica: *Nostra Signora della Visitazione*, sensiblemente orientada según la dirección Norte Sur, existe una bella meridiana, cuyo proyecto se le suele atribuir a los dos primeros astrónomos de la saga.

Pierre Maricourt (fl. Siglo XIII)

Ingeniero militar francés, también conocido como Petrus Peregrinus, que adquirió notoriedad por haber escrito *Epistola de Magnete*, un pequeño tratado en el que se describió por vez primera la brújula con aguja imantada y limbo graduado. Apenas se sabe nada de los primeros años de P. Maricourt, salvo que probablemente estudió en la Universidad de París y que lo hizo brillantemente; en cuanto a su sobrenombre, se explica por haber visitado Tierra Santa como participante en alguna de las cruzadas. No obstante, si hay dos referencias laudatorias en la *Opus Tertium* de Roger Bacon, ya que lo consideró matemático perfecto y amante de los experimentos científicos. Cuando escribió la carta, el 8 de agosto de 1269, formaba parte del ejército francés que asediaba Lucera (*Lucera Saracenorum*) para librarla de los musulmanes que no reconocían la autoridad de Carlos Anjou. A P. Peregrinus se le había asignado la tarea de fortificar el campamento y la colocación de minas, así como la construcción de artefactos capaces de lanzar piedras y bolas de fuego a los asediados. Al parecer, fue en el transcurso de tal operación

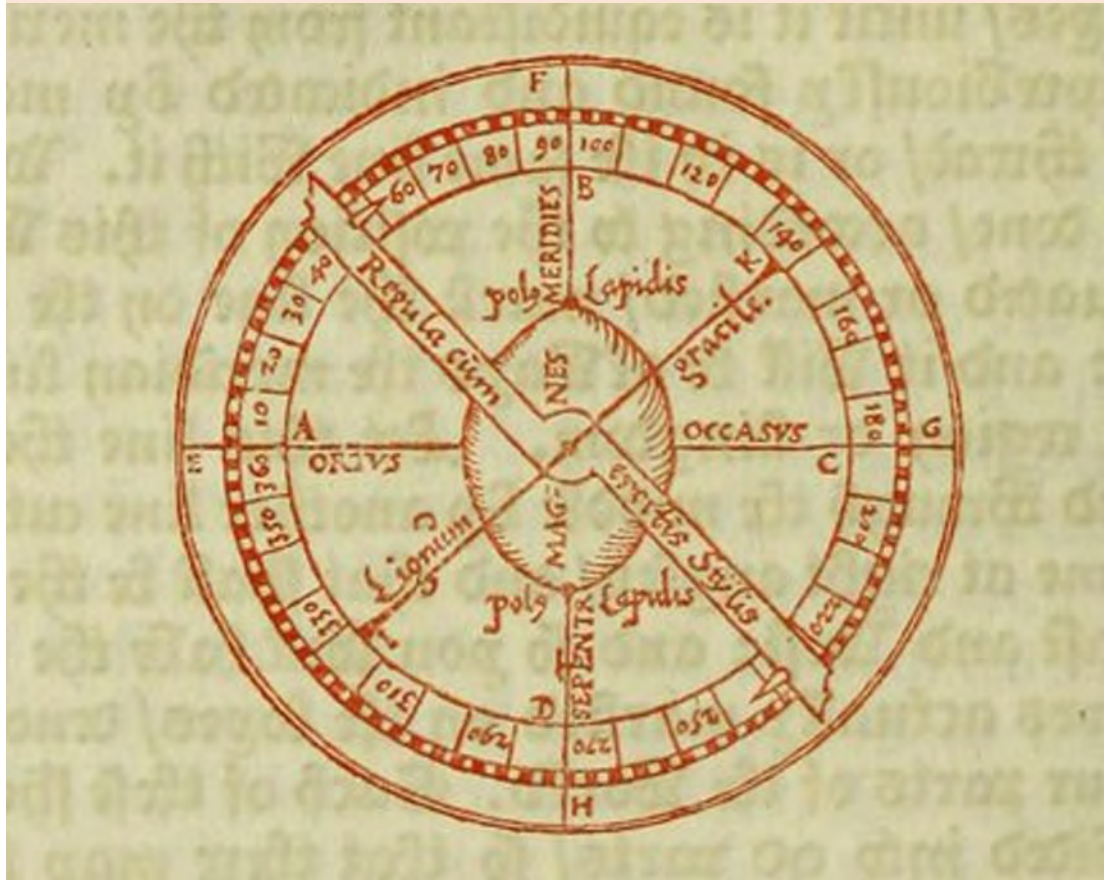
LVCERA
M. R. e Rev. Sig.r
Pad. Oss.re Monsig.
D. Domenico Morelli
Vescouo di
Lucera &c.
A. Vescouato. B. Conuentuali. C. Celestini. D. Domenicani. E. Osp.li de' Bonfratelli. F. Agostiniani. G. Palaz.
del Vescouo. H. Porta di Troia. I. For di S. Antonio. K. Frac.i Scalzi. L. Capuccini. M. Castello diruto. N. Carmel.

EPISTOLA DE MAGNETE. Bibliothèque de Genève, Ms. lat. 80

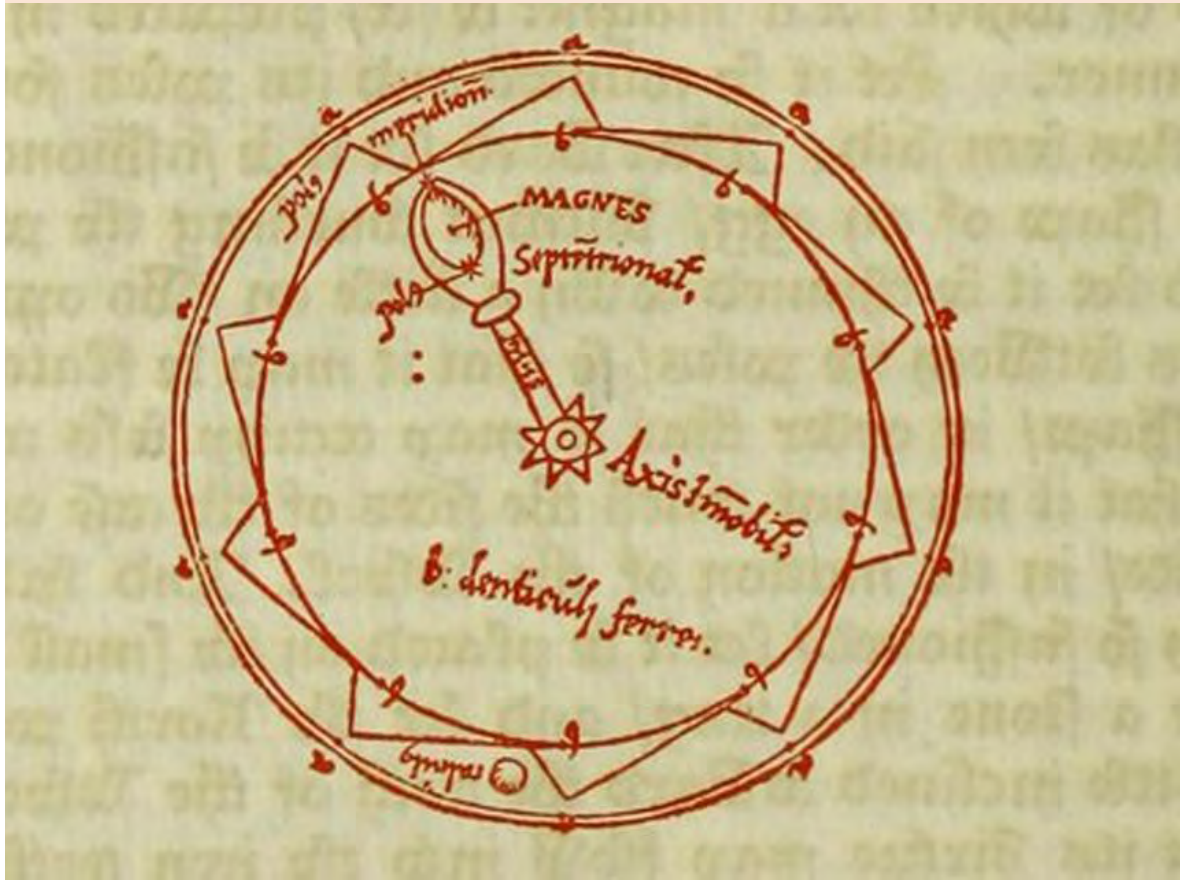


cuando se le ocurrió la idea de dotar a la esfera de Arquímedes de un movimiento perpetuo, basado en el magnetismo. Animado por semejante posibilidad, quiso explicárselo a uno de sus mejores amigos (*amicus intimus*): Sigerum de Foucaucourt; siendo Foucaucourt una localidad próxima a Maricourt, en la región de Picardia, al Norte Francia. La información se la proporcionó en forma de carta, cuyo título fue el siguiente: *Epistola Petri Peregrini de Maricourt ad Sygerum de Foucaucourt, militem, de magnete* (Carta de Pedro el Peregrino de Maricourt al soldado Siger de Foucaucourt: sobre el imán), luego referida simplemente como *Epistola de Magnete*. Tan importante documento tuvo escasa influencia durante varios siglos, hasta que William Gilbert publicó su libro *De Magnete* en el año 1600. La exposición del trabajo se dividió en dos partes bien distintas: una teórica con diez apartados y otra esencialmente práctica con dos. Todas ellas se desarrollaron bajo los epígrafes que se relacionan a continuación: I. Propósito de la obra; II. Cualidades del experimentador; III. Características de una buena piedra imán (imán); IV. Como distinguir los polos de un imán; V. Como saber cual es el Polo Norte y el Polo Sur; VI. Como atrae un imán a otro; VII. Como se vuelve el hierro hacia los polos cuando es atraído por el imán; VIII. Como atrae el hierro al imán; IX. Por que el Polo Norte de un imán atrae al Polo Sur de otra y viceversa; X. En la que se explica la virtud natural

Planta de la brújula



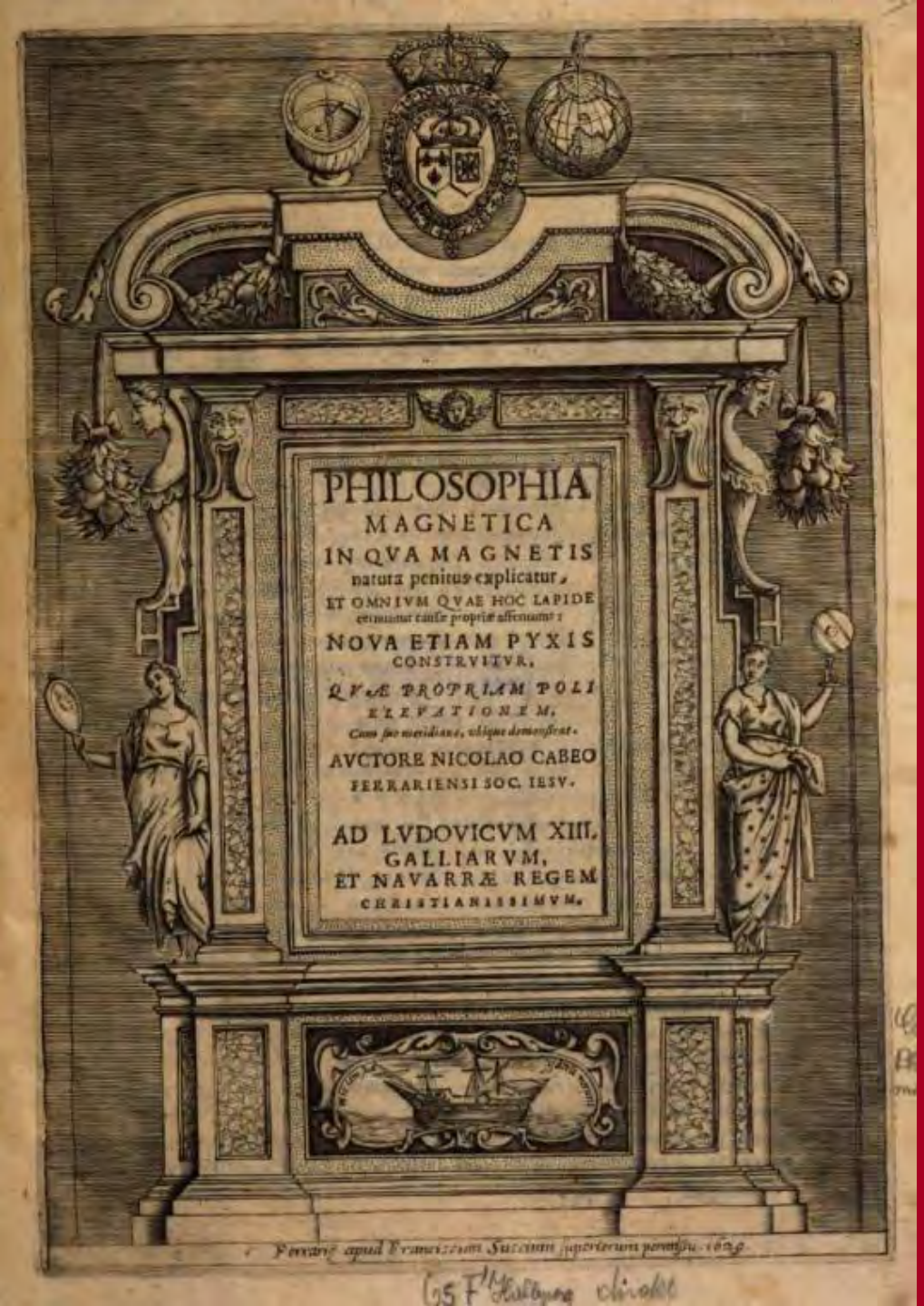
La máquina del movimiento perpetuo



del imán; XI. Construcción del instrumento para medir el acimut del Sol, la Luna o de cualquier estrella sobre el horizonte; XII. La construcción del mejor instrumento para el mismo fin. A modo de conclusión se enumeran las principales aportaciones del trabajo de P. Peregrinus: a) primera identificación de los dos polos del imán y modo de identificarlos; b) demostró que los polos diferentes se atraen entre sí y que los homónimos se repelen; c) comprobó que cada fragmento de un imán sigue siendo imán; d) constató que el polo de un imán puede neutralizar otro más débil de igual nombre, e incluso invertir la polaridad del mismo; e) Introducción de la aguja imantada con pivote y del circulo graduado para fijar el valor de las distancias angulares; f) fijó la posición de los

Página de una copia manuscrita de la obra de P. Peregrinus (*Rota perpetuo motus*)
Biblioteca vaticana. S. XIV.

puntos a partir de tales lecturas, al igual que se haría en los siglos siguientes con las brújulas topográficas; g) propuso la construcción de la máquina del movimiento perpetuo, una especie de motor magnético, idea del todo ingeniosa para un técnico del siglo XIII. Se constata por tanto que el trabajo tenía tanto interés físico como matemático, con utilidad inmediata para la navegación y, en menor medida, hasta para la geodesia. No obstante, pasó desapercibido hasta que lo mencionaron W. Gilbert, y los jesuitas Niccolo Cabeo (*Philosophia magnetica, in qua magnetis natura penitus explicatur et omnium quae hoc lapide cernuntur, causae propriae afferuntur, nova etiam praxis construitur, quae propriam poli elevationem: cum suo meridiano, ubique demonstrat, multa quoque dicuntur de electricis et aliis attractionibus et eorum causis*.1629) y A. Kircher (*Magnes sive De Arte Magnética Opus Tripartitum. Quo Praerterquam Quod Universa Magnetis. Natura, eiusque in ómnibus Attibus & Scientiis usus nouus methods explicetur, e viribus quoque &prodigiosis effectibus Magneticarum, aliarumque abditarum naturae Motionum in Elementis, Lapidibus, Plantis & Animalibus …incognita Naturae arcana per Physica, Medica, Chymica & Mathematica omnis generis experimenta recluduntur*.1641).

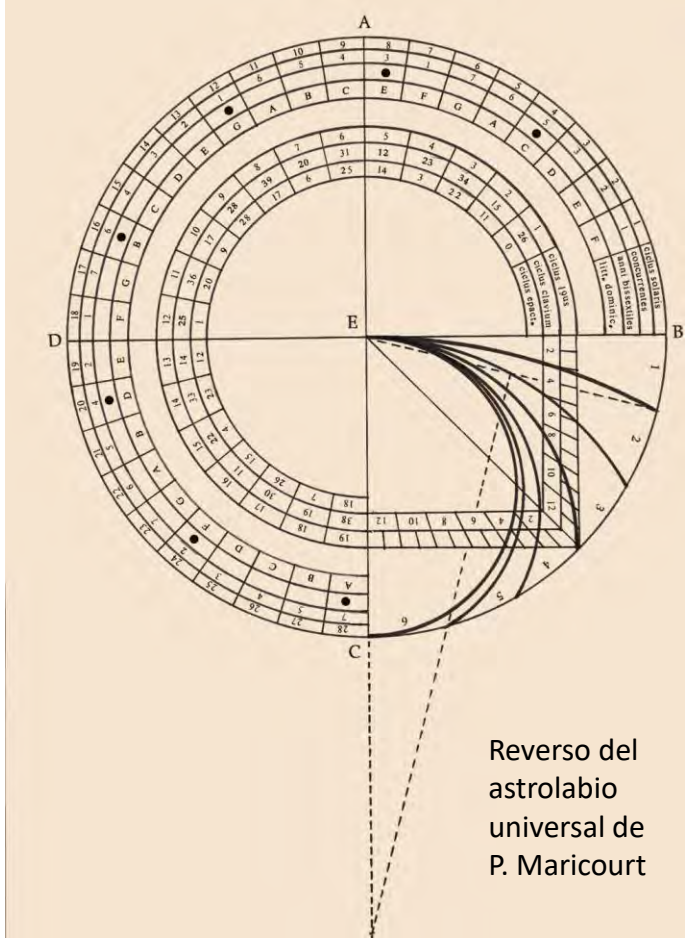


Portada de PHILOSOPHIA MAGNETICA . Niccolo Cabeo

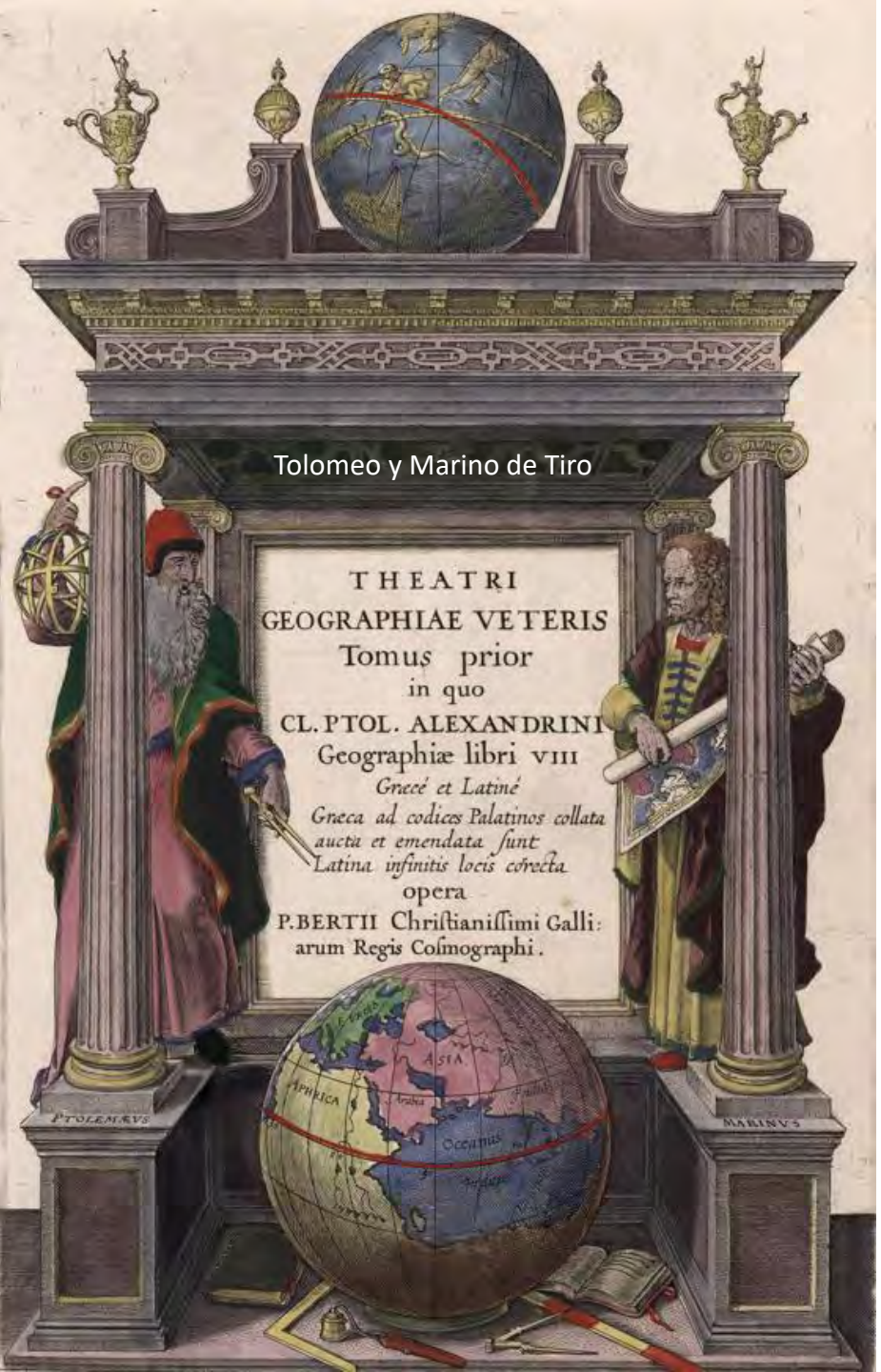
Frontispicio de MAGNES SIVE DE ARTE MAGNÉTICA . Atanasio Kircher

Salomón midiendo los cielos con un astrolabio

Las inquietudes instrumentales de Peregrinus le llevaron a estudiar el astrolabio y a tratar de superar uno de sus problemas principales: el hecho de que hubiese que cambiar de lámina para cada latitud; presentando inmediatamente después el trabajo titulado *Nova Compositio Astrolabii Particularis*, obra científica notable en el occidente cristiano, aunque no lograse la difusión que alcanzó su *Epistola de Magnete* (referencia habitual en la historia del magnetismo). El astrolabio universal propuesto en ese trabajo fue relevante, siendo evidentes las influencias de Azarquiel, que es nombrado en el prólogo del mismo. Para la historiadora de la astronomía Emmanuel Poulle (*L´Astrolabe Médiéval, d´aprés les manuscrits de la Bibliothéque Nationale*) se trató de una exposición clara, precisa y con el deseo de ser completa. Este tratado astronómico de Peregrinus puede ser considerado como uno de las mejores, de este tipo, que aparecieron en la Edad Media, siendo por ello precursor de las brillantes aportaciones que realizaría dos siglos y medio después el alemán Johannes Köbel Stöffler: matemático y constructor de instrumentos matemáticos, así como autor del libro *Elucidatio fabricae ususque astrolabii*.



Reverso del astrolabio universal de P. Maricourt



Tolomeo y Marino de Tiro

Marino de Tiro (c. 60 - c. 130)

Cartógrafo y matemático fenicio, al que se le considera ocasionalmente como el fundador de la Geografía astronómica; no en vano localizó cada lugar mediante su latitud y longitud, sentando a la vez las bases de su correcta representación sobre un plano. En todos sus mapas ocupaba Rodas el centro de los mismos, para cuya formación se apoyó en la información que le proporcionaron viajeros y en los que confeccionaron los que le precedieron. En su época, ya había culminado el desarrollo de la cartografía grecorromana, beneficiándose tanto él como Claudio Tolomeo del conocimiento geográfico que habían heredado. Sin embargo, la expansión continua del imperio romano obligó a reconsiderar las dimensiones del mundo habitado (la ecúmene), siendo Marino de Tiro el encargado de plasmarlo en un mapa, en su condición de último de los geógrafos contemporáneos, por usar las mismas palabras que le dedicó C. Tolomeo. Durante ese proceso, siempre procuró ir revisando el dibujo a medida que recibía nueva información; tal como se indicaba en el primer libro de la geografía tolemaica. Uno de los primeros problemas a los que se enfrentó fue el de fijar el tamaño de la Tierra, cifrándolo en 500 estadios por grado, es decir 180000 estadios para el perímetro de su circunferencia; un valor nada concreto al no haber indicado el tipo de estadio empleado.

MARINI TYRII SYSTEMA GEOGRAPHICUM.

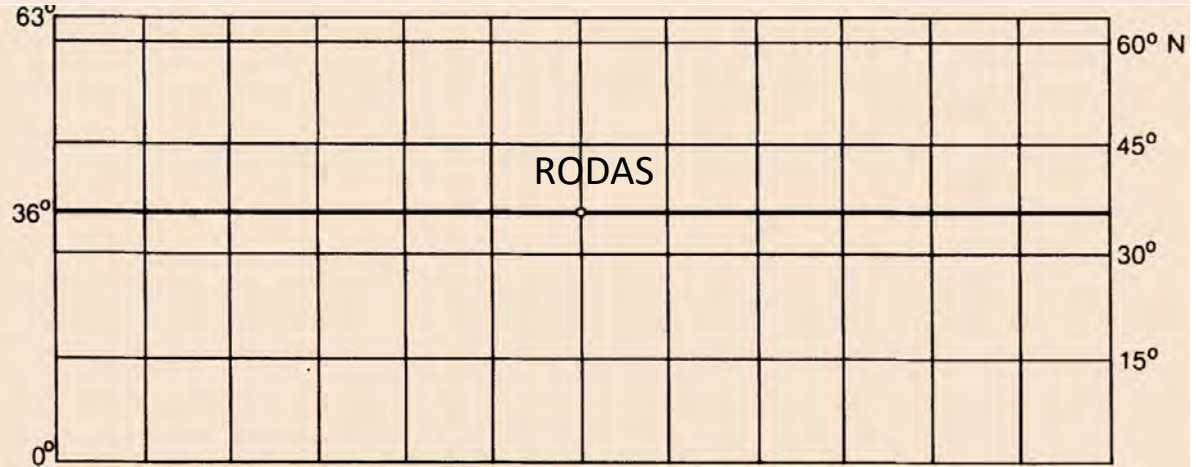
Enucleabat GOSSELLIN, M.DCC.XCI.

De acuerdo con ello fijo la amplitud meridional del mundo habitado en 87º, equivalentes a 43000 estadios, siendo el paralelo más septentrional el de la mítica isla de Tule y el más meridional el definido por el incierto promontorio de Prasum a 24º de latitud Sur, por debajo del trópico de Capricornio. En cuanto a su amplitud longitudinal, la estimó en 225º, esto es en 90000 estadios; ya que la fijó sobre la imagen del paralelo de Rodas, para el que el desarrollo del grado era solo de 400º. De acuerdo con ello, creía Marino de Tiro que la ecúmene ocupaba más de la cuarta parte del globo terráqueo, presentando además la novedad de que ocupaba los dos hemisferios; aunque la mayor extensión figurase en el septentrional. Una peculiaridad resaltable fue la reducida extensión que dio al océano que separaba los extremos oriental y occidental del mundo: 135º, o 54000 estadios a lo largo del paralelo de Rodas, cuando había fijado en 225º la separación angular entre Iberia y el extremo más oriental de Asia. Según Tolomeo, Marino de Tiro hizo algunas observaciones astronómicas, no fueron concluyentes, en tanto que las distancias que le comunicaban los viajeros o mercaderes las convertía en estadios, según hubiesen realizado el trayecto por tierra o por mar; aunque posteriormente adoptara los resultados a sus propios criterios. No obstante, tuvo el mérito de ampliar sustancialmente la ecúmene en los dos sentidos: meridional y longitudinal, llegando a escribir sobre Agisymba, más allá del ecuador.

El mar Mediterráneo de Marino de Tiro y Tolomeo

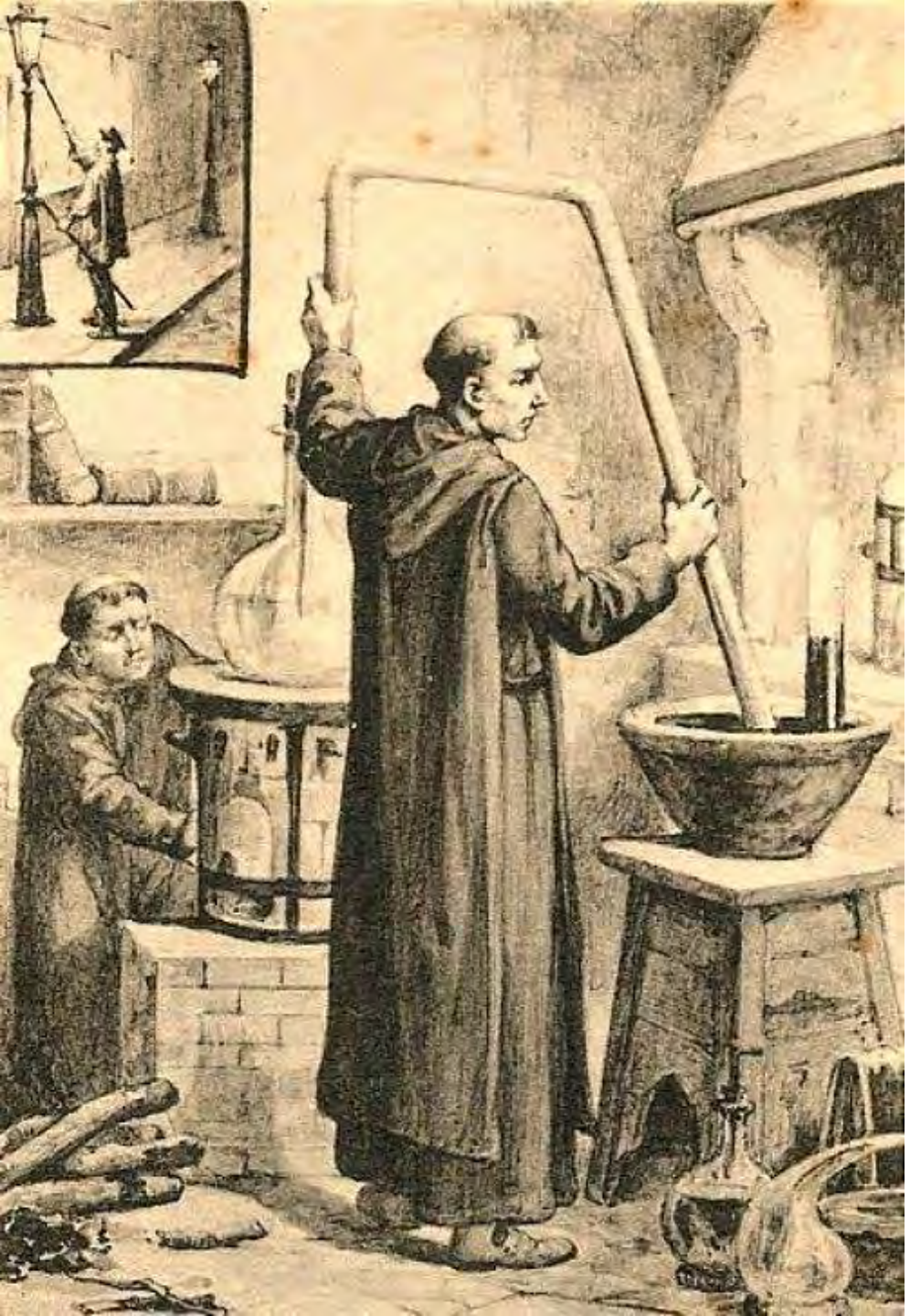
RODAS EN EL CIVITATES ORBIS TERRARUM

LA RETÍCULA CARTOGRÁFICA DE MARINO DE TIRO



Otra dificultad que debió afrontar Marino de Tiro fue la elección del sistema cartográfico más adecuado, decantándose al final por una red equidistante de meridianos y paralelos, mutuamente perpendiculares; siguiendo la práctica ya iniciada por Eratóstenes y Estrabón, aunque en su caso la red pretendió ser complete. En el nuevo sistema todos los paralelos tuvieron el mismo desarrollo, idéntico al de Rodas, con lo que resultaron muy afectadas las distancias: reduciéndose en los paralelos de menor latitud e incrementándose en los de mayor latitud; una práctica que criticaría Tolomeo en su Geografía. Marino fue quizás el primero en elegir como origen de longitudes el meridiano de las islas Canarias. La producción cartográfica de Marino de Tiro ofreció por tanto una información geográfica poco ajustada, habida cuenta de la incertidumbre con que recopiló los datos que le iban proporcionando. Tolomeo lo criticó abiertamente, aunque se apoyara en muchos de sus trabaos, señalando por ejemplo que en algunos casos el cartógrafo fenicio solo corregía las latitudes y en otros las longitudes; con el agravante de que al no coincidir los lugares afectados resultaba imposible hacer un mapa fidedigno ateniéndose a esa desinformación.

Grabado anónimo del siglo XVIII

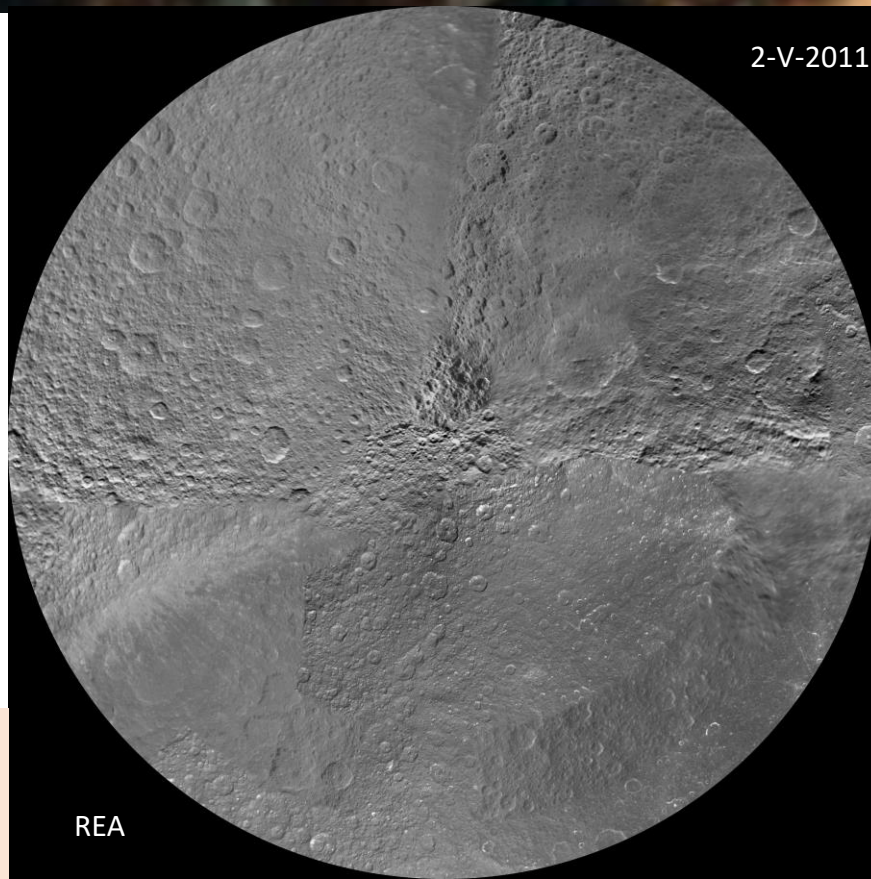


Edme Mariotte (1620-1684)

Abad y miembro fundador de la Academia de Ciencias de París, introdujo la física experimental en Francia, descubrió la compresibilidad de los gases (ley Boyle Mariotte), siendo también estudioso de la geografía astronómica. Al parecer nació en Dijon y se ordenó sacerdote, hacia 1645, responsabilizándose del priorato de Saint-Martin-de-Beaumont-sur-Vingeanne. Todo apunta a que su formación científica fue autodidacta, en raras ocasiones cita los nombres de otros autores en sus obras, escritas todas ellas después de haber ingresado en la Academia. Una de sus primeras aportaciones a tan novedosa institución fue botánica, ya que comparó la circulación de la savia en las plantas con la de la sangre en los animales, al ser contradicho por otro académico, la Academia les encargó sendos informes; Mariotte preparó el suyo en 1667, siendo ese el origen de su volumen *De la Végétation des Plantes* (1679). En esa época estudió las obras de Galileo, por consejo de Huygens, y hizo sus primeros análisis del movimiento pendular, así como otros de óptica y mecánica. Fue entonces cuando publicó su primera obra, *Nouvelle découverte touchant la veüe*, en la que descubrió el punto ciego de la visión, esto es el lugar de la retina de donde parte el nervio óptico.

ETABLISSEMENT DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES ET FONDATION DE L'OBSERVATOIRE, 1666

Aunque la controversia que desató con ese último trabajo le tuvo entretenido entre 1669 y 1670, no descuidó sus investigaciones en otros campos, como la gravedad y la naturaleza de los líquidos. Al año siguiente leyó en la Academia un primer ensayo sobre la nivelación, antes de publicar en 1672 el tratado que se referirá más adelante, anunciando la construcción de un instrumento para su uso sobre el terreno, con mejores prestaciones que el celebrado Corobate de Vitrubio. En ese mismo año 1672, realizó sus primeras observaciones astronómicas, para confirmar los descubrimientos del también académico y director del Observatorio de París, G. D. Cassini: la mancha roja de Júpiter y el satélite Rea de Saturno.



Rea es el segundo satélite mayor de Saturno, después de Titán, su diámetro es de unos 1500 km. En un principio se pensó que, al igual que el planeta, tenía un disco de varios miles de kilómetros que lo envolvía, compuesto de partículas de tamaño variable: desde guijarros a rocas; sin embargo se trató de una falsa deducción, ya que cuando la sonda Cassini lo visitó en 2005, 2010 y 2011, sin poder constatar su existencia

SECOND ESSAI.

DE LA

NATURE

DE

L'AIR.

Par Mr. MARIOTTE,

de l'Académie Royale des Sciences.

149

DISCOURS

DE LA

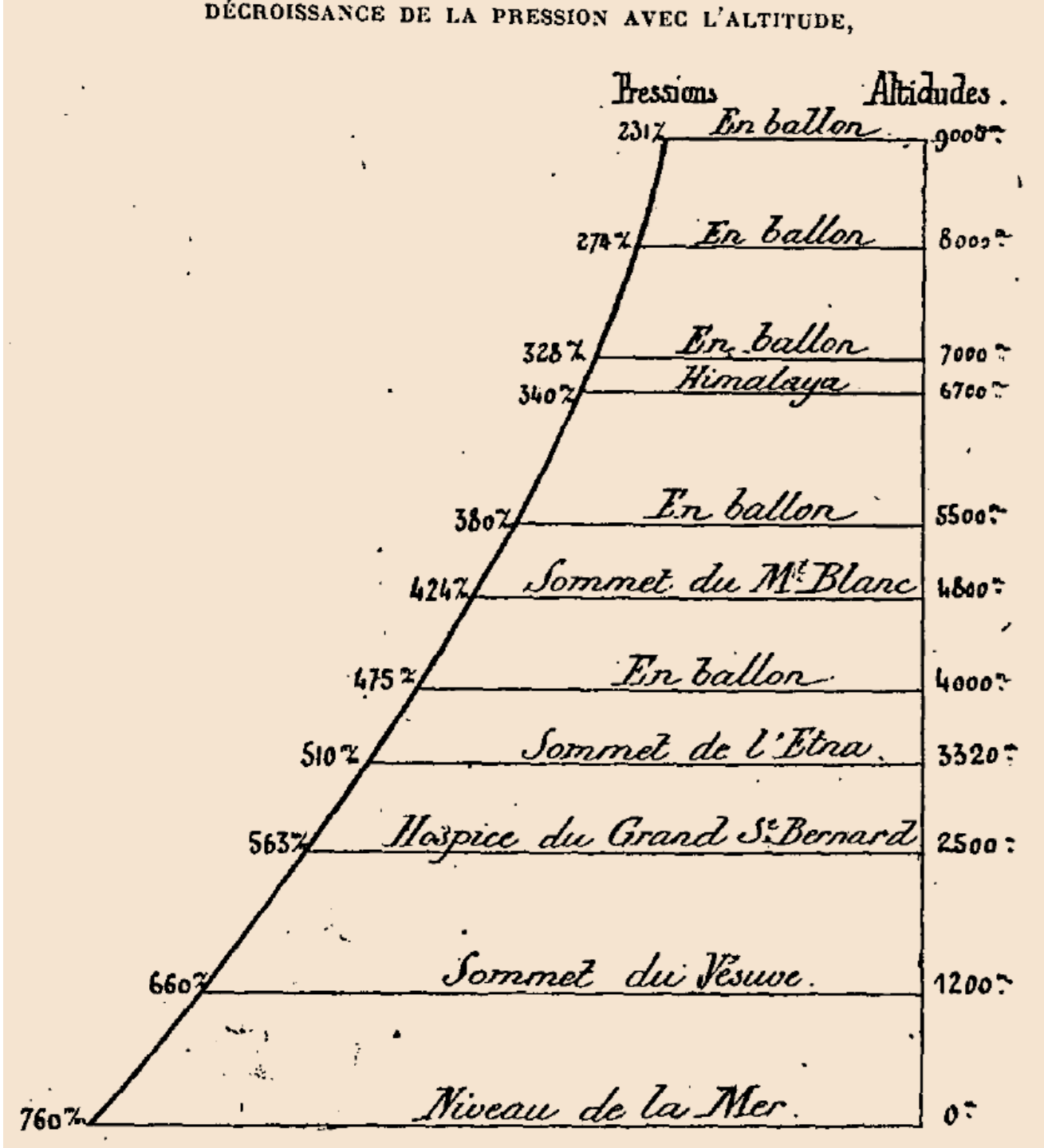
NATURE DE L'AIR.

L'Air eſt ſi néceſſaire à la conſervation de notre vie, & ſon étenduë eſt d'une grandeur ſi conſidérable, que ceux qui s'appliquent à la connoiſſance des choſes naturelles, ne doivent pas négliger de rechercher ſes diverſes propriétez: elles ſont très-ſurprenantes, & en grand nombre; mais la plûpart ſont très-difficiles à expliquer.

Quelques Philoſophes ſoûtiennent que l'air n'eſt autre choſe que les évaporations de l'eau & des autres matières contenues dans la terre, qui s'élévent par la chaleur du ſoleil. Les enfans & les hommes groſſiers ont bien de la peine à être perſuadés de ſon exiſtence, parce que ſa tranſparence le rendant inviſible, ils ſe laiſſent facilement prévenir

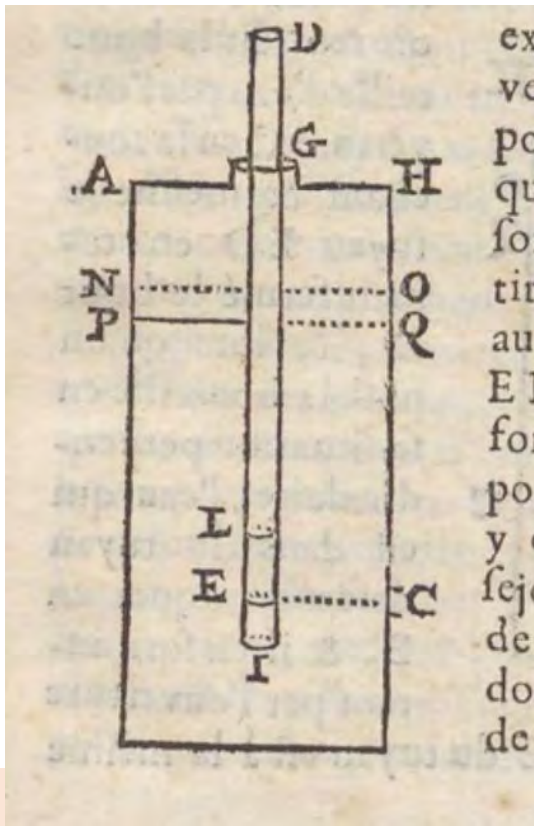
En 1670 ya había anunciado su intención de escribir un libro sobre el choque de los cuerpos, el cual acabó publicándose en 1673: *Traité de la percussion ou choc des corps*, una obra maestra en la que se explicaron las verdaderas causas de las principales reglas del movimiento, contrarias a las defendidas por Descartes y otros autores modernos. Fue en ella en donde se trató por primera vez de forma comprensiva todo lo relacionado con las leyes del impacto elástico e inelástico, así como sus implicaciones físicas. La obra fue reeditada tres veces viviendo Mariotte , convirtiéndose de inmediato en obligado referente. En los años siguientes se centró en las cuestiones neumáticas, exponiéndolas con maestría en el trabajo *De la nature de l´air* (1679), en la que revisó lo que ya era sabido e hizo alguna aportación original; detallando las tres propiedades más relevantes del aire, peso, elasticidad y solubilidad en el agua. Como en sus otras obras omitió los autores en que se había apoyado, Robert Boyle en este caso, aunque sí reconoció la influencia de la obra de Blaise Pascal (*Traités de l'équilibre des liqueurs et de la pesanteur de la masse de l'air*). Mariotte refirió en esa última obra el fundamento de la nivelación barométrica, al señalar la interpretación común de que el peso de la columna de mercurio contrarresta el peso de la columna

de aire situada sobre el depósito. Más adelante realizó interesantes reflexiones sobre la estructura de la atmósfera, partiendo de la hipótesis inicial de que un determinado volumen de aire a nivel del mar se dilataría unas 4.000 veces sin la presión del aire situado sobre él y que la presión disminuye uniformemente con el aumento de la altitud. Con tal criterio dividió la atmósfera en 4.032 estratos, cada uno de los cuales correspondería a una caída de presión de 1/12 de línea (1/144 de pulgada) a partir de una altura de veintiocho pulgadas de mercurio a nivel del mar. Comparando las mediciones efectuadas por Toinard y Rohault con las realizadas por él mismo, con Cassini y Picard, estimó que a nivel del mar un aumento de 1,5 metros de altitud corresponde a un descenso de 1/12 de línea de presión; de ahí que el primer estrato tenga 1,5 metros de altura. Según la ley volumen-presión, el estrato 2.016 tiene tres metros de espesor, el 3.024, seis metros, y así sucesivamente. Al final comentó la interdependencia de la expansibilidad total del aire, con las alturas de los estratos anteriores y con las altitudes conocidas de las montañas.

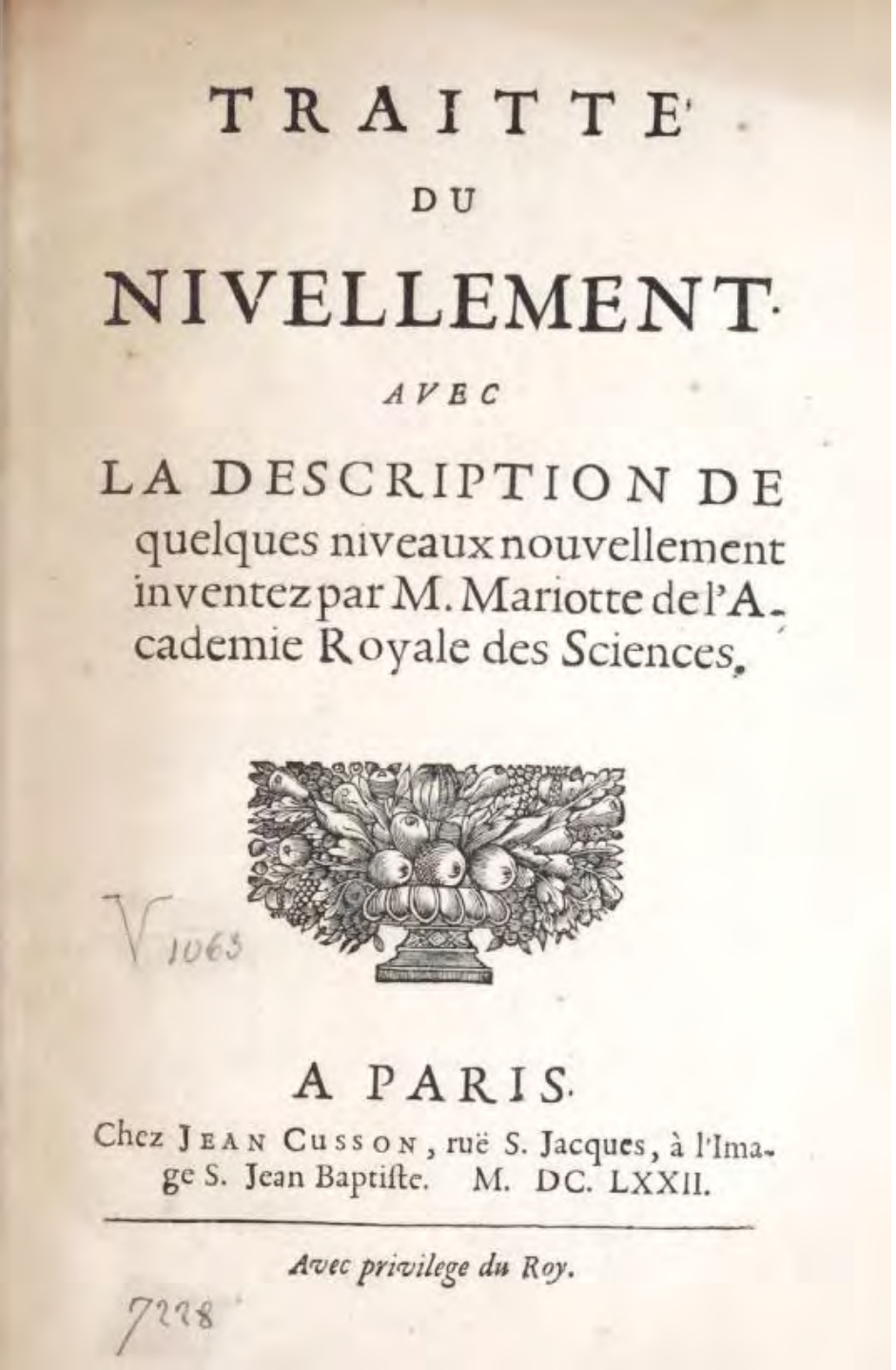


Parahelio en la Antártida

En el verano de 1679, animado por Pierre de Carcavi (Secretario de la Academia de Ciencias de París, publicó *Traité de la nature des couleurs*, en el que trató, entre otras cuestiones, de los parahelios, los halos y anillos observados alrededor del Sol y la Luna en un cielo brumoso. Resulta sorprendente que los considerase debidos a la reflexión y la doble refracción que sufren los rayos de luz al atravesar las agujas de hielo, situadas en las regiones altas de la atmósfera, con formas de prismas triangulares de base equilátera; una argumentación que coincide prácticamente con las tesis actuales. Igual de acertada fue su publicación póstuma del año 1686, titulada *Traité du movement des eaux et des autres corps fluides*, dividida en cinco partes; abordando en la última la resistencia de los materiales. En él confirmó las leyes del flujo de los fluidos descubiertas por Torricelli, enriqueciendo la hidromecánica con una serie de experimentos notables. En esta obra encontramos la descripción del ingenioso instrumento, hoy conocido como Frasco de Mariotte, que utilizó para demostrar la existencia de la presión atmosférica; consiguiendo además que fuese constante y simultánea la velocidad de efusión de un líquido y de un gas.



Dos ilustraciones del Frasco de Mariotte, el primero figura en el Tratado



TRAITTE'

DU

NIVELLEMENT.

AVEC

LA DESCRIPTION DE
quelques niveaux nouvellement
inventez par M. Mariotte de l'A-
cademie Royale des Sciences.

A PARIS.

Chez JEAN CUSSON, ruë S. Jacques, à l'Ima-
ge S. Jean Baptiſte. M. DC. LXXII.

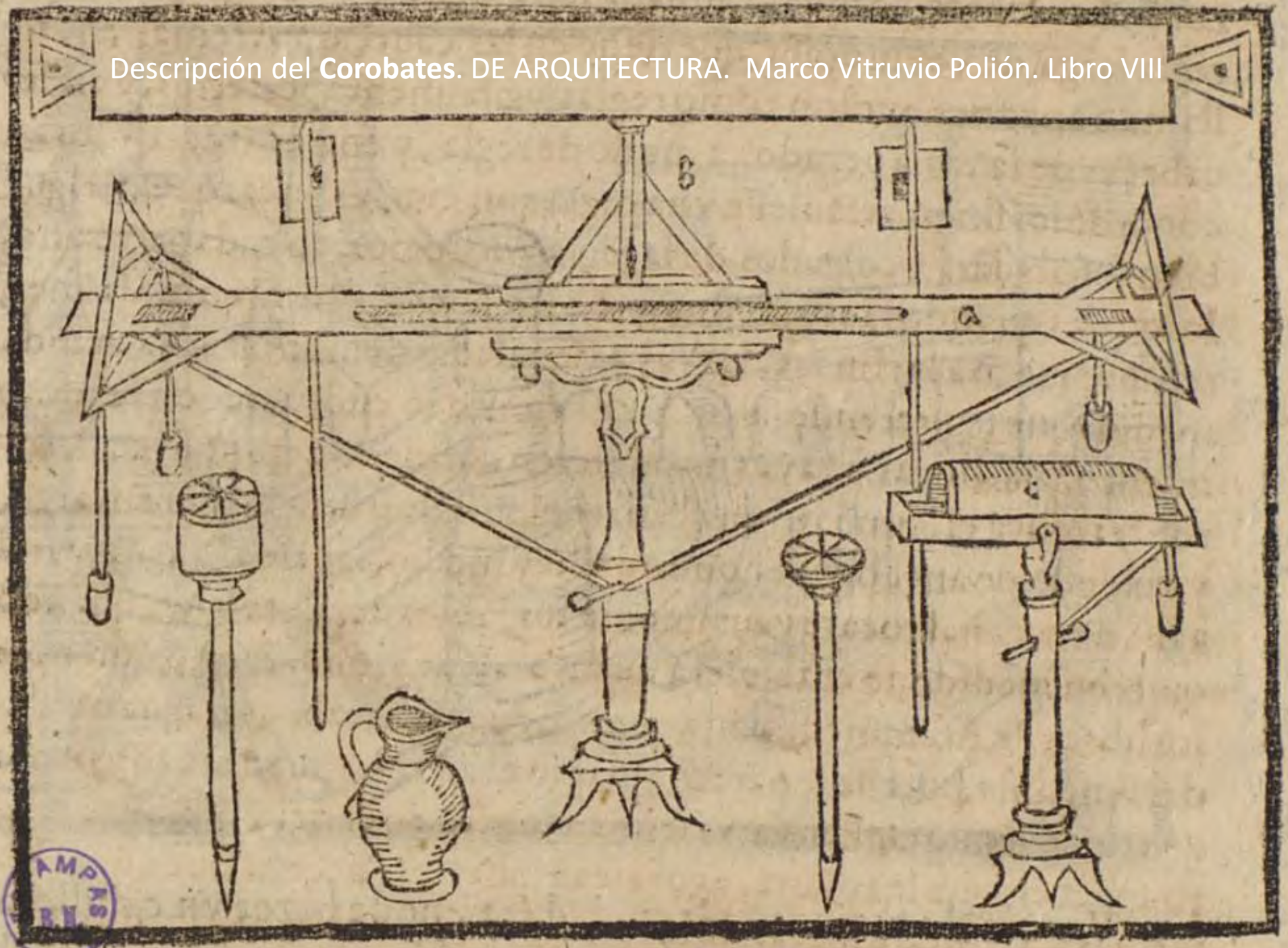
Avec privilege du Roy.

Termina este resumen sobre la obra de Mariotte recordando que su interés por la nivelación se remonta a los años en que se fundó la academia de Ciencias, coincidiendo asimismo con los trabajos de adecuación de varios canales de Francia y con el abastecimiento de agua al Palacio de Versalles. Esa última tarea fue estudiada con detalle por J. Picard, el cual había realizado, a tal efecto, las nivelaciones necesarias, plasmándolas después en su libro póstumo de 1684; todo un clásico, que da mayor relevancia al tratado de Nivelación de Mariotte, que se había publicado doce años antes. Ese breve trabajo lo dividió en tres partes de desigual importancia: I) definiciones y consideraciones teóricas, II) Descripción y uso de su propio nivel, III) Métodos de nivelación. De entre todas las definiciones que se realizaron sobresale la de superficie de nivel: «deux points sont de mème niveau lorsqu´ils sont également distants du centre de la terre», coincidente con la dada por B. Pascal en 1663 (en su *Traité de l´equilibre des liqueurs*); para Pascal una superficie de nivel era la adoptada por las aguas en reposo. El nivel diseñado por Mariotte era en esencia una caja de varios pies de largo y algunas pulgadas de ancho, que terminaba en sus extremos con dos pequeños planos inclinados. En el fondo de la misma se vertía agua hasta que la capa pudiera servir de espejo (el agua podía ser reemplazada por mercurio). El instrumento se sustentaba con un trípode. Aunque su idea de calcular el desnivel por

esta vía hidrostática (visión directa de la mira, colocada en uno de los puntos a nivelar, y su imagen en un espejo plano) fuese ingeniosa, resultó ser más de laboratorio que susceptible de ser aplicada en el campo: impracticable por su sensibilidad al viento y por las partículas en suspensión sobre la superficie del espejo. Mariotte criticó de forma un tanto gratuita tanto el corobate de los romanos, descrito por Vitruvio, como otros niveles ordinarios, sin mencionar el de agua que ya había sido descrito por el astrónomo G. Riciolli en el año 1660.

Nicolas de Condorcet, Secretario perpetuo de la Academia de Ciencias de París, finalizó su elogio de Edme Mariotte con estas palabras: «C´est Mariotte qui le premier en France, a porté dans la Physique un esprit d´observation & de doute, & qui a inspiré ce scrupule, cette timidité si nécessaire à ceux qui interrogent la nature, & qui se chargent d´interpreter ses réponses. S´il est juste de réserver notre admiration pour les hommes qui ont ouvert, dans les Sciences, des routes inconnues, il faut avouer du moins que ceux qui nous ont appris à ne plus nous égarer, ont autant de droit à notre reconnaissance».

Descripción del **Corobates**. DE ARQUITECTURA. Marco Vitruvio Polión. Libro VIII



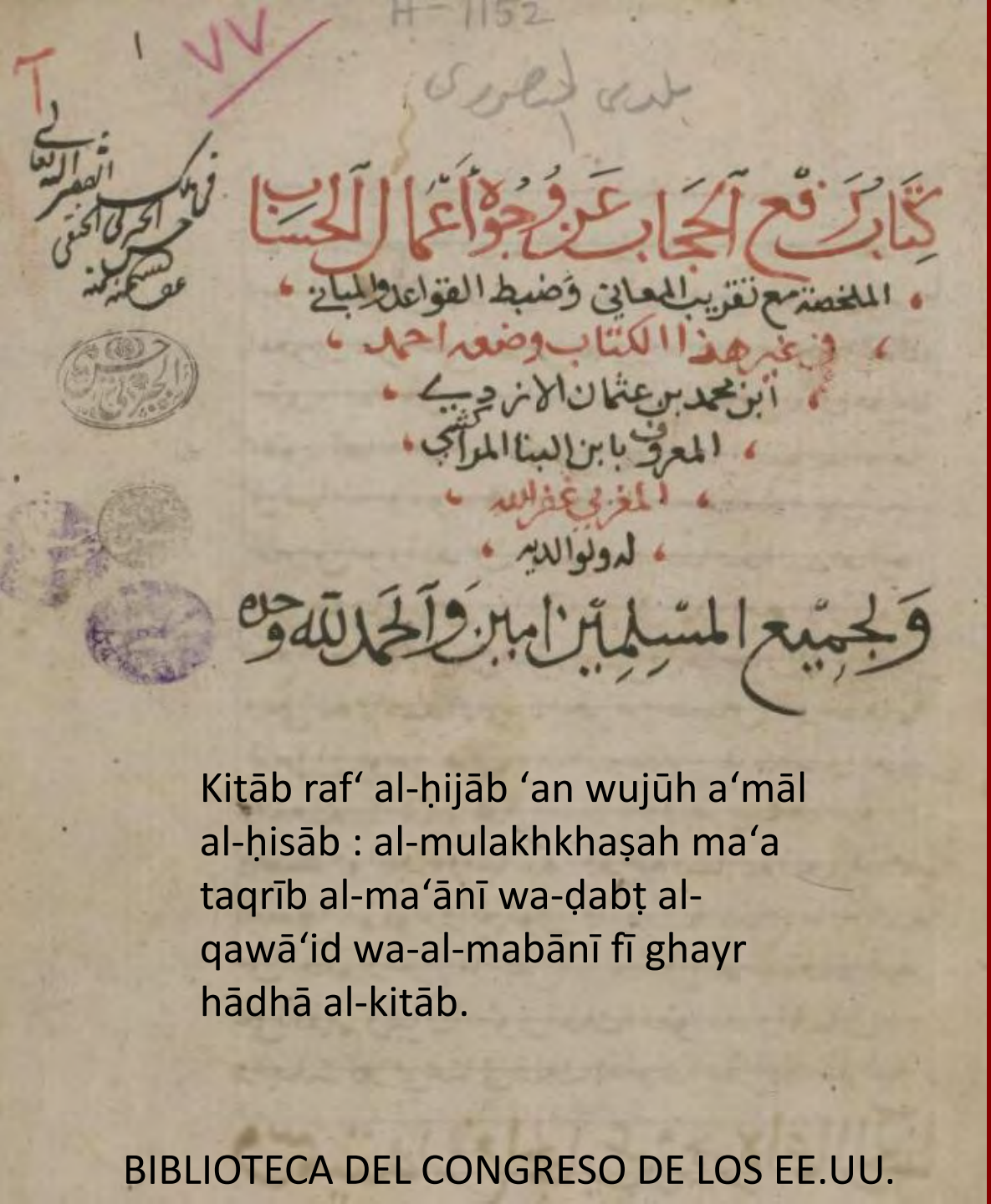
A. corobates, es regla de ueynte pies con sus anconnes.

B. es instrumento para pesar el agua.

C. instrumẽto para mirar, dicitur Dioptra.

Ibn al-Banna al- Marrakushi (1256-1321)

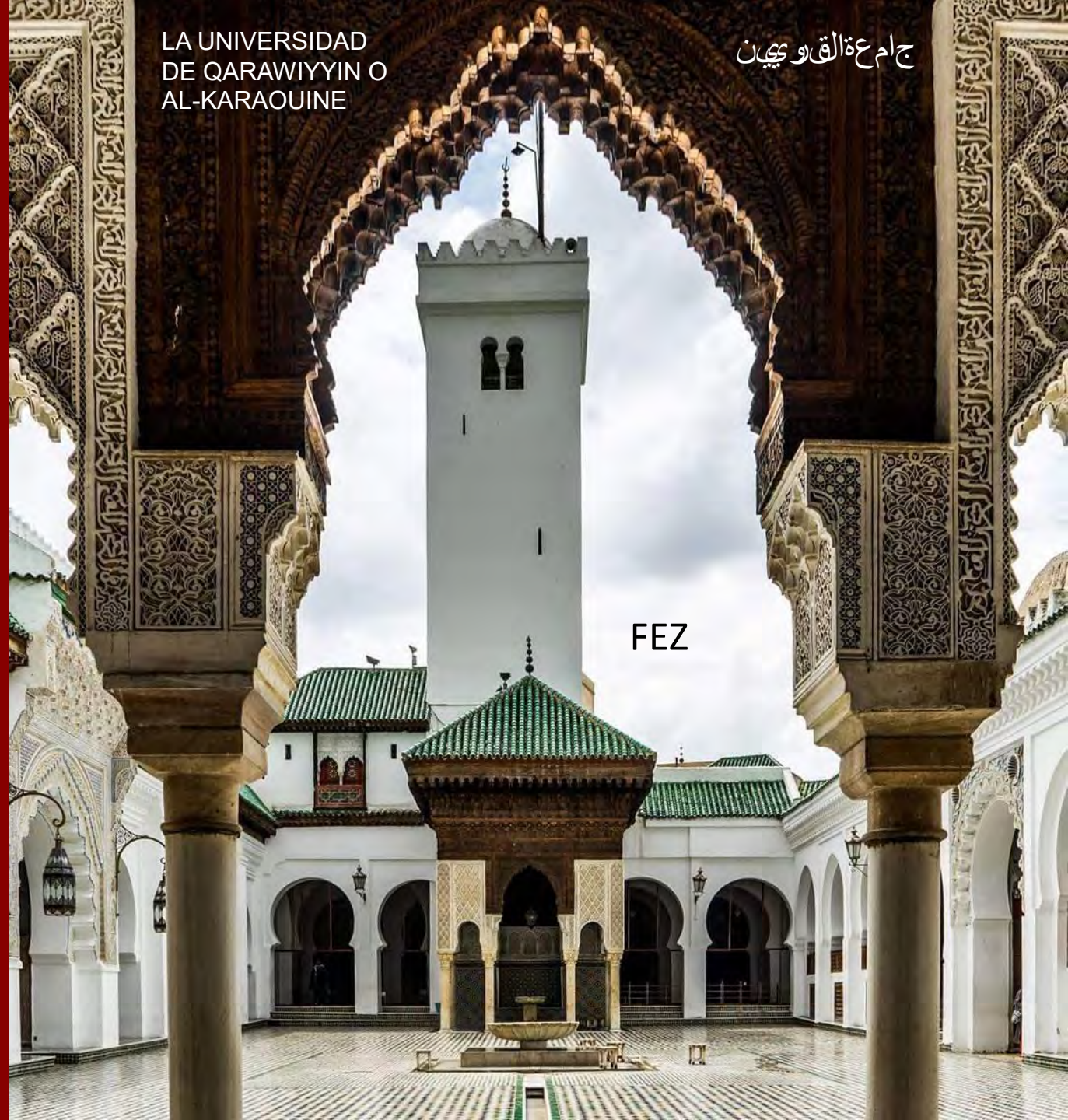
Matemático y astrónomo musulmán que fue un brillante profesor de la Universidad de Fez, la más antigua del mundo; se cree que nació en la ciudad de Marraquech, aunque a veces se diga que lo hizo en Granada. Es seguro que la mayor parte de su vida la pasó en Marruecos, aprendiendo las matemáticas de la época; destacando la geometría y sobre todo los Elementos de Euclides. Su prestigio fue tal que enseñó, en dicha universidad, aritmética, álgebra, geometría y astronomía. Al-Marrakushi fue un autor prolífico, resultando aventurado pronunciarse con rotundidad sobre la originalidad de sus obras, en cambio sí parece verosímil asegurar que fue el primero en considerar una fracción como la razón entre dos números dados; o que fuese él quien introdujo en occidente el vocablo almanaque (al-manakh significa clima), para referirse a la obra que proporciona información astronómica y meteorológica. Probablemente sea el *Talkhis amal-al-hisab* (Sumario de operaciones aritméticas) su libro más relevante, junto a *Raf-al-Hijab*, un comentario del anterior. La notación matemática que introdujo en sus trabajos, hizo que ciertos autores lo hayan considerado como uno de los pioneros en el desarrollo del simbolismo algebraico en el Islam.



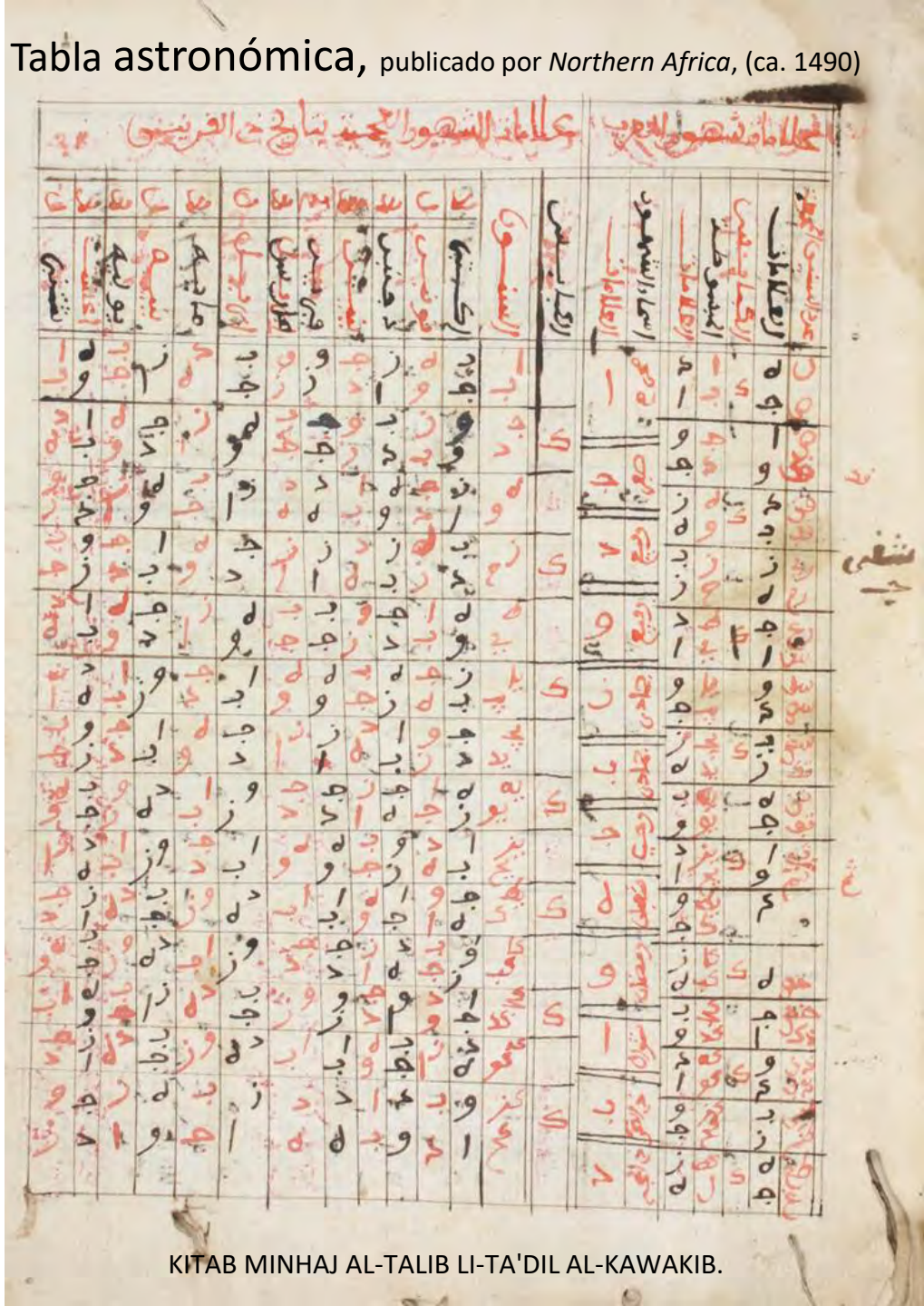
كتاب رفع الحجاب عن وجوه أعمال الحساب
المخصصة مع تقريب المعاني وضبط القواعد والمباني
في غير هذا الكتاب وضعه احمد
ابن محمد بن عثمان الازدي
المعروف بابن البنا المراكشي
المغربي غفر الله
لهولوالديه
ولجميع المسلمين امين والحمد لله وحده

Kitāb raf‘ al-ḥijāb ‘an wujūh a‘māl al-ḥisāb : al-mulakhkhaṣah ma‘a taqrīb al-ma‘ānī wa-ḍabṭ al-qawā‘id wa-al-mabānī fī ghayr hādhā al-kitāb.

BIBLIOTECA DEL CONGRESO DE LOS EE.UU.



Al Marrakushi escribió alrededor de cien títulos, de los cuales la mitad estuvieron dedicados a las matemáticas, aunque también se interesara por la astronomía, y cuestiones tales como la lógica, el derecho, la medicina, la metrología y el cálculo de superficies; como afirma Julio Samsó Moya en su artículo *Ibn al-Bannāʾ: Abū al-ʿAbbās Aḥmad ibn Muḥammad ibn ʿUthmān al-Azdī al-Marrākushī*, «sus obras fueron extremadamente populares e inspiraron un enorme número de comentarios, que se siguieron escribiendo hasta principios del siglo XX». En relación con la astronomía, se aprecia claramente la influencia del toledano al Zarqali, cuando preparó sus trabajos sobre los dos astrolabios universales: *shakkāziyya* y *zarqāliyya*. Asimismo, se constata en el manual que trataba de explicar el cálculo de las posiciones planetarias, al que tituló *zīj is Minhāj al-ṭālib fī taʿdīl al-kawākib*; ampliamente usado en el Magreb hasta el siglo XIX; el manual incorporó una serie de tablas en las que se indicaba la manera de calcular las longitudes de los planetas, con la particularidad de introducir una constante para evitar valores negativos. Al igual que sucedió con el libro de matemáticas, aquí también hizo un resumen de su contenido para hacerlo más asequible, el título elegido fue el siguiente: *al-Yasāra fī taqwīm al-kawākib al-sayyāra* (El método simple para el cálculo de las posiciones planetarias).

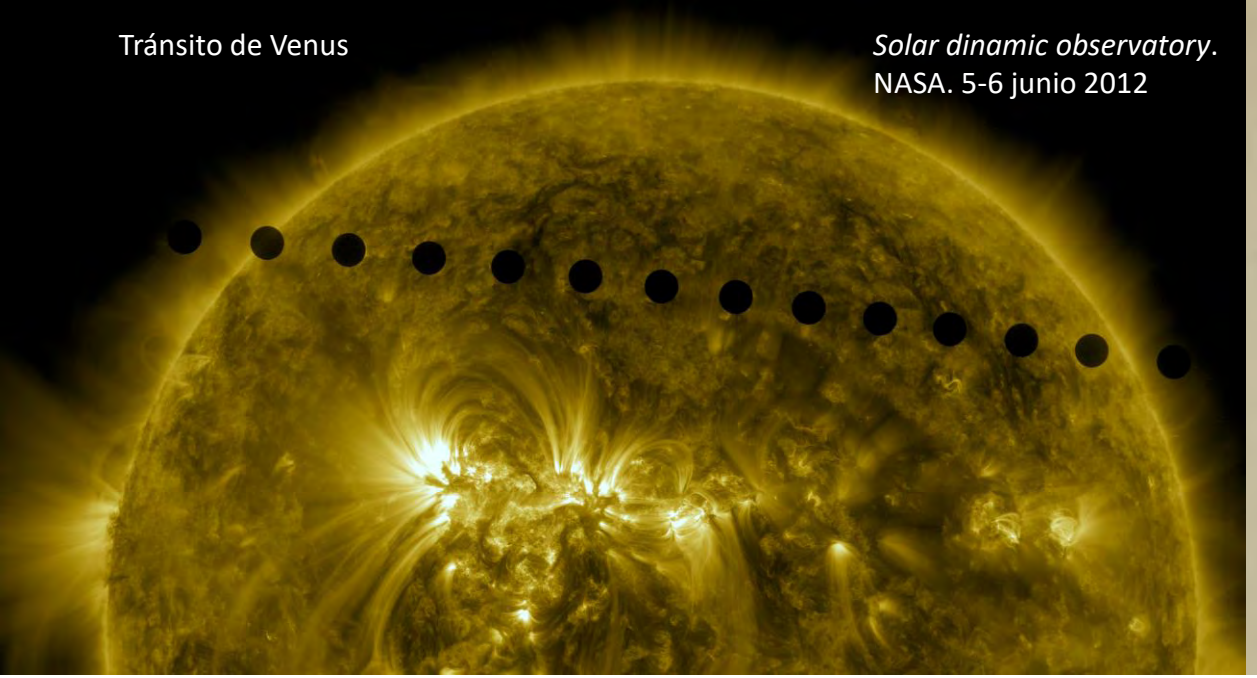
Tabla astronómica, publicado por *Northern Africa*, (ca. 1490)

KITAB MINHAJ AL-TALIB LI-TA'DIL AL-KAWAKIB.

De acuerdo con J. Samsó, al-Marrakushi era fundamentalmente didáctico y se preocupaba por transmitir la aplicabilidad de sus conocimientos, refiriéndose por ejemplo a las aplicaciones topográficas de la geometría para la resolución de los problemas de particiones por herencia. Esa costumbre también la hizo extensiva a la astronomía, al escribir *Kitāb fī al-anwāʾ*, una obra en la que abordó los problemas relacionados con los ortos u ocasos de las estrellas que ocurren coincidiendo con el instante en que el Sol se oculta bajo el horizonte del lugar. La determinación de las horas de oración fue abordada en su *Qānūn fī maʿrifat al-awqāt biʾl-ḥisāb* (Reglas para calcular la hora), una especie de vademécum dirigido a los imanes y almuédanos encargados de esas tareas y de fijar el comienzo de los meses lunares. Otra de las cuestiones en que centró su atención fue la de explicar como de averiguar la dirección de la Meca (*Qibla*), antes de comenzar a orar. En ese sentido, sorprende que considerase correctas las orientaciones de todas las mezquitas, cuando era sabido que algunas estaban claramente desorientadas, y que minusvalorase la exactitud que venía proporcionando, al respecto, la astronomía geodésica desde el siglo IX.

Compendio astronómico de bolsillo: indicador de la quibla, con brújula y reloj de Sol. Irán. S. XVII. *British Museum*

Nevil Maskelyne (1732-1811)

Clérigo inglés y astrónomo real que fue director del observatorio de Greenwich, creyó haber solucionado el problema de la longitud y logró medir la densidad de la Tierra. Nacido en Londres, recibió las primeras enseñanzas en la escuela de Westminster. Desde muy joven mostró interés por la óptica y por la astronomía, aumentando considerablemente después de haber observado el eclipse de Sol que tuvo lugar el 25 de julio de 1748. Al entender que para su estudio eran necesarias las matemáticas, ingresó en la Universidad de Cambridge, pasando por varios Colegios: St. Catharine, Pembroke y Trinity; graduándose en este último en el año 1752. Fara proseguir sus estudios con mayor facilidad se ordenó sacerdote en 1755. En esa época contactó con J. Bradley, *Savilian Professor* de Astronomía en Oxford y astrónomo real, colaborando con él en la confección de una tabla de refracciones; consiguiendo así hacerse miembro de la *Royal Society* en 1758. Poco después, fue comisionado por dicha sociedad para observar el tránsito de Venus en la isla de Santa Elena, el cual se produciría el 6 de julio de 1761; con vistas a precisar el valor de la distancia de la Tierra al Sol. Maskelyne propuso que se podría aprovechar la ocasión para medir también la paralaje anual de Sirio: «La estrella particular, que



LXXVIII. *A Propoſal for diſcovering the Annual Parallax of* Sirius; *by the Rev.* Nevil Maſkelyne, *A. M. Fellow of* Trinity *College*, Cambridge, *and F. R. S.*

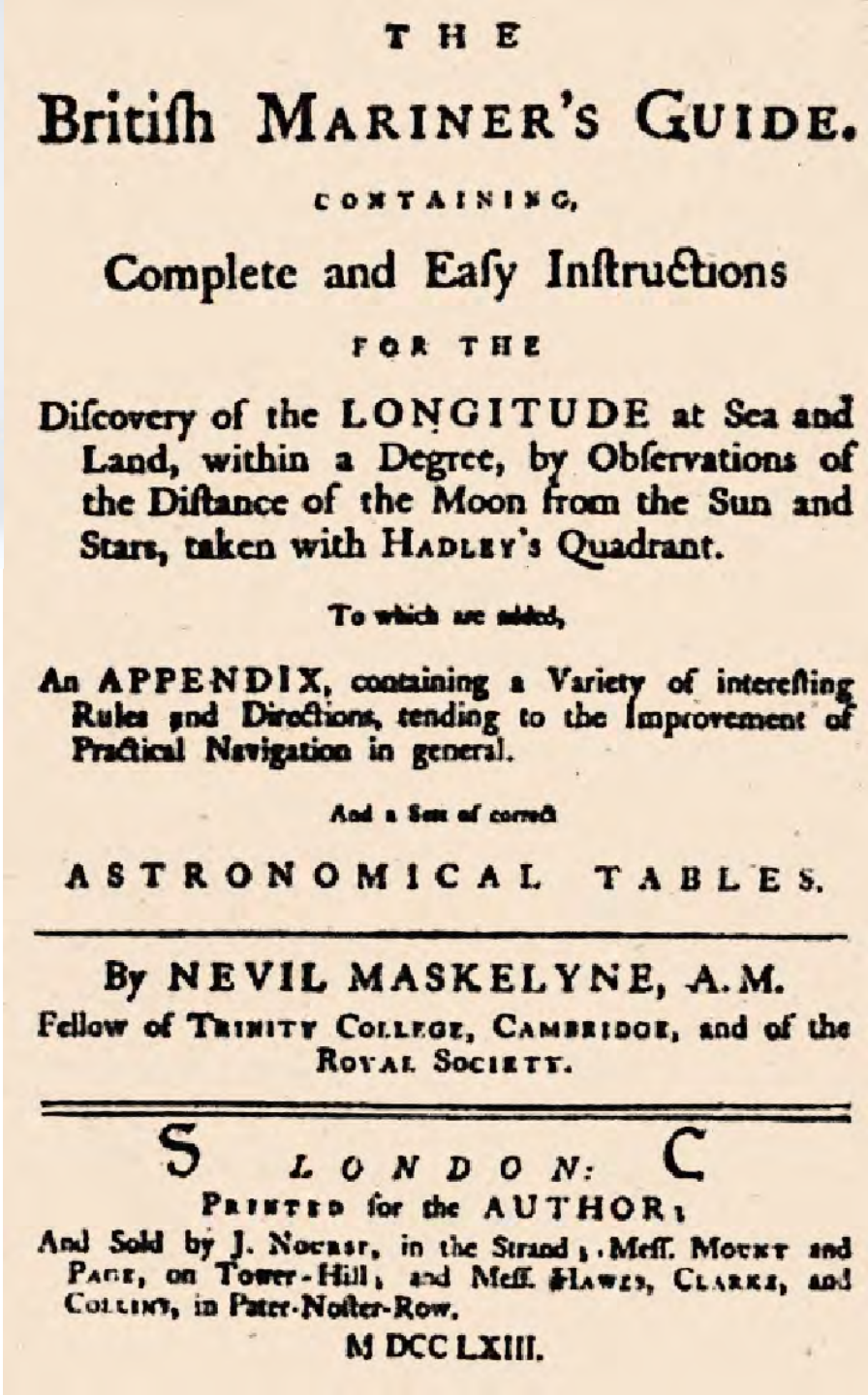
Read June 26, 1760. THE Royal Society having come to a reſolution to ſend perſons of ability to proper places, in order to obſerve the approaching paſſage of Venus over the Sun, the 6th of

propongo, debe ser observada cuidadosamente, con el fin de descubrir su paralaje anual, si es sensible, es Sirio, la más brillante de todas las estrellas del firmamento, y que por lo tanto, probablemente, la más cercana a nosotros de todas ellas. Entre nosotros, esta estrella pasa por el meridiano, a la altitud de 22°, donde las refracciones son demasiado irregulares para permitir que descubramos una cantidad muy pequeña por observación: pero en la isla de Santa Elena, Sirio pasa sólo medio grado al sur del cenit; y, por esta razón, he considerado, durante algún tiempo, que es el lugar más apropiado para hacer observaciones con este propósito». Dicha propuesta fue publicada en la revista *Philosophical Transactions* de la *Royal Society*. Lamentablemente no pudo cumplir ninguno de sus propósitos, ya que el día del tránsito estuvo nublado y los instrumentos con los que debía observar a Sirio no eran del todo fiables; puesto que en un mismo día daban diferencias de 10, 20 y 30 segundos al medir un mismo ángulo. No obstante, aprovechó la estancia para ensayar el método de las distancias lunares y determinar el valor de la longitud geográfica siguiendo ese procedimiento.

Al regresar decepcionado a Inglaterra se incorporó a su parroquia, aunque no tardó en publicar un interesante trabajo: *The British Mariner´s Guide, containing, complete and easy instructions for the discovery of the longitude at sea and land* (1763); con las instrucciones necesarias para calcular la longitud, con incertidumbre de un grado, tanto en tierra como en mar, usando para ello las distancias de la Luna al Sol y a otras estrellas, tomadas con el cuadrante de Hadley.

Cuadrante de Hadley

Maskelyne puso todo su empeño en la confección de esta especie de almanaque náutico, un documento excepcional en la historia de la geodesia; no en vano creyó su autor que había resuelto el secular problema de la longitud, siempre determinada con una elevada incertidumbre. El libro lo estructuró en los siete capítulos siguientes. I) Instrumentos de observación, II) Tipos de observaciones, III) Cálculo de la hora local, a partir del sol o de las estrellas, IV) Longitudes del Sol y la Luna, V) reducción de las distancias observadas al centro, a partir de los semidiámetros del Sol y la Luna, VI) Cálculo de la diferencia de longitudes entre el Sol y la Luna, o de las estrellas al centro de la Luna, VII) Determinación de la verdadera longitud del barco. Para facilitar los correspondientes cálculos se acompañó la obra de una serie de apéndices y tablas.



THE

British MARINER'S GUIDE.

CONTAINING,

Complete and Easy Instructions

FOR THE

Discovery of the LONGITUDE at Sea and Land, within a Degree, by Observations of the Distance of the Moon from the Sun and Stars, taken with HADLEY's Quadrant.

To which are added,

An APPENDIX, containing a Variety of interesting Rules and Directions, tending to the Improvement of Practical Navigation in general.

And a Set of correct

ASTRONOMICAL TABLES.

By NEVIL MASKELYNE, A.M.

Fellow of TRINITY COLLEGE, CAMBRIDGE, and of the ROYAL SOCIETY.

LONDON:

PRINTED for the AUTHOR;

And Sold by J. NOURSE, in the Strand; Meff. MOUNT and PAGE, on Tower-Hill; and Meff. HAWES, CLARKE, and COLLINS, in Pater-Noster-Row.

M DCC LXIII.

APPENDIX,

Containing ſome additional Rules, ſerving to find the Moon's right Aſcenſion and Declination, and thence to compute her Altitude; as alſo to compute the Altitude of the Star, ſuppoſing they were not obſerved: and alſo a particular Problem for finding the Longitude from three cotemporary Obſervations only.

AS it may ſometimes happen, though very rarely, that, at the obſervation of the diſtance of the moon from the ſtar, the altitude of the ſtar, and even that of the moon, cannot be taken with ſufficient certainty, I ſhall here ſubjoin the method of computing them.

In order to this it is neceſſary firſt to know their right aſcenſions and declinations, and alſo the right aſcenſion of the ſun at the time. The right aſcenſions and declinations of all the principal ſtars are contained in the table, page 2 and 3; the right aſcenſion of the ſun is to be found from his longitude, by table page 27 and 28. I now proceed to ſhew how the right aſcenſion and declination of the moon may be readily found with ſufficient exactneſs.

The Longitude and Latitude of the Moon being given, to find the Right Aſcenſion and Declination.

This may be done very expeditiouſly from Halley's or Senex's map of the zodiac, or any map of the like kind, containing circles of latitude with their parallels, and circles of declinations with their parallels; or even by a large globe, accurately conſtructed. But leſt the obſerver ſhould be unprovided with theſe helps, I offer him the two following eaſy

TABLES for finding the Longitude by Sea and Land.

A Table of the Depreſſion or Dip of the Horiſon of the Sea for different Elevations of the Eye above the Surface.

Elevation of the Eye above the Sea in Feet.	Depreſſion of the Horiſon of the Sea in Minutes.
1	1
4	2
10	3
17	4
27	5
39	6
53	7
69	8

A Table ſhewing how many Minutes the Water's Edge at any Land at a given Diſtance is depreſſed below the true Level for different Elevations of the Eye above the Surface of the Water.

Diſtance of the Land in Sea Miles.	Elevation of the Eye above the ſurface of the water in feet			
	10 F.	17 F.	27 F.	39 F.
	Depreſſion of the Land at the Water's Edge below the true Level in Minutes.			
¼	22	38	61	88
½	11	19	30	44
¾	8	13	20	29
1	6	10	15	22
1¼	5	8	12	18
1½	4	7	11	15
2	3	5	8	12
2½	3	5	7	10
3	3	4	6	8
3½	3	4	6	7
4	3	4	5	7
5	3	4	5	6
6	3	4	5	6

A Table of the Refraction of the Heavenly Bodies at different Altitudes.

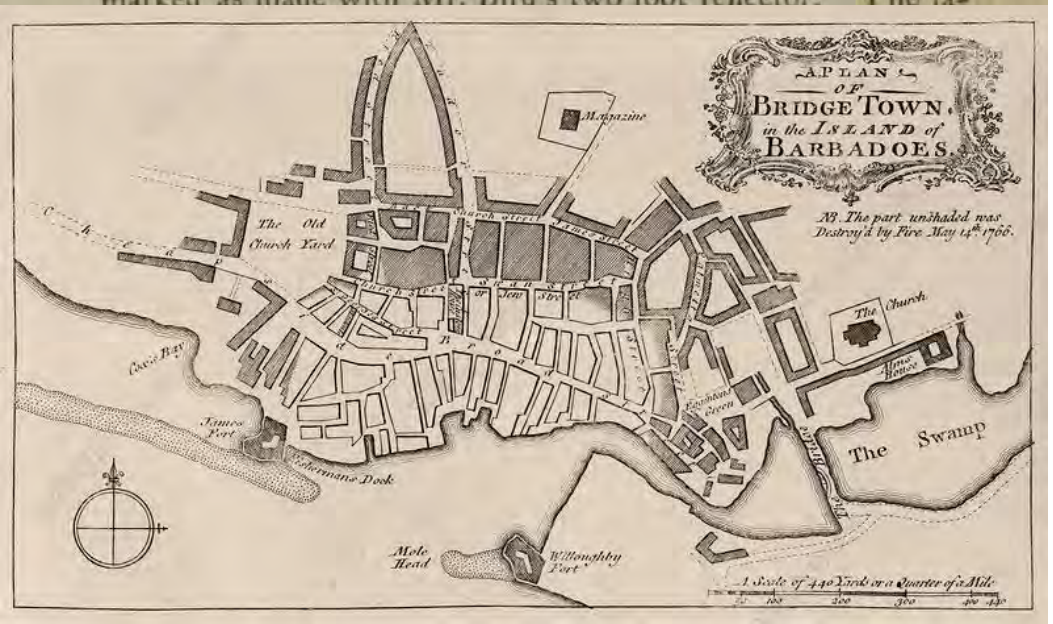
Apparent Altitude.	Refraction in Minutes.
° ′	′
0. 0	33
0. 4	32
0. 12	31
0. 19	30
0. 27	29
0. 33	28
0. 40	27
0. 48	26
0. 56	25
1. 4	24
1. 13	23
1. 22	22
1. 32	21
1. 43	20
1. 55	19
2. 7	18
2. 21	17
2. 36	16
2. 53	15
3. 11	14
3. 32	13
3. 56	12
4. 24	11
4. 56	10
5. 36	9
6. 22	8
7. 23	7
8. 42	6
10. 30	5
13. 10	4
17. 28	3
25. 20	2
43. 34	1
51. 40	0¾
62. 20	0½
75. 13	0¼
90. 0	0

PHILOSOPICAL TRANSACTIONS

LIX. *Aſtronomical Obſervations made at the Iſland of* Barbados; *at* Willoughby Fort; *and at the Obſervatory on* Conſtitution Hill, *both adjoining to* Bridge Town. *By* Nevil Maſkelyne, *A. M. Fellow of* Trinity College, Cambridge, *and F. R. S.*

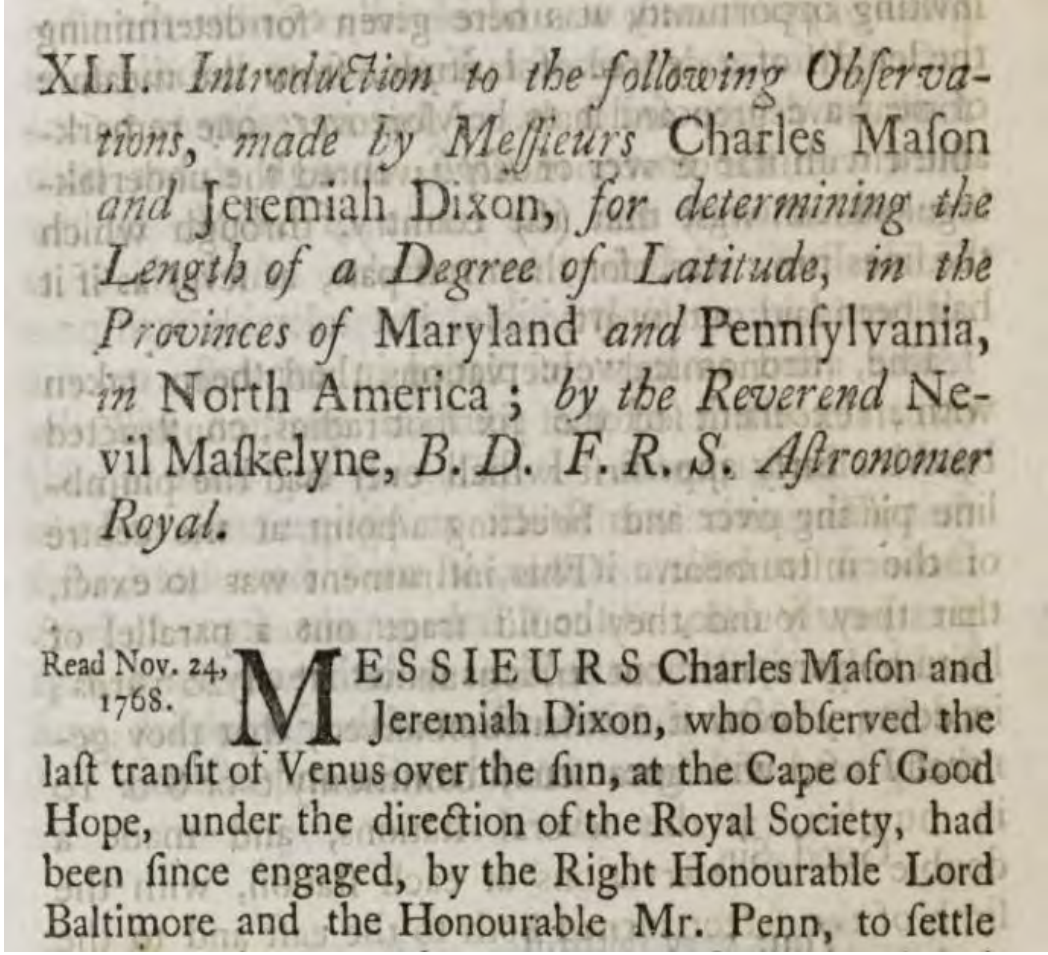
[Read December 20, 1764.]

N. B. All the obſervations of the firſt ſatellite of Jupiter were made with a two foot reflector made by Mr. Bird, having an aperture of 3 $\frac{8}{10}$ inches in diameter, except where they are marked as made with my 18 inch reflector made by Mr. Short, having an aperture of four inches and an half in diameter. And the eclipſes of the other ſatellites were all obſerved with the 18 inch teleſcope, except a few marked as made with Mr. Bird's two foot reflector. The la-



Ese mismo año viajó Maskelyne a Barbados, con la intención de comprobar de nuevo la exactitud del cronómetro H4 construido por J. Harrison; cumpliendo así el encargo que le habían hecho los comisionados para el descubrimiento de la longitud en el mar (popularmente conocidos como *Board of Longitude*). Para ello debía calcular la longitud por métodos exclusivamente astronómicos: observando las emersiones y ocultaciones de los satélites de Júpiter y a partir de las distancias lunares; para comparar sus resultados con las lecturas cronométricas. El astrónomo llegó a su destino el 7 de noviembre y el hijo de Harrison, con el reloj H4 el 13 de mayo de 1764; oponiéndose este a la participación del astrónomo por considerar que este defendería siempre su método de las distancias lunares. Al final se llegó a una solución de compromiso y se efectuaron los ensayos. Los resultados probaron que la incertidumbre del cronómetro era tres veces menor que la obtenida por vía astronómica. A su regreso presentó Maskelyne el informe generalmente favorable a Harrison, adoptando la Junta la decisión salomónica de aprobar tanto el H4 como las distancias lunares. Harrison mostró de inmediato su desacuerdo, insistiendo en la parcialidad del astrónomo; la controversia entre ambos los acompañó siempre, máxime raíz de que Maskelyne fuese nombrado astrónomo real en 1765.

Maskelyne también estuvo interesado en la geodesia geométrica, así lo demostró cuando publicó en las *Philosophical Transcations* de la *Royal Society* (1768) un resumen dre los trabajos que habían efectuado en Norteamérica el astrónomo Charles Mason y el topógrafo Jeremias Dixon, en el periodo 1763-1767. El objeto de los mismos fue el replanteo y monumentalización del límite de las propiedades de los honorables Lord Baltimore y Penn, sensiblemente coincidente con la frontera entre las provincias de Maryland y Pennsilvania. En el transcurso de aquella operación midieron asimismo el desarrollo de un grado de meridiano, entre ambas provincias, apoyándose en una triangulación y en una serie numerosa de observaciones astronómicas. Maskelyne recordaba que uno de los instrumentos más destacados fue el sector de seis pies que había construido J. Bird. Las distancias fueron medidas con cadenas, frecuentemente contrastadas con una regla de cinco pies que les había cedido la *Royal Society*, la cual avaló científicamente el proyecto. Curiosamente en el mismo ejemplar de la revista (*P.T.*) se publicó también el artículo *Obfervations 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*; con un anexo del astrónomo real fijando el desarrollo del grado en 56888 toesas, a una latitud media de 39º 12´. Se da la circunstancia de que Maskelyne había coincidido con ellos en la Isla de Santa Elena y que Mason, cuando regresó de América, colaboró con él en la confección del almanaque náutico; aunque en el año 1786 decidió regresar al nuevo mundo.



XLI. *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.*

Read Nov. 24, 1768.

MESSIEURS Charles Maſon and Jeremiah Dixon, who obſerved the laſt tranſit of Venus over the ſun, at the Cape of Good Hope, under the direction of the Royal Society, had been ſince engaged, by the Right Honourable Lord Baltimore and the Honourable Mr. Penn, to ſettle

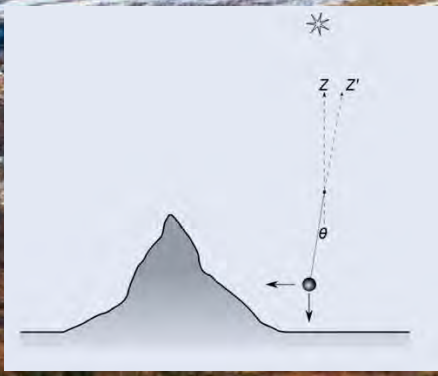
Con él se hicieron las observaciones astronómicas en la montaña Schiehallion, para calcular la densidad de la Tierra

Uno de los experimentos más sobresalientes en la historia de las ciencias, fue el realizado en Escocia para medir la densidad de la tierra. El promotor del mismo fue precisamente N. Maskelyne, el cual hizo su propuesta a la Royal Society en el año 1772: *A proposal for measuring the attraction of some hill in this kingdom by astronomical observations*. Una vez aceptada por esa institución se creó la comisión responsable del mismo, de la que formaron parte, además de Maskelyne, Joseph Banks y Benjamín Franklin; la cual dispuso que el astrónomo Charles Mason fuese el encargado de buscar la montaña más adecuada. Tras el oportuno reconocimiento, resultó elegida Schiehallion, en las Tierras Altas de Escocia. Dicha elevación presentaba la ventaja de tener un eje de simetría muy bien definido en la dirección Este Oeste, y la de estar aislada de las colinas circundantes, evitándose así posibles e indeseables perturbaciones gravitacionales. Los instrumentos matemáticos con que se realizarían las observaciones astronómicas fueron un cuadrante de 30 cm, un sector cenital de Sisson de 3m, además de un reloj de péndulo fiable para fijar la hora local en la que se divisaba una estrella dada; para los trabajos topográficos complementarios (levantamiento altimétrico de la montaña), contarían con un

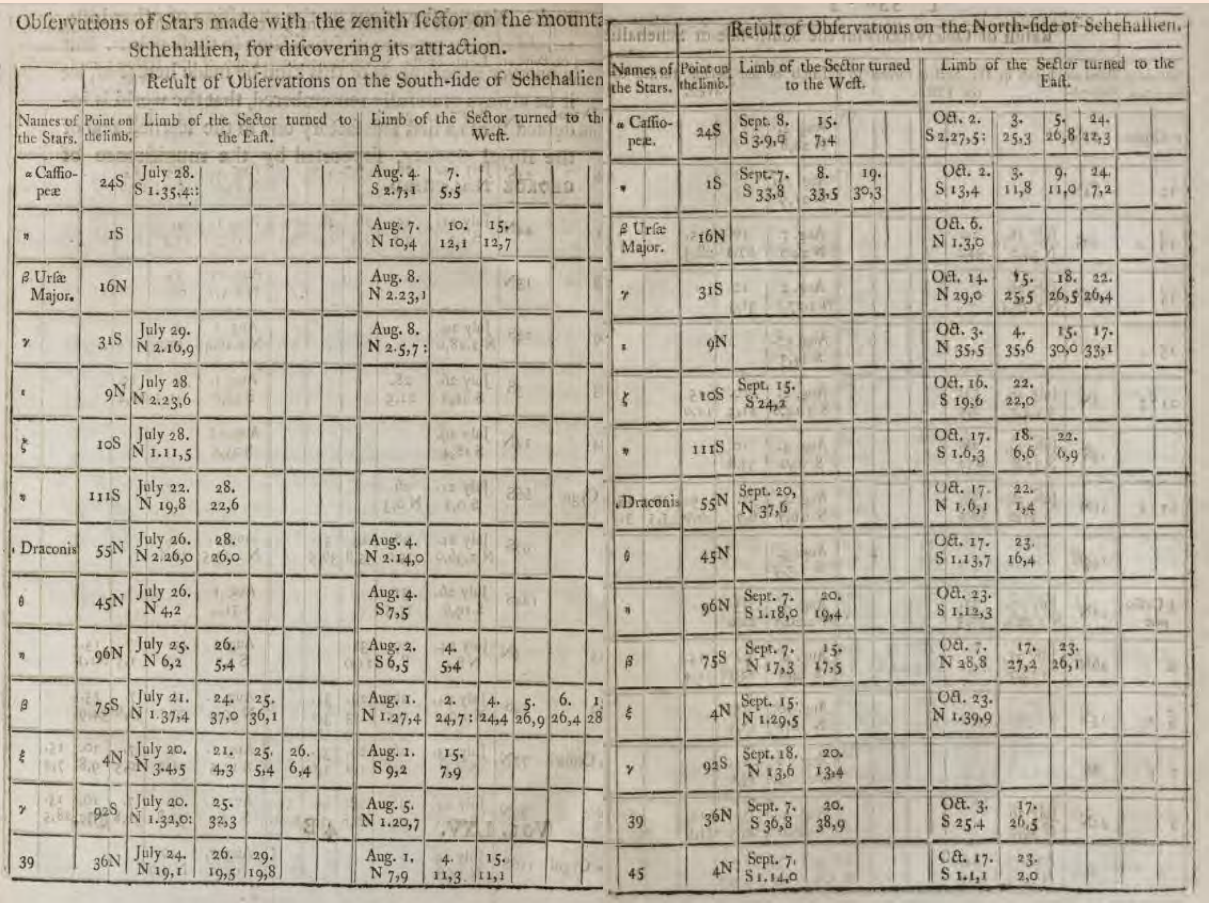
SCHIEHALLION

Schiehallion

La desviación de la vertical es el ángulo Θ, formado por la dirección del cenit real y el aparente



Distancias cenitales medidas en la estación meridional (i) y septentrional (d)



Observations of Stars made with the zenith sector on the mountain Schehallien, for discovering its attraction.

Result of Observations on the South-side of Schehallien

Names of the Stars.	Point on the limb.	Limb of the Sector turned to the East.				Limb of the Sector turned to the West.					
α Cassiopeæ	24S	July 28. S 1.35,4:				Aug. 4. S 2,7,1	7. 5,5				
π	1S					Aug. 7. N 10,4	10. 12,1	15. 12,7			
β Urſæ Major.	16N					Aug. 8. N 2.23,1					
γ	31S	July 29. N 2.16,9				Aug. 8. N 2.5,7:					
ι	9N	July 28 N 2.23,6									
ζ	10S	July 28. N 1.11,5									
π	111S	July 22. N 19,8	28. 22,6								
ι Draconis	55N	July 26. N 2.26,0	28. 26,0			Aug. 4. N 2.14,0					
θ	45N	July 26. N 4,2				Aug. 4. S 7,5					
π	96N	July 25. N 6,2	26. 5,4			Aug. 2. S 6,5	4. 5,4				
β	75S	July 21. N 1.37,4	24. 37,0	25. 36,1		Aug. 1. N 1.27,4	2. 24,7:	4. 24,4	5. 26,9	6. 26,4	1 28
ξ	4N	July 20. N 3.4,5	21. 4,3	25. 5,4	26. 6,4	Aug. 1. S 9,2	15. 7,9				
γ	92S	July 20. N 1.32,0:	25. 32,3			Aug. 5. N 1.20,7					
39	36N	July 24. N 19,1	26. 19,5	29. 19,8		Aug. 1. N 7,9	4. 11,3	15. 11,1			

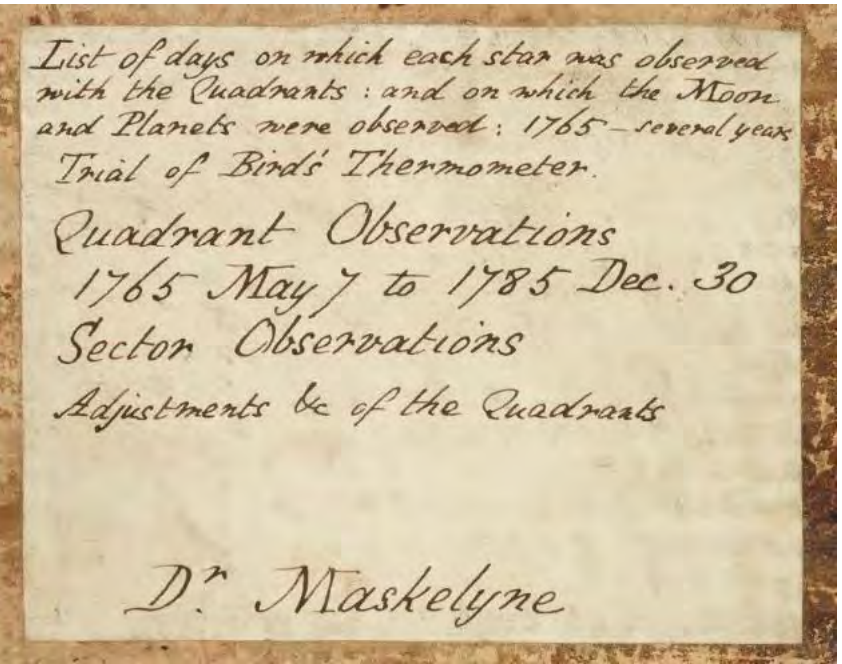
Result of Observations on the North-side of Schehallien.

Names of the Stars.	Point on the limb.	Limb of the Sector turned to the West.			Limb of the Sector turned to the East.					
α Cassiopeæ	24S	Sept. 8. S 3,9,9	15. 7,4		Oct. 2. S 2,27,5:	3. 25,3	5. 26,8	24. 22,3		
π	1S	Sept. 7. S 33,8	8. 33,5	19. 30,3	Oct. 2. S 13,4	3. 11,8	9. 11,0	24. 7,2		
β Urſæ Major.	16N				Oct. 6. N 1.3,0					
γ	31S				Oct. 14. N 29,0	15. 25,5	18. 26,5	22. 26,4		
ι	9N				Oct. 3. N 35,5	4. 35,6	15. 30,0	17. 33,1		
ζ	10S	Sept. 15. S 24,2			Oct. 16. S 19,6	22. 22,0				
π	111S				Oct. 17. S 1.6,3	18. 6,6	22. 0,9			
ι Draconis	55N	Sept. 20. N 37,6			Oct. 17. N 1.6,1	22. 1,4				
θ	45N				Oct. 17. S 1.13,7	23. 16,4				
π	96N	Sept. 7. S 1.18,0	20. 19,4		Oct. 23. S 1,12,3					
β	75S	Sept. 7. N 17,3	15. 17,5		Oct. 7. N 28,8	17. 27,2	23. 26,1			
ξ	4N	Sept. 15. N 1.29,5			Oct. 23. N 1.39,9					
γ	92S	Sept. 18. N 13,6	20. 13,4							
39	36N	Sept. 7. S 36,8	20. 38,9		Oct. 3. S 25,4	17. 26,5				
45	4N	Sept. 7. S 1.14,0			Oct. 17. S 1.1,1	23. 2,0				

teodolito y una cadena de Gunter, así como con un par de barómetros para hallar la altitud. La base del experimento era muy simple, analizar las desviaciones de la vertical inducidas por la atracción ejercida sobre la línea de la plomada por la referida montaña. Las observaciones astronómicas, básicamente la medida de las distancias cenitales de las estrellas en el instante de su culminación, se realizaron desde dos estaciones, sitas a ambos lados de la colina: Norte y Sur. Procesados todos los datos de campo y analizadas las ligeras diferencias entre las distancias cenitales de ciertas estrellas , medidas desde las dos estaciones, y teniendo en cuenta también el efecto de las discrepancias presentadas con las latitudes obtenidas por procedimientos exclusivamente geodésicos (triangulación envolvente de la montaña), se llegó a la conclusión de que la suma de las desviaciones de la vertical, producida por las dos atracciones contrarias, era del orden de los 11´´.7. Como las observaciones astronómicas finalizaron cuando aún no se había ultimado el levantamiento topográfico completo de la zona, fue imposible calcular la densidad absoluta de la montaña y por ende la de la Tierra, de manera que Maskelyne solo pudo expresar la segunda en términos relativos; aventurando que el límite inferior de la misma debería ser de 4.5, ya que era muy usual la tesis de que la densidad de las rocas más duras era 2.5 veces la del agua. En el informe que presentó a la *Royal Society* (*An account of observations made on the mountain Schehallien for finding its attraction* (*Philosophical Transactions*. 1775) señaló que «the mean

density of the earth is at least doublé of That at surface, and consequently that the density of the internal parts is much greater tan near the surface». Un resultado radicalmente distinto al que preconizaban las teorías al uso sobre la estructura interna de la Tierra, en las que se contemplaba la existencia de una gran cavidad de carácter global en la que imperaba el vacío. En atención a este experimento, la *Royal Society* le concedió a Maskelyne, en ese año 1775, la prestigiosa medalla Copley, que ya obraba en poder de J. Harrison desde 1749.

Hasta ahora se han calificado de relevantes las actividades de Maskelyne, aunque so se haya referido todavía la más trascendental de todas ellas. Así debe considerarse la que desarrolló como astrónomo real en el Observatorio de Greenwich, durante el periodo comprendido entre los años 1765 y 1786;


List of days on which each star was observed with the Quadrants: and on which the Moon and Planets were observed: 1765 – several years
Trial of Bird's Thermometer.
Quadrant Observations
1765 May 7 to 1785 Dec. 30
Sector Observations
Adjustments &c of the Quadrants
Dr Maskelyne

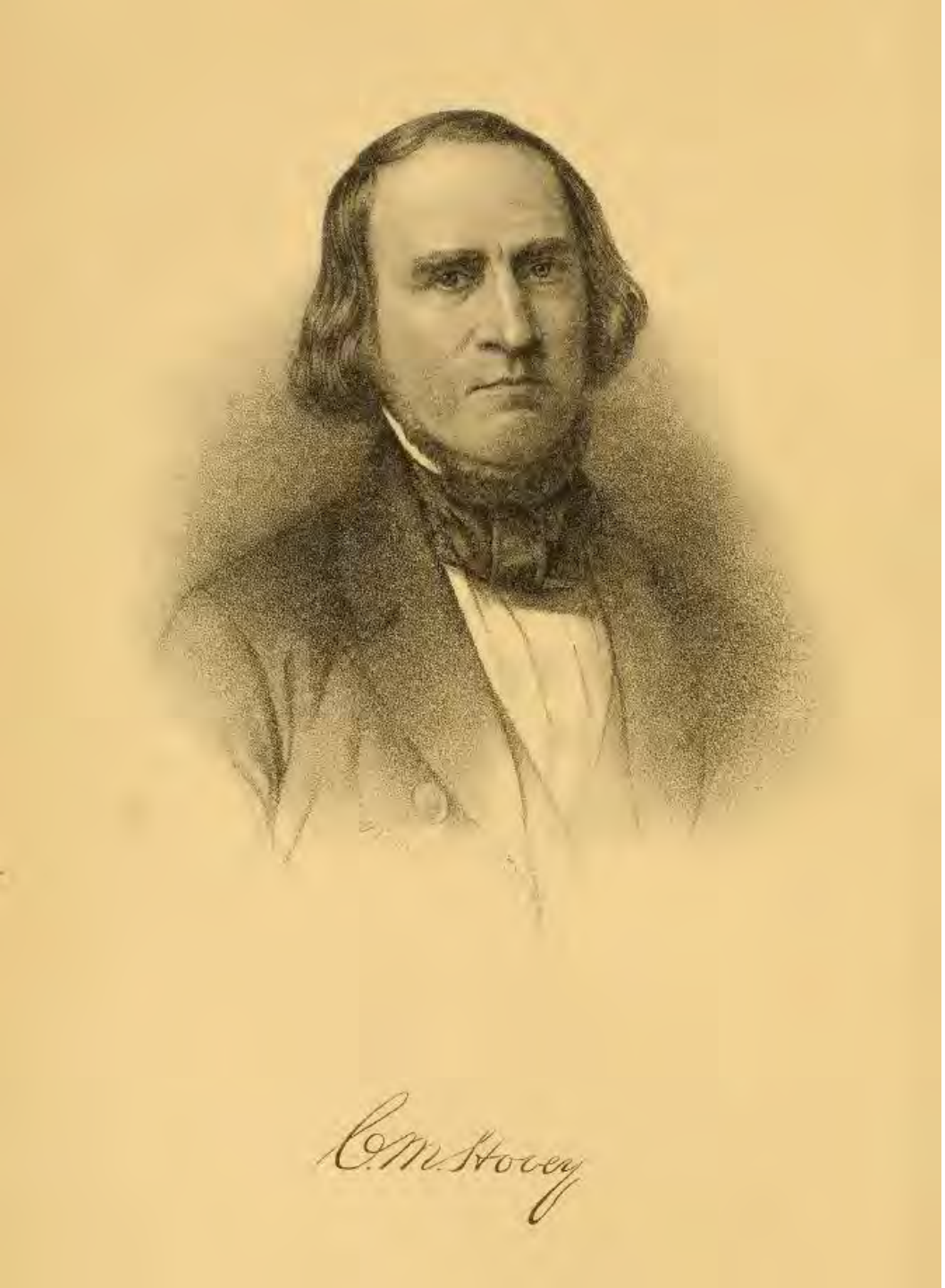
afortunadamente se conserva la misma en la biblioteca de la Universidad de Cambridge, en el legajo cuya portada se presenta junto a estas líneas (*Quadrant and zenith sector observations. RGO 4/28*). En él se recogen las observaciones meridianas efectuadas durante su mandato, con dos instrumentos: el cuadrante mural y el anteojo de pasos, con el primero se media la altura de la estrella en el momento de su

culminación (es decir al pasar por el meridiano), mientras que el segundo, junto a un reloj de péndulo, se usaba para registrar la hora exacta en que se producía el paso por el meridiano. Cuando Maskelyne fue nombrado astrónomo real, en 1765, había dos cuadrantes murales de 8 pies, uno orientado hacia el norte y otro hacia el sur, y un instrumento de pasos de 8 pies; los tres habían sido ideados por John Bird, y todos se basaban en los diseños de George Graham, el instrumentista inglés más celebrado del siglo XVIII. Para mejorar los resultados obtenidos , instaló Maskelyne un sector cenital de doce pies y medio de altura, con el que pudo calibrar los cuadrantes murales.

Cuadrante mural
(1750)

Anteojo de pasos
≈ 1749

Sector cenital
1727



Charles Mason (1730-1787)

Astrónomo inglés que observó varios tránsitos deal planeta venus, midió el arco de un grado de meridiano en América del Norte, junto al topógrafo J. Dixon, estuvo destinado en el Observatorio de Greenwich, en donde fue segundo asistente de james Bradley, y eligió la montaña escocesa de Schiehallion para que se midiera en ella la densidad de la Tierra. Poco es sabido de la vida de Mason, antes de llegar al observatorio, aunque parece que procedía de la misma localidad que la segunda esposa de Bradley. Se cree que Robert Stratford fue el maestro que le enseñó las primeras nociones de matemáticas en la localidad de Sapperton. La primera observación que realizó en Greenwich fue en octubre de 1756 y la última en noviembre de 1760. Entre sus mejores aportaciones figura su colaboración con Tobías Mayer en la confección de sus tablas solares y lunares, las cuales fueron presentadas a la Junta de Longitud (*The Board of longitude*) en 1757. Su estancia en el observatorio finalizó en 1760, cuando siguiendo la recomendación de Bradley, fue seleccionado por la *Royal Society* para observar, junto a J. Dixon, el tránsito de Venus desde Sumatra, que tendría lugar en el año 1761.

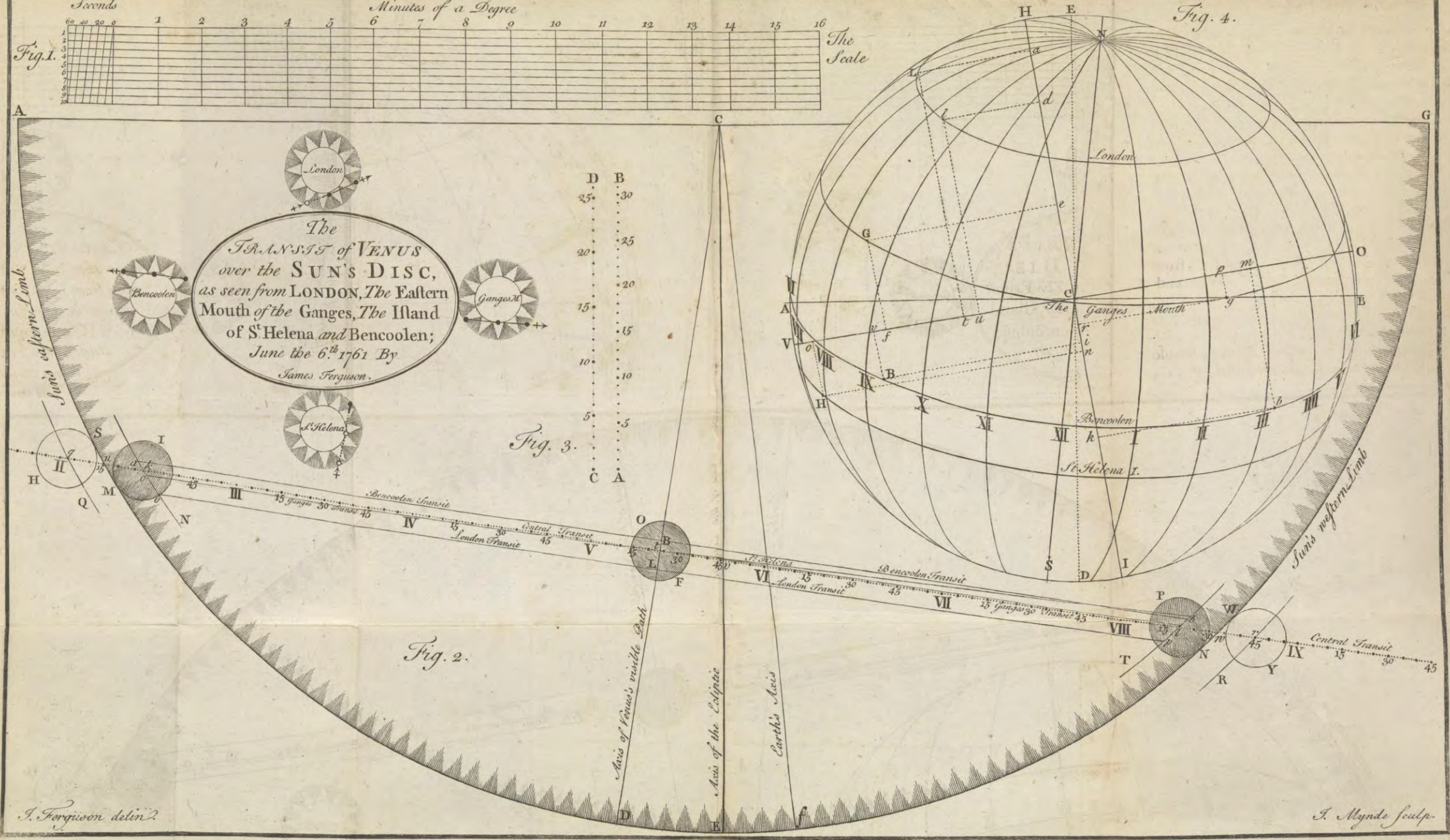
Fig. 1.

The TRANSIT of VENUS over the SUN's DISC, as seen from LONDON, The Eastern Mouth of the Ganges, The Island of St. Helena and Bencoolen; June the 6th 1761 By James Ferguson.

Fig. 3.

Fig. 4.

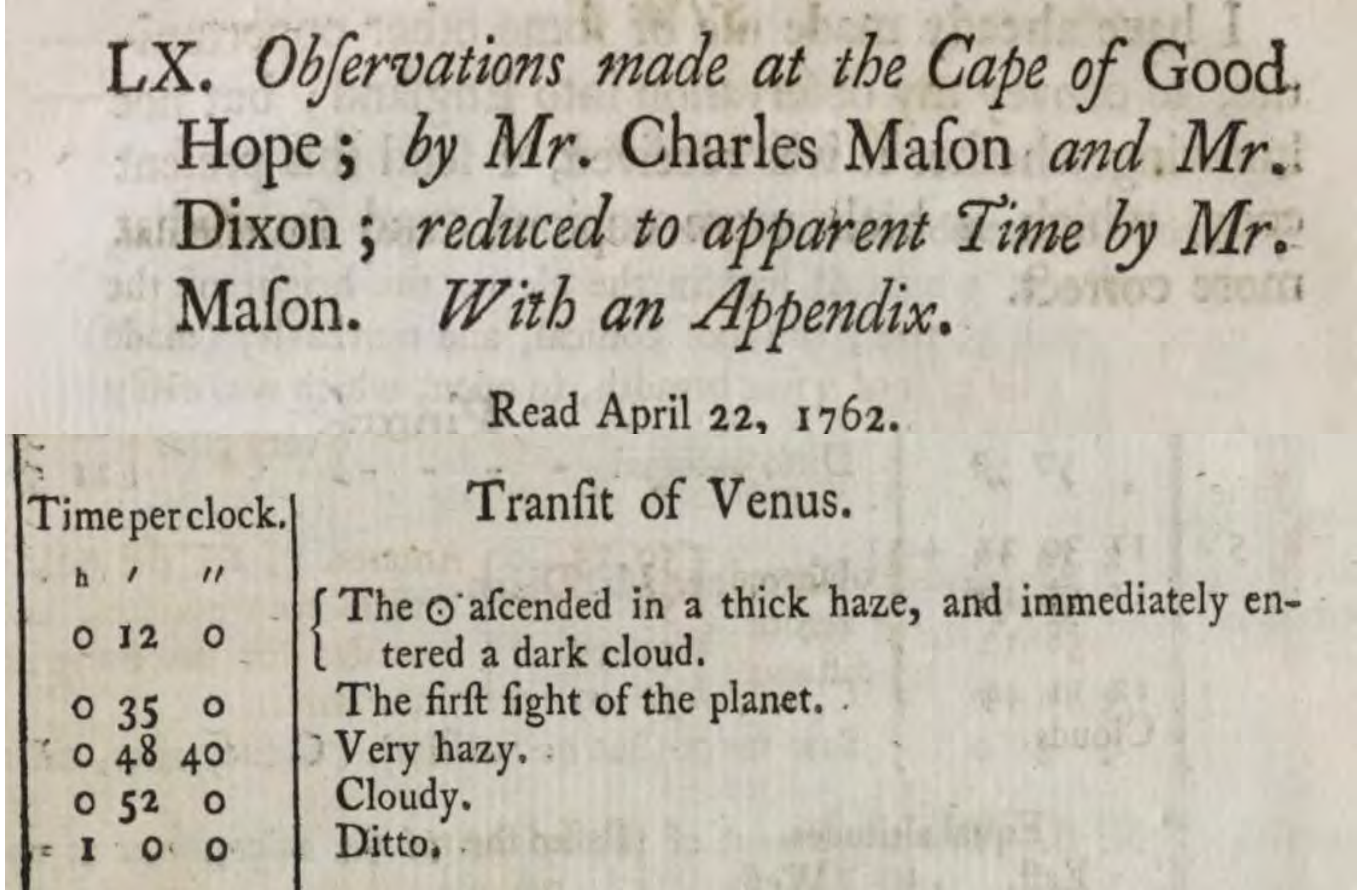
Fig. 2.



J. Fergusson delin.

J. Mynde sculp.

En un principio se pensó en que se observase el tránsito desde la isla de Santa Elena, como ayudante de N. Maskelyne, pero la Royal Society decidió sustituirlo por Robert Waddington y enviarlo, junto a J. Dixon, a Bencoolen en Sumatra. A finales de noviembre de 1760 se cargaron los instrumentos en Porthsmouth (en el HMS Sea-Horse), zarpando los expedicionarios a principios del mes de enero; el tránsito estaba previsto para el 6 de junio de 1761. La guerra con Francia hizo que el buque fuese atacado el 12 de enero y tuviese que volver al puerto para ser reparado; volviendo a hacerse a la mar, alcanzando las costas de Sudáfrica (Table Bay) el 27 de abril. Ante la imposibilidad de llegar a Sumatra con tiempo para efectuar la observación, Mason y Dixon optaron estacionar sus instrumentos en el cabo de Buena Esperanza, logrando así el objetivo previsto. De regreso a Inglaterra, Mason se unió a Maskelyne en Santa Elena para colaborar en una serie de mediciones de las mareas y de la gravedad, llegando finalmente a Inglaterra el 7 de abril de 1762. Los resultados de las observaciones practicadas en Ciudad del Cabo se publicaron en las *Philosophical Transactions* (Volumen 52. 31 de diciembre de 1761): *Observations made at the Cape of Good Hope; by Mr. Charles Mason and Mr. Dixon; reduced to apparent time by Mr. Mason. With an appendix*. Al final de su exposición concretaron los instrumentos empleados: dos telescopios reflectores , con una distancia focal de 2 pies y 120 aumentos, construidos por Short; un cuadrante de un pie de radio, fabricado por Bird; y un reloj astronómico de Ellicott.



LX. *Observations made at the Cape of* Good Hope; *by Mr.* Charles Mason *and Mr.* Dixon; *reduced to apparent Time by Mr.* Mason. *With an Appendix.*

Read April 22, 1762.

Transit of Venus.

Time per clock. h ′ ″	
0 12 0	The ⊙ ascended in a thick haze, and immediately entered a dark cloud.
0 35 0	The first sight of the planet.
0 48 40	Very hazy.
0 52 0	Cloudy.
1 0 0	Ditto.

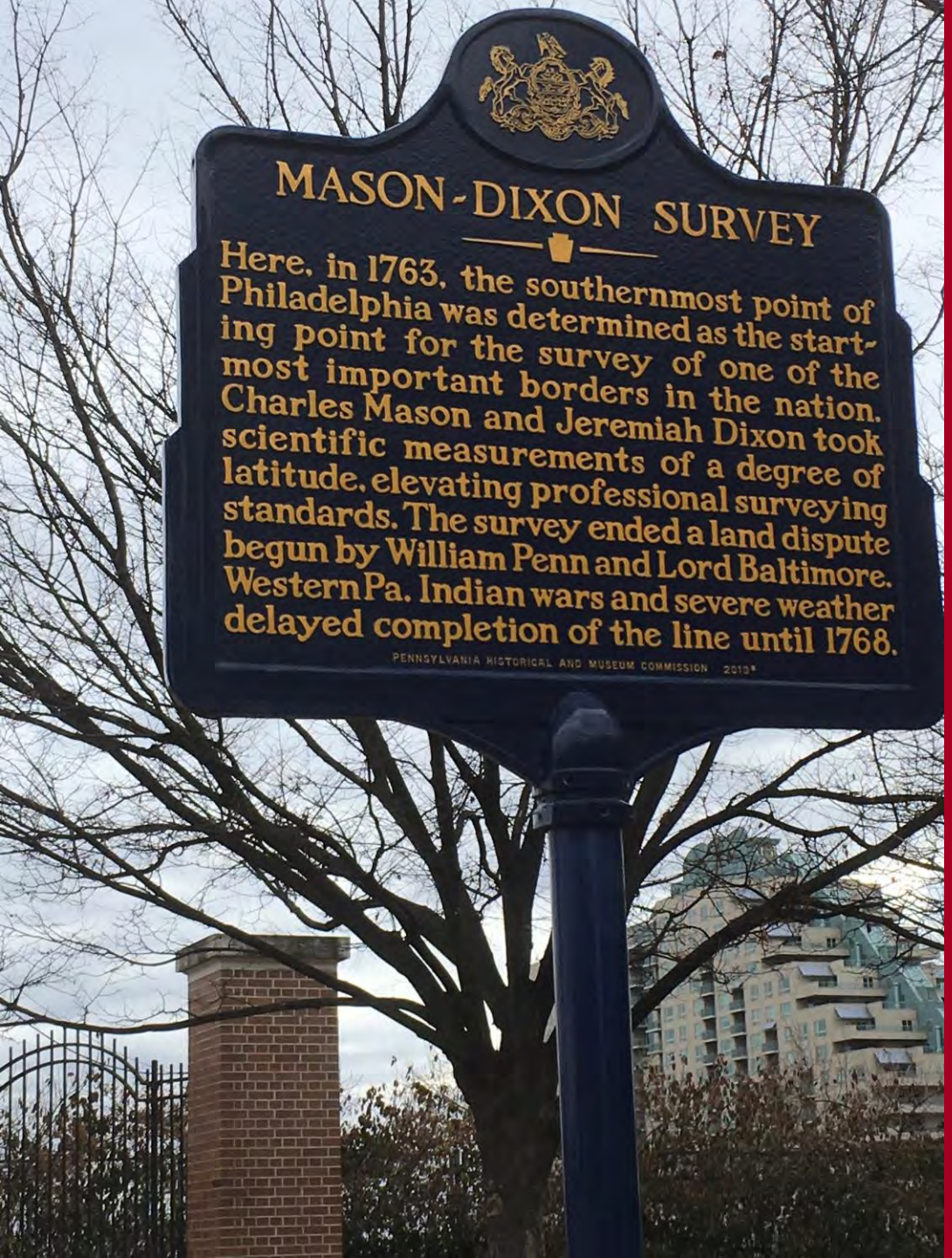
Fresco de Ford Madox Brown. *Manchester Art Gallery*

El Apéndice dio cuenta de las observaciones de los satélites de Júpiter, que se habían hecho en Greenwich durante el verano de 1761, usando un reflector de 2 pies de distancia focal y 95 aumentos. Incorporado al Observatorio, Mason reanudó el trabajo sobre las tablas lunares y el relativo a un catálogo de estrellas que acabó imprimiéndose en el Almanaque Náutico para el año 1773.

Finalizado este, emprendió un viaje a América, donde, junto con Dixon, ayudó a establecer la frontera entre los estados de Pensilvania y Maryland (más tarde conocida como la línea Mason-Dixon); aunque luego medirían también un grado de latitud para la *Royal Society*. A principios del verano de 1763, Mason y Dixon fueron llamados a Londres, para contactar con los propietarios de los territorios involucrados, siendo contratados para emprender el levantamiento. Cuando desembarcaron en Filadelfia en noviembre de 1763, llevaban consigo los siguientes instrumentos: un sector cenital de seis pies de radio, dos telescopios reflectores, dos anteojos de pasos, un cuadrante de Halley, relojes y tablas astronómicas, varias cadenas de Gunter de sesenta y seis pies, reglas de madera de diez pies de longitud con extremos metálicos. Para medir las distancias con mayor exactitud disponían de una regla standard metálica, copia del patrón existente en la Torre de Londres, efectuando

las comprobaciones pertinentes una por la mañana y otra por la tarde. La primera determinación fue el cálculo de la latitud del punto más al Sur de Filadelfia, mediante la medida de las distancias cenitales de ocho estrellas en el instante de su culminación; que una vez corregidas permitieron fijarla en 39º 56' 29". 1 N, siendo la siguiente tarea encontrar otro punto al Oeste de igual latitud, pero alejado 31 millas. Fue así como localizaron la granja de John Harlan en el condado de Chester, estableciendo allí su campamento base durante los cuatro años siguientes. Pronto comprobaron que el nuevo observatorio tenía en realidad una latitud 10´´.5 menor que la anterior. Esa nueva estación astronómica fue monumentalizada el 5 de marzo de 1764, siendo respetada en los años siguientes y rodeada por un muro de mampostería en 1908. Ese monumento astronómico y geodésico sería conocido años después como la piedra de los cazadores de estrellas (*The star-gazer's stone*). Cada primavera iniciaban la campaña de campo, dándola por concluida con la llegada del invierno. Al finalizar el otoño de 1767 terminaron todos los trabajos de campo directamente relacionados con la frontera común a los dos terratenientes: Frederick, Lord Baron de Baltimore, dueño de Maryland, junto a Thomas y Richard Penn, los dos hermanos dueños de Pennsylvania.

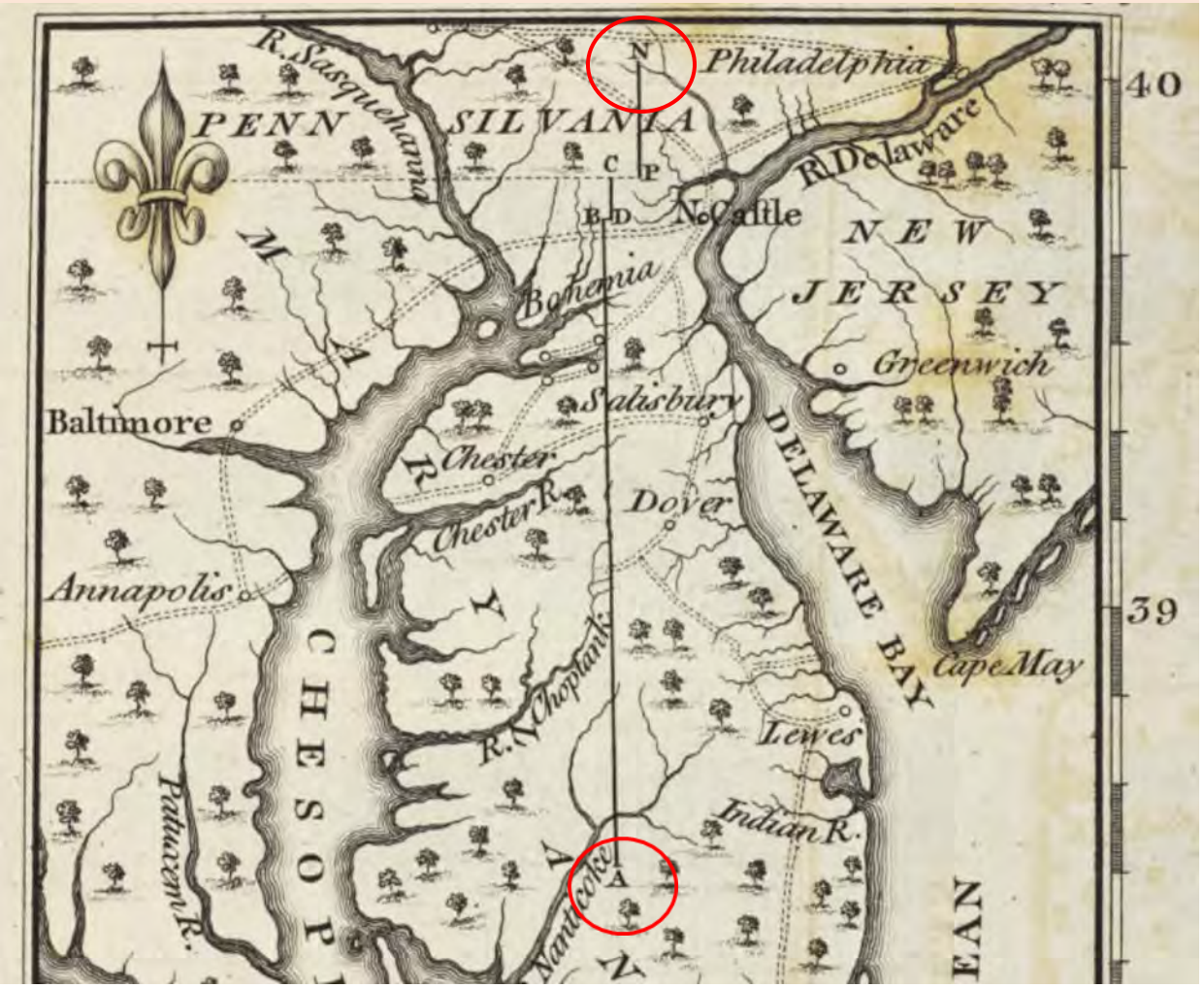
Sin restar importancia a las operaciones anteriores, la contribución geodésica de mayor peso de Mason y Dixon fue



Placa que recuerda el punto en donde se hicieron las primeras observaciones astronómicas.

Placa colocada en el muro circundante de la estación colocada en la granja de John Harlan.

A es el llamado Punto Medio, extremo meridional del arco de meridiano medido, N es el extremo septentrional, localizado en la granja de Harlan.



la medida de un grado de meridiano; aunque en un principio pensaran en medir un grado de longitud a lo largo del paralelo de Filadelfia, así se lo hizo saber Dixon a John Bird en carta del 28 de junio de 1764. La propuesta fue considerada en la Royal Society en el mes de octubre, con la particularidad de que sería financiada por los hermanos Penn; sin embargo, al final no se hizo efectiva. La situación cambió a comienzos del año 1765, coincidiendo con el nombramiento de Maskelyne como astrónomo real, ya que los dos geodestas le escribieron felicitándolo el 20 de junio y proponiéndole la ejecución de dos proyectos. Uno fue el de la medida del grado de paralelo ya citado, en el que se calcularían las longitudes de sus extremos observando los eclipses de los satélites de Júpiter. El segundo proyecto preveía la medida de un arco de meridiano, siendo su extremo meridional el llamado Punto Medio y el septentrional la estación situada en la granja de Harlan; la amplitud angular sería la diferencia de las latitudes de tales puntos, obteniéndose su desarrollo lineal a partir del levantamiento topográfico ya efectuado. Maskelyne avaló el proyecto y les remitió una detallada carta, fechada el 8 de noviembre de 1765, con las prescripciones técnicas que deberían tener en cuenta. Como instrumentos adicionales, contaron con un patrón metálico de cinco pies de longitud y cuatro reglas de abeto con punta de latón, fabricadas por Bird; para nivelarlas dispusieron de un nivel de burbuja y de los

necesarios termómetros. La latitud del Punto Medio fue determinada durante el mes de octubre de 1766, observando las mismas estrellas visadas, en la primera estación al Sur de Filadelfia, con el sector cenital de Bird. A comienzos de diciembre, Mason y Dixon se instalaron en su cuartel de la granja, comprobando nuevamente el valor de la latitud de la estación con el sector cenital y obteniendo su longitud anotando las horas locales en que se produjeron los eclipses de los satélites de Júpiter. A partir de entonces, se iniciaron unas interesantes medidas que no han sido divulgadas como cabría esperar, en tanto que con ellas se inició la gravimetría en Norteamérica. La estación se situó en su cuartel de invierno, junto a las bifurcaciones del río Brandiwine, 31 millas al Oeste y 10¨.5 al Sur del punto más meridional de la ciudad de Filadelfia. El fin pretendido fue el estudio de la marcha del reloj enviado por la *Royal Society* con la pretensión de obtener la diferencia entre los valores de la intensidad de la gravedad en dicha estación y en el Observatorio de Greenwich. El calendario observacional fue el siguiente: del 24 al 31 de diciembre de 1766, todos los días de enero y febrero de 1767, entre los días 1 y 18 de marzo, terminándolas durante el periodo comprendido entre los días 4 y 10 de junio. Es posible que la validez de los resultados obtenidos no fuera la esperada, puesto que en el diario de operaciones se comenta que el muelle de suspensión del péndulo se había roto durante el traslado en barco, de ahí que no pudiesen asegurar que su estado fuese idéntico al que había ajustado por N. Maskelyne: «we cannot be certain that the pendulum is now of the same length as it was when sent from London».

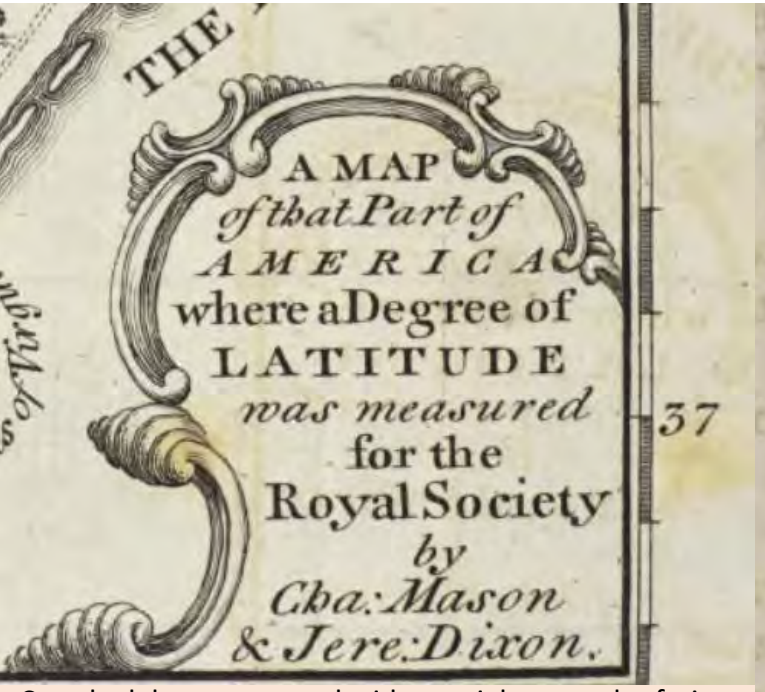
MONUMENTO GEODÉSICO
DEL PUNTO MEDIO

Durante el verano y otoño de 1767, siguieron replanteando el arco de paralelo que serviría de límite a las dos provincias, dándolo por finalizado en enero de 1768, a partir de entonces se dedicaron a completar la medida del grado de meridiano, finalizándola en la primavera de ese mismo año. Finalmente, el día 11 de septiembre zarparon de Nueva York rumbo a Inglaterra.

Anteojo de pasos. El único instrumento que se conserva de los usados por Mason y Dixon

Los dos geodestas hicieron públicos sus mediciones geodésicas en la revista *Philosophical Transactions* del año 1768, justamente en los dos artículos siguientes: XLII) *Observations for determining the Length of a Degree of latitude,in the Provinces of Maryland and Pennsylvania, in North America* y *XLIII) 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 Cloc kwas 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*. Ambos fueron refrendados por el astrónomo real Maskelyne, de hecho, él mismo los presentó en el artículo XLI) *Introduction to the following Observations, made by messsieurs Charles Mason and Jeremiah Dixon, for determining the length of a degree of Latitude, in the Provinces of Maryland and Pennsylvania, in North America.* Asimismo, firmó el apéndice y el epílogo con el que concluyó el artículo XLII, el propósito del primero fue explicar con detalle el procedimiento seguido para calcular el desarrollo del

grado; iluminándolo con un magnífico mapa centrado en el arco medido y cifrando dicho desarrollo en 56904 ½ toesas. El contenido del epílogo fue esencialmente metrológico, relacionando las unidades de medida francesas e inglesas, incorporando al final del mismo una tabla con las medidas de grado más relevantes efectuadas hasta la fecha.


THE

A MAP
of that Part of
AMERICA
where a Degree of
LATITUDE
was measured
for the
Royal Society
by
Cha: Mason
& Jere: Dixon.

37

Cartela del mapa, reproducido parcialmente al referir el Punto Medio.

Length of a degree in Paris toiſes.	Mean latitude.			Names of the obſervers.	Years in which the degrees were meaſured.
57422	66°	20′	N	M. de Maupertuis, &c.	1736 and 1737
57074	49	23	N	M. de Maupertuis, &c. and M. Caſſini	1739 and 1740
57091	47	40	N	P. Lieſganig	1768
57028	45	0	N	M. Caſſini	1739 and 1740
57069	44	44	N	P. Beccaria.	1768
56979	43	0	N	Le Pere Boſcowich and Le Maire	1752
56888	39	12	N	Meſſ. Maſon and Dixon . . .	1764 to 1768
56750	0	0		M. Bouguer and M. de la Condamine	1736 to 1743
57037	33	18	S	Abbé de La Caille	1752

Mason y Dixon llegaron a Inglaterra al concluir el otoño de 1768, y el 15 de diciembre ya fueron invitados por la Royal Society para que se incorporasen al proyecto de la observación del nuevo tránsito de Venus, el cual estaba previsto para el año 1769. Dixon acompañaría a William Bayley, astrónomo asistente de Maskelyne, para divisar el tránsito del planeta desde el cabo Norte, aunque al final acabaría haciéndolo desde la isla de Hammerfest; mientras que el astrónomo si lo observó desde el entono del Cabo. Por su parte, Mason fue enviado a Londonderry,

fijando la estación astronómica en el condado de Donegal, tres millas al Noroeste de Strabane; permaneciendo allí ocho meses, desde el comienzo de la primavera hasta finales del otoño. Los resultados de las observaciones fueron publicados en las Philosophical Transactions: las de Dixon en 1769 y las de Mason en 1770.

Otro de los experimentos en que participó Mason tuvo por objeto medir la densidad de la tierra. La *Royal Society* decidió el 18 de julio de 1773, que el astrónomo se desplazara a Yorkshire, Lancashire y a las Tierras Altas de Escocia, para localizar montañas susceptibles de ser elegidas para estudiar la atracción que ejercían sobre la vertical física; las cuales deberían reunir las siguientes características: «of sufficient heigh tolerably well detached from other hills, and considerably larger from East to West than from North to South». El 27 de enero de 1774 la *Royal Society* seleccionó la montaña escocesa Scheehalion en Perthshire, atendiendo al informe y plano presentado por Mason, el cual, aunque fue invitado a realizar las observaciones posteriores, no aceptó los términos del acuerdo. Al final sería Maskelyne el responsable de la misma, al haberlo decidido así la Royal Society en la reunión celebrada el 5 de mayo de 1774; sus observaciones en aquella colina forman parte de la historia de las

XXXV. *Observations made on the Island of* Hammerfoft, *for the Royal Society. By* Jeremiah Dixon.

A JOURNAL of my OBSERVATIONS at HAMMERFOST.

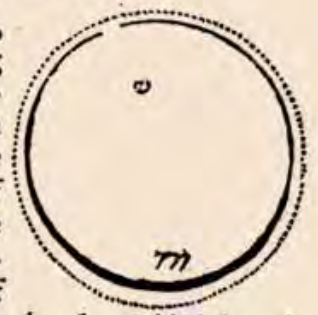
XXXIX. *Aſtronomical Obſervations made at* Cavan, *near* Strabane, *in the County of* Donegal, Ireland, *by Appointment of the Royal Society, by Mr.* Charles Maſon.

Read November 7, 1770.

♄ — 3 | h ′ ″ | h ′ ″ | ° ′

Equal Altitudes of the Sun and Stars.

When the planet was upon the ⊙'s diſk, there appeared a faint light ſhade (having a gentle fluctuating motion) round its periphery, and wideſt on that part fartheſt on the Sun's diſk: it appeared as per fig. the black circle repreſenting the periphery of Venus, and the dotted one that of the ſhade, which was very regular and well defined; *v* the upper, and *m* the lower part of the planet: and the whole ſhade was apparently of equal brightneſs.



14 45 2½
48 38
52 13 :

38 17 | α Lyræ

ciencias, ya que la desviación de la vertical permitió estimar la masa y densidad media de la Tierra.

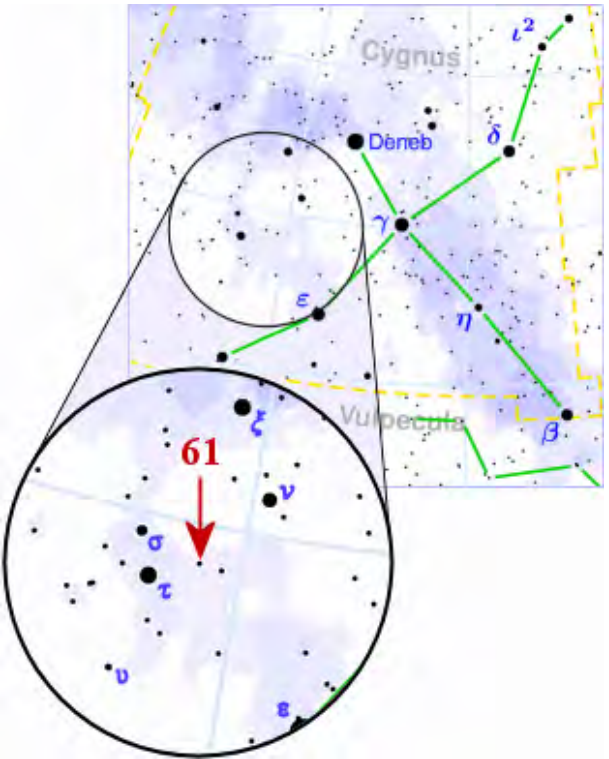
Las vidas profesionales de Mason y Dixon discurrieron por caminos diferentes tras la observación del tránsito de Venus, observado en el año 1769. Tras haber trabajado un tiempo para la Oficina de Longitudes, Mason y su familia decidieron establecerse en América, trasladándose allí en el año 1786, con la esperanza de que aquel país ofrecería mejores oportunidades a él y a sus hijos.

PESANDO LA TIERRA

Claude- Louis Mathieu (1783-1875)

Astrónomo e Ingeniero de Caminos, que llegó a presidir el *Bureau des Longitudes* y la Academia de Ciencias de Paris, fue profesor de Geodesia en la Escuela Politécnica y de Astronomía en el Colegio de Francia, así como un firme defensor del Sistema Métrico Decimal. Cursó sus primeros estudios en la escuela gratuita de Mâcon, su localidad natal, mostrando ya interés por las matemáticas; trasladándose a París en 1801, con la intención de ingresar en su famosa *École Polytechnique*. Para ello siguió los cursos preparatorios impartidos por Lacroix y Delambre, consiguiendo alojamiento en el observatorio astronómico de este último. En el año 1803 es admitido en la Escuela, al mismo tiempo que F. Arago, que partir de entonces sería su amigo inseparable; dos años después entra en la *École des Ponts et Chaussées*, obteniendo el título correspondiente en 1806. No obstante, su interés por la astronomía le hizo abandonar esa carrera para centrarse en su estudio; explicándose así que aceptara

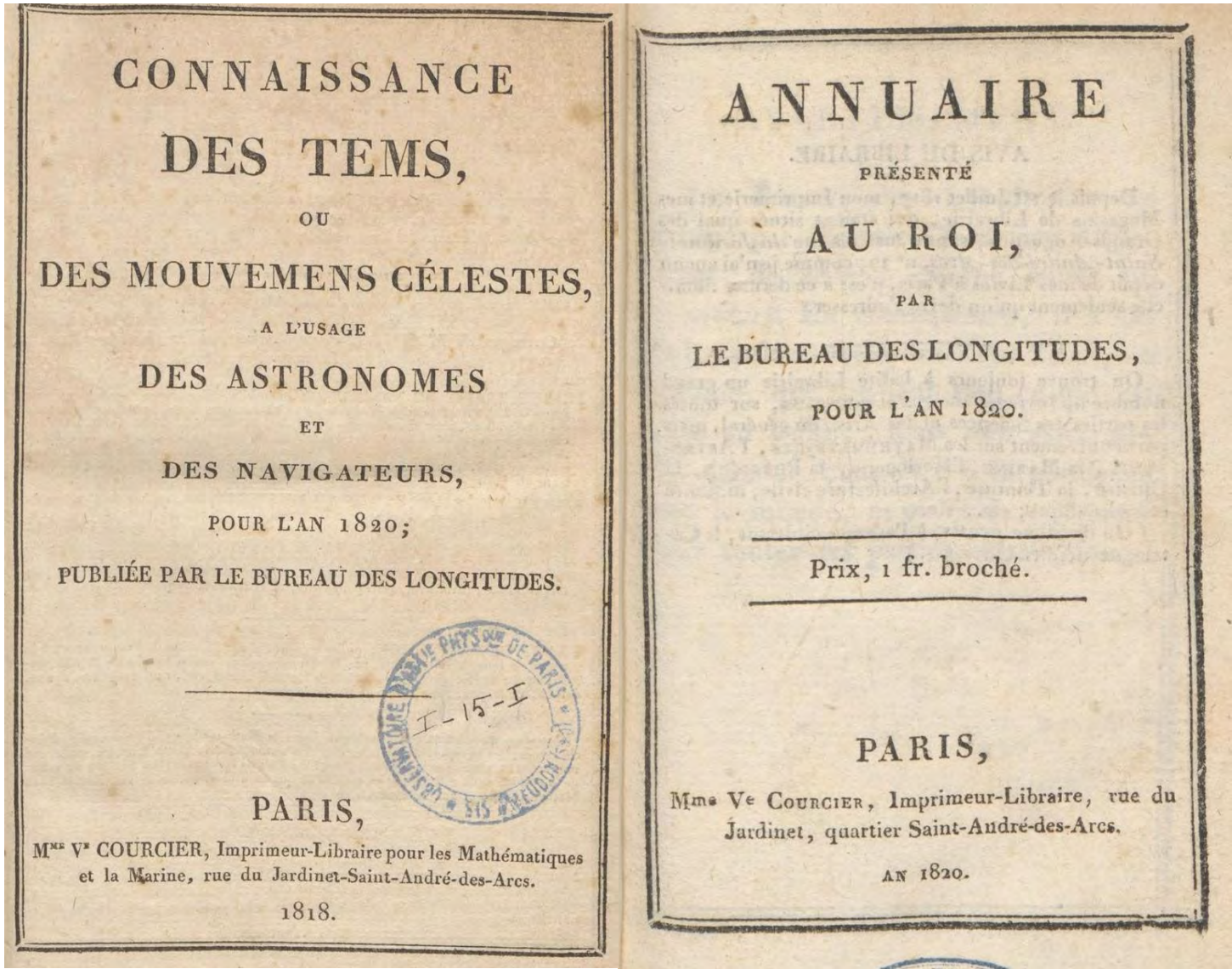
ser Secretario del *Bureau des Longitudes*, un puesto que había dejado vacante Arago, al trasladarse a las Islas Baleares para prolongar, junto a Biot, el meridiano de París. Acto seguido, en 1808, asciende y es nombrado astrónomo adjunto al Observatorio; recibiendo el encargo, junto a los astrónomos A. Bouvard y J. Burckhardt, de efectuar los cálculos correspondientes a las observaciones que se acababan de realizar en España; tanto Mathieu, como Biot, recibieron en 1809 el premio de la Academia de Ciencias por semejante trabajo. En ese periodo realizó numerosas observaciones



gravimétricas, junto a Biot, especialmente en Dunkerque y en Burdeos, de nuevo reconocidas por la Academia, al concederles en 1812 un segundo premio. Comienza entonces con F. Arago, una serie de observaciones astronómicas, finalizadas en noviembre de 1813, con las que pretendían calcular la paralaje anual de la estrella *61 Cygni*; concluyendo que su valor era inferior a medio segundo, aunque el valor definitivo lo obtendría Bessel en 1838. En 1816 recibió la medalla Lalande por su *Mémoire contenant les Calculs détaillés et les résultats de nombreuses observations d'étoiles et du soleil faites à l'observatoire en 1812, 1813, 1814 et 1815.*

El año 1817 se inició la carrera docente de Mathieu, pues se hizo profesor de Geodesia en la *École Polytechnique*, a propuesta de Arago, y de Astronomía en el Collège de France, por deseo expreso de J. Delambre. Por otro lado, El 26 de mayo de 1817 sería

elegido miembro de la Academia de Ciencias, integrándose en la Sección de Astronomía, sucediendo a Mesier; institución que acabaría presidiendo en 1846. En 1839 es nombrado miembro titular del *Bureau des Longitudes*, centro que presidiría después en 1871; una de sus tareas principales fue la publicación sistemática de su Anuario. Esta obra proporcionó, desde sus inicios en 1795, información astronómica sobre los ortos y ocasos del Sol, la Luna y los planetas; además de los eclipses. Hoy día, con la denominación de Guía de Datos Astronómicos, está destinada a los astrónomos aficionados o profesionales, los cuales encuentran en ella efemérides anuales con exactitud suficiente para la preparación y análisis de sus observaciones. Junto a esa tarea, asumió también la publicación de la igualmente célebre *Connaissance des Temps*, la más antigua de este tipo, editada sin interrupción desde el año 1679, en el que J. Picard obtuvo del rey Luis XIV el permiso para fundar la revista.


CONNAISSANCE
DES TEMS,
OU
DES MOUVEMENS CÉLESTES,
A L'USAGE
DES ASTRONOMES
ET
DES NAVIGATEURS,
POUR L'AN 1820;
PUBLIÉE PAR LE BUREAU DES LONGITUDES.

PARIS,
Mme Ve COURCIER, Imprimeur-Libraire pour les Mathématiques et la Marine, rue du Jardinet-Saint-André-des-Arcs.
1818.

I-15-I

ANNUAIRE
PRÉSENTÉ
AU ROI,
PAR
LE BUREAU DES LONGITUDES,
POUR L'AN 1820.

Prix, 1 fr. broché.

PARIS,
Mme Ve COURCIER, Imprimeur-Libraire, rue du Jardinet, quartier Saint-André-des-Arcs.
AN 1820.

En el año 1822 C.L. Mathieu honró la memoria del astrónomo Delambre, publicando a título póstumo una de sus obras más notables: *Historie de l´Astronomie au dix-huitième siècle;* a la que incorporó un brillante prólogo que resumía su

Portada de la obra póstuma del gran astrónomo Delambre, en la que se resumió su extenso curriculum.

HISTOIRE

DE

L'ASTRONOMIE

AU DIX-HUITIÈME SIÈCLE;

PAR M. DELAMBRE,

Chevalier de Saint-Michel, Officier de la Légion-d'Honneur, Secrétaire perpétuel de l'Académie royale des Sciences pour les Mathématiques, Professeur d'Astronomie au Collége royal de France, Membre du Bureau des Longitudes; des Sociétés royales de Londres, d'Upsal, de Copenhague et d'Edimbourg; des Académies de Saint-Pétersbourg, de Berlin, de Stockholm, de Naples et de Philadelphie; de la Société Astronomique de Londres, etc., etc.

PUBLIÉE

PAR M. MATHIEU,

DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES ET DU BUREAU DES LONGITUDES.

NEW YORK PUBLIC LIBRARY
ASTOR LIBRARY NEW-YORK

PARIS,

BACHELIER (SUCCESSEUR DE Mme Ve COURCIER),

LIBRAIRE POUR LES MATHÉMATIQUES,

QUAI DES AUGUSTINS, N° 55,

1827

contenido. Mathieu reveló en el mismo que el autor comenzó a preparar su publicación en el mes de junio de 1822, un mes antes de su fallecimiento, y que fue entonces cuando le mostró el manuscrito. A continuación, pidió disculpas por haberse retrasado más de lo deseable: «mais les recherches qu´elle exigeait demandaient beaucoup de temps et j´en étais souvent détourné par des occupations multipliées». No obstante, creyó haber seguido y cumplido fielmente las intenciones del autor: «C´était pour moi un devoir de remplir avec tous les soins dont je suis capable, les dernières volontés d´un homme que j´ai eu le bonheur d´avoir pour maitre et pour ami». Para facilitar la lectura y comprensión de la obra, incluyó Mathieu como

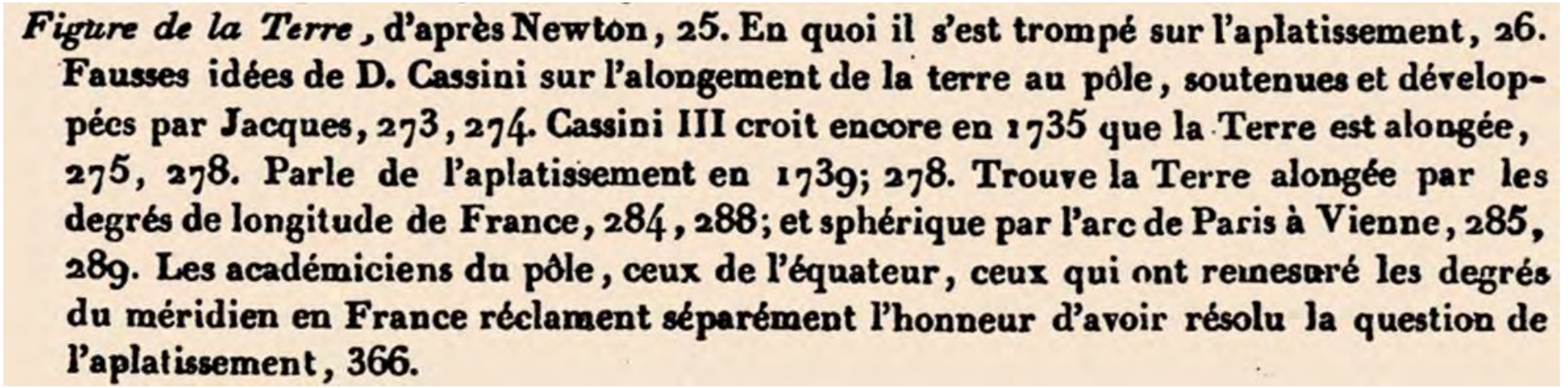


Figure de la Terre, d'après Newton, 25. En quoi il s'est trompé sur l'aplatissement, 26. Fausses idées de D. Cassini sur l'alongement de la terre au pôle, soutenues et développées par Jacques, 273, 274. Cassini III croit encore en 1735 que la Terre est alongée, 275, 278. Parle de l'aplatissement en 1739; 278. Trouve la Terre alongée par les degrés de longitude de France, 284, 288; et sphérique par l'arc de Paris à Vienne, 285, 289. Les académiciens du pôle, ceux de l'équateur, ceux qui ont remesuré les degrés du méridien en France réclament séparément l'honneur d'avoir résolu la question de l'aplatissement, 366.

introducción un glosario con términos astronómicos, ordenado alfabéticamente, indicando en cada uno los autores que los comentan y las páginas en que lo hacían; junto a estas líneas se reproduce el relativo a la Figura de la Tierra. El resto del texto fue estructurado en ocho libros, en los que se exponen y analizan los trabajos más renombrados de los sucesivos astrónomos. Solamente se titularon dos de ellos, el primero (*Newton et ses commentateurs*) y el cuarto (*École de Dominique Cassini*).

Mathieu fue un firme defensor del Sistema Métrico Decimal, así se entendió al nombrarlo presidente de la Comisión que debía procurar un acuerdo internacional a ese respecto, con ocasión de la Exposición Universal de 1867; a ella perteneció el científico español Ramón de la Sagra y Périz. Buena debió ser la labor de Mathieu al frente de la misma, cuando en 1872 fue nombrado Presidente de la Comisión Internacional del Metro; contando con la unanimidad, de todos los países que se habían adherido a tan novedoso sistema. La referida Exposición contó con un Pabellón de Pesas y Medidas, instalado en el centro del Campo de Marte. Mathieu fue elegido Caballero de la legión de honor en el año 1829, siendo promovido a Oficial el 14 de noviembre de 1855 y a comendador el 16 de agosto de 1863. En su necrológica del diario *Le Figaro* (7 marzo 1875) se hicieron entre otros comentarios, el siguiente: « Beau frère d´Arago, M. Mathieu a consacré une parte de sa vie à la politique; deputé de Saïne et Loire jusqu´en 1848, il siégenit à l´extremé gauche».

Exposition des Poids et Mesures et des Monnaies. Se ha superpuesto la imagen de Ramón de la Sagra

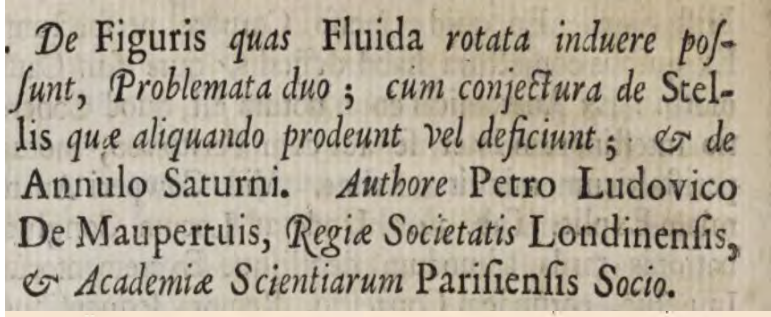
Pierre-Louis Moreau de Maupertuis (1698-1759)

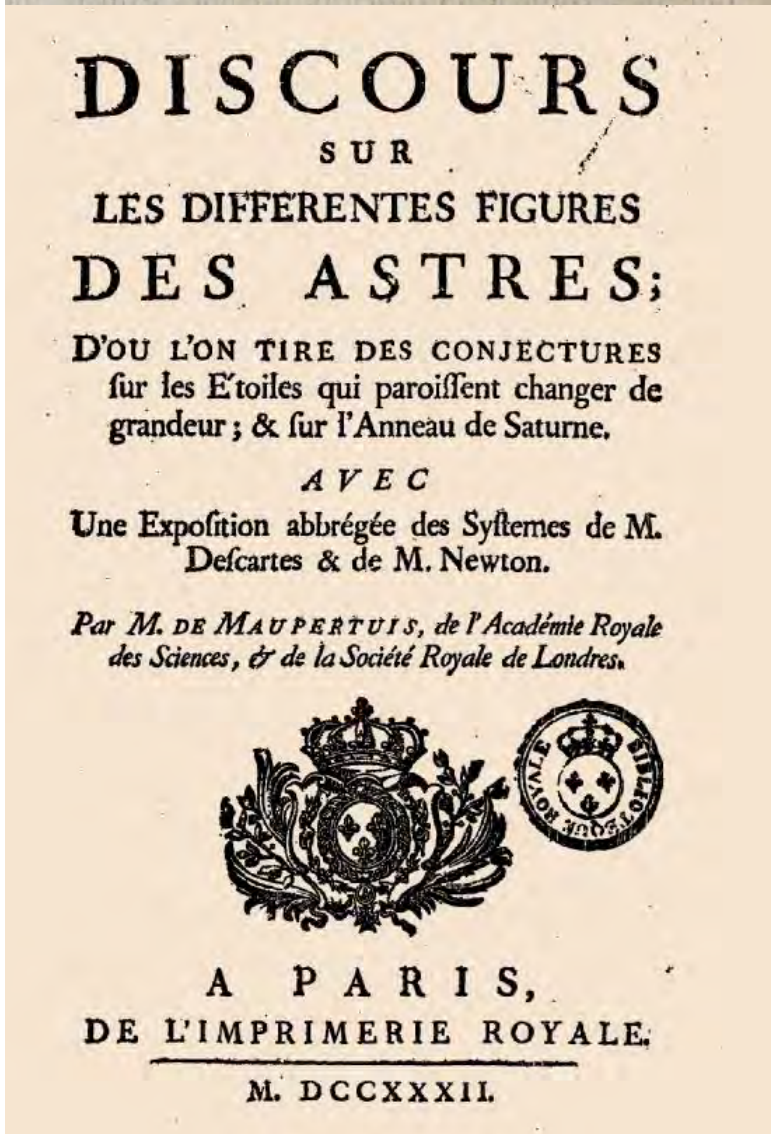
Matemático y geodesta que, al medir un arco de meridiano en Laponia, demostró que la tierra era achatada por los polos, , un descubrimiento que conmocionó a la comunidad científica de su tiempo, hasta el punto de que, ocasionalmente, es referido como el hombre que aplastó la Tierra. Maupertuis nació en la ciudad francesa de Saint Malo (Bretaña), realizando sus primeros estudios bajo el atento cuidado de su madre y la dirección de un preceptor; aunque su padre decidiera que se incorporase a la Marina. Tras ingresar en el Colegio de la Marche (Paris), siguió las lecciones de geometría impartidas por Guillaume le Blond et de Guisnée. Sin embargo, ni el deseo del padre ni la voluntad del hijo, lograron vencer la resistencia de la madre, frontalmente opuesta a que hiciese marino. Finalmente siguió la carrera militar, sirviendo como capitán en un regimiento guarnecido en Lyon, compatibilizando la actividad de su empleo con la afición por la música y la danza. En el invierno del año 1722 se trasladó a París, contactando rápidamente con algunos miembros de la Academia de Ciencias, de los que ganó su confianza al hacerles ver sus sólidos conocimientos geométricos. Al año siguiente

VUE DE SAINT MALO

quedó vacante una plaza de geómetra adjunto en la citada Academia y Maupertuis presentó su candidatura, apoyado por sus amigos, principalmente por el abate Jean Terrason.

Ya como académico, presentó su primer artículo, *Sur la forme des instruments de musique*, el cual fue leído en la sesión pública celebrada por la Academia el 15 de noviembre del año 1724; ascendiendo a geómetra asociado el 31 de julio de 1725. A este trabajo le siguieron otros que se fueron publicando sucesivamente: sobre máximos y mínimos en 1726, sobre la cicloide en 1727, y otros trabajos sobre curvas en 1727, 1728 y 1729. En esos años estaba en plena efervescencia la polémica desatada sobre la forma de la Tierra, que tanto enfrentó a newtonianos y cartesianos. Defendiendo los primeros un elipsoide terrestre de aplastamiento polar (Oblato) y los segundos otro de aplastamiento ecuatorial (Prolato). Maupertuis, que admiraba la obra de Newton, decidió en 1728 pasar unos meses en Londres ampliando sus estudios, allí tuvo que ser muy bien acogido, puesto que entonces fue admitido en la *Royal Society*. La contrapartida ofrecida por él estuvo a su altura, al haber sido el introductor en Francia de las tesis defendidas por el sabio inglés, llegando a publicar en las *Philosophical Transactions* el artículo *De figuris quas fluida rotata induere possunt, problemata duo; cum conjectura de Stellis quæ aliquando prodeunt vel deficiunt; & de annulo saturni* (31. III.1732), en el que apostaba por los modelos teóricos de Newton y Huygens. Ese mismo se editó en Francia, con el título *Discours*


De Figuris *quas* Fluida *rotata induere poſſunt, Problemata duo ; cum conjectura de* Stellis *quæ aliquando prodeunt vel deficiunt ; & de* Annulo Saturni. *Authore* Petro Ludovico De Maupertuis, *Regiæ Societatis* Londinenſis, *& Academiæ Scientiarum* Pariſienſis *Socio.*


DISCOURS
SUR
LES DIFFERENTES FIGURES
DES ASTRES;
D'OU L'ON TIRE DES CONJECTURES
ſur les Etoiles qui paroiſſent changer de grandeur ; & ſur l'Anneau de Saturne.
AVEC
Une Expoſition abbrégée des Syſtemes de M. Deſcartes & de M. Newton.
Par M. DE MAUPERTUIS, de l'Académie Royale des Sciences, & de la Société Royale de Londres.
A PARIS,
DE L'IMPRIMERIE ROYALE.
M. DCCXXXII.

sur les différentes figures des astres , d'où l'on tire des conjectures sur les étoiles qui paroissent changer de grandeur, et sur l'anneau de Saturne, avec une Exposition abbrégée des systèmes de M. Descartes et de M. Newton. Esa publicación de Maupertuis fue arriesgada y, a la larga, tuvo consecuencias indeseables, pues la mayoría de los académicos se mostraban más partidarios de los remolinos de Descartes, y por ende de un modelo prolato para la Tierra. Ha de tenerse en cuenta, por otra parte, que en el año 1723 Cassini II había publicado su *Traité de la Grandeur et de la Figure de la Terre*, en el que preconizó el modelo prolato, aparentemente apoyado por sus trabajos de campo.

Medalla conmemorativa de las dos expediciones científicas auspiciadas por la Academia de Ciencias de París, para fijar el modelo geométrico de la Tierra:
MENSOR ORBIS TERRARUM.
MISSIS AD AEQUATOREM ET POLUS ARCTICUM ASTRONOMIS MDCCXLIV

Las continuas discusiones sobre esa cuestión, hicieron que la Academia de Ciencias decidiera zanjarlas, subvencionando el proyecto para medir grados de meridiano en la zona ecuatorial, presentado por L. Godin en 1735, y el que poco después propusiera el propio Maupertuis, para realizar una operación análoga en la zona polar. De esa manera quedaría definitivamente resuelta la polémica, en función de los valores alcanzados por el radio de curvatura del meridiano eclíptico. El resultado de ambas es de sobra conocido: radio mínimo en el primer proyecto y máximo en el segundo, una evidencia que sin embargo no evitó acaloradas desavenencias, las cuales acabaron partiendo en dos a la comunidad científica.

La expedición comandada por Maupertuis partió de Dunkerque el 2 de mayo de 1736 llegando a Estocolmo el 21 de mayo. Aunque en principio se pensara en medir el arco a lo largo de la costa del mar Báltico, pronto se aceptó la sugerencia de Celsius, uno de los expedicionarios, y se efectuó la operación siguiendo el curso del río Torne, orientado aproximadamente según el meridiano. Las observaciones angulares, realizadas con un cuarto de círculo, comenzaron el 19 de julio en sentido Sur Norte, finalizando el 12 de septiembre. Las ciudades de Tornio y Kittis, separadas unos 100 km, quedaron enlazadas con una cadena de 8 triángulos, apoyados en una base de 7406 toesas, localizada en la mitad de la misma; midiéndose sobre el río helado en el mes de diciembre, siguiendo también los consejos de Celsius. Para hallar las latitudes de los extremos del arco, se divisaron varias estrellas con un sector cenital de Graham. En cuanto a las observaciones gravimétricas, se responsabilizó de las mismas al matemático Clairaut, otor de los sabios colaboradores de Maupertuis; pudiéndose comparar gracias a ellas la longitud del péndulo de segundos en Kittis y en Paris. El valor obtenido para el desarrollo del grado fue de 57438 toesas, a una latitud media de 66º 30´, es decir 377 toesas mayor que el que había medido Picard entre Amiens y Paris. Los resultados de la expedición fueron muy elocuentes y así lo hizo saber Maupertuis el 13 de noviembre de 1737 ante la Academia, reunida en sesión pública y solemne; añadiendo que sus medidas probaban que la Tierra estaba considerablemente achatada por

los polos. La repercusión de sus palabrasfue inmediata, al cuestionar abiertamente la fiabilidad de las medidas ejecutadas en su día por Cassini II. No obstante, siguieron latentes las discusiones durante demasiado tiempo, llegando al descrédito y al insulto personal, mientras que Cassini procuraba que los resultados obtenidos en Laponia no fuesen respaldados por la Academia.

Midiendo la base de la triangulación

DISCOURS
QUI A ÉTÉ LU
DANS L'ASSEMBLÉE
PUBLIQUE
De l'Académie Royale des Sciences,
Le 13. Novembre 1737.
SUR LA MESURE DU DEGRÉ
DU MÉRIDIEN
AU CERCLE POLAIRE.
J'Exposai, il y a dix-huit mois, à la même Assemblée, le motif & le projet du Voyage au Cercle Polaire; je vais lui faire part aujourd'hui de l'exécution. Mais il ne sera peut-être pas inutile de rappeller un peu les idées sur ce qui a fait entreprendre ce Voyage.
A M.

Maupertuis decidió publicar al año siguiente la Memoria en la que formalmente daba cuenta de los pormenores de la expedición geodésica, citando en su portada a todos los integrantes de la misma. Los cuatro académicos: Maupertuis, Clairaut, Camus y Le Monnier, el abate Outier y Celsius, profesor de Astronomía en Upsala. El título elegido fue el siguiente: *La Figure de la terre determinée par les observations…faites par ordre du Roi au Cercle Polaire*. La obra incluyó un interesante prólogo, en el que se resumió la historia de las medidas de la Tierra practicadas hasta entonces, a la vez que justificaba la conveniencia de publicar tan pronto sus resultados, sin esperar a que lo hicieran las Memorias de la Academia. En el referido prólogo se indicaba que la exposición se había dividido en tres libros. Relatando el primero todo lo relativo a la medida del arco de

Monumento a Maupertuis en Tornio

LA FIGURE DE LA TERRE,

DE'TERMINE'E

PAR LES OBSERVATIONS

De Meſſieurs DE MAUPERTUIS, CLAIRAUT, CAMUS, LE MONNIER, de l'Académie Royale des Sciences, & de M. l'Abbé OUTHIER, Correſpondant de la même Académie,

Accompagnés de M. CELSIUS, Profeſſeur d'Aſtronomie à Upſal,

FAITES PAR ORDRE DU ROY

AU CERCLE POLAIRE.

Par M. DE MAUPERTUIS.

A PARIS,
DE L'IMPRIMERIE ROYALE.

M. DCCXXXVIII.

LA FIGURE DE LA TERRE,

DÉTERMINÉE

PAR LES OBSERVATIONS

De Meſſieurs DE MAUPERTUIS, CLAIRAUT, CAMUS, LE MONNIER, de l'Académie Royale des Sciences, & de M. l'Abbé OUTHIER, Correſpondant de la même Académie,

Accompagnés de M. CELSIUS, Profeſſeur d'Aſtronomie à Upſal;

FAITES PAR ORDRE DU ROY

AU CERCLE POLAIRE.

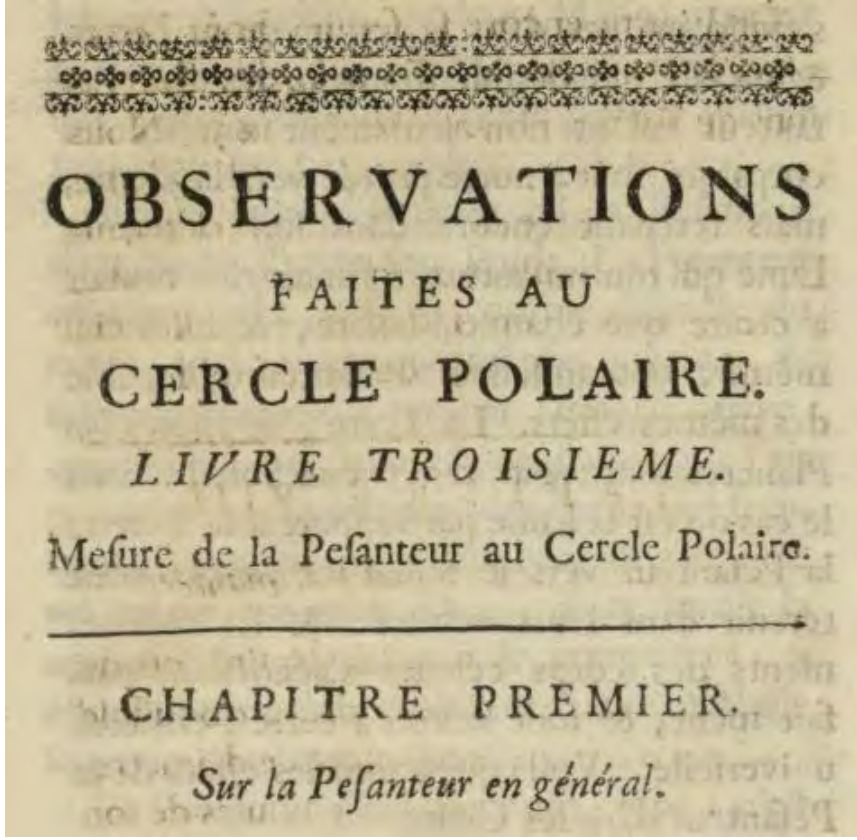
Par M. DE MAUPERTUIS.

Nouvelle EDITION dans laquelle on a mis les figures aux pages où elles ſe rapportent.

A PARIS,

M. DCC. XXXIX.

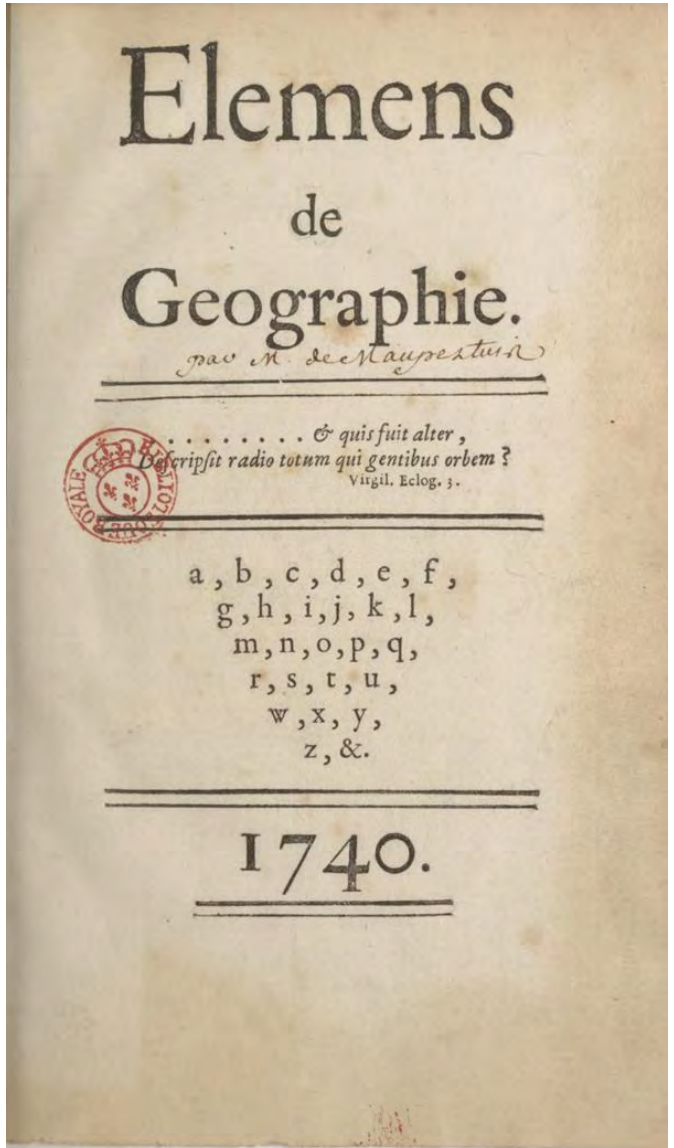
meridiano que cortó al Círculo Polar, estando subdividido a su vez en dos partes: una con las primeras observaciones y otra con las verificaciones de las mismas; finalizaba el libro con la determinación del tamaño y forma de la Tierra, a partir de lasmedidas de dos grados. El segundo libro analizó las observaciones astronómicas con las que se obtuvieron las latitudes de Tornio y Kittis, el valor de la refracción en el Círculo Polar y la longitud de Tornio; obtenida esta a partir de las ocultaciones de estrellas por la Luna (ante la imposibilidad de hacerlo a partir de los satélites de Júpiter). El tercer libro trató de las experiencias que hicieron sobre la gravedad, «mattiére qui, outre l´importance dont elle est pour la Physique générale, a encore une si grande connexion avec la figure de la Terre, qui M^rs^ Newton & Huygens ont cru que la connoissance des différents pesanteurs…sussisoit seule pour determiner cettte figure, & la détermineroit plus exactement que ne pourroient faire les messures actuelles des degrés». Asimismo, ha de hacerse notar que justo antes de adentrarse en el contenido de tales libros, Maupertuis reprodujo íntegramente el discurso que pronunció a la vuelta de Laponia. La obra fue reeditada en 1739, mejorando sustancialmente la presentación de la misma.


OBSERVATIONS
FAITES AU
CERCLE POLAIRE.
LIVRE TROISIEME.
Mesure de la Pesanteur au Cercle Polaire.

CHAPITRE PREMIER.
Sur la Pesanteur en général.

Acto seguido, en 1740, Maupertuis publicó de forma anónima una especie de alegato razonado en favor de sus pronunciamientos acerca de la forma de la Tierra: *Éléments de Geographie*, reeditado dos años más tarde figurando él como autor del mismo. La prueba más concluyente que aportó como justificación de sus tesis, fue el colofón del libro: un listado a doble columna con los desarrollos del grado de meridiano, desde el ecuador al polo, uno realizado por Cassini y otro por Maupertuis. En ambos se apreciaba la variación del desarrollo con la latitud, disminuyendo al

alejarse del ecuador (elipsoide prolato) en el primer caso o aumentando a medida que crecía la latitud (elipsoide oblato) en el otro. Los interesados en el contenido de esta obra de Maupertuis pueden consultar la versión digital del libro *Curiosidades Cosmográficas* (2021), concretamente el capítulo IX, titulado *De como Maupertuis acható la Tierra*.



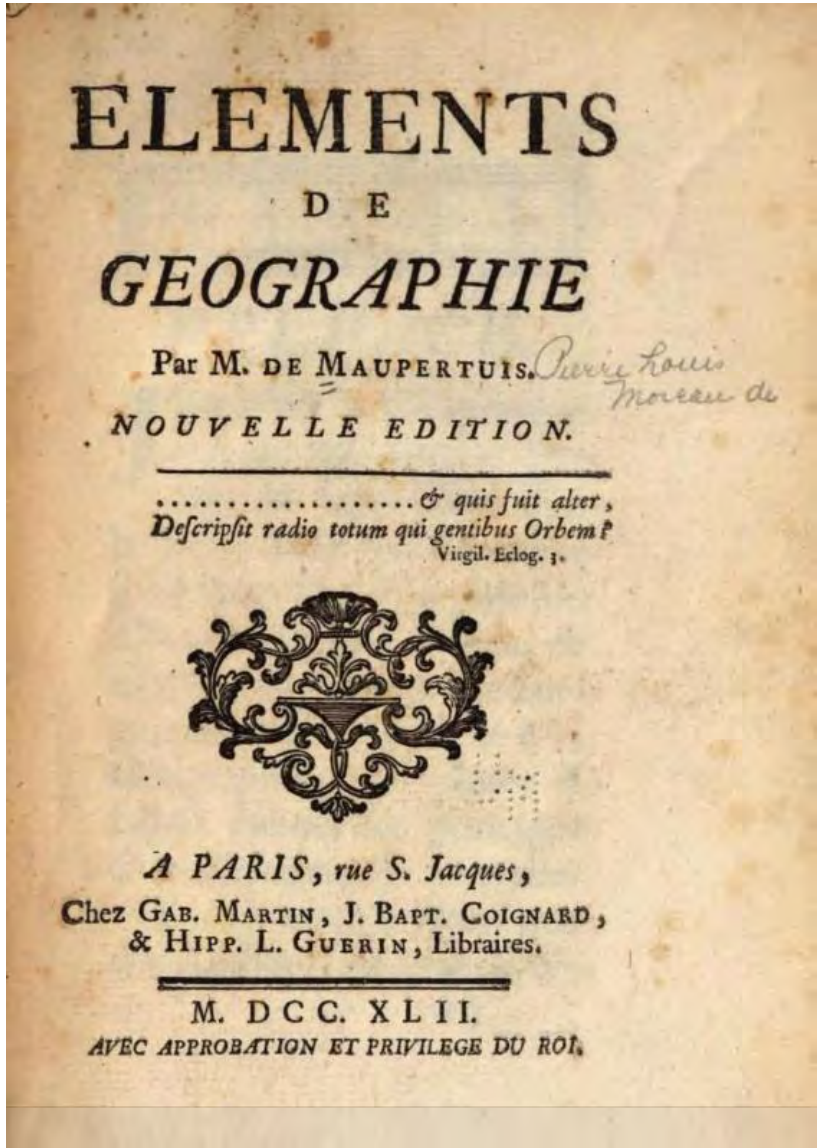
Elemens
de
Geographie.

par M. de Maupertuis

. . . . . & quis fuit alter,
Descripsit radio totum qui gentibus orbem ?
Virgil. Eclog. 3.

a, b, c, d, e, f,
g, h, i, j, k, l,
m, n, o, p, q,
r, s, t, u,
w, x, y,
z, &.

1740.



ELEMENTS
DE
GEOGRAPHIE

Par M. DE MAUPERTUIS. Pierre Louis Moreau de

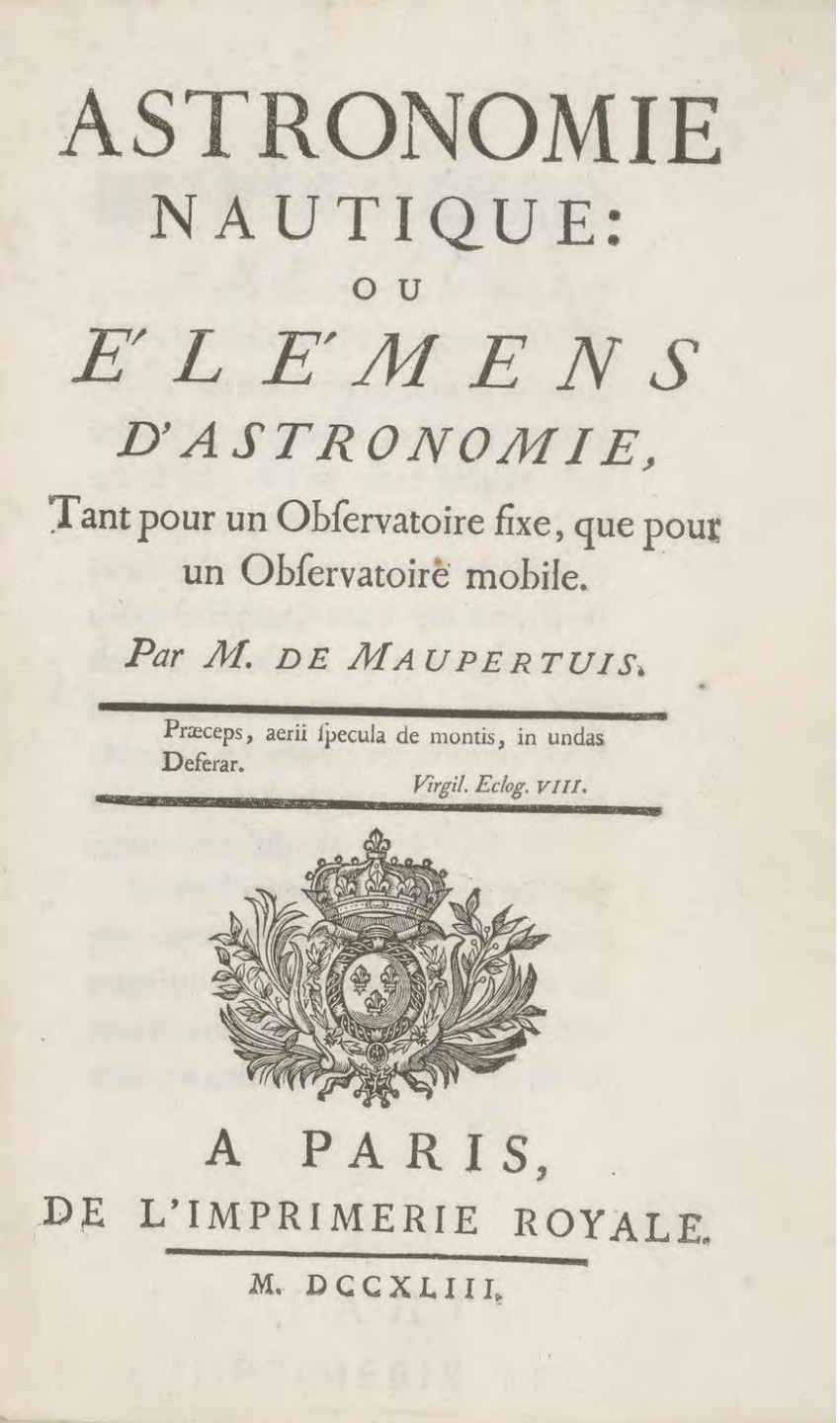
NOUVELLE EDITION.

. . . . . & quis fuit alter,
Descripsit radio totum qui gentibus Orbem ?
Virgil. Eclog. 3.

A PARIS, rue S. Jacques,
Chez GAB. MARTIN, J. BAPT. COIGNARD,
& HIPP. L. GUERIN, Libraires.

M. DCC. XLII.
AVEC APPROBATION ET PRIVILEGE DU ROI.

CAPÍTULO IX | De cómo el geómetra Pierre Louis de Maupertuis acható la Tierra


ASTRONOMIE
NAUTIQUE:
OU
ELEMENS
D'ASTRONOMIE,
Tant pour un Obſervatoire fixe, que pour un Obſervatoire mobile.
Par M. DE MAUPERTUIS.
Præceps, aerii ſpecula de montis, in undas Deferar.
Virgil. Eclog. VIII.
A PARIS,
DE L'IMPRIMERIE ROYALE.
M. DCCXLIII.

Aunque el aumento del prestigio de Maupertuis fuese incuestionable, sus despiadadas críticas a los Cassini acabaron perjudicándole; deteriorándose sus relaciones con algunos de sus amigos y colaboradores, Clairaut entre otros. Uno de los cambios de postura más comentados fue el de Voltaire, que de calificarlo como el sabio capaz de haber aplastado la Tierra y a los Cassini, y de recomendárselo a Federico II para que presidiera la Academia que pensaba crear en Berlín, pasó a ridiculizarlo al afirmar que había ido a Laponia a demostrar algo que el sabio inglés había hecho dese su despacho; añadiendo que su objetivo fue en realidad traerse dos laponesas, un hecho cierto pues se vinieron con él dos hermanas. El malestar de Maupertuis explica que aceptase la invitación que le hizo el rey en 1740; aunque su estancia en Berlín resultó desagradable, llegó a ser hecho prisionero en Viena por haberse incorporado al ejército real, regresando provisionalmente a Paris tras ser liberado en 1741. La Academia de Ciencias lo recibió entonces con todos los honores, nombrándolo su director adjunto y convirtiéndose en su director al año siguiente; otro de los honores más señalados fue su ingreso en la Academia Francesa el 27 de junio de 1743. De ese año data su libro de Astronomía Náutica, o Elementos de Astronomía, tanto para un observatorio fijo, como para un observatorio móvil; con la particularidad de que solo refiere los múltiples procedimientos para calcular la latitud del lugar, sin referirse en ningún momento a la determinación de la longitud.

Peter Louis Moreau de Maupertuis

Member of the Royal Academy of Sciences at Paris, One of ye Six Mathematicians who were sent by the French King An. 1736 to measure a Degree of the Meridian at the Polar Circle, for determining the Figure of the Earth, and Author of the curious Account that has been published of those Philosophical Expeditions

Sold by I. Tinney at the sublime Face in Cranford Street London

Peint par R. Tournieres

Gravé par J. Daulle. 1741

Sin embargo, las reticencias de los cartesianos, a la espera de los resultados de la expedición a la América ecuatorial, hizo que aceptara de nuevo la invitación del rey de Prusia, instalándose definitivamente en Alemania en el año 1745. La primera sesión de la Academia tuvo lugar en enero de 1744 y hasta el 12 de mayo de 1746 no se produjo el nombramiento formal de Maupertius como presidente de la misma. Su gestión no estuvo exenta de polémicas, la más sonada fue la que surgió a propósito del Principio de Mínima Acción; pues habiendo sido él quien lo enunció por vez primera, al inicio de su mandato, el matemático alemán Samuel König se atribuyó ese mérito. La disputa fue zanjada por Federico II, haciendo que tanto él, como Voltaire, ya enemigo declarado de Maupertuis, se vieran en la obligación de abandonar Berlín. En el año 1750 publicó dicho Principio en su obra *Essay de Cosmologie*, en cuyo prólogo examinó las pruebas de la existencia de Dios, a partir de las Maravillas de la Naturaleza; un principio al que llamó «*De la moindre quantité d´action».* Más adelante se refirió a él en los términos siguientes*: «Dans le choc des corps, le mouvement se distribue de manière, que la quantité d´action que suppose le changement arrivé, est la plus petite qu´il soit posible. Dans le repos, les corps qui se tiennent en équilibre, doivent étre tellement situés, que s´il leur artrivoit quelque petit movement, la quantité d´action seroit la moindre.*

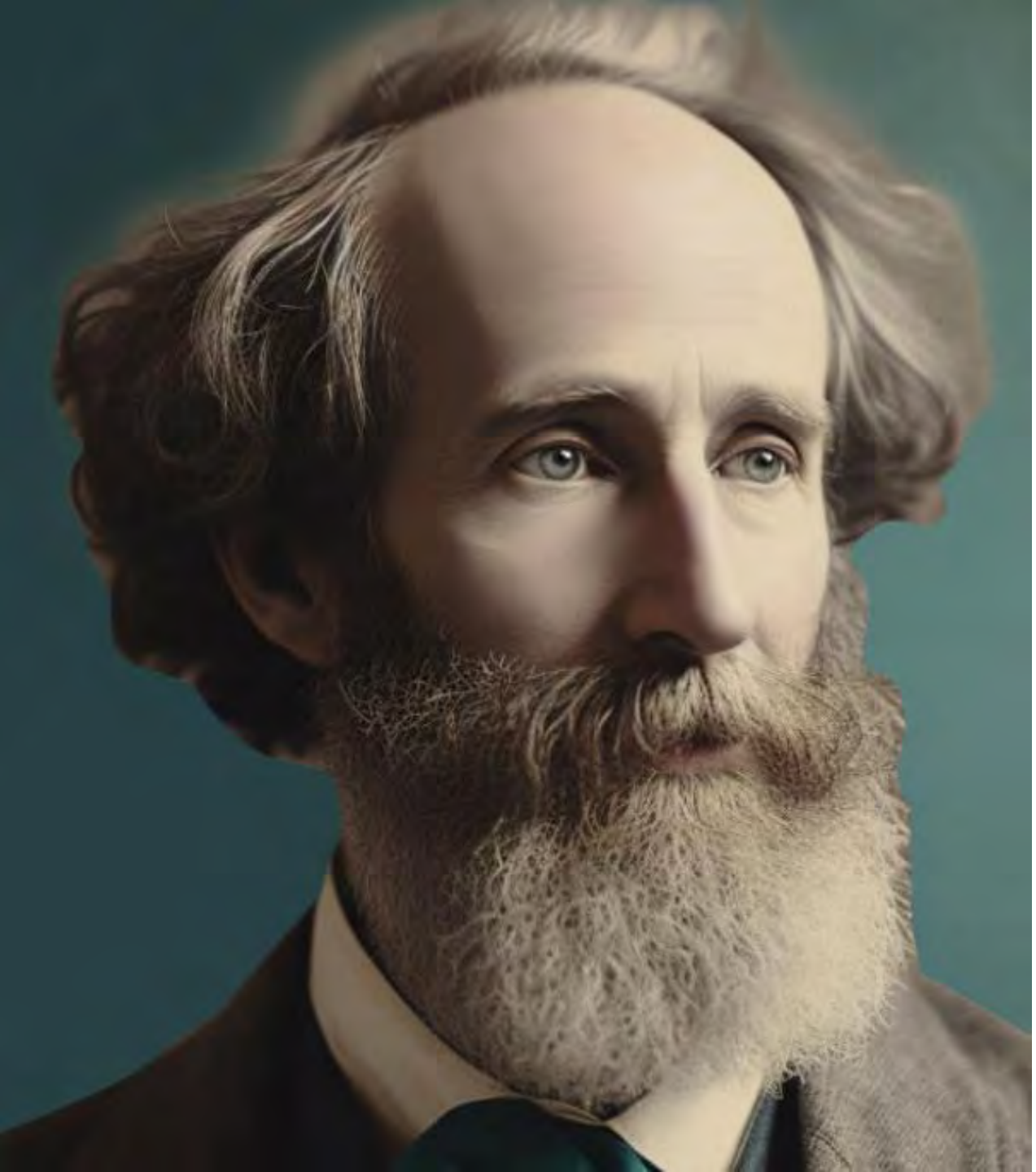
Emblema de la Academia de Ciencias de Berlín

P. Maupertuis cumplió siempre con las misiones propias de su cargo, publicando numerosos artículos, elogios a los académicos, así como pronunciando discursos en las asambleas públicas de la Academia. Al tener serios problemas de salud, federico II le permitió retirarse a Saint Malo entre 1752 y 1754. Al poco de regresar a berlín, volvió a Francia, incorporándose a la Academia de Ciencias como pensionista veterano, aunque solo asistiera a la sesión

celebrada el 21 de agosto de 1756. El rey de Prusia le concedió una prórroga para que se pudiese recuperar en Italia. Finalmente, en el año 1758, se trasladó a Basilea, en donde residía su gran amigo Jean Bernoulli; permaneciendo allí hasta el final de sus días 827 de julio de 1759)

La Academia de Ciencias de Berlín en 1945, presidida por la estatua ecuestre de Federico II

Medalla de la Academia de Ciencias de Berlín



James Clerk Maxwell (1831-1879)

Físico y matemático escocés que sentó las bases de la teoría electromagnética, en la que se considera la electricidad, el magnetismo y la luz como manifestaciones de un mismo fenómeno; se cree que fue el científico del siglo XIX que más influyó en la física del siglo XIX, Einstein aseguró, en 1931, que su trabajo fue el más profundo y fructífero desde los tiempos de Newton. Nació en el seno de una familia acomodada que le nombró un tutor, del que recibió sus primeras enseñanzas, aunque a partir de 1841 estudió en la Academia de Edimburgo. Allí mostró poco interés por la mayoría de materias, salvo por la geometría y por los modelos mecánicos, destacando sobremanera en esos campos. Con tan solo 14 años escribió su primer artículo científico, generalizando el concepto de elipse: *On the description of oval curves, and those having a plurality of foci*, publicado por la Royal Society of Edinburg (Proceedings, Vol. II. April 1846). En el año 1847 entró en la Universidad de Edimburgo, recibiendo clases de

matemáticas y física. Tres años después se trasladó a la Universidad de Cambridge, ingresando en el *Trinity College*, en el que destacó por caudal de conocimientos, graduándose con el título de Matemáticas en 1854, poco después consiguió una beca para proseguir con sus investigaciones.

VIII. *On Faraday's Lines of Force.*

[Read *Dec.* 10, 1855, and *Feb.* 11, 1856.]

THE present state of electrical science seems peculiarly unfavourable to speculation. The laws of the distribution of electricity on the surface of conductors have been analytically deduced from experiment; some parts of the mathematical theory of magnetism are established, while in other parts the experimental data are wanting; the theory of the conduction of galvanism and that of the mutual attraction of conductors have been reduced to mathematical formulæ, but have not fallen into relation with the other parts of the science. No electrical theory

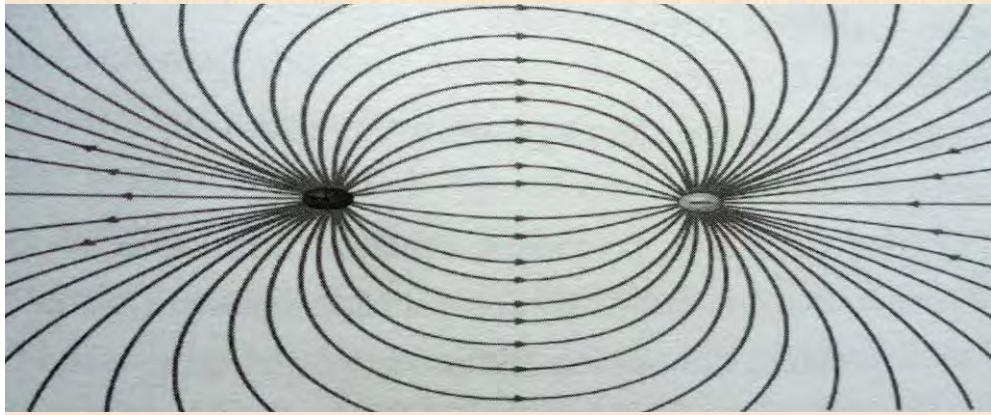


Imagen de las líneas de fuerza electromagnéticas

Uno de sus resultados más relevantes lo obtuvo en relación con la formulación matemática de las Teorías de M. Faraday, sobre la electricidad y las líneas de fuerza magnéticas; comprobando, mediante una serie de ecuaciones relativamente simples, como se podía expresar el comportamiento de los campos eléctricos y magnéticos, así como su interrelación. Su trabajo *On Faraday's lines of force,* fue publicado en la revista *Transactions of the Cambridge Philosophical Society*. Su lectura se efectuó en dos sesiones, 10 de diciembre de 1855 y 1 de febrero de 1856, demostrando Maxwell que el número de líneas de fuerza que pasan a través de un elemento de área en cualquier superficie, trazadas perpendicularmente a la dirección de la fuerza, es proporcional a la magnitud de la fuerza en el entorno, y que el número de líneas que pasan a través de un elemento de área en otra superficie cualquiera era proporcional a la componente de la fuerza perpendicular a esa superficie. A principios de 1856 viajó a Escocia para cuidar de su padre, solicitando entonces una plaza de profesor de Física en el *Marischal College* de Aberdeen. Estando desempeñando esa tarea, el Saint John´s College, de la Universidad de Cambridge, convocó el premio Adams para el año 1857, con el lema *The Motion of Saturn´s rings*. Curiosamente , tanto Maxwell como su gran amigo Peter Guthrie Tait ya habían estudiado esa cuestión, cuando ambos eran alumnos de la

ON THE

STABILITY OF THE MOTION

OF

SATURN'S RINGS.

AN ESSAY,

WHICH OBTAINED THE ADAMS PRIZE FOR THE YEAR 1856, IN THE UNIVERSITY OF CAMBRIDGE.

By J. CLERK MAXWELL, M.A.

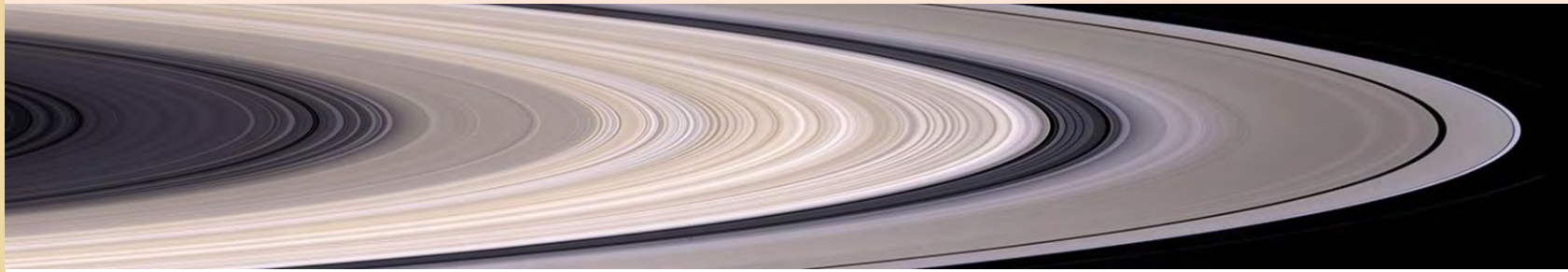
LATE FELLOW OF TRINITY COLLEGE, CAMBRIDGE.
PROFESSOR OF NATURAL PHILOSOPHY
IN THE MARISCHAL COLLEGE AND UNIVERSITY OF ABERDEEN.

"E pur si muove."

Cambridge:
MACMILLAN AND CO.
AND 23 HENRIETTA STREET, COVENT GARDEN, LONDON.
1859.

Academia de Edimburgo; de modo que el primero decidió participar en el concurso, ganándolo con el trabajo titulado: *On the Stability of the Motion of Saturn's Rings*. Maxwell concluyó que la estabilidad de tales anillos solo era posible si estaban formados por pequeñas partículas, una idea que se vería confirmada más de un siglo después tras el lanzamiento de la nave espacial Cassini Huygens.

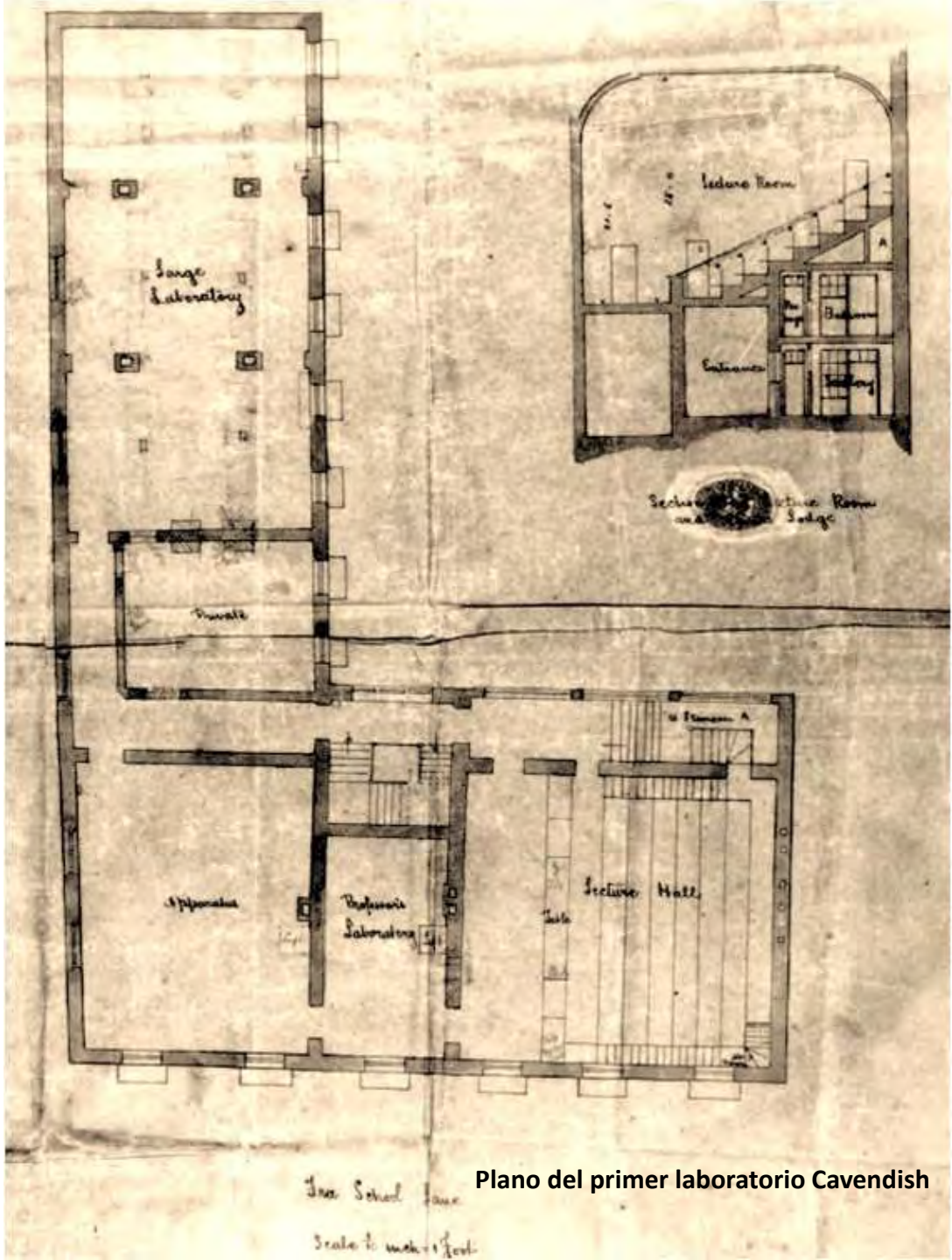
Mosaico de seis imágenes, cubriendo una distancia próxima a los 62000 km, desde un radio de 74565 km a 136780 km, a partir del centro del planeta; obtenidas por la nave espacial Cassini, en diciembre de 2004, a unos 1.8 E6 km de Saturno.



Tras un intento fallido de incorporarse a la Universidad de Edimburgo, en el año 1859, consiguió ocupar en 1860 la Catedra de Física que había quedado vacante en el *King´s College* de Londres, en el periodo de seis años que estuvo al frente de la misma, efectuó las investigaciones más fructíferas de su carrera; ingresando en la *Royal Society* el 6 de junio de 1861. Sirva de ejemplo lo siguiente: alrededor de 1862 calculó que la velocidad de propagación de un campo electromagnético es aproximadamente la velocidad de la luz, proponiendo por tanto que la luz era un fenómeno electromagnético, «We can scarcely avoid the conclusion that light consists in the transverse undulations of the same medium which

is the cause of electric and magnetic phenomena». En el año 1864, ya como F.R.S. publicó en las *Phiosophical Transactions* el trabajo *A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field*, un avance de la que sería su obra fundamental, que comenzaba así: «The most obvious mechanical phenomenon in electrical and magnetical experiments is the mutual action by which bodies in certain states set each other in motion while still at a sensible distance from each other».Tras dejar la cátedra en la primavera de 1865, se trasladó a su finca familiar de Glenlair en el condado histórico de Kirkcudbrightshire, a unos 20 km de Dumfries. Después de viajar varias veces a Cambridge, acabó aceptando el puesto de primer Profesor Cavendish de Física en 1871, diseñando de inmediato el correspondiente laboratorio, el cual fue inaugurado formalmente el 16 de junio de 1874. A Maxwell le cupo en consecuencia el honor de haber sido el primer profesor de física experimental, ya que hasta entonces la física se consideraba una disciplina esencialmente teórica, competencia de los matemáticos.

Durante el tiempo que pasó en Glenlair preparó la mayor parte del libro que publicaría en 1873 con el título *A Treatise Electricity and Magnetism*, en el que demostró las cuatro ecuaciones

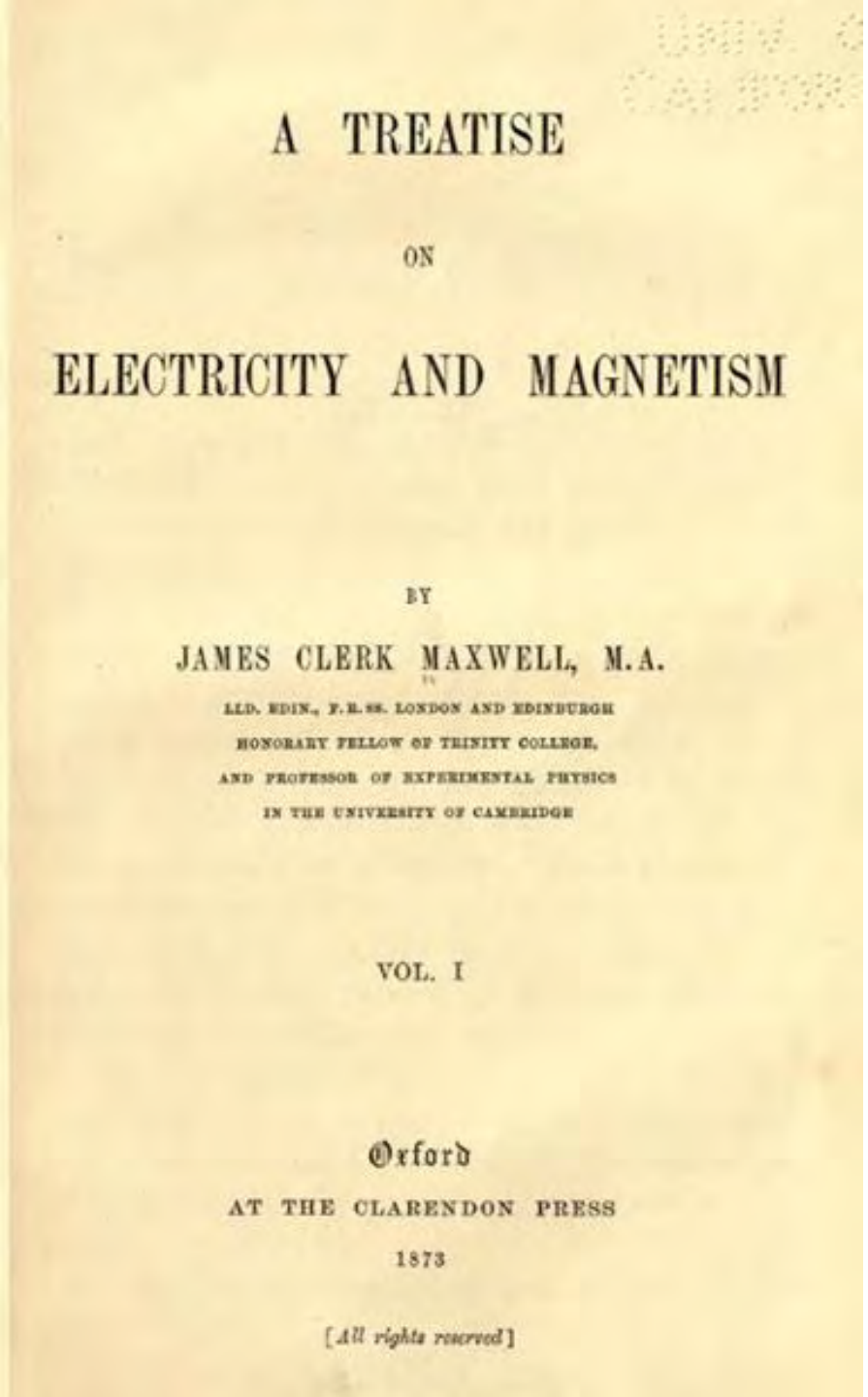


Plano del primer laboratorio Cavendish

CAVENDISH LABORATORY

1874-1974

Established by the Duke of Devonshire and extended by Lord Rayleigh (1908) and Lord Austin (1940), the Cavendish Laboratory housed the Department of Physics from the time of the first Cavendish Professor, James Clerk Maxwell, until its move to new laboratories in West Cambridge



A TREATISE

ON

ELECTRICITY AND MAGNETISM

BY

JAMES CLERK MAXWELL, M.A.

LL.D. EDIN., F.R.SS. LONDON AND EDINBURGH

HONORARY FELLOW OF TRINITY COLLEGE,

AND PROFESSOR OF EXPERIMENTAL PHYSICS

IN THE UNIVERSITY OF CAMBRIDGE

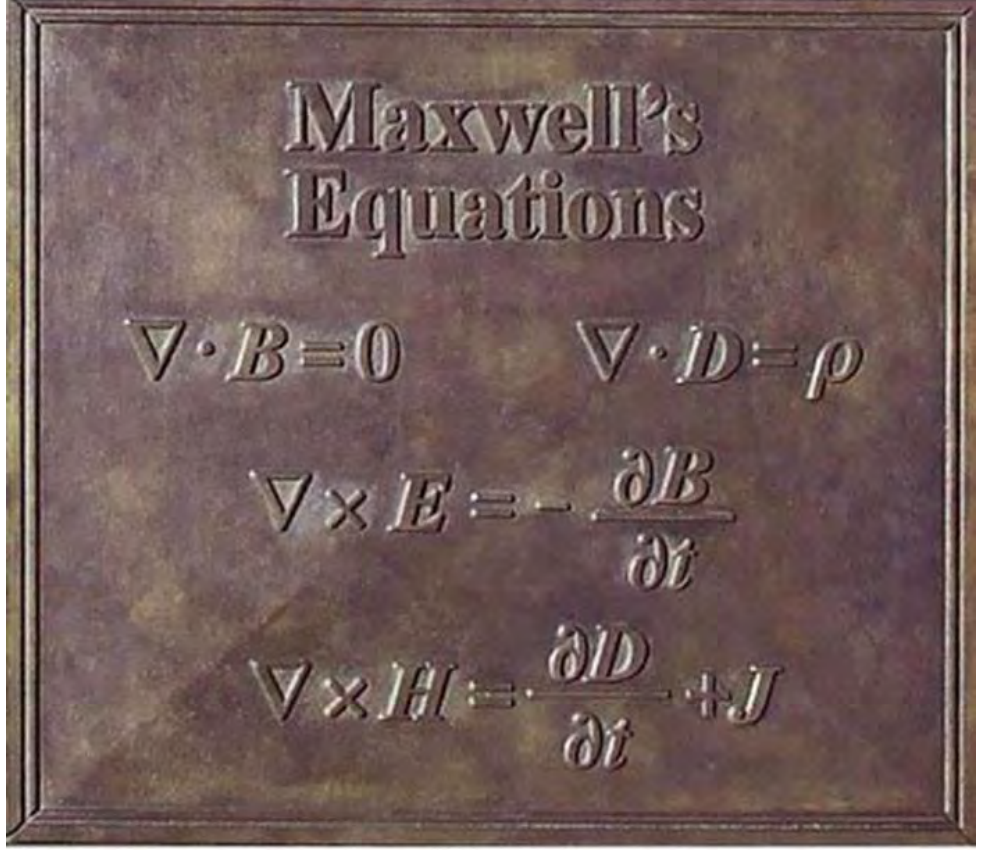
VOL. I

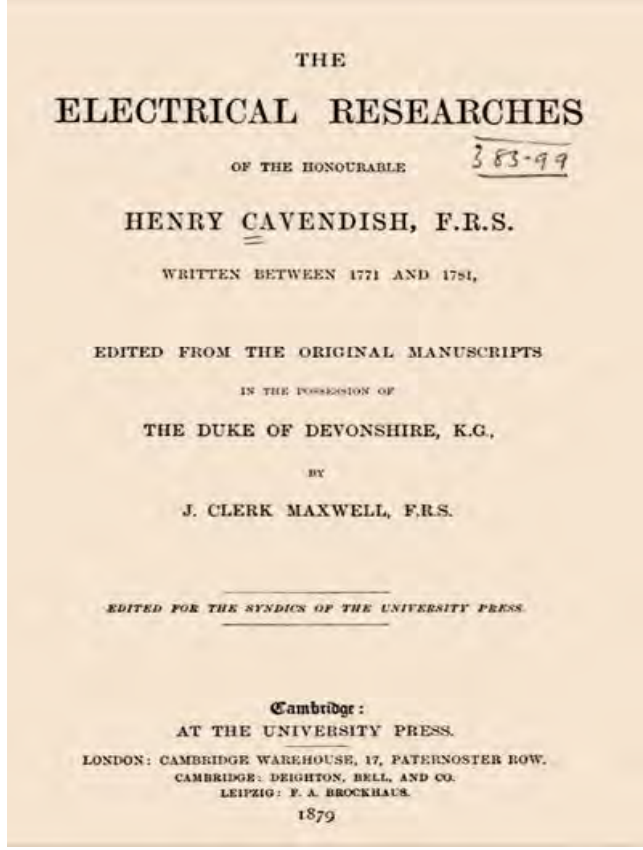
Oxford

AT THE CLARENDON PRESS

1873

[All rights reserved]





THE

ELECTRICAL RESEARCHES

OF THE HONOURABLE

HENRY CAVENDISH, F.R.S.

WRITTEN BETWEEN 1771 AND 1781,

EDITED FROM THE ORIGINAL MANUSCRIPTS

IN THE POSSESSION OF

THE DUKE OF DEVONSHIRE, K.G.,

BY

J. CLERK MAXWELL, F.R.S.

EDITED FOR THE SYNDICS OF THE UNIVERSITY PRESS.

Cambridge:

AT THE UNIVERSITY PRESS.

LONDON: CAMBRIDGE WAREHOUSE, 17, PATERNOSTER ROW.

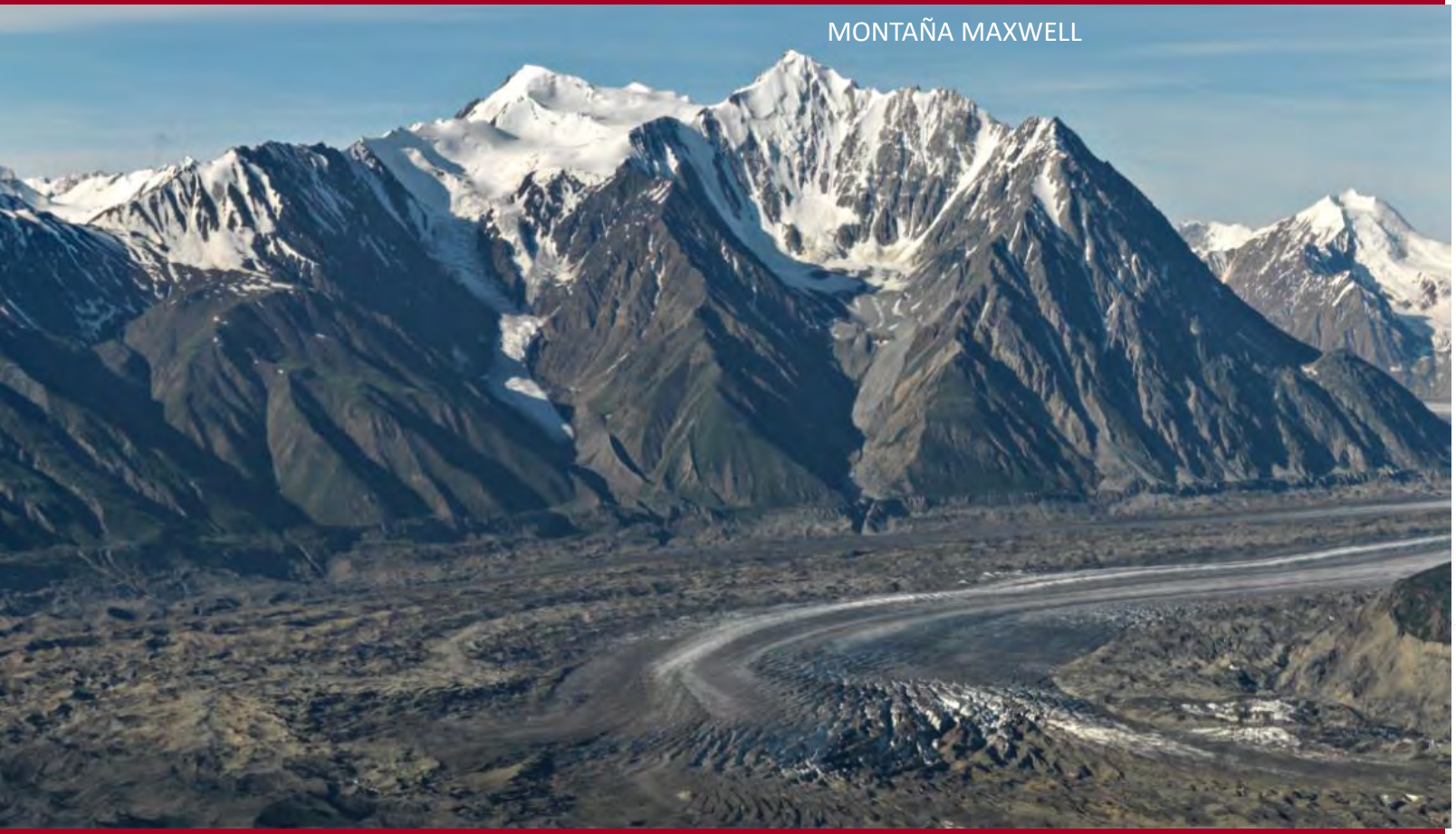
CAMBRIDGE: DEIGHTON, BELL, AND CO.

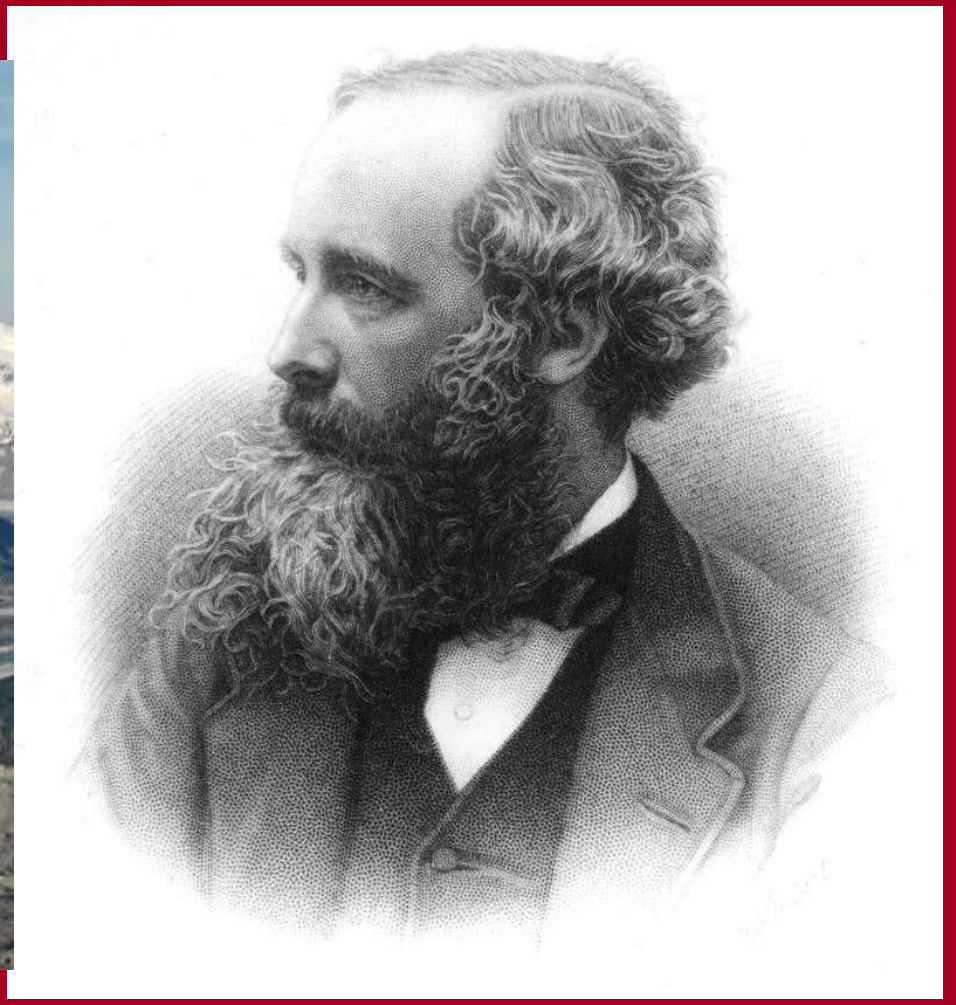
LEIPZIG: F. A. BROCKHAUS.

1879

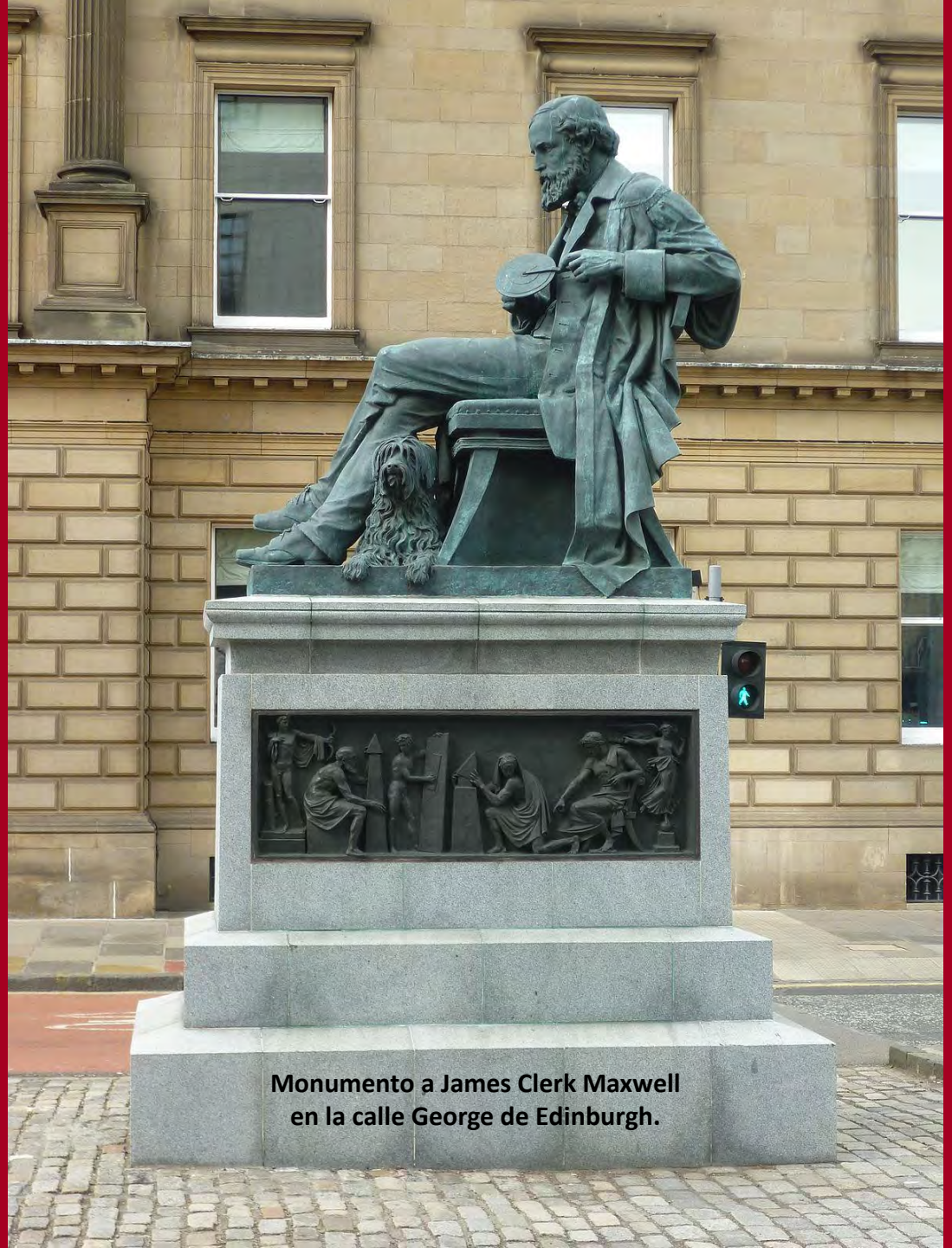
diferenciales que ahora llevan su nombre. En la introducción de esta obra, manifestó que su principal objetivo había sido formular matemáticamente las ideas físicas de M. Faraday, sugiriendo al mismo tiempo que las ondas electromagnéticas podrían ser generadas en el laboratorio, una posibilidad demostraría Heinrich Hertz en 1887, cunado ya no vivía Maxwell. Otro de sus cometidos fue la edición de los documentos manuscritos de H. Cavendish, el volumen *The Electrical Researches of the Honourable Cavendish*, publicado en el año 1879, fue un hito de considerable importancia en la historia de la electricidad.

MONTAÑA MAXWELL

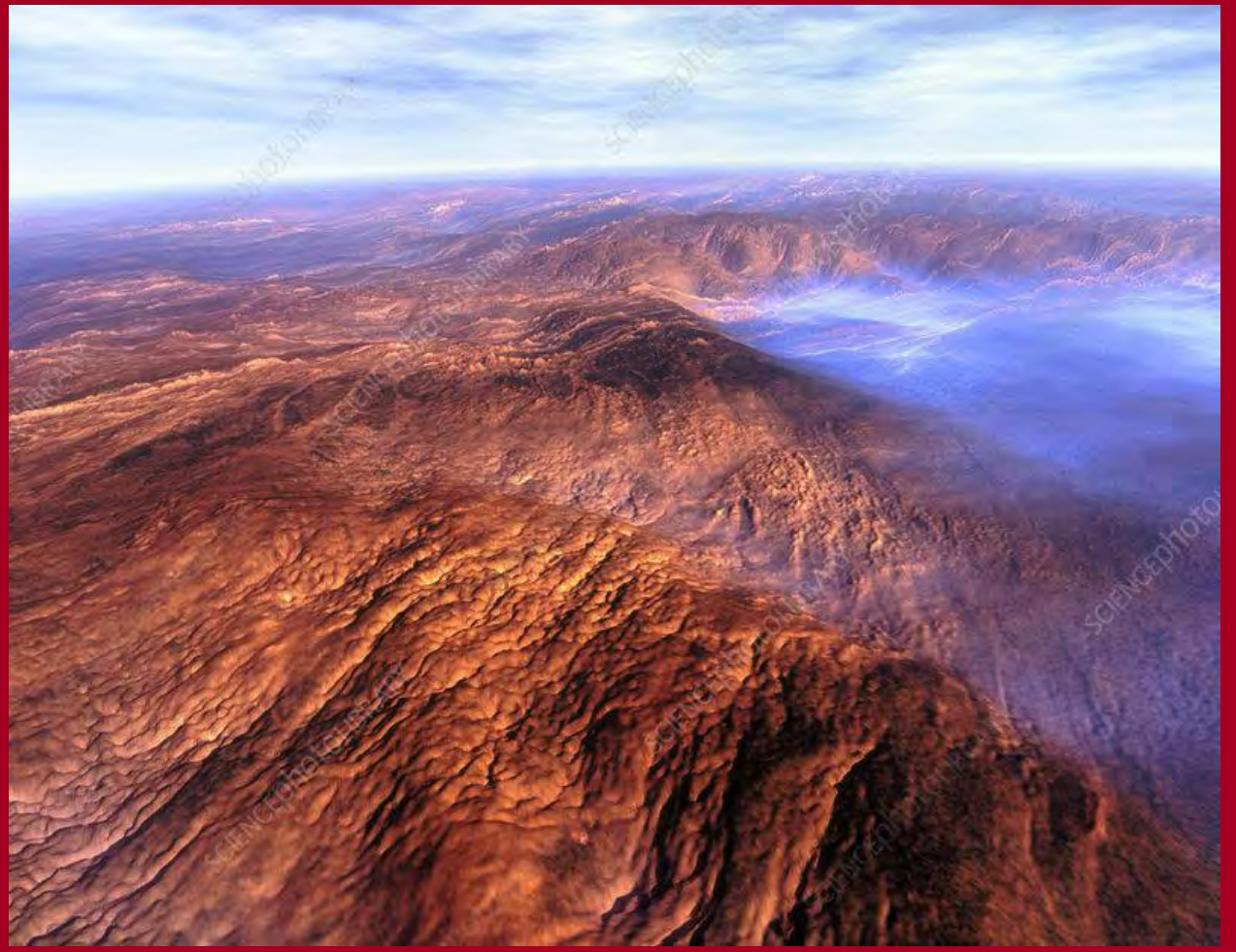




PARQUE NACIONAL KLUANE DE YUKON (CANADA)



Monumento a James Clerk Maxwell
en la calle George de Edinburgh.



Vista perspectiva de los Montes Maxwell en el planeta Venus. Los datos necesarios para generar la imagen fueron tomados por el radar de la nave espacial Magallanes

Tobías Mayer (1713-1762)

Astrónomo, matemático y cartógrafo alemán excepcional, que perfeccionó el método de las distancias lunares para mejorar el cálculo de la longitud geográfica; el cual presentó al concurso convocado por la Junta de Longitud (*Board of Longitude*), recibiendo sus herederos un total de 3000 libras. Nació Mayer en Marbach, una pequeña localidad próxima a Stugart, muy pronto heredó de su padre la afición por los instrumentos de la ingeniería, convirtiéndose en un gran delineante. En su formación fue determinante la tutoría ejercida por Carsten Niebuhr, que rápidamente se percató de sus habilidades en ese sentido. Poco tiempo después conoció a Gottlieb David Kandler, un zapatero y topógrafo interesado en la arquitectura y en la gnomónica, el cual se podía permitir la compra de varios libros, cuya lectura comentada realizaba Mayer, que fue profesor antes que discípulo. Más adelante coincidió con Geiger, un mecenas que le hizo aprender artillería, geometría, planimetría y fortificación. Con tal celo prosiguió sus estudios que cuando tuvo 18 años mostró orgullosos el siguiente título: *Tobias Mayer Lycei Esslingensis primanus*. Guiado probablemente por Kandler, levantó en el año 1739 el plano de Esslingen y de sus alrededores, el más antiguo

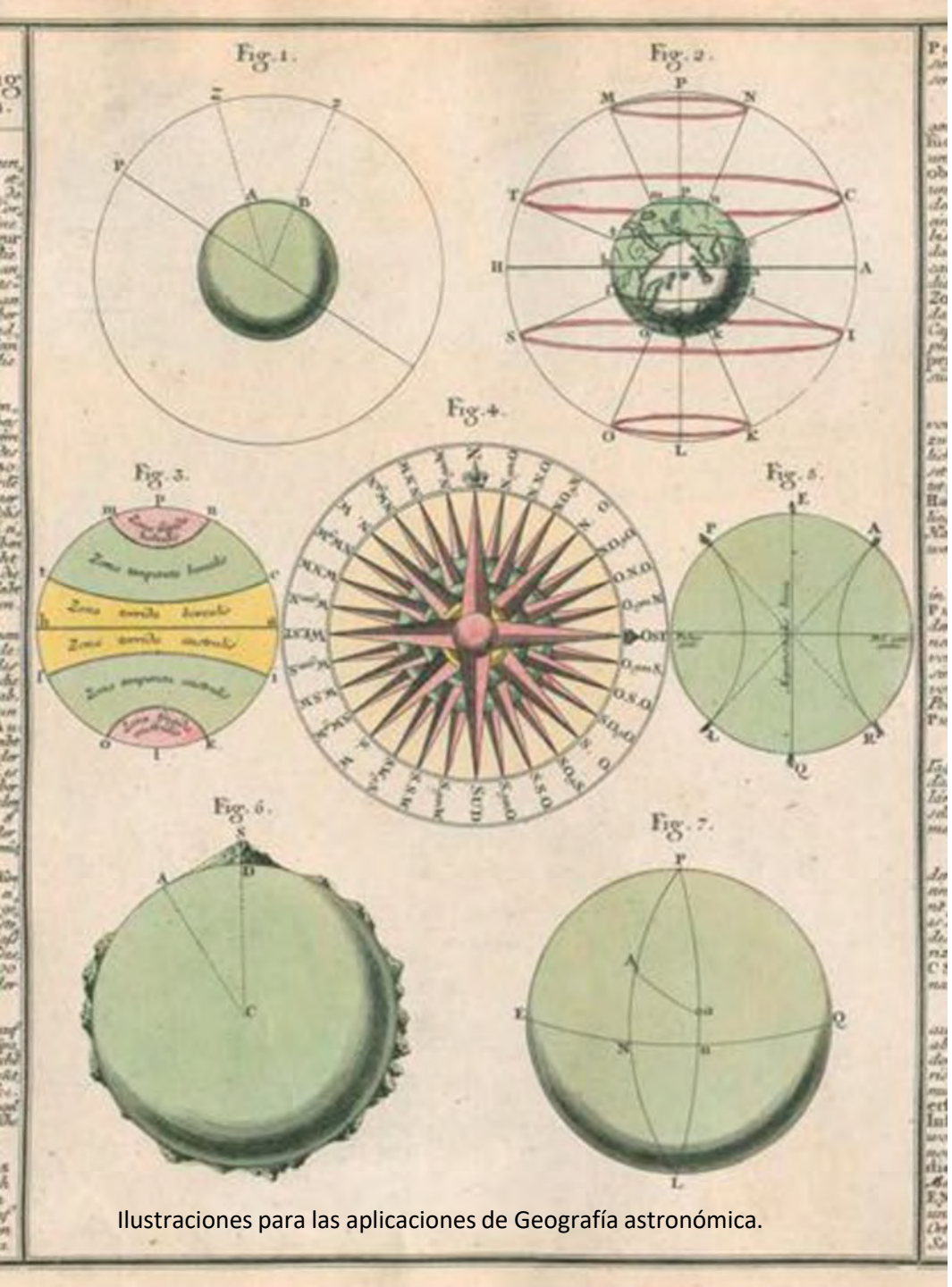
del que se tienen noticias, siendo esta su primera aportación científica.

Plano de Esslingen. Tobias Mayer. 1739

Por aquel entonces Mayer ya gozaba de la reputación suficiente para que Geiger lo recomendase como profesor, de topografía y otras materias, a los aspirantes que pretendían seguir la carrera militar. Su primera publicación aparece a comienzos de 1741, siendo posiblemente influenciada por otra de Christian von Wolff, con un título exageradamente largo: Neue und allgemeine Art, alle Aufgaben aus der Geometrie vermittelst der geometrischen Linien leichter insbesondere wie alle reguläre und irreguläre Vielecke, davon ein Verhältnis ihrer Seiten gegeben, in den Circul geometrisch sollen eingeschrieben werden, sammt einer kurzen nötigen Buchstaben-Rechnenkunst und Geometrie (Nuevo y general modo de resolver todos los problemas de geometría por medio de líneas geométricas, en particular, como todos los polígonos regulares o irregulares, conocida la razón de sus lados, serían inscritos en un círculo, incluyendo las nociones de álgebra y cálculo necesarios para ese propósito). Tras superar diversos contratiempos, decidió establecerse en Augsburgo en el año 1744, con la intención de ser admitido en la Agencia cartográfica Pfeffel. Dos años estuvo destinado en ella, compatibilizando su cometido con el estudio de varios idiomas, aparte del latín, pero sobre todo con la ampliación de sus conocimientos matemáticos, los cuales no tardaría en verlos reflejados. Así ocurrió cuando Johann Andreas Pfeffel publicó el Atlas matemático, en el que se expusieron una serie de conceptos con sus correspondientes aplicaciones: mecánicas, astronómicas, físicas,

1745

FRONTISPICIO DEL ATLAS ASTRONÓMICO DE TOBÍAS MAYER



Ilustraciones para las aplicaciones de Geografía astronómica.

militares y arquitectónicas; todos ellos presentadas en 60 tablas, inclusive el cálculo fue representado en las últimas ocho páginas de este inusual atlas. El título formal de la obra fue: *Mathematischer Atlas, in welchem auf 60 Tabellen alle Theile der Mathematic vorgestellet und nicht allein überhaupt zu bequemer Wiederholung, sondern auch den Anfängern besonders zur Aufmunterung durch deutliche Beschreibung und Figuren entworfen werden*; exponiéndose en ella una serie de conceptos con las pertinentes aplicaciones: mecánicas, astronómicas, físicas, militares y arquitectónicas; todos ellos presentadas en 60 tablas, inclusive el cálculo fue representado en las últimas ocho páginas de este inusual atlas, coronado con un magnífico frontispicio.

Mientras preparaba su atlas, Johann Franz se hizo cargo, en Nuremberg, de la celebrada empresa cartográfica que había fundado Johann Baptist Homann en 1702. Como nuevo director, Franz quiso dar un nuevo impulso a la firma, contratando especialistas cualificados. Atendiendo al ofrecimiento, Mayer abandonó Augsburgo en 1746, con la ilusión de un nuevo empleo y la posibilidad de hacer fortuna. En Nuremberg fue recibido con los brazos abiertos, presentándole Franz a familiares, amigos y hasta a la que acabaría siendo su esposa en 1751 (María Victoria Ghug).

Durante el periodo comprendido entre 1746 y 1751, Mayer fue el alma mater de la empresa, desarrollando sistemas cartográficos y produciendo una serie continuada de mapas excelentes. De entre todos ellos, ha de destacarse el conocido luego como *Germaniae Mappa Critica* (1750), aunque su título completo fuese *Germaniae atque in ea locorum principaliorum mappa critica ex latitudinum obseruationibus, quas hactenus colligere licuit, omnibus; mappis specialibus compluribus; itinerariis antiquis Antonini, Augustano et Hierosolymitano*; en el que se comparaban los dibujos efectuados por Delisle y por Homann. Para su preparación contó con el apoyo proporcionado por las observaciones astronómicas que permitieron hallar las latitudes de 22 lugares. El hecho de que Mayer concediera tanta importancia a la determinación de las coordenadas geográficas evidencia su rigor científico, también presente cuando el mismo obtuvo la de Nuremberg en 1752: *Latituto geographicaa urbis Norimbergae e movis observationibus deducta*, un trabajo publicado en la revista *Comentarii Societatis regiae Scientiarum Gottigensis*. Su reputación como cartógrafo se consolidó con la confección de un mapa de Suiza en 1751, contando para ello con la colaboración de su compañero de trabajo Georg Moriz Lowitz, el cual fue al parecer superior a todos los previos.

CARTE CRITIQUE DE L´ALLEMAGNE FAITE SUIVANT UN NUVEAU DESSEIN APPUJÉ DES MONUMENS AUTENTIQUES DU TEMS ANCIEN ET NOUVEAU, AVEC UNE COMPARAISON DE CELUI DE M^{R} ET DE HOMANN.

Fronstipicio de Kosmographische Nachrichten und Sammlungen (1748)

Mayer ya había dejado constancia de su actividad investigadora la actividad investigadora al escribir en 1748 cinco artículos, basados en interesantes observaciones astronómicas, que fueron publicados por la revista *Kosmographische Nachrichten und Sammlungen* de Nuremberg. También construyó por entonces un novedoso micrómetro con el que medir los discos de la Luna, Sol y planetas, así como las pequeñas distancias entre el limbo lunar y algunas estrellas fijas. El 26 de julio de 1748 observó el eclipse de Sol que se produjo ese día, realizando igualmente numerosas observaciones de ocultaciones de estrellas por la Luna, usando para estas últimas un sector cenital de madera con un radio de 8 pies, que él mismo restauró para medir con mayor fiabilidad la distancia cenital de las estrellas. A lo largo de los años 1749 y 1750 hizo las últimas mediciones astronómicas desde la sede de la empresa de Homann, entre los resultados obtenidos sobresalen las determinaciones de las variaciones del diámetro aparente de la Luna. *Observationes quaedam astronomicae Norimbeegae a. 1749 et 1750. Habitae in aedibus Homannianis*, pp 374-384.

El estudio sistemático de nuestro satélite lo inició en 1747 al idear una proyección ortográfica del mismo, para descubrir los detalles gradualmente cubiertos por la sombra de la Tierra, con el propósito de representar gráficamente un eclipse lunar. Fue así como comprobó que los mapas debidos a Riccioli y a Hevelius no eran suficiente mente fiables, decidiéndose por tanto a confeccionar uno nuevo. En primer lugar, tuvo que analizar el curioso fenómeno de la libración, observando micrométricamente, desde comienzos de 1748 a mediados de 1749,

numerosos detalles del disco lunar; apoyándose en tales observaciones dedujo que en la Luna no había atmósfera. Gracias a sus investigaciones se produjo un avance considerable en la selenografía, llegando a construir un globo lunar de 15 pulgadas de diámetro, marcando sobre su superficie los detalles más significativos; Mayer fue el primero en localizarlos mediante un par de coordenadas selenográficas. Incluso llegó a publicar en Nuremberg (1750) el siguiente folleto: *Bericht bvon den Mondskugeln, welche bey der kosmographischen Gesellschaft in Nürnberg, aus neuen Beobachtungen verfertigt werden, durch Tobias Mayern, Mitglieder derselben Gesellschaft. Zu finden in der Homannischen Officin* (Informe de Tobias Mayern, miembro de la Sociedad Cosmográfica de Nuremberg, sobre los globos lunares que se producen a partir de nuevas observaciones. Se encuentra en la Homannische Officin). En él se daban las instrucciones necesarias para construirlos, aunque luego abandonase el proyecto al ser nombrado Profesor de Matemáticas y Economía en la Universidad Georg August de Göttingen (*Georgia Augusta*).

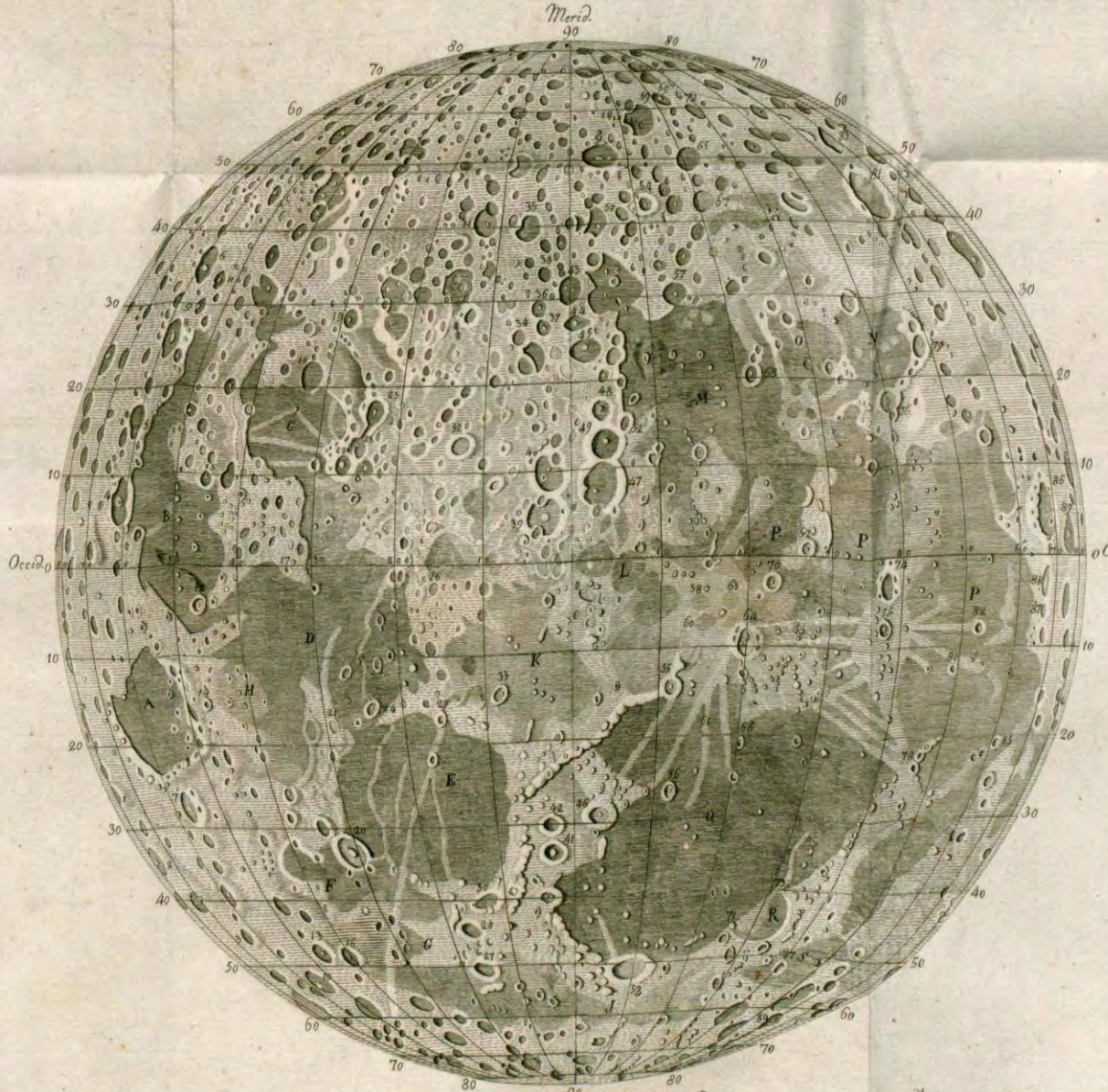
Bericht
von den
Mondskugeln,
welche
bey der kosmographischen Gesellschaft
in Nürnberg, aus neuen Beobachtungen
verfertiget werden
durch
Tobias Mayern,
Mitgliede derselben Gesellschaft.

Zu finden in der Homännischen Officin.
1750.

MONDGLOBUS de 39.5 cm de diámetro.

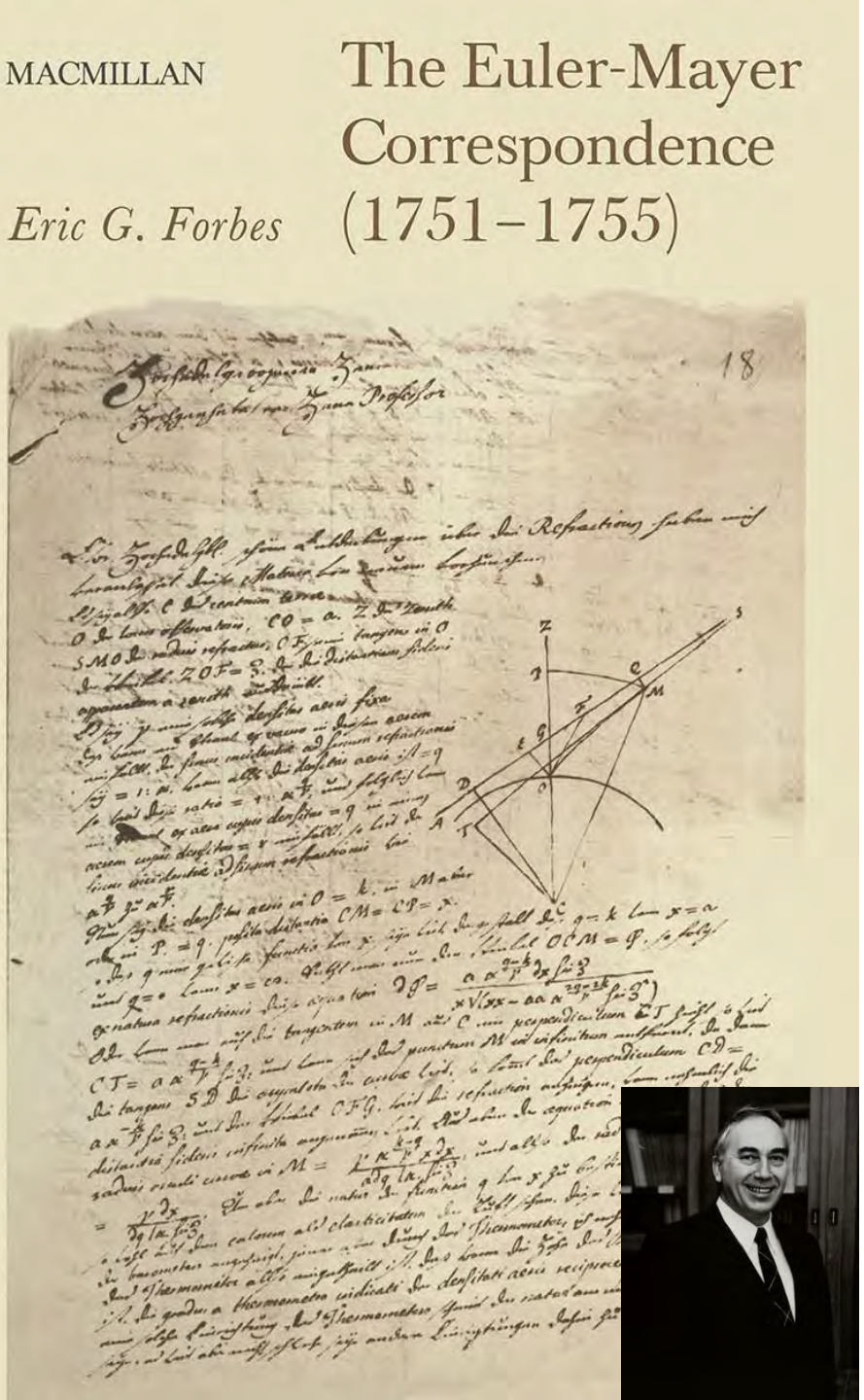
Se expone esta reconstrucción en el Museo Tobias Mayer. Marbach am Neckar. Alemania

TOB. MAYERI TABULA SELENOGRAPHICA.



Nomina maculorum insigniorum sec. Ricciolum,	sec. Hevelium.
A, Mare Crisium	Palus Maeotis
B, M. Foecunditatis	Mare Caspium
C, M. Nectaris	Sin. Athen. et Sin. extr. Ponti
D, M. Tranquillitatis }	Pontus Euxin.
E, M. Serenitatis }	
F, Lacus Somniorum	Sinus Cercinites
G, Lac. ortis	Montes Peuce
H, Palus Somnii	Lac. Corocondametis
J, Mare Frigoris	Mare Hyperboreum
K, M. vaporum	Propontis
L, Sin. aestuum	Mare Adriaticum
M, Mare nubium	M. Pamphilium
N, M. humorum	Sin. Sirbon. et M. Aegyptiac.
O, Sinus epidemiarum	Insula Didymae
P, Oceanus procellarum	Mare Coum et M. medit. pars
Q, Mare imbrium	Mar. mediterr. pars septent.
R, Sinus iridum	Sinus Apollinis
S, Sinus roris	Sinus Hyperboreus
1 Seneca	Mons Alaunus
2 Mercurius Falsus	— — — — —
3 Mercurius	Lacus hyperboreus inf.
4 Langrenus	Insula maior
5 Vendelinus	— — — — —
6 Furnerius	Pars montis Paropamisi
7 Cleomedes	Pars mont. Riphaeor.
8 Petavius	Petra Sogdiana
9 Steinius	P. mont. Paropamisi
10 Endymion	Lac. hyperbor. Sup.
11 Snellius	M. Paropamisus
12 Taruntius	Sin. Phasianus
13 Atlas	Pars M. M. Macrocemn.
14 Proclus	M. Corax
15 Goclenius	M. Caucasus
16 Hercules	P. Mont. Macrocemn.
17 Cleforius	P. Mont. Herculis
18 Fracastorius	Lac. Thospitis
19 Piccolomineus	Pars M. M. Sogdian.
20 Possidonius	Insula Macra
21 Vitruvius	Apollonia maior
22 Theophilus	Pars M. Moschi
23 Cyrillus	Pars M. Moschi
24 Plinius	Promont. Archesusia
25 Catharina	Pars M. Moschi
26 Dionysius	Pars M. Horminii
27 Aristoteles	M. Serrorum
28 Eudoxus	M. Carpathes
29 Menelaus	Byzantium
30 Calippus	M. Aemus
31 Maurolycus	— — — —
32 Abifeeda	Pars M. Antitauri
33 Manilius	Insula Besbicus
34 Apianus	Pars Anti-Libani
35 Stoeflerus	M. Calchastan
87 Cavalerius	Pars M. Pherme
88 Hevelius	Pars M. Pherme
89 Ricciolus	Stagnum Miris

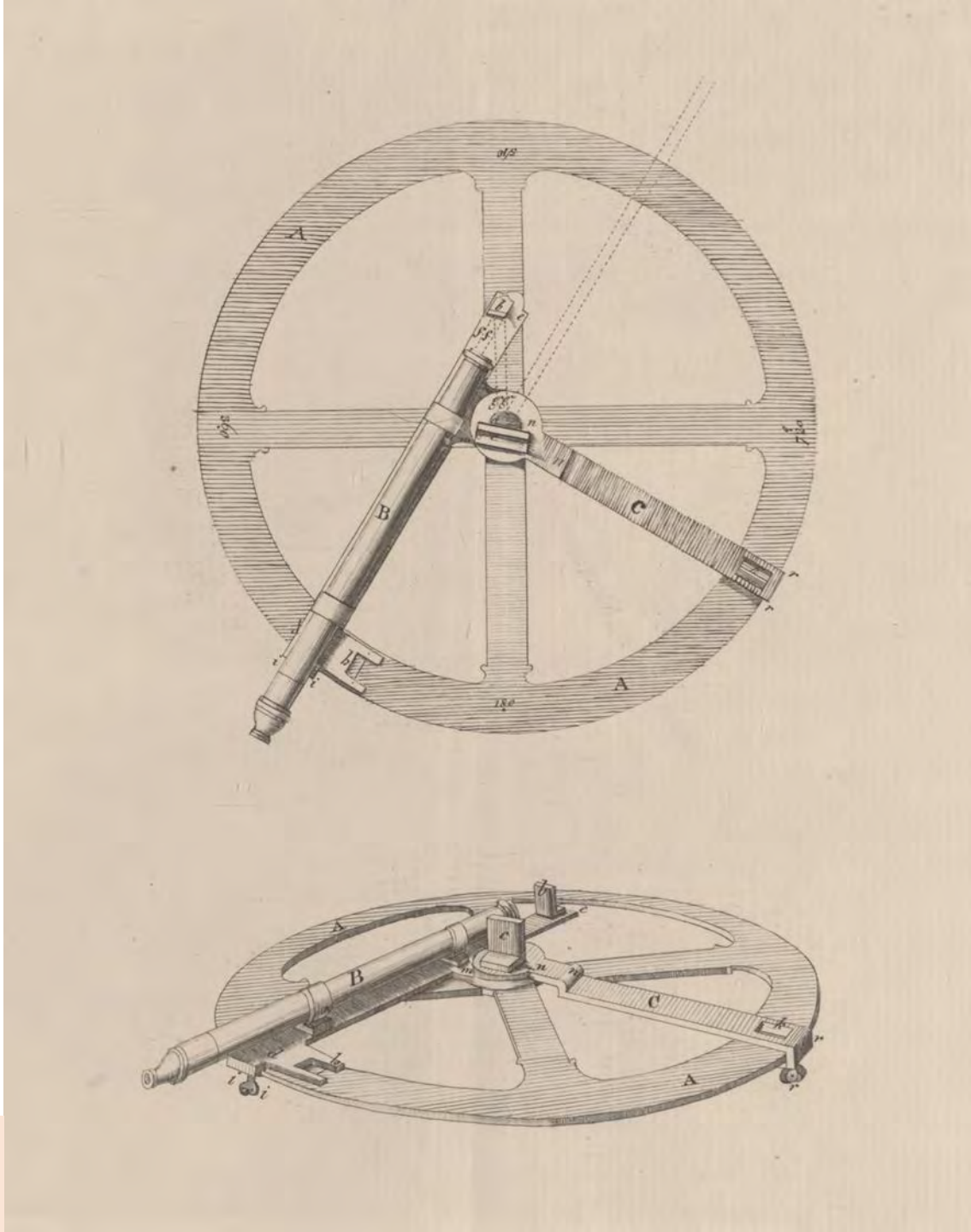
Nomina maculorum insigniorum sec. Ricciolum,	sec. Hevelium.
36 Aliacensis	Pars Anti-Libani
37 Werner us	Pars Anti-Libani
38 Fernelius	Pars M. Hermo
39 Hipparchus	M. Olympus
40 Albategnius	M. Didymus
41 Aristillus	M. Ligustinus
42 Autolycus	M. Montuniates
43 Walther us	M. Tabor
44 Regiomontanus	Pars M. Libanon
45 Purbachius	Pars M. Libanon
46 Archimedes	M. Argentarius
47 Ptolemaeus	M. Sipylus
48 Arzachel	M. Crayus
49 Alphonsus Rex	M. Masicytus
50 Orontius	M. Hermo
51 Maginus	M. Seir
52 Alpetragius	Promont. Aenarium
53 Plato	Lacus niger maior
54 Tycho	M. Sinai
55 Eratosthenes	Inf. Vulcania
56 Timocharis	Inf. Corsica
57 Pitatus	Mare mortuum
58 Stadius	Pars lacus Herculei
59 Clavius	Desert. Hevila
60 Dominic. Maria	Pars lacus Herculei
61 Pytheas 2	— — — —
62 Landsbergius	Inf. Malta
63 Rheticus	Pars lacus Herculei
64 Copernicus	M. Aetna
65 Longomontanus	M. Annae
66 Pytheas 1	Inf. Sardinia
67 Guilelmus Hass. Landg.	M. Horeb
68 Bullialdus	Inf. Creta
69 Blancanus	Desert. Raphidim
70 Reinhold	M. Neptunus
71 Heraclides Inf.	— — — —
72 Scheinerus	Pars Vallis Hajalon
73 Heraclides verus	— — — —
74 — — — — —	Sinus Syrticus
75 Kepler	Loca paludosa
76 Gassendus	M. Cataractes
77 Harpalus	Inf. Sin. Hyperb.
78 Aristarchus	M. Porphyrites
79 Mersenius	M. Ajax
80 Marius	M. Gemanicianus
81 Schickhardus	M. Troicus
82 Galilaeus	M. Audus
83 Phocylides	M. Tadnos
84 Pythagoras	ad Sinum hyperbor.
85 Seleucus	M. Pentadactylus
86 Grimaldus	Palus Maraeotis



Tan pronto como se instaló en su nuevo destino, contactó con L. Euler, ya que Mayer admiraba mucho su obra, para comentarle sus descubrimientos. Euler aceptó el intercambio epistolar, pues tenía buenas referencias de Mayer, dadas por su común amigo Franz. Otra razón fue el evidente interés de Euler por dos cuestiones concretas: la refracción astronómica y la teoría de la Luna: no obstante, otro tema de interés que abordaron fue el d e la distribución del calor sobre la superficie terrestre. Con relación a este, es destacable el intento de Mayer por establecer una relación entre el efecto del calentamiento anua medio y la latitud geográfica, llegando a fijar el decrecimiento de la temperatura con la altitud sobre el nivel del mar; asegurando que en Göttingen era del orden de 1º C, parecido al valor actualmente admitido. Dicha correspondencia fue editada en 1971 por Eric Gray Forbes, Profesor de Historia de la Ciencia en la Universidad de Edimburgo: *The Euler-Mayer Correspondence 81751-1755). A new perspective on Eighteenth-century Advances in the Lunar Theory.*

Mayer confesaría más adelante que su correspondencia con Euler, unida a la lectura de sus trabajos sobre Análisis y mecánica, le habían ayudado a estudiar con mayor profundidad el movimiento de la Luna; comprendiendo entonces la necesidad de determinar con el mayor rigor la anomalía media del Sol y las de la Luna, del mismo modo que

la distancia angular media entre ambos cuerpos. Tras haber efectuado numerosas observaciones, planteó trece ecuaciones relativas a la longitud de la Luna, pudiendo calcular a continuación sus coordenadas con una indeterminación de 2´, si bien logró reducirlos a la mitad después de haber realizado pequeñas correcciones. Los resultados obtenidos fueron dados a conocer en el año 1753: *Novae tabulae motuum Solis et Lunae*, poniendo de relieve que las anteriores tablas lunares habían quedado superadas. La buena acogida que tuvieron le animó a modificar el instrumento topográfico de repetición que había ideado, con objeto de poder usarlo también en las observaciones astronómicas. La novedad principal del nuevo procedimiento de medida fue la introducción del método de repetición al medir los ángulos, pues con su empleo disminuyó sobremanera la incertidumbre de los resultados, pasando de los 4´o 5´a los 10´´o 15´´; en otras palabras, se redujeron al mínimo los errores aleatorios propios del proceso. El principio del nuevo método es el mismo que se usaría al estimar el grosor de la página de un libro, midiendo su espesor y dividiendo el resultado por el número de páginas.



Grabado del Círculo Repetidor de Tobias Mayer. Ilustración de su obra póstuma: *Tabulae motuum solis et lunae novae et correctae auctore Tobia Mayer, quibus accedit methodus longitutinum promota eodem auctore*. Londres. 1770.

CIRCULO REPETIDOR DE TOBIAS MAYER

Octante del matemático inglés John Hadley

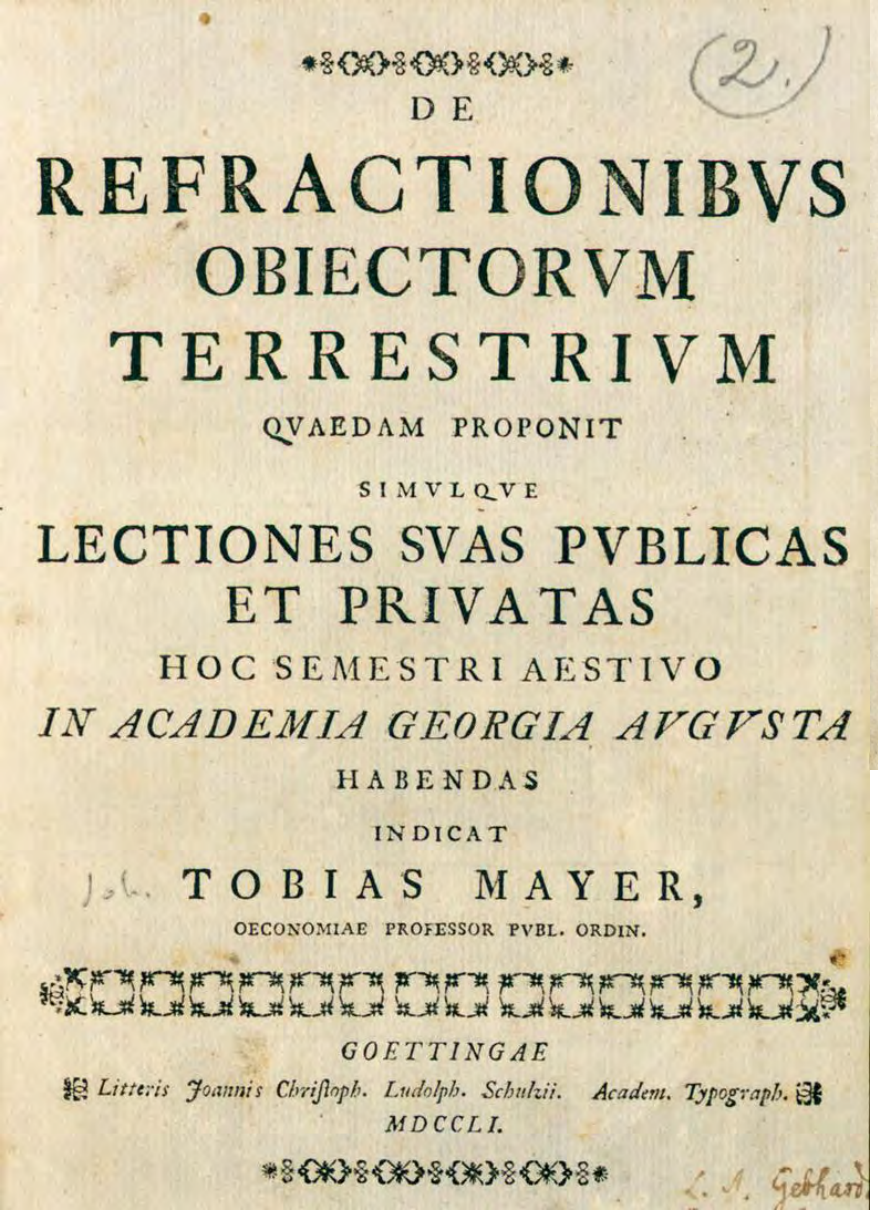
Aunque en un principio, Mayer fuese reacio a presentar una oferta al parlamento Británico, optando al premio que se ofrecía al que solucionase el problema de la longitud, finalmente cedió a las presiones de sus amigos de Göttingen, y fundamentalmente a las de Euler, y en el año 1755 envió una copia de sus tablas lunares al Almirantazgo británico, junto con una memoria en la que explicaba la manera de hallar la longitud en el mar a partir de la medida de las distancias angulares entre la Luna y las estrellas, mediante un círculo repetidor de madera; asimismo les hizo llegar una fórmula para corregir errores en longitud debidos a la refracción atmosférica. La documentación recibida fue remitida al astrónomo real J. Bradley, el cual confirmó la bondad de las tablas al comparar sus datos con los resultados de sus propias observaciones<, realizadas en los últimos cinco años con un teodolito y con un cuadrante astronómico de ocho pies de radio. La única salvedad que indicó fue que el instrumento propuesto por Mayer era demasiado pesado para ser usado en el mar, una decisión que en absoluto sorprendió a este; consciente de las limitaciones de su instrumento, al compararlo con el octante del matemático inglés John Hadley. Sin embargo, la cicatería de los miembros de la Junta de Longitud impidió que Mayer recibiera una recompensa acorde con sus méritos, a pesar de haber contado con los informes positivos del nuevo astrónomo real N. Maskelyne; solamente le fueron enviados a su viuda 3000 libras.

No obstante, las tablas lunares de Mayer adquirieron fama internacional, valiéndole para ingresar en la Academia de Ciencias de Göttingen (*Akademie der Wissenschaften zu Göttingen*), en el año 1753. De igual modo, la importancia

concedida por Euler a sus estudios sobre la teoría lunar, y su expresa recomendación, hizo que la Academia de Berlín le ofreciese una plaza como Profesor de la misma, en el verano de 1754. Por otra parte, su prestigio como cartógrafo estuvo detrás de la investigación análoga que recibió de la Academia De Ciencias de San Petersburgo. Preocupadas las autoridades locales por su marcha, le ofrecieron la dirección del Observatorio Astronómico que se estaba gestando en Göttingen; una propuesta que aceptó de inmediato, comunicando su decisión a Euler, quien había sido su interlocutor con las dos Academias anteriores. La construcción del nuevo observatorio se ultimó en 1754, dotándolo en el otoño de 1755 de un cuadrante mural de 6 pies de radio, fabricado por J. Bird; con él conseguiría sus mayores logros, descritos en su trabajo: *Observationes Astronomicae Quadranti Murali Habitae in Observatorio Gottingensi*, leido en la Academia el 6 de noviembre de 1756. Con su ayuda y con un reloj de péndulo, realizó una serie de observaciones a estrellas zodiacales, entre los años 1756 y 1761, debiendo señalar como curiosidad científica, qué a comienzos de 1756 , divisó Urano, aunque no lo reconociera como planeta; valiéndose de esta observación W. Herschell cuando lo identificó como *Georgium Sidus*. De esa época datan dos trabajos relevantes de Mayer. Uno sobre el método para calcular con facilidad los eclipses solares en un lugar dado (1757) y otro un comentario sobre el movimiento propio de las estrellas fijas; indicando en este último la posibilidad de que el sistema solar fuese un todo, que se desplaza por el espacio.

El viejo observatorio de Göttingen, localizado al Suur de la ciudad

Tobias Mayer
su primer director
(1751-1762)



DE

REFRACTIONIBVS
OBIECTORVM
TERRESTRIVM

QVAEDAM PROPONIT

SIMVLQVE

LECTIONES SVAS PVBLICAS
ET PRIVATAS

HOC SEMESTRI AESTIVO

IN ACADEMIA GEORGIA AVGVSTA

HABENDAS

INDICAT

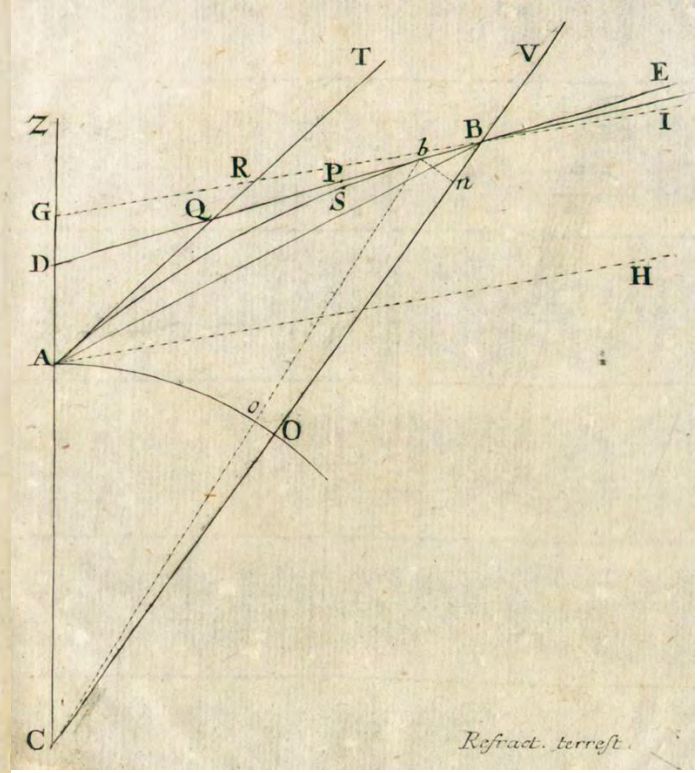
TOBIAS MAYER,

OECONOMIAE PROFESSOR PVBL. ORDIN.

GOETTINGAE

Litteris Joannis Christoph. Ludolph. Schulzii. Academ. Typograph.

MDCCLI.

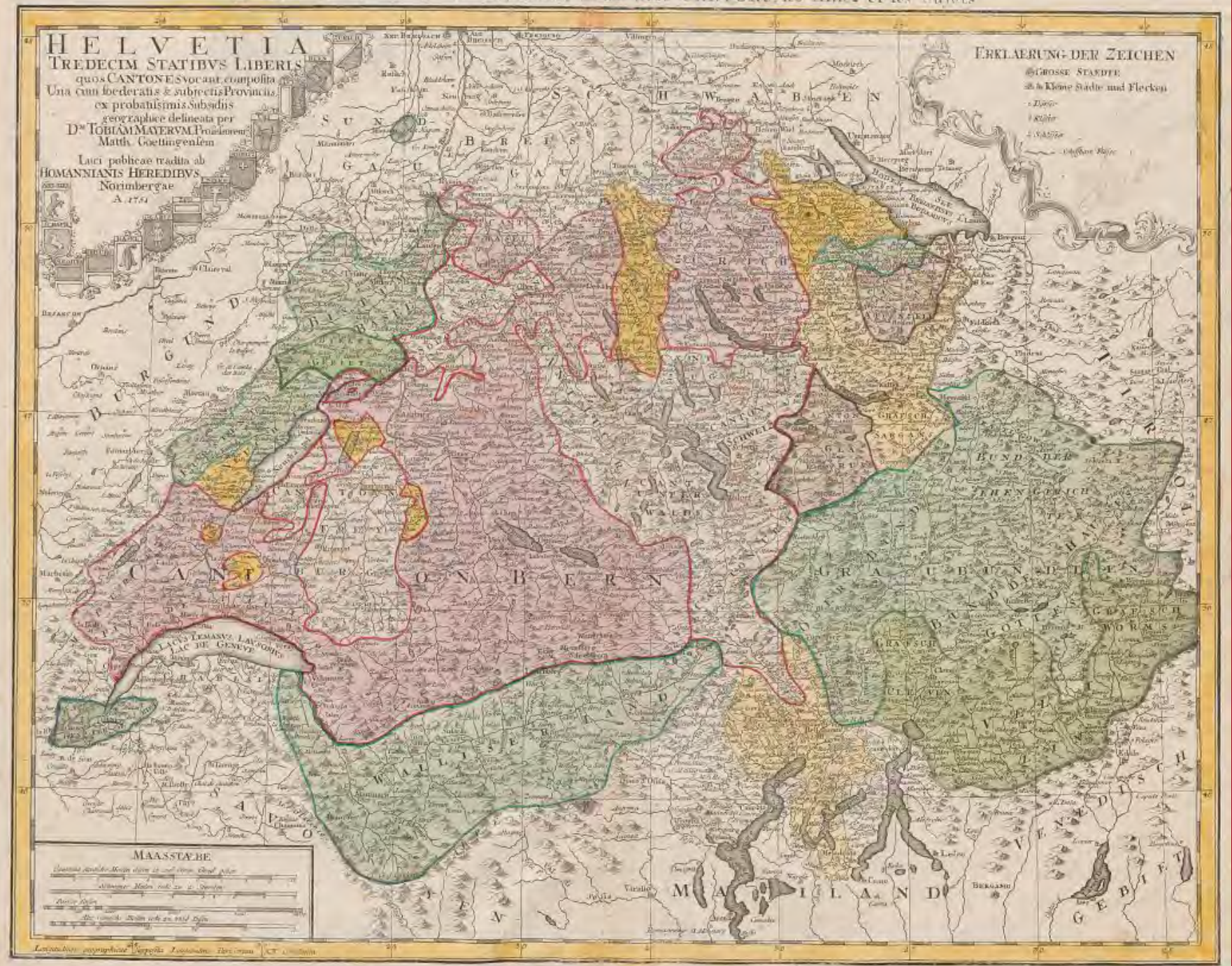


Las tareas anteriores las simultaneó con la publicación en la revista de la Academia de Göttingen, *Göttingischen Gelehrten Anzeigen*, de numerosos artículos sobre múltiples cuestiones matemáticas, astronómicas y físicas, tales como los efectos de la atracción de Júpiter y la Tierra sobre el planeta Marte, o el referido a las mejoras introducidas en la construcción de astrolabios. Digna de mención es su contribución sismológica del año 1756: *Versuch einer Erkläring des Erdbebens*, en el que intentó explicar la ocurrencia de terremotos, indicando que el colapso de los edificios era debido a un cambio repentinos en la orientación de la gravedad. Además de las investigaciones en esos campos, fueron también muy frecuentes sus conferencias sobre astronomía teórica y práctica, matemáticas, mecánica y artillería. Entre ellas puede considerarse la que impartió sobre la refracción terrestre, apuntando a su directa relación con las variaciones meteorológicas del lugar en que se realizase la observación.

Su trabajo, publicado en el año 1751, lo tituló: De Refractionibus obiectorum terrestrium quaedam proponit simulque. Lections suas publicas et privatas hoc semestre aestivo. In Academia Georgia Augusta. Habendas indicat Tobias Mayer.

Reproducción del CUADRANTE ASTRONÓMICO usado por T. Mayer en el Observatorio de Göttingen. Se inauguró este monumento astronómico el 21 de junio de 2012, al cumplirse el 250 aniversario de su fallecimiento. Está situado en el centro de Marbach am Neckar.

LA SVISSE, divisée en ses treze CANTONS, les Alliez et les Sujets



Pierre François André Méchain (1744-1804)

Hidrógrafo, astrónomo y destacado geodesta. Participó en la formación de mapas del litoral atlántico de Francia, descubrió varios cometas y colaboró en dos proyectos geodésicos relevantes: la unión de los observatorios de Greenwich y París, que permitió conocer la diferencia de longitudes entre ambos, y la triangulación del arco de meridiano comprendido entre Dunkerque y Barcelona, prolongada mediante una cadena de triángulos hasta la costa valenciana, consiguiendo enlazarla con la isla de Mallorca; este segundo proyecto geodésico fue determinante para la implantación del Sistema Métrico Decimal y para la definición del metro como la unidad lineal que equivalía a la diezmillonésima parte del cuadrante del meridiano ya citado. Méchain nació en Loan, al Norte de Francia, siendo educado por los jesuitas, surgiéndole entonces su afición por la astronomía; aunque su rápida comprensión de las matemáticas hizo que le recomendaran ingresar en la *École Nationale des Ponts et Chaussées*. Sin embargo, dificultades económicas familiares le impidieron proseguir tales estudios, dedicándose a dar clases particulares para poder subsistir; su nueva posición le

permitió incluso instrumentos con los que efectuar sus primeras observaciones astronómicas, aunque luego tuviese que revender algunos para solventar alguna dificultad económica de su padre.

Por entonces debió conocer a J. Lalande, el cual debió observar en él cualidades suficientes como para entregarle una nueva edición de su Tratado de Astronomía para su lectura y revisión; el resultado debió ser satisfactorio ya que este le recomendó, en 1772, para un puesto de calculador en el Depósito de la Marina de Versalles. Al trasladarse el Depósito a París, Méchain fijó allí su residencia, simultaneando sus tareas cartográficas con las propias del cálculo. A partir de entonces levantó los planos de numerosos lugares del Canal de la Manche* y otros lugares del litoral, luego recopilados en la serie *Côtes de France*; la intensa actividad cartográfica de Méchain prosiguió hasta el año 1790. De entre todos sus planos se ha seleccionado el de la Bahía de Cherburgo, por haber usado para su levantamiento la triangulación, destacando asimismo las intersecciones directas con que se posicionó la isla Pelée. También son dignas de recordar otras de sus características: el sombreado con el que se representaron los roquedos, su cuidada delineación, el empleo equilibrado de los diferentes colores, así como la información marginal que aportó, «*L´Isle Pelée et les rcochers le long de la côte couvrent et découvrent touts les marées*».

Detalle de la Carte de la Rade de Cherbourg et des environs. P. Méchain.1784

* Canal de la Manga, aunque fuese mal traducido por Canal de la Mancha. El nombre francés obedece a la forma del canal.

CARTE DE LA RADE DE CHERBOURG ET DES ENVIRONS. P. Méchain. 1784

Las sondas se expresaron en toesas. Su escala numérica fue de 1/12000, aunque se añadiera otra gráfica, con un pitipié de 6 líneas por 100 toesas.

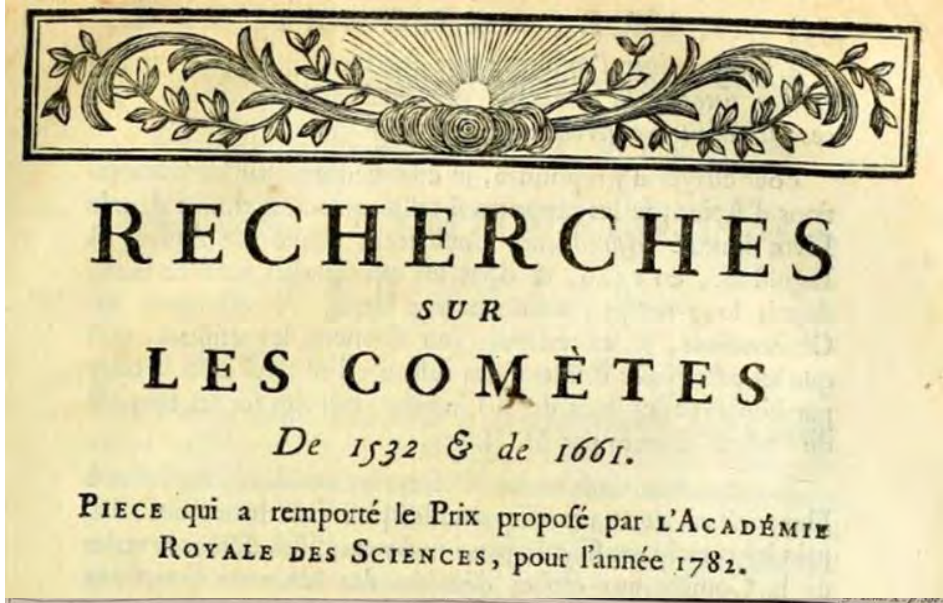
En el año 1774 conoció Méchain a Charles Messier, iniciándose a partir de entonces una fructífera colaboración, siendo ya astrónomo-hidrógrafo del Depósito. En 1777 asistió a su maestro y protector, J. Lalande, en las observaciones realizadas desde el Observatorio del Colegio Real. La mayoría de los objetos nebulosos (nebulosas, cúmulos de estrellas abiertos y globulares, y galaxias) descubiertos por Méchain fueron catalogados por Messier en su recopilación: *Catalogue des Nébuleuses et des amas d'Étoiles, que l'on découvre parmi les Étoiles fixes sur l'horizon de Paris*. Todas las imágenes descubiertas por Méchain en el espacio profundo, fueron divisadas por telescopios sin los aumentos necesarios para poder apreciar toda su grandeza; aunque sea difícil hacer una selección, se reproducen las cuatro siguientes: M75, M78, M101 y M104, respectivamente localizados en las constelaciones de Sagitario, Orión, Osa Mayor y Virgo.

Méchain descubrió también un total de 14 cometas entre 1779 y 1791, sobresaliendo los dos que observó en 1781, uno el 28 de enero y otro el 9 de octubre, pues logró calcular las órbitas de los mismos. Al año siguiente convocó la Academia de Ciencias de París, un concurso relativo a los cometas de 1531 y 1661, debiendo responder a cuatro cuestiones a ellas referidos. El premio correspondiente fue ganado por Méchain, con su memoria *Recherches sur les Comètes de 1532 & 1661, piece qui remporté le Prix proposé parl´Academie Royal des Sciences pour l´année 1782*, luego

Galaxia espiral, o del molinete. Fue descubierta por Pierre Méchain el 27 de enero de 1781. Se encuentra a unos 23 millones de años luz. Imagen captada por el telescopio espacial Hubble.

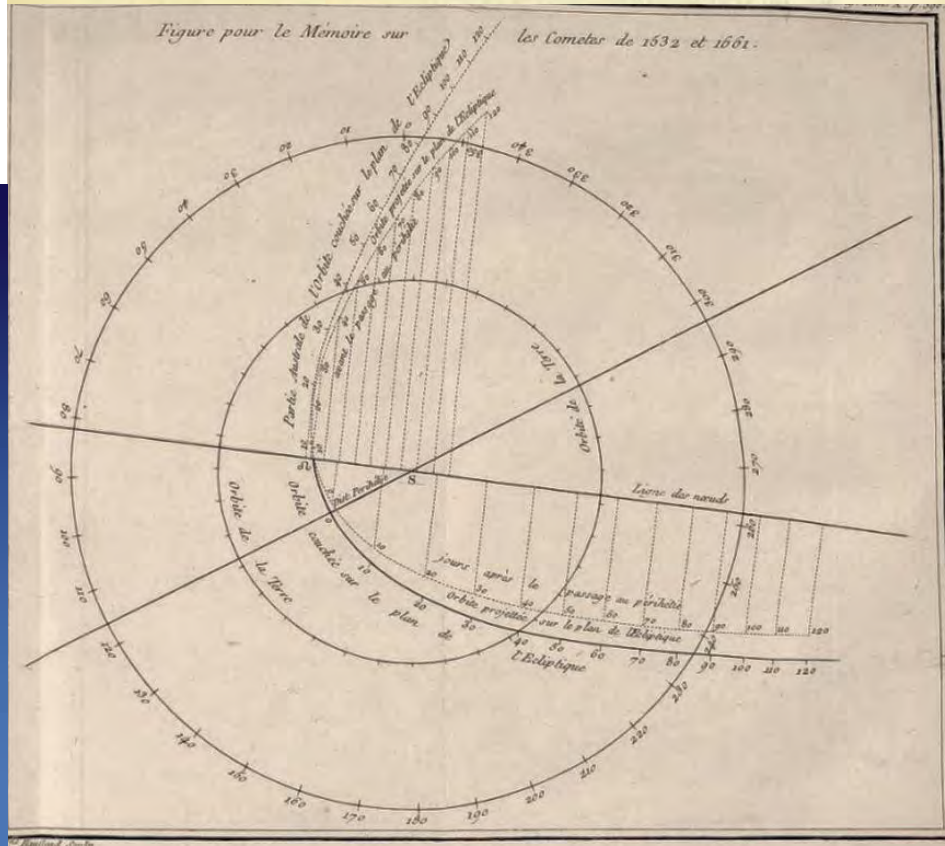
Galaxia de tipo lenticular, conocida como la del sombrero, fue descubierta por Pierre Méchain el 6 de mayo de 1783. se encuentra a unos 30 millones de años luz. Imagen captada con el telescopio espacial Hubble.

publicada en Memoires de Mathématique et de Physique. Tome X. Présentés a l´Académie Royal des Sciences, pour divers Savans, et lus dans ses Assemblées. (pp. 333-396. 1785). Delambre comentó años después , en el elogio de Méchain, que todas las cuestiones, «et surtout la partie des calculs, furent traités par Méchain avec une exactitude et un travail qu´on ne peut s´empêcher de regreter quand on en voit la conclusion, qui est que ces comètes de 1532 et 1661: étoient réellement différentes, et qu´aucune des deux ne devoit reparoître en 1789 ou 1790, comme on l´avoit espéré». Dicho premio le abrió las puertas de la Academia, en la cual fue admitido como adjunto ordinario en ese mismo año 1782.



RECHERCHES
SUR
LES COMÈTES
De 1532 & de 1661.

PIECE qui a remporté le Prix proposé par L'ACADÉMIE ROYALE DES SCIENCES, pour l'année 1782.



El cometa 2P / Encke, fue descubierto por P. Méchain el 17 de enero de 1786. En el año 2023 se aproximó tanto al Sol que alcanzó su máxima luminosidad. El astrónomo Johann Frannk Encke demostró que se trataba de un cometa periódico en el año 1819. El número 2 indica que fue el segundo cometa periódico descubierto, después del Halley.

EXPOSÉ

DES

OPÉRATIONS FAITES EN FRANCE

EN 1787,

POUR LA JONCTION DES OBSERVATOIRES

DE PARIS ET DE GREENWICH;

PAR MM. CASSINI, MÉCHAIN ET LE GENDRE,
Membres de l'Académie Royale des Sciences.

DESCRIPTION ET USAGE D'UN NOUVEL INSTRUMENT,
propre à donner la mesure des angles, à la précision d'une seconde.

A PARIS,

DE L'IMPRIMERIE DE L'INSTITUTION DES SOURDS-MUETS,
près l'Arsenal.

ET SE TROUVE

A l'Institution des Sourds-Muets, près l'Arsenal;
Chez M. RUELLE, à l'Observatoire Royal, fauxbourg S. Jacques;
Et BLEUET, Libraire, rue Dauphine, N°. 112.

Tales cualidades concurrían en P. Méchain y tanto era su interés por todo lo que pudiera suponer un avance para la geografía y la navegación, que en el año 1785 se hizo cargo de la dirección y publicación de la revista *Connoissance des Temps*; reconociéndose años más tarde que ningún astrónomo de los que le sucedieron logró superar su labor al frente de la misma. Dos años después, en 1787, se emprendió un proyecto geodésico anglo francés que pretendía fijar la posición relativa de sus dos observatorios reales: Greenwich y parís; determinando con el mayor rigor posible la diferencia de longitudes entre ambos. La propuesta original la hizo Cassini de Thury, señalando la necesidad de configurar una cadena de triángulos, que partiendo del observatorio inglés se uniera, cerca de Dunkerque, Calais y Boulogne, a la triangulación francesa. Para la ejecución del enlace la Academia de Ciencias tuvo que nombrar los comisionados encargados de las medidas angulares en Francia, las cuales se ejecutarían mediante instrumentos que soportasen su comparación con los empleados en Inglaterra. Los académicos elegidos fueron Cassini, Méchain y Legendre; dotándoles de un instrumento no tan imponente como el teodolito de Ramsden, pero con análogas prestaciones. El aparato elegido no fue otro que el círculo repetidor de Borda, que significó un progreso considerable para las observaciones astronómicas y geodésicas. Las Memorias de la academia y una obra del propio Méchain (*Exposé des opérations faites en France*,

en 1787, pour la jonction des observatoires de Paris et de Greenwich ; par MM. Cassini, Méchain et Le Gendre,... Description et usage d'un nouvel instrument propre à donner la mesure des angles, à la précision d'une seconde), además de la siguiente: *Description des opérations faites en Angleterre pour déterminer les positions respectives des observatoires de Greenwich et de Paris ... traduite de l'anglais par R. Prony, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées*. Es probable que la participación de Méchain en el enlace anterior, propiciara su ingreso en la Royal Society en el año 1789.

	1re. *Hypothese.*	2e. *Hypothese.*
Longitude de l'Observatoire Royal de Greenwich, comptée de l'Observatoire Royal de Paris (3) vers l'Ouest.	. . . . 2°.19′.29″,2	. . . 2°.20′.9″,4
	en temps 0h. 9.18 ,6	. . . 0h. 9.20,6

Los observatorios astronómicos de París (izquierda) y de Greenwich (derecha)

CÍRCULO REPETIDOR
de Jean-Charles de Borda

CARTE contenant un apperçu de la *DISPOSITION* des *TRIANGLES* au moyen desquels on propose de déterminer les *SITUATIONS RESPECTIVES* des Observatoires de *GREENWICH* et de *PARIS*.

PARALLELE DE L'OBSERVATOIRE DE GREENWICH
Méridien de l'Observatoire de Greenwich
Méridien de l'Observatoire de Paris
Echelle de 30 Milles Anglais
Echelle de 30 000 Fathoms
Echelle de 30 mille toises, le rapport de la toise au Fathom étant celui de 1065, 75 à 1000
LONDON
Greenwich R. Ob.
Windsor Castle
Chiswick House
Harrow
Hampstead
St. Paul's
Shooter's Hill Tower
Purfleet
Tilbury
Gravesend
Leigh
Shoebury
Sheerness
I. of SHEPPY
ROCHESTER
Chatham
Chrismas Tower
Hanging Wood
Woolwich
Hollow Wall
Woolwich Mill
Roan Hill
Billingdon Hill
Shingle Barn
Charing Beam
Penshurst
Tunbridge Wells
Forest Row
Firmoddey
Groombridge
Frant Ch.
Tenterden
Rye
Winchelsea
Hastings
Fairlight Head
Beachy Head
Pevensey Level
Brighthelmstone
Little Hampton
Arundel Haven
Selsey Harbour
Goodwin Sands
Margate
St. Peters
N. FORELAND
Reculver
I. of THANET
Whitstable
High Asp
CANTERBURY
Sandwich
Deal
Walmer Castle
Barfreston
S. FORELAND
Dover Castle
Folkstone
Dungeness
Romney
Dymchurch Sea Wall
Hythe
Sandgate
Ruckinge
Aldington Knoll
Appledore
Ivychurch
Newchurch
Bilsington
Ashford
Lympne
Hythe
Saltwood
Hythe
Sandgate
Folkstone
Dover Castle
S. FORELAND
Walmer Castle
Deal
Sandwich
Ramsgate
Margate
N. FORELAND
Reculver
I. of THANET
Whitstable
Faversham
Sittingbourne
Rochester
Gravesend
Tilbury
Purfleet
Shoebury
Leigh
Canvey Island
Hadleigh
Southend
Rochford
Maldon
Colchester
Harwich
Ipswich
Woodbridge
Aldeburgh
Orford
Southwold
Lowestoft
Yarmouth
Norwich
Cromer
Wells
Lynn
Boston
Spalding
Peterborough
Stamford
Grantham
Newark
Lincoln
Gainsborough
Doncaster
Pontefract
Wakefield
Leeds
Bradford
Halifax
Rochdale
Manchester
Warrington
Liverpool
Chester
Wrexham
Oswestry
Shrewsbury
Ludlow
Hereford
Worcester
Tewkesbury
Gloucester
Cirencester
Malmesbury
Chippenham
Devizes
Salisbury
Andover
Basingstoke
Reading
Henley
Oxford
Abingdon
Wallingford
Dorchester
Thame
Aylesbury
Buckingham
Towcester
Daventry
Northampton
Kettering
Oundle
Peterborough
Wisbech
Ely
Cambridge
Royston
Baldock
Hitchin
Hertford
Ware
Hoddesdon
Waltham Abbey
Epping
Romford
Barking
Woolwich
Greenwich
Deptford
Lambeth
Westminster
Kensington
Hammersmith
Brentford
Hounslow
Staines
Windsor
Eton
Slough
Uxbridge
Harrow
Edgware
Barnet
Enfield
Tottenham
Hackney
Islington
Hampstead
Highgate
Finchley
Hendon
Watford
St. Albans
Luton
Dunstable
Leighton Buzzard
Aylesbury
Thame
Wallingford
Abingdon
Oxford
Woodstock
Chipping Norton
Banbury
Daventry
Rugby
Coventry
Warwick
Stratford upon Avon
Evesham
Pershore
Worcester
Droitwich
Bromsgrove
Birmingham
Lichfield
Tamworth
Atherstone
Nuneaton
Coventry
Rugby
Daventry
Towcester
Northampton
Kettering
Oundle

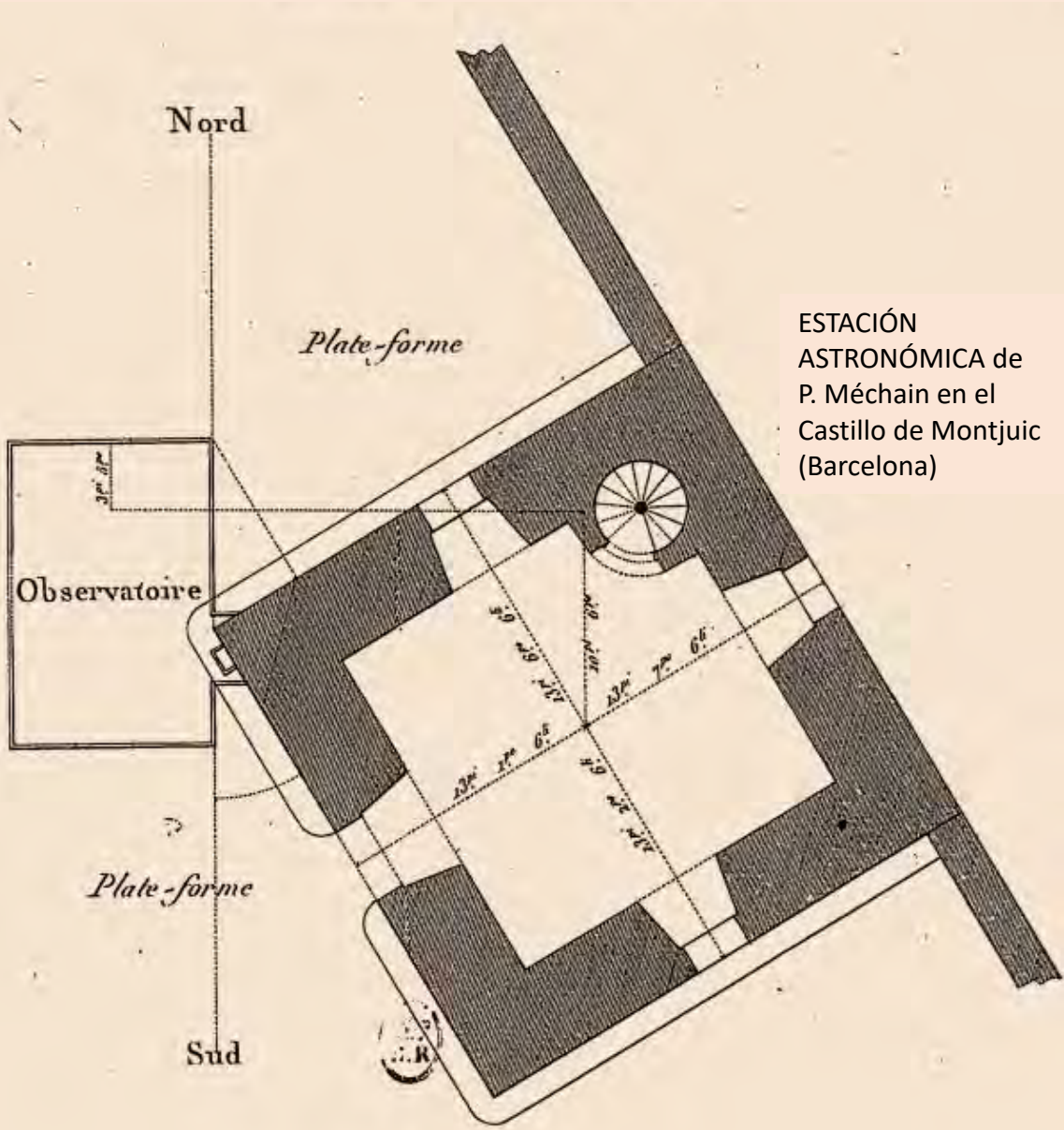
Perfil longitudinal del tramo de meridiano comprendido entre Dunkerque y Barcelona. Escultura de 35 metros de largo y una altura máxima de 1. 70 m de alto, regalada por la primera ciudad a la segunda, con ocasión de las Olimpiadas de 1992. Se encuentra en la avenida de la Meridiana de la ciudad condal, cuya dirección coincide precisamente con la del citado meridiano.

El segundo proyecto geodésico en el que intervino Méchain, estuvo relacionado con la implantación del Sistema Métrico Decimal y con la definición del metro, como la diezmillonésima parte del cuadrante del meridiano terrestre: «qui puisse convenir à tous les peuples»; cuya longitud se apoyaría en el desarrollo del arco comprendido entre Dunkerque y Barcelona. La medición correspondiente la efectuarían J.B. Delambre, asistido por Bellet, y P. Méchain, auxiliado por Tranchot; responsabilizándose el primero del segmento Dunkerque-Rodez y el segundo del Barcelona-Rodez. La expedición comenzó en junio de 1792, disponiendo cada equipo de dos carruajes, uno para los operadores y otro para los instrumentos (círculos de Borda incluidos); ambos equipos sufrieron penalidades de todo tipo: las derivadas de la revolución (en su transcurso se guillotinó al rey Luis XVI), las de la guerra España Francia, e incluso las de un accidente fortuito sufrido por Méchain, que pudo costarle la vida. Éste llegó pronto a Barcelona, comenzando de inmediato los trabajos de reconocimiento para elegir los vértices que configurarían la triangulación y efectuando en el del Castillo de Montjuic las primeras observaciones astronómicas para calcular su latitud; su progreso fue tal que en nueve meses había efectuado la mitad del trabajo previsto, mientras que Delambre solo pudo hacer la décima parte.

Declarada la guerra entre España y Francia, Méchain padeció arresto domiciliario en Barcelona (a comienzos de

1793), siendo entonces cuando sufrió el accidente fortuito, durante una de sus visitas al campo, al ser golpeado por una bomba hidráulica el 25 de febrero; sufriendo múltiples fracturas y permaneciendo varios días en coma. Parcialmente recuperado, consiguió el permiso necesario para proseguir con las observaciones angulares en los triángulos pirenaicos, completando en ese mismo año todos los españoles, al no permitírsele salir del país; centrándose a partir de entonces en la determinación de la latitud de Barcelona. Tras realizar las observaciones astronómicas correspondientes, desde la terraza de su domicilio (Mesón de la Fontana de Oro), comprobó que el valor obtenido para la latitud difería del hallado en el vértice del Castillo de Montjuic, infiriendo que la discrepancia próxima a los 3¨ no se correspondía con la distancia, próxima al kilómetro y medio, que separaba ambas estaciones. Al estar convencido de no haber cometido error alguno, no logró entender la causa; un contratiempo que no lograría superar nunca. Lamentablemente no pudor saber entonces que las dos determinaciones habían sido correctas y que el supuesto error era debido, sobre todo, a la influencia de la desviación de la vertical inducida por la atracción de la montaña; un fenómeno que todavía era muy poco conocido.

Base du système métrique décimal, ou Mesure de l'arc du méridien compris entre les parallèles de Dunkerque et Barcelone. T. 2 / , exécutée en 1792 et années suivantes, par MM. Méchain et Delambre, rédigée par M. Delambre. Tome seconde.1807.



ESTACIÓN ASTRONÓMICA de P. Méchain en el Castillo de Montjuic (Barcelona)

Los dos extremos de la base de Perpignan: boreal (izquierda) y austral (derecha)

En el mes de junio Méchain y su equipo son autorizados a salir de España, rumbo a Italia, permaneciendo en la ciudad de Génova hasta el año 1795, en que volvió a Francia. Al reiniciarse los trabajos de campo, en ese mismo año, tanto Delambre como Méchain continuaron con sus tareas, trasladándose este último al macizo de Corbière, concretamente al vértice localizado en el Pico de Bugarach; aunque lo hiciese todavía con el desasosiego que permanentemente le ocasionaba el recuerdo de la latitud de Barcelona. Tal era su estado, que abandonó los trabajos de campo y se postró en Carcasona; permaneciendo así hasta el mes de noviembre de 1797, cuando intentó observar, sin conseguirlo por las inclemencias meteorológicas, el vértice sito en el Pico de Nore. En ese mismo año se reunió en dicha ciudad con Delambre, el cual lo convenció para que le acompañase a París y entregase el resumen de las observaciones, que había realizado hasta entonces; dándose por ultimadas en 1798. El cálculo del desarrollo del arco de meridiano, realizado por Delambre y sustentado por la medida de dos bases: Melun (6075. 90 toesas) y Perpignan (6005.25 toesas), arrojó un valor medio de 551584 toesas. Los cálculos del desarrollo también fueron realizados por los miembros de una Comisión internacional, nombrada al efecto, obteniendo un resultado casi idéntico al anterior. La difícil cuestión del aplastamiento se resolvió comparando entre si los desarrollos del grado en los cuatro tramos siguientes: Dunkerque-París, París-Evaux, Evaux-Carcassonne y Carcassonne-Montjuic. En este

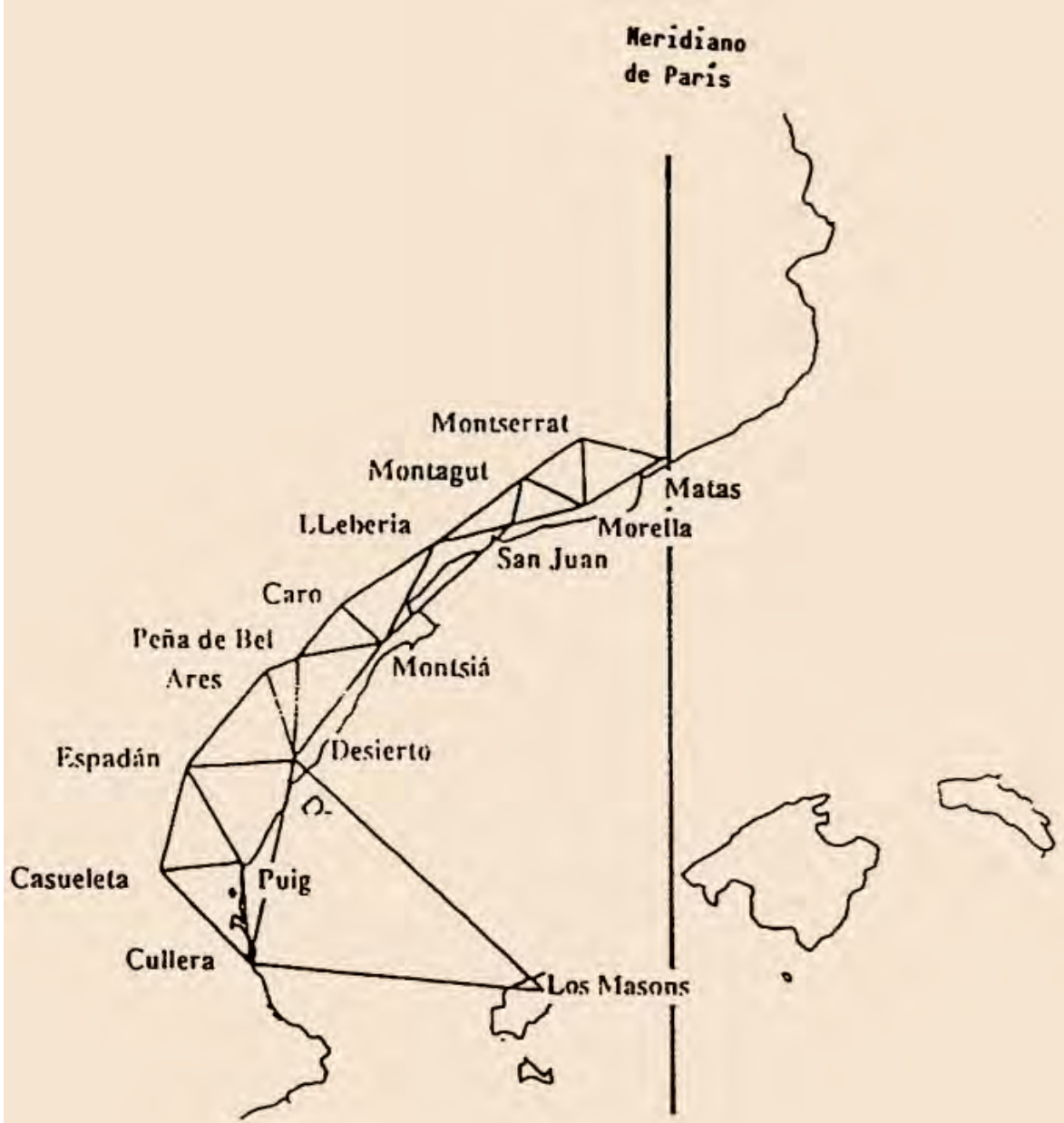
PROTOTIPO DEL METRO, fabricado por Etienne Lenoir

caso no coincidieron los valores propuestos: ya que el de la Comisión fue $\alpha = 1/334$ y el propuesto por Delambre $\alpha = 1/309$; el cual expresó el metro en líneas, mediante la fórmula siguiente: $m = 443.9271 - 27.7001\ \alpha + 378.6942\ \alpha^2$. En cambio, la Comisión lo fijó en 443.296 líneas. Debe tenerse presente que una toesa tenía 6 pies, equivalentes a 72 pulgadas, o bien a 864 líneas. De acuerdo con ello, el metro de la Comisión equivalía a 0.5130 toesas, y la toesa a 1.9490 metros. A mediados del año 1796, el ingeniero Etienne Lenoir construyó los prototipos correspondientes, presentados al Consejo de los Quinientos y al de Ancianos por Jan Hendrik van Swinden, en nombre de la Comisión; previamente (23.6.1799) se habían depositado en los Archivos Nacionales el prototipo de platino iridiado en forma de regla.

Entretanto, Méchain, al que tanto le costó regresar a Paris por miedo a ser decapitado, se incorporó definitivamente a su actividad científica, siendo uno de los diez miembros fundadores del Bureau des Longitudes, creado, a imagen y semejanza de la Board of Longitude de Londres, por la Comisión Republicana del 25 de junio de 1795. En el año 1800 sustituyó a Lalande como Director delegado de dicha oficina en el Observatorio Astronómico de París. Aprovechando su nueva situación, decidió proseguir con la tarea que había dejado pendiente en España, pues no olvidaba la preocupación por la latitud de Barcelona y deseaba prolongar la triangulación del meridiano a lo largo de

las costas levantinas; con el fin de prolongar el meridiano de París hasta las Islas Baleares. Méchain contaba ya con valiosa información previa, pues ya se había hecho el reconocimiento preceptivo y seleccionado incluso los posibles vértices en que se debrían hacer las observaciones anulares. Una vez conseguida la correspondiente autorización de Napoleón, Méchain partió de Paris el 26 de abril de 1803, acompañado de su hijo Augustin y otros colaboradores; llegando el 5 de mayo a Barcelona, acompañados del instrumental necesario: dos círculos repetidores de Borda, un reloj de péndulo, varios heliotropos y barómetros.

Los contactos con el gobierno español, lograron los permisos necesarios para la nueva operación geodésica y que pudiesen participar en la misma el marino Pascual Enrile Acedo y el matemático José Chaix Isniel, aunque este último abandonase el proyecto en enero de 1804, por su cargo de Vicedirector del Observatorio Astronómico de Madrid. Las demoras administrativas impidieron que los trabajos de campo pudiesen iniciarse antes del mes de agosto, uno de los colaboradores franceses de Méchain se



Último proyecto elaborado por Méchain para unir las Baleares al continente.
Medir el Metro. A. Ten. Valencia. 1996

Monumento a Pierre Méchain en el Parque Ribalta de Castellón de la Plana

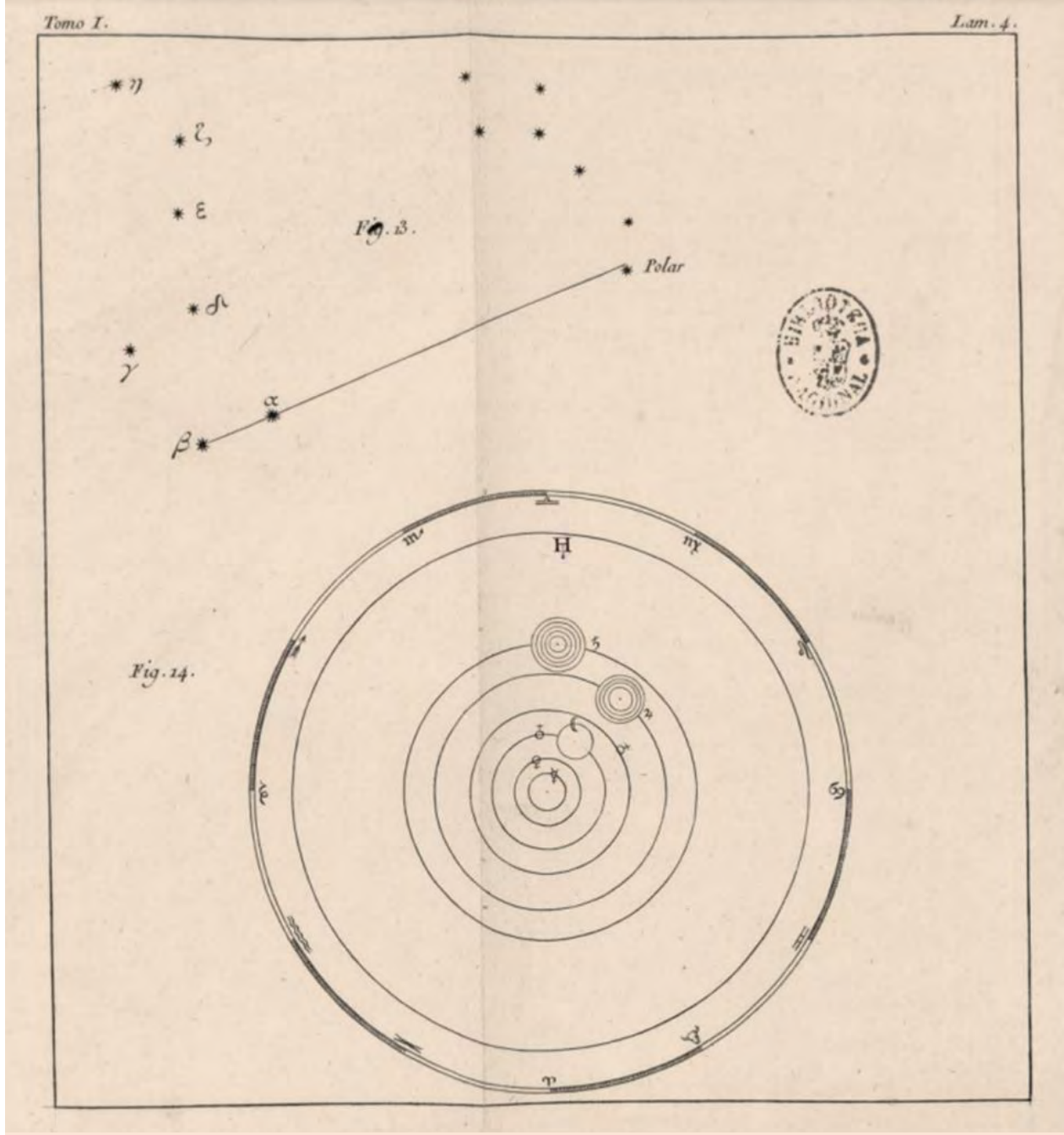
refirió en tono despectivo al abate Jiménez Coronado como responsable del retraso. Las dificultades de la triangulación y del enlace fueron considerables, a tenor de los varios proyectos que fueron modificándose. Asimismo, fueron continuas las consultas formuladas por Méchain y dirigidas fundamentalmente a Laplace, a lo largo de todo el proceso. As dificultades a las que se enfrentaron aquellos geodestas debieron ser considerables, a tenor del contenido de una de las cartas escritas por Méchain a Delambre: «El infierno y todas las plagas de la Tierra, tormentas, guerras, pestes y oscuras intrigas, se alzan contra mí». Tampoco en esta segunda oportunidad vio Méchain cumplir sus expectativas, puesto que en el verano de 1804 cayó gravemente enfermo; hospedándose en el domicilio de su amigo Fausto Vallés y Vega, Barón de la Puebla, hasta que se produjo el fatal desenlace en el mes de septiembre. Los pormenores sobre la implantación del Sistema Métrico Decimal, están magistralmente tratados en la obra del profesor Antonio Ten Ros: *Medir el Metro, la historia de la prolongación del arco de meridiano Dunkerque Barcelona, base del Sistema Métrico Decimal*. Especialmente interesantes son sus capítulos V: *La prolongación del meridiano de parís hasta las Islas Baleares. La primera expedición de Méchain* y VI: *El segundo viaje de Méchain a España*. El repetido enlace no fue verdaderamente efectivo hasta que lo realizaron pocos años después Biot y Arago, siendo definitivamente completado a finales del siglo XIX por los geodestas del Instituto Geográfico y Estadístico, bajo la dirección de Carlos Ibáñez e Ibáñez de Ibero.

José de Mendoza y Ríos (1761-1816)

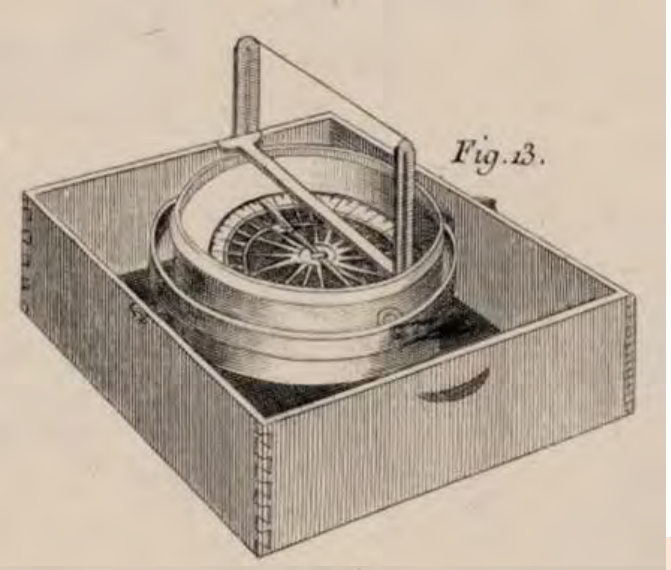
Marino y matemático sevillano, así como político ilustrado afincado en Inglaterra, que adquirió fama mundial por haber confeccionado unas Tablas de Distancias Lunares, con las que se facilitó el calculo de la longitud en el mar. En nombre de España negoció la compra del gran telescopio Herschell para el Observatorio de Madrid, debiéndose a él unas preciosas acuarelas que detallaban todas las características geométricas del instrumento, las cuales posibilitaron la meritoria reconstrucción del mismo en el año 2010. Realizó sus primeros estudios en el celebrado Colegio Real de San Isidro (antes Colegio Imperial de los jesuitas), destacando ya su interés por las matemáticas. Aunque en un principio ingresó en el ejército, en 1776 fue transferido a la marina como Alférez de Fragata, de acuerdo con sus deseos; tras superar las prácticas de navegación por el Mediterráneo fue ascendió a Alférez de Navío. Como tal se embarcó en la urca Santa Inés, rumbo a las Islas Filipinas; de vuelta a España fue hecho

prisionero por los ingleses, siendo enviado a Cork (Irlanda) en septiembre de 1779. Allí permaneció un año, posiblemente ampliando sus conocimientos de astronomía náutica, hasta que se le permitió regresar a España. Destinado en Cádiz y Cartagena, fue ascendiendo primero a Teniente de Fragata (1782) y luego a teniente de Navío (1784).

Debió de ser entonces cuando inició la preparación de su *Tratado de Navegación*, una celebrada obra en dos volúmenes, dedicada al Rey Carlos IV y publicada en Madrid en el año 1787. En el primero se trataron los Elementos de Geografía, los de Astronomía y algunas nociones de Cronología; subdividiendo el apartado geográfico en tres partes: Geografía matemática o astronómica, Geografía Física o Historia natural de la Tierra y la Histórica o política. Tras referirse Mendoza a la esfericidad terrestre, dio a conocer los recientes avances en los términos siguientes: «No nos detendremos, pues, en acreditar esta proposición con nuevas pruebas , y nos contentaremos , por ahora, con advertir, que la Tierra no es tan perfectamente esférica como hemos deducido, y

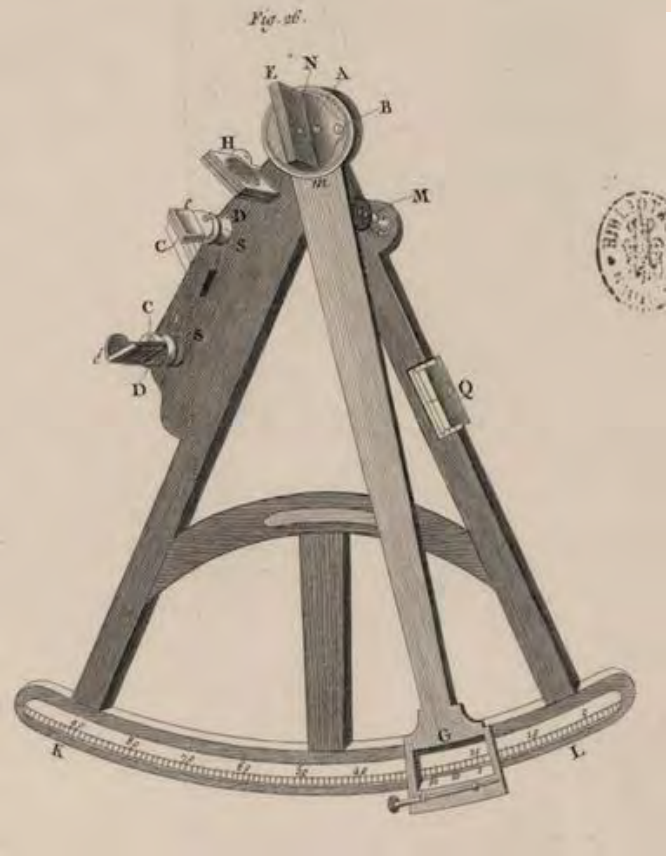


Localización de la estrella polar y modelo copernicano del universo, envuelto por la esfera de las fijas y el círculo zodiacal. *Tratado de Navegación*. Volumen I.



que su figura, averiguada con rigor en estos últimos tiempos, se ha hallado aplastada hacia los dos extremos de uno de sus diámetros , de modo que el mayor es al menor como 231 a 230, poco más o menos. Esta diferencia puede despreciarse en las operaciones que no requieran la mayor exactitud». Antes había concretado sus dimensiones: «… se han practicado muchas medidas en todos tiempos, y de las más modernas resulta, que el grado terrestre es de 57000 toesas de Francia o 133 000 varas castellanas».

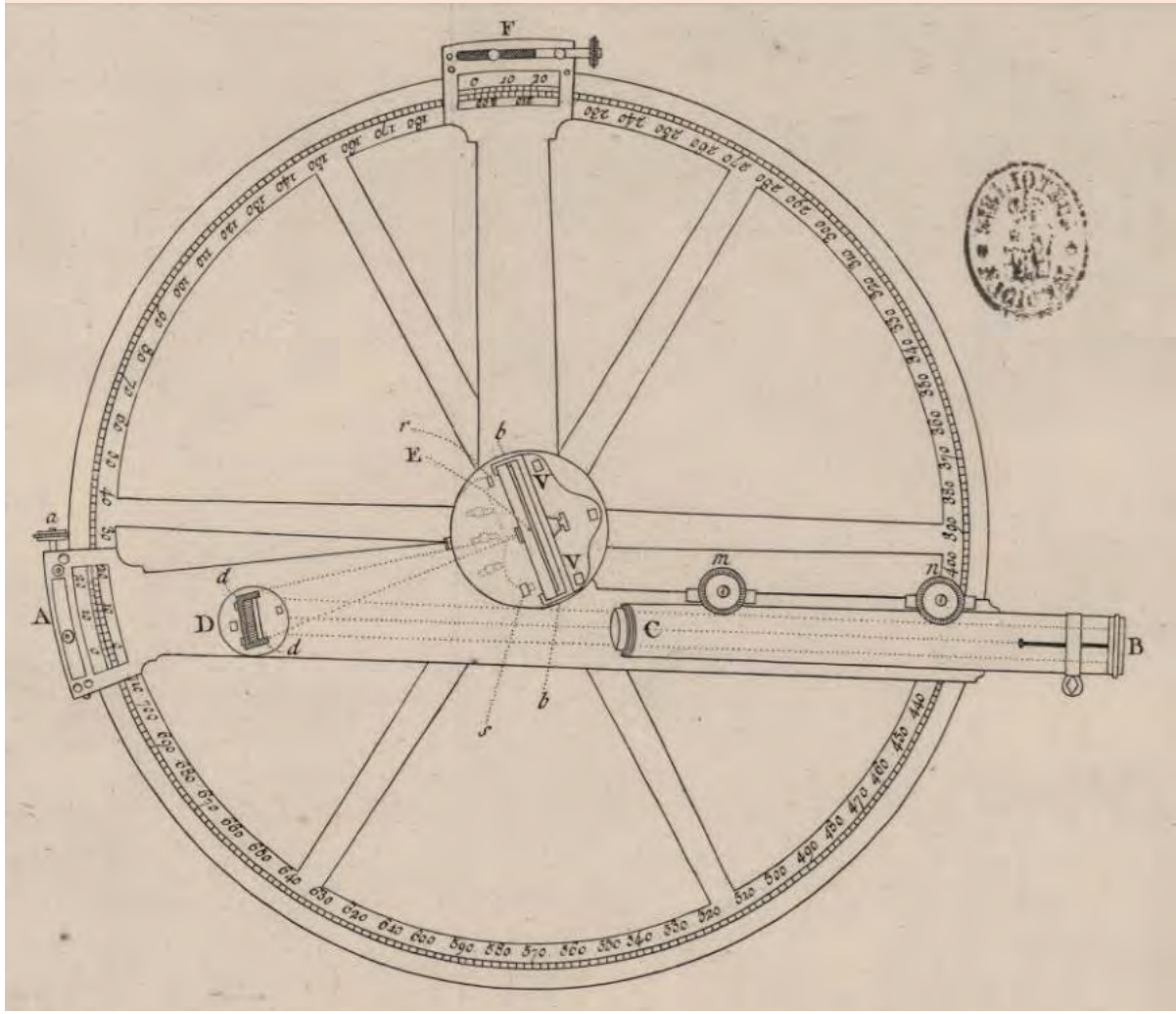
La aguja náutica y el octante en el *Tratado de Navegación*. Volumen II



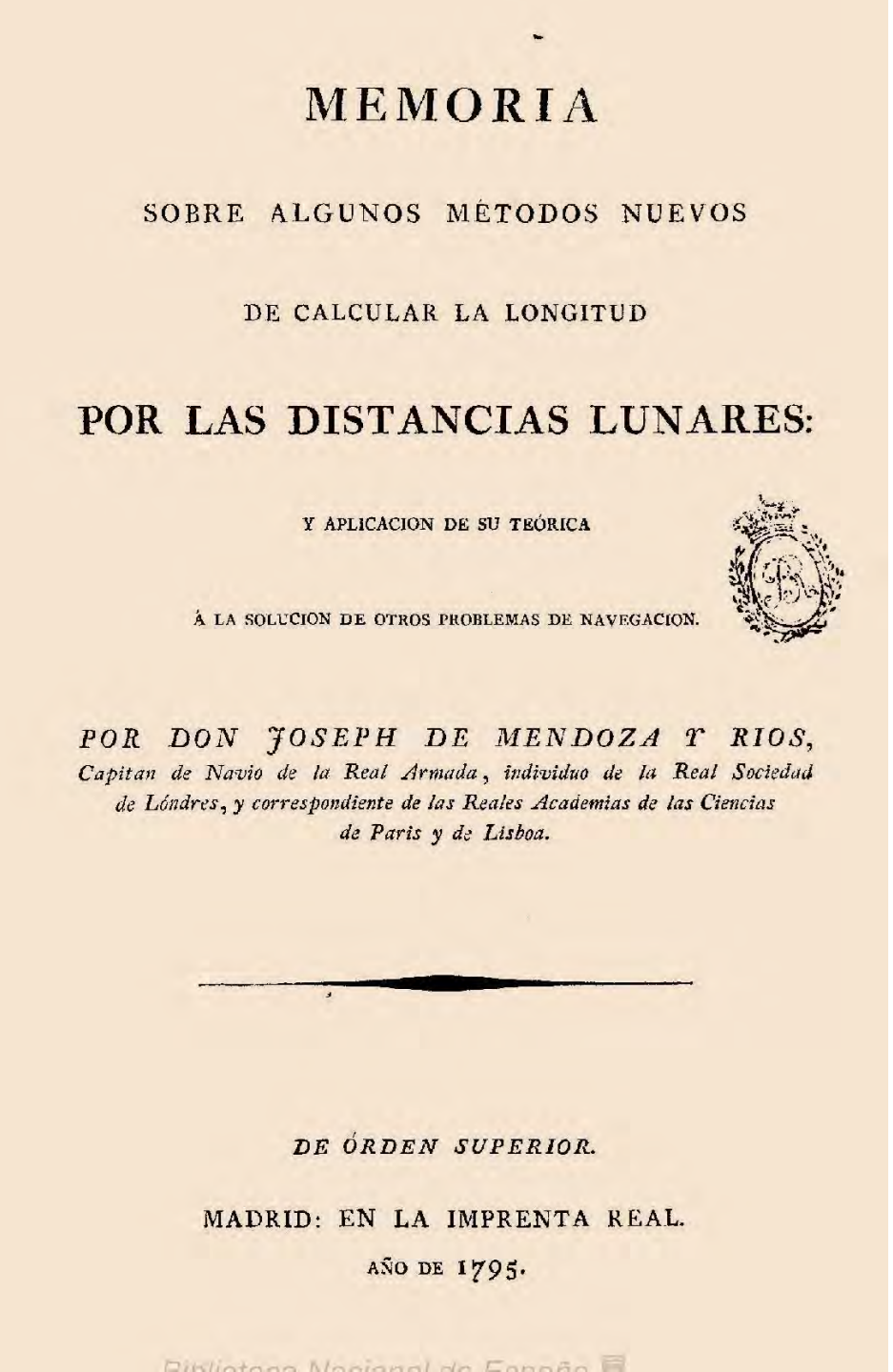
El segundo volumen de este tratado de Navegación se dividió en tres partes. I) Sobre la Navegación pura, II) Sobre la Navegación astronómica y III) Conocimientos indispensables para el piloto. En la primera parte se desarrolla una lección de cartografía, explicando la formación de las cartas náuticas, refiriendo el concepto nada trivial de la latitud creciente (variable de Mercator), así como lo relativo al empleo de la aguja náutica: «el único medio que hasta ahora se ha descubierto para averiguar el camino de la nave». La segunda parte se inicia con un capítulo esencialmente instrumental, comentando los cuadrantes y círculos de reflexión; pasando luego a los cálculos de la latitud y de la longitud (subrayando la importancia del método de las distancias lunares), refiriendo la difícil problemática propia del segundo: «Las dificultades, no obstante, se han hallado enormemente aumentadas en este caso y el problema de las longitudes en la mar, superior por largo tiempo a

nuestros medios y a nuestras fuerzas, es de aquellos en que parecíamos condenados a desear perpetuamente lo mismo que necesitamos». Finalmente, se abordó en la tercera parte la problemática de las mareas, corrientes y vientos, además de los procedimientos para levantar planos y cartas.

Círculo de reflexión. *Tratado de Navegación*. Volumen II



Al año siguiente de publicar su *Tratado de Navegación*, en 1788, J. Mendoza de los Ríos fue ascendido a Capitán de Fragata, siendo ese el último empleo que consiguió en su carrera militar. En esa época fue comisionado por el gobierno al extranjero para que ampliase sus conocimientos y recopilase para España útiles de navegación: instrumentos, libros, planos y mapas; iniciando su viaje en el otoño de 1789, para instalarse primero en Francia y luego en Inglaterra, siendo en esta última donde acabaría fijando su residencia. Sus contactos con los hombres de ciencia de ambos países fueron tan fructíferos que acabó siendo elegido miembro de la Academia de Ciencias de París (1792) y de la *Royal Society* de Londres (1793); para entonces ya se habían recibido en Cádiz cincuenta y cuatro cajones con libros e instrumentos, a tenor de lo manifestado por el eminente matemático argentino Eduardo L. Ortiz en su trabajo *Joseph de Mendoza y Ríos: teoría, observación y tablas* (Gaceta de la Real Sociedad Matemática Española, ISSN 1138-8927, Vol. 4, Nº 1, 2001). Las tablas a que hacía mención el profesor Ortiz fueron la contribución más sobresaliente de Mendoza a la navegación marítima y a la



MEMORIA

SOBRE ALGUNOS MÉTODOS NUEVOS

DE CALCULAR LA LONGITUD

POR LAS DISTANCIAS LUNARES:

Y APLICACION DE SU TEÓRICA

Á LA SOLUCION DE OTROS PROBLEMAS DE NAVEGACION.

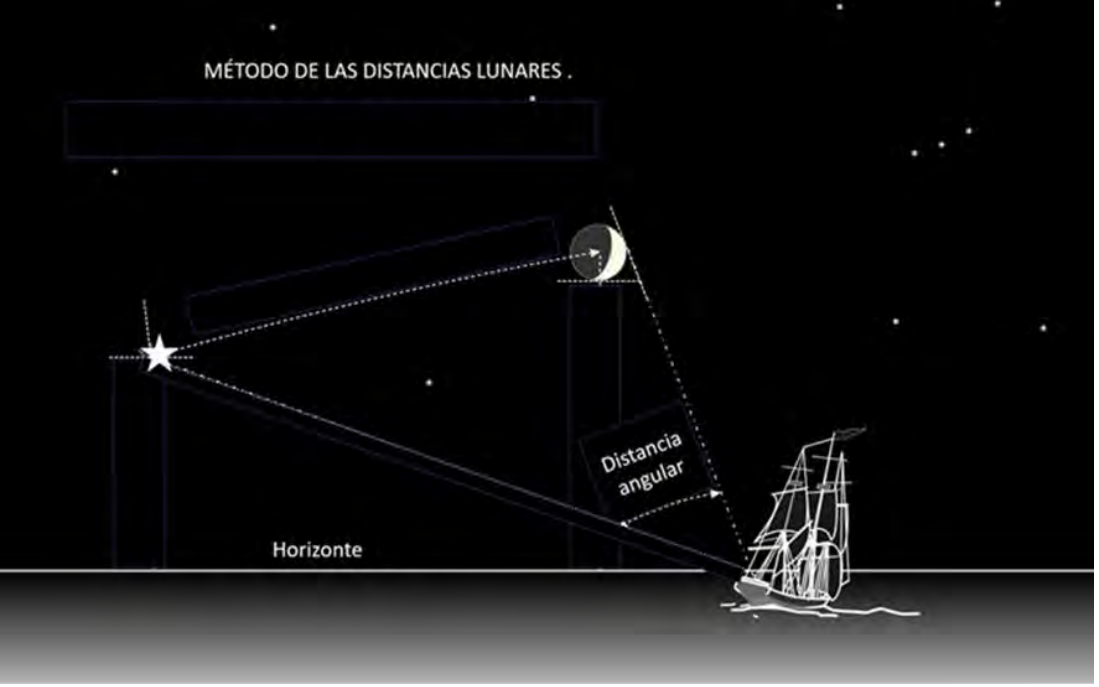
POR DON JOSEPH DE MENDOZA Y RIOS,
Capitan de Navio de la Real Armada, individuo de la Real Sociedad de Lóndres, y correspondiente de las Reales Academias de las Ciencias de Paris y de Lisboa.

DE ÓRDEN SUPERIOR.

MADRID: EN LA IMPRENTA REAL.
AÑO DE 1795.

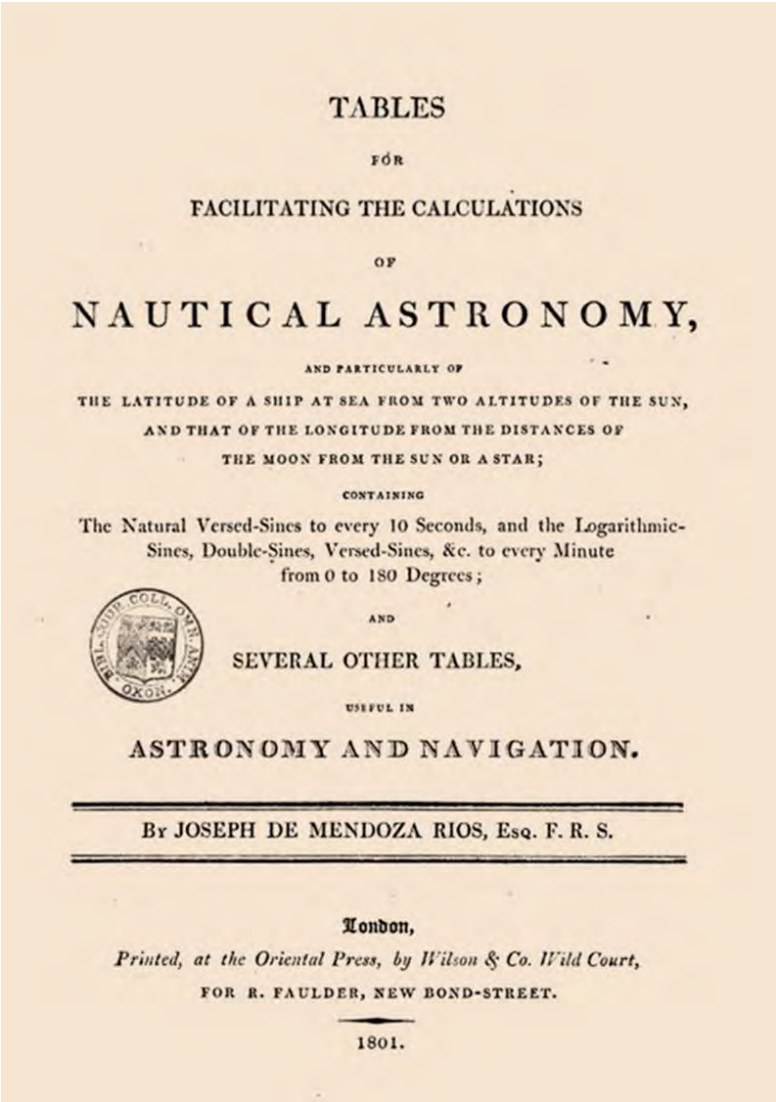
Biblioteca Nacional de España

astronomía náutica, su primera impresión se produjo en el año 1800; cuando fueron publicadas en Madrid, con el título Colección de Tablas para varios usos de la Navegación. En el prólogo se concretaba más el propósito de las mismas: «La presente colección se dirige a facilitar los cálculos de las observaciones que se practican en el mar, para determinar la longitud y la latitud de la nave, y algunos otros objetos de Navegación e Hidrografía. Todas las tablas, excepto las de logaritmos de los números naturales, y las columnas de los logaritmos de los senos y tangentes, están calculadas expresamente, y cada una va dispuesta bajo la forma que me ha parecido más ventajosa para su uso». Tras la exposición de las tablas se incluyó un índice con el título y explicación de cada una de ellas; acompañándose de una amplia colección de ejercicios resueltos. La base teórica en que se apoyó la construcción de las tablas anteriores, ya la había anunciado su autor en el año 1795, cuando la Imprenta Real publicó el trabajo: *Memoria sobre algunos métodos nuevos de calcular la longitud por las distancias lunares y aplicación de su teórica a la solución de otros problemas de navegación*. De la importancia que concedía Mendoza a las distancias lunares para el cálculo de la longitud, es buena muestra lo que apuntaba al final de dicha Memoria: «Yo tengo ya principiada la construcción de aquella Tabla: y también la de otra Tabla mas extensa para hallar los ángulos auxiliares, sin necesidad de aplicar proporcionales. Con la facilidad que ofrecen estos medios, juzgo que el



cálculo de las distancias lunares vendrá á ser, no solo muy cómodo fácil, sino tal vez exacto y expedito, cuanto puede considerarse necesario en la Navegación».

Sin embargo, la mayor difusión de las tablas, con las que pasó a la posteridad, comenzó en el año 1801, al publicarlas en Londres, con idéntico objetivo de hallar con la menor incertidumbre la posición de un barco, determinando astronómicamente sus dos coordenadas geográficas, así quedó expuesto en su título: *Tables for facilitating the calculations of nautical Astronomy and particularly of the latitude of a ship at sea from two altitudes of the sun, and that of the longitude from the distances of the moon from the Sun or a star*, conteniendo tablas trigonométricas y logarítmicas y otras varias, útiles para la astronomía y la navegación. La obra constó de 33 tablas agrupadas en cuatro apartados: I) Ocho tablas para corregir las alturas observadas del Sol, Luna y estrellas; II) Seis tablas para reducir las distancias medidas de la Luna al Sol o a una estrella, para hallar la longitud; III) Cinco tablas trigonométricas y logarítmicas, IV) Trece tablas para varios propósitos. A modo de introducción



TABLES

FOR

FACILITATING THE CALCULATIONS

OF

NAUTICAL ASTRONOMY,

AND PARTICULARLY OF

THE LATITUDE OF A SHIP AT SEA FROM TWO ALTITUDES OF THE SUN,
AND THAT OF THE LONGITUDE FROM THE DISTANCES OF
THE MOON FROM THE SUN OR A STAR;

CONTAINING

The Natural Versed-Sines to every 10 Seconds, and the Logarithmic-Sines, Double-Sines, Versed-Sines, &c. to every Minute from 0 to 180 Degrees;

AND

SEVERAL OTHER TABLES,

USEFUL IN

ASTRONOMY AND NAVIGATION.

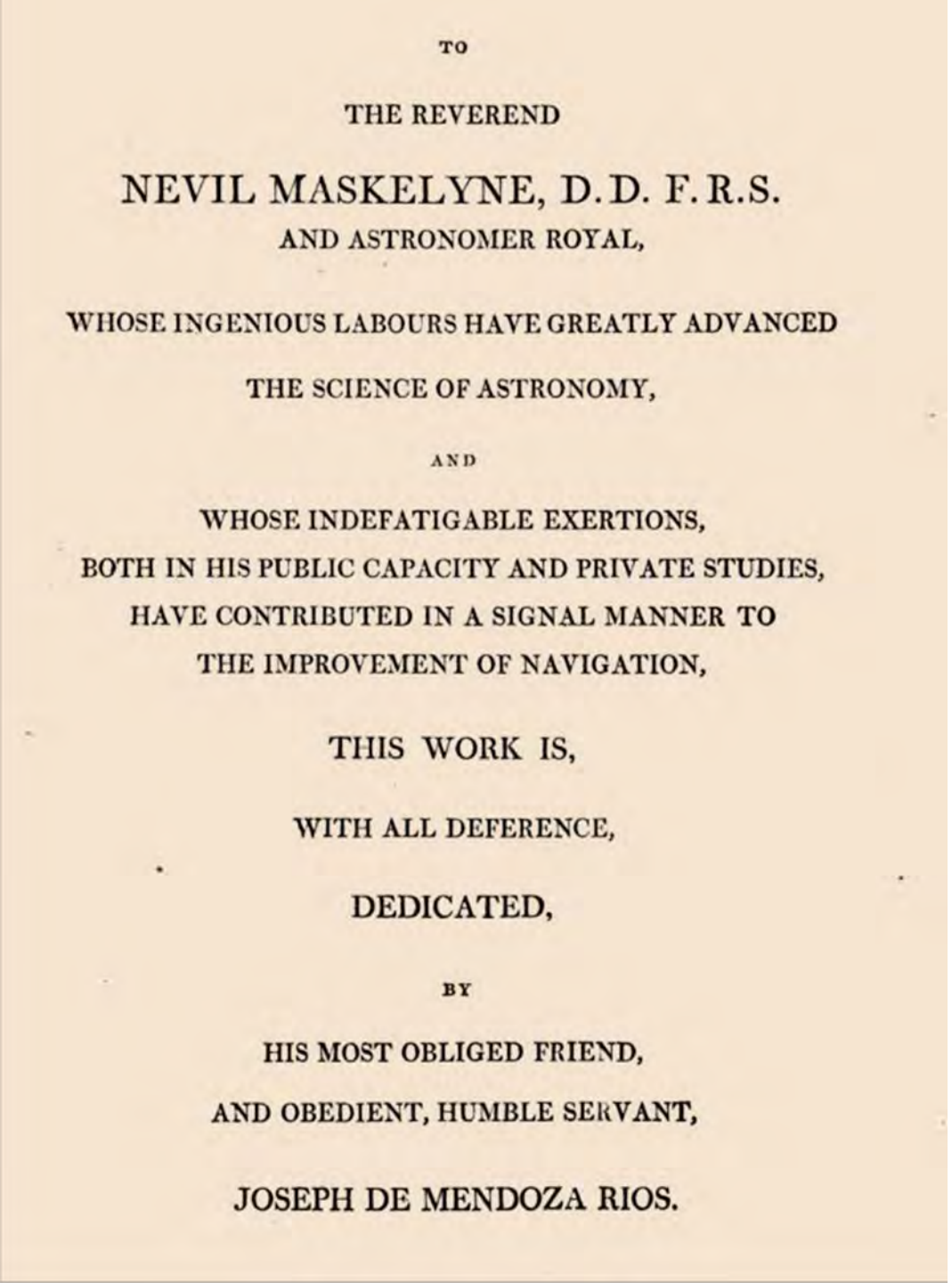
By JOSEPH DE MENDOZA RIOS, Esq. F. R. S.

London,

Printed, at the Oriental Press, by Wilson & Co. Wild Court,

FOR R. FAULDER, NEW BOND-STREET.

1801.



TO

THE REVEREND

NEVIL MASKELYNE, D.D. F.R.S.

AND ASTRONOMER ROYAL,

WHOSE INGENIOUS LABOURS HAVE GREATLY ADVANCED

THE SCIENCE OF ASTRONOMY,

AND

WHOSE INDEFATIGABLE EXERTIONS,

BOTH IN HIS PUBLIC CAPACITY AND PRIVATE STUDIES,

HAVE CONTRIBUTED IN A SIGNAL MANNER TO

THE IMPROVEMENT OF NAVIGATION,

THIS WORK IS,

WITH ALL DEFERENCE,

DEDICATED,

BY

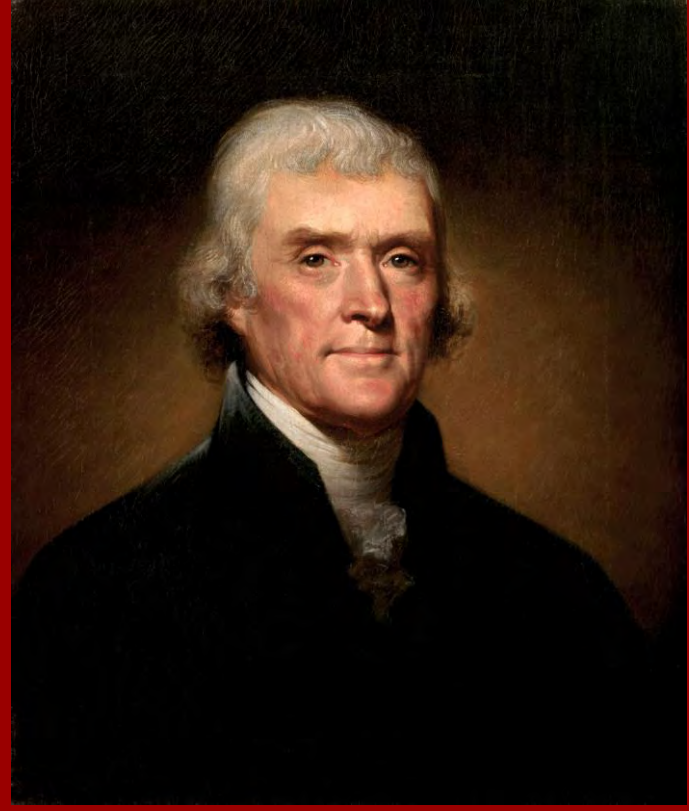
HIS MOST OBLIGED FRIEND,

AND OBEDIENT, HUMBLE SERVANT,

JOSEPH DE MENDOZA RIOS.

incluyó la explicación y uso de todas ellas, con problemas y ejercicios resueltos. Es destacable el Apéndice debido a H. Cavendish, colofón de la obra, el cual incorporó otras tablas para corregir las distancias de la Luna al Sol o a una estrella, por los efectos de la paralaje y la refracción. Esta primera edición fue dedicada al astrónomo real, el reverendo Nevil Maskelyne. Cuatro años después se reeditó, ampliando su contenido con nuevas tablas, pero con el mismo propósito de hallar la posición de la nave*: A complete collection of tables for navigation and nautical astronomy: with simple, concise, and accurate methods, for all the calculations useful at sea : particularly for deducing the longitude from lunar distances, and the latitude from two altitudes of the sun and the interval of time between the observations.* Tan laborioso trabajo, repleto de cálculos, fue dedicado a Joseph Banks, Presidente de la *Royal Society* y amigo personal del autor; así lo hizo contar en el inicio del texto: «The veneration I entertain for you, whofe life has been so successfully devoted to the cultivation and promotion of science, and the gratitude I feel for the regard with which you honour me, would alone incline me to seize every opportunity of publicly testifying to you those sentiments; but, on the present occasion, I am impelled to address you by still more cogent motives». Las 44 tablas de que constaba

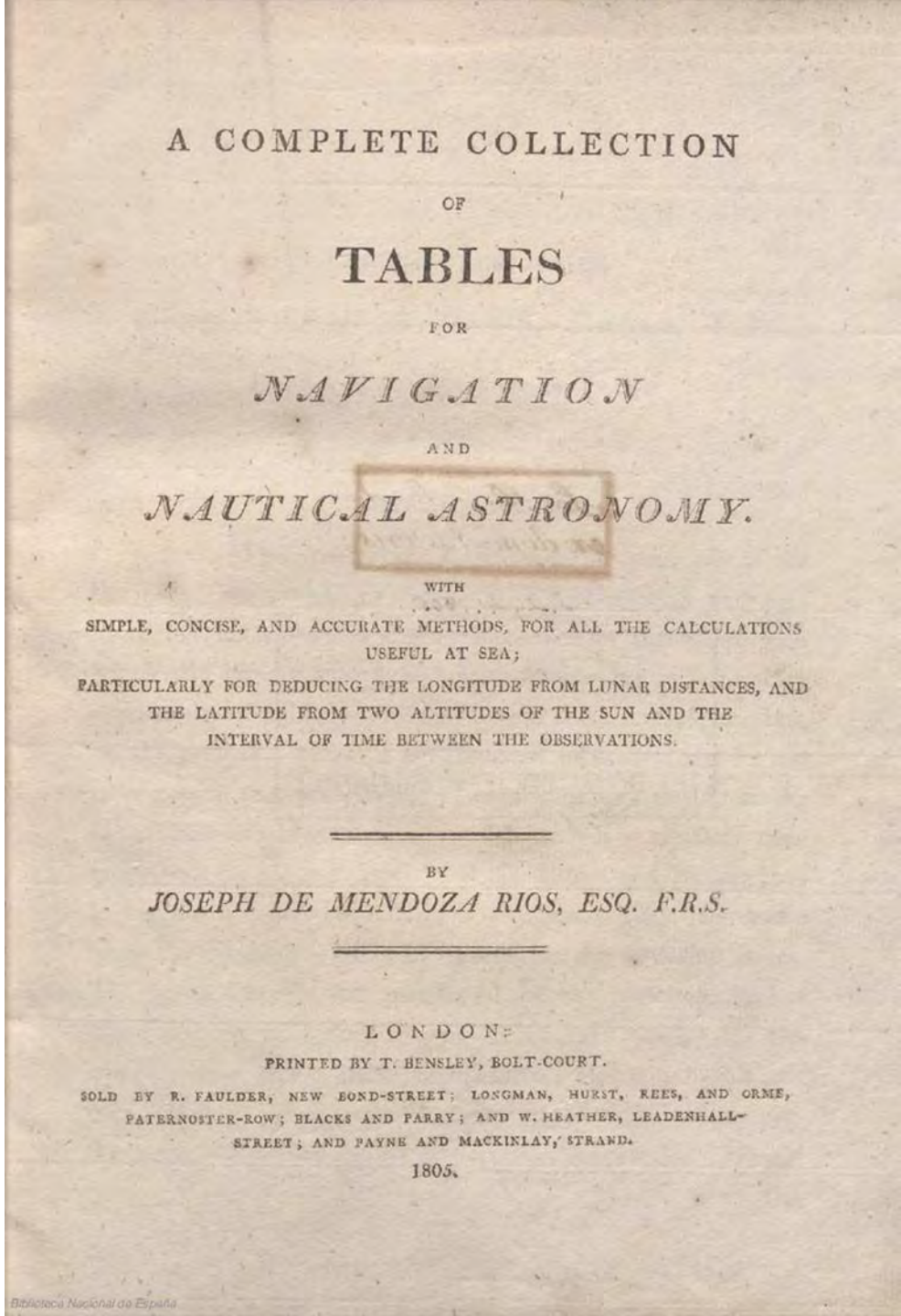
INTERCAMBIO EPISTOLAR ENTRE MENDOZA RÍOS Y EL PRESIDENTE THOMAS JEFFERSON



Mendoza Rios quiso extender el empleo de sus tablas a todos los países. Uno de los intentos más singulares para conseguirlo, fue la carta enviada al Presidente Thomas Jefferson, en la que le ofrecía la posibilidad de distribuir por los Estados Unidos un total de 500 copias de las mismas. La carta, escrita el 23 de agoso de 1805 en Paddington, cerca de Londres, comenzaba reconociendo que el presidente era amante de la ciencia y terminaba, indicando que se había tomado la libertad de adjuntarle una copia de su trabajo:«which will enable to judge of its merit, and I request you will gave it a place in your library, as a feeble testimony of the high respect which the Author professes…for the present worthy President of the United States».

La respuesta de Jefferson, escrita el 4 de mayo de 1806 en Washington, fue agradecida, reconociendo además la utilidad de las Tablas para la Marina y para la Industria, máxime cuando habían sido compuestas con tanta exactitud y rigor; concluyéndola con una noticia que agradaría al autor: «I have recommended to the Secretary of the Navy of the US to avail our public vessels of this publication by procuring such number of the copies as he shall think their wants and our duties will justify». Tan valiosos documentos se custodian en la Universidad de Virginia.

fueron agrupadas en los siete apartados que se citan a continuación. I) Correcciones a las alturas observadas del Sol, Luna y estrellas, así como a las distancias observadas de la Luna al Sol o a una estrella, con un total de catorce tablas. II) Seis tablas logarítmicas; III) Cuatro tablas referidas al cálculo de la latitud por alturas correspondientes del Sol, observadas a cualquier hora del día, y por varias alturas próximas al mediodía; IV) Doce tablas para otros propósitos; V) Tablas geográficas, con indicación de la latitud y longitud de diversos lugares, refiriendo las longitudes al meridiano de Greenwich, expresando también las horas de la marea alta y las fases lunares; VI) Cuatro tablas generales útiles para la navegación; VII) Tablas referidas al almanaque náutico. Para facilitar el uso de todas ellas, se acompañó la obra con la resolución de algunos problemas y ejercicios. Esta reedición fue sufragada por la Junta de la Longitud y por la Compañía de las Indias orientales, una circunstancia que agradeció Mendoza Ríos en la presentación de la obra. Las tablas de Mendoza siguieron publicándose durante más de cien años, hasta bien entrada la segunda decena del pasado siglo XX. En el año 1863 se publicó en Madrid una versión preparada por Juan José Martínez de Espinosa y Tacón, Comandante general de Artillería e Infantería de Marina: *Colección completa de tablas para los usos de la navegación y astronomía náutica, por el Capitán de Navío que fue de la Armada,*



A COMPLETE COLLECTION

OF

TABLES

FOR

NAVIGATION

AND

NAUTICAL ASTRONOMY.

WITH

SIMPLE, CONCISE, AND ACCURATE METHODS, FOR ALL THE CALCULATIONS USEFUL AT SEA;

PARTICULARLY FOR DEDUCING THE LONGITUDE FROM LUNAR DISTANCES, AND THE LATITUDE FROM TWO ALTITUDES OF THE SUN AND THE INTERVAL OF TIME BETWEEN THE OBSERVATIONS.

BY

JOSEPH DE MENDOZA RIOS, ESQ. F.R.S.

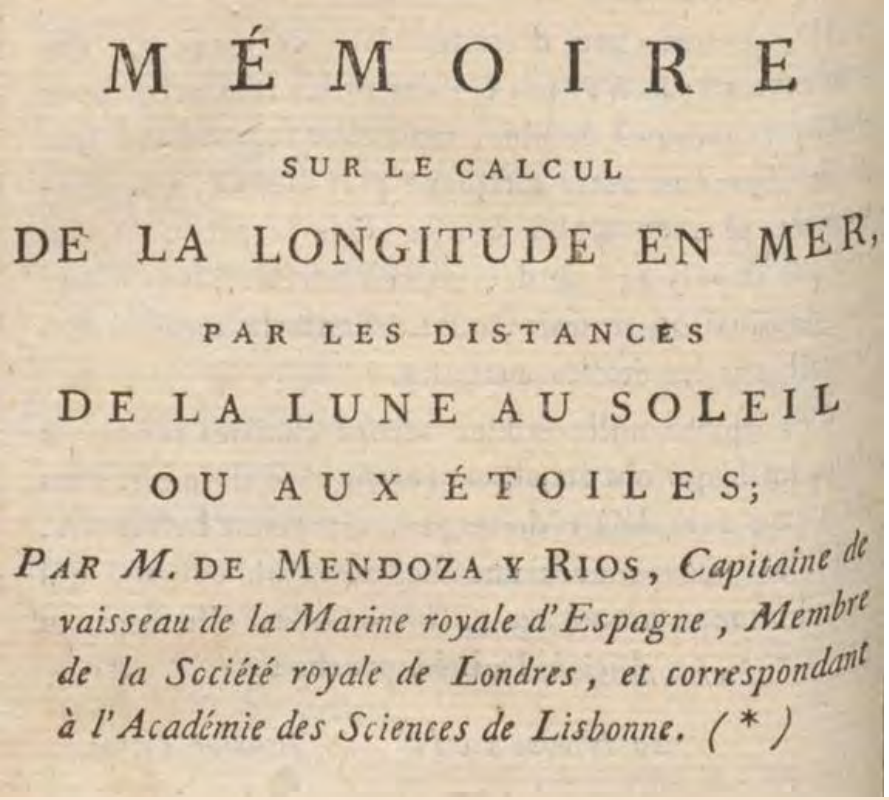
LONDON:

PRINTED BY T. BENSLEY, BOLT-COURT.

SOLD BY R. FAULDER, NEW BOND-STREET; LONGMAN, HURST, REES, AND ORME, PATERNOSTER-ROW; BLACKS AND PARRY; AND W. HEATHER, LEADENHALL-STREET; AND PAYNE AND MACKINLAY, STRAND.

1805.

Biblioteca Nacional de España



MÉMOIRE

SUR LE CALCUL

DE LA LONGITUDE EN MER,

PAR LES DISTANCES

DE LA LUNE AU SOLEIL

OU AUX ÉTOILES;

PAR M. DE MENDOZA Y RIOS, *Capitaine de vaisseau de la Marine royale d'Espagne, Membre de la Société royale de Londres, et correspondant à l'Académie des Sciences de Lisbonne.* (*)

Don José de Mendoza y Ríos, de la Real Sociedad de Londres; la cual ofrece el interés de que el editor incluyó, en su prólogo, la evolución cronológica de las sucesivas publicaciones de las tablas.

A la vez que preparaba y revisaba sus Tablas náuticas, Mendoza Ríos no dejó de publicar artículos en las revistas más prestigiosas de su tiempo: *Connossaince des temps y Philosophical Transactions*. De los publicados en la primera, cabe destacar el referido al cálculo de la longitud en el mar, por medio de las distancias de la Luna al Sol o a las estrellas; el cual fue publicado en el número del año 1796 (pp: 258-284). El asterisco remite a una nota a pie de página, en la que el *Bureau des Longitudes* manifestaba que había creído oportuno publicar la Memoria de un hábil marino, del que ya son conocidas varias, y que está preparando otras más completas. Por lo que se refiere a la segunda, merece ser reseñado el publicado en el ejemplar correspondiente al año 1801 PP: 363-374) para describir las mejoras introducidas en el círculo reflector: *On a Improved reflecting Circle*. En él explicó el método de repetición, para medir distancias angulares, que había sido ideado por T. Mayer: «It is obvius, that by succssive repetitions of the same process, triple, quadruple, &c. the distance may be obtained, and the said error further reduced, in the inverse ratio of the pultiplication of the distance, to any degree of approximation required»; acto seguido recordó asimismo el procedimiento seguido a esos efectos por Ch. Borda. El artículo fue bellamente

PHILOSOPHICAL

TRANSACTIONS:

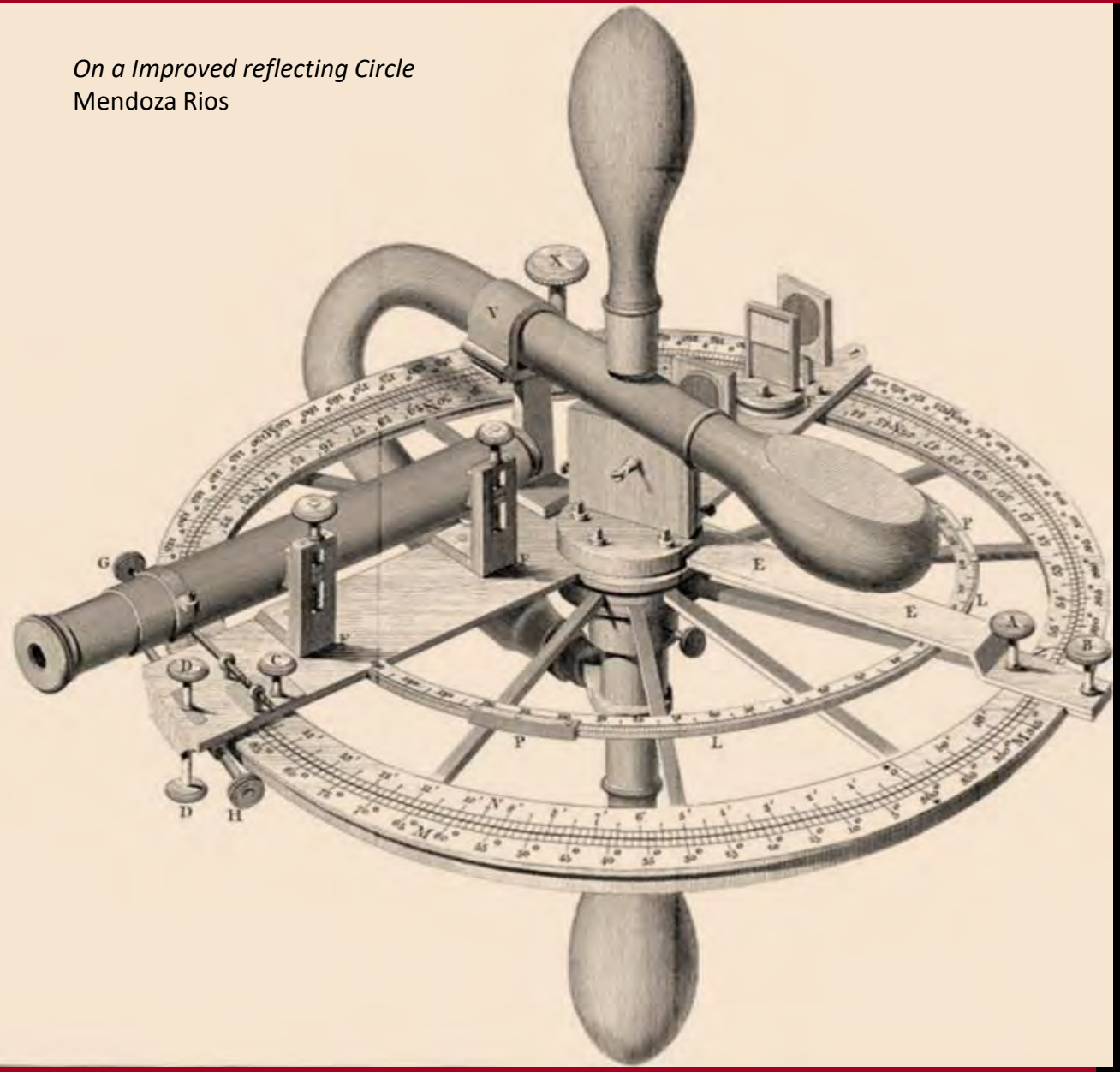
On an Improved Reflecting Circle

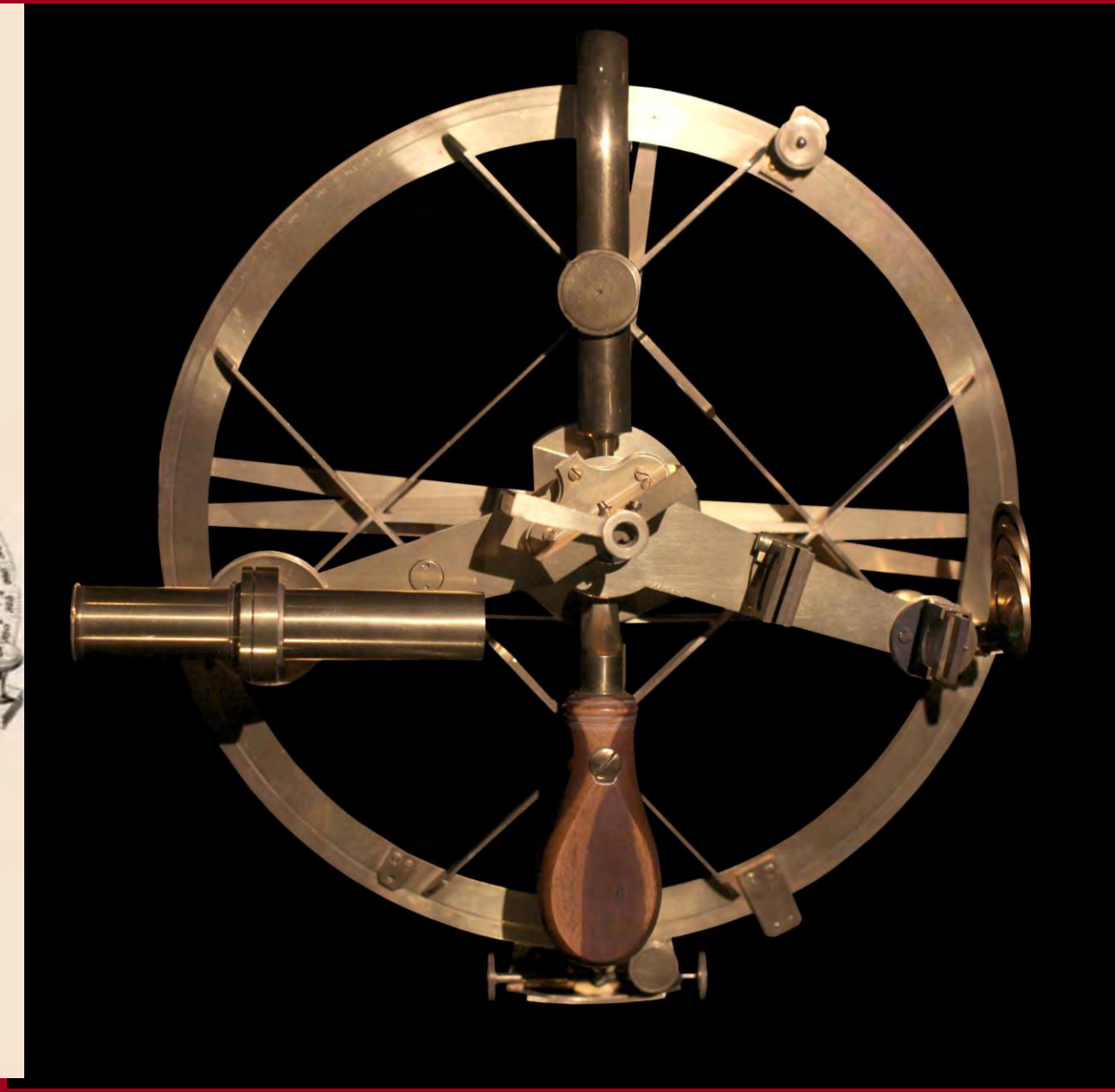
Joseph de Mendoza Rios

Phil. Trans. R. Soc. Lond. 1801 **91**, 363-374, published 1 January 1801

CÍRCULO REFLECTOR DE MENDOZA RIOS

On a Improved reflecting Circle
Mendoza Rios





Construido por Edward Troughton en 1810.

ilustrado con dibujos que muestran el instrumento y particularmente el aditamento añadido por Mendoza, con el que consiguió facilitar su manejo. Cuando Mendoza presentó el círculo a los miembros de la *Royal Society,* lo hizo con el convencimiento de que se trataba del instrumento más idóneo para determinar, desde el mar, la separación angular entre el Sol, u otra estrella y la Luna. Debió hacerlo con tan buenos argumentos que J. Banks decidió inmortalizar ese discurso, al ser retratado posando sentado en el sillón presidencial, procurando que se viese el correspondiente documento manuscrito que colocado encima de la mesa.

Mendoza Ríos siguió interesado por el problema de la longitud el resto de sus días. En el año 1814 se publicaron los impresos necesarios para calcularla a bordo de un barco: *Forms for the ready calculation of the longitude by the observed distances of the moon from the Sun or a star*. En ese trabajo comentaba la facilidad con la que se podía determinar: «…being upon account of its great simplicity and conciseness, superior to any process prposed for the same purpose till now,…The following Forms, which sabe trouble, and even the necessity of keeping in mind

the precepts for the computations…». Aunque Mendoza Rios dedicara la mayor parte de su actividad investigadora a tareas que, en la actualidad, podrían ser encuadradas en la geodesia marina, también mostró interés por la geodesia errestre, si bien los testimonios son en este caso indirectos. Un primer ejemplo data de su estancia en París, cuando ingresó en su academia de Ciencias e intervino, ante el Gobierno de España, con el propósito de que los geodestas franceses vieran facilitada sus tarea de prolongar el meridiano de Francia hasta las Isla Baleares; una operación científica de primer orden que resultaría básica para la definición del metro y la implantación definitiva del Sistema Métrico Decimal. El segundo ejemplo fue más concreto, ya que en él comunicó Mendoza el estudio crítico que había realizado su amigo José Rodriguez (el sabio español en palabras del astrónomo francés Delambre) sobre las las mediciones de grado efectuadas en Inglaterra por el Teniente Coronel William Mudge, siendo publicada la comunicación por las *Philosophical Transactions* de la *Royal Society* (1812): *Observations on the Measurement of three Degrees of the meridian conducted in England by Lieut. Col. William Mudge by Don Joseph Rodriguez*. El estudio y traducción de dicha comunicación fue publicado en *Biblio 3 W* (Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales) de la Universidad de Barcelona, en el año 2005.

FORMS

FOR THE

READY CALCULATION OF THE LONGITUDE

BY

THE OBSERVED DISTANCES OF THE MOON

FROM THE SUN OR A STAR,

WITH

THE TABLES

PUBLISHED BY

JOSEPH DE MENDOZA RIOS, Esq. F.R.S.

The Philosophical Transactions. 1812.

XVII. *Observations on the Measurement of three Degrees of the Meridian conducted in England by Lieut. Col.* William Mudge. *By Don* Joseph Rodriguez. *Communicated by* Joseph de Mendoza Rios, *Esq. F. R. S.*

Biblio 3W
REVISTA BIBLIOGRÁFICA DE GEOGRAFÍA Y CIENCIAS SOCIALES
(Serie documental de *Geo Crítica)*
Universidad de Barcelona
ISSN: 1138-9796. Depósito Legal: B. 21.742-98
Vol. X, nº 557, 5 de enero de 2005

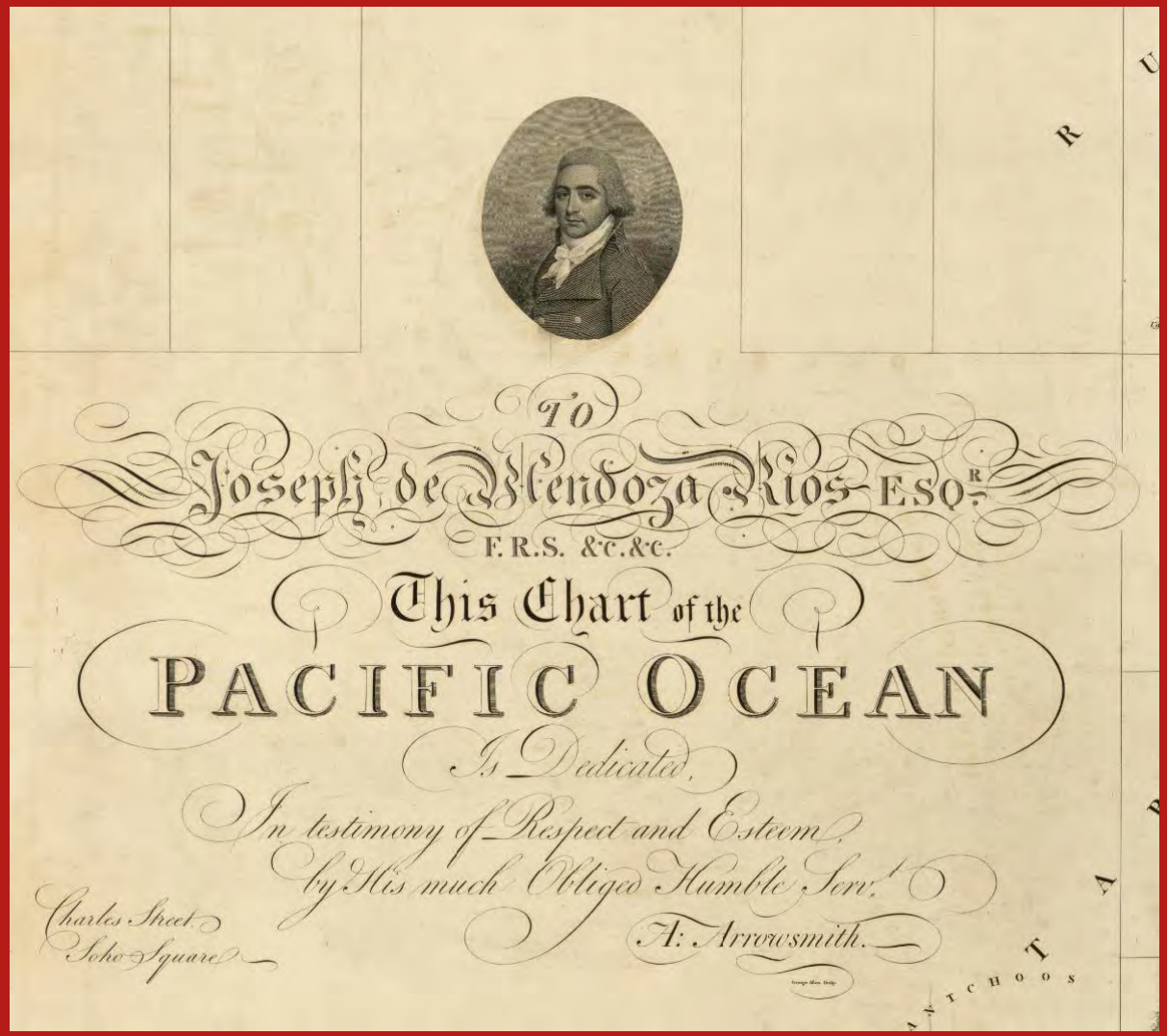
UNA COMUNICACIÓN DE J. MENDOZA Y RÍOS A LA ROYAL SOCIETY EN JUNIO DE 1812, DANDO CUENTA DE UN ESTUDIO GEODÉSICO REALIZADO POR J. RODRÍGUEZ

Estudio Introductorio y traducción por Mario Ruiz Morales

Grabado del planetario (Orrería) construida por el matemático británico Samuel Dunn en el año 1794, enviada a Madrid desde Londres por J. Mendoza Ríos. Biblioteca Nacional.

Otra de las actividades en que descolló Mendoza Ríos fue en la de recopilador cartográfico, un cometido que desempeñó eficazmente tras serle recomendado por el generalísimo Godoy; el destino de los mapas sería el gabinete Geográfico recientemente creado. Se conformó así una imponente colección compuesta por 2045 mapas, clasificados en dos grupos bien diferenciados: uno con los impresos en Inglaterra (un total de 1697) y otro, con 708, en el que se encuentran los editados en otros países. Dicha colección se custodia en la Biblioteca Nacional desde el año 1913. A lo largo de esa ingente tarea, Mendoza debió contactar con el prolífico cartógrafo Aaron Arrowsmith, el cual apreciaría rápidamente la valía científica de su interlocutor, hasta el punto de no dudar en dedicarle el Mapa del Océano Pacífico que presentó en el mes de octubre de 1798. El mapa constó de nueve hojas, figurando un retrato de Mendoza junto a la dedicatoria (así se hizo en alguna de las impresiones, como por ejemplo la que se encuentra en la Biblioteca del Congreso de los Estados Unidos); localizada en la hoja que ocupa el extremo Noreste. La dedicatoria fue la siguiente: *This chart of the Pacific Ocean is dedicated, in testimony of respect and esteem, by his much obliged humble servt.* A. Arrowsmith

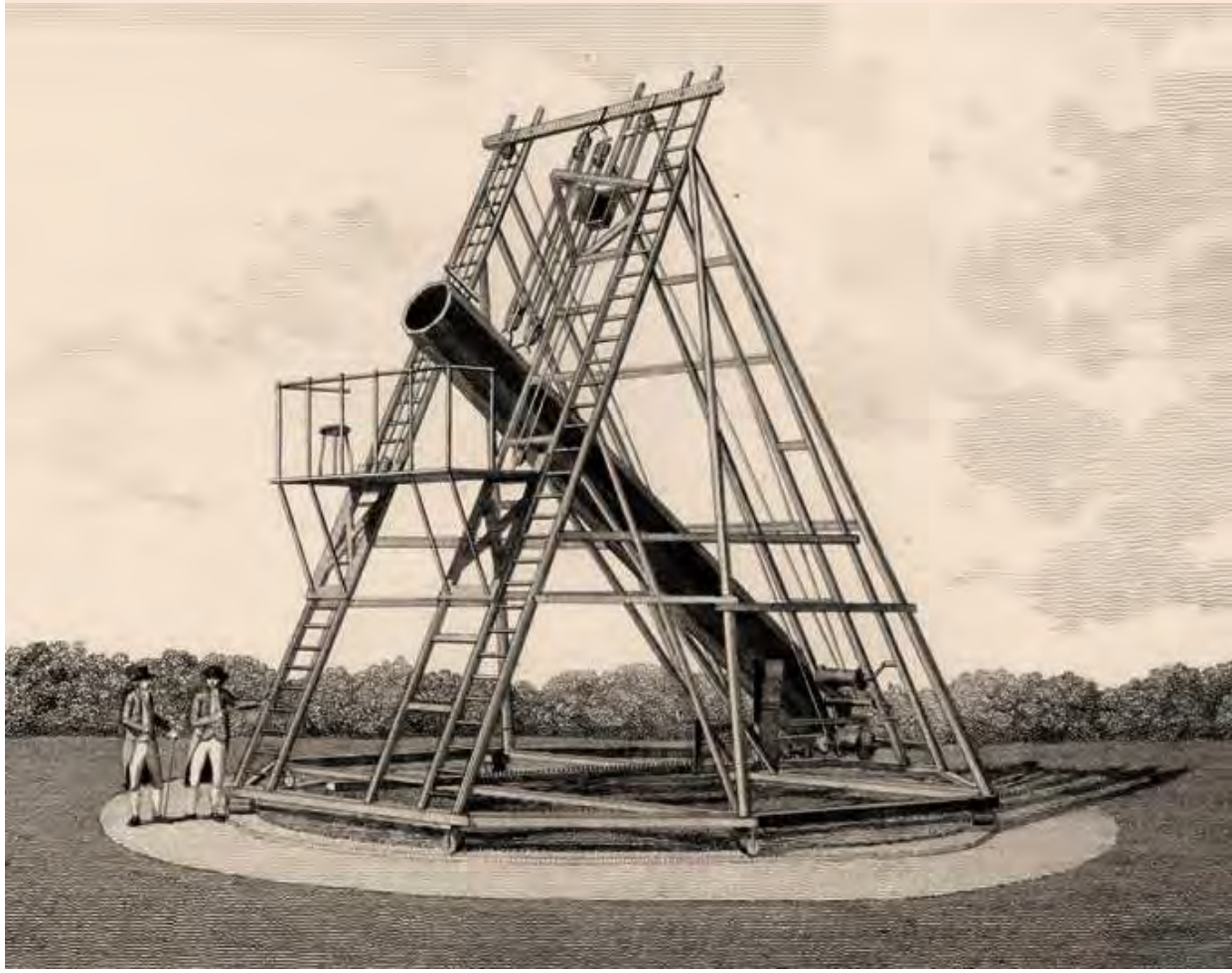
MAPA DEL OCÉANO PACÍFICO, DEDICADO A MENDOZA RÍOS POR A. ARROWSMITH

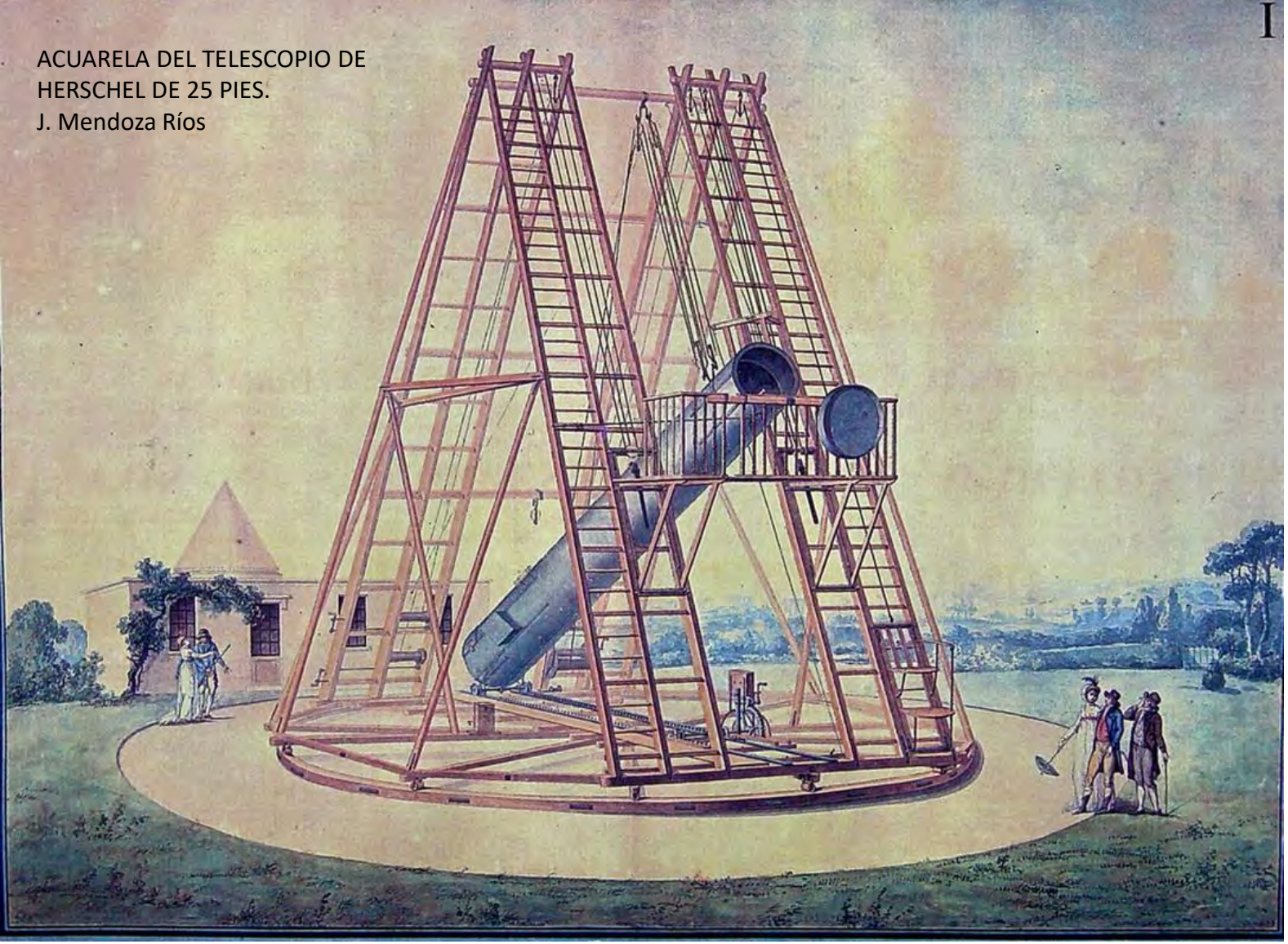


Cartela del mapa

El cierre de esta reivindicación de la figura de Mendoza Ríos es un tanto contradictorio y se refiere al servicio, con mayor proyección social, que prestó al Estado; al gestionar ante el astrónomo W. Herschel la construcción de dos réplicas de sus telescopios, con destino al Observatorio Astronómico de Madrid; uno mayor de 25 pies de largo y 24 pulgadas de diámetro y otro menor de siete pies de largo y siete pulgadas de diámetro. El proceso debió ser complicado, como evidencian las cartas que le dirigió este al marino español y que se conservan en la *Royal Astronomical Society.* Finalmente, en el mes de enero de 1802 se inició el traslado de todo el material desde Londres, aunque hasta mediados de agosto de 1804 no quedaron instalados en los aledaños del Observatorio; realizando el rey su inauguración formal el día 18. El desenlace es sabido, completa destrucción del telescopio mayor por parte de los soldados franceses en 1808. La aparente contradicción estriba en que gran parte de la gestión la efectuó Mendoza Ríos cuando ya había sido separado del servicio: en mayo de 1800 se le prohibió el uso de rango y uniforme, «por razones políticas y muy justas», sin que nunca fuesen aclaradas; no obstante, en 1796 la Secretaría de Estado de Marina le había ordenado que regresara a España y él hizo caso omiso, solicitando su retiro en el mes de septiembre de ese mismo año.

Grabado del telescopio de W. Herschel de 20 pies y un espejo de 18 pulgadas, instalado junto a su casa de Datchet, al Oeste de Londres. Año de 1782





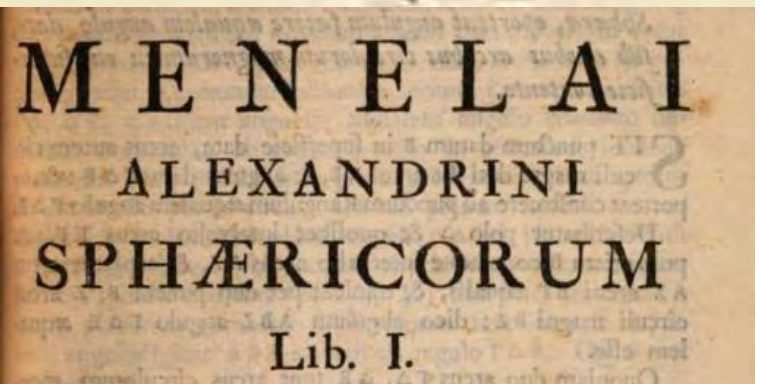
ACUARELA DEL TELESCOPIO DE HERSCHEL DE 25 PIES.
J. Mendoza Ríos

El epílogo de esta reseña de Mendoza Ríos, puede ser considerado como una especie de acto de servicio póstumo, en tanto que gracias a él pudo ser reconstruido el telescopio mayor. En efecto, suya fue la obra: *Planos generales y particulares del telescopio de veinte y cinco pies ingleses de largo construido en Virtud de orden del Rey y disposición Exmo. Sr. Príncipe de la Paz para la descripción de dicho instrumento*; la cual debió acompañar a los instrumentos enviados a España. Realmente se trata de dos volúmenes, uno con doce acuarelas de 880 x 680 mm y otro con ocho de 640 x 505 mm; ambos se conservan en la Biblioteca del Observatorio Astronómico de Madrid y son distribuidos por el Centro Nacional de Información Geográfica (edición facsímil). Sin su concurso no hubiera sido posible contemplar de nuevo el telescopio, doscientos años después, cerca de su emplazamiento original. Tan brillante iniciativa fue tomada por Jesús Gómez González, físico y astrónomo del Instituto Geográfico Nacional, cuando dirigía el referido Observatorio.

Mendoza Ríos es, muy probablemente, el matemático astrónomo de origen español que, en los últimos dos siglos, alcanzó el más alto reconocimiento internacional, por su obra científica.

Eduardo Ortiz

E. Ortiz



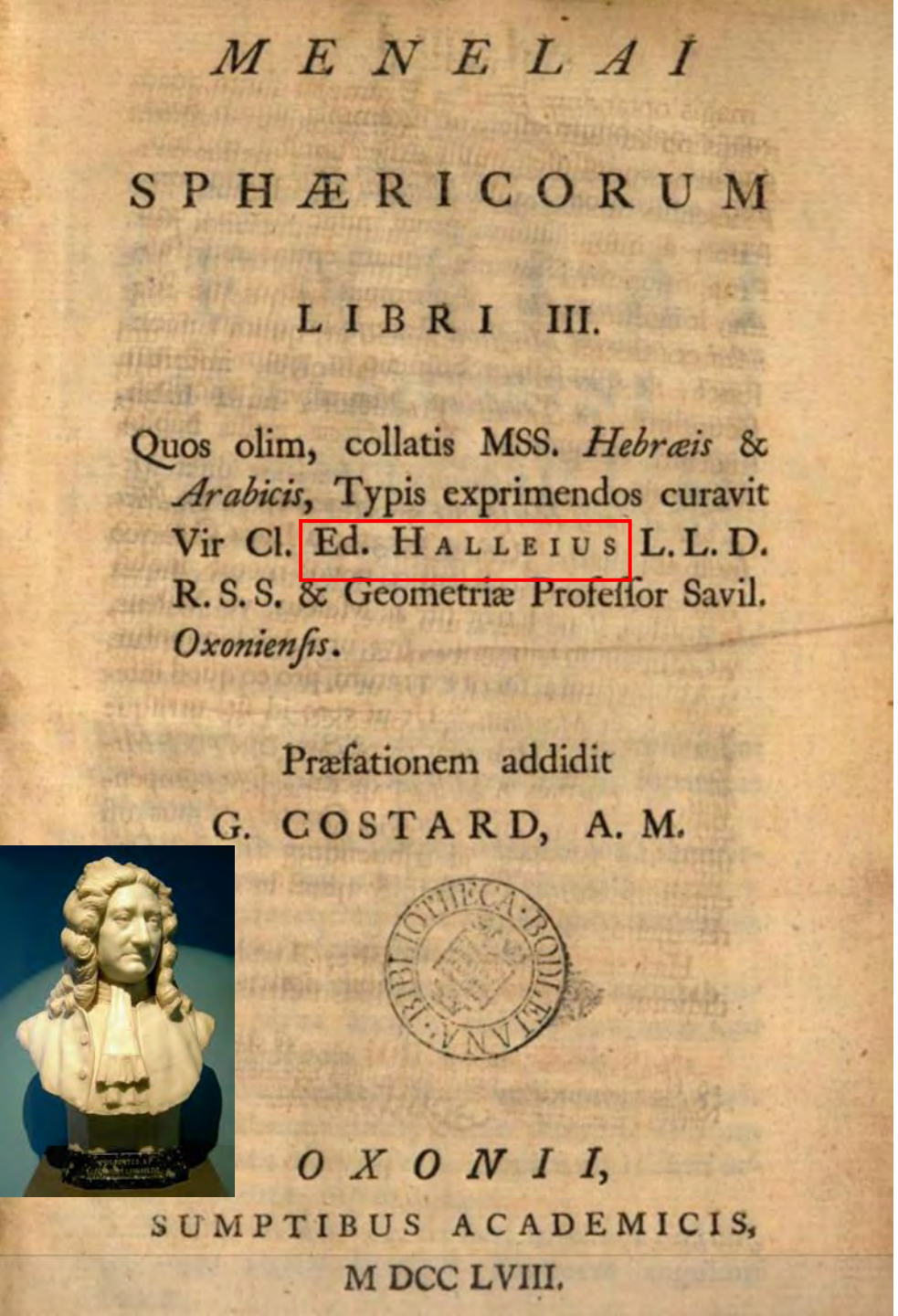
Menelao de Alejandría (ca. 70 - ca. 140)

Matemático y astrónomo egipcio que fue el primero en identificar las geodésicas, en una superficie curva, como líneas de mínima distancia; análogas a las rectas del plano. Matemático y astrónomo egipcio que fue el primero en identificar las geodésicas, en una superficie curva, como líneas de mínima distancia; análogas a las rectas del plano. Apenas se sabe nada de la vida de Menelao de Alejandría, salvo lo que se menciona en referencias aisladas en las obras de diversos autores. Quizás sea una de las más concretas la que figura en el Almagesto de Tolomeo, en tanto que lo sitúa en Roma, en tiempos de Trajano, observando la ocultación de dos estrellas por la Luna: en primer lugar, Espiga (*α Virg*), la más brillante de la constelación de la Virgen y en segundo Acrab (*β Scorpii*), localizada en una de las pinzas de la constelación del Escorpión. También aparece Menelao en la Moralia de Plutarco, justo en un diálogo sobre la reflexión de la luz que tiene lugar en el capítulo De facie in orbe Lunae. Tanto el matemático Papo como el filósofo Proclo se refirieron a él como Menelao de Alejandría. Posiblemente debió vivir en dicha ciudad cuando era joven, trasladándose después a Roma. Asimismo, es obligado recordar que en el catálogo (*Kitab al-fihrist*), escrito por Ibn al-Nadim en el siglo X, se dice que vivió antes de Tolomeo, detallando además algunas de sus obras: *Menelai Alexandria Spahaericorum*; *De cognitione quantitatis discretae corporum permixtorum*, (Sobre el conocimiento de los pesos y la distribución de los diferentes cuerpos,

dedicada al emperador Domiciano); *Elementa Geometriae*, la cual sería luego estructurada y traducida por Thabit ibn Qurrah en tres secciones, y *De triangulis*.

De todos los libros escritos por Menelao de Alejandría, solo se conserva su *Sphaerica*, un tratado de astronomía esférica en el que se aborda su estudio desde un punto de vista geométrico y trigonométrico, en él se introdujo por primera vez el concepto de triángulo esférico, como el espacio limitado por tres arcos de círculo máximo, propiciando de ese modo el desarrollo de la trigonometría de igual nombre. El original fue escrito en griego, pero no se conserva; aunque si varias de las versiones árabes del mismo, datando todas ellas de los siglos VIII o IX. Otras traducciones fueron hechas en hebreo (como por ejemplo la de Jacob ben Maher en el siglo XIII), en latín (por G. Cremona en el siglo XII y por E. Halley en el año 1758). Una de las versiones árabes, la de Abu Nas Mansur, fue traducida al alemán en el año 1936; mucho más reciente (2015), fue la realizada en inglés por el profesor Rani Hermiz (Tesis Doctoral leída en la Universidad estatal de San Marcos. California). La Spaherica de Menelao se dividió en tres libros, a saber: I) En él se trasladan a la esfera los fundamentos teóricos de la trigonometría plana; II) En él se abordan las aplicaciones astronómicas de la geometría esférica; III) En él se aplica la trigonometría a la resolución de problemas astronómicos.

SPHAERICA, escrita por Menelao de Alejandría. Detalle de una de sus versiones árabes.


MENELAI

SPHÆRICORUM

LIBRI III.

Quos olim, collatis MSS. *Hebræis* & *Arabicis*, Typis exprimendos curavit Vir Cl. Ed. HALLEIUS L. L. D. R. S. S. & Geometriæ Professor Savil. *Oxonienſis*.

Præfationem addidit

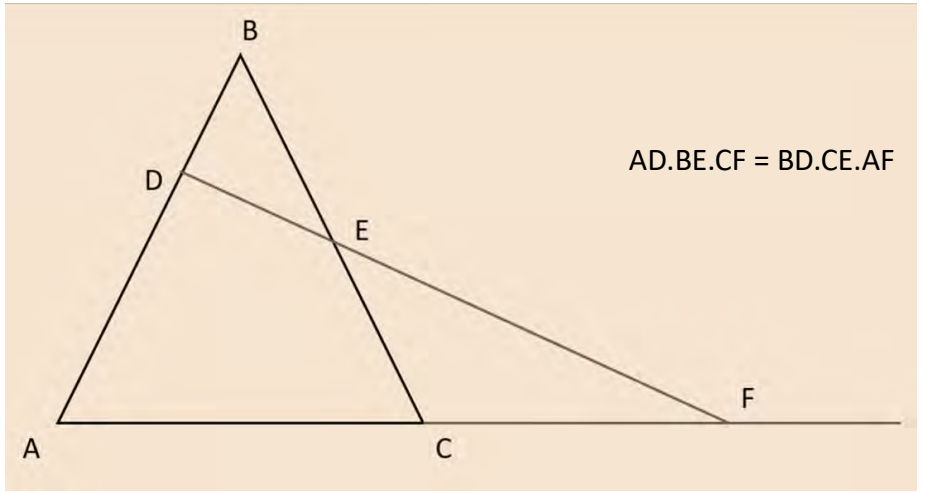
G. COSTARD, A. M.

OXONII,

SUMPTIBUS ACADEMICIS,

M DCC LVIII.

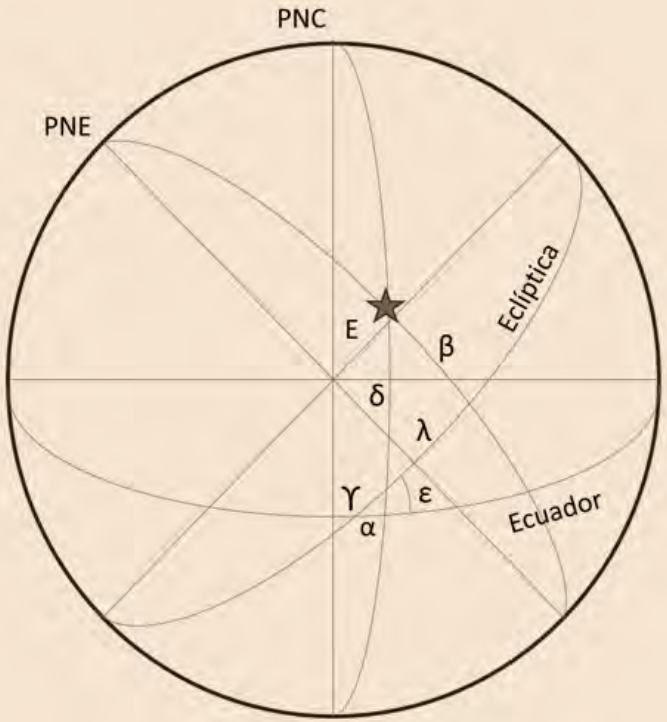
Fue en este último libro en donde se introdujo el teorema de Menelao, conocido por los árabes del Medievo como teorema transversal; aunque se crea que el mismo ya fue usado por Hiparco casi dos siglos y medio antes de que lo hiciera el astrónomo supuestamente nacido en Alejandría. El teorema para la geometría plana, bien conocido por sus contemporáneos, establecía la condición que debería cumplirse para que tres puntos de los lados de un triángulo dado estuviesen alineados.



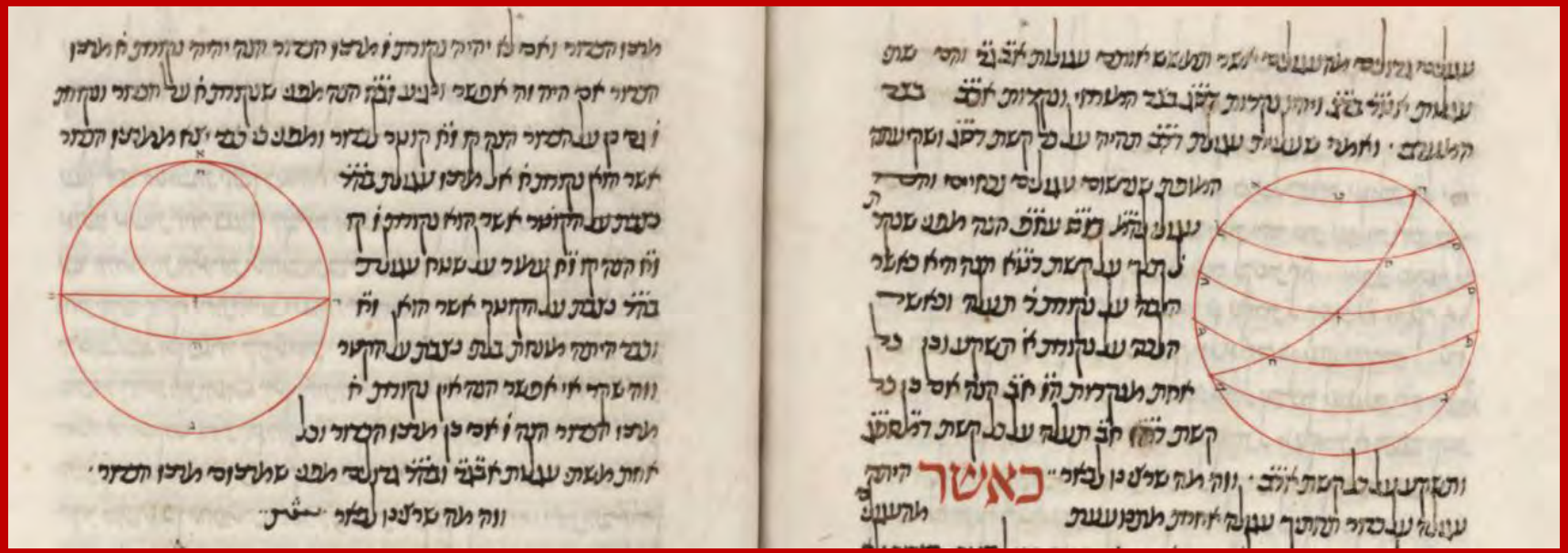
En su versión esférica, permitía deducir la relación entre las coordenadas astronómicas que fijan la posición de una estrella sobre la esfera celeste, correspondientes a distintos sistemas de referencia; se expone a continuación, a título de curiosidad, la que liga a las coordenadas ecuatoriales con las eclípticas (expresada en términos actuales).

COORDENADAS ECUATORIALES Y ECLÍPTICAS DE UNA ESTRELLA

E Proyección de la estrella
PNC Polo Norte Celeste
PNE Polo Norte de la Eclíptica
♈ Punto Aries
α Ascensión recta
δ Declinación
λ Longitud eclíptica
β Latitud eclíptica
ε Oblicuidad de la eclíptica



$\tan \alpha = (\cos \beta \operatorname{sen} \lambda \cos \varepsilon - \operatorname{sen} \beta \operatorname{sen} \varepsilon) / \cos \beta \cos \lambda$
$\operatorname{sen} \delta = \cos \beta \operatorname{sen} \lambda \operatorname{sen} \varepsilon + \operatorname{sen} \beta \cos \varepsilon$
$\tan \lambda = (\cos \beta \operatorname{sen} \alpha \cos \varepsilon + \operatorname{sen} \delta \operatorname{sen} \varepsilon) / \cos \delta \cos \alpha$
$\operatorname{sen} \beta = - \cos \delta \operatorname{sen} \alpha \operatorname{sen} \varepsilon + \operatorname{sen} \delta \cos \varepsilon$



Fragmento de la SPHAERICA de Menelao de Alejandría, escrita en hebreo (usando escritura sefardí semi cursiva). El manuscrito está datado entre el siglo XIV y XV. Se conserva en la Biblioteca Nacional.

Gerard Mercator (1512-1594)

Cartógrafo excelso, autor de un mapamundi que revolucionó la navegación, al representar las loxodrómicas (líneas de igual acimut) como segmentos rectilíneos. Igual de destacable fue su interés por las matemáticas, astronomía, cosmografía, magnetismo, historia, filosofía y teología. Mercator nació en Rupelmonde, una localidad situada unas diez millas al Suroeste de Ámberes, en el seno de una familia pobre; aunque gracias a su tío pudo matricularse en la escuela monástica de Hertogenbosch, en la que preparaban para el sacerdocio y estaban especializados en la enseñanza de la caligrafía. Su estancia en ella fue determinante para que considerase después que las letras cursivas eran las más apropiadas para rotular los topónimos de los mapas, tal como puso de manifiesto en el año 1540 al escribir el manual *Literarum latinarum, quas Italicas cursoriasque vocant, scribendarum ratio*. Sus estudios superiores los cursó en Lovaina, a la vez que asistía a las conferencias impartidas por G. Frisius, un matemático y astrónomo distinguido; convirtiéndose poco después en su discípulo. Tutor y alumno convencieron a Gaspar van der Heyden para que permitiera al segundo usar su taller para construir globos y otros instrumentos matemáticos; consolidándose Mercator

como magnífico grabador, calígrafo excepcional y uno de los mejores instrumentistas de su tiempo. En el año 1536 grabó los topónimos que iluminaron el globo terráqueo de Frisius, con un diámetro de 15 pulgadas y un total doce husos. De grabador ascendió a coautor, al año siguiente con ocasión del globo celeste, de parecido tamaño y fabricación (era usual la presentación de los globos por parejas: terrestre y celeste). Del mismo año 1537 data su primer mapa, una representación de Palestina de 17 por 39 pulgadas, grabado en cobre e impreso en seis hojas; su éxito comercial fue grande, de hecho, mantuvo su vigencia durante cuarenta años.

Cartela que justifica la autoría del mapa de Palestina

Mercator conocía Palestina por la formación religiosa que había recibido, de ahí que no dudara en mostrar la ruta descrita en el cuarto libro de Moisés. Al año siguiente presentó su primer mapamundi, usando para ello el sistema de doble proyección popularizado por el francés O. Finé; destacando el hecho de que rotuló por primera vez el nombre de América en la parte septentrional del Nuevo continente, haciendo suya la propuesta del alemán Martin Waldseemüller (aunque este clocase el topónimo en la parte meridional del mismo). También dibujó Mercator el mítico estrecho de Anián, el cual se suponía que separaba el mundo nuevo de Asia y hacía referencia al territorio mencionado por Marco Polo.

La siguiente publicación fue un mapa de Flandes (Flandria) impreso en cuatro hojas, este mapa de 1540 era de una

MAPA DE PALESTINA. Gerardus Mercator.1536

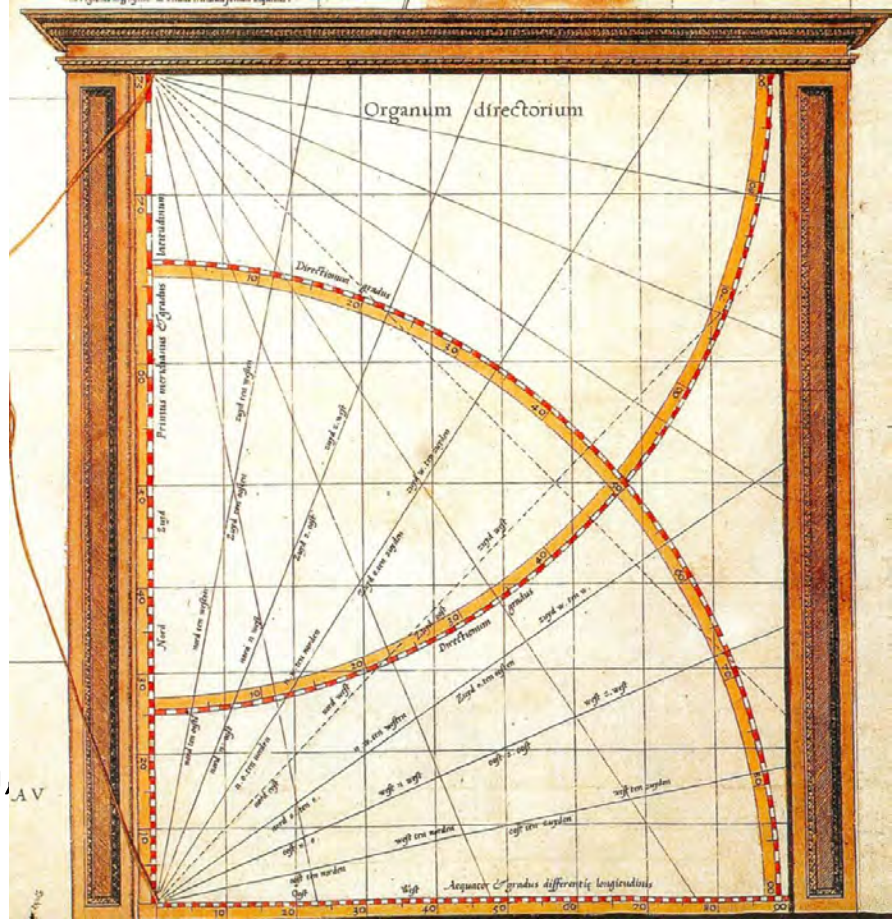
Mapa de Flandes (Flandria). G. Mercator. Versión incluida en el Atlas de Ortelius

fiabilidad geométrica sorprendente, como si estuviese avalada por trabajos de campo rigurosos. Al no haber constancia expresa de que fuesen realizados por el propio Mercator, el cual sí grabó las planchas de cobre correspondientes, suele atribuírsele dicho mérito al destacado topógrafo J. van Deventer, quien usó la triangulación en muchos de los levantamientos que le encargaron tanto Carlos V como su hijo Felipe II. Quince fueron las ediciones de ese mapa, entre 1555 y 1594, siendo incluida en el Atlas de Ortelius (1570) una versión reducida. Los conflictos religiosos tan acentuados en los Países Bajos, afectaron personalmente a Mercator, ya que fue encarcelado al considerar sus denunciantes que era afín al protestantismo. Sin embargo, las presiones de sus simpatizantes y el hecho de que contara con el favor real, propiciaron su liberación siete meses después; las penalidades que sufrió durante su cautiverio (cuatro de sus compañeros detenidos fueron decapitados, quemados en la hoguera o enterrados vivos) hicieron que años después decidiera abandonar Lovaina. Su destino fue la ciudad alemana de Duisburgo, que era protestante, es muy posible que el detonante de su traslado fuese también el anuncio de que en dicha ciudad se quería abrir una universidad; aunque al final no se llevase a cabo, los mecenas reales y comerciales continuaron financiando los globos terráqueos, mapas e instrumentos científicos de Mercator.

MAPA DE EUROPA

Edición de 1589

En Duisburgo terminó su celebrado mapa de Europa (1554), que había comenzado en Lovaina, grabado en cobre e impreso en quince hojas separadas, que una vez ensambladas formaban un cuadro de 47 por 58 pulgadas (120 x 147 cm). Uno de sus biógrafos afirmó que una edición actualizada del mismo, de 1572, fue considerada la mejor obra cartográfica aparecida hasta entonces; no en vano, Mercator fue considerado, en su momento, el Tolomeo de su tiempo.



No obstante, su mapa más conocido, y por el que siempre sería recordado, fue el mapamundi de 1569: *Nova et aucta orbis Terrae descriptio ad usan navigantium emendate accomodata;* un desarrollo cilíndrico directo y conforme que resolvió definitivamente el problema secular de la navegación, ya que la imagen de las loxodrómicas eran en el mapa líneas rectas que cortaban bajo el mismo ángulo a las imágenes rectilíneas y paralelas de los meridianos terrestres. Pese a su importancia, no tuvo en su tiempo la acogida que el mapa de Europa, quizás influyera que la explicación de su empleo estuviese en latín. La construcción del mapa se apoyó en un ábaco (*Organo directorium*), mediante el cual se podía obtener la imagen de los sucesivos paralelos tomando incrementos latitudinales de 10^{o} . Los errores inevitables en esa resolución gráfica fueron advertidos años después por Edward Wright (1599), el cual realizó un estudio tan detallado que algunos creyeron ver en él al verdadero autor de ese sistema cartográfico; en cualquier caso, hubo que esperar al descubrimiento del cálculo diferencial e integral para obtener la expresión analítica de la representación, es decir la relación entre las coordenadas cartesianas y las geográficas.

Supuesta la Tierra esférica, de radio R, sería $X = R\,(\lambda-\lambda_o)$, $Y = R\,\mathrm{Ln}\,[\tan(\pi/4 + \varphi/2)]$; λ_o es la longitud del meridiano origen.

NOVA ET AVCTA ORBIS TERRAE DESCRIPTIO AD VSVM NA

Este mapamundi fue impreso en 18 hojas, que una vez ensambladas formaban un rectángulo de 202 x 124 cm. El campo del mapa estaba limitado por los paralelos de 80º latitud Norte y 66º latitud Sur, con la particularidad de que los paralelos no eran equidistantes, al intervenir en las ordenadas cartográficas el logaritmo neperiano de una función de la latitud; de ahí que a veces se introduzca la llamada latitud creciente (o variable de Mercator), expresándose la ordenada mediante la ecuación $Y = R\,\phi$. En dicho campo se abrieron varias ventanas en las que se proporcionó información especialmente interesante: en las número 1, 2, 7 y 8, por ejemplo, sea daba cumplida explicación de como se dibujó el mapa y de cuál era el propósito del mismo; anunciándose en la de la hoja número 13 la necesidad de representar la zona polar mediante un mapa específico, a la vez que se indicaba las principales fuentes de información geográfica básicas para su confección. La dedicatoria del mapa figuró en las dos primeras hojas, bajo las imágenes de la Paz, Justicia y Piedad: Ilustrísimo y Clementísimo, Príncipe y Señor, Guillermo de Jülich-Cléveris-Berg; el cual había recibido a Mercator con toda cordialidad, cuando llegó a Duigsburgo. La expresión matemática de este sistema cartográfico demuestra que al aumentar la latitud se incrementan las deformaciones superficiales, de ahí la limitación del campo. Dos ejemplos inciden en la necesidad de tener en cuenta esa cuestión: Alaska aparece como Australia, aunque esta sea 4.5 veces mayor, algo similar

ocurre con Groenlandia y África, siendo esta catorce veces mayor. En ese mismo año 1559, Mercator fue nombrado Profesor de Matemáticas en el *Gymnasium* de Duisburgo, recién creado por su Ayuntamiento, aunque realmente explicara a partir de entonces geometría, topografía y astronomía matemática; la plaza acabaría ocupándola su hijo Bartolomé, después de renunciar a favor del mismo. Un año después consiguió que su amigo Jan van der Meulen (Molanus) fuese nombrado Rector del Gimnasio; Su prestigio era tal que hacia 1564 fue nombrado cosmógrafo del Ducado de Jülich (ya lo era de Carlos V, desde el año 1542) al que pertenecía Duisburgo, involucrándose a partir de entonces en una serie de obras sobre cosmografía e historia; el propio duque Guillermo recurrió a él para que levantase un plano del límite con el condado de Westfalia, como ayuda para solventar los desacuerdos fronterizos.

De entonces data su Cronología: *Chronologia hoc est, temporum demonstratio exactissima, ab initio mundi, usque ad annum domini M. D. LXVIII. ex eclipsibus et observationibus astronomicis omnium temporum, sacris quoq[ue] biblijs, & optimis quibusq[ue] scriptoribus summa fide concinnata. Auctore Gerardo Mercatore* ; incluyendo en ella tablas de eclipses solares y lunares, además de un listado ordenado de sucesos políticos, culturales, científicos y bíblicos. La producción científica de Mercator sufrió la censura de la Iglesia, pues varias de sus obras fueron

FUENTE DE MERCATOR
frente al antiguo ayuntamiento de Duisburgo

Frontispicio de la Geografía de Tolomeo (1584). G. Mercator.

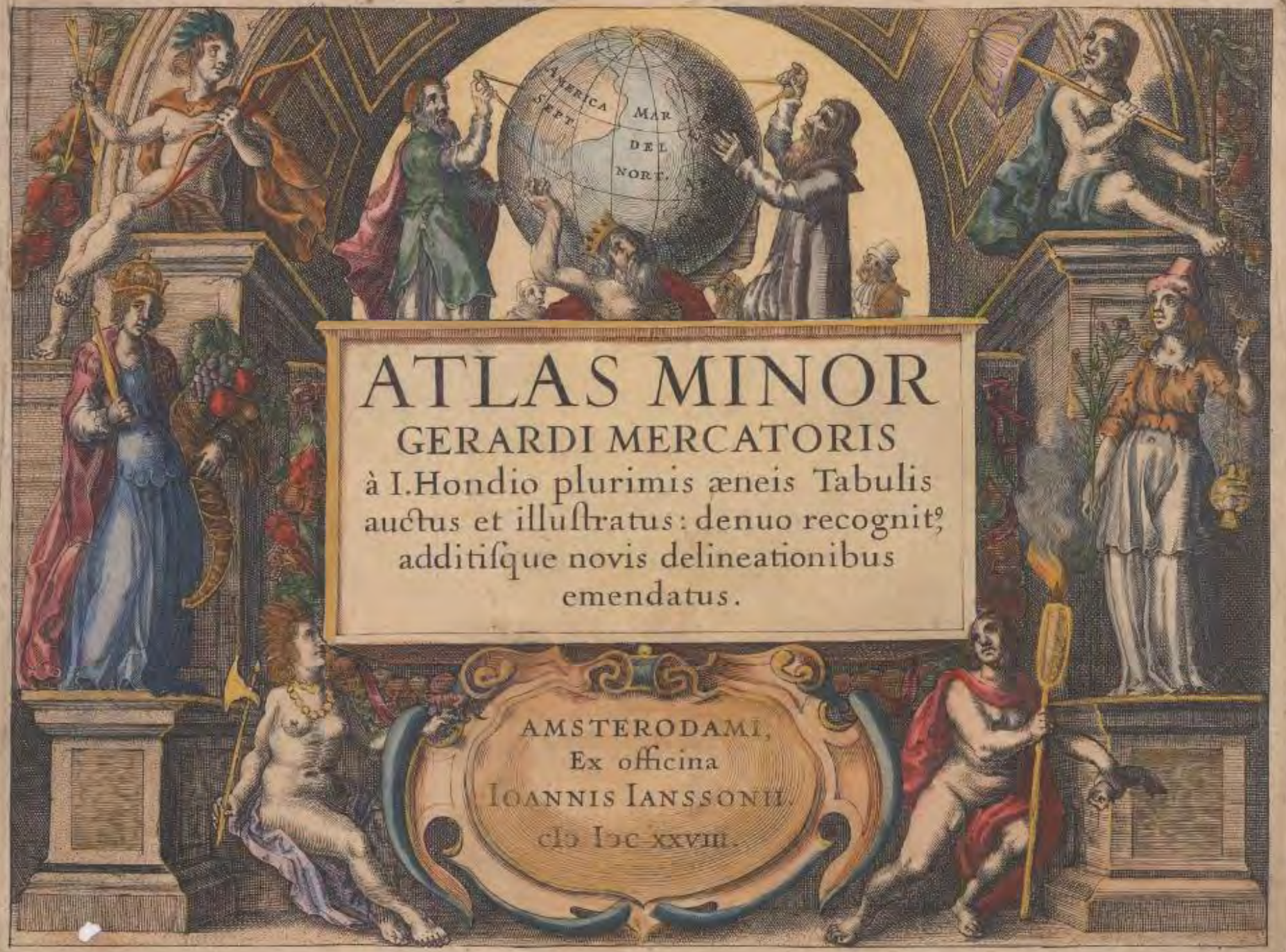
incluidas en el índice de obras prohibidas; llegando a cebarse con algunos de sus mapas, que sufrieron brutales mutilaciones. Una de las publicaciones más sobresaliente de Mercator fue su versión de la *Geografía de Tolomeo*, desprovista de las interpretaciones equivocadas de ediciones precedentes, para dar de ese modo una visión del mundo en el siglo II de nuestra era. En consecuencia, esta obra, que vio la luz por primera vez en el año 1578, incluyó una cuidada reproducción de los mapas atribuidos al sabio de Alejandría, acompañados de un listado de topónimos y un detalle ampliado del delta del Nilo. El formato variable de todos ellos osciló en torno a un cuadro de 13 por 18 pulgadas, evidenciando sus muchas reediciones la importancia que tuvo la obra. En algunas de ellas figuró un magnífico grabado de Mercator, el cual sostenía un compás que marcaba la posición del polo magnético con una de sus puntas.

Mercator marcando con un compás la posición del Polo magnético. *Geografía de Tolomeo*.

Mientras preparaba la geografía comenzó a recopilar mapas para formar otra de sus obras novedosas: *Atlas sive*

Cosmographicae Meditationes de Fabrica Mundi et Fabricati Figura; cuya primera edición fue publicada en el año 1585, con 51 mapas (predominando los de Alemania, Francia y los Países Bajos); ampliado en 1589 con un volumen compuesto por 23 mapas relativos a Italia y Grecia, finalmente en 1595 se ultimó el proyecto. Los responsables de esa última fase fueron su hijo Rumold y su nieto Michael, reimprimiendo en ella los mapas anteriores y 28 más, para representar los restantes territorios europeos. Fue en esa obra cuando se empleó por primera vez la palabra Atlas, en un contexto cartográfico; en realidad, el atlas era parte de una empresa mucho más amplia, que ya había sido anunciada en su Cronología de 1569. Efectivamente, en su introducción, Mercator manifestó su deseo de escribir una obra sobre la creación y origen del cosmos: el volumen dedicado a la creación del mundo sirvió de presentación del Atlas (1595); el volumen dedicado a la descripción del universo nunca se publicó; después se describirían, en tres partes, los países y océanos (*Tabulae geographicae*, incluida parcialmente en el Atlas, Mapas de Tolomeo, publicados en 1578, y Geografía antigua, nunca realizada); la Genealogía e historia política, reproducida en los textos que acompañaban a los mapas del Atlas; cerrando la colección la repetida Cronología (1569). Aunque Mercator fuese posponiendo la conclusión del Trabajo, a la espera de disponer de la mayor información posible, el Atlas mundial con un total aproximado de 120 mapas nunca pudo ver la luz.

Con independencia de la importancia de esa monumental obra cartográfica, llama poderosamente la atención la falta de mapas de España y de sus regiones, máxime cuando esta ocupaba un lugar tan determinante en la política de la época y el propio Mercator fue cartógrafo del emperador Carlos V. La anomalía desapareció con la participación de Joost van Hondt, más conocido con el nombre latino de *Iodocus Hondius*, cuando compró las planchas de Mercator y publicó en 1606 una nueva versión del *Atlas sive Cosmographicae Meditationes*; incorporando entonces siete mapas diferentes de la Península Ibérica: 1) *Hispania*, 2) *Portugallia olim Lusitania*, 3) *Biscaia et Legio*, 4) *Castilia Vetus et Nova*, 5) *Andaluzia*, 6) *Regni Valentiae Typus* y 7) *Arragonia et Catalonia*. En el nuevo frontispicio del Atlas, se mantuvo la imagen del personaje mitológico midiendo con un compás el globo terráqueo; si bien se añadieron siete alegorías, entre las que destacaba la de Europa, a la derecha del gigante, con un cetro como símbolo de su autoridad. Animado por el gran éxito logrado con las ventas de las primeras ediciones del atlas, su hijo Henricus Hondius decidió hacer una versión de bolsillo, creyendo que de ese modo se consolidaría la difusión de la obra, sin un incremento excesivo de coste, y se atenderían las quejas formuladas a propósito del manejo de las ediciones normales. No obstante, ha de tenerse en cuenta que no se trató de un trabajo banal, pues hubo que volver a grabar las planchas



ATLAS MINOR

GERARDI MERCATORIS

à I.Hondio plurimis æneis Tabulis auctus et illustratus: denuo recognit⁹, additisque novis delineationibus emendatus.

AMSTERODAMI,
Ex officina
IOANNIS IANSSONII.
clɔ Iɔc xxviii.

para adaptarlas al nuevo tamaño, alrededor de 21 x 17 cm, justo la mitad del original; de ahí el nombre con el que fue bautizado: *Atlas Minor*, realizándose su primera edición en el año 1606. Esta versión reducida del atlas también fue muy bien acogida, como prueban sus numerosas reediciones y su publicación en varios idiomas. En la introducción, firmada por el propio Joost van Hondt, se comentaba que, con esa edición tan manejable, el atlas sería más asequible a los estudiosos de la Geografía. Cuando Hondius murió en 1612, su viuda e hijos se hicieron cargo de la empresa y continuaron publicando el atlas. A ella se debió el célebre grabado del doble retrato de Mercator y su marido, con el que se ilustraron todas las reediciones a partir del año 1613. Se remite a los interesados en la gestación de este atlas, y en los comentarios referidos a los mapas del territorio peninsular, al artículo: *La Península Ibérica en el Atlas Minor de Mercator- Hondius* (2014).

Grabado en el atlas de 1613 (*Rijksmuseum*. Amsterdam)

Aunque Mercator estuviese principalmente dedicado a las tareas cartográficas que se acaban de resumir, no descuidó la faceta de constructor de instrumentos matemáticos, que inició durante su estancia en Lovaina; ya referida a propósito de la pareja de globos, de los que ahora si se darán más detalles. Su primer globo terrestre de 1541 y fue dedicado a Nicolaus Perrenot de Granvella, Consejero de Estado en los Países Bajos y embajador de Carlos V. Su diámetro fue de 41.5 cm, contando con doce husos y los correspondientes

El privilegio de Mercator, a la derecha de un monstruo marino

casquetes polares. La densidad de topónimos que presenta es aceptable, incluyendo el rótulo del privilegio imperial de seis años; dibujando además de la eclíptica algunas loxodrómicas para hacerle útil a la navegación. El horror vacui se hizo notaren el globo, al haber incluido monstruos marinos en el océano Pacífico y en el Atlántico. América del Norte figuró como un territorio en gran parte inexplorado, todo lo contrario que la zona del Caribe. Se aprecia la influencia de los relatos de Marco Polo, así como la del cartógrafo Paolo del Pozzo Toscanelli, responsable del sobre dimensionamiento de Asia y de la excesiva separación entre la China y Japón. Cuando Mercator le entregó el globo a Granvela, convertido luego en su protector, le adjuntó un folleto explicativo; tanto el emperador como su ministro quedaron tan complacidos que le hicieron un nuevo encargo, cuyo desglose será dado más adelante. Se ignora si se produjo la clásica reacción causa efecto, pero en el año 1541 fue cuando Mercator fue nombrado cosmógrafo de Carlos V.

ROYAL MUSEUMS GREENWICH

EL GLOBO TERRESTRE
DE GERARDUS MERCATOR

Constelaciones de Coma Berenice, Aguila y Antinous. Globo celeste G. Mercator

Durante mucho tiempo se creyó que el globo celeste fabricado por Mercator en 1551 no aportaba nada relevante, de acuerdo con la opinión que lo consideraba buen geógrafo, pero con unos conocimientos astronómicos que no estaban al mismo nivel que los cartográficos. Sin embargo, investigaciones realizadas a finales del pasado siglo XX mostraron que esa creencia carecía de sustento. En efecto, Mercator halló la posición de las estrellas con mayor fiabilidad que lo hicieron sus contemporáneos, fijándola para el año 1550, de acuerdo con la teoría de Copérnico. Aparte de las 48 constelaciones clásicas, mostró en su globo de 41.5 cm, las nuevas constelaciones de *Antinous* y *Coma Berenices*; siguiendo probablemente el patrón seguido por Kaspar Vogel en

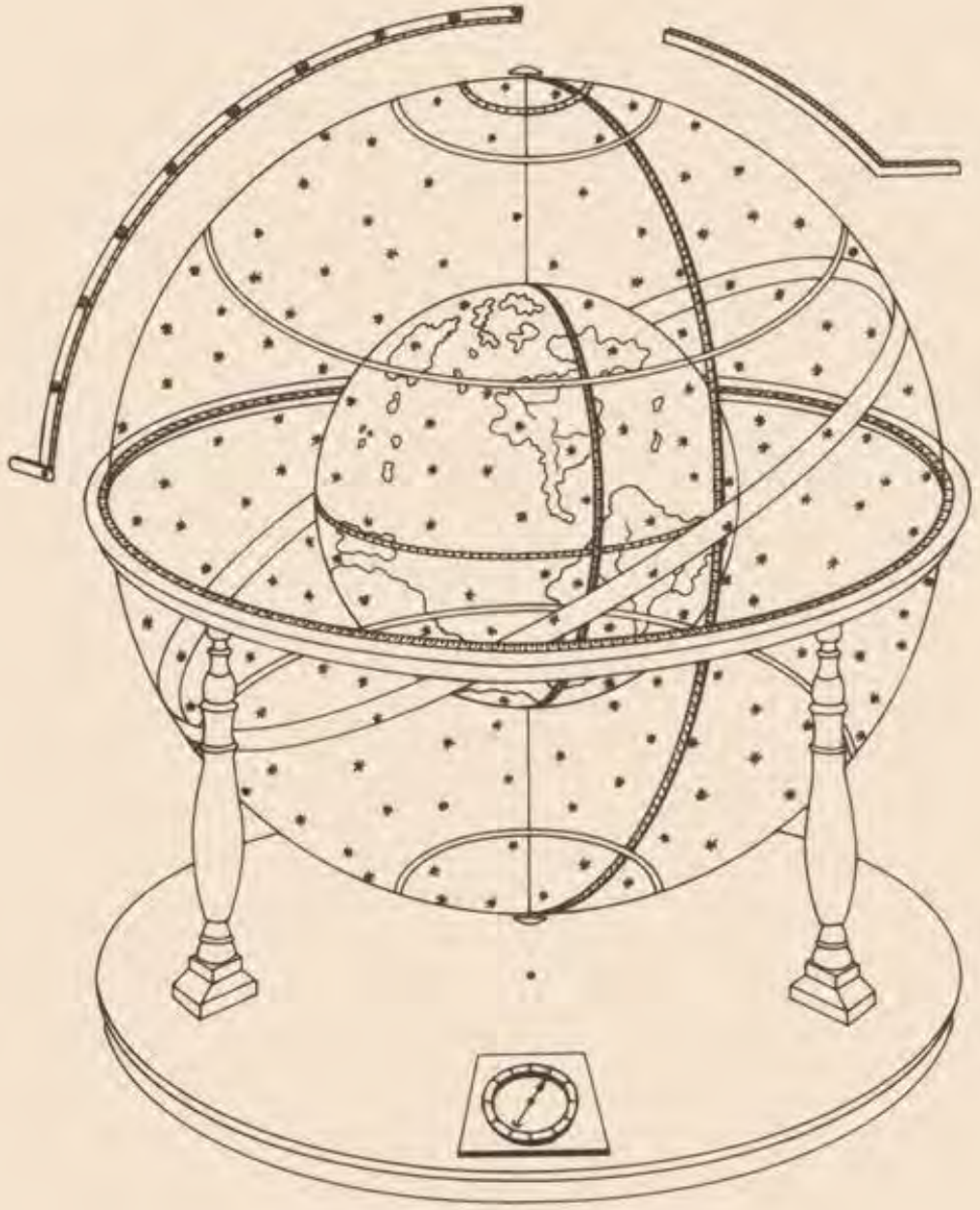
ROYAL MUSEUMS GREENWICH

EL GLOBO CELESTE
DE GERARDUS MERCATOR

Tres de los husos que formaron el globo celeste de Mercator

el globo de 1536. Esos dos asterismos fueron descritos en la antigüedad, pero sin que alcanzasen la categoría de constelaciones. Otra de sus innovaciones fue el estilo elegido al dibujar las constelaciones, desnudas algunas y otras vestidas al uso romano. Para facilitar su interpretación se incluyó una tabla con las magnitudes estelares, junto a la imagen de la Osa Mayor. La Vía Láctea aparece representada, acompañada de los símbolos planetarios y datos referidos a las connotaciones astrológicas de las constelaciones. Se identificaron con nombre propio un total de 52 estrellas y cinco agrupaciones estelares. En cuanto a las 48 constelaciones de Tolomeo, se localizaron con nombres en latín, griego o usando la transliteración de su denominación arábiga.

Dedicatoria al obispo de Lieja, hijo natural del Emperador Maximiliano I. fue propuesto por Carlos V.



El doble globo que hizo Mercator para el emperador Carlos V, según su biógrafo Jean van Raemdonck. Dibujo de Esteban Gil Reta.

Mercator construyó además otro tipo de instrumentos, en ocasiones fruto de encargos, ese fue el caso del que le hizo Carlos V, cuando vio la buena factura del globo terrestre de 1541. En realidad, fue una colección para usar durante sus campañas militares, compuesta de un pequeño cuadrante, un anillo astronómico, un reloj de Sol y varias brújulas. A tenor del relato de W. Ghim, amigo y vecino de Mercator en Duigsburg, todos ellos se destruyeron en agosto de1546 en la ciudad de Ingolstadt, durante la guerra de Baviera. A raíz de ello, se le encomendó la fabricación de otra serie, que ya ultimaría en la ciudad alemana donde fijó su residencia. Asentado ya en Duigsburg comenzó, por iniciativa del emperador, una de sus obras más primorosas un sistema de dos globos, formado por uno celeste que envolvía a otro terrestre. Sobre la superficie del primero, hecho de cristal transparente, grabó con un diamante las estrellas y diferentes constelaciones, de manera similar a como había hecho antes y haría después. El de madera estaba cubierto con un elaborado mapa formado por los consabidos mapas y casquetes. Lamentablemente no se conserva el original, pero si un dibujo del mismo, realizado en la segunda mitad del siglo XIX por Jean van Raemdonck, primer biógrafo importante de Mercator, el cual aseguró que lo había hecho de acuerdo con la *Declaratio*.

Tan valioso documento fue la nota explicativa dirigida al emperador en el año 1554, con el título siguiente: *Declaratio insigniorum utilitatum quae sunt in globo terrestri: coelesti, et annulo astronomico ad invictissimum romanum imperatorem Carolum Quintum*; y es que Mercator construyó asimismo un anillo astronómico con cinco círculos. El documento en cuestión fue escrito en forma de carta, con tres apartados: *De uso globi terrestris*, *Praecipui usus globi coelestis* y *Annuli insigniores usus*; la firma no admite dudas: *Sacratissimae Maiestati tuae Gerardus Mercator Rupelmondanus servus humillimus*. Con el sistema de los dos globos, una brújula, un gnomon esférico, un cuarto de círculo y el anillo astronómico, citado en la *Declaratio*, partió Mercator para Bruselas para entregárselos personalmente al Emperador. Carlos V los examinó detenidamente y felicitó al autor por su extraordinaria habilidad, gratificándolo e incorporándolo también a su casa con el título de *Imperatoris Domesticus*, disfrutando a partir de entonces de los consiguientes emolumentos y prerrogativas. Los privilegios de Mercator continuaron bajo el reinado de Felipe II, al igual que sucedería con sus compañeros Deventer y Ortelius.

Alegoría de la Cartografía holandesa, centrada en Mercator y su Atlas

Observación geodésica con el círculo acimutal en el vértice Tetíca, durante el enlace astronómico entre España y África, efectuado en el año 1879. Es poco probable que el operador del momento fuese el propio M. Merino, como responsable último de tan relevante operación científica; al centrarse solo en la parte astronómica de la misma.

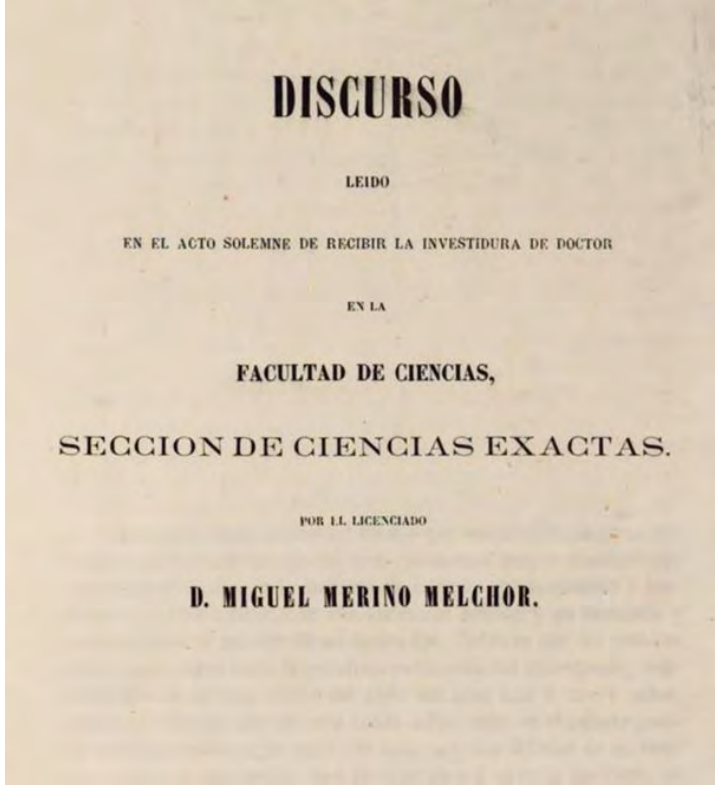
Miguel Merino y Melchor (1831-1905)

Astrónomo director del Observatorio astronómico de Madrid y uno de los primeros matemáticos españoles en estudiar, con el debido rigor, la forma de la Tierra; publicando los resultados en los Anuarios correspondientes a los años 1862 y 1863. También fue él quien dirigió el enlace astronómico entre Europa y África de 1879, parte sustancial de un proyecto científico más amplio que fue coordinado por Carlos Ibáñez e Ibáñez de Ibero y por el Teniente Coronel francés François Perrier:. No se cuenta con suficiente información biográfica de Miguel merino, aunque si se sabe que nació en la localidad de Villafranca de Montes de Oca (Burgos) y que debió ser muy buen estudiante, con especial interés por las matemáticas, para que en el año 1852 ya fuese nombrado Profesor de Cálculo Infinitesimal en la Escuela preparatoria de Ingenieros de Caminos y de Minas. Siete años después ya era Astrónomo del Observatorio de Madrid, determinando en 1861 su latitud gracias a sus observaciones con el anteojo de pasos; constatando la bondad del valor obtenido ($40^{o}\ 24'\ 29''.9$) en 1853 por Antonio Aguilar Vela, director del mismo. En el año 1863 colaboró con el astrónomo francés Urbain Le Verrier para obtener la diferencia de longitudes entre Madrid y París, fijándola en $24^{m}\ 5^{s}.998 \pm 0^{s}.009$. En

EL OBSERVATORIO
ASTRONÓMICO DE MADRID

Fotografía de Jean Laurent

esos años debió simultanear sus tareas con la docencia en la Facultad de Ciencias, ya que en 1863 leyó en ella su Tesis Doctoral: *Exposición razonada de los movimientos de las estrellas*. La tesis fue impresa en el folleto titulado: *Discurso leído en el acto solemne de recibirla investidura de doctor en la facultad de Ciencias, SECCIÓN DE CIENCIAS EXACTAS, por el Licenciado D. Miguel Merino Melchor*. Madrid. 1863. También data del mismo periodo la participación del Observatorio en el establecimiento de la Red Geodésica, imprescindible para el futuro Mapa de España; responsabilizándose del cálculo de las coordenadas geográficas de algunos vértices singulares, así como de la determinación del acimut astronómico de ciertos lados de la red. Tales trabajos, dependientes entonces de la Junta General de Estadística, fueron comentados en la Gaceta de Madrid, así sucedió por ejemplo en el número publicado el martes 26 de enero de 1864. En el que se refirieron los cálculos correspondientes a las observaciones verificadas en las tres campañas anteriores, para la determinación de las coordenadas geográficas de las provincias siguientes: Albacete, Alicante, Ávila, Burgos, Ciudad Real, Cuenca, Guadalajara, Palencia, Salamanca, Segovia, Valencia, Valladolid y Zamora. Indicando a continuación que la Brigada responsable de las observaciones estuvo mandada por Antonio Aguilar, como Director del Observatorio, y por Miguel Merino como astrónomo segundo. En el transcurso de esas campañas debió fraguarse la relación profesional y de amistad entre Merino e Ibáñez de Ibero, que tan fructífera sería para el progreso de la astronomía geodésica en nuestro país. Seguramente a raíz de esos nuevos cometidos se acrecentaría en Merino el interés por la geodesia y su intención de estudiar a fondo una de sus problemas fundamentales: el de la forma y dimensiones de la Tierra. Tampoco parece aventurado suponer que Ibáñez le animara a publicar su trabajo *Figura de la Tierra,* el cual se presentó en un solo volumen de 118 páginas (1862); aunque también se reprodujera en los anuarios del Real



DISCURSO

LEIDO

EN EL ACTO SOLEMNE DE RECIBIR LA INVESTIDURA DE DOCTOR

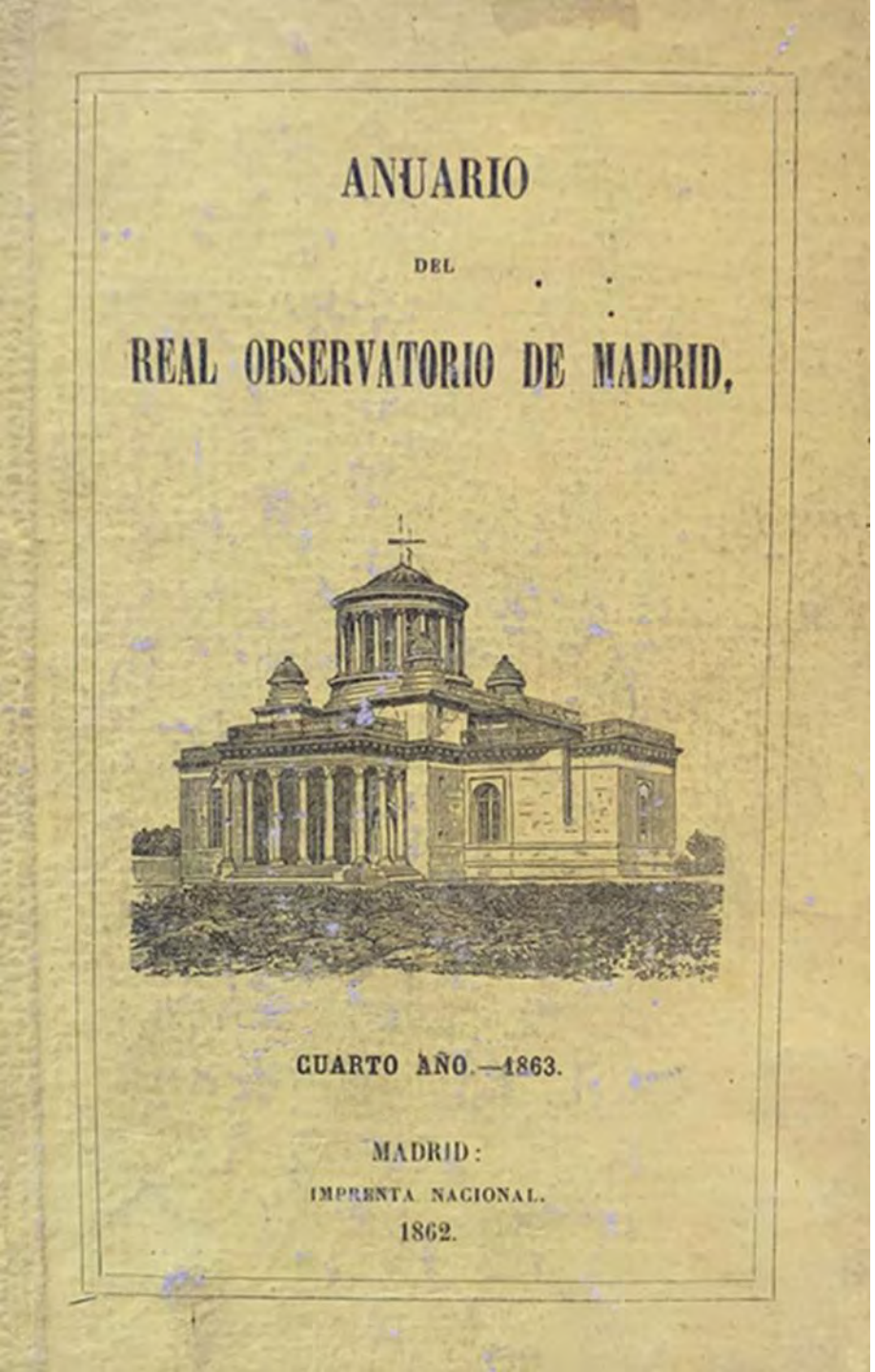
EN LA

FACULTAD DE CIENCIAS,

SECCION DE CIENCIAS EXACTAS.

POR EL LICENCIADO

D. MIGUEL MERINO MELCHOR.


ANUARIO

DEL

REAL OBSERVATORIO DE MADRID,

CUARTO AÑO.—1863.

MADRID:

IMPRENTA NACIONAL.

1862.

Observatorio Astronómico de Madrid: 1862 (Primera parte) y 1863 (Segunda parte). Curiosamente, esa segunda parte fue traducida al inglés, en el mismo año 1863, por C. A. Alexander, con el título *Figure of the Earth* y publicada en: *Annual report of the Board of Regents of the Smithsonian Institution, showing the operations, expenditures, and condition of the Institution for the year 1863*. Al publicar Merino la segunda parte de su trabajo en el Anuario del año 1863, hizo saber que en la primera solo pretendió llamar la atención del lector sobre tan interesante cuestión, pero sin insistir demasiado en los medios y cálculos efectuados a lo largo del tiempo. Consiguientemente, creyó oportuno complementarlo para que los posibles lectores, que ya conocían la primera, pudiesen profundizar y progresar en el estudio de tres cuestiones principales: a) De como el entendimiento humano pudo llegar a ser consciente de la esfericidad y rotación de la Tierra; b) De como esas ideas fueron confirmadas y al mismo tiempo modificadas en ciertos detalles, gracias a las mediciones del globo terráqueo; c) Resumen del estado actual del conocimiento, acompañado de algunas tablas numéricas.

Seguidamente se reproducirán las dos tablas del tercer apartado, aunque la segunda de ellas sea solo de manera parcial. Para facilitar la lectura de la primera, ténganse en cuenta los significados de las letras que contiene:

38TH CONGRESS, 1st Session. } HOUSE OF REPRESENTATIVES. { MIS. DOC. No. 83.

ANNUAL REPORT

OF

THE BOARD OF REGENTS

OF THE

SMITHSONIAN INSTITUTION,

SHOWING THE

OPERATIONS, EXPENDITURES, AND CONDITION OF THE INSTITUTION FOR THE YEAR 1863.

WASHINGTON:
GOVERNMENT PRINTING OFFICE.
1864.

La FIGURA DE LA TIERRRA
por MIGUEL MERINO MELCHOR

FIGURE OF THE EARTH.

BY SR. MIGUEL MERINO.

Anuario del Real Observatorio de Madrid; cuarto año; 1863.

TRANSLATED FOR THE SMITHSONIAN INSTITUTION BY C. A. ALEXANDER.

In an article inserted in our Annual for 1862, under the same title with the present, we proposed, as our nearly exclusive object, to present, in an elementary manner, the result of the investigations heretofore made to determine the form and volume of the earth, apart from historical notices, numerical details, and, in a word, whatever might embarrass the course of the reasoning, or distract the attention of our readers. Thus conceived and compiled, that first article was for the most part dry, as regards results, and incomplete under various aspects. Dry, inasmuch as the mind takes less pleasure in the final solution of a problem than in the survey of the means and computations employed to overcome, one after another, the difficulties which beset it; and incomplete, because without numbers there is in the physical sciences no precise solution, such as shall leave the mind tranquil and satisfied. To supply our intentional omission is the design of the present pages, in which, assuming the substance of our former article to be known, we shall consider, successively, and under the new point of view just indicated, the three following points:

First. In what manner the human understanding, acted upon by the immediate testimony of the senses, acquired, after a long uncertainty, a clear idea of the roundness and rotation of the earth.

Second. By what means that first idea, founded on a somewhat superficial examination, became confirmed, and, at the same time, modified in some of the details by the actual and direct measurement of our globe.

Third. The present state of the question, briefly summed up in certain numerical tables.

I.

In considering the progress of astronomy we must distinguish two epochs of quite different character—one very remote, and only known to us by vague and confused tradition, which has often undergone a strained interpretation; the other nearer to our own times, whose history has been consigned to unequivocal and imperishable monuments. In the opinion of certain authors possessed of erudition and talent, and doubtless sincere in their belief, but led astray possibly by the excess of their imagination, the ancient people of central Asia, the Chinese, Indians, Assyrians, and Chaldeans, as well as the Egyptians, enjoyed a civilization superior to the modern, cultivated the sciences, and possessed, particularly, a knowledge of celestial phenomena, to which our present astronomers cannot yet pretend. In the possible case that this were so, although the mind instinctively revolts from believing it; that astronomy flourished at a period of which history preserves no distinct traces, and that all which we know to-

Elementos del elipsoide terrestre. FIGURA DE LA TIERRA. M. Merino Melchor

	(1799.)	Walbeck, (1819.)	Schmidt, (1829.)	Bessel, (1841.)	Airy, (1849.)	James, (1858.)
R	6375739	6376895	6376959	6377397	6377480	6378283
r	6356650	6355832	6355522	6356079	6356175	6356086
D	19089	21063	21437	21318	21305	21597
C	1334.00	1302.78	1297.48	1299.15	1299.33	1294.26
e^2	0.005979	0.006595	0.006712	0.006674	0.006671	0.006785
Q	10014988	10016803	10016904	10017592	10017722	10018933
q	10000000	10000268	10000074	10000856	10000996	10001966
D	111277.6	111297.8	111298.9	111306.6	111308.0	111322.0
d	111111.1	111114.1	111111.9	111120.6	111122.2	111133.0

R y r, son el los radios ecuatorial y polar; D, la diferencia entre ambos; C, la compresión polar del globo terráqueo, o la diferencia de radios referidos al mayor; e^2 , cuadrado de la excentricidad de cualquier elipse meridiana, es decir el cociente entre la diferencia de los cuadrados de los dos radios principales y el cuadrado del radio ecuatorial; Q y q, los valores del cuadrante ecuatorial y el cuadrante meridiano; D y d, los valores del desarrollo de un grado del ecuador y de un grado medio de meridiano, expresados en metros.

Para interpretar la segunda tabla, ha de tenerse en cuenta la identificación siguiente: La letra ϕ simboliza a la latitud, o distancia del ecuador al lugar ocupado por el punto al que se refieren los datos de la derecha; M expresa el desarrollo del arco de meridiano comprendido entre la primera latitud y la marcada en el margen; P, es el desarrollo de un grado de paralelo; R, es el radio de terrestre, o distancia de la superficie al centro de la Tierra, el cual varía con la latitud del lugar; A, es el área en kilómetros cuadrados, de la superficie limitada entre dos meridianos separados un grado en el ecuador y dos paralelos, entre los que interviene un grado de meridiano dependiente de la latitud. Se constata de inmediato que el desarrollo del grado aumenta con la latitud. La superficie total del elipsoide resultaría igual a 509 950 715 km^2, teniendo un volumen de 1082 841 311 330 km^3.

Otras magnitudes geométricas del elipsoide terrestre

ϕ.	M.	P.	R.	A.
0	,,	111307	6377397	,,
1	110564	290	7391	12306
2	565	239	7372	302
3	566	155	7340	295
4	568	037	7296	284
5	571	110886	7239	269
6	574	701	7168	251
7	578	482	7085	229
8	583	230	6990	204
9	588	109945	6882	175
10	594	627	6761	142
36	938	0153	0073	064
37	956	89001	6369718	9939
38	975	7822	9360	811
39	994	6616	8998	681
40	111013	5384	8633	548
41	032	4125	8266	411
42	051	2841	7897	271
43	071	1531	7526	129
44	090	0196	7154	8983
45	110	78837	6783	835
81	649	17469	6606	057
82	655	15542	6496	1842
83	661	13610	6399	1628
84	666	11673	6315	1412
85	670	9733	6244	1195
86	673	7790	6185	979
87	676	5845	6138	762
88	678	3898	6106	544
89	679	1950	6087	327
90	680	,,	6079	109

El reconocido prestigio de Miguel Merino dentro y fuera de España, hizo que el día 6 de diciembre de 1866 fuese elegido miembro de la Real Academia de ciencias Exactas, Físicas y Naturales; aunque no tomase posesión hasta el 22 de marzo de 1868, ocupando el puesto que había dejado vacante el Coronel de Artillería José Balanzat y Baranda. El discurso de ingreso versó sobre el *Cálculo de Probabilidades*, indicando que estaba «consagrado en esencia a definir y precisar las leyes de los sucesos humanos y de los actos tan variados y múltiples de la naturaleza física; a distinguir lo que llamamos contingente y eventual, de lo constante y necesario; a descubrir el orden y la regularidad, donde parece al pronto que el desorden y la confusión imperan en absoluto; á prever en conjunto, habido conocimiento de las causas, los sucesos que de ellas deben desprenderse…». Poco más adelante recordó merino la importancia que tuvo el estudio de la probabilidad para el progreso experimentado por la Astronomía y la Geodesia, dos disciplinas afines, en el siglo XIX. En su exposición no pudo faltar una referencia al principio de los mínimos cuadrados: « en cuya sencilla y bien concertada fábrica, no la vista, ni el oído, ni la mano, sino exclusivamente la inteligencia tuvo parte»; y a la controversia sobre su origen, entre Gauss y Legendre, que no restó mérito a ninguno de los dos. Incidiendo un poco

Emblema de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

más en ella, destacó el papel jugado por Laplace, con estas palabras: «Pero así como Gauss eclipsó, por completo casi en este punto, la gloria de Legendre, así Laplace, el inmortal autor de la *Théorie analytique des probabilités*, grandiosa síntesis y complemento necesario además ele cuantas obras análogas le habían precedido, aminoró también algún tanto la importancia y mérito de las investigaciones de aquel primer geómetra, contraponiéndolas otras, tan admirables por los antecedentes en que se apoyan, como por la sutileza de ingenio y profunda ciencia matemática que revelan». Merino concluyó su discurso con la esperanza de que, en un futuro, se consultara a la Academia para organizar el estudio de esa rama de las ciencias: « Y en aquel día, qué para honra y prosperidad de nuestra patria querida, deseo luzca muy pronto, ¡feliz yo, si, prescindiendo del desaliño de la frase y de la pobreza y vulgaridad de mis ideas, no dais por completo al olvido la recomendación que os dejo hecha del Cálculo de las Probabilidades!.

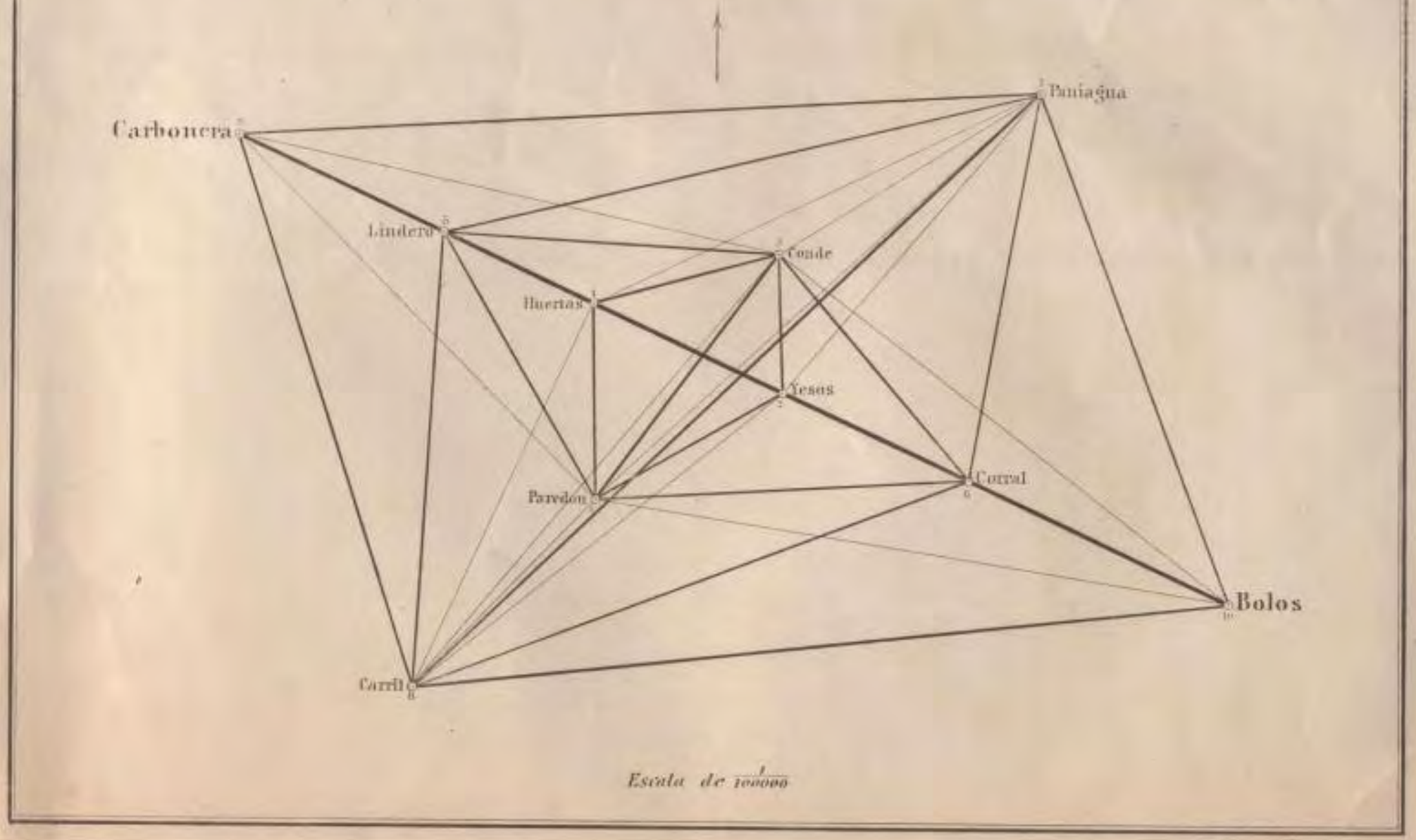
El discurso de bienvenida fue pronunciado por el ya citado A. Aguilar y Vela, Director entonces del Real Observatorio de Madrid y Secretario Perpetuo de la Academia; la elección fue sabia, ya que el título de su tesis doctoral fue *De la importancia del estudio del Cálculo de Probabilidades* (fue defendida en 1855 en la Facultad de Filosofía, Sección de Ciencias Físico-Matemáticas). El elogio que hizo de Merino merece ser reproducido: « A la edad de 20 años se dio ya a conocer como profesor de Matemáticas en uno de los Establecimientos públicos mejor reputados en nuestro país; el que en la Dirección general de Telégrafos del reino desempeñó difíciles comisiones científicas, con aplauso siempre de sus jefes; y el que en el Observatorio de Madrid consiguió desde el primer día granjearse el aprecio de sus superiores, y captarse

Antonio Aguilar y Vela, suegro de Miguel Merino Melchor.

(1820-1882)

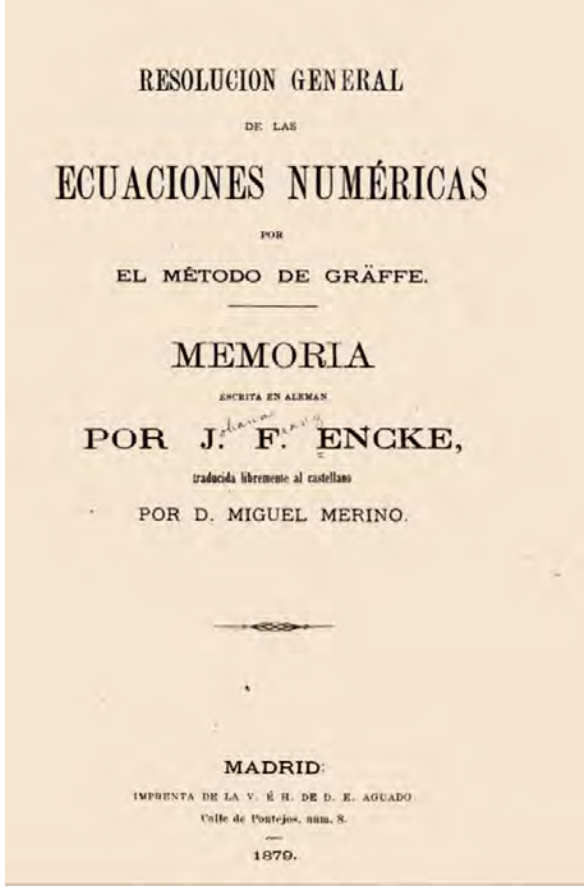
el respeto y el cariño de sus compañeros; el modesto astrónomo, en fin, qué con sus escritos, notables por la claridad y sencillez que en ellos resplandecen, ha dado a conocer su nombre dentro y fuera de España, mérito nada común debe poseer; y porque en efecto le posee, y no por otro motivo, la Academia le ha recibido en su seno, y premiado de la manera única que podía galardonarle por sus numerosos y útiles trabajos». Una de las referencias más interesantes de Aguilar fue la que hizo a propósito de la *Tabla de Mortalidad* elaborada por Merino en 1866, a semejanza de la que habían hecho astrónomos tan ilustres como E. Halley: «como astrónomo, pues, el Sr. Merino tenía antecedentes dignos que imitar; e imitándolos, y publicando en 1866 la primera tabla de mortalidad apropiada a nuestro país, y basada en los datos y materiales con gran diligencia acopiados por la Junta general de Estadística, realizó una obra, al mismo tiempo que honrosa, meritoria, y por muchos conceptos digna de encomio». También alabó a continuación la exposición que había hecho el nuevo académico del método de los mínimos cuadrados: «de mano maestra nos ha descrito el origen, historia y uso general del método de los *mínimos cuadrados*, corolario precioso del Cálculo de las Probabilidades, y compendio, restringiendo mucho el sentido de las palabras, de sus múltiples e importantísimas aplicaciones científicas». Aguilar se lamentó después de que dicho método no figurara «en ninguno de nuestros programas de enseñanza pública», aunque en la práctica se estudie y aplique cuando el trabajo así lo exige: «La prueba de esta aserción la hallareis principalmente en la obra titulada, *Base central de la triangulación geodésica de España*, que con honra del país y suya propia muy envidiable, han preparado y dado a la estampa en 1866 dos

BASE GEODÉSICA DE MADRIDEJOS.



Escala de $\frac{1}{100000}$

individuos dignísimos de esta misma Academia (se refería a Carlos Ibáñez e Ibáñez de Ibero y a Frutos Saavedra Meneses). Cuantos consideren el Cálculo de las Probabilidades como parto muy natural y sencillo del sentido común, pueden consultar aquel libro, y examinar detenida, o aunque sea someramente, los ingeniosos y sutiles medios de compensar los errores fortuitos de la observación…».


RESOLUCION GENERAL

DE LAS

ECUACIONES NUMÉRICAS

POR

EL MÉTODO DE GRÄFFE.

MEMORIA

ESCRITA EN ALEMAN

POR J. F. ENCKE,

traducida libremente al castellano

POR D. MIGUEL MERINO.

MADRID:

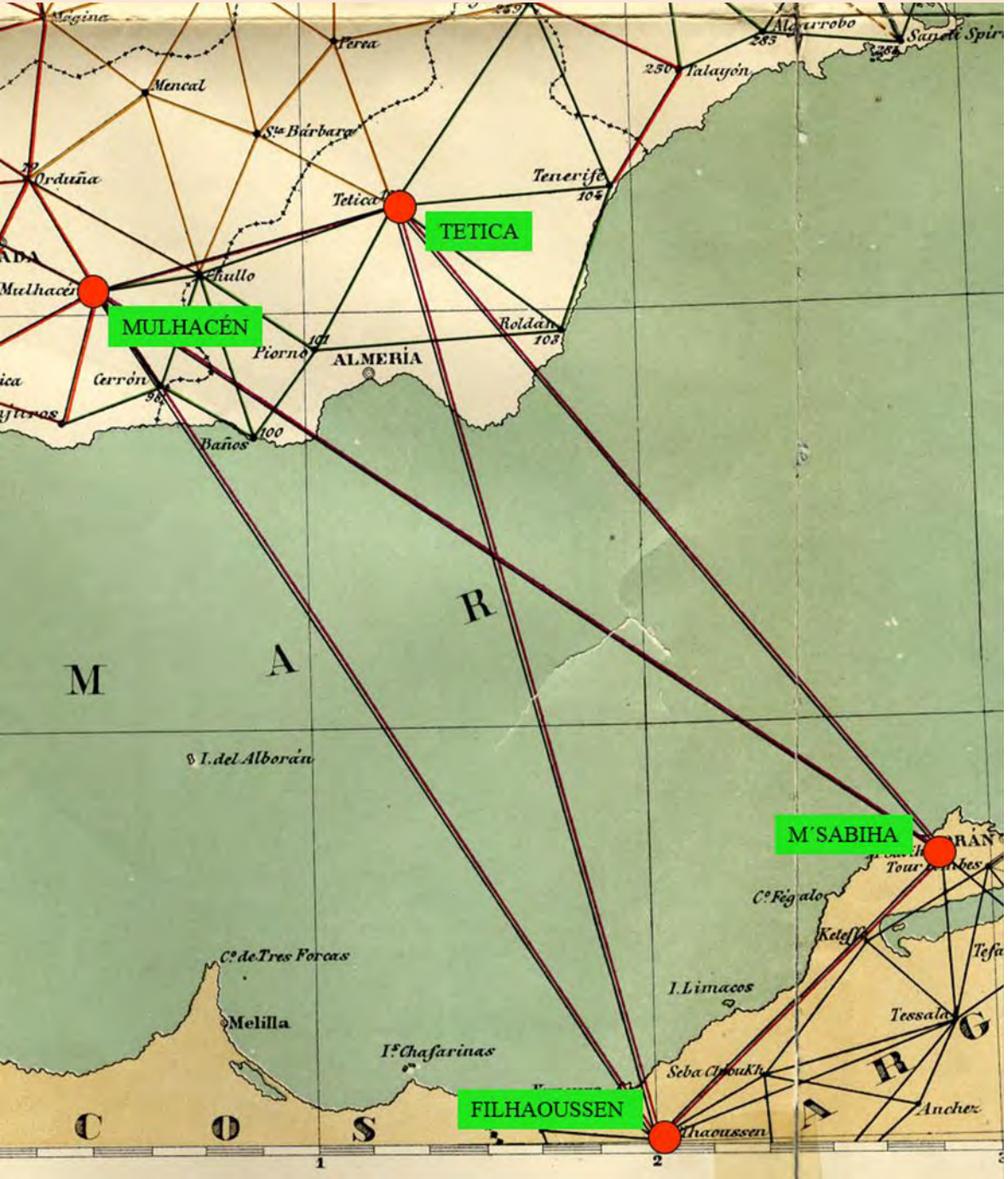
IMPRENTA DE LA V. É H. DE D. E. AGUADO

Calle de Postejos, núm. 8.

1879.

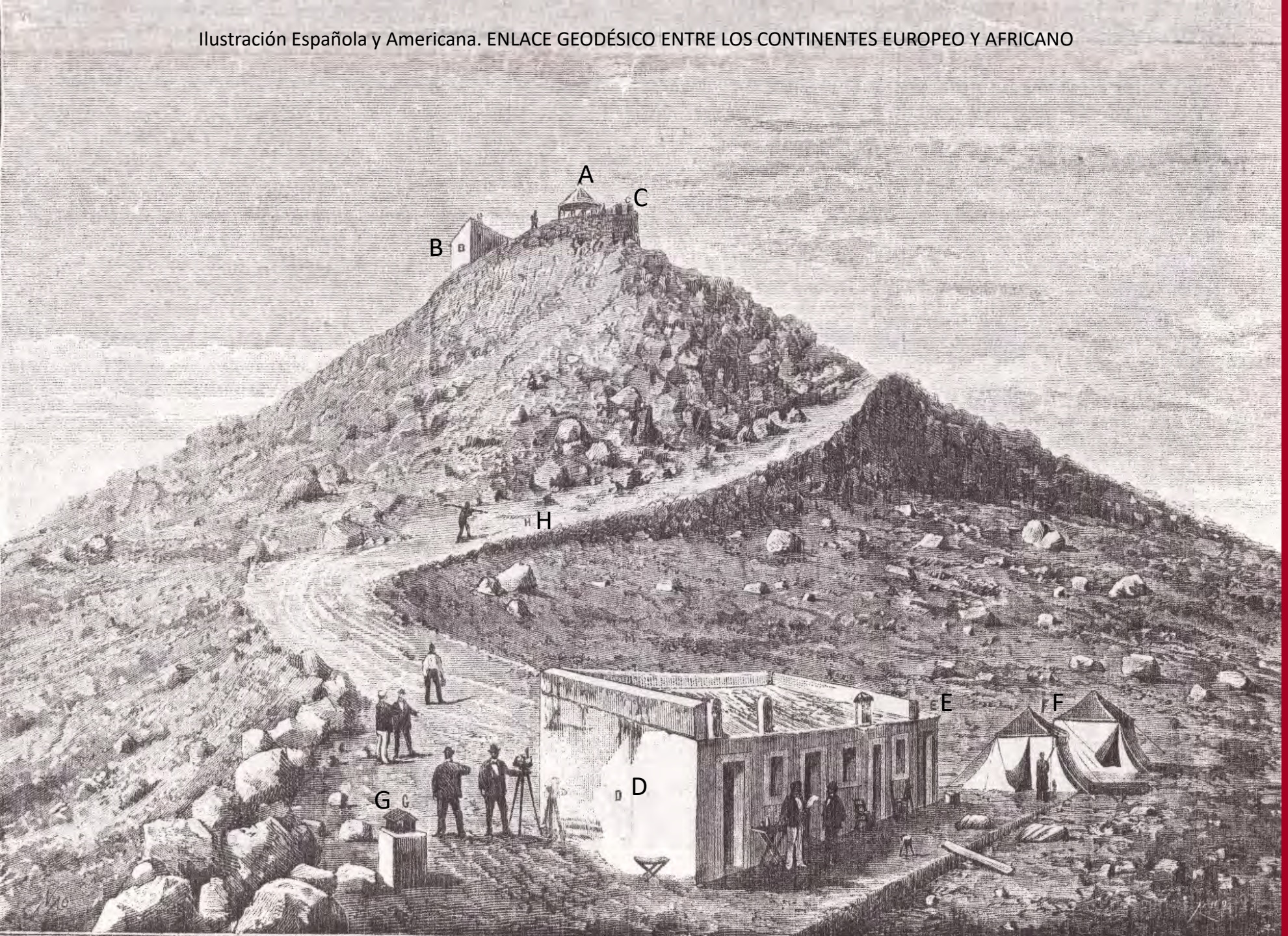
Merino compatibilizó los cometidos astronómicos, propios de su cargo en el Observatorio, con sus estudios matemáticos; uno de los mejores testimonios fue la traducción que hizo de la memoria: *Allgemeine Auflösung der numerischen Gleichungen* (Resolución general de las ecuaciones numéricas), presentada por el matemático y astrónomo alemán Johann Franz Encke en el *Berliner Astronomisches Jahrbuch,* un anuario para el año 1841. Merino comentaba en el prólogo que el autor había resuelto el problema «por un procedimiento sencillo, directo y eficaz, superior a cuantos le habían precedido», se trataba de lo siguiente: *dada una ecuación numérica, de cuyas raíces no se tiene por de pronto conocimiento alguno, ni relativo a su especie o naturaleza, ni menos todavía a su magnitud, encontrar los valores numéricos de estas raíces, exactos si es posible, o tan aproximados a la verdad cuanto se desee y necesite en cualquier caso*. Merino no se limitó a la traducción de la Memoria propiamente dicha, sino que amplió considerablemente su contenido, tal como comentaba al finalizar dicho prólogo: «Con esto ya sabe el lector lo que le ofrecemos: una disertación matemática de 120 o más páginas, traducida de otra de escasas 60. ¿Pecaremos de inmodestia o de exagerados calificando de libre la traducción? Falta que alguien, con fundado motivo, no pueda calificarla de licenciosa. Si bien lo que más nos dolería es que fuese estéril, y que en nada contribuyese a reanimar en nuestro país la afición al estudio de las matemáticas». La traducción fue publicada en Madrid en el año 1879.

TRIÁNGULOS DE LA RED GEODÉSICA Y DEL ENLACE INTERCONTINENTAL



Precisamente sería en ese año 1879 cuando M. Merino se convierte en uno de los protagonistas de un proyecto científico que marcaría un hito sobresaliente en la historia de las ciencias geográficas: El enlace astronómico y geodésico entre Europa y África; el cual sería liderado por el general español Carlos Ibáñez e Ibáñez de Ibero y por el Coronel francés Pierre Perrier. La unión quedó materializada por el cuadrilátero formado por los cuatro vértices siguientes: Mulhacén, Tetica, M´Sabiha y Filhaoussen; responsabilizándose Merino de las observaciones astronómicas realizadas en el vértice almeriense situado en la cumbre de la Tetica de Bacares. Ambos directores acordaron que los instrumentos serían idénticos (un círculo acimutal y otro de meridiano portátil construidos en los talleres de los hermanos Brunner, en París) y que las observaciones deberían ser simultáneas, usando heliotropos durante el día y por la noche la luz generada por potentes máquinas de vapor, empleando como aditamento los colimadores ópticos de Manguin. Asimismo, programaron un enlace astronómico para cerrar el polígono Madrid-París-Marsella-Argel, que se efectuaría sobre los vértices Tetica y M'Sabiha, una vez finalizado el geodésico; en ellos se calcularía no solamente la

Ilustración Española y Americana. ENLACE GEODÉSICO ENTRE LOS CONTINENTES EUROPEO Y AFRICANO

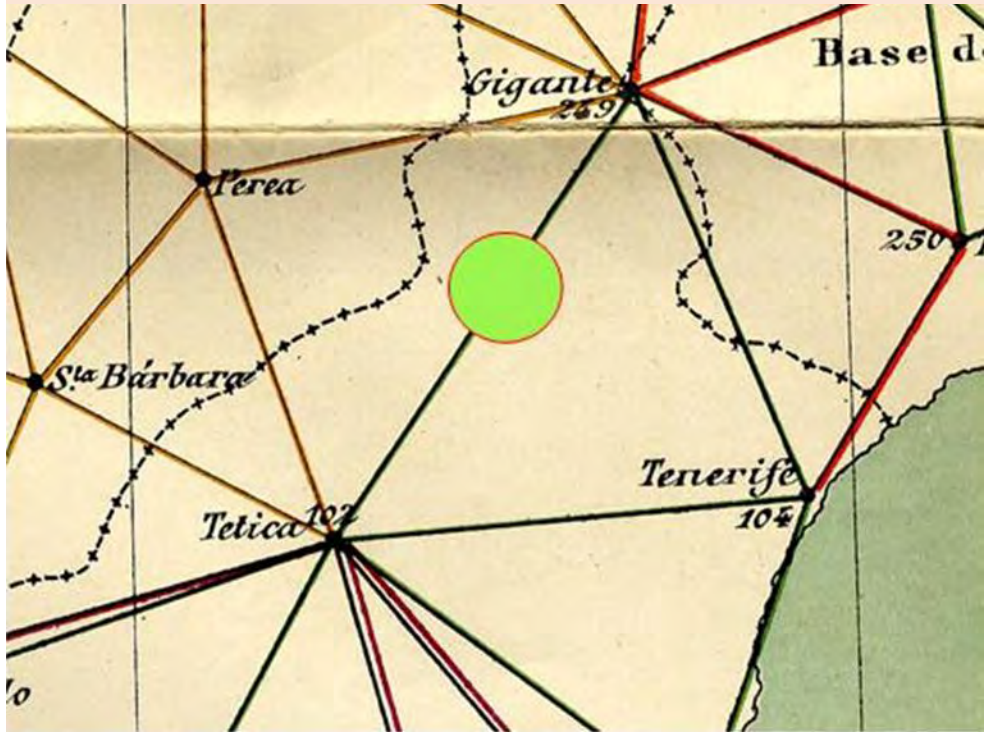


VÉRTICE CONSTRUIDO
EN LA TETÍCA DE BACARES

A. Tienda de observación. B. Cobertizo para la máquina y habitación para los maquinistas. C. Reflectores para dirigir la luz eléctrica. D. Habitaciones para los astrónomos, geodestas y auxiliares.
E. depósito de material. F. Tiendas para el destacamento de tropas. G. Estación meteorológica. H. Camino practicado para subir al vértice

diferencia de longitudes sino también la latitud y el acimut de una dirección; siendo Merino el responsable de esas últimas observaciones en el vértice almeriense, sito en la cumbre de la Tetíca de Bacares, y Perrier de las efectuadas en M´Sabiha, en las proximidades de Orán. Análogo éxito que el enlace geodésico tuvo el astronómico, siendo la primera vez que se hacía en Europa una determinación directa de la diferencia de longitudes en tales circunstancias. Esta se calculó apoyándose en el intercambio regulado de señales luminosas entre los vértices M'Sabiha y Tetíca, usando las fórmulas de Mayer y Bessel para la reducción de las observaciones efectuadas a estrellas circumpolares. Para determinar la latitud se observaron estrellas que culminaban a menos de 30º del cenit. Finalmente, el acimut del lado Tetíca-Gigante (otro vértice geodésico de primer orden) se calculó directamente por medio de las observaciones estelares citadas. La operación se dio por concluida el día 16 de noviembre de 1879.

En el vértice Tetíca se obtuvo el acimut astronómico del lado que lo unía a Gigante, marcado con un círculo verde.



Círculo meridiano portátil de Brunner

Una de las mediciones que entrañó mayor dificultad fue la determinación de la ecuación personal de los dos operadores implicados (Merino y Perrier) evaluada antes y después de que se calculase la diferencia de longitudes, una relativa a las culminaciones estelares y otra a la observación de la ocultación de las señales

luminosas transmitidas. Las primeras determinaciones se realizaron en París, concretamente en el *Bureau des Longitudes*, que tenía el Depósito de la Guerra en Montsouris, entre los días 17 de junio y 2 de agosto de 1879. En segundo lugar, se procedió de forma análoga en el Observatorio Astronómico de Madrid, entre los días 27 de mayo y el 3 de junio de 1880. Los resultados obtenidos se resumen en la tabla adjunta:

Lugar	Noches	Estrellas	$E_P - E_M$
París	6	229	$0^s.109 \pm 0^s.005$
Madrid	5	191	$0^s.117 \pm 0^s.005$

Dada la diferencia tan pequeña entre las dos ecuaciones, se supuso que ambas permanecían constantes en el transcurso de todas las observaciones y se adoptó como valor definitivo la media aritmética de los dos anteriores, es decir $E_P - E_M = 0^s.113 \pm 0^s.005$. Para la ecuación personal relativa a los eclipses de las señales luminosas se procedió de igual forma, primero en París (del 14 al 26 de julio de 1879) y luego en Madrid (del 3 al 7 de junio de 1880), logrando los siguientes resultados:

Lugar	Noches	Señales	$E^P - E^M$
París	7	5000	$0^s.127 \pm 0^s.002$
Madrid	4	4000	$0^s.150 \pm 0^s.005$

Al igual que en el caso anterior, el valor adoptado finalmente fue la media aritmética de los dos anteriores, es decir $E_P - E_M = 0^s.138 \pm 0^s.003$. En el capítulo siguiente figuran los primeros resultados astronómicos, propiamente dichos, gracias al intercambio de múltiples series de señales luminosas, realizadas en diversas noches de octubre (días 20, 23 y 30) y de noviembre (días 7, 9, 10 y 11). Tras efectuar las oportunas correcciones, el valor adoptado finalmente para la diferencia de longitudes geográficas dado por Merino y Perrier fue $\Delta\lambda = 6^m\ 14^s.979 \pm 0^s.013$.

Objet de la demande :

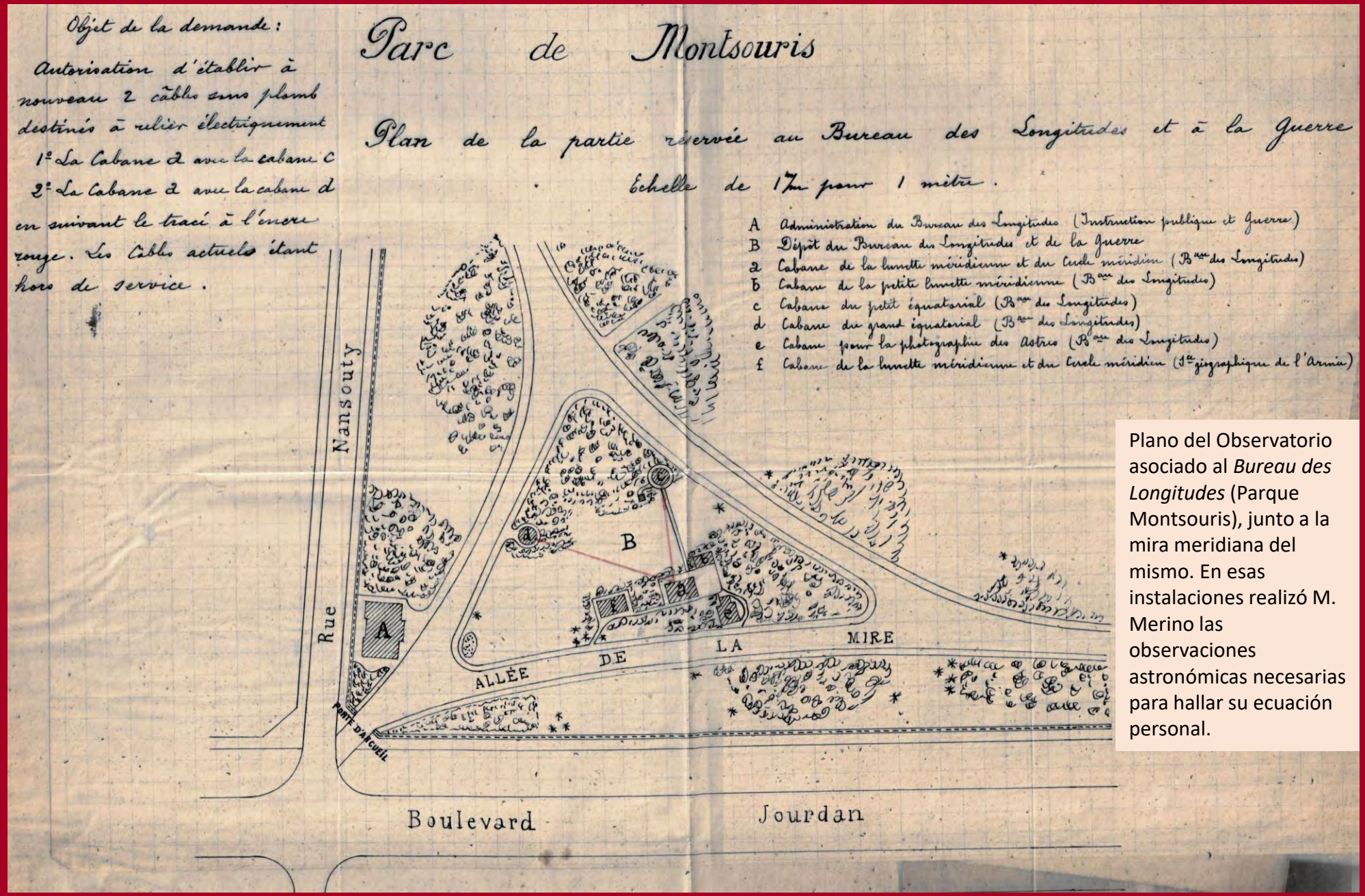
Autorisation d'établir à nouveau 2 câbles sans plomb destinés à relier électriquement
1° La Cabane d avec la cabane c
2° La Cabane d avec la cabane d
en suivant le tracé à l'encre rouge. Les câbles actuels étant hors de service.

Parc de Montsouris

Plan de la partie réservée au Bureau des Longitudes et à la Guerre

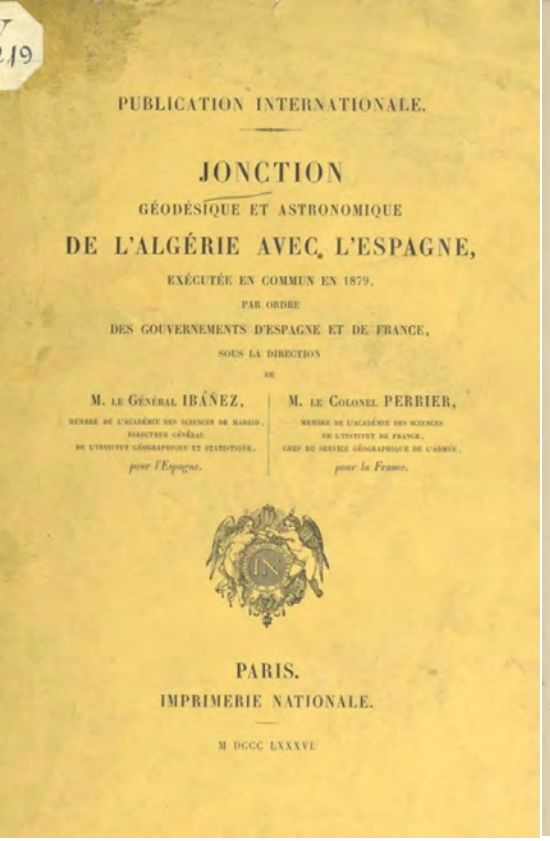
Echelle de 1/1m pour 1 mètre.

A Administration du Bureau des Longitudes (Instruction publique et Guerre)
B Dépôt du Bureau des Longitudes et de la Guerre
a Cabane de la lunette méridienne et du cercle méridien (B^au des Longitudes)
b Cabane de la petite lunette méridienne (B^au des Longitudes)
c Cabane du petit équatorial (B^au des Longitudes)
d Cabane du grand équatorial (B^au des Longitudes)
e Cabane pour la photographie des Astres (B^au des Longitudes)
f Cabane de la lunette méridienne et du cercle méridien (1^re Géographique de l'Armée)



Plano del Observatorio asociado al *Bureau des Longitudes* (Parque Montsouris), junto a la mira meridiana del mismo. En esas instalaciones realizó M. Merino las observaciones astronómicas necesarias para hallar su ecuación personal.

Mira meridiana


PUBLICATION INTERNATIONALE.

JONCTION

GÉODÉSIQUE ET ASTRONOMIQUE

DE L'ALGÉRIE AVEC L'ESPAGNE,

EXÉCUTÉE EN COMMUN EN 1879,

PAR ORDRE

DES GOUVERNEMENTS D'ESPAGNE ET DE FRANCE,

SOUS LA DIRECTION

DE

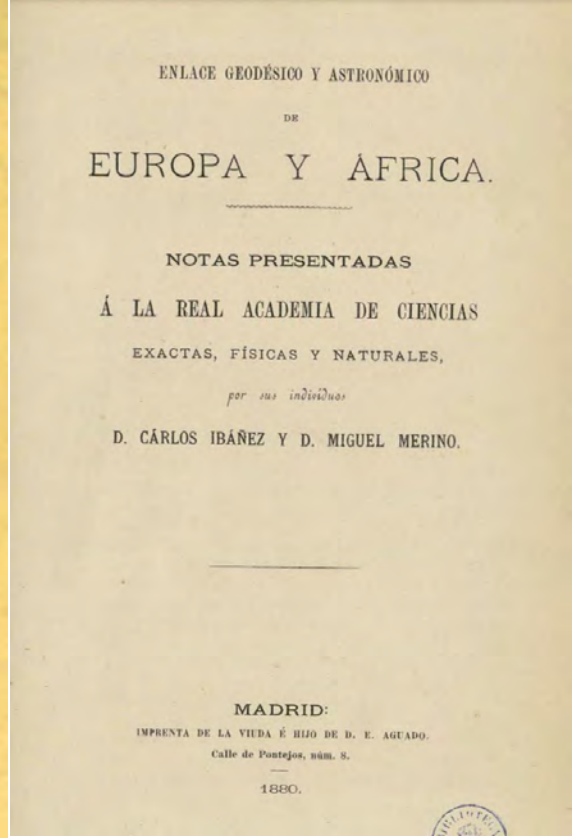
M. LE GÉNÉRAL IBÁÑEZ, pour l'Espagne.

M. LE COLONEL PERRIER, pour la France.

PARIS.

IMPRIMERIE NATIONALE.

M DCCC LXXXVI


ENLACE GEODÉSICO Y ASTRONÓMICO

DE

EUROPA Y ÁFRICA.

NOTAS PRESENTADAS

Á LA REAL ACADEMIA DE CIENCIAS

EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES,

por sus individuos

D. CÁRLOS IBÁÑEZ Y D. MIGUEL MERINO.

MADRID:

IMPRENTA DE LA VIUDA É HIJO DE D. E. AGUADO.

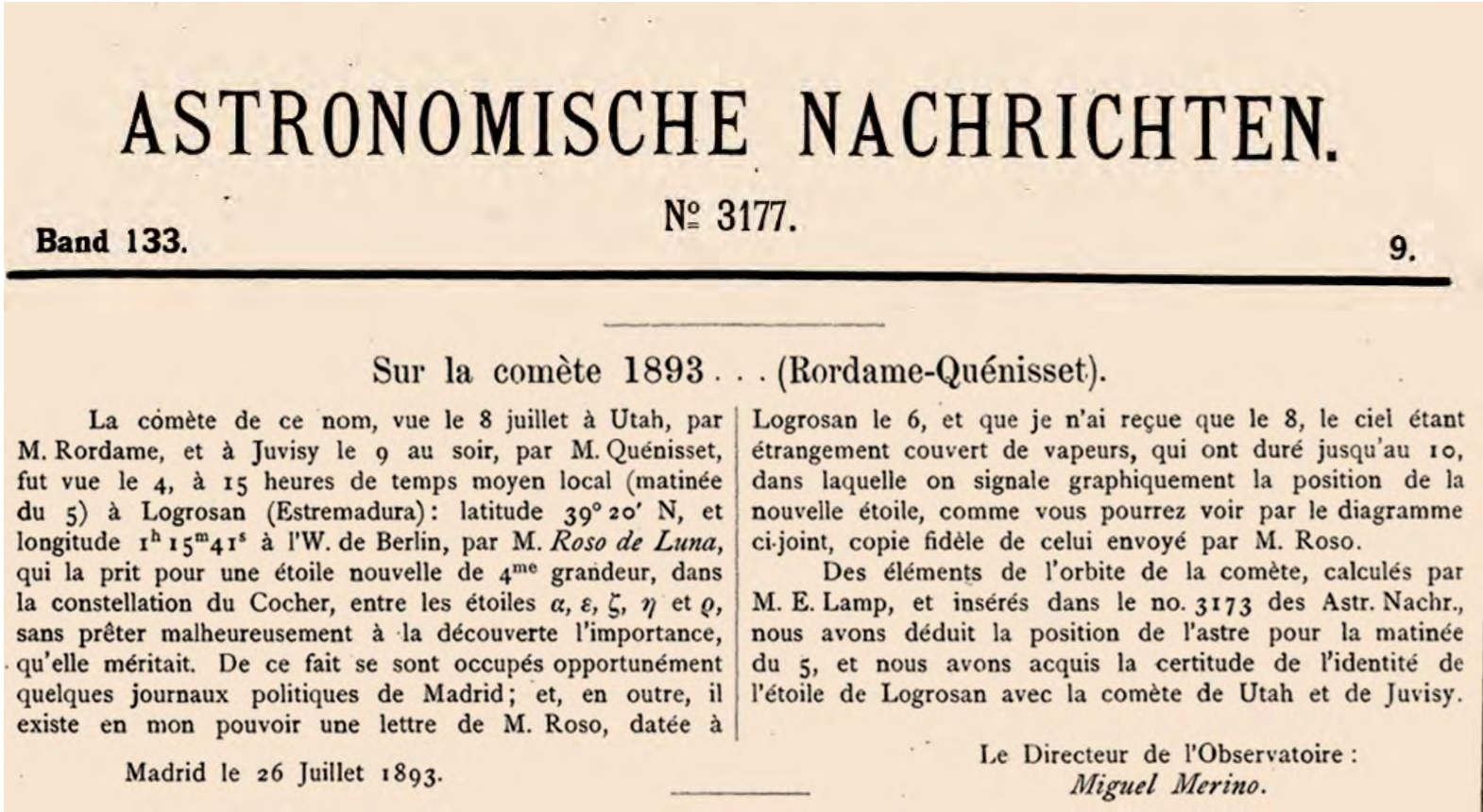
Calle de Pontejos, núm. 8.

1880.

Todos los detalles de tan relevante empresa se presentaron formalmente en la publicación internacional Enlace geodésico y astronómico de la (sic) Argelia con España, realizado en 1879, por Orden de los Gobiernos de España y de Francia, bajo la dirección de los señores: General Ibáñez, por parte de España, y Coronel Perrier, por parte de Francia. 1886. No obstante, C. Ibáñez y M. Merino decidieron adelantar los resultados a la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, mediante sendos discursos leídos en su sede el 15 de febrero de 1880 y luego publicados en el folleto: *Enlace Geodésico y Astronómico de Europa y África. Notas presentadas a la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales por sus individuos D. Carlos Ibáñez y D. Miguel Merino.* Las primeras palabras pronunciadas por Merino en su discurso fueron de agradecimiento a C. Ibáñez de Ibero: «alma y vida de los trabajos emprendidos y efectuados en la posterior campaña y responsable principal, exclusivo casi, ante la nación española y el mundo científico, del éxito problemático de tan costosa y arriesgada aventura…Porque suponer, como él ha supuesto, que a mí me corresponde la honra de la jornada, cuando el la preparó…mientras yo sin fe ni esperanza, me constituí en mero ejecutor de sus planes y proyectos, paréceme lo mismo que atribuir en un combate militar el mérito de la victoria a los soldados, prescindiendo del jefe que los manda y guía». La proverbial modestia de Merino y su innegable rigor en sus observaciones, fue premiada por el gobierno de Francia al concederle la Legión de Honor. Años después, en 1887, sería nombrado Director del Observatorio Astronómico y Meteorológico de Madrid, y Secretario de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, a la que representó en el Senado durante las

dos legislaturas siguientes: (1901- 1902) y (1903-1904). Como académico contestó a varios discursos de recepción, como el pronunciado en 1890, por el ingeniero de Montes Francisco de Paula Arrillaga y de Garro, primer sucesor de C. Ibáñez de Ibero como Director General del Instituto Geográfico y Estadístico, cuyo título fue *Fundamentos Matemáticos de la Novísima Metrología de Precisión.*

Como astrónomo publicó Merino varios artículos en el Anuario del Observatorio, entre los que pueden subrayarse los siguientes: *Sobre las estrellas fugaces* (1869 y 1870); *Los instrumentos astronómicos* (1871 y 1872) y *Breve Noticia de los viajes marítimos y de los consiguientes descubrimientos geográficos más importantes, o de mayor celebridad* (1876). Igual de destacables son los trabajos publicados en la prestigiosa revista alemana *Astronomische Nachtrichten*, de los que solo se comentará, como colofón de este resumen de su obra, la noticia que envió a esa revista en el mes de julio de 1893, la cual fue publicada en el ejemplar 3177. El interés de la misma radica en que se reivindicó el descubrimiento de un cometa para Mario Roso de Luna, un físico nacido en el pueblo cacereño de Logrosán. El propio observador dio cuenta formalmente de su hallazgo el día 6 de julio, remitiendo una carta al director del



ASTRONOMISCHE NACHRICHTEN.

Band 133. № 3177. 9.

Sur la comète 1893 . . . (Rordame-Quénisset).

La comète de ce nom, vue le 8 juillet à Utah, par M. Rordame, et à Juvisy le 9 au soir, par M. Quénisset, fut vue le 4, à 15 heures de temps moyen local (matinée du 5) à Logrosan (Estremadura): latitude 39° 20′ N, et longitude $1^h\,15^m41^s$ à l'W. de Berlin, par M. *Roso de Luna*, qui la prit pour une étoile nouvelle de 4me grandeur, dans la constellation du Cocher, entre les étoiles α, ε, ζ, η et ϱ, sans prêter malheureusement à la découverte l'importance, qu'elle méritait. De ce fait se sont occupés opportunément quelques journaux politiques de Madrid; et, en outre, il existe en mon pouvoir une lettre de M. Roso, datée à Logrosan le 6, et que je n'ai reçue que le 8, le ciel étant étrangement couvert de vapeurs, qui ont duré jusqu'au 10, dans laquelle on signale graphiquement la position de la nouvelle étoile, comme vous pourrez voir par le diagramme ci-joint, copie fidèle de celui envoyé par M. Roso.

Des éléments de l'orbite de la comète, calculés par M. E. Lamp, et insérés dans le no. 3173 des Astr. Nachr., nous avons déduit la position de l'astre pour la matinée du 5, et nous avons acquis la certitude de l'identité de l'étoile de Logrosan avec la comète de Utah et de Juvisy.

Madrid le 26 Juillet 1893.

Le Directeur de l'Observatoire :
Miguel Merino.

Mario Roso de Luna

Observatorio Astronómico de Madrid; indicando en ella que en el amanecer del día 5 había aparecido en el cielo una nueva estrella en la constelación de la Auriga, fijando incluso sus coordenadas ecuatoriales aproximadas: ascensión recta de $14^h\ 22^m$ y declinación boreal de 41^o. Una vez recibida la carta y efectuadas las comprobaciones correspondientes, Merino envió a la repetida revista una breve reseña escrita en francés, en la que se apuntaba que el cometa divisado en Utah y en Juvisy, coincidía con la supuesta nueva estrella que había sido observada antes desde Extremadura; de acuerdo con los cálculos que se acababan de realizar en Madrid. He aquí la traducción de la nota remitida por Miguel Merino Melchor:

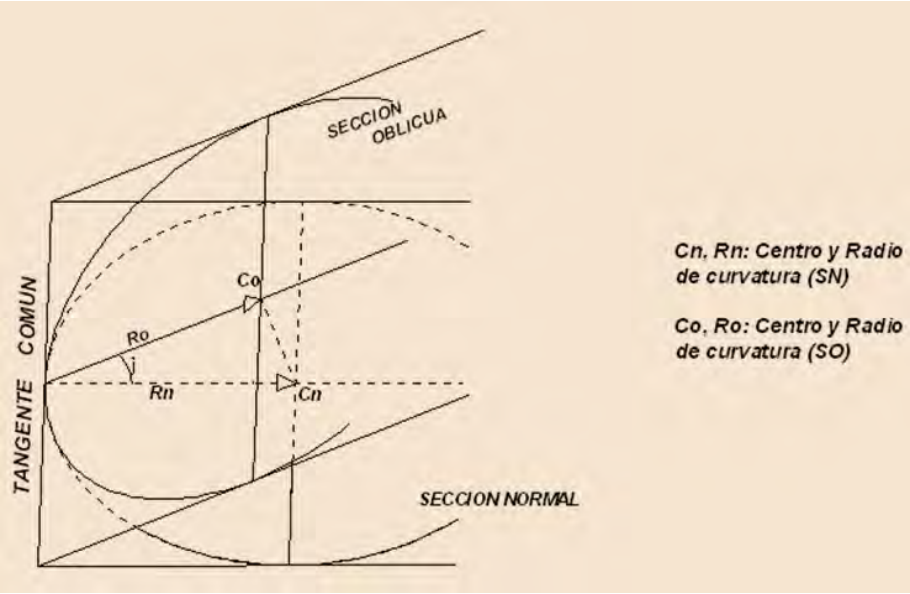
Sobre el cometa 1893… (Rordame-Quénisset)

El cometa de ese nombre, visto el 8 de julio en Utah, por M. Rordame, y en Juvisy en la tarde del 9, por M. Quénisset, fue visto el 4, a las 15 horas de tiempo medio local (mañana del 5) en Logrosan (Extremadura): latitud $39^o\ 20'$N, y longitud $1^h\ 15^m\ 41^s$ al W, de Berlín, por M. Roso de Luna, quien la tomó por una nueva estrella de 4ª magnitud, en la constelación del cochero, entre las estrellas α, ε, ζ, η y ρ, sin prestarle desgraciadamente al descubrimiento la importancia que merecía. De ese hecho se han ocupado oportunamente algunos diarios políticos de Madrid; y , por otro lado, existe en mi poder una carta de M. Roso, fechada en Logrosán el 6, y que no he recibido hasta el 8, estando el cielo extrañamente cubierto de nieblas, que han durado hasta el 10, en la cual se señala gráficamente la posición de la nueva estrella, como puede verse en el diagrama adjunto, copia fiel del enviado por M. Roso. A partir de los elementos orbitales del cometa, calculados por M. E. Lamp, insertados en el nº 3173 de las *Astr. Nachr*., hemos deducido la posición del astro para la mañana del 5, y hemos adquirido la certeza de la identidad de la estrella de Logrosan con el cometa de Utha y de Juvisy. El Director del Observatorio: ***Miguel Merino***. Madrid a 26 de julio de 1893.

Jean Baptiste Marie Charles Meusnier (1754-1793)

General y matemático, firme defensor del sistema de las curvas de nivel para modelizar el relieve. Tras estudiar con los jesuitas en Tours, su ciudad natal, fue enviado a París para que fuese preparando su ingreso en la Escuela de Ingenieros militares, manifestando de inmediato su interés por las ciencias exactas. No obstante, en la convocatoria de 1772, Meusnier fue suspendido para sorpresa de sus compañeros. El examinador, miembro de la Academia de Ciencias, no pudo, o no supo, apreciar su capacidad; uno de sus biógrafos contaba que al preguntarle el profesor ¿Qué sabe usted?, este le respondió : Pregúnteme sobre lo que usted sabe. En todo caso, al año siguiente se enmendó la plana, ya que el 1 de enero de 1774 fue admitido en la Escuela, consiguiendo su diploma de ingeniero militar el 25 de diciembre de 1775. En dicha escuela tuvo como profesor de Matemáticas y Física al célebre Garpard Monge, entablándose entre ambos una relación de admiración y respeto, luego compatible con la mutua amistad. Al licenciarse en enero de 1776 fue trasladado a las Ardenas, como ingeniero ordinario del Rey, siendo por aquel entonces cuando leyó en la Academia una Memoria con una nueva teoría sobre la curvatura de las superficies; en la que expuso su conocido

teorema sobre la curvatura de las secciones oblicuas, actualmente llamado teorema de Meusnier. La impresión que debió causar entre los académicos fue tan favorable, que en el mes de junio de 1776 recibió el nombramiento de miembro correspondiente; asignándole como tutor a Alexandre Theophile Vandermonde. El teorema en cuestión dice: *Si consideramos dos secciones planas de una superficie que pasan por el mismo punto, siendo una de las secciones oblicua y la otra normal, y teniendo las dos curvas de sección la misma tangente, el radio de curvatura de la sección oblicua es la proyección sobre su plano del radio de curvatura de la sección normal*.



Aplicando el Teorema de Meusnier se puede calcular el radio del paralelo de un elipsoide en función del radio de curvatura del primer vertical. Si el elipsoide dado viene dado por el par (a, e^2), el radio del paralelo sería por tanto $a(1- e^2\text{sen}^2\varphi)^{-1/2} \cos \varphi$. El desarrollo de un arco de paralelo limitado por dos meridianos, con una diferencia de longitudes de $\Delta\lambda$, es por tanto el producto $\Delta\lambda\ a(1- e^2\text{sen}^2\varphi)^{-1/2} \cos \varphi$. La latitud del paralelo en cuestión es φ, siendo e^2 la primera excentricidad.

El 20 de enero de 1777 ascendió Meusnier a Teniente 1º y fue destinado a Verdum, en donde debería ampliar sus conocimientos de minería. Fue allí en donde redactó la Memoria sobre el desenfilamiento, inspirada en la geometría descriptiva de su maestro Monge, en la que propuso la utilización de las curvas de nivel como método ideal para representar el relieve terrestre: «d'exprimer la figure du terrain en joignant tous les points de même côté par des courbes»; pensando que de esa forma se facilitaría el problema de trazar por una recta dada un plano tangente al terreno. Como oficial de ingenieros participó Meusnier en los trabajos de acondicionamiento que se

habían iniciado en la rada de Cherburgo, asumiendo de inmediato la dirección de todos ellos. Meusnier fue aportando soluciones originales para solventar las dificultades que iban surgiendo, ese fue el caso del aprovisionamiento de agua dulce a la isla Pélée, encargada de la defensa de la rada e inaccesible en invierno. La propuesta adoptada fue la destilación del agua del mar, mediante una máquina que funcionaba gracias al movimiento de la marea; la cual decidió presentarla a la Academia en el mes de marzo de 1783. En ese mismo año colaboró con A. Lavoisier en las investigaciones tendentes a mejorar el proceso de elaboración del hidrógeno, construyendo para ello un gasómetro que permitía medir exactamente el peso del fluido elástico consumido, a pesar de las variaciones volumétricas debidas a los cambios de la temperatura o presión atmosférica.

También fue el día 3 de diciembre de 1783 cuando Meusnier presentó a la Academia su memoria sobre el equilibrio de las máquinas aerostáticas, fundamento de su proyecto de dirigible. Dos días antes ascendió desde las Tullerias el primer globo de hidrógeno pilotado por los hermanos Charles y Robert. Meusnier, que asistió al acto, concibió al año siguiente un globo elipsoídico con un diámetro máximo próximo a los 80 m y una capacidad de 1700 m^3, provisto de una cesta (góndola)

Gasómetro de Lavoisier y Meusnier

MÉMOIRE (*)

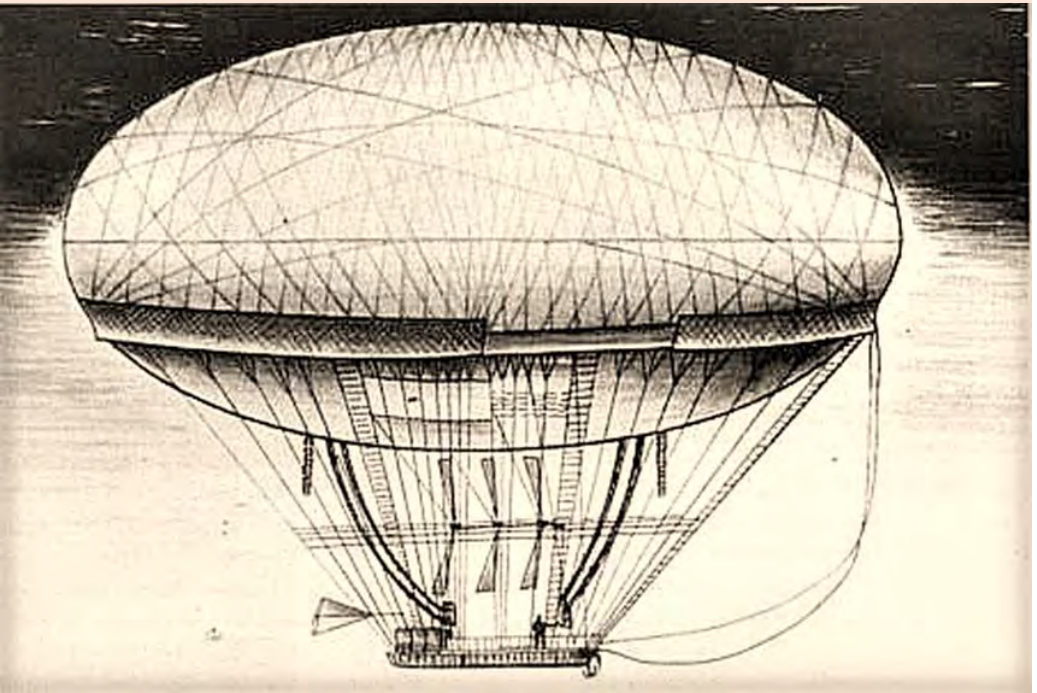
Sur l'équilibre des Machines aérostatiques, sur les différens moyens de les faire monter & descendre, & spécialement sur celui d'exécuter ces manœuvres, sans jeter de lest, & sans perdre d'air inflammable, en ménageant dans le ballon une capacité particulière, destinée à renfermer de l'air atmosphérique.

Présenté à l'Académie, le 3 Décembre 1783 (1).

Avec une addition contenant une application de cette théorie au cas particulier du Ballon que MM. Robert construisent à Saint-Cloud, & dans lequel ce moyen doit être employé pour la première fois.

Par M. MEUSNIER, *Lieutenant en premier au Corps Royal du Génie, & de l'Académie Royale des Sciences.*

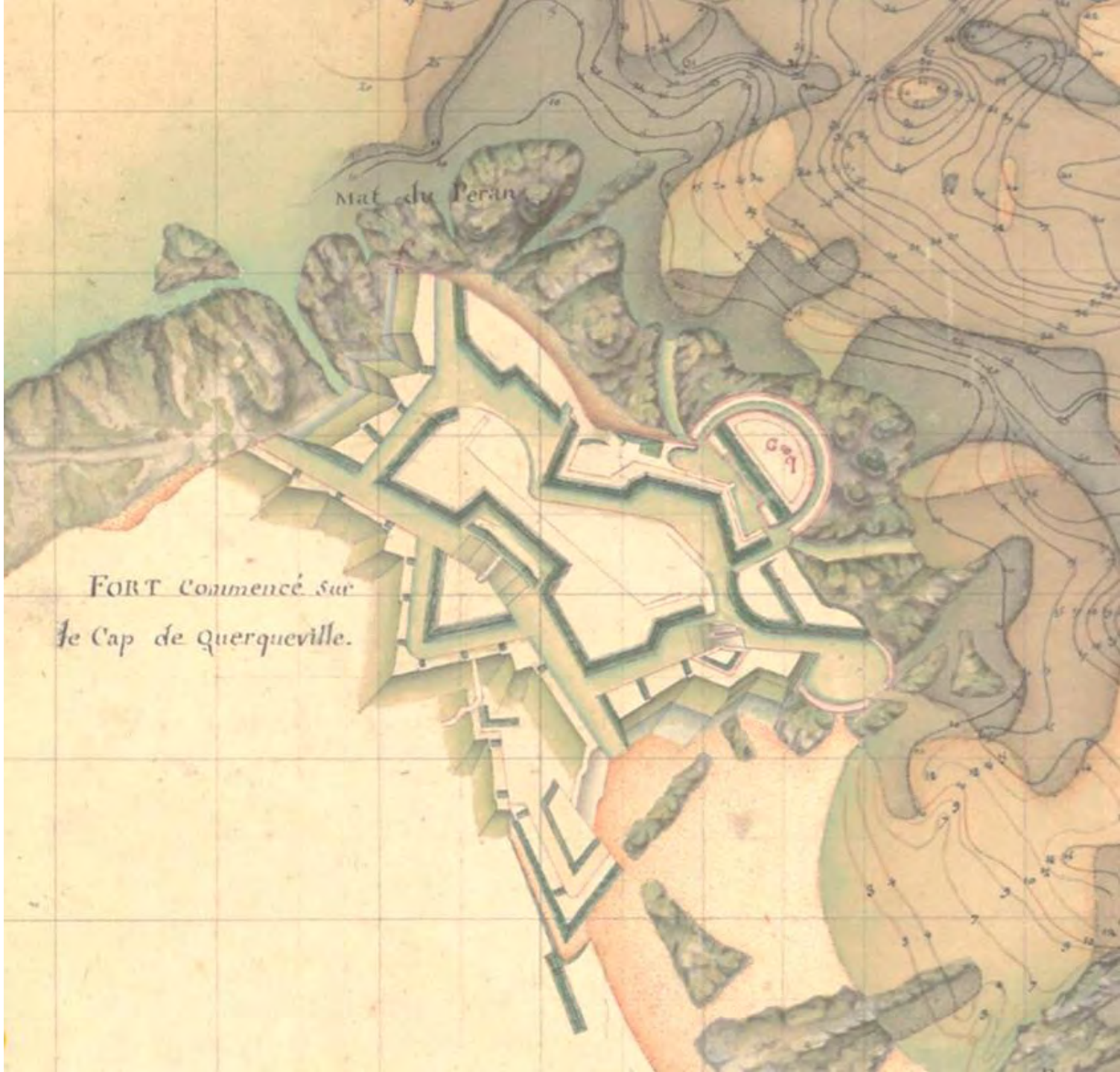
Proyecto de aerostato concebido por Meusnier (1784)



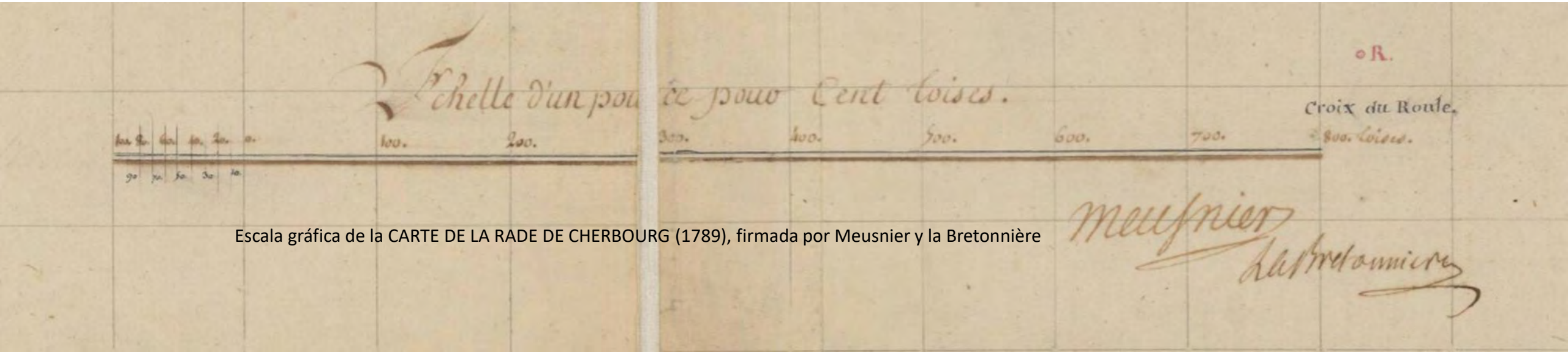
diseñada para flotar en el agua; aunque la dificultad para obtener la financiación y su prematura muerte impidieron llevar a cabo el proyecto. A raíz de su propuesta, Meusnier fue considerado el inventor del dirigible. El día 28 de enero de 1784 ingresa en la Academia como geómetra adjunto, por su contribución al estudio local de las superficies. Los días 28 de febrero y el 1 de marzo de 1785, aparecen marcados en la historia de la química, en tanto que Lavoisier y Meusnier lograron descomponer experimentalmente que el agua, probando así que no era un elemento, sino que estaba compuesta de hidrógeno y oxígeno. En el mes de abril se reorganizó la Academia y Meusnier pasó a ser miembro asociado de la Clase de geometría. Dos años más tarde, concretamente el 27 de mayo de 1787, ascendió a capitán, aunque el 1 de julio de 1788 fue nombrado Ayudante del Mariscal General de logística del Cuerpo de Estado Mayor del ejército, con el grado de Comandante, y abandonó el Cuerpo de ingenieros.

En el año 1789 dirigió Meusnier uno de los trabajos de campo más sobresaliente, empleando las curvas de nivel en el levantamiento batimétrico de la rada de Cherburgo, cumpliendo así la orden real del 20 de junio de 1789. Contó para ello con la ayuda del Capitán Louis Jean de la Couldre, Conde de La Bretonnière, responsable de

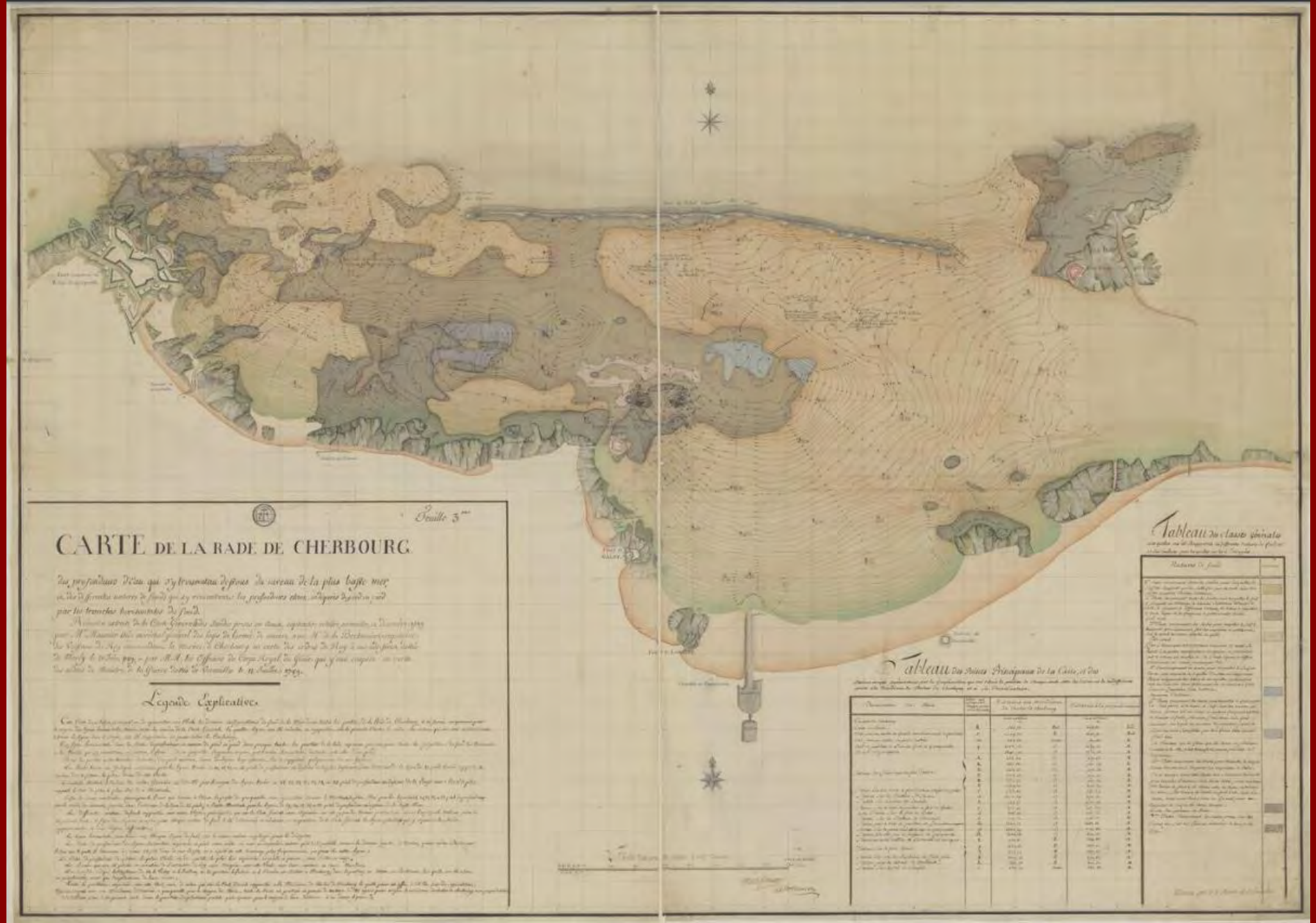
de la Marina en Cherburgo, así como con la de varios Oficiales del Cuerpo General de Ingenieros del Ejército, por haberlo dispuesto el Ministro de la Guerra mediante una orden firmada en Versalles el 11 de julio de 1789. Las medidas topográficas se realizaron con grafómetros, fijando después la posición de los puntos más singulares mediante coordenadas cartesianas, usando como origen el Campanario de Cherburgo y como ejes su meridiano y el primer vertical. La batimetría se efectuó durante los meses de agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre de ese mismo año, usando el pie como unidad de medida al expresar la profundidad. Los resultados de los trabajos de campo fueron plasmados en 21 hojas, si bien fueron luego reducidas y presentadas en un solo plano, con el título de *Carte de la rade de Cherbourg;* una muestra excepcional por su colorido tan equilibrado, por el cuidadoso dibujo de todas las curvas de nivel (batimétricas) y por el



mucho detalle con el que representaron los detalles planimétricos, especialmente la fortaleza de la ciudad, además del sombreado usado para simbolizar los roquedos. El plano lleva en su parte inferior izquierda una gran cartela, en la que se añadió al título principal el siguiente texto: *des profondeurs d´eau qui sý trouvent au dessous du niveau de la plus basse mer, a des differentes natures de fondas qui s´y rencountrent: les profondeurs etant indiquées de pied en pied par les tranches horizontales du fond.* En dicha cartela figura además una *Legende explicative* en la que se describen pormenorizadamente como se efectuaron los sondeos de la rada, comentando que el campanario citado se ligó trigonométricamente al resto del levantamiento. Como información marginal se aportan en la otra margen del plano dos tablas, con información destable para poder leer el plano. En la primera de ellas, con cuatro columnas: I) se identificaron en ella con su nombre los puntos más singulares del plano, II) se indicó la letra que con la que localizar a cada punto sobre el plano; en las dos restantes se listaron las coordenadas de los puntos en cuestión, expresadas en toesas. En la segunda tabla se relacionaron los tipos de fondo, simbolizando cada uno con una aguada de diferente color. Finalmente, ha de reseñarse la importancia de la escala gráfica del plano, expresada en toesas, ya que su pitipié lleva la firma de Meusnier y de la Bretonnière.



Escala gráfica de la CARTE DE LA RADE DE CHERBOURG (1789), firmada por Meusnier y la Bretonnière

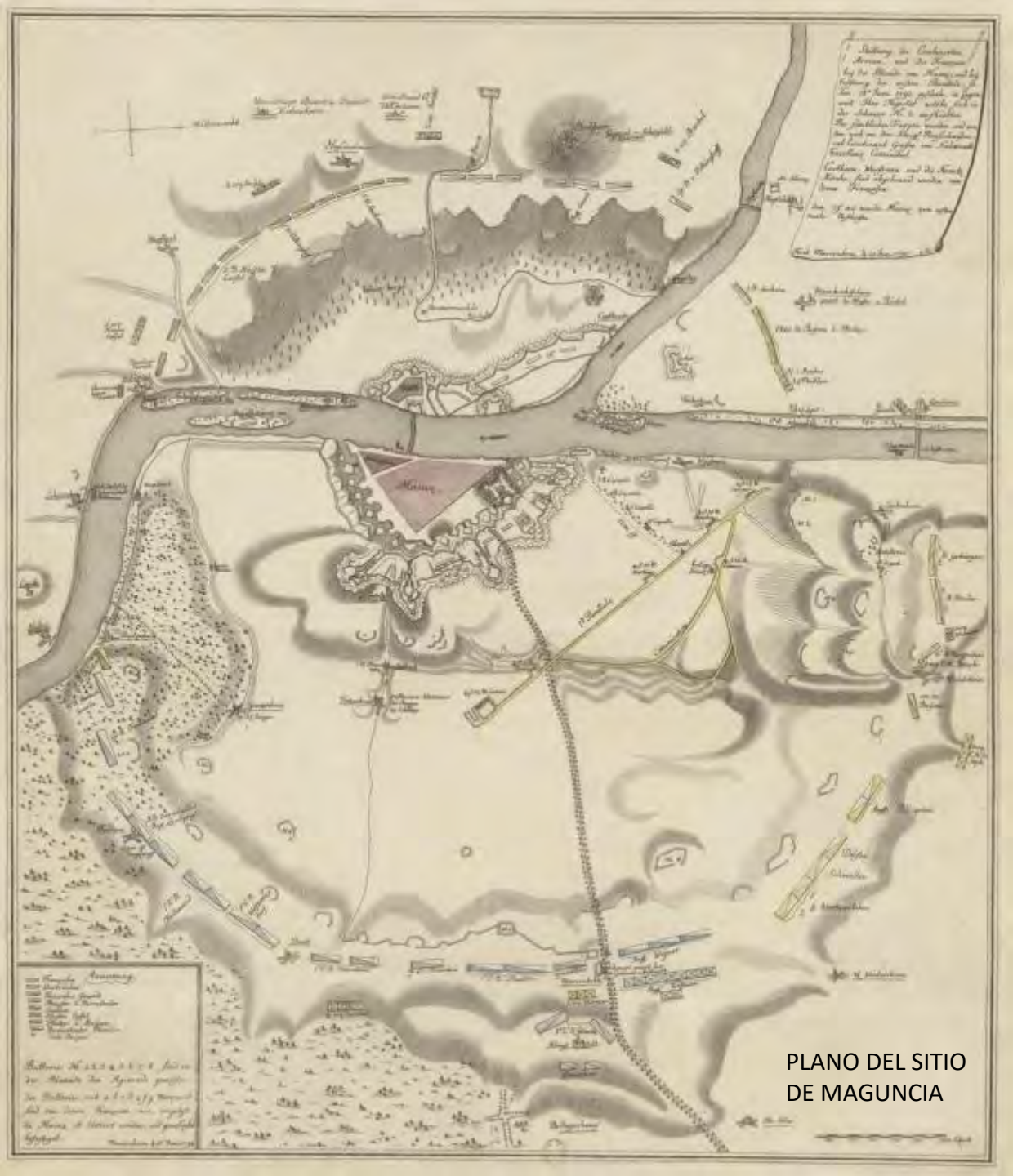

Feuille 3me
CARTE DE LA RADE DE CHERBOURG
Légende Explicative.
Tableau
Tableau

El Rey Luis XVI dando instrucciones en el Palacio de Versalles

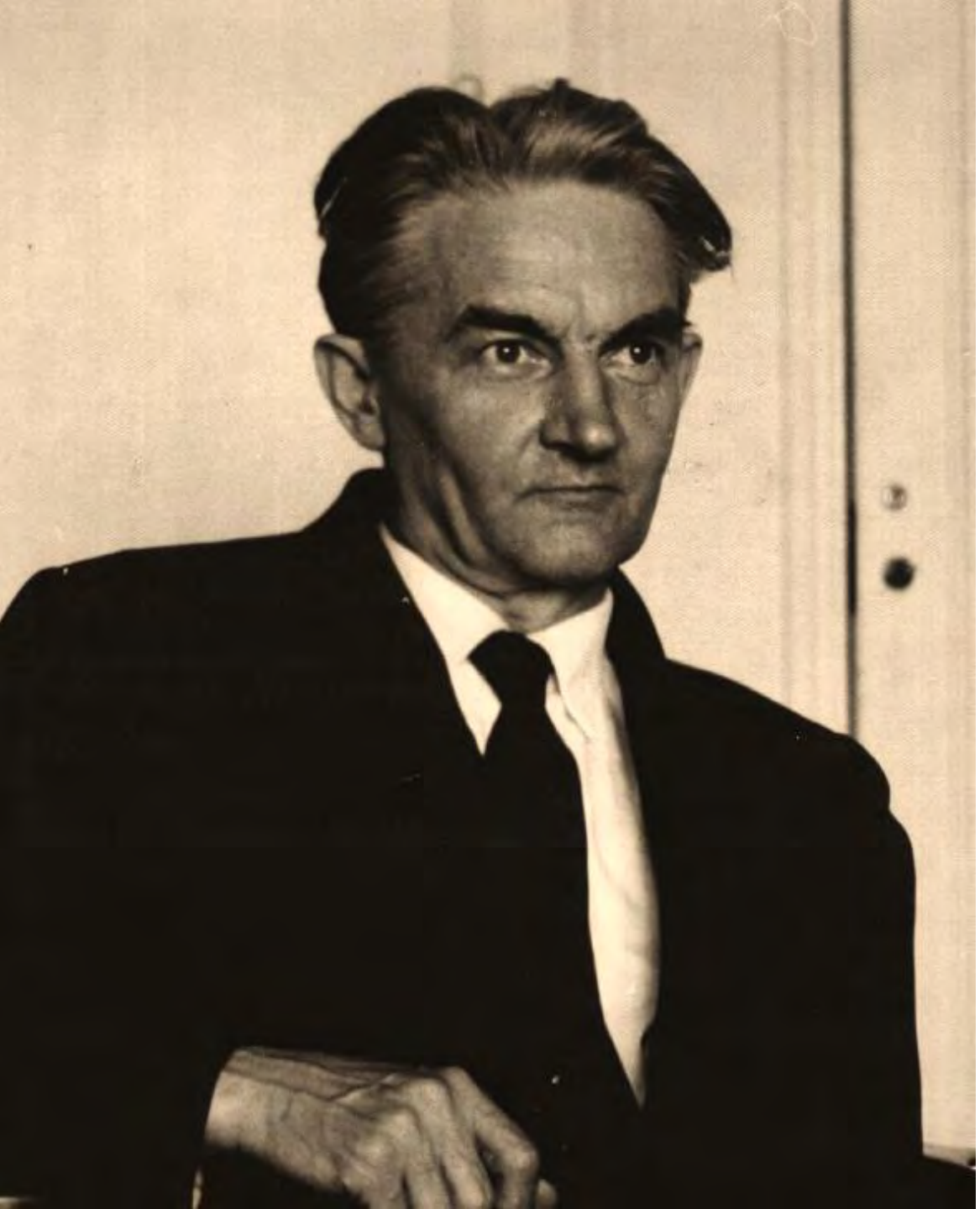
La ley dada por el Rey Luis XVI a Meusnier, que propició la ejecución del plano que se acaba de comentar, debió ser de las últimas que firmó antes de que se produjera la Toma de la Bastilla (14 de julio de 1789) y de que se autoproclamara el Tercer Estado como Asamblea Nacional; poco después se precipitaron los acontecimientos: el Rey fue depuesto en septiembre de 1792 y decapitado en enero de 1793. Quiere decir que el citado plano se levantó y dibujó en pleno fervor revolucionario, del que Meusnier fue firme partidario; de hecho, siendo Teniente Coronel de Ingenieros (junio de 1789), recibió el encargo de organizar los ejércitos de la República. El 30 de marzo de 1791, la Asamblea Nacional nombró las Comisiones relacionadas con la deseada implantación del Sistema Métrico Decimal: Triangulación y latitudes (Cassini, Pierre-François Méchain, Adrien-Marie Legendre) ; Bases (Gaspard Monge y Jean-Baptiste Meusnier) ; Longitud del péndulo (Jean-Charles de Borda y Charles Augustin Coulomb) ; peso del decímetro cúbico del agua (Antoine Lavoisier y René Haüy). El 13 de enero de 1792, Meusnier presentó en París los estatutos de la *Société Patriotique du Luxembourg*, de la que formaba parte, junto a G. Monge, J. H. Hassenfratz y A. T. Vandermonde; su objetivo era concienciar al ciudadano sobre sus derechos y deberes, sancionados por la Constitución. No obstante, Meusnier fue uno de los 92 firmantes de la Sociedad que pidieron a la Convención la condena a muerte de Luis XVI. . En el año 1792 fueron continuos sus ascensos: Coronel el 5 de febrero, General de brigada y Mariscal de campo el 1 de

septiembre. Deseando entrar en acción, solicitó unirse al ejército del Rin, incorporándose al mismo el 14 de febrero de 1793. El 5 de junio de 1793, durante el sitio de Maguncia (Mainz: entre el 10 de abril y el 23 de julio de 1793), fue gravemente herido en la rodilla al ser alcanzado por un proyectil, cuando cruzaba el Rin a bordo de una barca, y hubo que amputarle la pierna. Tras varios días de agonía, murió el 13 de junio, sin saber que un mes antes había sido ascendido al grado de general de división.

Rendición de la plaza



PLANO DEL SITIO DE MAGUNCIA



Mijail Sergeevich Molodensky (1909-1991)

Geodesta, con sólida formación física y matemática, que sobresalió sobre todos los de su tiempo; el austriaco H. Moritz, otro geodesta eminente, dejó dicho que el geodesta ruso sería el único de la profesión merecedor de un Premio Nobel. Sus investigaciones significaron un avance sustancial en la teoría de la figura de la Tierra, probando que la determinación de la forma del geoide en función exclusiva de los datos astro-geodésicos y gravimétricos, sin apoyarse en el conocimiento de la estructura interna de la Tierra, era imposible. Gracias a sus estudios teóricos pudo concretarse directamente la figura de la superficie física del globo terráqueo y la de su campo gravitacional exterior.
Molodensky nació en Epiphan, un pueblo del distrito de Tula, unos 165 km al sur de Moscú, en el seno de una familia religiosa, su padre era sacerdote ortodoxo; una circunstancia que limitaría sus posibilidades de realizar estudios superiores por la intransigencia del regimen comunista. Al parecer ya mostró interés por la astronomía siendo pequeño, aunque su amor por las ciencias se lo inculcaron dos de sus primeros profesores: N.F. Jilich y D. A. Masing; es probable que su

primera graduación la obtuviera en la escuela regentada por Jilich. Después de la revolución Massing continuó impartiendo clase de Matemáticas y Física en el Instituto de de Epiphan, graduándose en el mismo los hermanos Molodensky: Mijail y Sergey, el cual sería después un afamado profesor de Física en Leningrado. Una vez ultimados esos estudios, en 1924, Mijail se fue a vivir con un tío suyo a Tula, comenzando a estudiar en una escuela ferroviaria; colocándose luego en una explotación forestal. Con los ahorros conseguidos se trasladó a Leningrado, para unirse a sus hermanos mayores, gestionando desde allí su ingreso en la Sección de Astronomía de la Facultad de Exactas, adscrita a la Universidad de Moscú, haciéndose pasar por un estudiante de intercambio. Al percatarse de ello las autoridades académicas no pudo pernoctar en las residencias estudiantiles, aunque al final logró alojarse en el domicilio de un pariente de la madre hasta que se licenció en la Universidad (1932); ocasionalmente se hospedó en el domicilio familiar de su compañero Vladimir Fedorovich Eremeev, también geodesta destacado, un hecho que siempre agradecería.

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MOSCÚ

Coincidiendo con la inclusión de la Geofísica en los planes de estudios universitarios, la Facultad de Ciencias de la Universidad de Moscú decidió la creación de un Instituto astronómico-geodésico, con la intención de que se compatibilizara la investigación astronómica con la geodésica y la gravimétrica; en uno de cuyos grupos acabó

Instituto Astronómico Estatal Shtérnberg (Universidad de Moscú)

integrándose M. Molodensky. Para completar su formación, asistió a: los cursos de *Gravimetría*, *Teoría de la figura de la Tierra y Geodesia esferoidal*, impartidos por A. A. Mijáilov, el de *Triangulación* por M. D. Soloviev, y un curso sobre *Mediciones de grados* por F. N. Krasovski, invitado especialmente por los estudiantes. Los cursos de *Astronomía* fueron impartidos por S. N. Blazhko y S. A. Kazakov, los de *Análisis matemático* por N. N. Luzin y A. Ya. Khinchin, *Teoría de ecuaciones diferenciales* a cargo de V. V. Stepanov, un curso de *Cálculo numérico* por S. A. Kazakov, así como otro de *Geometría diferencial* y *Teoría de superficies* a cargo de S. P. Finikov.

El primer artículo publicado por Molodensky se refirió al cálculo de las latitudes y fue incluido en el *Astronomical Journal* de 1931. En enero de ese año, su profesor S.N. Blazhko le propuso ingresar en el Instituto de Investigación Científica Astronómica y Geodésica (AGNII) de la Universidad de Moscú. Pronto este Instituto, así como el Observatorio Astronómico de la Universidad de Moscú, el Instituto Estatal de Astrofísica y el Observatorio Astrofísico de Kuchino se unieron en el Instituto Astronómico que lleva el nombre del astrónomo Pável Kárlovich Shtérnberg. Aunque en un principio Molodensky se vio obligado a realizar tareas puramente astronómicas, pronto fueron requeridos sus servicios por F.N. Krasovsky para que trabajase en la sección gravimétrica del Instituto geodésico, transformado luego en el *TsNIIGAiK* (Instituto Central de Investigación Geodésica, Inventario Aéreo y

En el año 1932 decidió el gobierno soviético que se procediera al levantamiento gravimétrico de todo el territorio, encargando a M. Molodensky la redacción de las instrucciones pertinentes (1935), el año anterior ya había publicado un artículo sobre la oscilación conjunta de dos péndulos suspendidos de un mismo soporte. Los trabajos teórico prácticos asociados a tan ambicioso proyecto, le obligaron en cierto modo a diseñar un nuevo gravímetro, en el que trabajaría durante el periodo 1938-1941, con anillo elástico (GKM), perfeccionado tras la guerra mundial con el modelo GKA. De las investigaciones correspondientes ya había dado cuenta en un artículo publicado en la revista Geodezist nº % (pp.21-22); tanto estas como la construcción de los instrumentos les fueron reconocidos con sendos premios estatales. Durante la guerra se vio obligado a dar conferencias en la Cátedra de Gravimetría y Geofísica, adscrita a la *MIIGiK* (Universidad Estatal Moscovita de Geodesia y Cartografía); proponiendo al concluirlas en 1947 la necesidad de que se ampliase la formación físico y matemática de los alumnos que eligiesen la especialidad de Astronomía y Geodesia, aunque no fuese tenido en cuenta su acertado consejo.

Desde 1943 hasta 1956 Molodensky fue jefe del laboratorio de gravimetría de la *TsNIIGAiK*, cometido que simultaneó, desde 1946, con la jefatura de la Sección de

Emblema de la *MIIGiK*

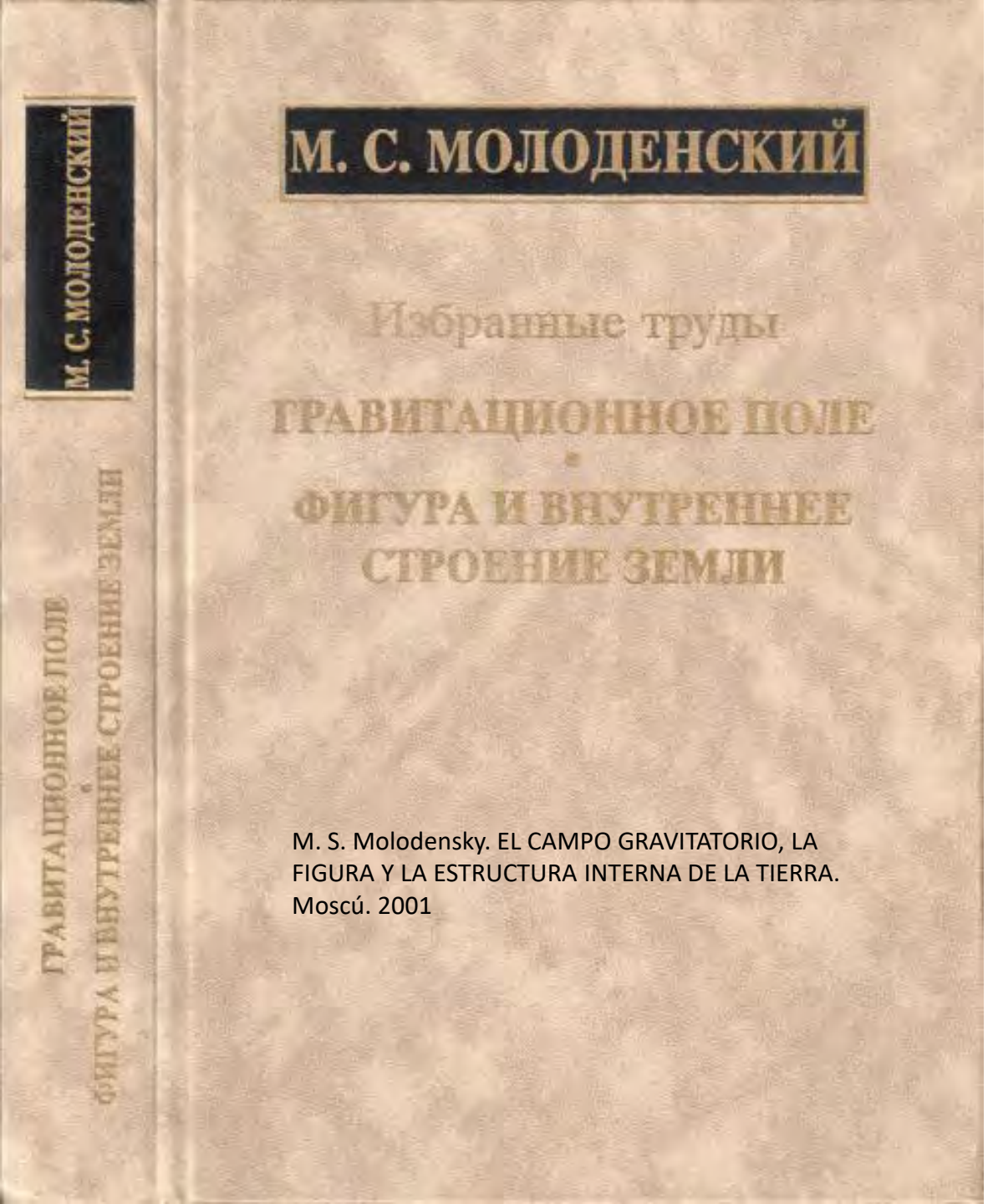
Emblema del Centro Federal Científico y Técnico de Geodesia, Cartografía e Infraestructura de Datos Espaciales.

Моско́вский госуда́рственный университе́т геоде́зии и карто́гра́фии
Universidad Estatal Moscovita de Geodesia y Cartografía

Gravimetría del Instituto Geofísico de la Academia de Ciencias de la URSS; instituto que sería transferido al Instituto de Física de la Tierra (*Институ́т фи́зики Земли́*) en 1956, convirtiéndose desde entonces en su puesto de trabajo principal. Su prestigio era tal, qué sin ser miembro del partido comunista, fue elegido en ese mismo año Director del Instituto, preparando a partir de entonces el manual *Métodos para el estudio del campo gravitatorio externo y la figura de la Tierra*, contando con la colaboración de su amigo Eremeev y de su antigua alumna Marina Ivanovna Yurkina, el cual fue publicado en el año 1960. La edición del libro y el resto de investigaciones que llevó a cabo sobre las mareas terrestres y la nutación, le valieron para que se le concediera el premio Lenin en 1963. Aunque sea difícil concretar las aportaciones más singulares de Molodensky, M.I. Yurkina las resumió en las cinco siguientes: I. Expresión de las anomalías de la gravedad en función de las altitudes, o de las ondulaciones del geoide en función de las desviaciones de la vertical. II. Actualización de la teoría y práctica de la nivelación astronómico-gravimétrica. III. Evidenció algunos errores en las investigaciones previas sobre la influencia de las anomalías de la gravedad sobre el potencial perturbador y la desviación de la vertical. IV. Posibilitó con sus trabajos una solución más rigurosa del problema de Stokes, repercutiendo sobre la investigación relacionada con el estudio de la superficie de la Tierra y con el achatamiento de la misma. V. Logró disminuir los errores propios de los levantamientos gravimétricos, por la influencia del relieve, potenciando el desarrollo del tratamiento estadístico de las observaciones. Aunque sea obvio que las ideas modernas sobre la superficie terrestre no son debidas exclusivamente a Molodensky, si se puede afirmar que los que le precedieron ni siquiera propusieron una teoría geodésica unificada; una gran tarea en la que si fue suyo el protagonismo principal.

Emblema del Instituto de Físca de la Tierra

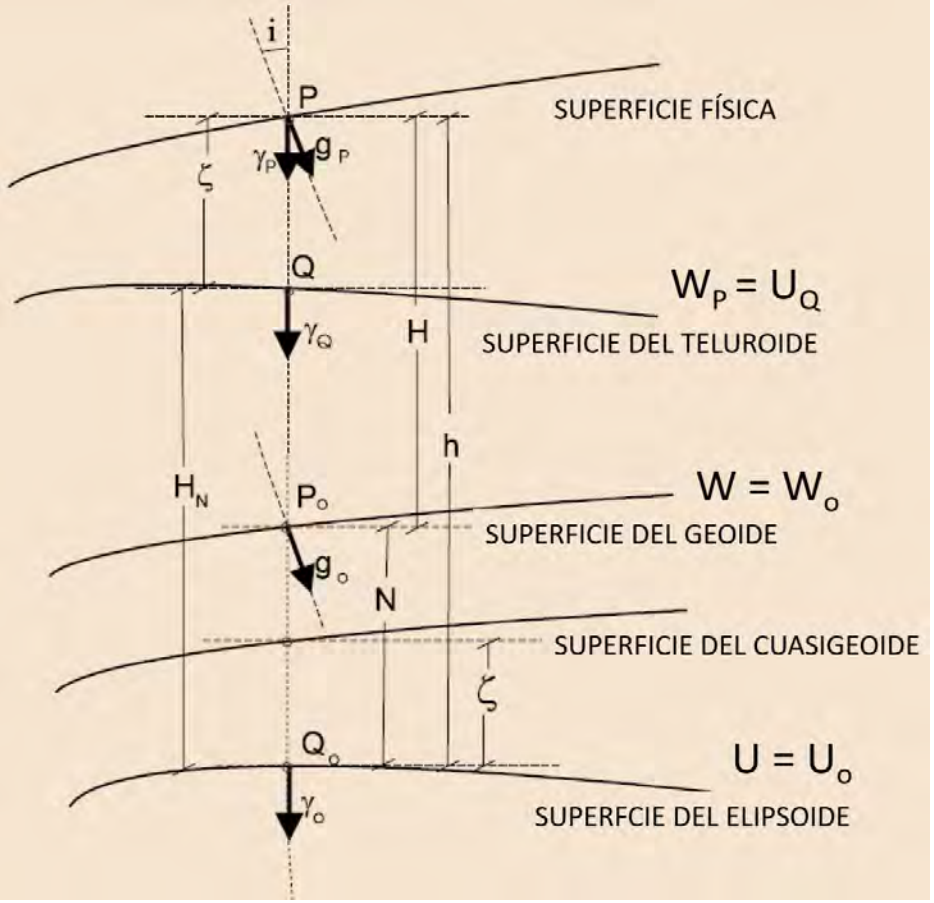
Medalla asociada al Premio Lenin



M. S. Molodensky. EL CAMPO GRAVITATORIO, LA FIGURA Y LA ESTRUCTURA INTERNA DE LA TIERRA. Moscú. 2001

Comenzaba la reseña de este geodesta ruso con un comentario de H. Moritz y ahora se trae otro a colación del mismo autor, pues según él Molodensky hizo en la geodesia una revolución copernicana: «desplazando el centro de atención del geoide a una determinación directa de la superficie física de la Tierra»; H. Moritz fue, junto a M.I. Yurkina, el editor científico del homenaje *Molodensky´s In Memorian* (*Mitteilungen der geodätischen Institute der Technischen*. Universität Graz. Folge 88. Graz, 2000), figurando ese último comentario en su artículo *Molodensky's Theory and GPS*. El artículo es una lección sobresaliente en la que se le concede la importancia que merece a la superficie terrestre, mostrando como puede ser determinada geométricamente usando las técnicas espaciales, interrelacionándose en ella los conceptos de potencial, gravedad, altitud y anomalías, ya sean en altura o gravimétricas.

M.I. Yurkina (1923-2010)



W es el geopotencial; g es el vector intensidad de la gravedad, dado por g = grad W; U es el potencial normal o teórico, engendrado por el elipsoide; se define el teluroide como el lugar geométrico de los puntos en que se verifica la igualdad $W_P = U_Q$; la gravedad normal verificaría la igualdad Υ = grad U ; el geoide sería la superficie equipotencial de referencia $W = W_O$; la llamada ondulación del geoide, N, sería la separación existente entre el geoide y el elipsoide, siendo positiva en algunos lugares y negativa en otros; se definen dos tipos de altitudes, una con relación al geoide y otra con relación al elipsoide, a la primera se le llama ortométrica (H) y a la segunda normal (H_N), indicando esta última la distancia a la que se encuentra el teluroide del elipsoide; a la separación entre el teluroide y la superficie física de la Tierra se le denomina anomalía en altura (ζ); se define el cuasigeoide como la superficie imaginaria que dista del elipsoide una distancia igual a la anomalía anterior. Es evidente que la altura elipsoídica h es la suma de la altitud normal, H_N, y de la anomalía en altura ζ. La anomalía de la gravedad, Δg, es la diferencia entre la gravedad real y la gravedad normal, es decir $\Delta g = g_P - \Upsilon_Q = -\frac{\partial T}{\partial h} + \frac{1}{\Upsilon}\frac{\partial \Upsilon}{\partial h} T$. T es el potencial pertubador, ligado al campo generado por el espacio comprendido entre el geoide y el elipsoide, el cual verifica la relación W = U + T. Se define igualmente la perturbación gravitatoria $\delta g = g_P - \Upsilon_P = -\frac{\partial T}{\partial h}$, valor que solo es relevante cuando se usa la tecnología GPS: al poder hallar por esa vía la altura elipsoídica del punto P, podría también obtenerse la gravedad normal Υ_P. Finalmente, la ecuación de Brun liga la ondulación del geoide, N, con la anomalía de altura, ζ, introducida por Molodensky: $N = T(P_o)/\Upsilon$ y $\zeta = T(P)/\Upsilon$.

Legend

- **Sites of Fundamental gravimetric network**
- **Sites of the main First order gravimetric network**

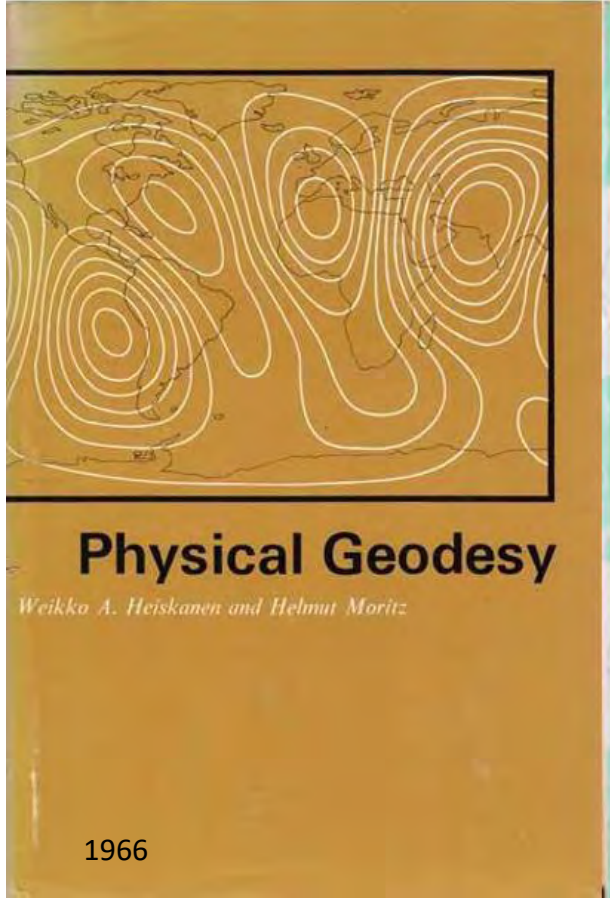
LA RED RUSA DE NIVELACIÓN. LAS LÍNEAS GRUESAS SON LAS DE PRIMER ORDEN, LAS FINAS SON LAS DE SEGUNDO ORDEN; LAS ROJAS SON LAS PROYECTADAS (2011)

Helmut Moritz (1933-2022)

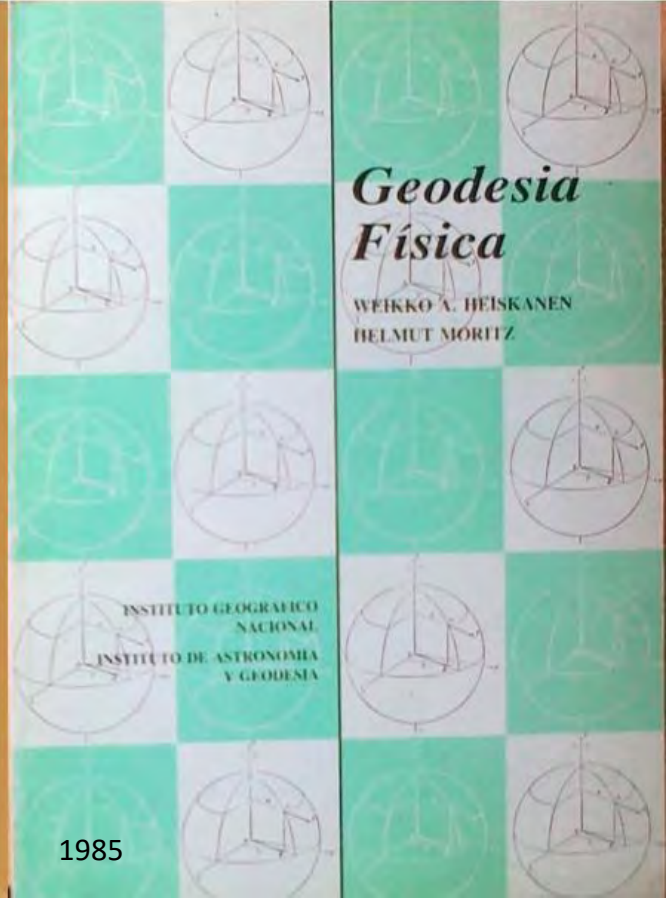
Uno de los mejores geodestas de los últimos años, con un C.V. envidiable, admirador y continuador de la obra de su homólogo ruso M. Molodensky. Nació nuestro protagonista H. Moritz en la ciudad austriaca de Graz y estudió en su Instituto en circunstancias difíciles, pues su padre falleció durante la segunda guerra mundial; en esa primera etapa ya mostró sus grandes aptitudes en general y su gran interés por las matemáticas, las ciencias naturales, la música y los idiomas en particular. En el año 1956 terminó sus estudios de Topografía y Geodesia en la Universidad Politécnica de Graz, a los que siguió el doctorado que obtuvo en 1959. El Presidente de la República de Austria le concedió el título de Doctor, atendiendo tanto a la brillantez de su expediente, como a la extraordinaria calidad de su tesis (Teoría de los errores en el espacio de funciones), en la que introdujo por primera vez el espacio infinito de Hilbert en la geodesia. Su primer destino fue en la Oficina Federal de Metrología y Topografía de

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE GRAZ
(AUSTRIA)

Austria, en donde permaneció hasta que en 1962 fue invitado al Departamento de Geodesia adscrito a la Universidad estatal de Ohio (Columbus), dirigido entonces por el finlandés W. A. Heiskanen; ambos prepararon entonces el libro *Physical Geodesy*, traducido a varios idiomas (español incluido). A diferencia de los anteriores libros de geodesia, tiene un enfoque más centrado en la física teórica, soportado con el correspondiente componente matemático; al abarcar tanto los temas habituales como los desarrollos recientes: el cálculo del campo gravitatorio fuera de la Tierra y el uso de métodos estadísticos, es evidente su utilidad como libro de texto, a la vez que referente obligado para los estudiosos de esa disciplina.

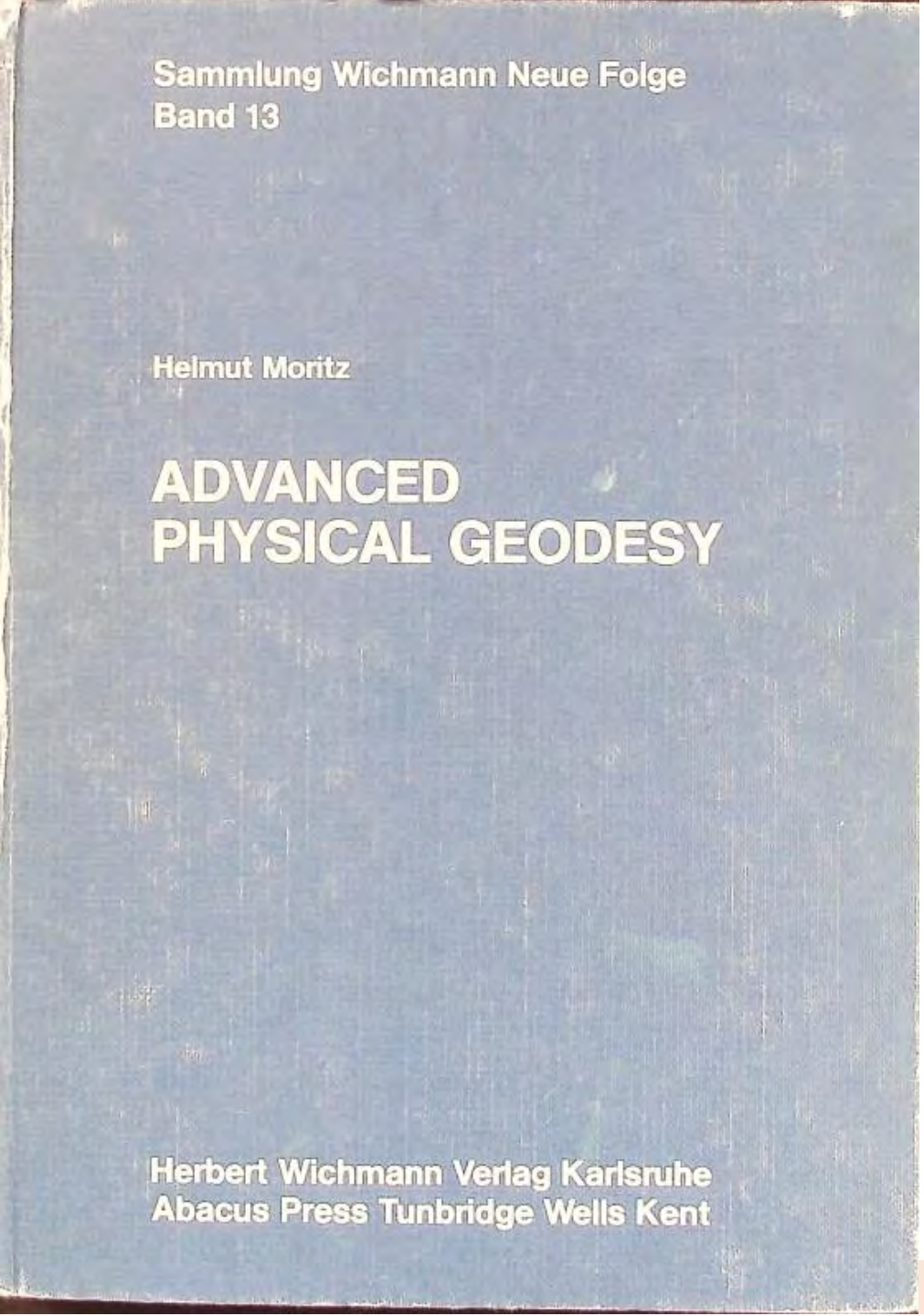


1966



1985

Cuando en el año 1964 volvió a Europa, fue nombrado profesor asociado de la Universidad de Hannover y, al mismo tiempo, recibió la oferta de ocupar una plaza de profesor titular en la Universidad Técnica de Berlín; dedicándose durante ese periodo al estudio intensivo del problema de Molodensky. Aunque durante la revuelta estudiantil del año 1968 le propusieron trasladarse a la Universidad Politécnica de Graz, H. Moritz prefirió seguir en Berlín; hasta que tres años más tarde volvió a ser invitado para ocupar una plaza de Profesor de Geodesia Física en la misma universidad. Su prolongada estancia, más de treinta años, comenzó investigando sobre la novedosa técnica de ajuste (*Least-squares collocation*) y su utilidad para determinar la figura de la Tierra y el campo gravitatorio mediante una



combinación de diferentes datos heterogéneos; colaborando en todo momento con el danés Torben Krarup, otro geodesta sobresaliente. Este había escrito en 1969 el artículo *A contribution to the mathematical foundation of physical geodesy*, en el que se sentaron las bases del referido ajuste; así lo recogió con admiración H. Moritz en su *trabajo Working with Torben Krarup* (2006), señalando que el nuevo enfoque de los mínimos cuadrados y el problema de Molodensky habían sido las principales líneas de investigación en las que había colaborados con los geodestas de Dinamarca. El propio H. Moritz comentaba que la década 1975-1985 había sido la más interesante y creativa de toda su vida, entonces y en los años siguientes fueron múltiples sus aportaciones científicas: las realizadas sobre la rotación de la Tierra y su movimiento polar, los efectos relativistas en los sistemas de referencia y la caracterización del Sistema Geodésico de Referencia* (1980); son solo un buen ejemplo. Igual de destacable fue su obra *Advanced Physical Geodesy* (1979), que fue traducida al chino y al ruso, en la que analizó con sumo detalle los fundamentos matemáticos de la Colocación, estructurándola en los cuatro apartados siguientes: A) *Fundamentos*, en el que se trataron entre otras cuestiones tales como el campo gravitatorio terrestre, el elipsoide de referencia y las anomalías de la

*Adoptado en la XVII Asamblea de la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica celebrada en Canberra (1979)

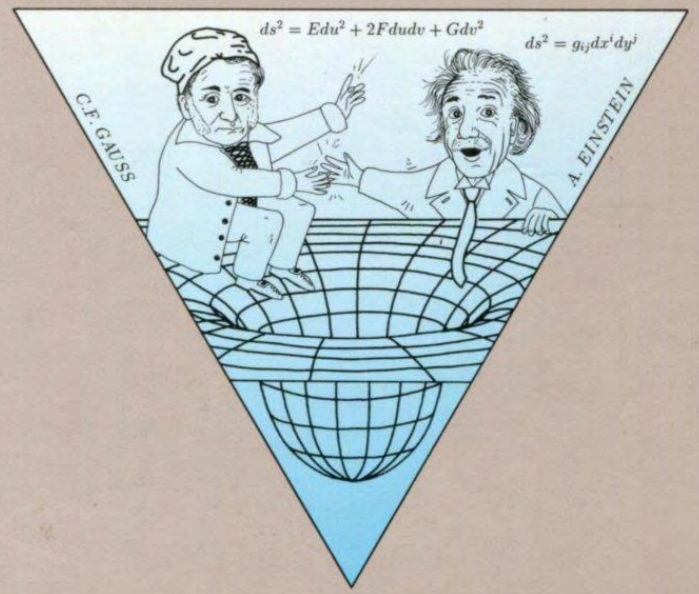
de la gravedad, los armónicos esféricos o el teorema de Runge; B) *Aproximación al modelo de la colocación mínimos cuadrados*, estudiando entre otras sus aplicaciones a la geodesia física y el modelo de covarianza global; C) *Aspectos avanzados de la colocación mínimos cuadrados*, en el que se analizan los espacios de Hilbert con funciones Kernel y el significado de la estadística en ese método; D) *El problema de contorno en la geodesia física*, abordando en él el problema de Molodensky, aproximación esférica, solución de Molodensky, el uso de la corrección por el terreno, la aproximación al espacio de la gravedad y los aspectos geodinámicos. Otro de sus libros más conocidos fue el titulado *Earth Rotation: Theory and Observation*, editado en ocho ocasiones entre 1987 y 1988; contando en una de ellas con la colaboración de Ivan Istvan Mueller, un geodesta húngaro afincado en Estados Unidos, que también fue profesor en la *Ohio State University*.

Medalla Väisälä, otorgada al profesor H. Moritz, en 1977, por sus muchas aportaciones a la geodesia y por su prolongada cooperación con el Instituto Geodésico de Finlandia (hoy *Finnish Geospatial Research Institute* FGI)

Su vasta cultura, erudición y dominio de los idiomas (griego y latín incluidos) le permitieron adentrarse en la filosofía de la ciencia, publicando obras tan relevantes como *Geometry, Relativity, Geodesy* (1993), que escribió junto a Bernhard Hofmann-Wellenhof, profesor en la Universidad Politécnica de Graz, o *Science, Mind and the Universe (1995), an introduction to natural philosophy*. En la contracubierta del segundo señalaba el autor que la obra se basaba en un curso que había impartido en la Universidad Politécnica de Graz, con la intención de

Moritz/Hofmann-Wellenhof

Geometry, Relativity, Geodesy

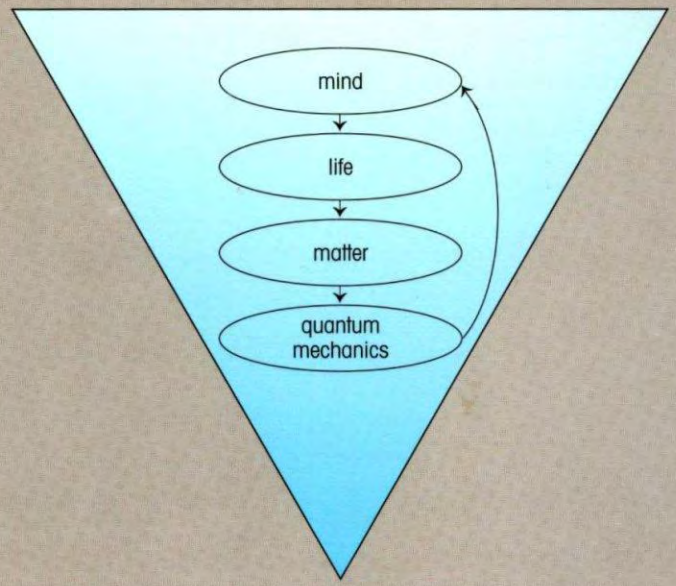


WICHMANN

Helmut Moritz

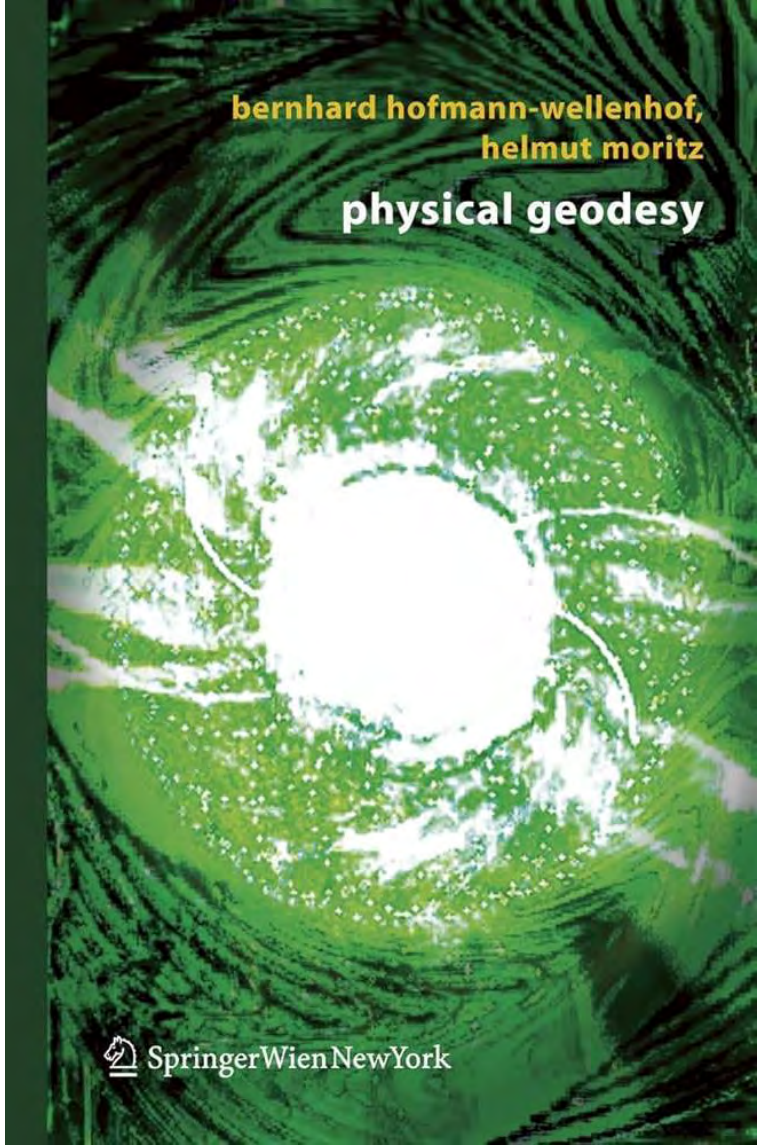
Science, Mind and the Universe

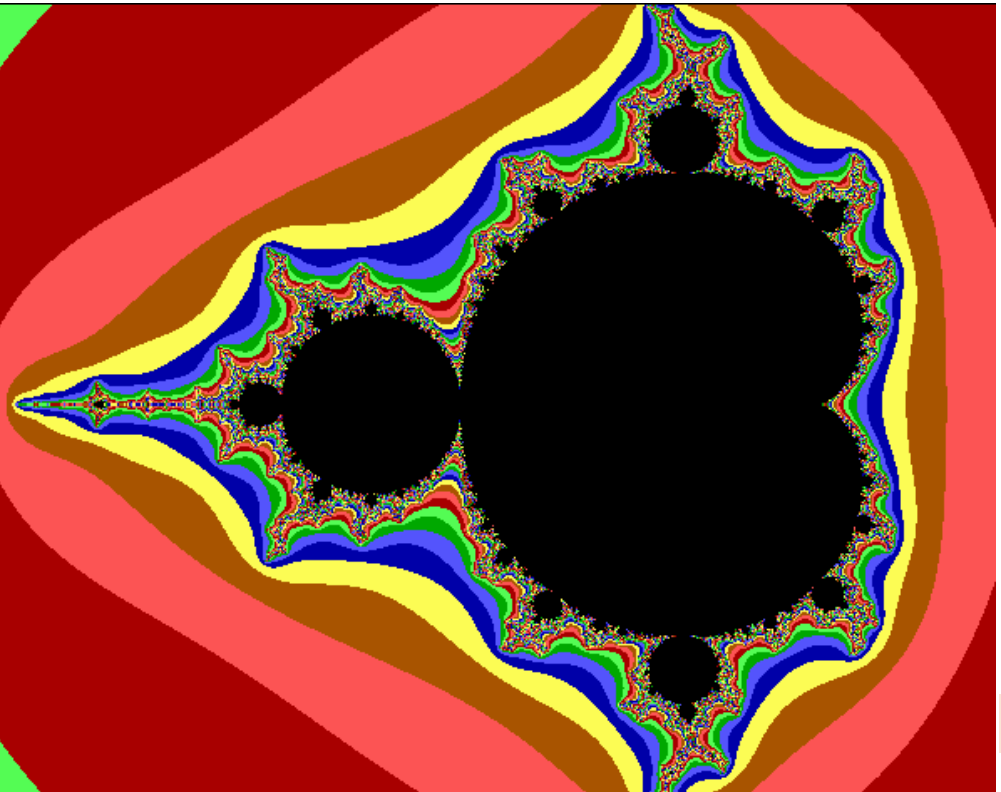
An Introduction to Natural Philosophy



WICHMANN

despertar en los estudiantes el interés por la ciencia, la tecnología y la medicina; relacionando los principios de la ciencia moderna con la física tradicional, así como con la teoría de la relatividad y la mecánica cuántica, el caos y las ideas propias de la filosofía clásica. Sus reflexiones sobre la filosofía de la ciencia se acentuaron en el año 2002, al coincidir su jubilación con el fallecimiento de su esposa. No obstante, nunca disminuyó su interés por la geodesia; tres últimos ejemplos así lo prueban. En efecto, en el año 2000 se publicó el obituario *M.S. Molodensky, In Memoriam*; firmado por él y por Marina Ivanovna Yurkina, discípula aventajada del gran geodesta ruso. En el año 2005 se reeditó de nuevo su libro *Physical Geodesy*, con la coautoría de B. Hofmann-Wellenhof, que fue traducido al japonés y reeditado al año siguiente. Finalmente, ha de recordarse el artículo que presentó en el año 2008 a la Sociedad Leibniz de las Ciencias (Berlín), titulado *Great Mathematicians and the Geosciences: from Leibniz and Newton to Eisntein and Hilbert;* firmándolo como miembro del instituto de Navegación y Geodesia por Satélites, perteneciente a la Universidad Politécnica de Graz.





Fractal de Mandelbrot, figura número 4 del trabajo anterior, dentro del apartado *5. Leibniz, Mandelbrot and Fractals.*

El profesor H. Moritz explicando la refracción atmosférica. Ilustración del artículo *A Tribute to the Memory of Professor Helmut MORITZ (1933-2022),* escrito por Abdelmajid Ben Hadj Salem (12 de mayo de 2023).

La incuestionable autoridad científica del profesor H. Moritz fue reconocida en su tiempo, llegando a presidir primero la Asociación Internacional de Geodesia (IAG), durante el mandato (1979-1983), y después de la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica (IUGG), entre los años 1991 y 1995. El mundo universitario lo reconoció igualmente, al ser nombrado *Doctor Honoris Causa* por tres universidades tan prestigiosas como la Técnica de Munich, la estatal de Ohio y la geodésica de Moscú; mención especial merece el hecho de que la Universidad de Wuhan lo hiciese Profesor honorario de la misma, en atención a sus muchas aportaciones científicas y, de manera especial, al continuo apoyó prestado a la comunidad geodésica china. H. Moritz fue miembro de numerosas Academias de Ciencias, entre las que figuran: Finlandia (1970), Italia (1974), Austria (Correspondiente en 1976 y Pleno en 1988), Hungría (1983), Suecia (1984), España (1984. Sección de Matemáticas), Alemania (1984.Berlín), Polonia (1988), Europaea (1992), China (2000). Después de haberle impuesto la medalla de Väisälä, en 1977, fue honrado con otras de mayor renombre: Gauss (1977), Humboldt (1983), Copérnico (1998), Struve (2008) y Tsiolkovsky (2008).

El físico ruso KONSTANTÍN EDUÁRDOVICH TSIOLKOVSKI (1897-1935), considerado el padre de la cosmonáutica

William Mudge (1767-1820)

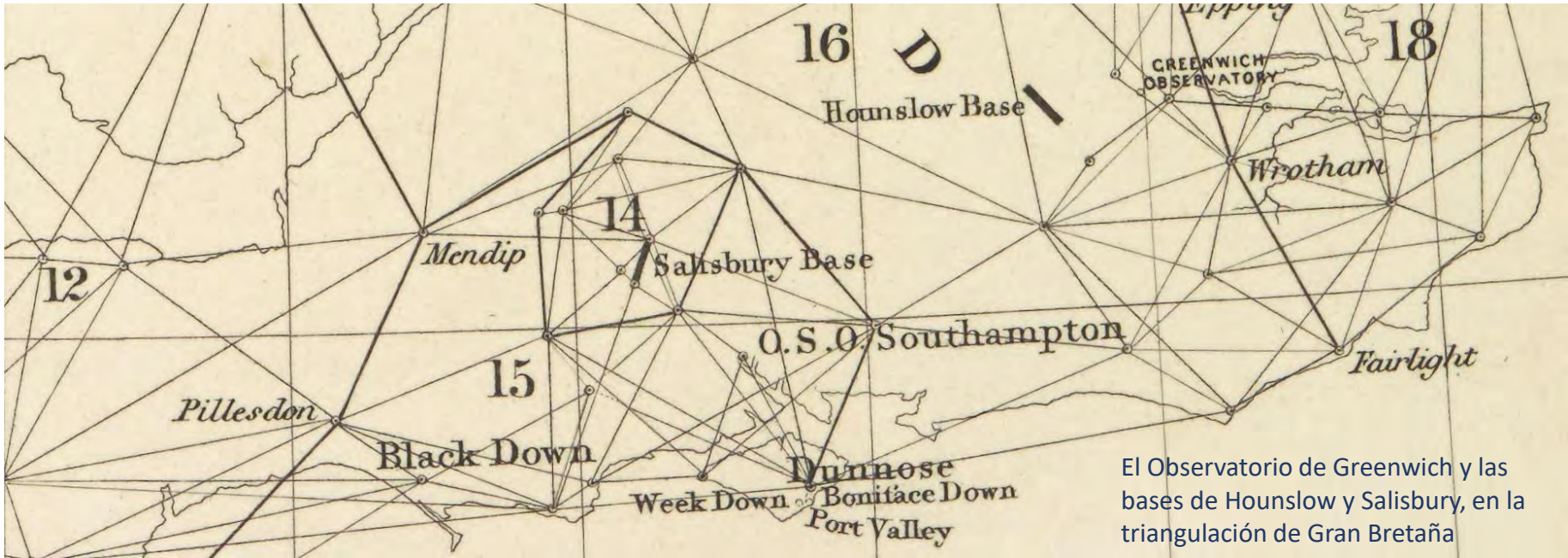
Topógrafo, geodesta y general inglés que hizo el primer mapa publicado por el *Ordnance Survey* y midió el arco de meridiano comprendido entre Dunnose, en la isla de Wight, y Clifton, en el condado de Yorkshire, al norte de Inglaterra. William Mudge nació en Plymouth, en el seno de una familia acomodada, y pronto mostró interés por el ejército, ingresando en el año 1777 en la Real Academia Militar de Woolwich. Dos años después alcanzo el grado de Subteniente de Artillería, siendo destinado a Carolina del Sur; en donde se incorporó al ejército británico que luchaba en la Guerra de Independencia de Estados Unidos, bajo las órdenes del general Charles Cornwallis. Cuando volvió a la metrópoli en 1783, ya como teniente (1781), fue destinado a la Torre de Londres, en donde aprovechó su tiempo libre para ampliar sus conocimientos matemáticos y mecánicos, recibiendo clases de Charles Hutton. Los acontecimientos revolucionarios ocurridos en Francia, impulsaron la necesidad de contar con una representación cartográfica fiable de Gran Bretaña; naciendo así la idea de crear el

Ordnance Trigonometrical Survey (1791), siendo el general William Roy el primer responsable del mismo. Cuando solicitó la participación de Oficiales de Artillería e Ingenieros en los correspondientes trabajos de campo, el Teniente Coronel Edward Williams y el teniente Mudge fueron los propuestos; como los más cualificados para llevarlos a cabo. Uno de sus primeros trabajos fue volver a medir la base que había establecido el general Roy en la llanura de Hounslow Heat, ahora ocupada por el aeropuerto de Heathrow; once semanas tardaron en comprobar que la longitud de la base de Hounslow, de unas 5.2 millas, adolecía de un error por exceso de tan solo 4.6 pulgadas. La triangulación del territorio siguió el modelo de malla continua, completamente diferente al seguido en Francia, en la que las cadenas de triángulos a lo largo de los meridianos y paralelos eran el armazón de la red geodésica. Las necesidades militares obligaron a iniciar la campaña por las zonas costeras, por ser las más vulnerables a la temida invasión del país vecino; a título de curiosidad es obligado mencionar que en ocasiones los lugareños confundían las señales luminosas, achacándolas a los franceses y no a sus propios topógrafos. Las observaciones angulares se realizaron con un teodolito construido a tal efecto por Jesse Ramsden, un instrumento cuyo peso era próximo a los 90 kg y tenía que ser transportado en carro por caminos, a menudo llenos de barro, y subirlo con una grúa a lo alto del vértice geodésico.

Teodolito Ramsden de tres pies

Todos los detalles técnicos de los trabajos efectuados fueron publicados en la

revista Philosophical Transactions de la Royal Society, en varias ocasiones. La primera comunicación data del año 1795, comunicando la medida de las bases de Hounslow y de Romney Marsh, así como otra de verificación en la planicie de Salisbury (*An Account of the Trigonometrical Survey carried on in the Years 1791, 1792, 1793, and 1794, by Order of his Grace the Duke of Richmond, late Master General of the Ordnance. By Lieut. Col.Edward Williams, and Capt. William Mudof the Royal Artillery; and Mr. Isaac Dalby. Communicated by the Duke of Richmond, F. R. S. pp. 414-595*). El siguiente artículo apareció en el año 1797, refiriendo en él la triangulación realizada en los dos años previos, desde la base de Salisbury hacia el oeste y a lo largo de todo el litoral (*An Account of the Trigonometrical Survey, Carried on in the Years 1795, and 1796, by Order of the Marquis Cornwallis, Master General of the Ordnance. By Colonel Edward Williams, Captain William Mudge, and Mr. Isaac Dalby. Communicated by the Duke of Richmond, F. R. S. pp. 432-541*) . La tercera comunicación se publicó en el año 1800, para detallar las operaciones practicadas en los últimos cuatro años del siglo XVIII; incluyendo en ellas la medida de una cuarta base en Sedgemoor (*An Account of the Trigonometrical, carried on in the Years 1797, 1798, and 1799 , by Order Marquis Cornwallis, Master- General of the Ordnance. By Captain William Mudge of the Royal Artillery, F. R. S. Communicated by his Grace the Duke of Richmond F. R. S. pp. 539-728*). La cuarta y última comunicación se editó en el año 1803, a fin de comentar una operación del todo relevante. La medida del

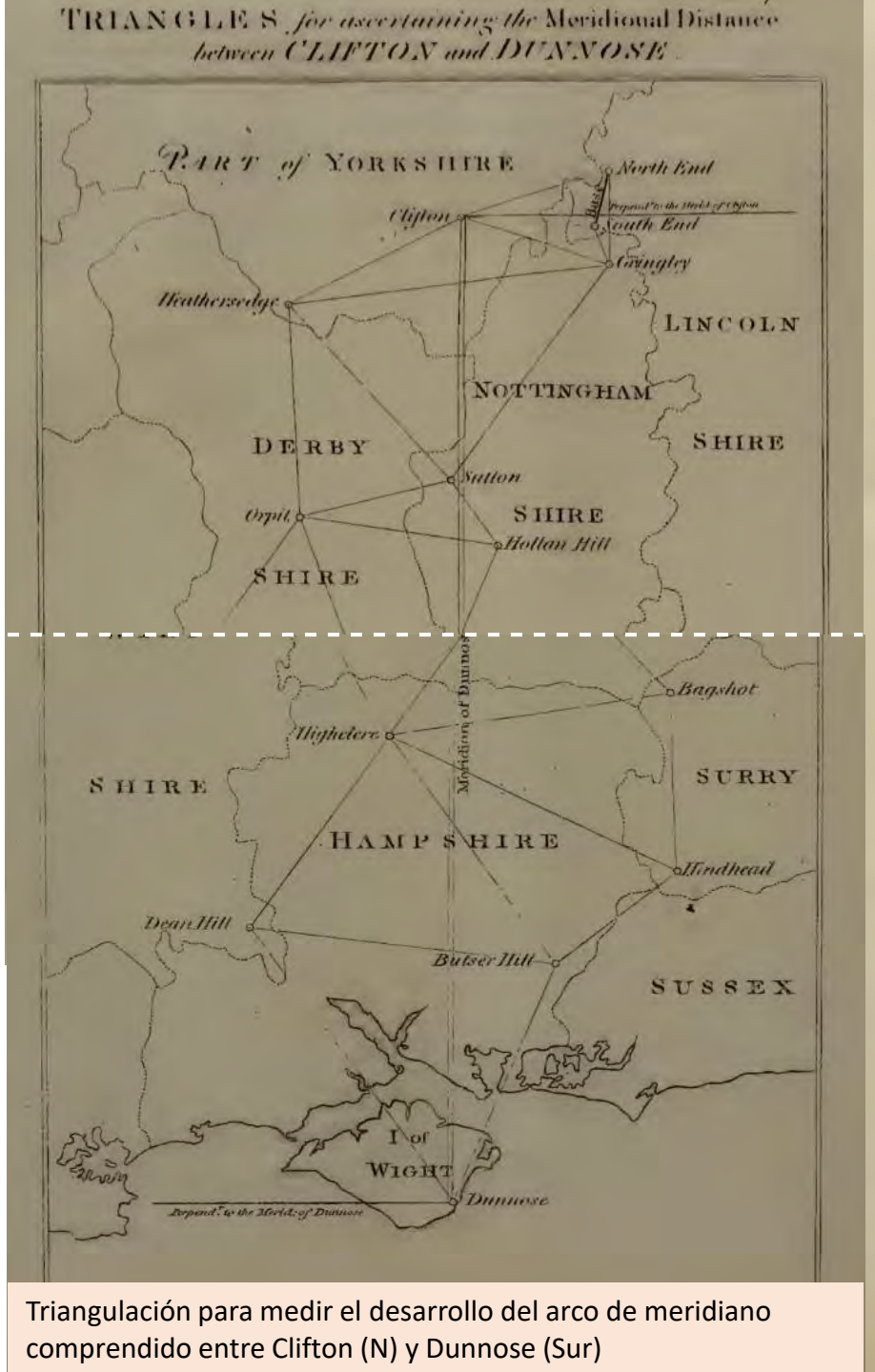


El Observatorio de Greenwich y las bases de Hounslow y Salisbury, en la triangulación de Gran Bretaña

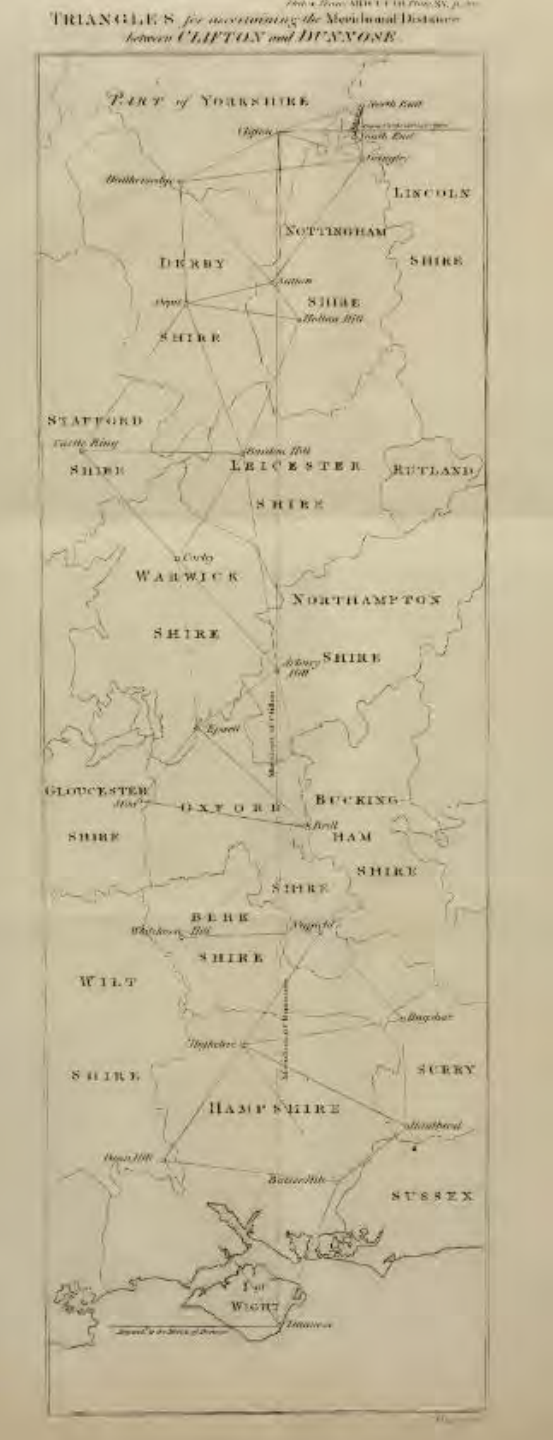
Downloaded from royalsocietypublishing.org/ on 17 January 2025

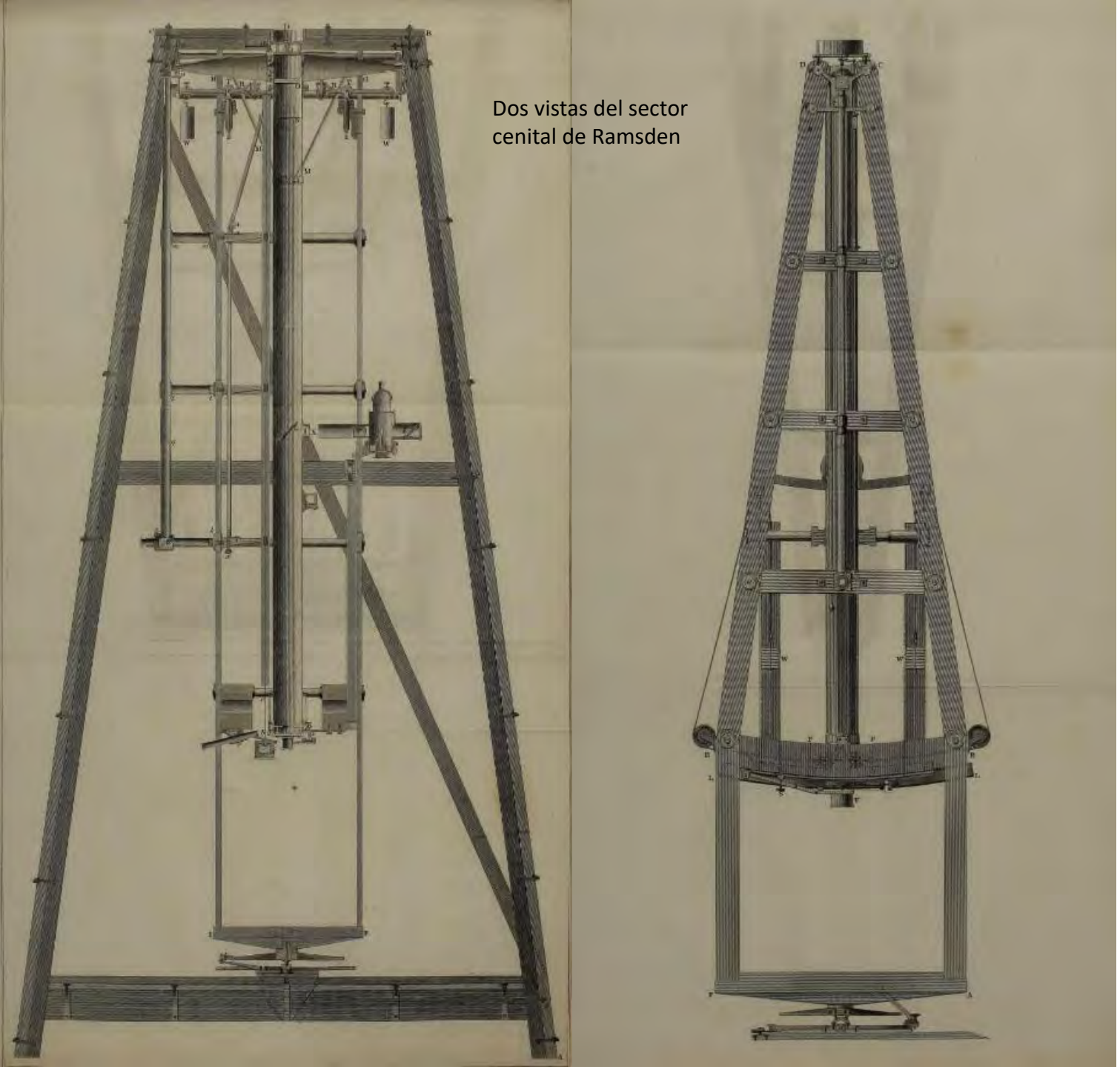
Ilustración del artículo *AN ACCOUNT OF THE TRIGONOMETRICAL SURVEY CARRIED ON IN THE YEARS 1791, 1792, 1793, AND 1794*. P.T. 1795

arco de meridiano comprendido entre Dunnose y Clifton (*An Account of the Measurement of an Arc of the Meridian, extending front Dunnose, in the Isle of Wight, Latitude 50º 37' 8", to Clifton, in Yorkslhire, Latitude 53º 27' 31", in course of the Operations carried on for the Trigonometrical Survey of England, in the Years 1800, 1801, and 1802. By Major William Mudge, of the Royal Artillery F. R. S. pp 383-508*). Con esa última operación, se incorporó el Mayor W. Mudge a la nómina de los geodestas que contribuyeron decisivamente a un mayor conocimiento de la forma y dimensiones de la Tierra, gracias a sus medidas de arcos de meridiano. El texto de su memoria lo dividió en dos Secciones, comenzando la primera con la descripción y puesta en estación del sector cenital especialmente construido para esa ocasión por J. Ramsden. Un instrumento astronómico con el que se medirían las distancias cenitales de una serie de estrellas para calcular, en función de ellas, las latitudes de los dos extremos del arco y



Triangulación para medir el desarrollo del arco de meridiano comprendido entre Clifton (N) y Dunnose (Sur)





Dos vistas del sector cenital de Ramsden

por tanto, la amplitud angular del mismo. En segundo lugar, se detalló la medida de una nueva base en Misterton Carr (1801), relacionando los valores de los ángulos de los triángulos que la enlazaron a la red principal. Se mencionó también la contrastación permanente de la cadena usada para medir las distancias con otra estándar. Acto seguido se procedió al cálculo de los lados de la red triangular extendida entre Dunnose, en la Isla de Wight, y Clifton, en Yorkshire; calculando de inmediato las longitudes de sus lados y por ende la distancia meridional que separaba a los dos extremos. Se procedió luego a la determinación de los acimutes, observando a la estrella polar en su máxima digresión, desde el vértice Gringley. Seguidamente se evaluó la distancia entre los paralelos de Greenwich y Dunnose. La segunda Sección trató en primer lugar de las observaciones astronómicas efectuadas en el vértice Dunnose con el sector cenital, entre los meses de mayo y junio

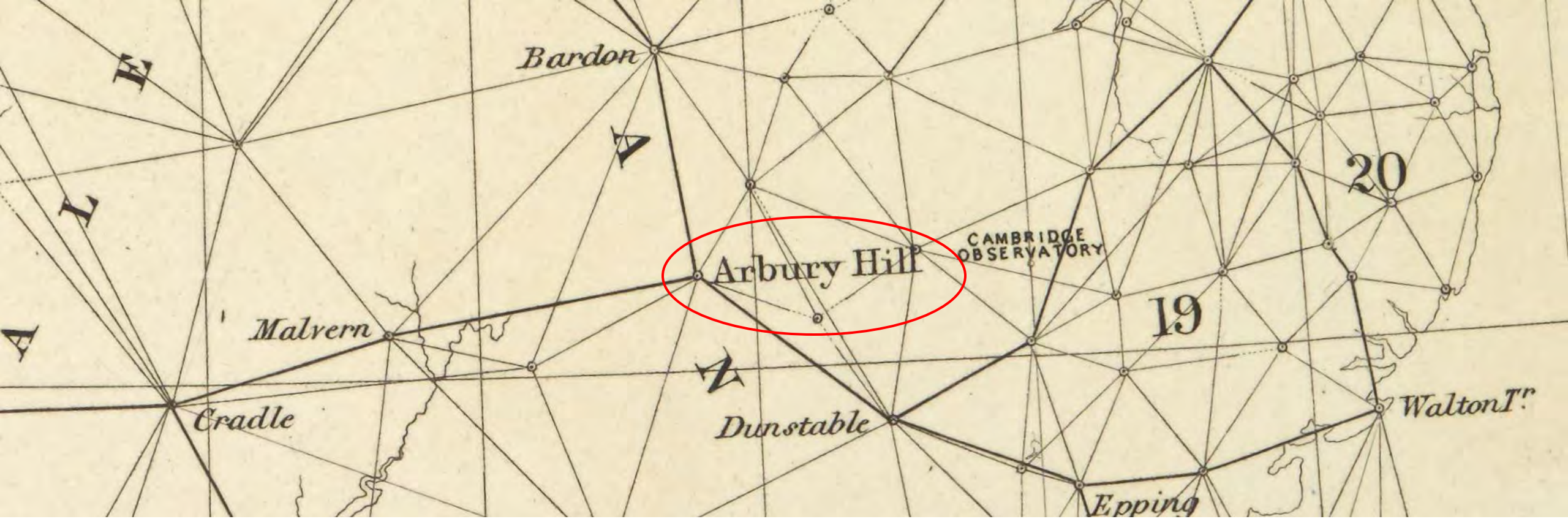
de 1802; observando diversas estrellas pertenecientes a las constelaciones del Dragón, Cisne, Osa, Hércules, etc. A continuación, se refirieron las observaciones análogas realizadas en un vértice próximo a Clifton, en los meses de julio y agosto de 1802; observando estrellas de las constelaciones del Dragón , Hércules y Perseo, entre otras. La siguiente observación que se detalló fue la que se hizo en el nuevo vértice localizado en la colina de Arbury, cerca de Daventry, durante los meses de septiembre y octubre de 1802; el instrumento empleado fue también el sector cenital de Ramsden, midiendo con él las distancias cenitales de estrellas pertenecientes a las constelaciones del Dragón, Cisna, Osa, Hércules y Perseo. Todas las observaciones anteriores fueron reducidas al primero de enero de 1802, teniendo en cuenta las correcciones por aberración, nutación, ecuación solar semi anual, precesión y refracción; ajustando así los valores de as distancias cenitales observadas. En función de tales distancias cenitales se fueron calculando las amplitudes angulares parciales de segmentos del arco, para promediar después los resultados obtenidos con las diferentes estrellas. Obtenidas tales amplitudes se procedió al cálculo de los desarrollos lineales correspondientes a los segmentos anteriores. La Memoria incluyó interesantes anexos, en los que se indicaban los nombres de cada unos de los vértices de la triangulación, concretando sus coordenadas cartesianas con relación al meridiano y al primer vertical, así como los acimuts de los lados correspondientes. En la conclusión final se fijó la amplitud angular

Arc between Dunnose and Clifton.

		°	′	″
	β Draconis	2	50	23,08
	γ ———			23,27
45	d ———			24,75
46	c ———			22,69
51	———			22,17
16	———			24,51
	μ ———			21,10
	ζ Ursæ			25,29
	γ ——			22,70
	η ——			24,05
1	ϰ Cygni			23,18
10	ι ——			22,90
85	ι Herculis			23,03
	υ ———			23,56
52	———			24,17
22	τ ———			24,19
	Capella			22,78
Mean amplitude		2	50	23,38

Un fathom equivale a seis pies ≈ 1.8288 m

Arcs.	Feet.
1. Dunnose and Clifton	1036337
2. Dunnose and Arbury Hill	586320
3. Arbury Hill and Clifton	450017
4. Dunnose and Greenwich	313696
5. Greenwich and Clifton	722641
6. Arbury Hill and Greenwich	272624
7. Dunnose and Blenheim	446498
8. Blenheim and Clifton	589839



del arco 2º 50´18´´ y el desarrollo lineal del mismo 1036337 pies. Se indicó, asimismo, el valor de 60820 fathons, como desarrollo del grado en el paralelo de latitud 52º 2´20´´ y el de 60864 fathons para la latitud media de 51º 35´18´´; resultados nada acordes con el aplastamiento polar de la Tierra, una circunstancia que fue observada por Mudge: «The length of the degree at the middie point (51° 35’ 18”) between the southern extremity of the arc and Arbury Hill, is 60864 fathoms; which is greater than the above, and exceeds it by 44, fathoms. But this degree, admitting the earth to be an ellipsoid, with the ratio of its axes as 229 to 290, should be about 10 fathoms less. If the measurement of the terrestrial arc be sufficiently correct, and the earth of an elliptical form in these latitudes, either the arcs affording the deductions are incorrect, or some material deflection of the plumb-line has taken place, at One or two stations, from the effect of attraction».

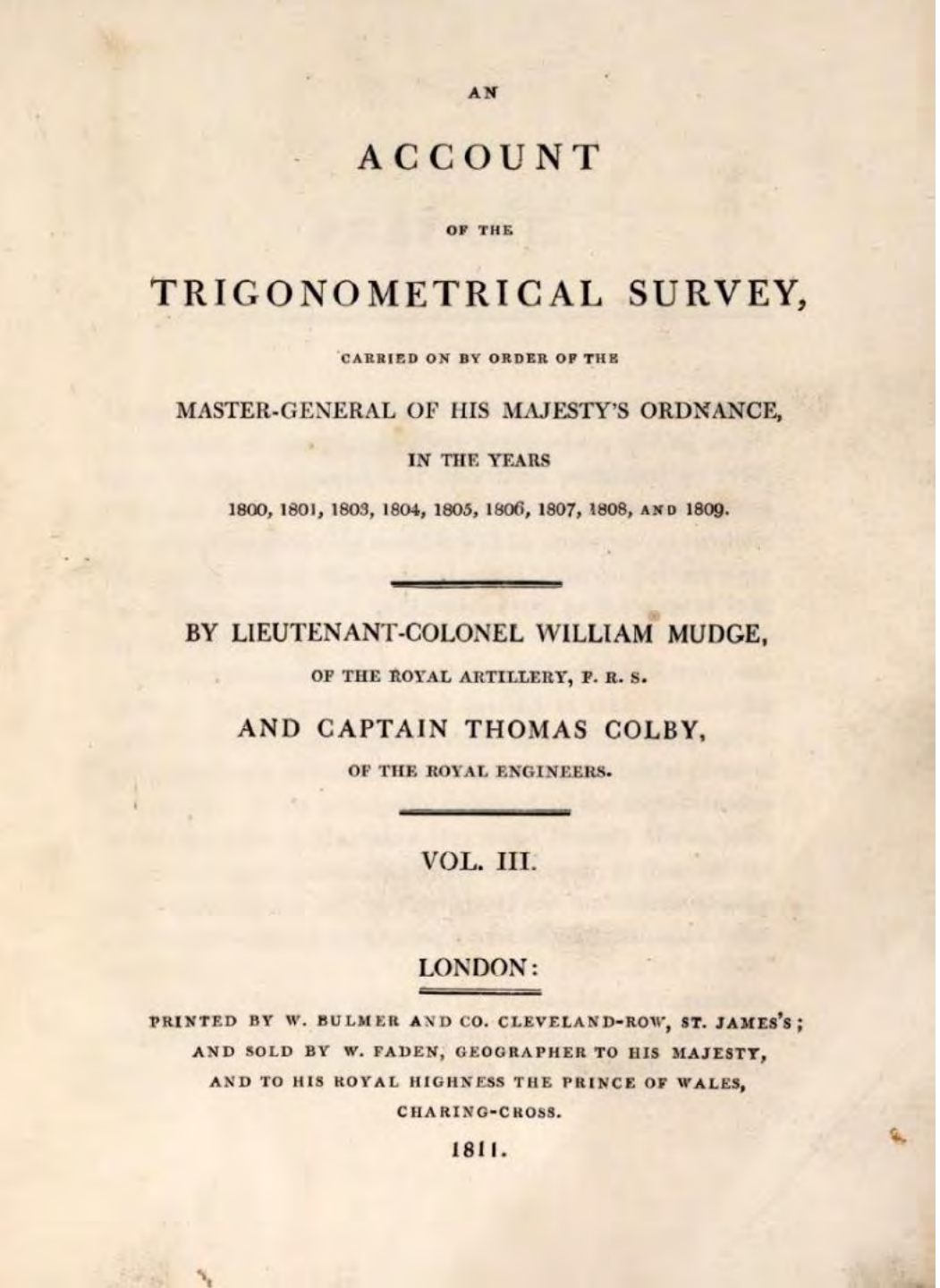
Vértice geodésico en el globo cruciforme de la Catedral de San Pablo (Londres)

La irregularidad en los cálculos de W. Mudge fue estudiada, con espíritu crítico por el sabio gallego José Rodríguez González, cuyo estudio fue presentado ante la Royal Society con el título: *Observations on the Measurements of three Degrees of the Meridian conducted in England by Lieut.- Col. William Mudge. By Don Joseph Rodríguez* (1812, pp: 321-351) ; el cual fue leído ante dicha Sociedad por su amigo José Mendoza Ríos el 4 de junio de dicho año. J. Rodríguez calculó la amplitud angular del arco tomando como dato de partida las longitudes de las bases y los ángulos horizontales observados, resultando un valor de 2º 50´21”.97. Al analizar por separado las estimaciones de dos partes del arco, a uno y otro lado de la estación central de Arbury Hill, dedujo que en ella se produjeron errores de 5’’ al observar las estrellas, a pesar de la bondad de los instrumentos, y la habilidad y esmero del observador. ¿Cuál era pues la explicación más adecuada? Tanto Dalby como Mudge apuntaron en la dirección correcta cuando reflexionaron acerca de las desviaciones de la vertical y de las conocidas irregularidades de la Tierra. Ello no debe entenderse en modo alguno en detrimento del gran geodesta pontevedrés, puesto que con aquel estado de conocimiento no podía encontrarse una respuesta realmente convincente. Las líneas maestras de la solución definitiva no se marcaron hasta divulgarse las novedosas y geniales ideas de Gauss, llevadas a la práctica por F. R. Helmert, J. F. Hayford y T. N. Krasovsky, ya en pleno siglo XX. El lector interesado en

ese último artículo, puede consultar su traducción al español: Una comunicación de J. Mendoza y Ríos a la Royal Society en junio de 1812 dando cuenta de un estudio geodésico realizado por J.Rodríguez, publicado por *Biblio3W* Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales (Vol. 10. 7.08.2007) Universidad de Barcelona.

El globo y la cruz de la Catedral de San Pablo (Londres), sobre ella se colocó el vértice geodésico más singular de la red inglesa.

W. Mudge continuó informando acerca del progreso de la triangulación, publicando en 1811 la Memoria: *An Account of the trigonometrical Survey, carried on by order of the Master- General of his Majesty´s Ordnance, on the yeras 1800, 1801, 1802, 1804, 1805, 1806, 1807, 1808 y 1809*; la cual fue firmada por él mismo, como teniente Coronel de Artillería y por T. Colby, Capitán de los Ingenieros reales. A esas alturas del siglo XIX, ya estaba triangulada casi toda Inglaterra, la totalidad de Gales y parte de



AN

ACCOUNT

OF THE

TRIGONOMETRICAL SURVEY,

CARRIED ON BY ORDER OF THE

MASTER-GENERAL OF HIS MAJESTY'S ORDNANCE,

IN THE YEARS

1800, 1801, 1803, 1804, 1805, 1806, 1807, 1808, AND 1809.

BY LIEUTENANT-COLONEL WILLIAM MUDGE,

OF THE ROYAL ARTILLERY, F. R. S.

AND CAPTAIN THOMAS COLBY,

OF THE ROYAL ENGINEERS.

VOL. III.

LONDON:

PRINTED BY W. BULMER AND CO. CLEVELAND-ROW, ST. JAMES'S;

AND SOLD BY W. FADEN, GEOGRAPHER TO HIS MAJESTY,

AND TO HIS ROYAL HIGHNESS THE PRINCE OF WALES,

CHARING-CROSS.

1811.

Escocia. El contenido de la Memorias lo presidió una prolongada introducción en la que se detalló la secuencia temporal de las operaciones, presentado los numerosos datos obtenidos en forma de tablas, estructuradas en seis secciones. En la primera se mostraron los ángulos de los triángulos principales observados en esos años, además de los ángulos de elevación o de depresión en otros vértices; de todos los cuales se detalló su situación expresa. La segunda sección trató de la medida de una nueva base en el año 1806, sobre Rbudland Marsh, indicando su triangulación de enlace con la principal, así como los cálculos de los lados de los triángulos de la red general; desde el lado Baw Brickhill-Lilley hasta el sur de Escocia. En la sección tercera se expusieron los cálculos de los triángulos secundarios, formados para localizar Torres de Iglesias, Faros y otros emplazamientos destacados, a partir de los triángulos principales. La sección cuarta se dedicó fundamentalmente a las observaciones de los vértices del resto del territorio y a indicar las altitudes de todos ellos. La sección quinta se centró en las observaciones astronómicas, referidas a la determinación de las distancias cenitales de una serie de estrellas, en diferentes vértices de la triangulación; obteniendo después las amplitudes angulares de algunos arcos entre ciertos vértices. Finalmente, en la sección

sexta, se listaron las coordenadas geográficas, latitud y longitud , de cinco vértices principales, además de los acimutes y distancias de los detalles secundarios ya citados; culminó esta sección con otra relación alfabética de tales coordenadas para todos los vértices principales, junto a varias espadañas de Iglesias, Faros y otros objetos.

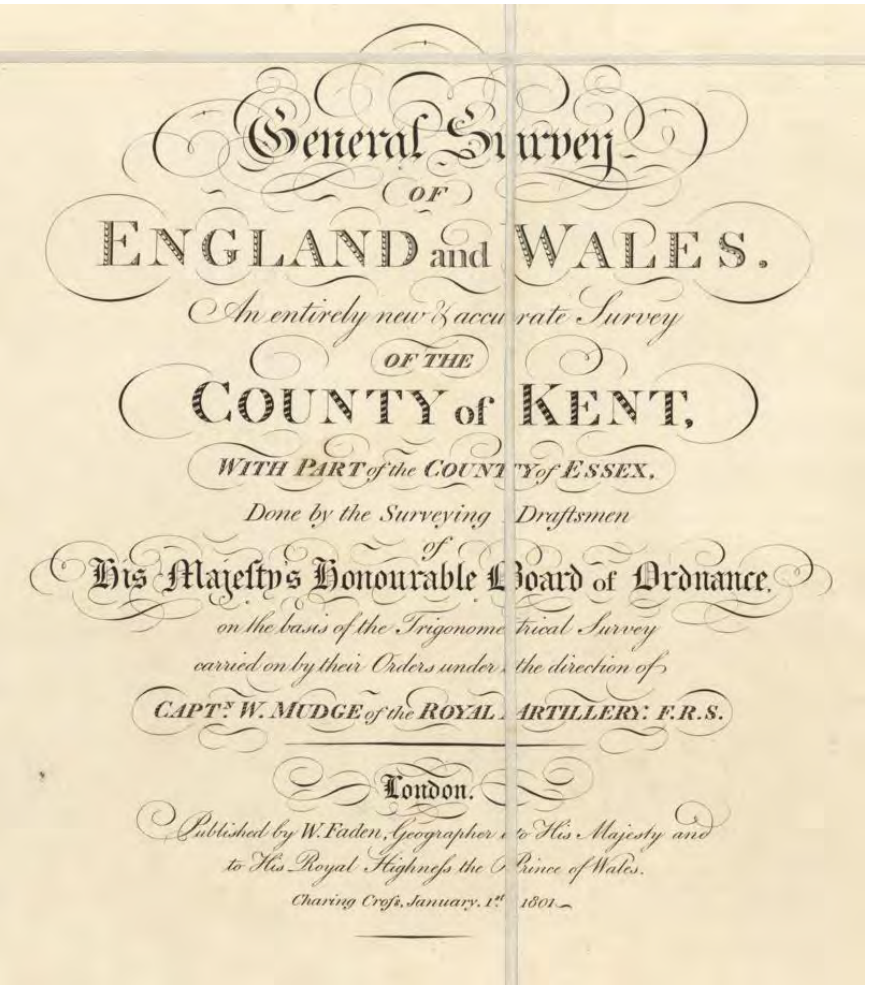
ART. V. *An Alphabetical List of the Latitudes and Longitudes of the principal Stations, together with several Church Steeples, Lighthouses, and other remarkable Objects.*

Names of Stations and Objects.	Latitude.	Longitude from Greenwich.	Names of Stations and Objects.	Latitude.	Longitude from Greenwich.
	° ′ ″	° ′ ″		° ′ ″	° ′ ″
Abergele Steeple -	53 17 10	3 34 13 W	Anstruther, East, Spire	56 13 40	2 41 24 W
Abbotsbury Signal Staff	50 40 30	2 36 54 W	ARRAN FOWWDDY	52 47 15	3 40 27 W
ABERYSTWITH			ARRENNIG -	52 55 3	3 43 55 W
STATION -	52 25 49	4 3 19 W	Asaph, St. Cathedral	53 15 28	3 25 44 W
Air Point, Lighthouse	53 21 28	3 18 35 W	ASHLEY HEATH -	52 55 10	2 22 13 W
Alban's, St. (St. Peter's			-shurst Beacon -	53 33 59	2 44 40 W
Steeple) -	50 45 19	0 19 31 W	Ashwater -	50 44 5	4 16 20 W
ALNWICK MOOR -	55 25 12	1 45 35 W	Ashwell Spire -	52 2 32	0 9 23 W
Alresford Steeple -	51 5 27	1 9 21 W	Aspley Steeple -	52 0 59	0 37 29 W
Alton Spire -	51 9 5	0 58 17 W	Atherington Steeple -	50 59 26	3 59 40 W
Amlwch Steeple -	53 23 0	4 19 17 W	Aughton Spire -	53 32 34	2 54 31 W
Andover Steeple -	51 12 39	1 28 19 W	AXEDGE -	53 14 0	1 56 27 W
Annan Spire -	54 59 23	3 14 45 W	Axholme Steeple -	53 29 27	0 50 40 W
ANN'S, ST. HILL, *Pem.*	51 41 39	5 8 53 W	Aylesbury Steeple -	51 49 3	0 48 41 W
Ann's St. Summer House	50 18 28	5 11 53 W	Ayre's Summer House	51 1 24	1 41 27 W
Ann's St. Lighthouse	51 40 59	5 9 19 W	BAGBOROUGH -	51 6 36	3 10 54 W
Anstey, East Steeple	51 1 38	3 36 15 W	Baldock Telegraph -	51 58 36	0 10 35 W
Anstey, West Steeple	51 2 51	3 36 44 W	BALSHAM NEW STA-		
Anstruther, West, Spire	56 13 33	2 41 37 W	TION - -	52 9 27	0 18 56 E

La actividad cartográfica de Mudge discurrió en paralelo a la geodésica y topográfica, ya que puntualmente se iban enviando a la Torre de Londres, entonces sede del Ordanance Survey, los datos necesarios para que se fuesen formando los primeros mapas del territorio. En 1799 ya se habían hecho los trabajos topográficos necesarios en la zona limitada por la Costa sur, Coventry y Gloucestershire. De modo que el 1 de enero de 1801 se publicó el primer mapa de Kent, un segundo mapa, de Essex, se publicó en 1805 y un tercero, de Devon, en 1809. El primer mapa, a escala de una pulgada por milla : *An entirely new & accurate Survey of the County of Kent, with part of the Counnty of Essex*; añadía en su cartela que se había apoyado en el levantamiento trigonométrico realizado bajo las órdenes y dirección del Capitán W. Mudge de la Artillería Real y F.R.S. (Fellowship of the Royal Society). El mapa es de muy bella factura, sumamente detallado por la gran información planimétrica que aporta (parcelario aparente, vías de comunicación, hidrografía, núcleos urbanos y masas boscosas), convenientemente identificada mediante topónimos bien jerarquizados (en itálica y romanilla); se complementa con una buena simulación del relieve mediante el sistema de normales y una cuidada representación de la boca del Támesis y del resto del litoral costero. El cuadro del mapa se

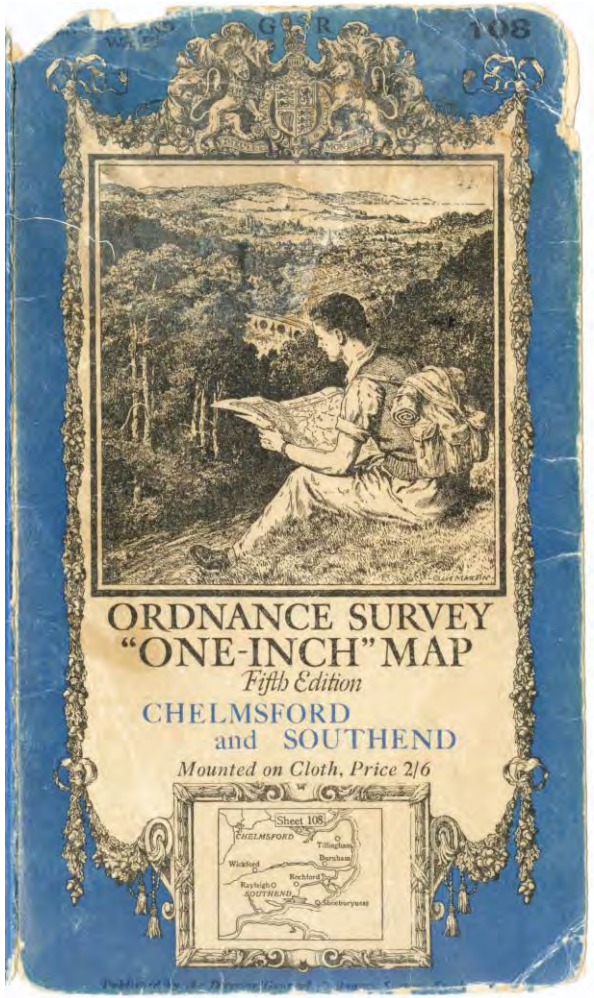
General Survey
OF
ENGLAND and WALES.
An entirely new & accurate Survey
OF THE
COUNTY OF KENT.
WITH PARTS of the COUNTY of ESSEX.
Done by the Surveying Draftsmen
of
His Majesty's Honourable Board of Ordnance
under the Direction of the Topographical Survey
carried on by their Authority, the Direction of
CAPT. W. MUDGE of the ROYAL ARTILLERY, F.R.S.
London
Published by the Proprietors of the Map, by Authority
of His Royal Highness the Duke of York
Dedicated
To
The Most Noble
CHARLES Marquis CORNWALLIS
and the rest of the Principal
Officers of His Majesty's Ordnance
THIS MAP
is respectfully Dedicated by
their most Obedient &
faithful Servant
W. MUDGE.
RIVER THAMES
THE FLATS
SURREY
SUSSEX
STRAITS OF DOVER

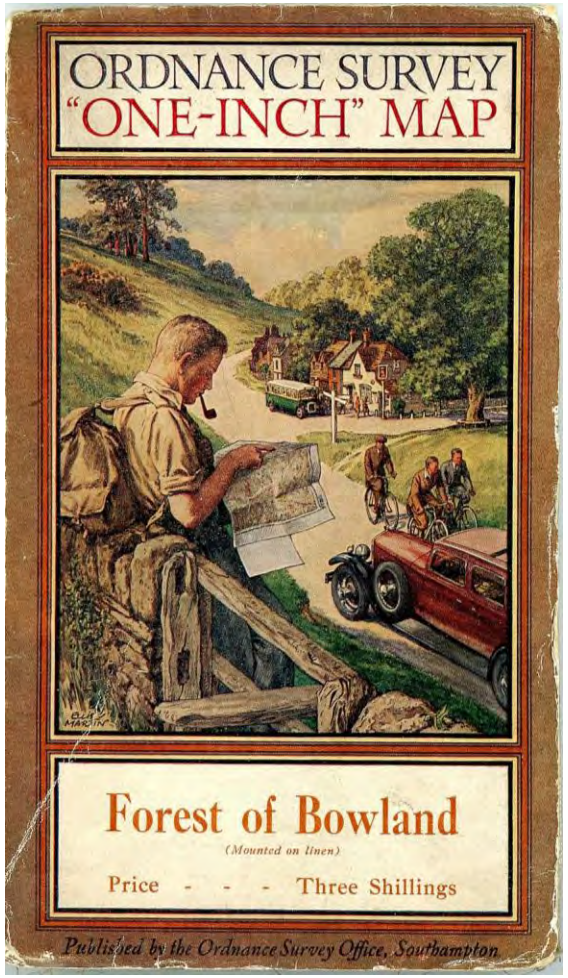
ilumina a ambos lados con una magnífica cartela y con la dedicatoria al Marqués de Cornwallis y al resto de oficiales del *Ordnance Survey*.

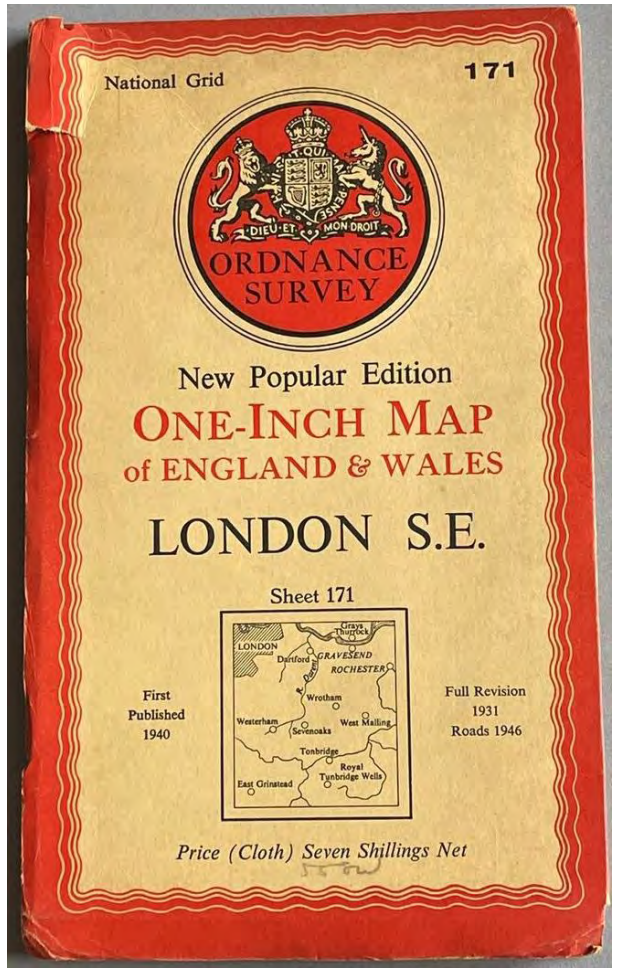


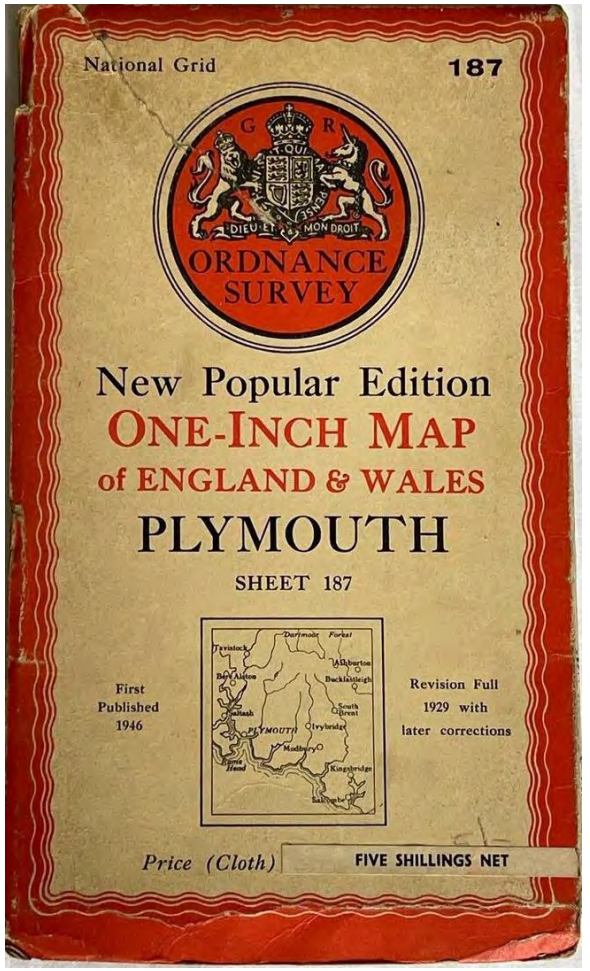
W. Mudge venía dirigiendo el *Ordnance Survey* desde el año 1798, en el que falleció E. Williams. La gran cantidad de trabajo previsto, le obligó a contratar los servicios de T. Colby, fiel colaborador suyo en todos los levantamientos que se efectuaron por el norte de Inglaterra, Gales y Escocia; hasta llegar a las Islas Orcadas y Shetland. Su buena labor al frente de ese centro fue reconocida de inmediato, ya que en ese año fue elegido miembro de la *Royal Society*. En los

años siguientes siguió la misma tónica: en 1809 fue nombrado teniente Gobernador de la Academia Militar de Woolwich y examinador del Seminario Militar de Addiscombe, asegurándose que el estudio de la Topografía formase parte del plan de estudios seguido en ambas instituciones; en 1813 ascendió a Coronel y en 1817 fue hecho Doctor Honoris Causa por la Universidad de Edimbrgo; en 1818 fue comisionado en la nueva Oficina de la Longitud; en 1819, cuando se comenzó el levantamiento topográfico de Escocia, fue ascendido a General.









La equivalencia métrica de la escala de los mapas anteriores es del orden de 1/63360

Jerónimo Muñoz (ca.1540-1591)

Astrónomo, ingeniero matemático valenciano que observó y estudió la nueva estrella aparecida en el año 1572, la que luego sería identificada como supernova SN1572, y al que se le atribuye la formación de un Mapa del Reino de valencia, en el que debió basarse A. Ortelius para representarlo en su célebre *Theatrum Orbis Terrarum*. La Real Academia de la Historia publicó una amplia y brillante reseña de la vida y obra de Jerónimo Muñoz, firmada por el ilustre profesor Victor Navarro Brotons; a ella se remiten a los que quieran ampliar los comentarios siguientes, apoyados casi siempre en los del referido profesor. J. Muñoz se graduó de bachiller en Valencia (1537), viajando después a Europa para ampliar sus conocimientos cosmográficos. En su transcurso recibió las enseñanzas de O. Finé y de G. Frisius, aunque también las diese él de hebreo en la Universidad de Ancona, mientras estuvo en Italia. Cuando volvió a Valencia continuó con sus clases de hebreo, al ser nombrado catedrático de esa lengua (1563) en el Estudi general valenciano; dos años más tarde se le unió la cátedra de matemáticas. No obstante, la posibilidad de incrementar su

Víctor Navarro Brotons

salario hizo que, en el año 1578, aceptara la invitación formulada por La Universidad de Salamanca, en la que acabaría ocupando la cátedra de astronomía y matemáticas (1579 -1592).

Bóveda celeste de la Universidad de Salamanca, pintada por Fernando Gallego, entre 1480 y 1493.

Sus enseñanzas se centraron básicamente las matemáticas aplicadas a cuestiones afines: astronomía, navegación, geografía, topografía y cartografía, por citar algunas de las más relevantes; y lo hizo con tanto rigor que, en palabras de V. Brotons, «estaban al nivel de las que se impartían en las mejores universidades de la Europa de su época». Sus conocimientos cosmológicos fueron tales que determinó las latitudes astronómicas de diferentes lugares, usándolas probablemente como armazón de futuros levantamientos topográficos. Siguiendo de nuevo a Brotons, no es aventurado suponer que usara en ellos la todavía novedosa triangulación, cuyas bases le enseñaría G. Frisius (como alumno que fue de J. Deventer, pionero de la misma); llegando a aplicarla en la comarca valenciana de la misma. También parece verosímil que el mapa más antiguo del Reino de Valencia se formase a partir de la información geográfica proporcionada por J. Muñoz; dicho mapa sería

Occidens.
39
40
CASTELLAE PARS
MVRCIAE PARS
ARRAGONIÆ PARS
Cum priuilegio ad decennium. 1582.
Murcia
Orihuella
Rodoua
Callosa
Almoradi
Lodoua
Cox
Granna
Albatera
Hoyales
Crauellent
Caffra
Alpe
Aspe
Monforte
Elche
Elda
Petrer
Sierra del Cal.
Monanat
Salinas
Casas de costa
Caudet
Font de la figuera
Mocente
Villena
Almansa
Insula Valentiæ in Castellæ regione
Cohentes
Xalance
Caudete
Los Virtu
La Requena
Xara
Xarafuel
Ayora
Teresa
Cortes
Gaiata
Lamola
Bocairent
Benicolet
Benifayo
Villa ves
Quesa
Enguera
Navarres
Vallbona
Sumacarcel
Cote
Montera
Anna
Gata
Sieta
Chiua
Estrela
Turis
Goteda
Gorteliano
Villanoua de chant
Illiria
Benisano
Bolla
Portacals
Lolman
Alcudes
Villar
Pedralua
Dumas fin.
Gortelsal
Andilla
Bexit
Pego
Denia
Xabea
Calpe
Altea
Benidorm
Alfaz
Tiuri
Alfuenta
Iosa
Maiela
Eltoro
Domeño
Xelua
Callera
Tuexa
Sarrian
Puebla de Valuer de
Mollanero
Aliumtoja
Nora
Iaquera
Borriana
Alcala
Ruuielos
Guiar
Villarroja
Cedrillas
Alcalat
Monagudo
Allepuz
Fortanet
Cueuas
Fronjon
Holocan
Bordon
Castellfeg
Torre sanjuse
Septentrio.
Meridies.
Illicitanus Sinus. Portus Illicitanus
Suronensis Sinus
Artemisium, siue Dianium prom. quod et Hemeroscopium, et Ferraria.
VALENTIAE REGNI, olim CONTESTANORVM SI PTOLEMAEO, EDETANORVM SI PLINIO CREDIMVS TYPVS.
MARIS MEDI
TERRANEI PARS.
ARRAGONIAE ORA
Scala leucarum Hispanicarum
1 2 3 4 5 6 7 8 9
39
Oriens.
40

Cartela del Mapa del Reino de Valencia (1584). *Theatrum Orbis Terrarum*

reproducido en la colección del Teatro confeccionado por el cartógrafo de Amberes, Abraham Ortelius. El mapa es una sencilla planimetría en la que se incluyeron las imágenes de los ríos y la de las albuferas, así como las de todas sus localidades, simbolizadas con una o varias torres, dependiendo de su entidad. Figuran también los límites con los reinos periféricos, dibujados con línea discontinua. La escala gráfica lleva un pitipié de nueve leguas hispánicas, en la esquina inferior izquierda. La rotulación fue mayoritariamente itálica. En cuanto a su orientación: sitúa el oeste en el lado superior, el este en el inferior, el norte en el lado derecho y el sur en el izquierdo. Lo más llamativo de ese cuadro rectangular es su cartela de estilo barroco, que rodea el título: *Valentiae Regni, olim contestatorum si Ptolemae, edetanorum si Plinio credimus typus*, el cual recuerda la Edetania romana citada por Plinio. En todo caso, la referencia más concreta al conocimiento cosmológico de J. Muñoz se encuentra en su obra *Astrologicarum et Geographicarum Institutionum libri sex*; comentada con todo detalle en el libro *Matemática, Cosmología y Humanismo en la España del siglo XVI, los comentarios al segundo libro de la Historia Natural de Plinio de Jerónimo Muñoz* (V. Navarro Brotons y E. Rodríguez Galdeano. Universidad de Valencia- CSIC.1998). Es evidente que la posición de Muñoz le permitiría acceder a la Cosmografía de Tolomeo e incluso a las lecciones cartográficas que preparó Nebrija, apoyándose en ella. En la primera obra citada se explicaba el modo de construir un globo terráqueo por medio de husos e incluso la posibilidad de representarlo sobre un plano, empleando para ello cualquiera de los sistemas cartográficos previstos

por el sabio alejandrino Incluso llegó a dibujar un mapa de la Península Ibérica, que recuerda la imagen que presentaba en los mapas supuestamente atribuidos a aquel. En ese manuscrito se incluyen comentarios geodésicos refrentes a las coordenadas geográficas, a la triangulación y al tamaño de la Tierra. La latitud proponía obtenerla por alturas de la estrella polar o del Sol, procedimientos que usó para obtener las de muchas ciudades; considerando que la determinación de la longitud entrañaba mayor dificultad, citando el método de los eclipses de Luna o el del transporte de reloj, sugerido por G. Frisius. De notable interés es la información que incluyó referente a la triangulación que le enseñó aquel, comentando como él mismo la usó en Valencia para enlazar, con los correspondientes triángulos, los vértices siguientes: Torre del Miguelete, Ermita de la Concepción, Moncada, Puig, Puzol, Alboraya y el Grao. A propósito de las dimensiones del globo terráqueo, aseguraba Muñoz que, por su propia experiencia, en los itinerarios terrestres 1º correspondería a 68000 pasos o a 17 leguas, por lo que el perímetro de la circunferencia meridiana sería de 6120 leguas o 2448000 pasos (resultando un radio de tan solo 4013 km).

Mapa de la Península Ibérica. J. Muñoz.

Astrologicarum et Geographicarum Institutionum libri sex

La fama adquirida por J. Muñoz en el desempeño de sus funciones, en las cátedras de hebreo y matemáticas en la Universidad de Valencia, fue tan notoria y creciente que en

el año 1567 ya fue nombrado astrónomo real. Sin embargo, fuera de España adquirió su mayor prestigio a partir del año 1572, pues a finales del mismo apareció una nueva luminaria en el cielo; llamada a revolucionar la historia del conocimiento, en tanto que resultó cuestionada la doctrina aristotélica de la inmutabilidad celeste. El astro en cuestión, observado por Tycho Brahe el 11 de noviembre, sería catalogado en el siglo XX como una supernova (SN1572), cuyos restos aún son visibles en el espacio profundo. Muñoz fue también uno de los privilegiados que tuvo la oportunidad de divisar y estudiar tan sorprendente fenómeno, despertando tanto interés sus informes, que el rey Felipe II le encargó que diese cuenta de los mismos por escrito. El título elegido para la Memoria fue el siguiente: *Libro del nuevo Cometa, y del lugar donde se hace y como se verá por las paralajes cuan lejos están de tierra y del pronóstico de este; compuesto por el Maestro Hieronimo Muñoz Valenciano, Catedrático de Hebreo y Matemáticas en la Universidad de Valencia* (1573). La dedicatoria al Rey se integró en el prólogo del libro, cuyo contenido se estructuró en los capítulos y anexos que se relacionan a continuación: I) De la variedad y géneros de las estrellas; II) De la aparición del Cometa y descripción del; III) De la latitud y longitud aparente del Cometa; IV) De los verdaderos lugares aparentes de lo que se ve sobre la Tierra, y de la Paralaje, V) en que se prueba que la estrella que aparece en el cielo, no es estrella fija, ni planeta sino

Tycho Brahe observando la supernova, junto a la constelación de Casiopea. *Astronomie Populaire* de Camille Flammarion. Paris.1884

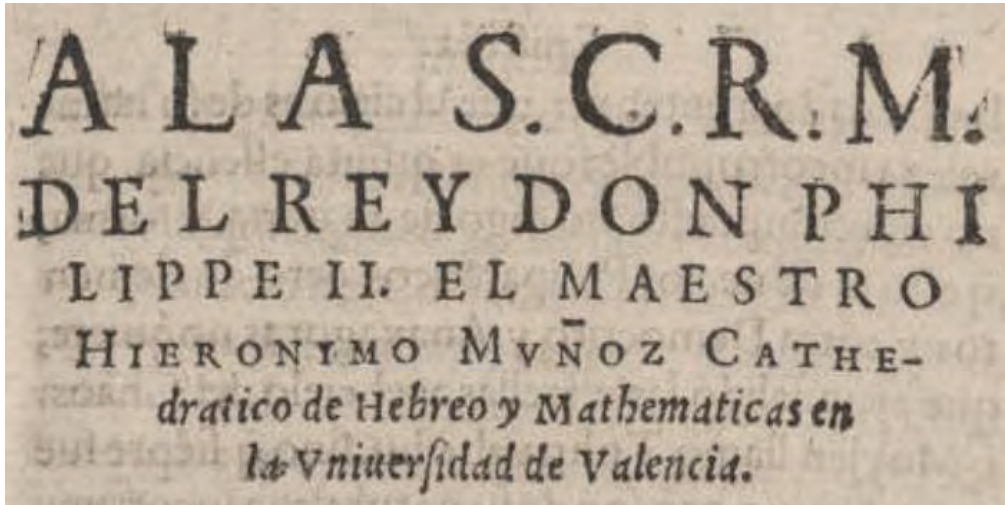
Libro del nueuo Co
META, Y DEL LV-
gar donde se hazẽ; y como se vera por las
Parallaxes quan lexos estan de tier-
ra; y del Prognostico deste:
Compuesto por el Maestro Hieronymo Muñoz
Valenciano, Cathedratico de Hebreo y Mathe-
maticas en la Vniuersidad de Valencia.

EN VALENTIA,

Impresso con licencia, en la officina de Pedro

Cometa; VI) De los géneros y formas de cometas, y que no es alguno de los que escribe Plinio, ni Albumazar; VII) Del lugar donde se hacen los Cometas según los Peripatéticos; VIII) Que los Cometas que duran mucho, y tienen notable movimiento, no se hacen en el aire; IX) Como halló Tolomeo la latitud de la Luna, y la paralaje de ella; X) Como se concluirá la distancia de la Luna hasta el centro de la Tierra, hallada la paralaje, y más cuan grande paralaje tendrá en el horizonte, y de otras cosas importantes; XI) Como se han de hallar las paralajes, sin presuponer los lugares verdaderos de los fenómenos, que dan la vuelta sobre tierra, XII) Que nuestro Cometa no tiene paralaje, y de la grandeza del; XIII) Como se hallará la Paralaje en los fenómenos que suben sobre la tierra y bajan; XIV) Como se ha de hallar la verdadera declinación del fenómeno que tiene Paralaje y su latitud verdadera, y longitud de las tierras; XV) Que el cielo y estrellas no son quinta esencia, sino que tiene deudo y parentesco con los elementos, y de los efectos generales de los Cometas.

Anexos: 1) Pronóstico de las llamas y fuego que corre en el aire, y de los cometas, 2) Pronóstico de este nuevo cometa; 3) De lo que aconteció después del cometa que apareció en el año 1556.



A LA S.C.R.M.
DEL REY DON PHI
LIPPE II. EL MAESTRO
HIERONYMO MVÑOZ CATHE-
dratico de Hebreo y Mathematicas en
la Vniuersidad de Valencia.

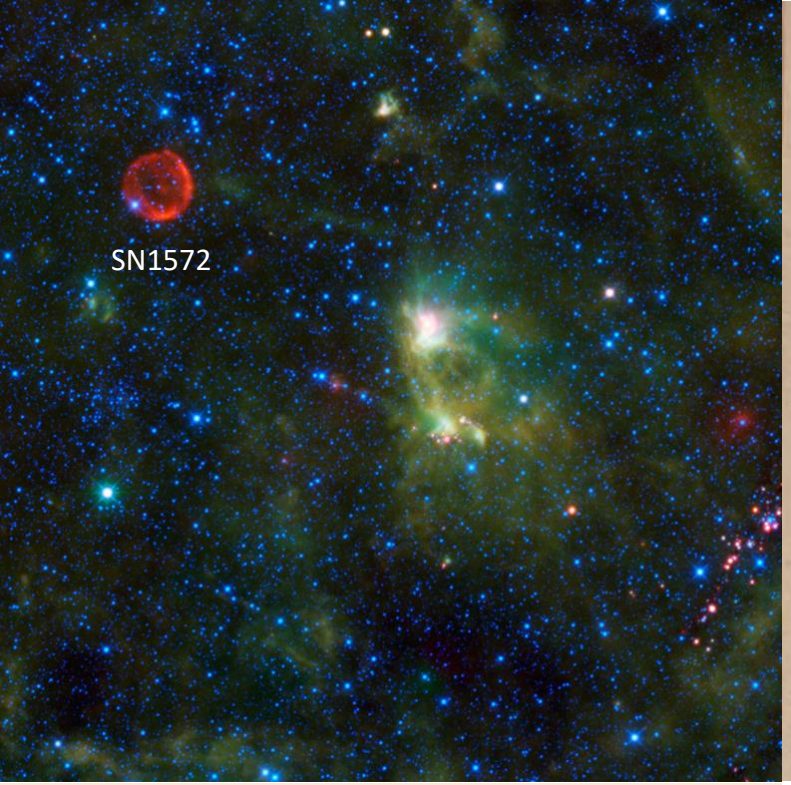
El éxito del libro fue tal, que al año siguiente fue traducido al francés por el poeta Guy le Fèvre de la Boderie: *Traicté du nouveau comète et du lieu où ils se font, et comme il se verra par les parallaxes combien ils sont loing de la terre, et du pronostic d'iceluy, composé premièrement en espagnol par M. Hiéronyme Mugnoz, et depuis traduict en françoys par Guy Le Fèvre de La Boderie, plus un Cantique sur la dicte estoille ou apparence lumineuse, Paris, chez Martin Le Jeune, ruë Sainct Jean de Latran, à l'enseigne du Serpent, M. D. LXXIIII*. Muñoz ya adelantaba en su dedicatoria (prólogo) al Rey las dudas que existían sobre si se trataba realmente de una estrella o de un cometa, por no saber si se encontraba en el aire o en el cielo. Todas ellas las achacaba el autor a Aristóteles, por haberles dado a entender «que el cielo es de su naturaleza incorruptible, que es quinta esencia, que no está compuesto, no digo de materia y forma, que esto es de necios Peripatéticos, pero de elementos». Su crítica a Aristóteles fue manifiesta, señalando que al ser astrónomo no podía entender la doctrina de los Caldeos y Egipcios, perseverando por tanto en la eternidad de los cielos y en que los Cometas se encontraban en el aire. Tras enumerar una serie de razones que avalaban su postura, concluyó J. Muños afirmando: «he entendido, que es falso lo que dice, que es común opinión de todas las gentes que nunca ha habido en el cielo mudanza alguna, por lo cual los hace eternos. Y pues que hay en ellos mudanza, y en ellos se encienden los cometas, he sido forzado por razones naturales y demostraciones geométricas conceder que hay en el cielo corrupción e incendios».

TRAICTE' DV
NOVVEAV COMETE, ET DV LIEV
OV ILS SE FONT, ET COMME IL SE
verra par les Parallaxes combien ils sont loing
de la terre, & du Pronostic d'iceluy.

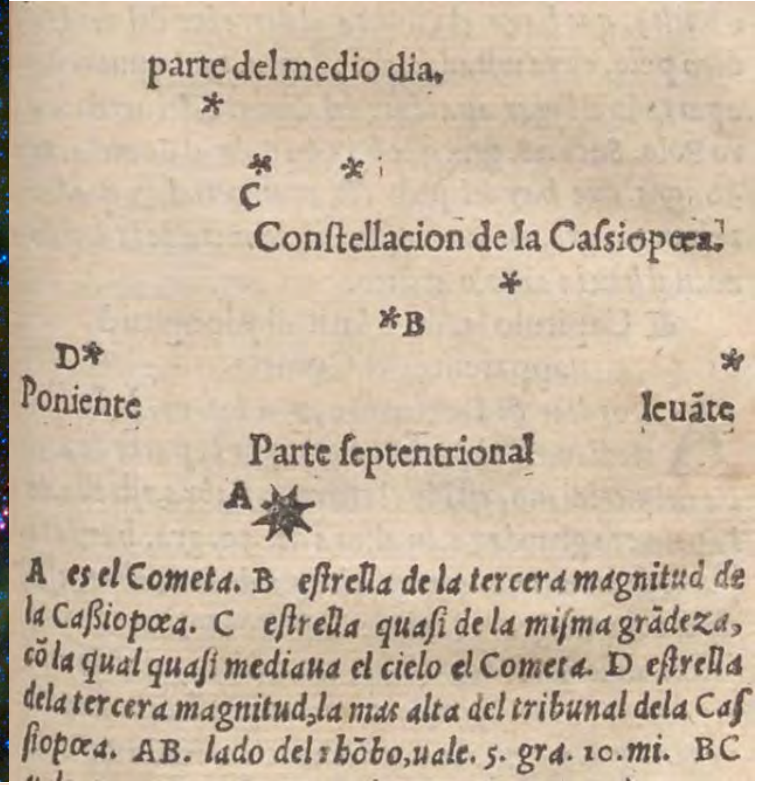
Composé premierement en Espagnol, par M. Hieronyme Mugnoz, Professeur ordinaire de la langue Hebraïque & des Mathematiques, en l'vniuersité de Valence.
Et depuis traduict en Françoys par Guy le Févre de la Boderie.

Plus, vn Cantique sur ladicte Estoille ou Apparence lumineuse.

A PARIS,
Chez Martin le Ieune, rue sainct Iean de Latran, à l'enseigne du Serpent.
M. D. LXXIIII.
AVEC PRIVILEGE.



El círculo rojo de la parte superior izquierda es la supernova SN 1572. Imagen de la NASA (*Wide-field Infrared Survey Explorer*)


parte del medio dia.

C

Conſtellacion de la Caſsiopœa.

B

D

Poniente

Leuãte

Parte ſeptentrional

A

A es el Cometa. B eſtrella de la tercera magnitud de la Caßiopœa. C eſtrella quaſi de la miſma grãdeza, cõ la qual quaſi mediaua el cielo el Cometa. D eſtrella dela tercera magnitud, la mas alta del tribunal dela Caſ ſiopœa. AB. lado del rhõbo, uale. 5. gra. 10. mi. BC

J. Muñoz informó en el capítulo segundo de la fecha en divisó por primera vez el astro, que apareció de repente en 1572, así como de los lugares en que se vio, añadiendo un croquis que lo posicionaba junto a las estrellas de Casiopea: «Soy cierto que en el segundo día de noviembre de 1572 no había este cometa en el cielo, porque de propósito más de hora y media después de las seis de la tarde, enseñé en Onteniente a muchas personas públicamente a conocer las estrellas y había pastores muy ejercitados en ellas, los cuales no avisaron a los 18 que por la mañana aparecía una nueva estrella. A los dos de diciembre, de propósito mirando el cielo, vide cerca de la Casiopea una estrella, como el Lucero…». Más adelante continuaba detallando que supo, por las relaciones de unos calcineros y de pastores de Torrente, que la comenzaron a ver el 11 o 12 de noviembre, «la magnitud aparente del parecía entonces algo mayor que la de Júpiter, que dista del Cometa 59º y casi iguala con la del lucero, que por la mañana parecía. El color del era mezclado casi del color de Saturno, que tira algo del del plomo, y del de Marte, que parece fuego,… Más parecía centellar como estrella fija». Justo antes de presentar el dibujo correspondiente, aseguró que «hacía una figura cuasi de rombo con las tres más altas y mayores de la constelación de la Casiopea, la que está yendo al levante, de la imagen del Cygno, o Cisne, de donde sale el ramal de la vía láctea, o del camino de Santiago».

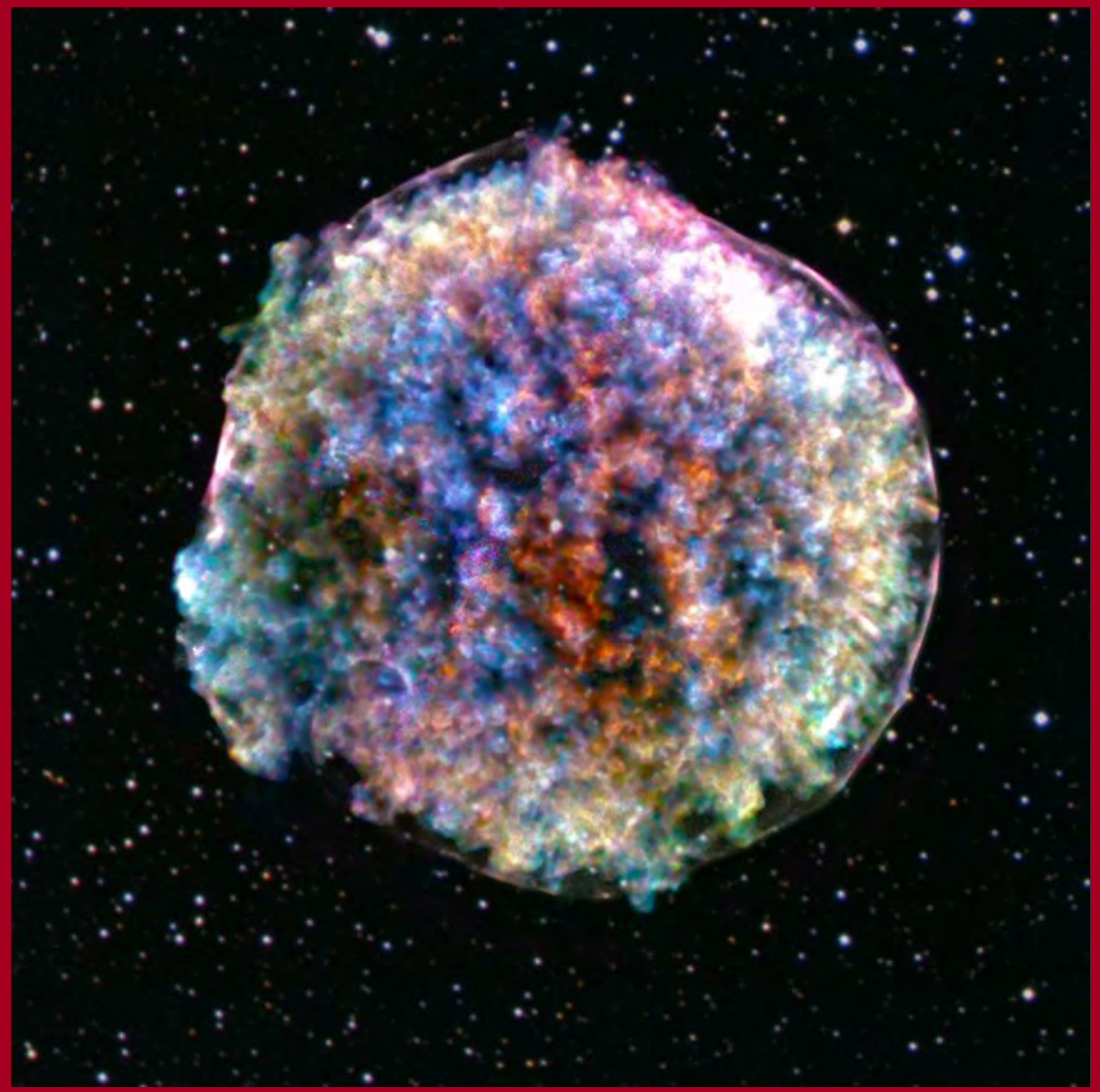
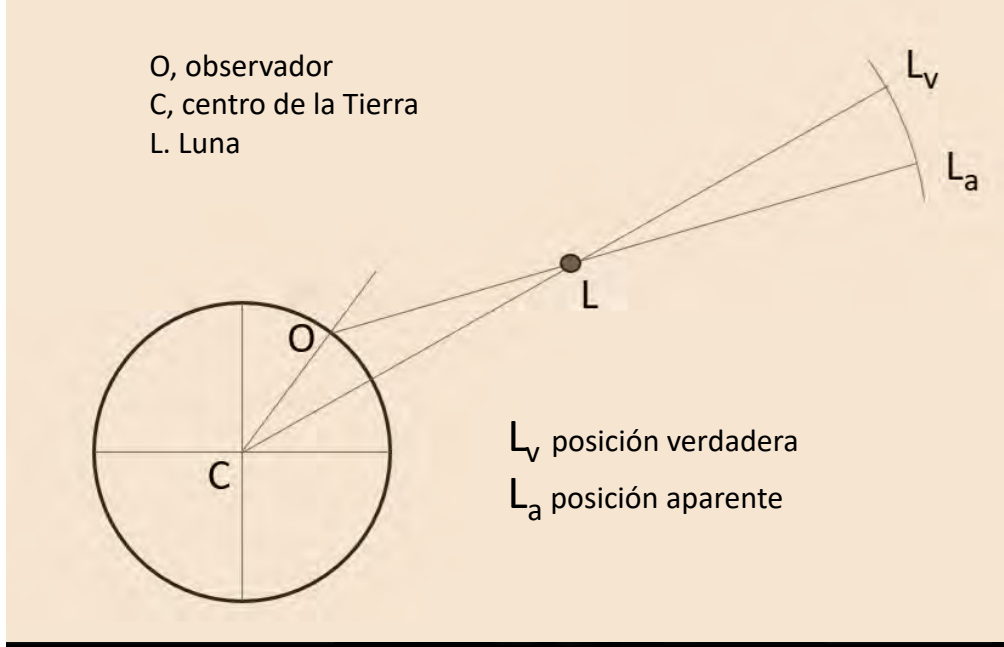
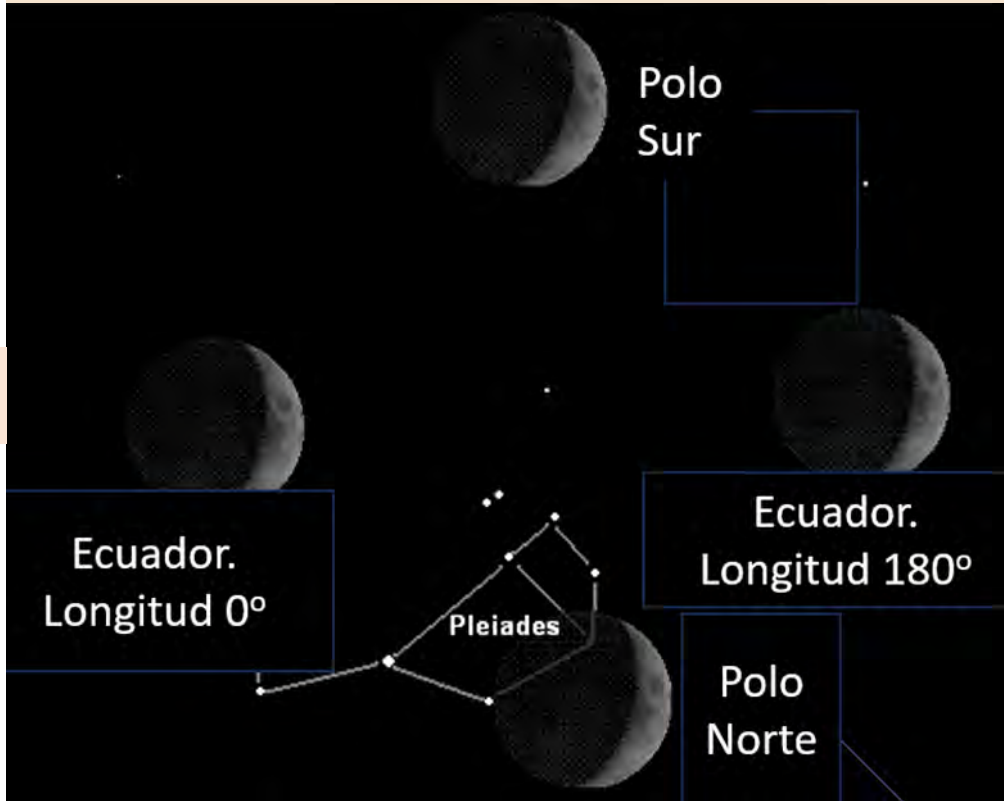


IMAGEN DE LOS RESTOS DE LA SUPERNOVA SN 1752

En ella se distinguen el silicio en rojo, que se aleja del sistema solar y el silicio en azul que se le acerca, los demás colores de la imagen (amarillo, verde, verde azulado, naranja y morado) muestran una amplia gama de energías y elementos diferentes, así como las diversas direcciones en que se produce su movimiento. En esta nueva imagen compuesta, los datos de rayos X de Chandra se han combinado con una imagen óptica de las estrellas en el mismo campo de visión procedente del *Digitized Sky Survey*.

En el capítulo cuarto refirió las dimensiones de la Tierra, usando valores ligeramente diferentes a los ya citados: «Y pues tengo demostrado en otro tratado que cualquier grado de latitud de la tierra vale 18 leguas, y que toda la redondez de la Tierra vale 6480 leguas, y que hay de la cara de la tierra hasta el centro de ella, casi 1032 leguas, porque de la circunferencia del círculo al diámetro, la más allegada a razón , es la proporción de 22 a 7». También fue en este capítulo en donde definió la paralaje como «un arco del cielo estrellado entre el verdadero lugar de un cuerpo y el lugar aparente del. Y más se sigue de lo susodicho, que cuando un cuerpo estuviese más cerca de la tierra, más distará el lugar aparente del verdadero del, y cuanto más lejos estuviese, menos distaría…esta doctrina de las paralajes es tan importante y tan ingeniosa, que por ella se hallaría cuanto dista de la tierra a la Luna, Mercurio y Venus, y se sabrá evidentemente cualquier cosa, que aparece sobre la tierra, cuan lejos está de ella».





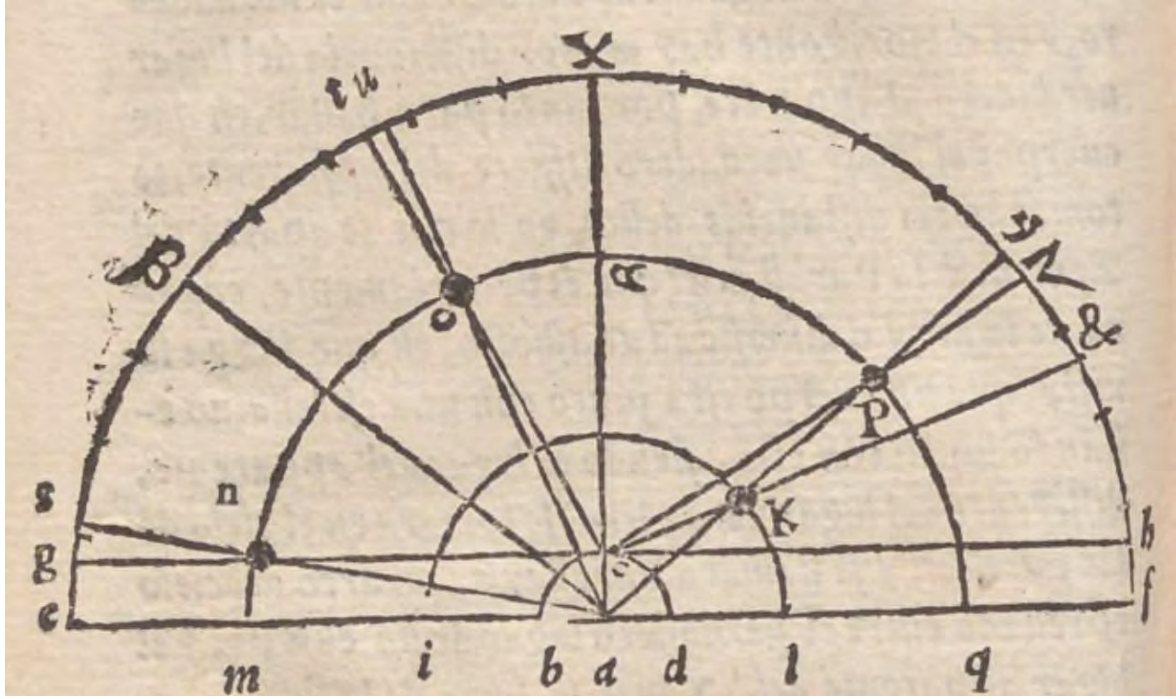
Paralaje lunar a las 10. 42 de TU. Posiciones aparentes de la Luna desde cuatro lugares de la Tierra, cuando estaba cerca de las pléyades. La paralaje diurna de la Luna oscila entre los 61´.4 los 54´.

En el siguiente capítulo desgranó los argumentos necesarios para demostrar que el nuevo astro no era una estrella ni un planeta, así como el hecho de que volvió a observarlo el 7 de enero de 1573. El principal referido al primer caso fue el siguiente: «la aparente estrella es de la primera grandeza y aún mayor que el Can mayor (*se estaba*

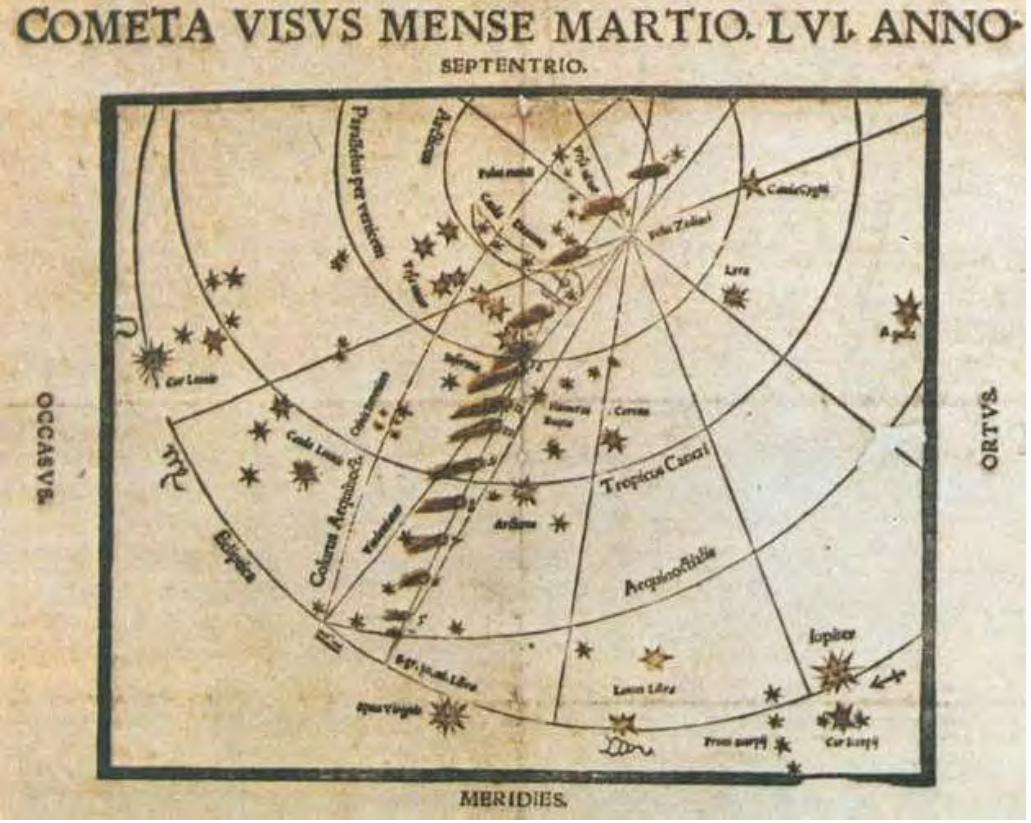
La acción de Dios en la vida cotidiana. Con su mano derecha sostiene la Tierra con su atmósfera. Dentro del globo hay un hombre arrodillado ante una Biblia abierta, rodeado de animales y plantas. En el cielo hay pájaros, nubes, estrellas y un cometa. Grabado de Johann Hauer (1627)

refiriendo a Sirio), que es la mayor estrella de todas las que aparecen en España, y en la parte donde ha parecido, que es entre la constelación de Casiopea, y la de Cepheo, las mayores estrellas que por ahí se hallan, son de tercera grandeza. Por lo cual no es estrella fija de las que había antes en el cielo». El rechazo a que fuera un planeta lo basó en el hecho de que careciese de movimiento y no variara de tamaño, en el caso de que lo fuese: «no diríamos que tiene movimiento de los planetas, que unas veces están muy cerca de la tierra, otras veces están remotísimos, y así unas veces parecen mayores que otras, ni lo uno , ni lo otro se puede decir…Ni es planeta, porque los Planetas, están dentro del zodiaco, y este cuerpo está lejos del 47 gra. 36 min. cuando menos». Finalmente añadió: «Más cierto argumento es para probar que es Cometa, ver que se ha hecho cerca de la vía láctea, que es el lugar ordinario, donde se hacen los cometas y ver que se va resolviendo».

El capítulo duodécimo fue determinante para oponerse a lo predicado por la doctrina aristotélica, pues pudo argüir que al tratarse de un cuerpo sin paralaje no podría ser sublunar, pero si supralunar, como las estrellas; debiendo colegir por tanto su mundo no era inmutable. Tras señalar que las culminaciones del cometa sobre el meridiano presentaban una altura máxima de 67º 30´y otra mínima de 11º 30´, y de hacer intervenir la latitud de Valencia, continuaba Muñoz afirmando «luego si por las dos alturas se halla la verdadera altura del Norte, las dos alturas fueron verdaderas y no aparentes: porque si el tuviera paralaje las dos alturas serían aparentes, y menores que las verdaderas, y no pudieran mostrar la altura del Norte, en la cual no hay paralaje, como puede verse en la figura».



La identificación de todos los puntos relevantes de dicha figura ya fue efectuada en el capítulo cuarto: «A, es el centro de la tierra, bcd, la mitad de a tierra que está encima hacia el Zenith, que es X. El Polo β. El punto c es la cara de la tierra, de donde mira el Mathematico los cuerpos n, o, α, P, K». También explicó entonces cuales serían las posiciones verdaderas y aparentes de los mismos, que en ese mismo orden son: n (s, g), o (u,t), α (X), P (y,z), K(y, &). De acuerdo con ello las paralajes correspondientes serian los arcos definidos por cada apareja de puntos, debiendo observar que su valor decrece a medida que aumenta la altura del cuerpo sobre el horizonte. A la vista de la figura es evidente que se pueda definir la paralaje de cada cuerpo como el ángulo bajo el que se vería desde el mismo el radio terrestre. Ya se indicaron los valores extremos de la paralaje lunar, próxima al grado), debiendo indicar que la del Sol es de tan solo 8”.79; el resto de las estrellas no presentan el fenómeno de la paralaje (sus posiciones reales coincidirían con las aparentes).



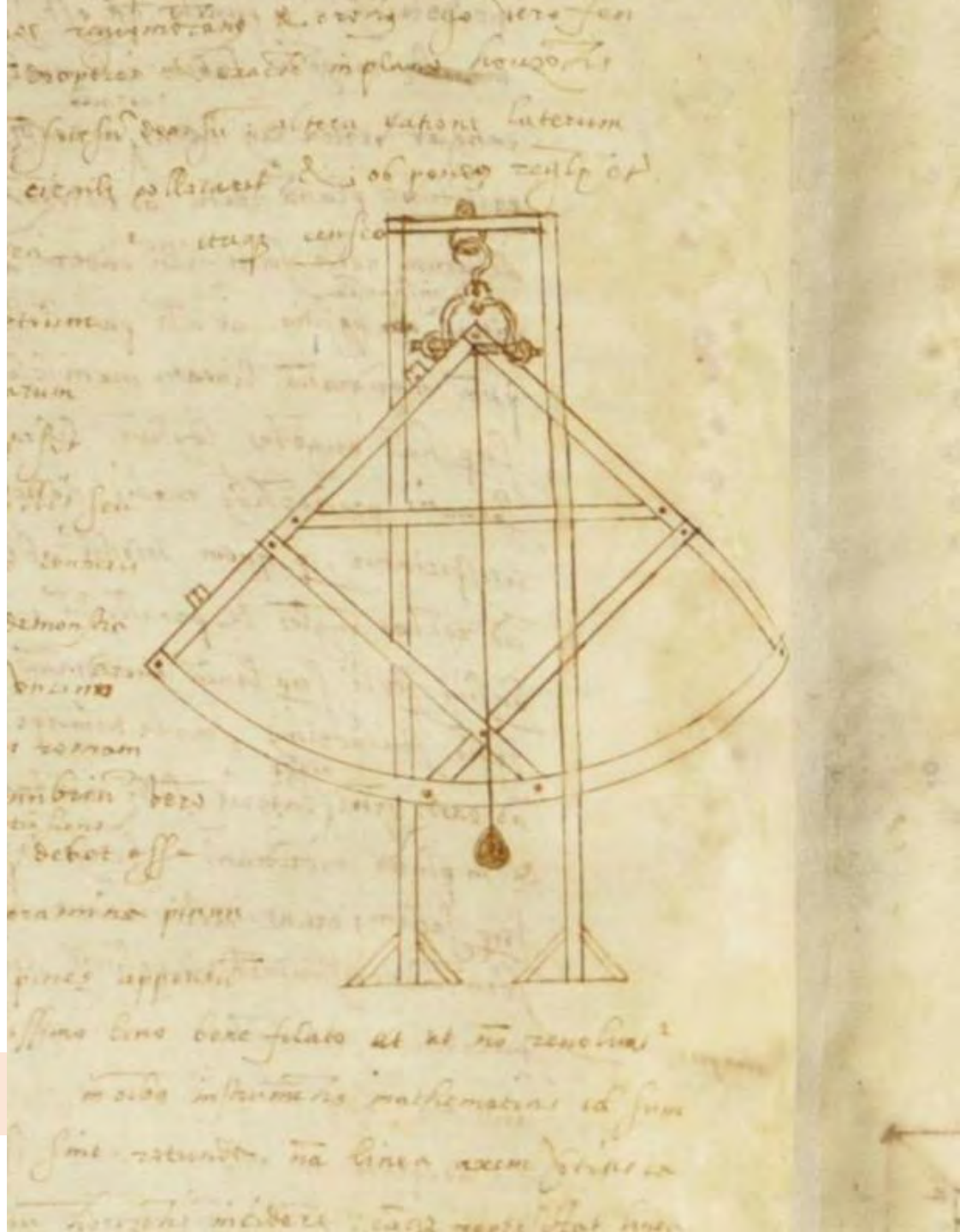
En la última parte del Libro sobre el nuevo cometa, recordó el autor algunas de las calamidades asociadas a la aparición del gran cometa de 1556 (la amplitud angular de la cola varió entre 1º y 3º), que pudo verse a simple vista en toda Europa y en China; el cual apareció en el mes de febrero y desapareció hacia el 10 de mayo. Muñoz comentó que lo vio desde Elche, a principios de febrero (aunque debió ser a finales) y que comenzó a aparecer entre las seis y siete de la tarde, «por la parte de levante era largo, con cola…Por Mayo los vientos de medio día corrompieron las mieses, se siguió grande hambre en la mayor parte de España, salvo en algunas partes de tierra de Campos y Aragón». Otras de las desgracias que citó fueron: la pestilencia que asoló ciudades como Constantinopla, Venecia, Argel, Sevilla y Valencia; La guerra que montó el Papa Paulo IV contra S.M. el Emperador Carlos V, a causa del Reino de Nápoles; la muerte en 1556, después del cometa, de la serenísima reina doña Juana. Asociados al mismo cometa estuvieron los terremotos de Constantinopla y el más catastrófico de Shaanxi, ocurridos en ese mismo año. La trayectoria del cometa fue dibujada por Paul Fabricius, matemático y astrónomo, que lo observó desde Viena: COMETA VISUS MENSE MARTIO LVI ANNO. Aunque su denominación formal sea C/1556 D1, también es conocido como el Cometa de Carlos V.

Grabado del terremoto de Constantinopla, presidido por el Cometa de 1556

El Sistema de Copérnico. Theon of Alexandria, ⟨Commentum in Almagesti⟩ (tr. Jerónimo Muñoz). Biblioteca de Napoles, (BN, VIII. C 33)

J. Muñoz fue un autor prolífico, con sólidos conocimientos astronómicos y cosmológicos, que criticó siempre las hipótesis aristotélicas del cosmos y en menor medida los modelos que propuso Tolomeo a ese respecto, así se desprende de las reflexiones que hizo a propósito del segundo libro de la Historia Natural de Plinio y sobre todo en la traducción del *Comentario sobre la Composición matemática de Tolomeo* (Almagesto), debida a Teón de Alejandría. Ésta última fue su obra más ambiciosa, en palabras de V. Navarrro Brotons: «aporta sus propias tablas, técnicas de cálculo y observaciones muy abundantes, realizadas principalmente, en los años 1568-1569, en Valencia y Salamanca. En cambio, no alcanzó a comprender la relevancia del sistema copernicano, influenciado posiblemente por desmedido interés que prestó a la astronomía judiciaria. De nuevo ha de mencionarse otra de sus obras, *Astrologicarum et Geographicarum Institutionum libri sex*, una especie de Tratado de la Esfera, por conceder en ella un papel central a la Tierra como cuerpo celeste.

Precisamente fue este trabajo al que se refirió cuando fijó las dimensiones de la Tierra en el Libro sobre el nuevo planeta. La obra, también citada, *Matemática, Cosmología y Humanismo en la España del siglo XVI, los comentarios al segundo libro de la Historia Natural de Plinio de Jerónimo Muñoz*, reproduce la interesante recopilación que hizo este en el tratado astrológico y geográfico: «En el tratado de Astr. y Geog. (26v ss.) que ahora comentamos da también las cifras de Aristóteles para quién el ámbito del Mundo abarcaría 400.000 estadios, por lo que un grado abarcaría 34 3/4 leguas; Hiparco 1º = 99.000 pasos; Eratóstenes 87.500 pasos (o 700 estadios; 700 x 360 = 252.000 estadios como longitud del meridiano); Posidonio, 83.500 pasos (o 668 estadios; 240.480 como longitud del meridiano); Ptolomeo 1º = 500 estadios (180.000 estadios de longitud del meridiano). En cuanto al estadio, más adelante (79 v) dice qué comparando los valores dados para los itinerarios de España de Antonino, Plinio y otros autores latinos, una legua equivaldría a 4 millas (4.000 pasos) o 32 estadios».



Cuadrante astronómico en la traducción que hizo J. Muñoz del Comentario de Teón de Alejandría al Almagesto de su maestro (Biblioteca de Napoles, BN, VIII. C 33)

Vicente Mut y Armengol (1614-1687)

Físico e ingeniero mallorquín, que, a juicio del profesor Víctor Navarro Brotons «fue el mejor observador y uno de los astrónomos más destacados del siglo XVII»; no en vano mantuvo correspondencia con protagonistas tan afamados como A. Kircher y G.B. Riccioli. Aunque V. Mut estudiase durante un tiempo con los jesuitas, acabó abandonando la Compañía de Jesús, para dedicarse a la jurisprudencia e ingresar en la milicia; llegando a ser Sargento Mayor. Fue un profesional polifacético, ya que publicó obras de carácter histórico, militar y astronómico. Al primer grupo perteneció su *Historia del Reino de Mallorca* (1650), con una portada que recuerda a las de tipo barroco, empleadas en tantos atlas holandeses de la época, y un frontispicio en el que presentó un magnífico mapa de Mallorca. Mapa que preside el escudo del Reino, orlado todo el con nubes y alegorías, destacando en la parte inferior la firma del autor, como Sargento Mayor. Curiosamente se indican los cultivos principales de la isla: *Frumenti. A Fructi Vini et Olei*, simulando el relieve con múltiples perfiles abatidos, a la vez que se representó con cierto rigor su red hidrográfica, su perímetro y un esquema de la capital, junto al título del mapa: ISLA DE MALLORCA.

TOMO. II.

de D. PASCUAL de GAYANGOS

HISTORIA del Reyno de MALLORCA

Que escriuio

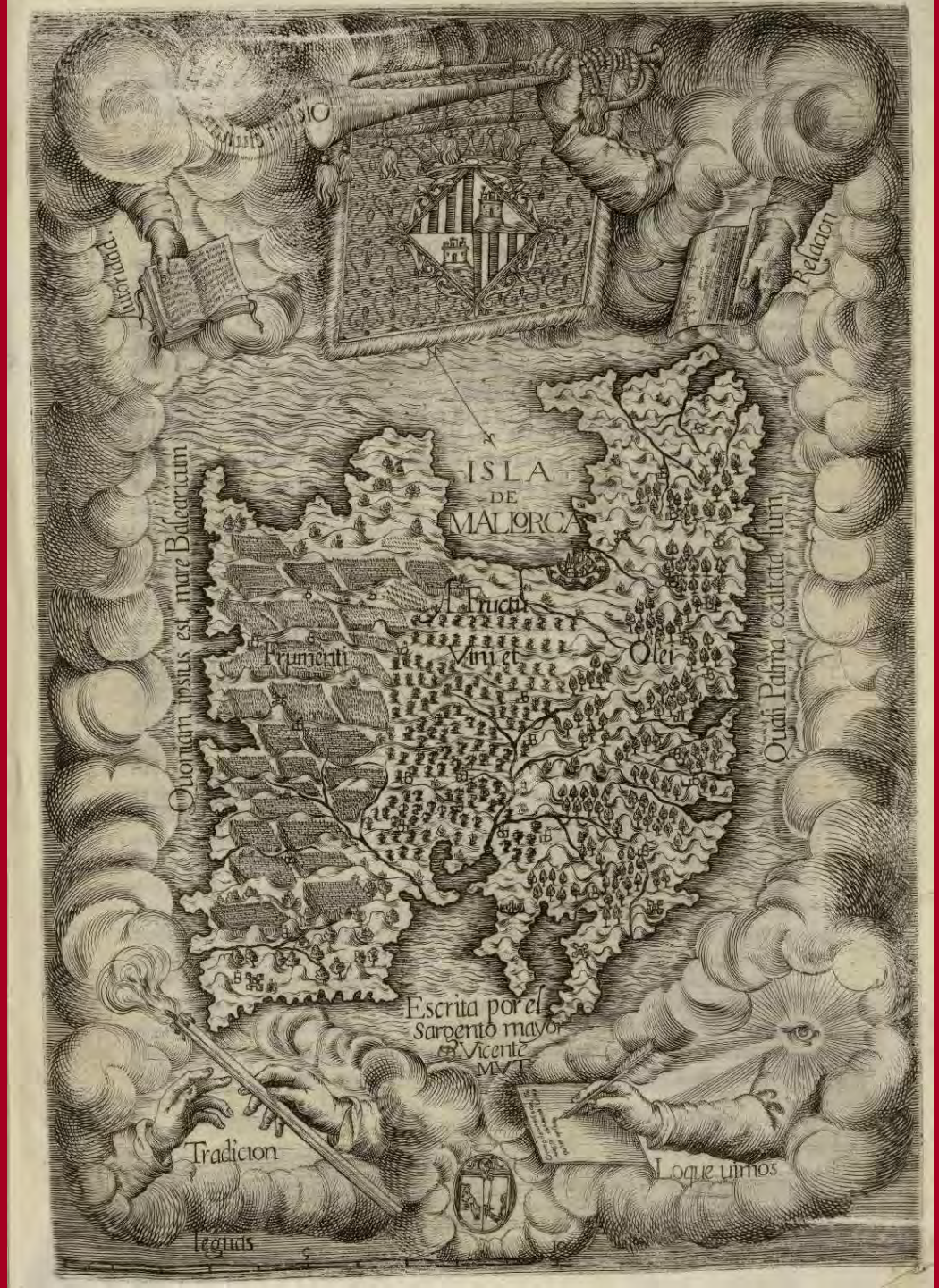
D. VICENTE MUT, su Coronista

Ingeniero, y su Sargento Mayor

por su Magestad.

1650.

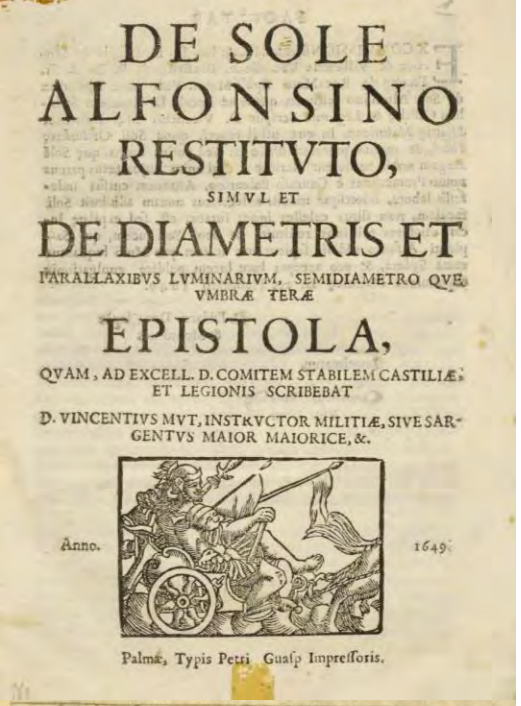
© Biblioteca Nacional de Esp

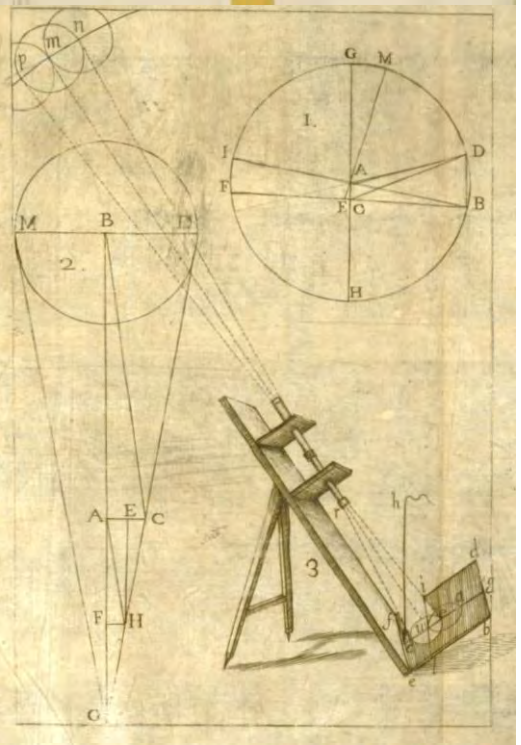


Sur

El contenido de la obra se estructuró en doce libros, tras haber sido presentada con varios sonetos y décimas dedicadas al autor de la misma. Únicamente se destacará en el presente contexto, el libro II, un tributo a Raimundo Lulio, dividido en quince capítulos, apuntando Mut lo siguiente: «Permítaseme alargarme sobre las materias de este insigne varón, porque fue prenda muy señalada de mallorca, aunque los Catalanes pretendían que era natural de Cataluña (gloriosa ambición, que se procuran la virtud y las letras, y los Reinos sobre cual ha de ser patria de tan calificado noble). También será forzoso dilatarme para desengañar a la ignorancia, y a la envidia, que temerariamente han emulado la gloria del venerable Raimundo, imponiéndole falsas acusaciones, y a sus escritos falsas calumnias». También es obligado referirse al capítulo primero del libro VII, dedicado a la Tradición del Reloj Mallorquín, en el que dio una lección de gnomónica histórica, subrayando que « es frecuente en Mallorca la tradición de que el mismo reloj, que hoy toca en la Ciudad, le trujeron los Hebreos de Jerusalén en tiempos de los emperadores Tito y Vespasiano». Digna de mención es también su comentario a propósito de la regulación de los relojes de Mallorca por la altura del Polo, 39º 30´ («hallada por el insigne Geronymo Muñoz»), aunque indicase Mut que debería ser 39º 36´, pues la primera era la latitud de Valencia y «Mallorca nordesteaba un poco»; ese nuevo valor lo obtuvo por medio de las alturas meridianas del Sol.

Reloj cilíndrico construido por el insigne Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Rafael Soler Gayá, en 1985. Se encuentra en el muelle viejo, cerca de la Catedral de Palma de Mallorca. Las líneas horarias tienen forma de analema. Su lectura es doble: tiempo medio y verdadero


DE SOLE
ALFONSINO
RESTITVTO,
SIMVL ET
DE DIAMETRIS ET
PARALLAXIBVS LVMINARIVM, SEMIDIAMETRO QVE
VMBRÆ TERÆ
EPISTOLA,
QVAM, AD EXCELL. D. COMITEM STABILEM CASTILIÆ,
ET LEGIONIS SCRIBEBAT
D. VINCENTIVS MVT, INSTRVCTOR MILITIÆ, SIVE SAR-
GENTVS MAIOR MAIORICE, &.
Anno. 1649.
Palmæ, Typis Petri Guasp Impressoris.



No es seguro, aunque si probable, que el interés de Mut por la astronomía surgiera durante su etapa en el seno de la Compañía de Jesús, lo que si parece cierto es que su primera aportación a esa disciplina fue el soneto que se reprodujo en una obra del portugués Luys Freyre de Sylva (Efemérides Generales de los movimientos de los cielos por 64 años desde 1637 hasta el 1700, según Tycho y Copérnico, que más conforman con la verdad), publicada el año 1638 en Barcelona. No obstante, y de acuerdo con Navarro Brotons, el primer libro, propiamente dicho, que escribió de astronomía fue el titulado *De sole alfonsino restituto, simul et de diametris et parallaxibus luminarium, semidiametro que vmbrae terrae epistola ... / scribebat D. Vincentius Mut* ...Mallorca 1649. En ella reivindicó el autor la vigencia de las Tablas astronómicas del rey sabio, abordando la difícil cuestión de la excentricidad solar propuesta por Kepler en su primera ley; midiendo para ello el diámetro aparente del Sol en los extremos de la línea de los ápsides. Para ello usó V. Mut un ingenioso instrumento basado en el principio de la cámara oscura, proyectándose el disco solar sobre una pantalla normal al eje óptico del telescopio. De ese modo obtuvo los dos valores extremos: 31´ 18” y 32´46”, correspondiendo el menor al apogeo y el mayor al perigeo. El instrumento y la técnica empleada por Mut fue referenciada por G. Riccioli en su *Almagestum Novum* (1651), en estos términos: «Maioricensis, Astronomiae peritissimus observat sedulo Mairoicae, scripsit egregium opusculum de Sole Alphonsino: Huic ego plurium debeo». Riccioli y Mut mantuvieron correspondencia epistolar, reproduciendo el primero de ellos fragmentos de las cartas en algunas de sus obras; la consideración en que tenia el italiano al español quedó de manifiesto en el cráter lunar que le dedicó en el mapa con que iluminó su *Astronomicae Reformatae* (1665).

Mutus, Cráter lunar dedicado a V. Mut por G. Riccioli. *Astronoomicae Reformatae*. 1665

Grabado alemán del cometa de 1664 junto a la constelación del cuervo

V. Navarro Brotons indicó (*Física y Astronomía Moderna en la obra de Vicente Mut*. Llull. Vol. 12. Diciembre 1979, pp 43-62) que una segunda aportación astronómica del mallorquín fue un opúsculo de veinte páginas dedicado al cometa que apareció en el año 1665 (*Cometarum anni MDCLXV : enarratio physico-mathematica*), aunque la mayoría del texto lo dedicase al que se había divisado en el mes de diciembre del año anterior. El cometa de ese año causó espanto en toda Europa, llegando a atribuirla la terrible peste de Londres. En España las calamidades que se le asociaron fueron igualmente evidentes, destacando la pérdida de Flandes, el dominico Gonzalo de Arriaga escribió: «los efectos de este cometa comenzaron a la entrada de la primavera, y en ella murieron en Burgos más de la mitad de las criaturas de viruelas. Y al fin del verano y principio del otoño muchas personas ancianas, como fue el

inquisidor general Arze, a fin de julio, y Su Majestad Felipe IV a las cuatro de la mañana del 17 de septiembre y el arzobispo de Toledo, Moscoso, a otro día después». En cambio V. Mut refutó las teorías apocalípticas con ellos relacionados, insistiendo en los datos proporcionados por la observación de los mismos; procesando los que le dieron el jesuita José de Zaragoza, que observó el de 1664 en valencia, y el mallorquín Miguel Fuster. Con tales datos formó una tabla en la que se mostró la evolución del cometa durante los meses de diciembre y enero; figurando además las horas en que fue observado, sus coordenadas eclípticas (longitud y latitud), el ángulo entre su plano orbital y el de la eclíptica, así como su distancia a los nodos. En sus reflexiones temió que su trayectoria aparentemente rectilínea le llevase a la Tierra, mientras que Kepler pensó que se precipitaría en el Sol.

Imágenes y descripciones de tres milagros notables ocurridos en el año 1664. En Ámsterdam y alrededores

OBSERVATIONES

MOTVVM CÆLESTIVM

CVM

ADNOTATIONIBVS

ASTRONOMICIS,

ET MERIDIANORVM DIFFERENTIIS AB ECLYPSIBVS DEDVCTIS

OBSERVANTE

D. VINCENTIO

MVT, MILITIÆ MAIORICARVM INSTRVCTORE.

MAIORICIS

EX OFFICINA RAPHAELIS

MOYA TYPOGRAPH.

ANNO MDCLXVI.

Una tercera publicación de V. Mut, más extensa que la anterior (90 páginas) e igualmente comentada por Navarro Brotons, fue la siguiente: *Observationes motuum caelestium cum adnotationibus astronomicis, et meridianorum differentiis ab eclypsibus deductis* (1666). En ella se abordaron cuestiones astronómicas (movimientos celestes) como geodésicas (determinación de longitudes geográficas mediante eclipses). La obra consta de tres capítulos, dedicando el primero a las observaciones de los eclipses lunares que había venido realizando en los últimos veinte años, con un telescopio de ocho palmos, incluyendo en él una tabla con los valores de los diámetros aparentes de la Luna y el Sol, así como con las paralajes lunares; en cuanto a la paralaje del Sol, dio el valor clásico de 2´30”, que pocos años después (1684) sería corregido por G. Cassini. En el capítulo segundo explicó los procedimientos seguidos para poder medir con el instrumento las distancias angulares, detallando los resultados de sus observaciones; en uno de ellos hizo una interesante aportación micrométrica, al colocar «cerca del foco interior del ocular un anillo atravesado por hilos finísimos, que forman cuadrados iguales muy

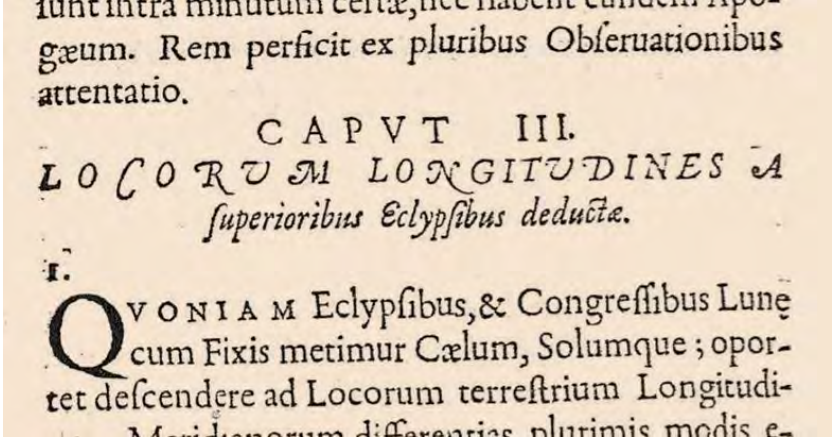
CAPVT II.

OBSERVATIONES PLANETARVM, cum Adnotationibus Astronomicis, præsertim circa motus per Ellipses.

I.

AD obseruãdos congressus Planetarum aptamus Telescopium; cujus ocularem comprehensionem, & diuisionem colligimus quatuor Mediis. Pri-

pequeños, de modo semejante a las retículas utilizadas para reducir figuras». El contenido del capítulo tercero no responde a su título, ya que Mut no aporta realmente nada relevante, manteniéndose anclado al método clásico de los eclipses para obtener la diferencia de longitudes entre dos puntos, el cual ya venía siendo empleando sin éxito desde los tiempos de Hiparco de Nicea; su principio no podía ser más fácil: «En dos puntos dados se observa simultáneamente la misma fase de un eclipse, anotando la hora local de la observación en cada uno de ellos; resultando que la diferencia de longitudes entre ambos coincide con la diferencia de dichas horas; esa medida temporal se transforma en angular partiendo de que 15º equivale a una hora. La dificultad insuperable que se presentaba radicaba en la imposibilidad de elegir el instante preciso en que debería hacerse la observación. Tampoco hace Mut comentario alguno acerca de los premios ofrecidos para solucionar el problema, ni sobre la propuesta de Galileo para solucionarlo por medio de la ocultación o emersión de las estrellas mediceas (los satélites de Júpiter). No obstante, Como aportaciones interesantes han de recogerse su mención al meridiano origen de longitudes sito en las Islas de cabo Verde; su doble tabla con las coordenadas de diferentes lugares; las equivalencias entre las unidades antropométricas hispánicas y europeas, ligadas el desarrollo del grado terrestre, y su propuesta de reducir a 44º 15’ la extensión longitudinal del Mediterráneo.


gæum. Rem perficit ex pluribus Obſeruationibus attentatio.

CAPVT III.

LOCORVM LONGITVDINES A ſuperioribus Eclypſibus deductæ.

I.

QVONIAM Eclypſibus,& Congreſſibus Lunę cum Fixis metimur Cælum, Solumque ; oportet deſcendere ad Locorum terreſtrium Longitudi-

Venerable Beda

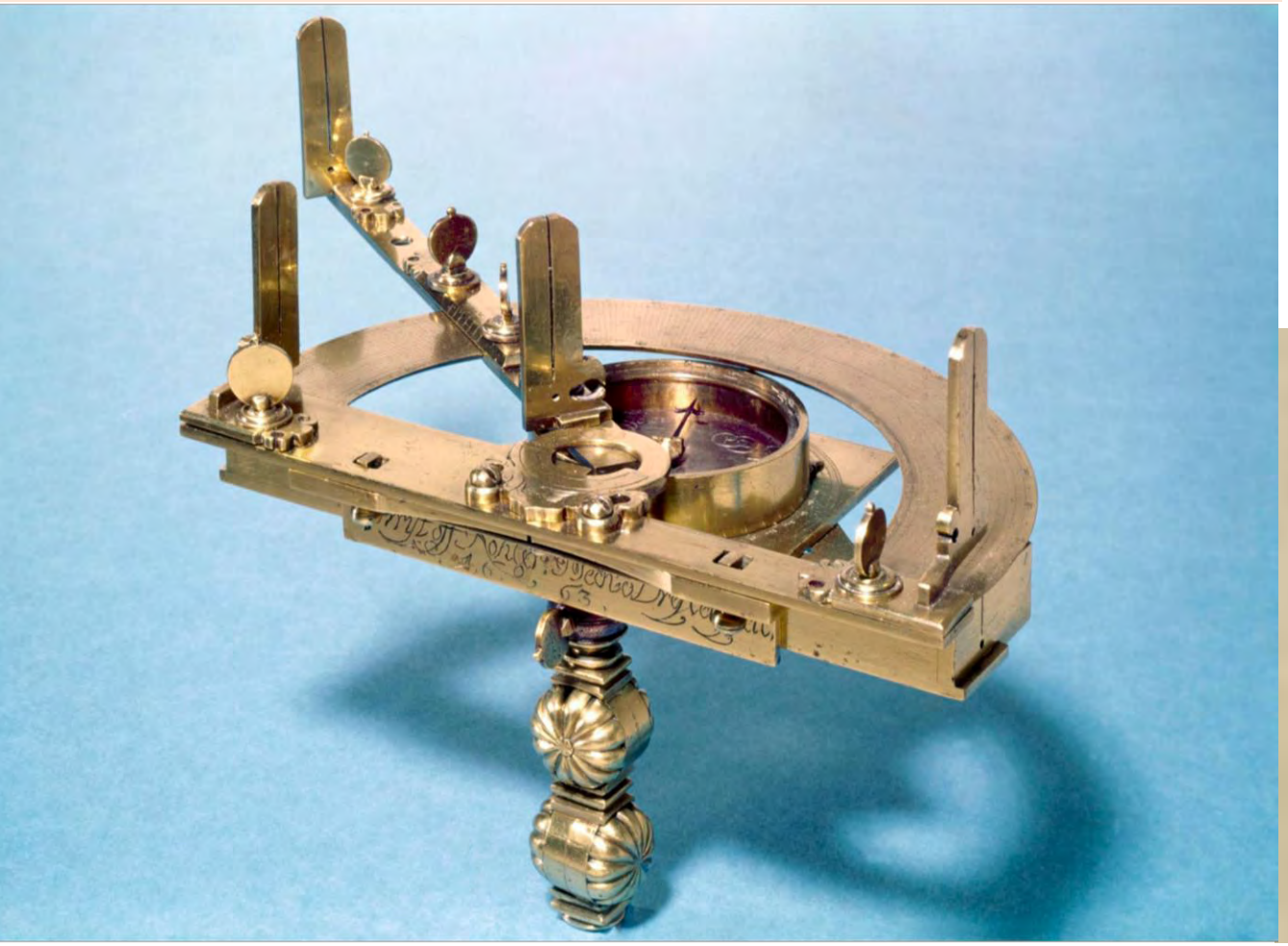
Indiquemos por último que Vicente Mut y Armengol es también un referente para la cartografía mallorquina, ya que el mapa que presentó en su *Historia del Reino de*

Miembros de la expedición FRAM, comandada por Fridtjof Nansen, observando un de Sol desde el Polo Norte (6 de abril de 1894).

Mallorca sirvió de modelo para los que fueron apareciendo con posterioridad. Igualmente es destacable su faceta de topógrafo sobresaliente, así lo prueba su *Plano de Alcudia* de 1660 y sobre todo el programa de su obra *Arquitectura Militar. Primera parte de sus fortificaciones regulares e irregulares* (1664); en cuyo capítulo XXXIII explicó el modo de levantar el plano de algún lugar para fortificarle. El comienzo del mismo merece ser reproducido: «Aunque el ingeniero que fuese buen Geómetra, sabrá hacer una Fortificación irregular, caminando por los ángulos y lados del recinto, siempre saldrá más precisa teniendo el plano Iconográfico del Lugar. Dejo los muchos modos que se hallan en los Tratados de la Planimetría: el más conveniente para nuestro intento, es observar por ángulos, y tener medido algún lado de la figura». En su afán por obtener una representación geométricamente fiable, hizo una recomendación que evidencia su sabiduría e ingenio: «lo que importa para observar los ángulos, es no enamorarse del Planisferio de latón, Compás óptico, Brújula, Paralelogramo gráfico, ni de cualquiera otro instrumento que sea pequeño, en que he visto engañarse muchos, con descrédito del Arte. Mientras el Instrumento no tuviere de Radio cerca de 3 palmos, todo saldrá muy incierto. La experiencia me ha

Grafómetro del siglo XVII

Grafómetro y clinómetro de Christoff Kohler. Dresden. 1663



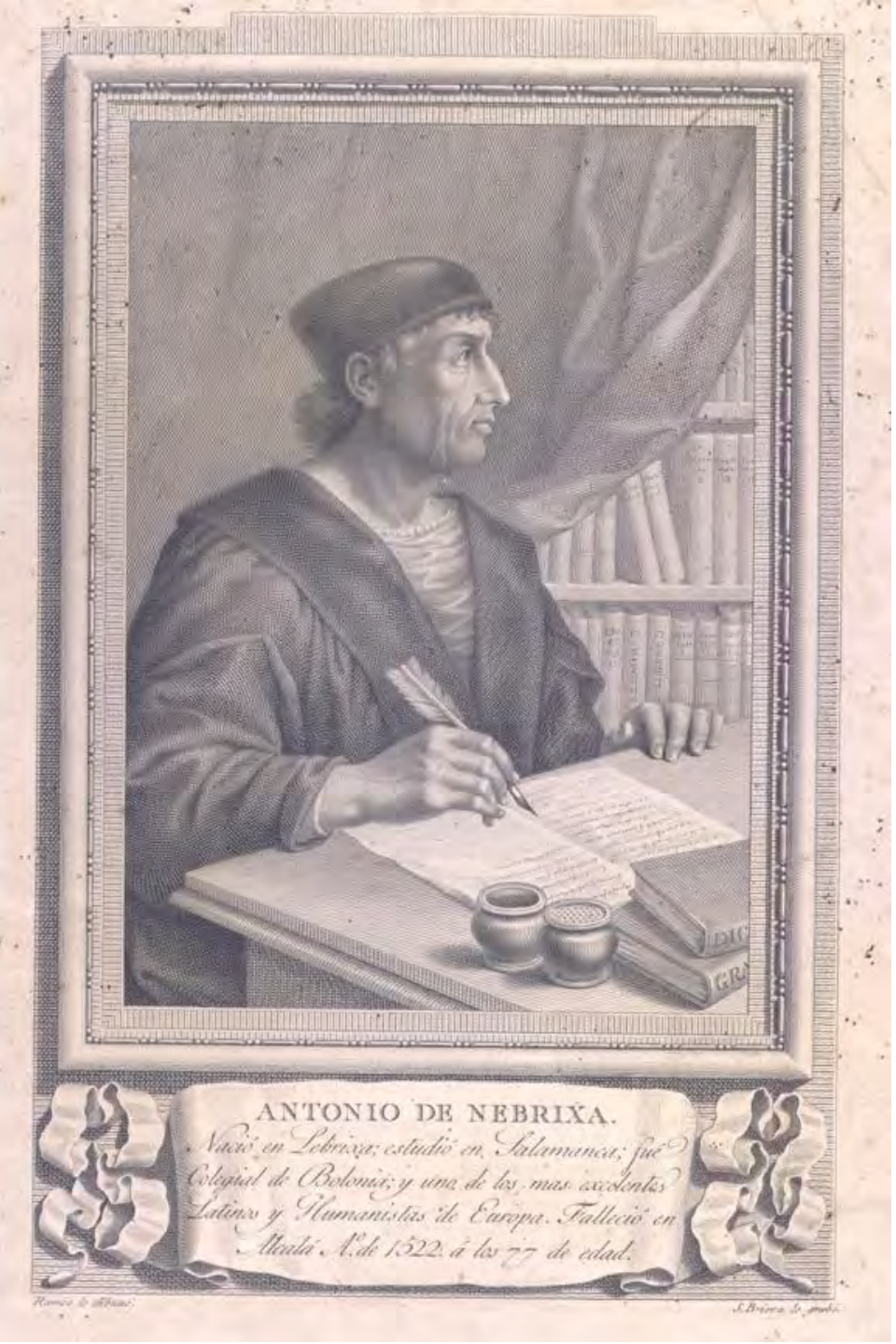
enseñado que el observar con pínulas, o cilindros sobre la Dioptra, no es tan seguro como se desea, y así en lugar de las dos pínulas, pongo dos hilos, que estén perpendiculares a la Regla o Dioptra, y por ellos observo mejor, porque la vista por los hilos alcanza el punto que quiere con grandísima distinción»

vezes intentada aquella Plaça por las Armas de Suecia tan poderosas, y entonces tan bien quistas de la Fortuna, nunca pudieron forçar aquellas Tenazas de las Medias Lunas que cubrian los Baluartes.

CAPITVLO XXXIII.

SACAR EL PLANO DE ALGVN LVGAR para fortificarle.

AVNQVE el Ingeniero que fuere buen Geometra, sabrá hazer una Fortificacion irregular, caminando por los Angulos, y Lados del Recincto; siempre saldrá mas precisa teniendo el plano



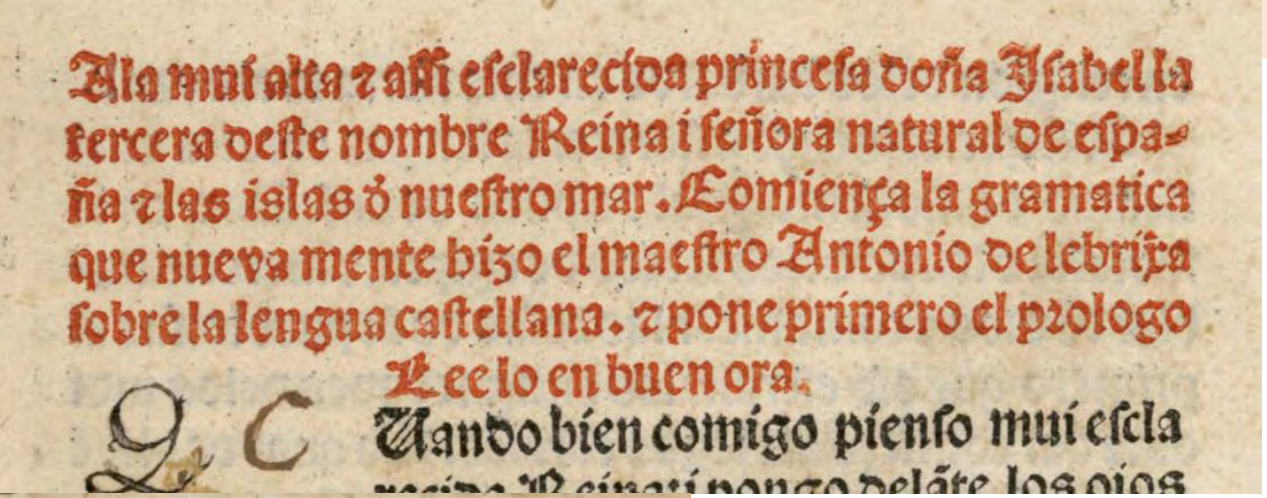
Elio Antonio de Nebrija (1444-1522)

El humanista por excelencia de la España renacentista. De acuerdo con Marcelino Menéndez Pelayo fue el extirpador de la barbarie, indicando en el capítulo 6º de su *Antología*, que se trataba de «la más brillante personificación literaria de la España de los Reyes Católicos, puesto que nadie influyó como él en la cultura general, no sólo por su vasta ciencia, robusto entendimiento y poderosa virtud asimiladora, sino por su ardor propagandístico, a cuyo servicio puso las indomables energías de su carácter arrojado, independiente y caustico. El sabio sevillano fue por tanto una figura clave en el desarrollo humanístico español y principal impulsor del Renacimiento en nuestro país». Aunque considerase el latín modelo e instrumento primordial de acceso al conocimiento, él fue el autor de la primera gramática, en lengua vulgar, que se escribió en España (1492). Su dominio del latín ya había quedado plasmado en la obra *Introductiones latinae* (1481), la cual estuvo presente en la actividad docente hasta el siglo XIX. Su figura es se sobra conocida en el ámbito de las humanidades, si bien lo son menos sus aportaciones en el vasto campo de las ciencias y de manera especial en la astronomía, geodesia y metrología; el objeto principal de esta reseña. Antonio Martínez de Cala y Martínez de Xarana, nació en el pueblo sevillano de Lebrija, siendo allí donde pasó los primeros años de su vida estudiando

gramática y lógica. A los catorce años se fue a Salamanca para cursar, durante cinco años, estudios de matemáticas, filosofía natural y moral. En 1463 años se trasladó al Colegio San Clemente de Bolonia (hoy Real Colegio de España), disfrutando una de las tres becas asignadas por el arzobispado de Sevilla. Durante los diez años que permaneció en Italia no solo estudió Teología, Derecho y Medicina, sino que logró aprender, además del latín, griego y hebreo; de esa forma se convirtió en un profundo conocedor del saber clásico.

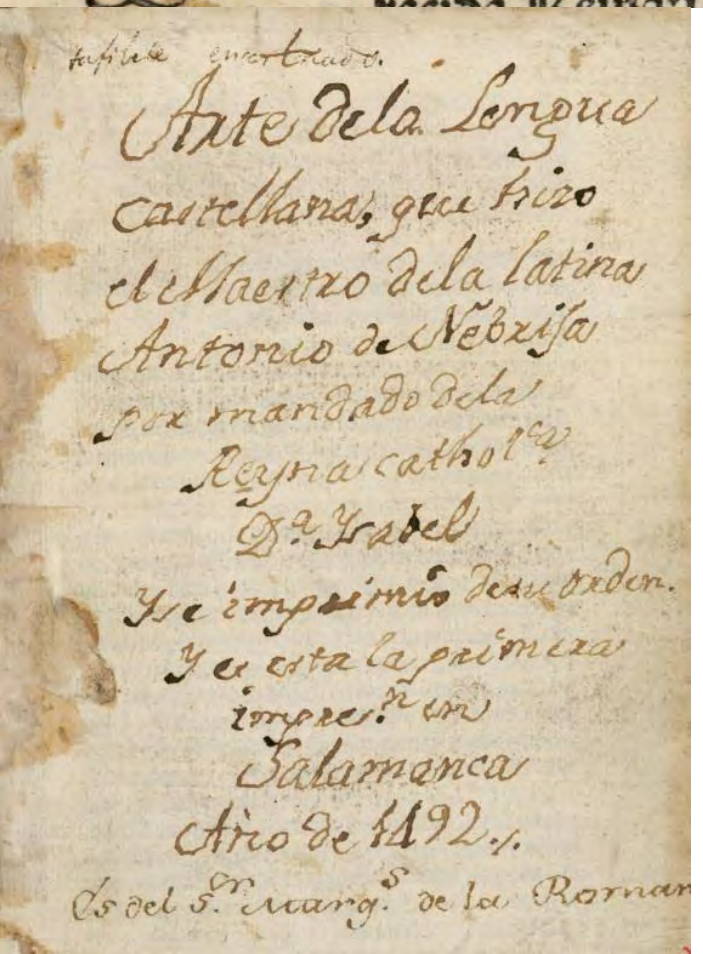
Cuando regresó a España, estuvo al servicio del arzobispo de Sevilla, Alonso de Fonseca, actuando como tutor de su sobrino Juan Rodríguez de Fonseca, luego obispo de Badajoz. Tras fallecer el primero, se instaló en Salamanca durante el curso 1473-1474, firmando el 4 de julio de 1475 un contrato con su universidad; comprometiéndose a dar lecciones de elocuencia y poesía durante cinco años, a razón de dos lecciones diarias. Vacante la cátedra de gramática, en ese mismo año, oposita a ella y gana la plaza en Enero de 1476. Allí transcurren los años siguientes, debiendo destacar el año 1486 por la estancia de la reina Isabel en Salamanca. A instancias de Fray Hernando de Talavera, más tarde arzobispo de Granada, le presentó a la reina los primeros borradores de su *Arte de la Lengua Castellana*; la presentación debió resultar agradable al comentar Nebrija que la reina era la más

REAL COLEGIO DE ESPAÑA, construido entre 1365 y 1367


Ala muí alta z aſſi eſclareçida princeſa doña Iſabel la
tercera deſte nombre Reina i ſeñora natural de eſpa-
ña z las islas ó nueſtro mar. Comiença la gramatica
que nueva mente hizo el maeſtro Antonio de lebriſa
ſobre la lengua caſtellana. z pone primero el prologo
Lee lo en buen ora.
Uando bien comigo pienſo muí eſcla

Dedicatoria de la Gramática de Nebrija a la Reina Isabel la Católica, publicada en el año 1492.

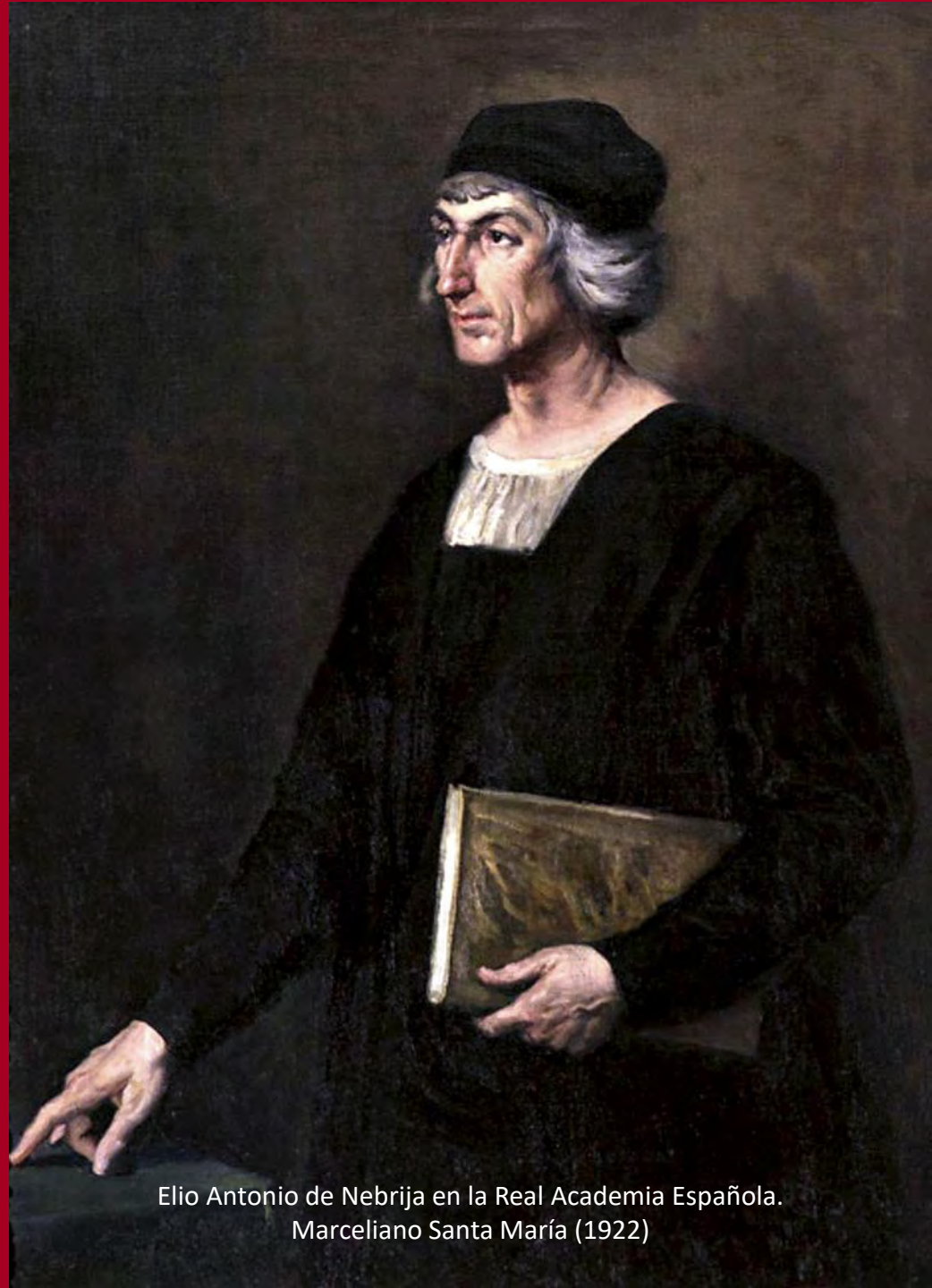
esclarecida de todas las hembras y ella que él era uno de los más preciados ornamentos de su corona. La familia de Nebrija tuvo relación con Granada, pues su hijo Sancho, también colegial de Bolonia, llegó a ser alcalde de su Chancillería y buen divulgador de la obra de su padre, al igual que hacía su hermano Antonio al frente de una imprenta en Antequera. Nebrija tuvo además un hijo ilegítimo, también llamado Antonio, que falleció siendo capitán en la guerra de Granada.


Arte de la Lengua
castellana, que hizo
el Maestro de la latina
Antonio de Nebrija
por mandado de la
Reyna cathol.ca
D.a Ysabel
Y se imprimio desu orden.
Y es esta la primera
impres.n en
Salamanca
Año de 1492.

Durante su primera etapa salmantina tuvo problemas con la Inquisición (según Picatoste pretendió reformar los «métodos bárbaros y viciosos» que allí se empleaban). Ante ella fue acusado de sacrílego y farsante por «envidiosos teologastros de la sabiduría de Nebrija y, por ende, de las preferencias que le dispensaba el Cardenal Cisneros» (Mendez Bejarano. Pg. 34. Diccionario. 1923). Precisamente la Apología que entregó Nebrija al Cardenal primado le sirvió para ser declarado inocente, a pesar de haber tachado al inquisidor de ignorante y mal juez. Nebrija abandona la docencia en Salamanca y entra al servicio de su antiguo alumno Juan de Zúñiga, entonces Maestre de Alcántara y luego Cardenal Arzobispo de Sevilla. Su tiempo libre lo dedicó a escribir sus vocabularios (latín-español y español-latín), a componer sus Introducciones Latinas y a finalizar su famosa Gramática. A

Nebrija en la Biblioteca del Escorial

Biblioteca Nacional



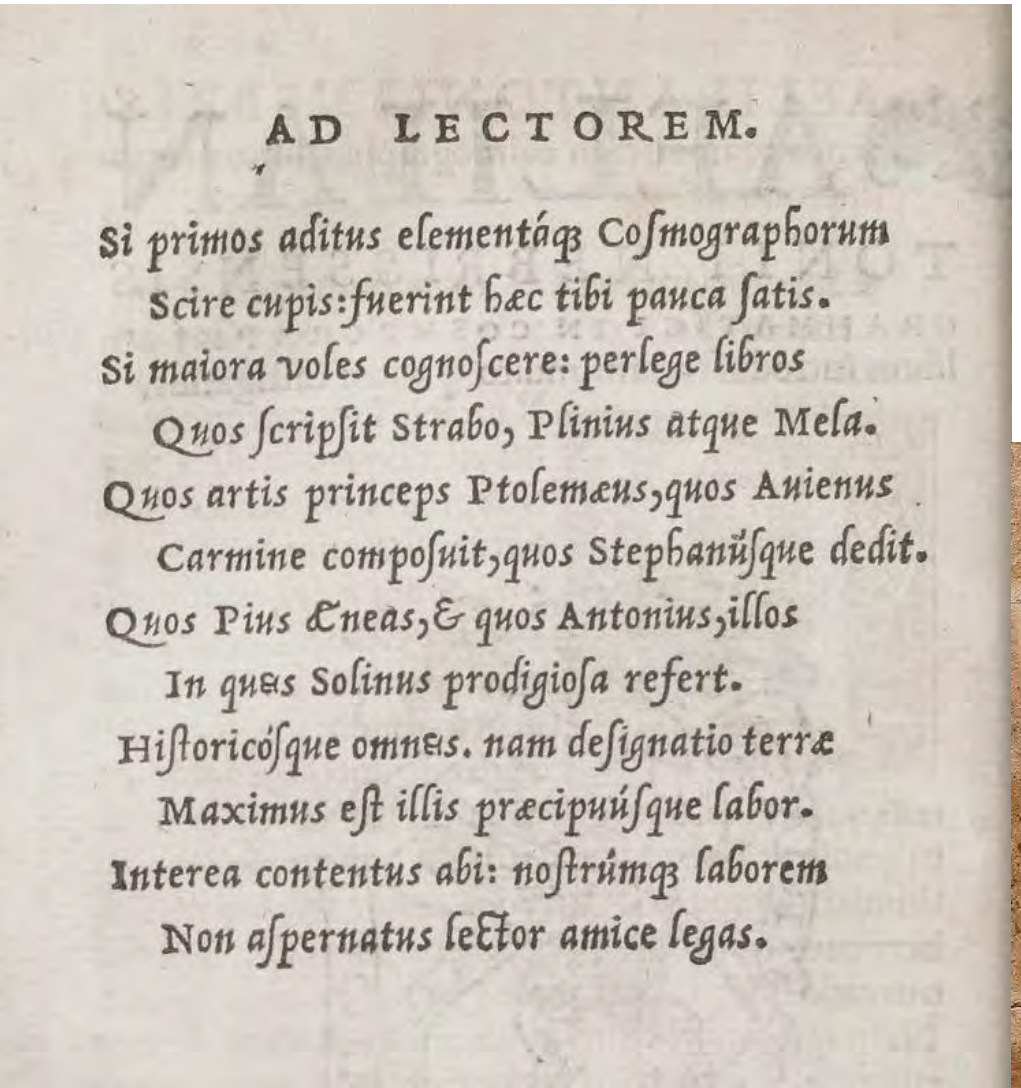
Elio Antonio de Nebrija en la Real Academia Española.
Marceliano Santa María (1922)

comienzos del año 1503 oposita nuevamente a una Cátedra de Gramática en la Universidad de Salamanca, pero finalmente renuncia al nombramiento; influenciado quizás por la inminente designación de Zúñiga como arzobispo y cardenal de Sevilla. Muerto su preceptor en 1504, accede otra vez a la cátedra en Mayo de 1505, leyendo en 1506 su tercera repetición.

De entre todas las publicaciones científicas de Nebrija, debe reseñarse en primer lugar, por ser la de mayor importancia, su *Isagogicum Cosmographiae,* un breve tratado que pretendía iniciar al estudiante en el cultivo de la disciplina. En los años siguientes se debió revidar y ampliar en varias ocasiones, aunque manteniendo la estructura original, del año 1533 data una edición publicada en parís (1533), con el título *Aeliian Tonii Nebrissensis Grammatici in Cosmographiae libros introuctorium, multo quam antea castigatus.* Aunque su brevedad fuese manifiesta (32 páginas), fue de singular trascendencia en su tiempo. El carácter introductorio se acredita con los versos que incluyó a modo de prólogo, indicando al lector que en el texto encontraría las nociones suficientes para tener una idea aproximada de la materia, recomendándole la consulta de las obras escritas por Estrabón, Plinio y Mela, si deseaban ampliar sus conocimientos. Aunque luego se refiriese también a otros autores, destacando a Tolomeo, al que llamó maestro del arte. Los versos últimos recordaban el protagonismo que tenía en la obra la descripción de la Tierra. La obra se compuso de los diez capítulos siguientes:

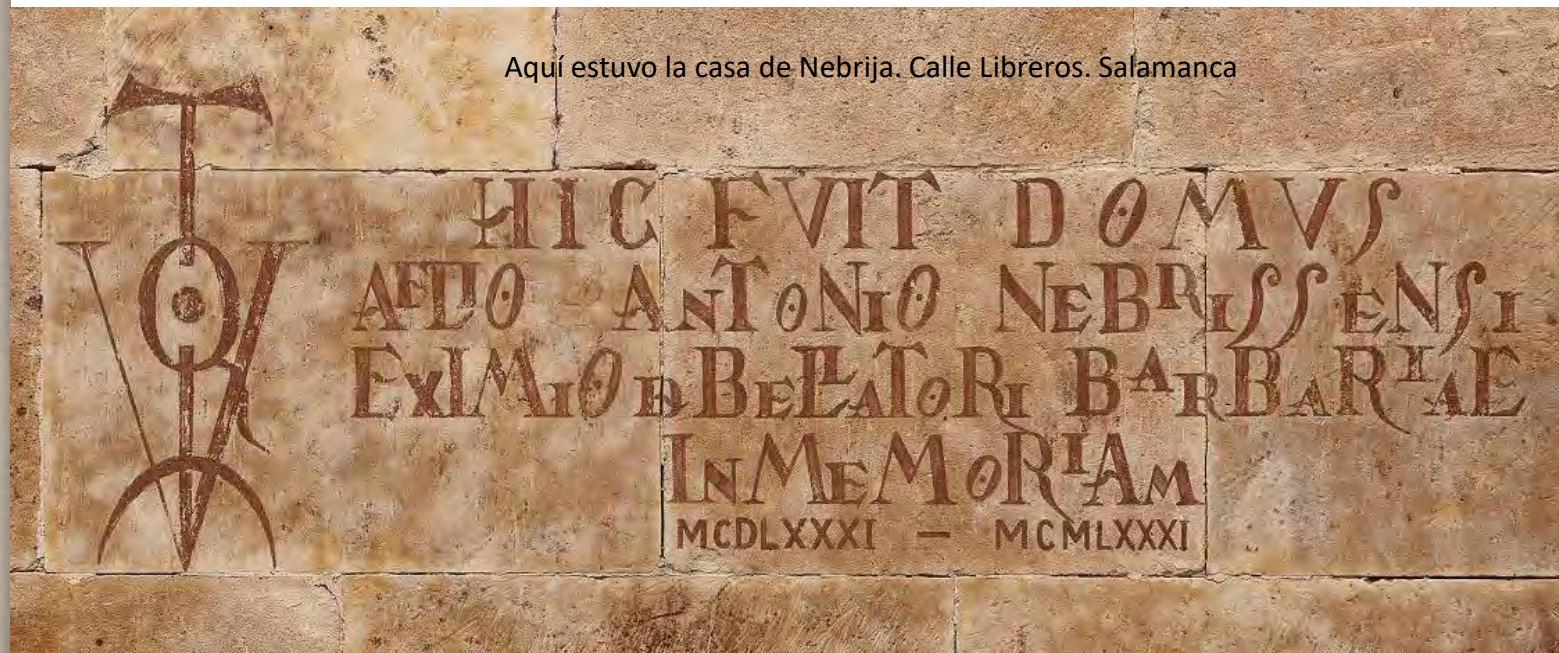
AELII AN
TONII NEBRISSENSIS
GRAMMATICI IN COSMOGRAPHIAE
libros introductorium, multo q̄ antea castigatius.
HANC ACIEM
SOLA RETVLIT
VIRTVS
TEMPVS.
PARISIIS
Ex officina Simonis Colinæi.
1533
Rés. R 183A

I) La Superficie de la Tierra y de las aguas es concéntrica con el mundo, II) Sobre los círculos de la esfera necesarios para esta cuestión, III) De la posición de los vientos, IV) Cuanto y a qué parte del Cielo corresponde la Tierra, V) De las proporciones de los paralelos entre sí, VI) De las medidas que usan los cosmógrafos, VII) Representación de la Tierra en el plano según Ptolomeo, VIII) De cómo se ha de describir en la esfera nuestra situación. IX) De la diversidad de horas según la declinación del equinoccial, X) De los vocablos que usan los cosmógrafos. El contenido de los capítulos es clarificador, tratándose en ellos cuestiones propias de la Astronomía, Geofísica (Meteorología), Geodesia, Metrología y Cartografía; curiosamente el último capítulo es realmente un glosario de 80 términos, similar a los que aparecen con tanta frecuencia en las publicaciones actuales. No existe unanimidad a la hora de fijar las reediciones de esta obra de Nebrija, aunque si existe coincidencia al considerarla fundamental para la divulgación de los conocimientos



AD LECTOREM.

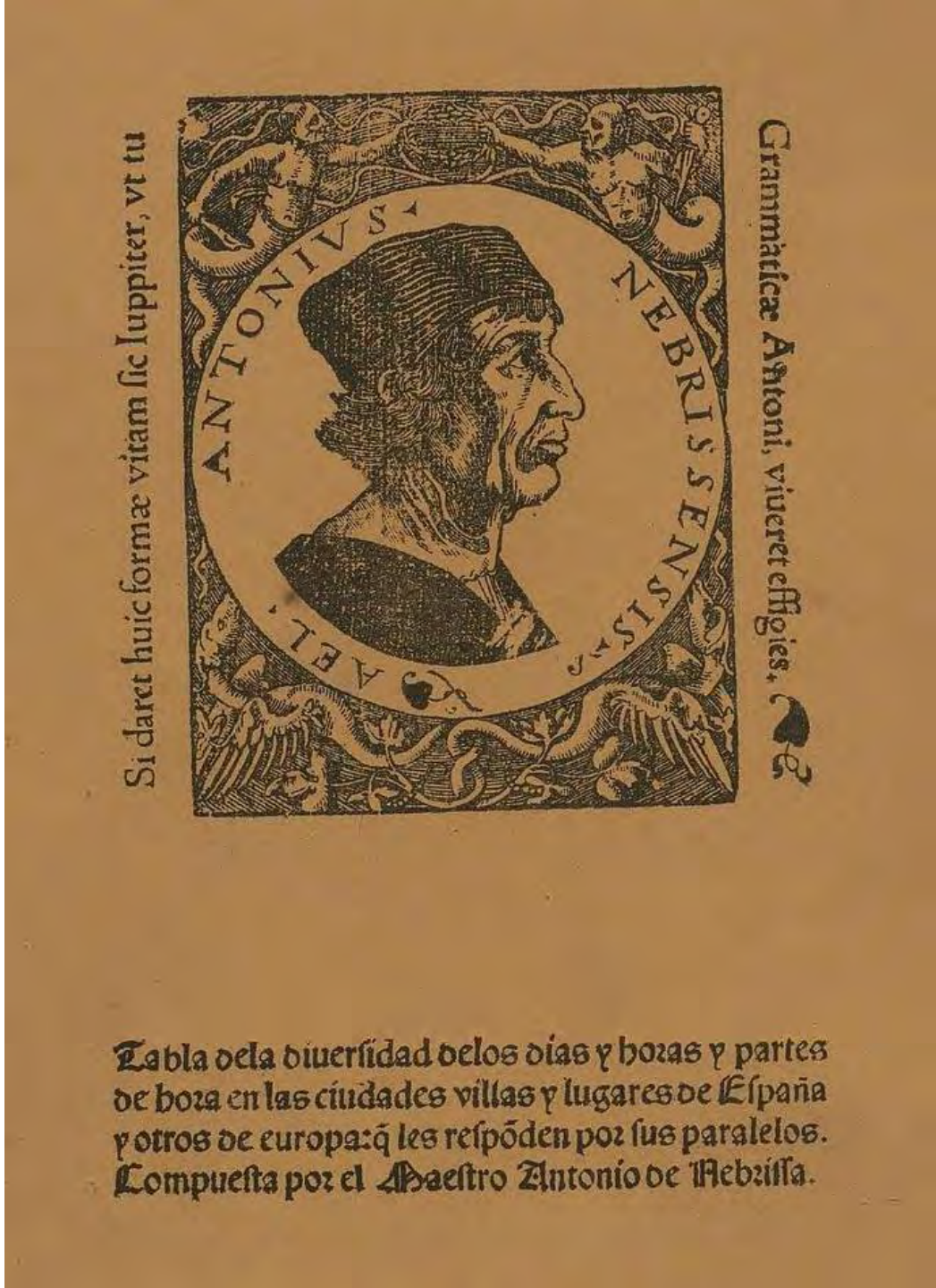
Si primos aditus elementáqz Cosmographorum
Scire cupis: fuerint hæc tibi pauca satis.
Si maiora voles cognoscere: perlege libros
Quos scripsit Strabo, Plinius atque Mela.
Quos artis princeps Ptolemæus, quos Auienus
Carmine composuit, quos Stephanüsque dedit.
Quos Pius Æneas, & quos Antonius, illos
In quos Solinus prodigiosa refert.
Historicósque omnes. nam designatio terræ
Maximus est illis præcipuúsque labor.
Interea contentus abi: nostrúmqz laborem
Non aspernatus lector amice legas.



Aquí estuvo la casa de Nebrija. Calle Libreros. Salamanca

cosmográficos (o de la esfera, como también se decía) y al identificarla como el primer texto compuesto por "cristianos españoles" (por usar las mismas palabras que empleó en su día (1946) Armando Cotarelo Valledor. Juan Bautista Muñoz dijo de él «que no halló por entonces composición alguna de ese género desempeñada con igual acierto y primor» (Elogio de Nebrija. Academia de la Historia. T. III. 1799). Su Cosmografía resultó ser, la primera obra de carácter geográfico que recoge el cambio de la imagen del mundo, al señalar la existencia de nuevas tierras y nuevos mares.

Otra obra astronómica de Nebrija, que puede considerarse complemento del capítulo noveno de su Cosmografía, es el opúsculo escrito en castellano titulado *Tabla de la diversidad de los días y horas y partes de hora en las Ciudades, Villas y lugares de España y otros de Europa que les responden por sus paralelos compuesta por el maestro Antonio de Nebrija*. En él se explica cómo la duración de los días y de las noches varía con la latitud y con la declinación del Sol, es decir con el lugar y a lo largo del año; en este caso añade también un glosario al final. Con objeto de que el lector pudiera calcular la citada duración en cualquier población, adjuntaba una tabla con las coordenadas geográficas de 115



españolas y 40 del resto de Europa, comprendidas todas ellas entre los paralelos 36 y 45. Las latitudes y longitudes las tomó del, entonces popular, *Almanaque perpetuo de Abraham Zacuto.* No es conocida con exactitud la fecha de su aparición, aunque los años 1499 y 1517 son los generalmente señalados; hacia el año 1878 apareció una edición facsímil en Madrid, realizada por José Sancho Rayón.

La figura de Nebrija sobresale igualmente en la Metrología, a él se deben las primeras lecciones que se impartieron en España, y quizás en toda Europa, sobre tan interesante área de conocimiento. Las mismas aparecen didácticamente recogidas en sus conocidas Repeticiones, explicadas en la Universidad de Salamanca e impresas por él mismo. Las Repeticiones o Relecciones eran conferencias públicas que se daban cada año y versaban sobre algún tema ya explicado en el curso anterior. Las metrológicas son concretamente la sexta, séptima y octava, todas ellas escritas en latín con los títulos siguientes: VI. *De Mensuris* (leída el 11 de Junio de 1510), VII. *De Ponderibus* (leída el 15 de Junio de 1511) y VIII. *De Numeris* (leída el 11 de Junio de 1512). En la primera de ellas defiende la necesidad de fijar un patrón anatómico de longitud, su propio pie, al que pudieran referirse sin ambigüedad las múltiples medidas de longitud empleadas en su tiempo, manifestando que había mandado construir un

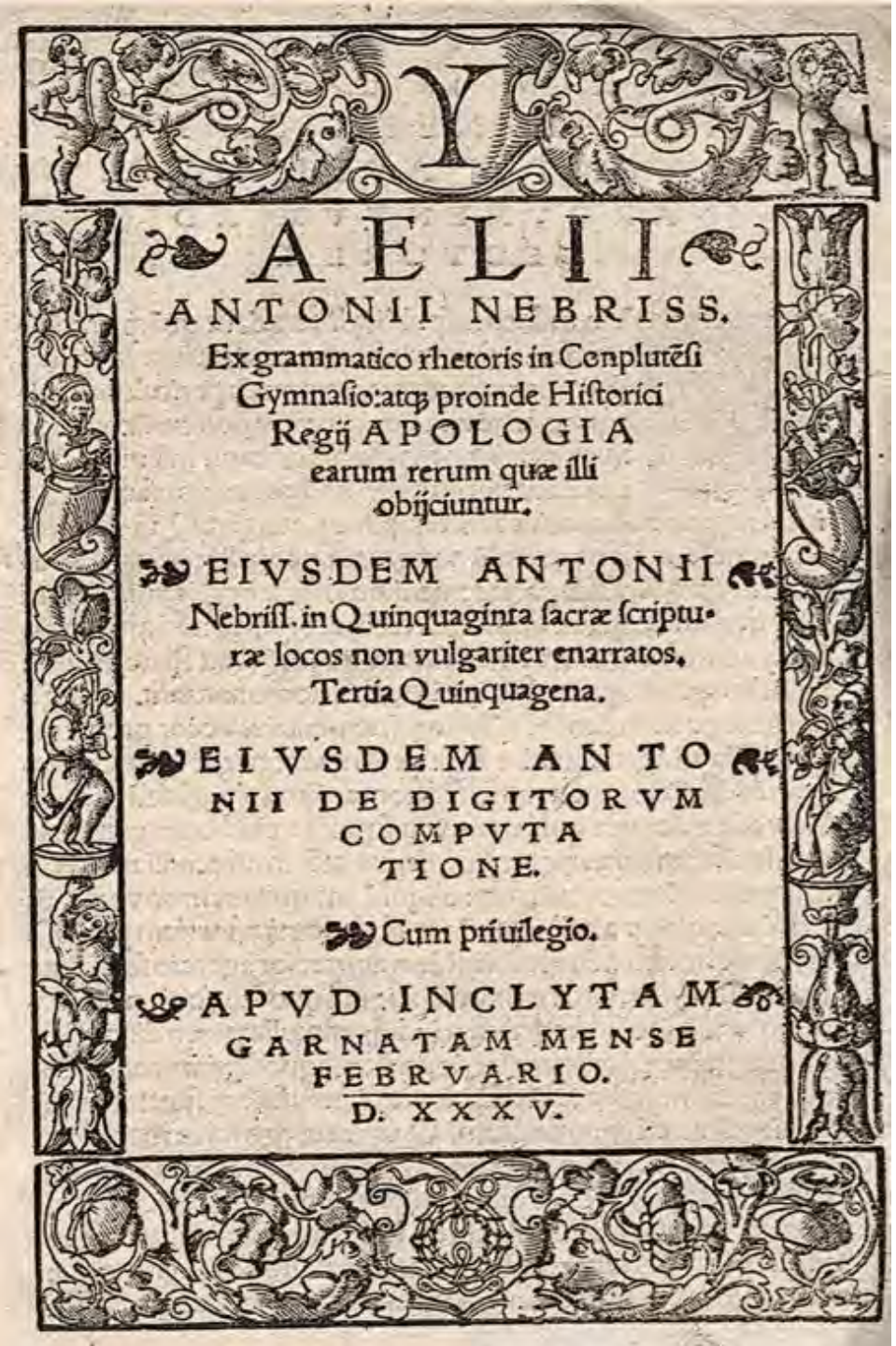
Nebrija impartiendo clase ante Juan de Zúñiga, arzobispo de Sevilla. Frontispicio de *Introductiones Latinae* (1486)

patrón material (el pie español). Tras una tabla con la equivalencia entre las medidas de longitud de los clásicos y las contemporáneas, todas referidas al pie, advierte sobre la dificultad de medir áridos por su diferente densidad. En la siguiente Repetición continúa con su estudio crítico-histórico, completando la tabla anterior, referida ahora a las diversas unidades de peso y capacidad. Finalmente, en la octava se refiere a las denominaciones dadas en las obras clásicas a los números ordinales y cardinales. Las tres fueron editadas conjuntamente años después (1527) por Miguel Eguia, formando un verdadero tratado de Metrología histórica que se conserva en la Biblioteca Nacional (Signt. R.21692).

Asimismo, puede incluirse dentro de la producción científica de Nebrija el trabajo que realizó sobre el cómputo con los dedos de las manos que denominó *De digitorum supputatione*. En el mismo recupera la significación de cada uno de ellos y de las figuras que pueden formarse con sus movimientos, atendiendo siempre a las enseñanzas contenidas en textos de diversos autores, entre los que señala a San Jerónimo, a San Isidoro o a Beda el Venerable. Es probable que no se tratara de una publicación independiente, ya que se editó conjuntamente con la *Apología* (mencionada con relación a sus problemas inquisitoriales) y la tercera de las *Quinquagena* (exposición de los cincuenta pasajes de la

Ælij Antonij ne
brissensis Grammatici atq; Regii
Historiographi Repetitio se-
ptima de Ponderibus.
quam recitauit
in Salmā
ti-
cēsi gymnasio. in idus
Iunias. Anno
M. D.
XI.
IHS

REPETITIO SÉPTIMA DE PONDERIBUS



AELII
ANTONII NEBRISS.
Ex grammatico rhetoris in Complutẽsi
Gymnasio: atq; proinde Historici
Regij APOLOGIA
earum rerum quæ illi
obijciuntur.

EIVSDEM ANTONII
Nebriss. in Quinquaginta sacræ scriptu-
ræ locos non vulgariter enarratos.
Tertia Quinquagena.

EIVSDEM ANTO
NII DE DIGITORVM
COMPVTA
TIONE.

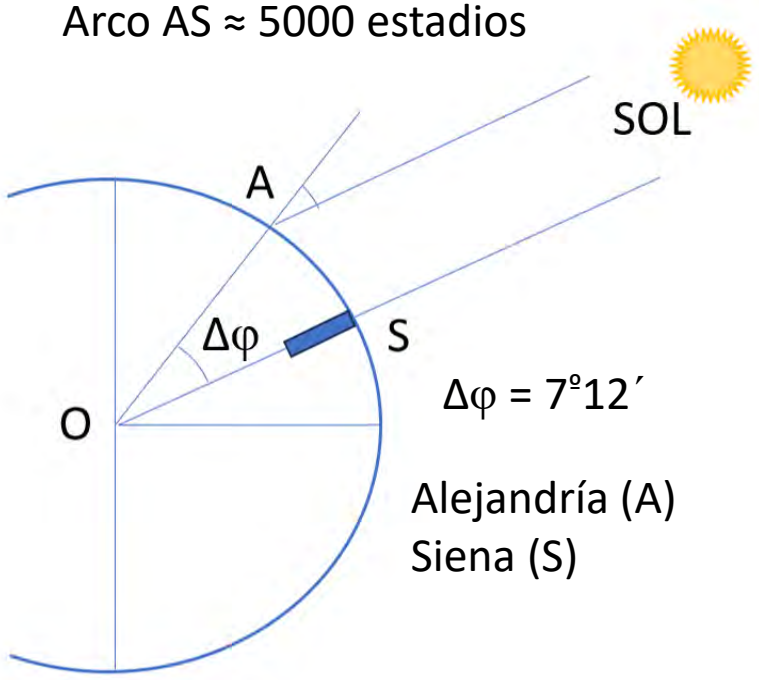
Cum priuilegio.

APVD INCLYTAM
GARNATAM MENSE
FEBRVARIO.
D. XXXV.

Biblia), con el título *Eiusdem Antonii de Digitorum Computatione*. Así aparece en uno de los ejemplares (conservado en la Biblioteca Pública de Córdoba) editado en Granada en Febrero de 1535. El trabajo es verdaderamente singular y muy gráfico en su exposición, según se desprende de la traducción realizada por Cotarelo e impresa al final de su obra Nebrija Científico; de ella se han seleccionado párrafos bastante significativos, el correspondiente a los nueve primeros números naturales dice así: «Cuando nuestros remotos antepasados querían expresar gráficamente uno, adherían el dedo meñique de la mano izquierda a la palma o hueco de dicha mano; cuando dos, el próximo inmediato al meñique; cuando tres, el dedo del corazón, al que solían llamar, con apelación de descrédito, el dedo deshonrado o circunciso. Con la elevación del meñique cuando estos tres están adheridos a la palma, cuatro; con la elevación del próximo, además, cinco; con la elevación del meñique y del dedo del corazón, además, mientras que el anular, que hemos descrito como próximo al meñique, permanece unido a la palma, seis; con el meñique aproximado a la raíz de la mano, siete; aplicando también el anular, de la misma manera, a la citada base o raíz, ocho; con el dedo del corazón también igualmente unido a la parte nombrada, nueve». Proseguía Nebrija con el resto de los números hasta 90, valiéndose siempre de los dedos de la mano izquierda. A partir de dicho número recurrió a la mano derecha. (...y lo

que expresa en la izquierda diez, en la derecha será cien; lo que en la izquierda veinte, doscientos; ...).

Nebrija prestó especial atención a cuestiones que en la actualidad podrían calificarse de geodésico-topográficas, aunque él las abordase en su tratado cosmográfico. Concretamente, en el capítulo primero se analiza y acepta la esfericidad de la Tierra y de los mares, así como la, por entonces discutida, existencia de antípodas. Las dimensiones de la Tierra aparecen expuestas en el capítulo cuarto al asignar al grado el desarrollo erróneo de 500 estadios, indirectamente influenciado por Eratóstenes, a través de la lectura del Sueño de Escipión (obra del gramático y filósofo romano Macrobio - S. IV y V). Sin embargo, Nebrija añadió los comentarios siguientes: «...los autores no nos han dejado nada cierto ni definido. Por consiguiente, con cierta óptima razón seguiremos en esta parte a Tolomeo que nos ha dejado escritas matemáticamente las distancias de los lugares. Y como de 500 estadios se hacen 600 millas, el ámbito de la Tierra y el mar contendrá más de 21600 millas, seis mil



La supuesta medida de Eratóstenes. El Sol en el solsticio de verano iluminaba el fondo de los pozos en Siena, cuando en Alejandría tenía una distancia cenital de 7°12´, valor coincidente con la diferencia de latitudes entre las dos ciudades (situadas en el mismo meridiano). El desarrollo del grado se obtuvo dividiendo AS por Δφ.

parasangas, que reducidas a leguas son 5400. En cuanto a lo que hemos dicho de que 500 estadios corresponden a cada grado se ha de entender sobre el meridiano o sobre la equinoccial o sobre cualquier otro círculo mayor de la esfera, pues a los círculos menores corresponderá menos». El error anterior, como es notorio, procedía de la inadecuada determinación de las longitudes geográficas, un hecho que a la larga auspiciaría el descubrimiento de América.

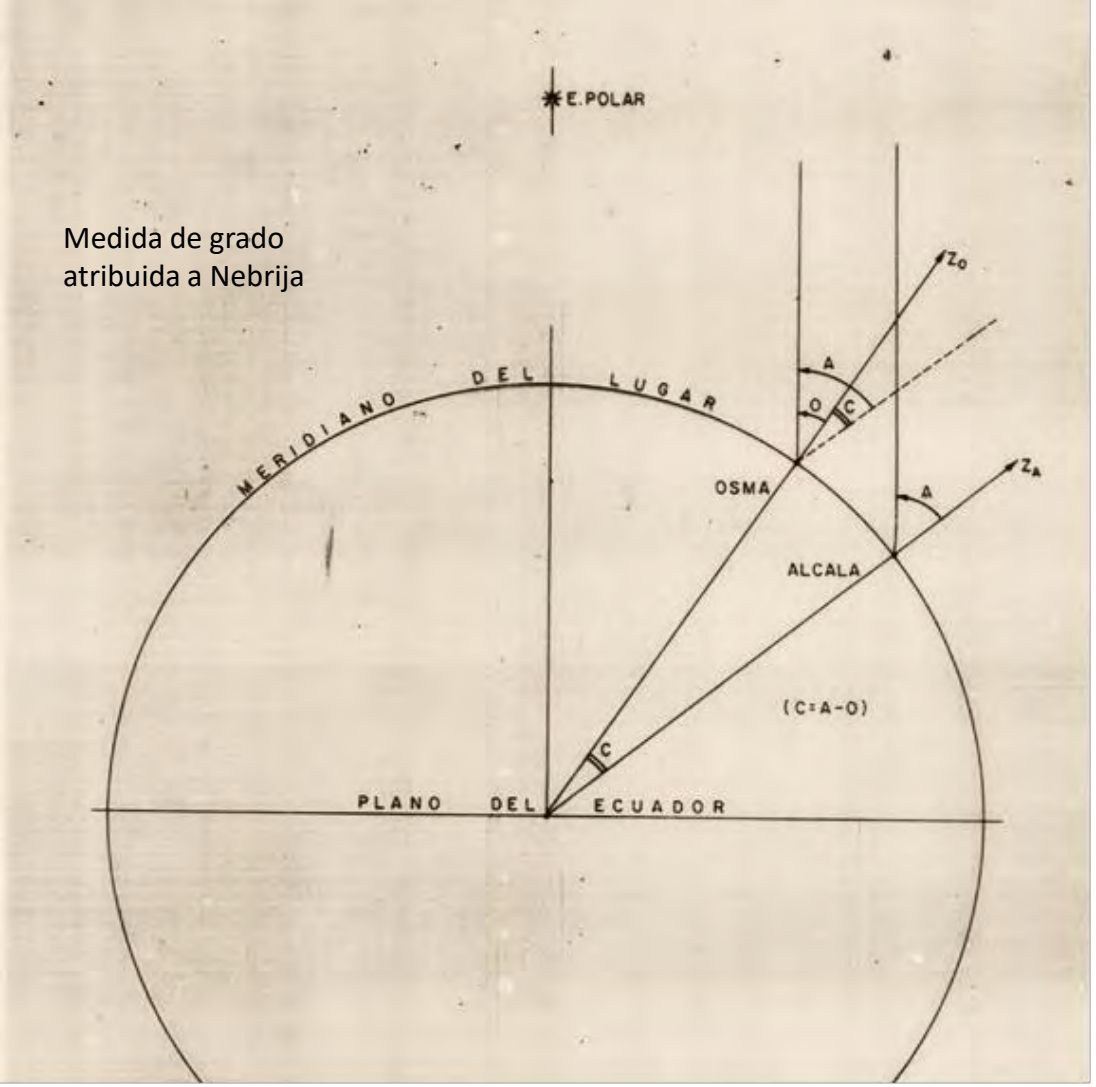
Nebrija impartió también una lección de cartografía matemática a través del séptimo capítulo de su Cosmografía. En él hace un resumen muy breve del capítulo XXIV (Libro I) de la Geografía de Tolomeo, cuyo título es suficientemente ilustrativo: *Como la tierra habitable puede ser mostrada en un plano para que sus medidas estén en consonancia con sus homólogas de la esfera.* El resumen de Nebrija detalla cómo se dibujaría el mapa: «Hagamos una tabla de cuatro ángulos rectos como abcd, y se hace ab casi el doble mayor que ac y supóngase que el lado ab está colocado en la parte superior que sea la dirección hacia el septentrión, después dividamos ab en partes iguales y en ángulos rectos y sea esta línea ef...» Todo apunta por tanto a que se estaba tratando de reproducir la segunda proyección ideada por Tolomeo (una especie de desarrollo cónico directo centrado en el paralelo de Rodas, que consideraba automecoico). El interés de Nebrija por la geografía matemática no se centró tan solo en su vertiente teórica, sino que lo extendió a las actividades de campo, realizando trabajos de índole topográfica y otros que podrían catalogarse de geodésicos. Dentro del primer grupo deben incluirse los que aparecen descritos en su repetida Cosmografía y en la *Repetición sexta*. Allí recuerda las medidas que él mismo efectuó en el estadio y circo

de Mérida, así como las realizadas entre los hitos miliarios colocados a lo largo de la vía que unía dicha ciudad con la de Salamanca. Reseña también, el autor de los trabajos, que se valió de cuerdas de cincuenta o de cien pies (presumiblemente similares a las que luego emplearía su discípulo Esquivel por aquellas tierras):«...En ella (dice refiriéndose a la Vía Lusitana) hay unas columnas cilíndricas, cada una designa mil pasos. Midiendo estos espacios, unas veces con pasos largos y otras con pasos cortos, comprobé tener cinco mil de mis pies. Con una cuerda de cien pies, que no se estire ni se encoja, medí el mismo espacio y obtuve cincuenta cuerdas de cien pies...» (capítulo 6º de su Cosmografía).

Miliario del año 98, cuya inscripción latina viene a decir: «El emperador César, hijo del divino Nerva, Nerva Trajano, augusto, germánico pontífice máximo, investido con la potestad tribunicia, cónsul por segunda vez, restauró 142 millas».

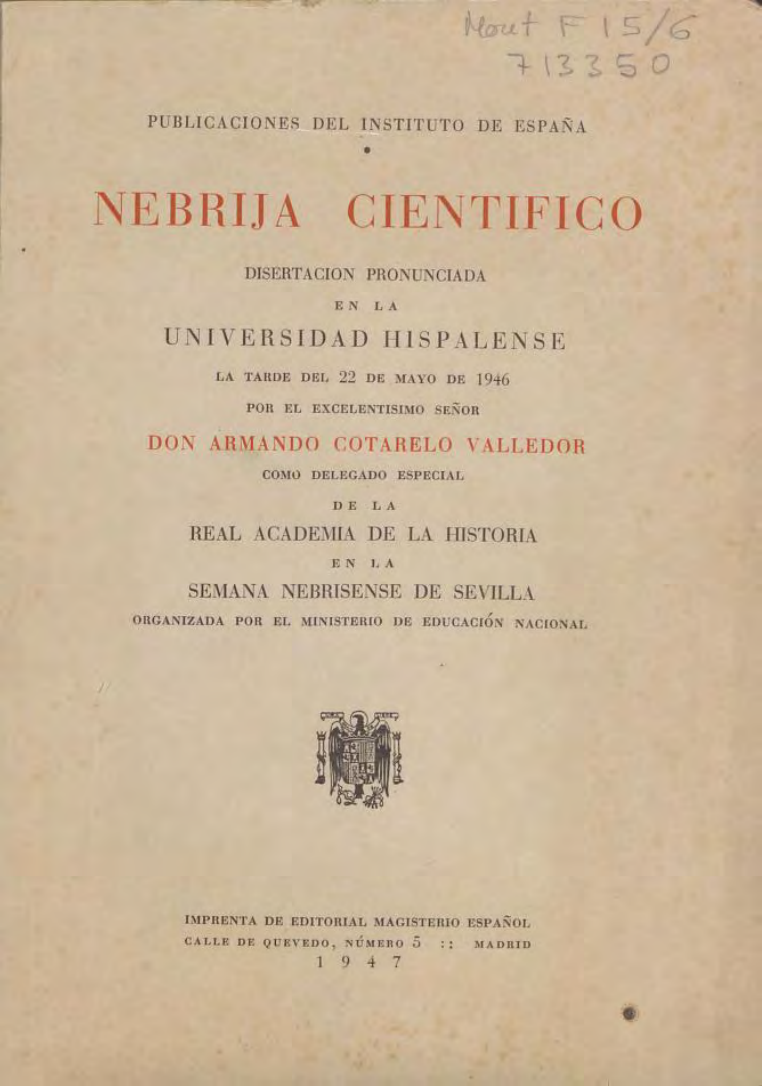
A Nebrija se le atribuye incluso la medida de un arco de meridiano, si bien es cierto que no se conserva prueba documental irrefutable. Si así hubiese sido, posiblemente sería el comprendido entre Alcalá de Henares y Burgo de Osma. La mención más remota que se conoce al respecto es la que figura en las sucesivas ediciones de la miscelánea *Silva de varia lección*, escrita por el Cosmógrafo real Pedro de Mexia a mediados del siglo XVI. En el capítulo que dedica a *como saber y medir cuanta sea la redondez y ámbito de la tierra toda*, afirmaba el también sevillano y cronista de Carlos V: «...De manera que tendrá el grado sesenta y dos millas y media y quinientos pasos

EL CIRCO DE MÉRIDA



Medida de grado atribuida a Nebrija

geométricos. E así lo afirma Tolomeo, libro primero y lo mismo Mariano Capela y los más sabios cosmógrafos antiguos, y ésta es común opinión de los más doctos modernos. E así lo tiene Oroncio Fineo, y dice haberlo experimentado caminando de París a Tolosa, y Glariano y Antonio de Lebrixa, doctísimo y diligentismo varón, escriben haber la misma experiencia». Probablemente sea esa cita de Mexia el origen de sucesivos comentarios similares: los de Fernández de Navarrete, Menéndez Pelayo y el más reciente de López Piñero (y otros), pueden ser representativos. Otra de las menciones, mucha más concreta, es la que efectuó Méndez Bejarano (1923) en su Diccionario de Escritores, Maestros y Oradores, entre las páginas (29 a 40), dedicada a Martínez de Cala (Elio Antonio). Quizás sea esa una de las más rigurosa, al menos en su exposición, dice así: «El empeño de escoger para sus observaciones pueblos situados sobre un mismo meridiano presentó algunas dificultades, hasta elegir Alcalá y Osma como puntos de observación definitiva. Desde estos lugares y aprovechando una misma hora en una noche clara (de la que sería curioso conocer la fecha), dos observadores experimentados miden el ángulo cenital a que se eleva la Estrella Polar, extremo de la cola de la Osa Menor, que entonces ya pasaba por ser el polo de rotación de la esfera celeste, conocimiento que databa de los caldeos. Calculada la diferencia de estos ángulos, resultó ser de un grado menos ocho minutos, y el camino de atajo que podría labrarse de Alcalá de Henares al Burgo de Osma seria escasamente de veinte leguas castellanas ».



Nout F 15/6
713350

PUBLICACIONES DEL INSTITUTO DE ESPAÑA

NEBRIJA CIENTIFICO

DISERTACION PRONUNCIADA
EN LA
UNIVERSIDAD HISPALENSE
LA TARDE DEL 22 DE MAYO DE 1946
POR EL EXCELENTISIMO SEÑOR
DON ARMANDO COTARELO VALLEDOR
COMO DELEGADO ESPECIAL
DE LA
REAL ACADEMIA DE LA HISTORIA
EN LA
SEMANA NEBRISENSE DE SEVILLA
ORGANIZADA POR EL MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL

IMPRENTA DE EDITORIAL MAGISTERIO ESPAÑOL
CALLE DE QUEVEDO, NÚMERO 5 :: MADRID
1 9 4 7

Algunos autores dan por cierta la medición de grado, llegando incluso a lamentar no haber podido fijar la exactitud alcanzada, ese es el caso de Julio Rey Pastor (*La Ciencia y la Técnica en el Descubrimiento de América. 1492*), que da como razón para no lograrlo el desconocimiento de la equivalencia métrica del paso geométrico (citado por Mexia). De ser ciertas las operaciones geodésicas de Nebrija, llevaría mucha razón el académico Armando Cotarelo Vallador, cuando afirmaba que el maestro sevillano sería el precursor de todos los ilustres geodestas españoles. Así lo hizo en el encendido discurso que pronunció en la Universidad de Sevilla (22.V. 1946), con ocasión de la celebración de una semana nebrisense, manifestando además que «debía decorársele con el galardón de ser el primero en medir un arco de meridiano, no en España, sino en Europa, sublimándole en la esfera científica a la misma elevación que en la lingüística resplandece y granjeando así a la Patria el honor de anticiparse un siglo a las miseraciones de Villebordio Snellio, el Eratóstenes bátavo, tenido hasta hoy por inventor de la triangulación geodésica, si es que ya no sea también, como todo parece indicarlo, otra invención española por un alumno del Humanista anticipada».

Monumento a Nebrija situado en la Plaza de España de Lebrija. Fue inaugurado en mayo de 1946, coincidiendo con el V aniversario de su nacimiento. El autor fue José Lafita.

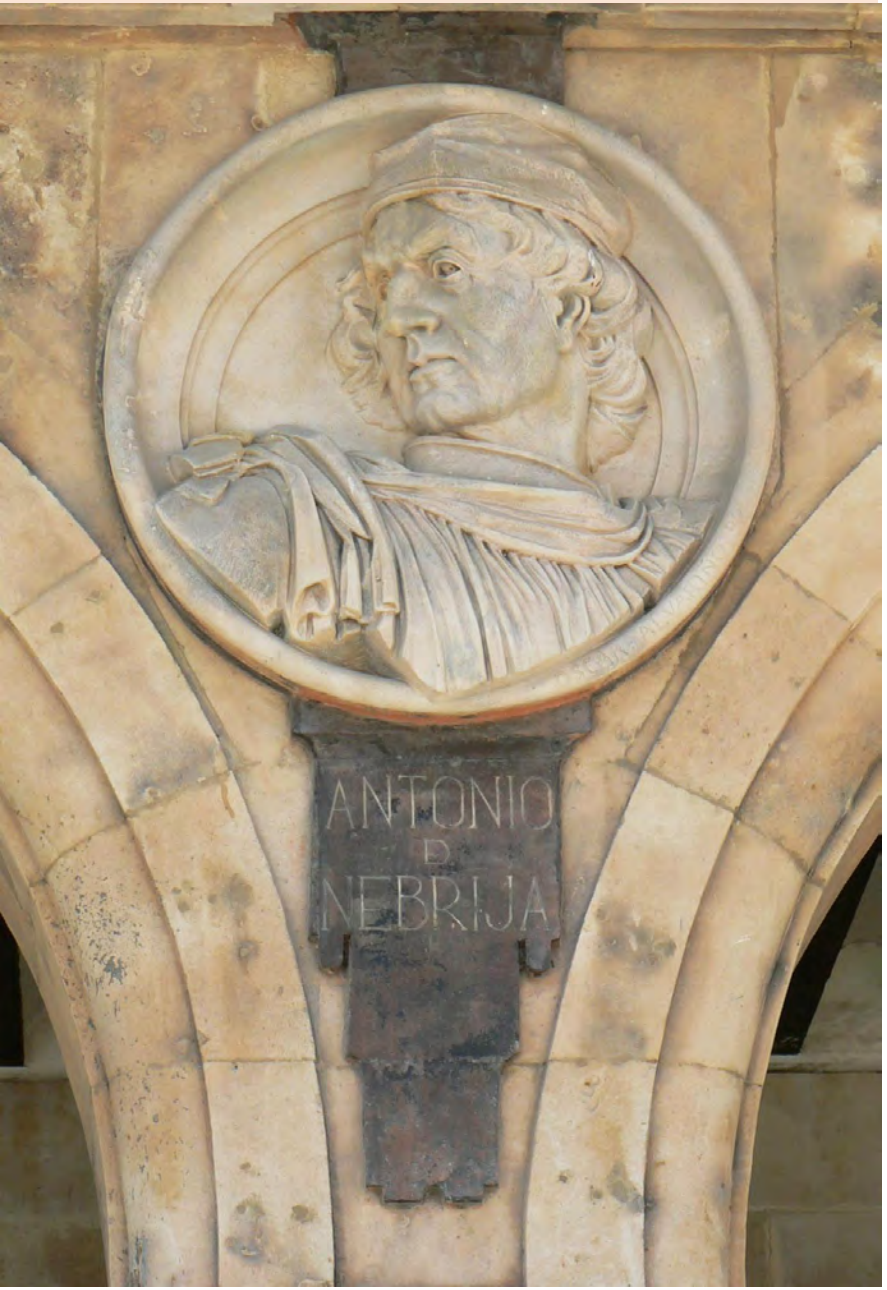
La contribución científica más valiosa de Nebrija fue la metrológica, con la particularidad de estar perfectamente documentada. Ya se han mencionado indirectamente algunas cuestiones que lo avalan como estudioso de la metrología histórica y como promotor de un patrón lineal. Como ocurría en los apartados anteriores, se debe recurrir a la Cosmografía y a sus Repeticiones para encontrar menciones expresas: recuérdese por ejemplo el capítulo sexto de la primera y en *Repetitio sexta de Mensuris*. Resulta muy significativo lo que comenta en dicha repetición a propósito del patrón citado:«... habiendo dividido el estadio de Mérida en ciento veinticinco pasos y distribuyendo a su vez cada paso en cinco pies, me resulta una misma longitud del pie que anoté para ulteriores aplicaciones y que he de poner de manifiesto en la Biblioteca que ahora se construye con gran magnificencia en nuestra Universidad de Salamanca; con objeto de que cuantas veces se suscite alguna duda que se refiera a cualquier clase de medida a fin de que se pueda comprender, según dice el Apóstol, cual es la longitud, latitud, profundidad y anchura...». No es seguro que Nebrija llegase a colocar su patrón en la Biblioteca, y de haberlo hecho ya no estaba allí cuando la visitó Ambrosio de Morales. Así lo detallaba, a la vez que lamentaba, el consejero y cronista de Felipe II después de haber referido los trabajos que el «buen Maestro de toda España, Antonio de Lebrixa» había efectuado en Extremadura para fijar el referido patrón de longitud. (Antigüedades de España. 1575). En el capítulo 6º de su Cosmografía, dio cuenta de los trabajos efectuados a lo largo de la Vía Lusitana, apoyándose en ellos para elegir su propio pie como patrón lineal;

Biblioteca antigua de la UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

La espina del circo emeritense

comentando que cualquiera de las cien partes de la cuerda empleada «correspondía a la longitud de mi pie desnudo». Continúa después con la medición del estadio de Mérida indicando: «Hay junto a Mérida un estadio en la Naumaquia (*stadium in naumachia*) o bien sea, un gran circo. Midiendo éste, abriendo las rodillas cuanto podía, obtuve ciento veinticinco pasos, lo cual está de acuerdo con la anterior suposición de las millas cuando dijimos que contienen ocho estadios. Lo que los bárbaros llaman legua, es sin duda lo que los griegos llaman parasanga y que Herodoto dice contiene treinta estadios, lo cual hace cuatro millas aproximadamente. También observé en mis anteriores viajes que cuatro millas equivalen a una legua o parasanga». A la misma cuestión se refería Nebrija en *De Mensuris*, después de indicar que había medido numerosas veces el estadio de Mérida con sus propios pies y pasos, «...Esta fue la manera de encontrar la medida del pié respecto a las millas, esto es, en el intervalo entre dos piedras miliarias: Supuesto que cada milla tiene mil pasos, cada uno de los cuales hace cinco pies, habiendo cogido una cuerda, que ni se estire ni se encoja, medí el espacio comprendido entre dos piedras llevando consecutivamente cien veces la longitud de la cuerda hasta completar aquel intervalo que se extendía entre dichas dos piedras miliarias. Después la quincuagésima parte de la cuerda me indicó una medida cierta del pie, puesto que ya hemos dicho que la milla tiene cinco mil pies».

Medallón de Nebrija en la Plaza Mayor de Salamanca

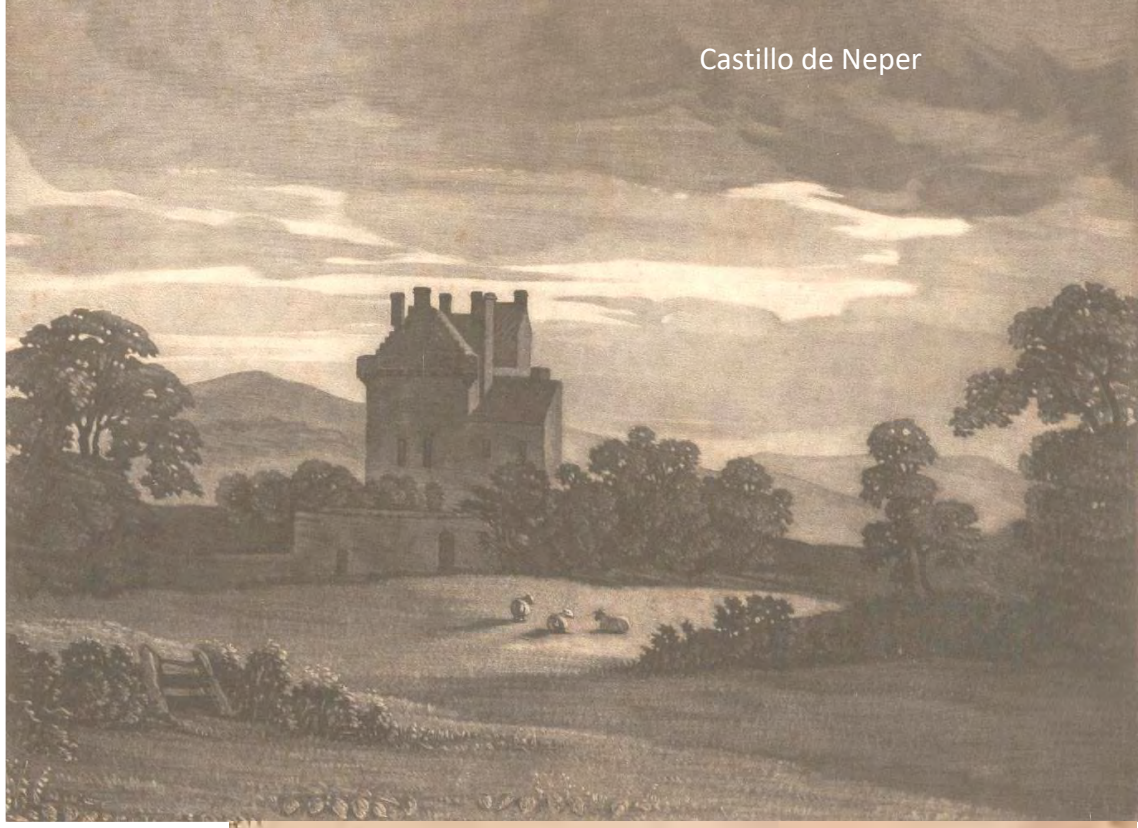


Después continuó Nebrija insistiendo en la conveniencia de considerar el pie como patrón lineal, en detrimento del paso. La Repetición termina con la tabla de equivalencia ya mencionada, con las definiciones de unidades antiguas y con la advertencia de que resulta dificultoso medir áridos por su diferente densidad. Aunque el carácter anatómico del patrón propuesto por Nebrija sea insostenible y poco recomendables algunos de los procedimientos que empleó (recuérdese que unas veces daba pasos de un tipo y otras de otro), hay que anotar en su haber y quizás como principal mérito el haber tratado de imponer orden en el caos metrológico, entonces imperante, señalando la necesidad de establecer un sistema universal de medidas, varios siglos antes de que se implantara con tanto esfuerzo el Sistema Métrico Nacional. Luis Vigil y Pedro Ruiz Aizpiri hacen al final de su importante artículo *Nebrija en el Campo de la Ciencia* (Revista Matemática Hispano-Americana. 4ª serie. Tomo IV. pp. 71-86. 1944) una valoración que parece sumamente ajustada y todavía válida, de ahí que se cite textualmente: «Su actitud mental es aceptación de la ciencia clásica, en tanto no se oponga a ella ningún descubrimiento renacentista, pero en su caso, admisión de todo resultado empírico moderno, lo cuál en su tiempo, bastante antes de llegar a Galileo, no es pequeño mérito. En resumen, Nebrija no fue un investigador, un científico propiamente dicho, pues su vocación era otra, pero reunió todas las cualidades que habrían sido de desear en los científicos españolas de aquella época».

John Neper (1550-1617)

Matemático escocés afamado por haber ideado los logaritmos, simplificando notablemente los cálculos (permitiendo transformar las multiplicaciones en sumas y las divisiones en restas), y de manera especial los astronómicos; doscientos años después de que lo hiciera, comentó Laplace: «admirable instrument, qui, en réduisant à quelques heures le travail de plusieurs mois, double si l'on peut dire la vie des astronomes, et leur épargne les erreurs et les dégoûts inséparables des longs calculs». También construyó diversos ábacos para realizar operaciones simples e introdujo la coma en el sistema de numeración, para separar la parte entera de la decimal. Neper (o Napier) ingresó en la Universidad de St. Andrews con tan solo 13 años, aunque no llegó a finalizar allí sus estudios; siguiendo el consejo de su tío, el obispo de Orkney, se marchó al continente para completar mejor su formación, siendo probable que asistiera a la Universidad de París y que pasara algún tiempo en Italia y en los Países Bajos. Neper debió regresar a Escocia antes del año 1571, casándose en

1573 para establecerse en el castillo que se construyó en la finca familiar de Gartnees; dedicándose a partir de entonces (1574) a la administración de sus propiedades. Sus profundos sentimientos religiosos los compatibilizó con su interés por la defensa de Escocia, ante el temor de una posible invasión ordenada por el rey Felipe II; hay constancia de que construyó dos tipos de espejos ustorios, una pieza de artillería y un carro metálico desde el que se podían disparar proyectiles. No obstante, nada de eso le impidió recrearse con el estudio de las matemáticas, buscando métodos que facilitasen el proceso de cálculo. Probablemente comenzara a idear los logaritmos hacia el año 1594, usándolos para obtener con mayor rapidez raíces, productos y cocientes a partir de tablas preparadas al efecto.

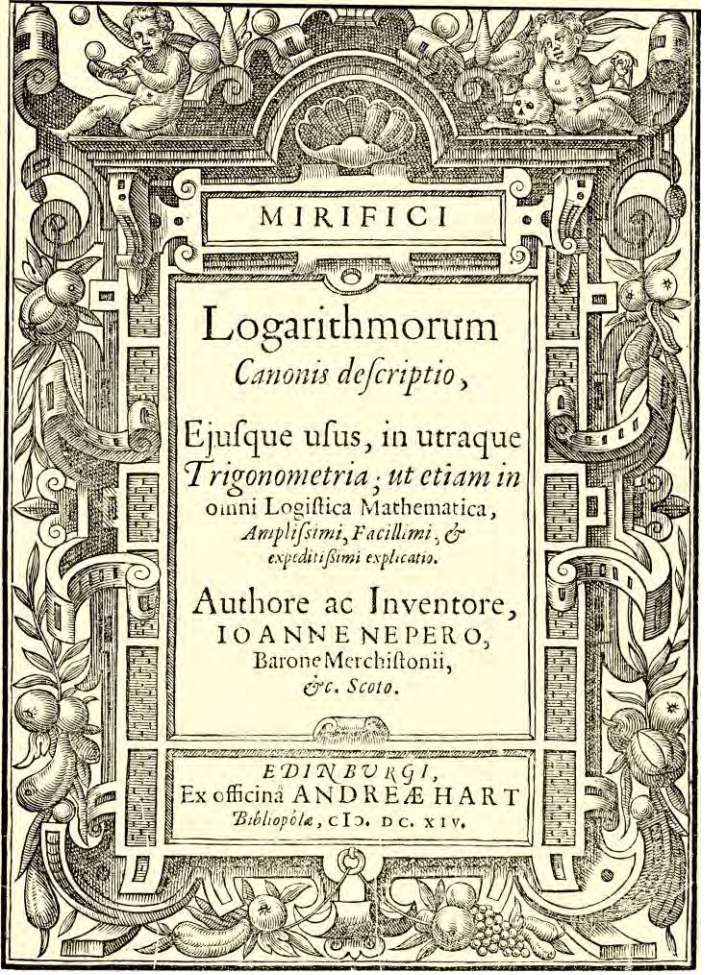


Castillo de Neper

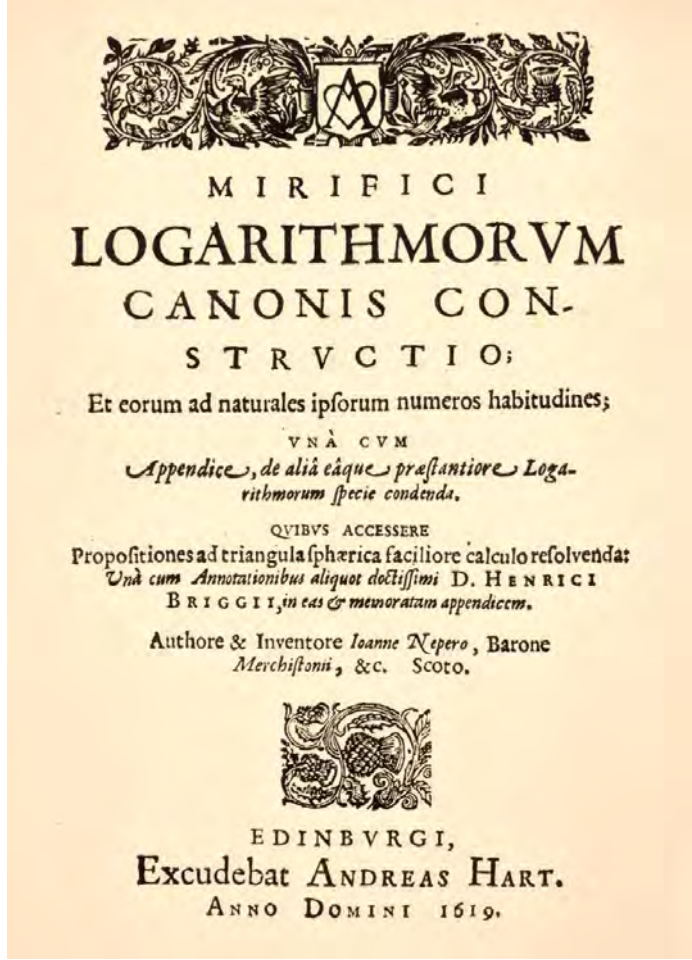
Dedicatoria de la primera obra de Neper

Fllustrißimo, & optimæ ſpei
PRINCIPI CAROLO,
Potentiſsimi, & Invictiſsimi,
IACOBI D·G·
magnæ Britanniæ, Franciæ, &
Hiberniæ Regis, filio unico, Walliæ Prin
cipi, Duci Eboraci, & Rotheſaiæ, magno Scotiæ
Seneſcallo, ac Inſularum Domino, &c.
D. D. D.

La primera publicación sobre los logaritmos data del año 1614: *Mirifici Logarithmorum Canonis Descriptio* (Descripción del maravilloso canon de los logaritmos), editándose de nuevo en 1619, a título póstumo, como *Mirifici Logarithmorum Canonis Constructio* (Construcción del maravilloso canon de los logaritmos. En 1616, el también matemático Edward Wright tradujo al inglés el trabajo de Neper, resumiendo en el prólogo los principios que le habían guiado a su invento: «Viendo que no hay nada que sea tan molesto para la práctica matemática, ni que moleste y



estorbe más a los calculadores, que las multiplicaciones, divisiones, extracciones cuadradas y cúbicas de grandes números, que además del tedioso gasto del tiempo están en su mayor parte sujetas a muchos errores resbaladizos, comencé a considerar en mi mente con qué arte seguro y listo podría eliminar esos obstáculos. Y después de haber reflexionado sobre muchas cosas con este propósito, encontré al fin algunas excelentes reglas breves de las que se tratará (quizás) más adelante. Pero entre todos, no hay ninguno más provechoso que éste que, junto con las duras y tediosas multiplicaciones, divisiones y extracciones de las raíces, también desecha de la obra misma incluso los mismos números que han de ser multiplicados, divididos y resueltos en raíces, y pone en su lugar otros números que rinden tanto como pueden hacer, solo por suma y resta, división por dos o división por tres».

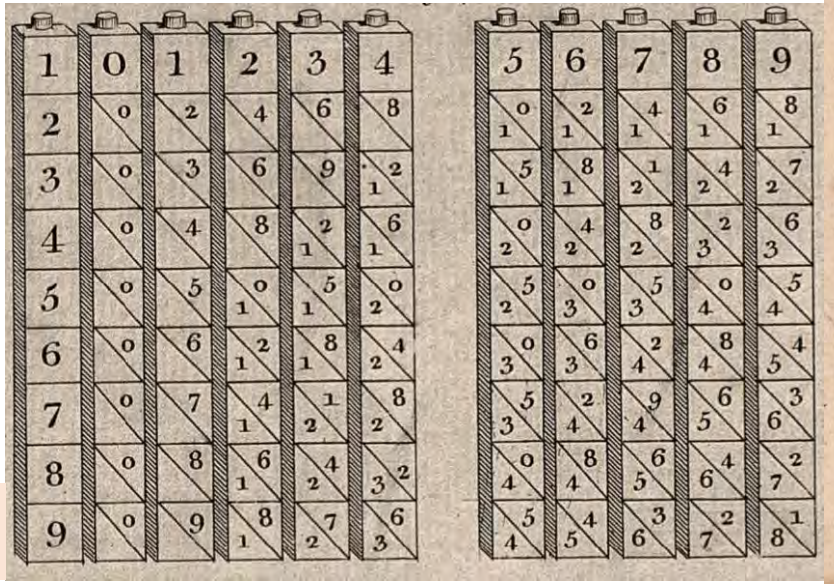


Dado un número N, se define su logaritmo decimal (l) como otro tal que diez elevado a él es igual a N, es decir $10^l = N$, o bien $l = \text{Log}_{10} N = \text{Log } N$. Al número 10 se le llama base de los logaritmos decimales. Si esta base fuese el número irracional e (se define como $e = \text{Lim}_{n\to\infty}(1 + 1/n)^n \approx 2.718282$) el logaritmo resultante sería otro número m, tal que $e^m = N$, o bien $m = \text{Ln } N = \text{Log}_e N$, conociéndose con el nombre de logaritmo neperiano. Una aplicación singular de este segundo tipo de logaritmos se presenta en cartografía, concretamente en el desarrollo cilíndrico y conforme de Mercator, definiéndose la latitud creciente o variable de Mercator como $\phi = \text{Ln tg}\,(\pi/4 + \varphi/2)$; siendo φ la latitud geográfica expresada en radianes.

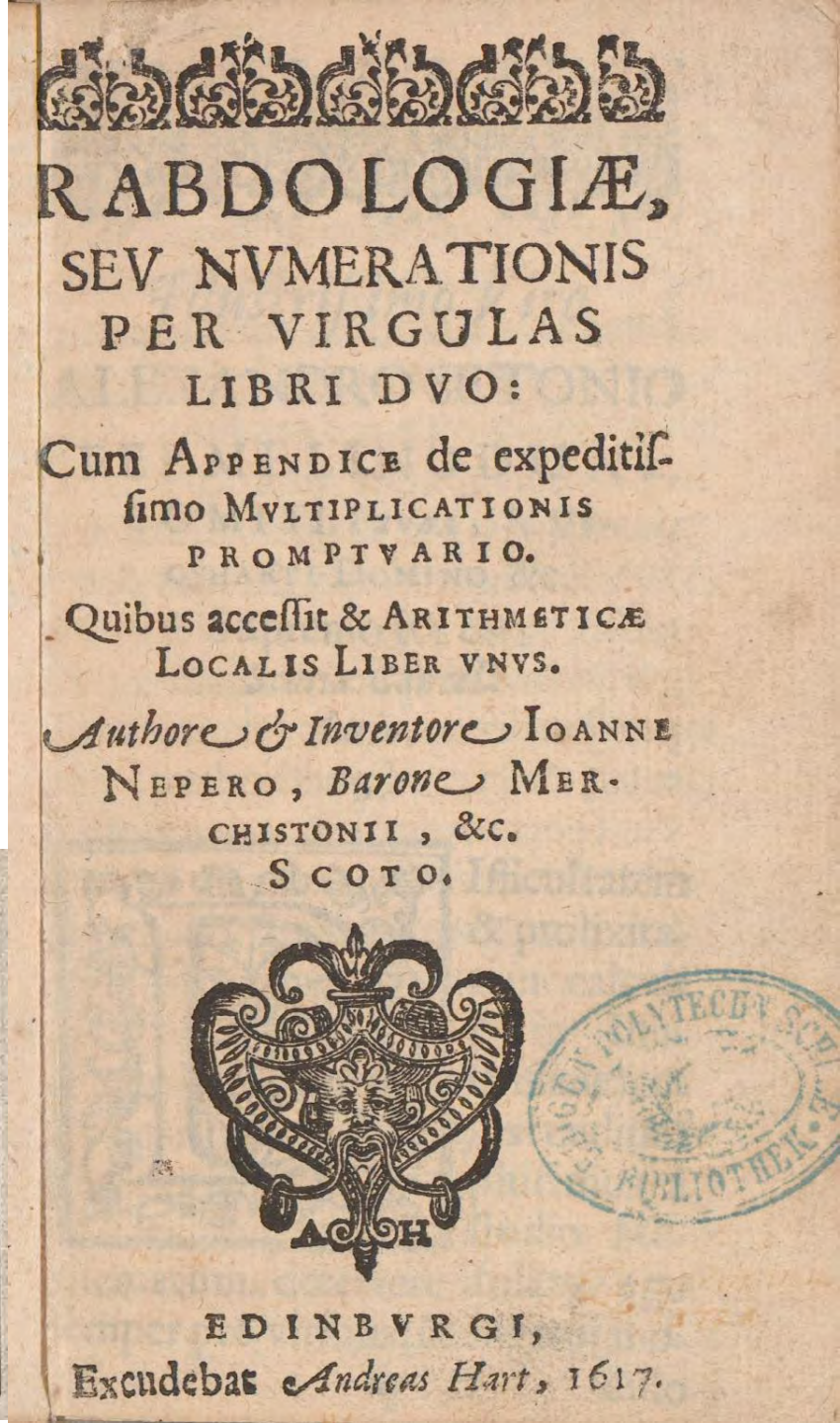
NÚMEROS	100	1000	10000
L. DECIMAL	2	3	4
L.NEPERIANO	4.6052	6.9078	9.2103

Escultura en la entrada al Campus de la Universidad Napier en Edimburgo

La obra logarítmica de Neper eclipsó otra con menor proyección, pero que fue preparada con el mismo afán de simplificar los cálculos matemáticos, el título elegido fue *Rabdologiae, seu numerationis per virgulas libri duo: cum appendice expeditissimo multiplicationis promptuario, quibus accesit et arithmetica localis liber unus* (1617). Al igual que ocurría con los logaritmos, la multiplicación se reducía a una suma y la división a una resta; aunque también pudiera extraerse la raíz cuadrada. Para ello ideó una serie de varillas, de sección cuadrada, que llevaban grabadas una tabla de multiplicar en cada una de sus caras. En cada cara figuraban nueve cuadrados, divididos (salvo el superior) por una de sus diagonales (la que unía la esquina superior derecha con la opuesta). El primero contenía un solo dígito (del 0 al 9), en los otros iba apareciendo el doble, el triple, el cuádruplo, etc., de manera que las decenas estaban en la mitad superior y las unidades en la inferior, con la particularidad de que en las caras opuestas se exponían los múltiplos de dos números, cuya suma fuese nueve. En el texto se explicaba naturalmente el método a seguir para efectuar la operación correspondiente.

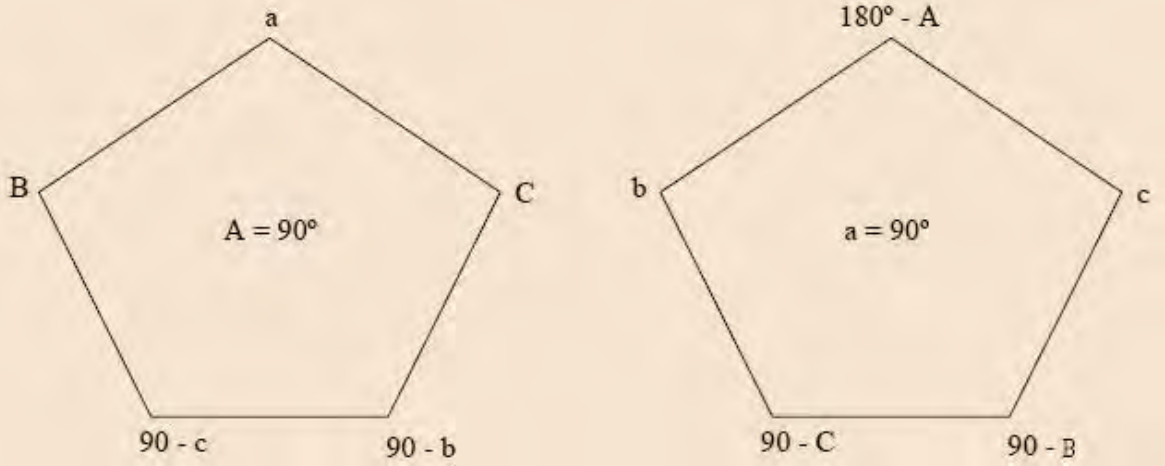


Las varillas de Neper. También fueron bautizadas como los huesos de Neper, ya que en una época fueron hechas de marfil.


RABDOLOGIÆ,
SEV NVMERATIONIS
PER VIRGULAS
LIBRI DVO:
Cum Appendice de expeditiſſimo Multiplicationis Promptuario.
Quibus acceſſit & Arithmeticæ Localis Liber vnus.
Authore & Inventore Ioanne Nepero, Barone Merchistonii, &c. Scoto.
EDINBVRGI,
Excudebat Andreas Hart, 1617.

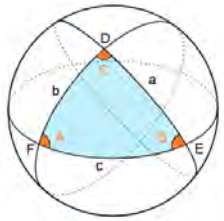
Neper contribuyó decisivamente al progreso de la trigonometría esférica, al facilitar la aplicación de las fórmulas que le son propias, transformándolas de modo que solamente apareciesen productos y cocientes de las razones trigonométricas; a fin de que se pudiesen resolver mediante logaritmos. Surgieron así las particulares asociadas a los triángulos rectángulos o rectiláteros, ligadas al denominado pentágono de Neper y las dos propiedades siguientes: I) El seno de un elemento es igual al producto de las tangentes de los dos elementos adyacentes y II) El seno de un elemento es igual al producto de los cosenos de los dos elementos opuestos. Teniendo en cuenta la primera, resultaría por ejemplo que sen B = tg a tg (90-c)= tg a ctg c; en cambio con la segunda se llegaría a que sen B = cos C cos (90-b) = cos C senb. Asimismo, dedujo las llamadas *Analogías de Neper*, que relacionan entre semisumas o semidiferencias de los ángulos con las correspondientes a los lados:

El pentágono de Neper para triángulos rectángulos y rectiláteros



$$\frac{\tan\frac{A+B}{2}}{\cot\frac{C}{2}}=\frac{\cos\frac{a-b}{2}}{\cos\frac{a+b}{2}},\qquad \frac{\tan\frac{A-B}{2}}{\cot\frac{C}{2}}=\frac{\operatorname{sen}\frac{a-b}{2}}{\operatorname{sen}\frac{a+b}{2}},$$

$$\frac{\tan\frac{a+b}{2}}{\tan\frac{c}{2}}=\frac{\cos\frac{A-B}{2}}{\cos\frac{A+B}{2}},\qquad \frac{\tan\frac{a-b}{2}}{\tan\frac{c}{2}}=\frac{\operatorname{sen}\frac{A-B}{2}}{\operatorname{sen}\frac{A+B}{2}}.$$



Detalle de la esfera armilar, con que se adornó la placa homenaje a *Ioannis Neperi de Merchiston*, colocada en la Iglesia de St. Cuthbert (Edimburgo. 1842)

Sir Isaac Newton (1642-1727)

Sabio excepcional, fuente de conocimiento y piedra angular de la revolución científica del siglo XVII: además de inventar el cálculo infinitesimal y una nueva teoría de la luz y del color, transformó la física con sus tres leyes del movimiento y la ley de gravitación universal, así como el estudio de la figura de la Tierra; siendo uno de los primeros en deducir que debía ser la de un elipsoide de revolución oblato, es decir achatado por los polos. Isaac Newton nació en Woolthorpe, una aldea del condado de Linclolnshire, y tuvo una infancia difícil: fue hijo póstumo de un analfabeto y su madre lo dejó al cuidado de su abuela para volver a casarse. Aunque en un principio dejó de asistir a la escuela, al final consiguió hacerlo en la *King´s School* de Grantham durante el periodo 1655 -1660, que le sirvió para ingresar en el *Trinity College de Cambridge*, el 5 de junio de 1661, como alumno becado. Aunque su primera intención fuera la de hacerse abogado, pronto se interesó por los trabajos astronómicos de Galileo y Kepler, así como por los de clásicos como Platón y Aristóteles; así se desprende de las notas que dejó escritas: *Quaestiones Quaedam Philosophicae* (Algunas Cuestiones Filosóficas), encabezándolas con esta

frase: «*Amicus Plato amicus Aristoteles magis amica veritas*» (Platón es mi amigo, Aristóteles es mi amigo, pero mi mejor amigo es la verdad).

No se sabe con seguridad cuando empezó Newton a interesarse por las matemáticas, aunque parece ser que fue después de haber leído los Elementos de Euclides, editados por su profesor Isaac Barrow; ampliándolos después con el estudio de la obra *Clavis Mathematicae*, de William Oughtred, el Álgebra y la Geometría de François Vieta, y las de autores tales como Frans van Schooten y John Wallis. Newton obtuvo su licenciatura en abril de 1665, sin que hasta entonces hubiera destacado significativamente; no obstante, todo cambiaría a raíz del verano de ese mismo año, coincidiendo con la clausura de la Universidad por haberse desatado una epidemia de peste. Efectivamente, instalado de nuevo en Lincolnshire, inició sus incansables investigaciones, logrando extraordinarios resultados en matemáticas, óptica, física y astronomía. Ciertamente, fue entonces cuando sentó las bases del cálculo diferencial e integral, presentando el llamado Método de las Fluxiones, a la vez que desarrollaba técnicas capaces de resolver cuestiones tan concretas como el cálculo de áreas, trazado de tangentes,

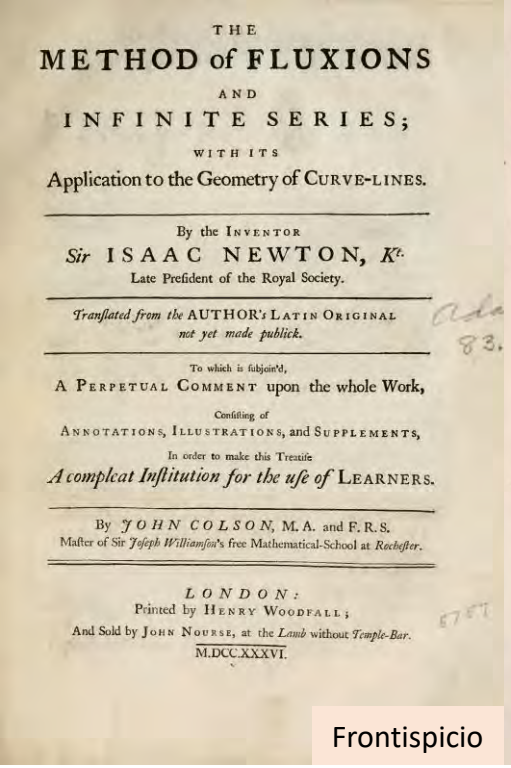
Estatua de Newton en el *Trinity College*

En la nota al pie se lee *QUI GENUS HUMANUM INGENIO SUPERAVIT*

Cuyo genio superó al de todos los hombres

BIBLIOTECA DEL *TRINITY COLLEGE*

Isaac Newton, *when Bachellor of Arts in Trinity College Cambridge*



THE
METHOD of FLUXIONS
AND
INFINITE SERIES;
WITH ITS
Application to the Geometry of CURVE-LINES.

By the INVENTOR
Sir ISAAC NEWTON, *K^t.*
Late Prefident of the Royal Society.

Tranſlated from the AUTHOR's LATIN ORIGINAL
not yet made publick.

To which is ſubjoin'd,
A PERPETUAL COMMENT upon the whole Work,
Conſiſting of
ANNOTATIONS, ILLUSTRATIONS, and SUPPLEMENTS,
In order to make this Treatiſe
A compleat Inſtitution for the uſe of LEARNERS.

By *JOHN COLSON*, M.A. and F.R.S.
Maſter of Sir *Joſeph Williamſon*'s free Mathematical-School at *Rocheſter*.

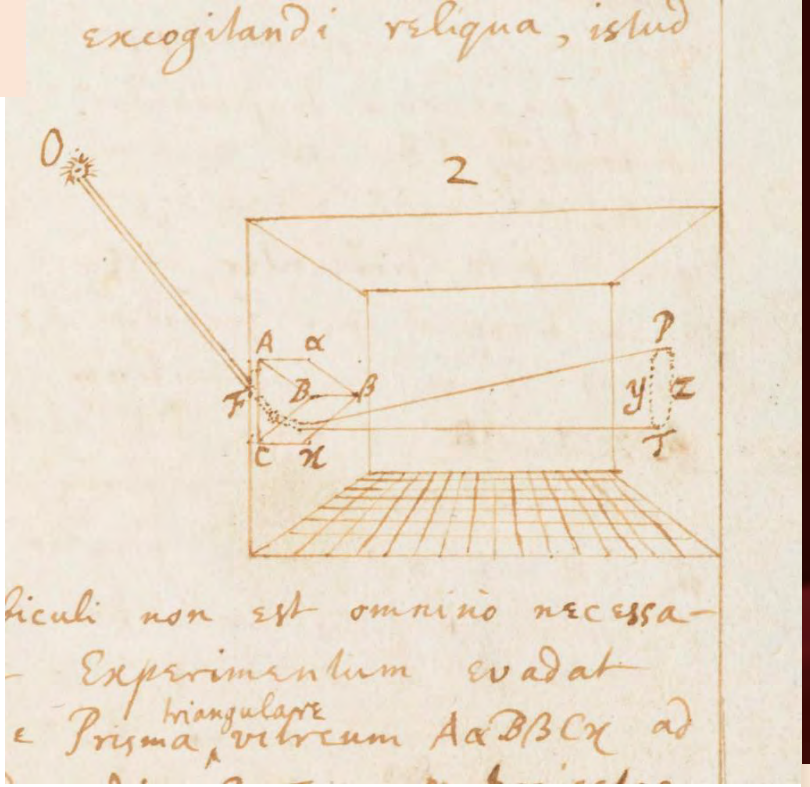
LONDON:
Printed by HENRY WOODFALL;
And Sold by JOHN NOURSE, at the *Lamb* without *Temple-Bar*.
M.DCC.XXXVI.

Frontispicio

longitud de curvas, así como los extremos (máximos y mínimos) de las funciones. A ese trabajo le dio forma en el año 1671, titulándolo *De Methodis Serierum et Fluxionum*, aunque no fuese impreso hasta 1736, una vez traducido al inglés por John Colson: *The Method of Fluxions and Infinite Series; with its application to the Geometry of Curve- Lines.*

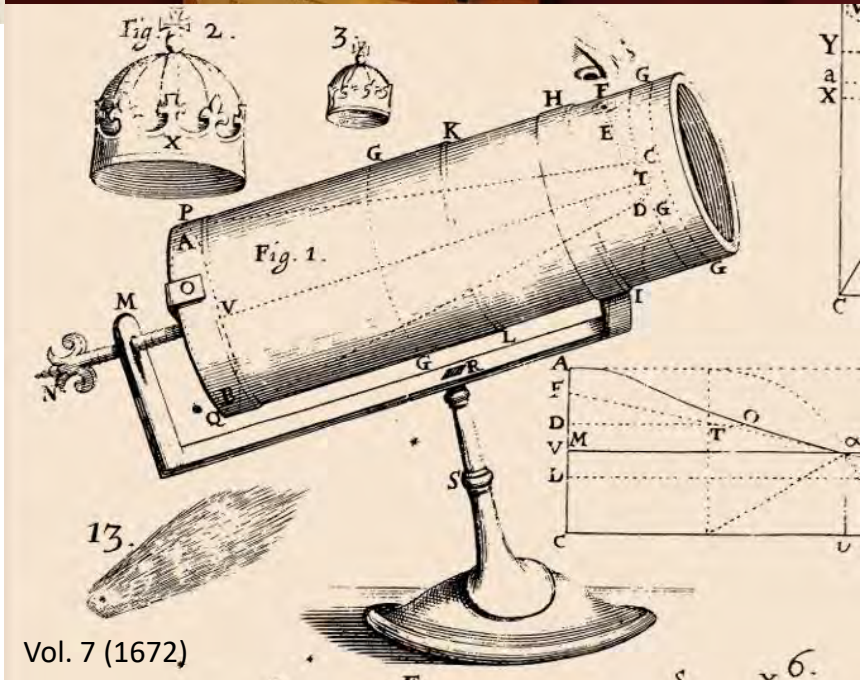
Cuando la Universidad de Cambridge reanudó su actividad en 1667, Newton se incorporó a la misma, con tanto éxito que dos años después sucedió a I. Barrow como profesor encargado de la *Lucasian Chair of Mathematics*. Su primera tarea como *Lucasian Professor* fue la de impartir clases de óptica, a partir de enero de 1670, oponiéndose entonces a la doctrina aristotélica: para la que la luz era una entidad básica y única. Apoyándose en sus experimentos, explicó la teoría corpuscular de la luz, según la cual se compone de partículas materiales, debiéndose los fenómenos ópticos a interacciones mecánicas tales como atracciones, repulsiones, choques elásticos, etc.; de forma tal que el rayo de luz blanca era verdaderamente la superposición de otros de diferentes colores, como se evidenciaba al atravesar un medio transparente y se dispersaba. Con el ánimo de sustentar su novedosa teoría, ya había construido su telescopio reflector a finales del año 1668, concluyendo que con él no se distorsionaba el color; observando además los cuatro satélites de Júpiter y la fase creciente de Venus. Su profesor Barrow, a finales del año 1671, mostró uno de tales telescopios a algunos miembros de la *Royal Society*, los cuales quedaron tan impresionados que se lo enseñaron al Rey Carlos II; con la consecuencia inmediata de nombrar a Newton miembro de la misma, en enero de 1672.

Manuscrito de Newton, mostrando la dispersión de la luz solar. Universidad de Cambridge

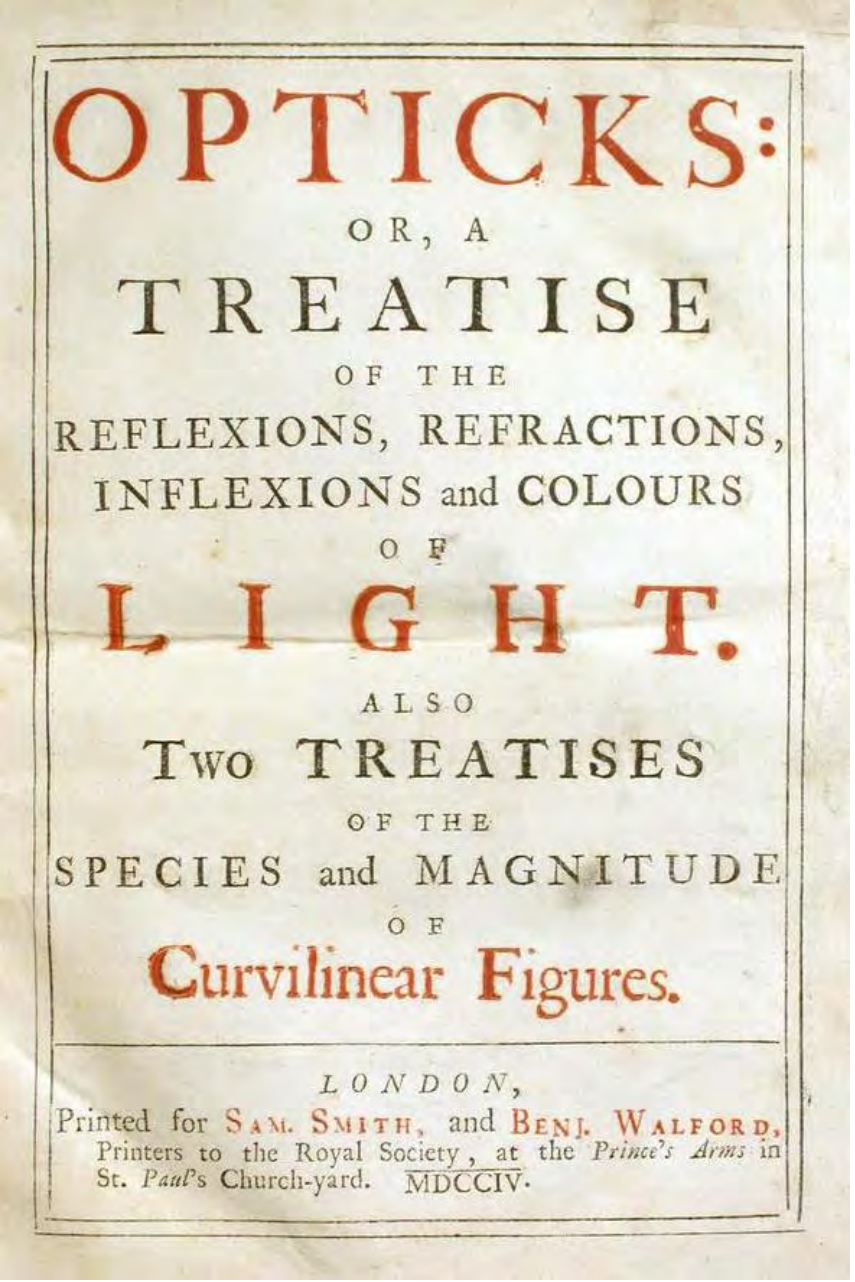


Réplica del telescopio reflector de Newton, presentado a la *Royal Society* por I. Barrow

En ese mismo año ya se publicó el las *Philosophical Transactions de la Royal Society* el artículo: *An Accompt of a New Catadioptrical Telescope Invented by Mr. Newton, Fellow of the R. Society, and Professor of the Mathematiques in the University of Cambridge* . Vol. 7 (1672) pp: 4004-4010. Aunque el artículo tuvo en general una buena acogida, contó con la oposición de Huygens y de Robert Hooke, sobre todo, los cuales creían que la teoría corpuscular de la luz no podía privarse solo a través de la experimentación; la reacción de Newton fue alejarse del segundo, hasta el extremo de ridiculizarlo. El enfrentamiento entre ambos se hizo todavía más evidente cuando, en 1675, Hooke acusó a Newton de haberse apropiado de algunos resultados que eran suyos. A pesar de que formalmente zanjaron la cuestión, Newton se olvidó de la *Royal Society*, al pensar que Hooke ejercía sobre ella una influencia excesiva; es probable que su deseo de evitar controversias explique el que pospusiera la publicación de su Óptica hasta el año 1704 (Hooke falleció en 1703). Curiosamente, cuesta encontrar el nombre del autor, ya que solo figuran las iniciales I. N. al final de



Vol. 7 (1672)



OPTICKS:
OR, A
TREATISE
OF THE
REFLEXIONS, REFRACTIONS,
INFLEXIONS and COLOURS
OF
LIGHT.
ALSO
Two TREATISES
OF THE
SPECIES and MAGNITUDE
OF
Curvilinear Figures.

LONDON,
Printed for SAM. SMITH, and BENJ. WALFORD,
Printers to the Royal Society, at the *Prince's Arms* in
St. *Paul's* Church-yard. MDCCIV.

la introducción. El título elegido fue *Opticks: or, a treatise of the reflexions, refractions, inflexions and colours of light. Also two treatises of the species and magnitude of curvilinear figures*. Su contenido lo estructuró en tres libros, dedicando el primero a definir una serie de conceptos: rayo de luz, refrangibilidad, reflexibilidad, ángulos de incidencia (reflexión y refracción) y luz simple; además de explicar la aplicación de la ley de Snell. El libro segundo abordó la cuestión de lo que es conocido en la actualidad como los anillos de Newton; entrándose en la siguiente sección en analizar la naturaleza corpuscular de la luz, creyendo que el color dependía del tamaño de los corpúsculos. El libro tercero, muy diferente de los dos previos, planteó posibles líneas de investigación, relacionadas con la gravedad, el calor y la materia.

La correspondencia mantenida entre Hooke y Newton fue uno de los detonantes para que este preparase su obra maestra*: Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*. En efecto, durante el intercambio producido a finales del año 1679 y comienzos de 1680, Hooke se pronunció en favor de un movimiento de atracción central, al comentar las órbitas planetarias; logrando así que Newton retomase el interés por una cuestión sobre la que ya había reflexionado durante el periodo comprendido entre 1664 y 1666. Unos años después, en 1684, cuando Halley visitó a Newton en Cambridge, comprobó que este ya había demostrado la relación entre las órbitas elípticas y la ley del cuadrado inverso de las distancias, animándolo a que

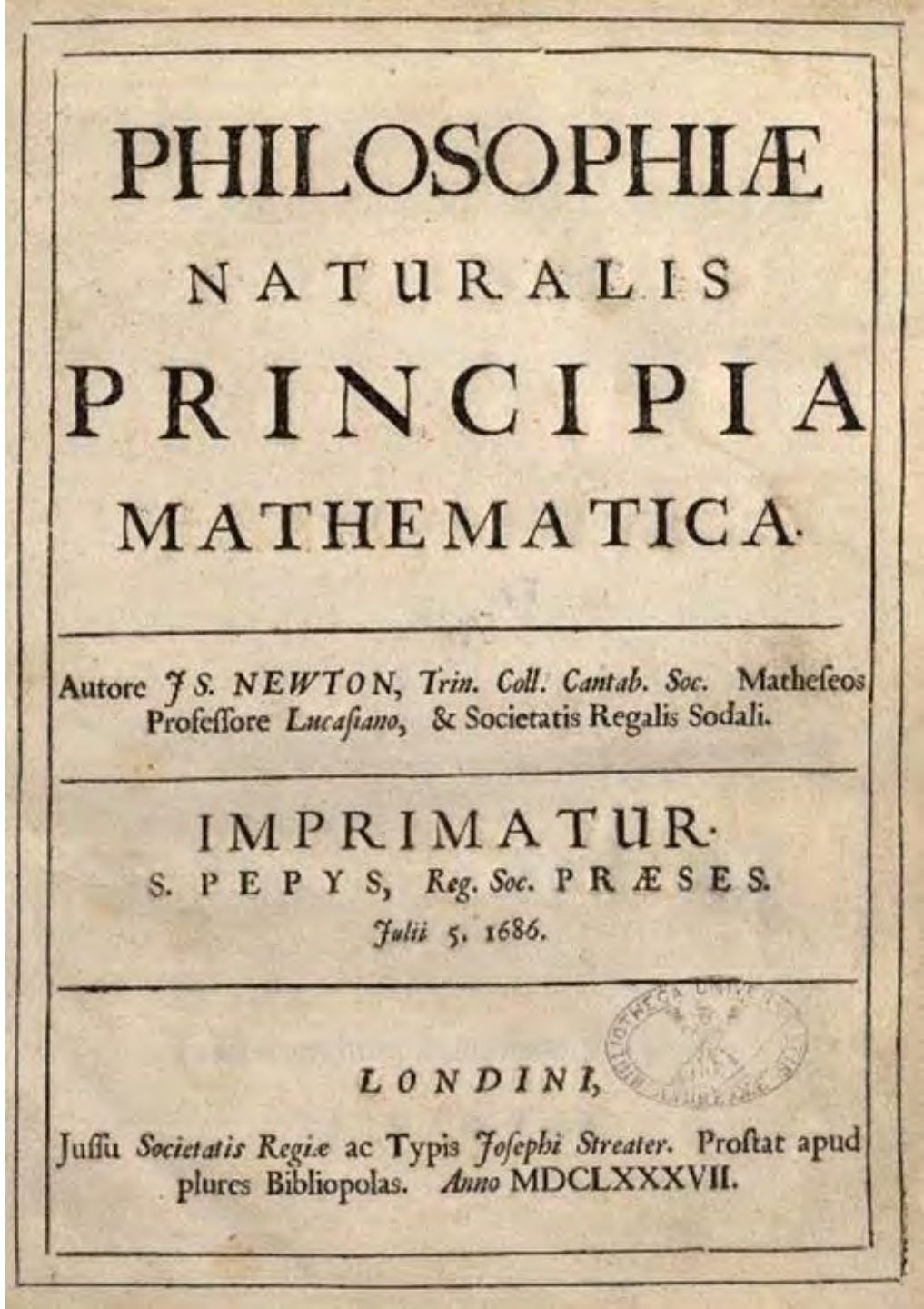
≈ 1741

THE BRITISH MUSEUM

Grabado de la tumba alegórica de Sir Isaac Newton. En el nivel superior se realizan cálculos astronómicos, destacando la trayectoria de un rayo luminoso proyectado finalmente sobre un espejo; en el inferior, figura un ángel acompañado de dioses clásicos y de una esfera .

Encabezamiento de la página explicativa relativa a la representación de la tumba. En el centro se observa una pirámide asentada sobre nubes, con un retrato ovalado de Newton, rodeada por dos putti y cuatro animales que simbolizan Tauro, Cáncer, Leo y Aries; igualmente se vislumbra el círculo zodiacal.

publicase tan asombroso resultado. Halley concedió tanta importancia al descubrimiento de su amigo que acabó financiando la publicación, aunque no se editara hasta el año 1687; el propio autor reconoció el importante papel jugado por este, al corregir los errores de imprenta y a la ilustración de la obra. Los *Principia*, nombre con el que también son conocidos, exponen los fundamentos de la física y de la astronomía usando el lenguaje geométrico; sentando las bases de la hidrostática, la hidrodinámica y la acústica, con la ayuda de los métodos matemáticos. La obra se compone de tres libros, con dos capítulos introductorios: uno con definiciones y otro con los axiomas propios de las leyes del movimiento; presentando las primeras los conceptos de espacio y tiempo absoluto (el tiempo de Newton). La primera de tales leyes establece que todos los cuerpos perseveran en su estado de reposo o de movimiento uniforme en línea recta, salvo que se vean forzados a cambiar ese estado por fuerzas impresas. El estado de la inercia se convierte así en la primera ley o axioma. La segunda ley establece que el cambio de movimiento es proporcional a la fuerza motriz impresa, y se hace en la dirección de la línea recta en la que se imprime esa fuerza. La tercera manifiesta que para toda acción hay siempre una reacción opuesta e igual. Es en esta tercera ley en la que se basa la dinámica gravitacional como sistema de atracciones recíprocas. Tal como recoge Mercedes



PHILOSOPHIÆ
NATURALIS
PRINCIPIA
MATHEMATICA.

Autore *J S. NEWTON, Trin. Coll. Cantab. Soc.* Matheſeos Profeſſore *Lucaſiano*, & Societatis Regalis Sodali.

IMPRIMATUR.
S. PEPYS, *Reg. Soc.* PRÆSES.
Julii 5. 1686.

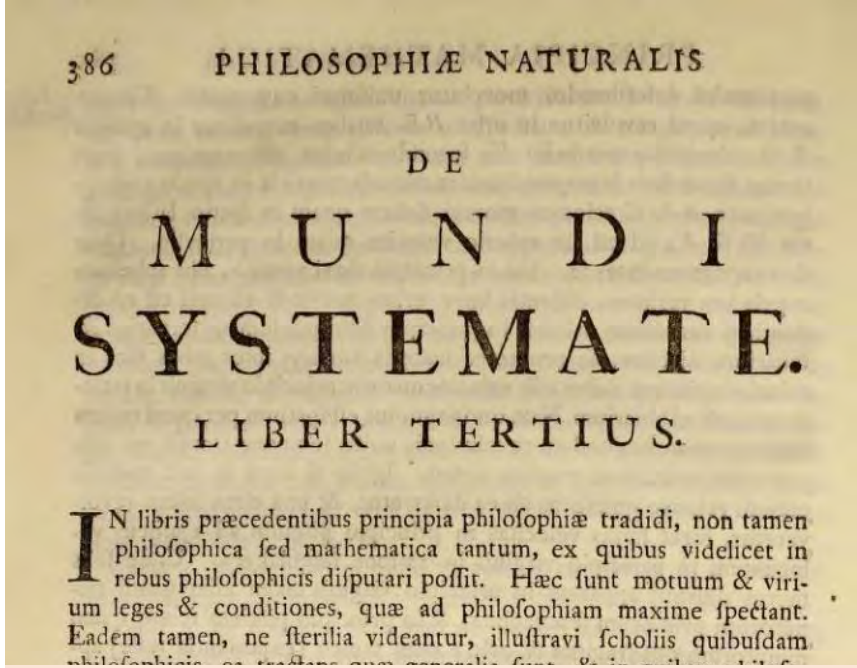
LONDINI,

Juſſu *Societatis Regiæ* ac Typis *Joſephi Streater*. Proſtat apud plures Bibliopolas. *Anno* MDCLXXXVII.

Cabello Martín (*Los Principia Mathematica de Isaac Newton*): «el primer libro trata del movimiento de los cuerpos en el vacío, es decir, el movimiento de los cuerpos sin resistencia. En el segundo, estudia el movimiento de los cuerpos en medios resistentes o fluidos. El tercero, titulado *Sobre el sistema del mundo* , se presenta como una aplicación de lo desarrollado en los libros anteriores en el campo de la astronomía: las órbitas de los planetas, los movimientos de la luna y su relación con la teoría gravitatoria, y el estudio de los cometas. Newton resuelve el problema de los movimientos planetarios y los asimila a los terrestres mediante una misma dinámica y una ley universal de gravitación». En este último libro se estudió por tanto el movimiento de los satélites alrededor de los planetas y el de estos en torno al Sol, atendiendo al principio de la atracción universal, demostrando como pueden deducirse sus masas en función de la de la Tierra, cuya densidad fija entre 5 y 6. Calculó también las masas del Sol, la precesión de los equinoccios y analizó las irregularidades del movimiento de la Luna, sentando las bases de la teoría moderna de las mareas y explicando como los cometas eran atraídos por el Sol; toda una serie de cuestiones que condicionarían el posterior desarrollo de la Mecánica Celeste.

PRAECLARISSIMUS ISAACUS NEWTON EQUES. ECCE PHILOSOPHORUM PRINCEPS. Véase al gran Newton, el que fue el primero en estudiar / El plan mediante el cual se creó el universo; / Vio las leyes simples pero estupendas de la naturaleza/… En el cielo una estrella de primera magnitud. Robert Mayer. 1787

Siendo tan conocida la ley de gravitación universal en el ámbito científico, sorprende un tanto que venga pasando desapercibido el hecho de que el autor la verificase antes de darla a conocer. Tal verificación la analizó detalladamente en el tercer libro de sus *Principia*, cuando se refirió a la figura de la Tierra en las tres proposiciones que se indican a continuación: *XVIII) Axes planetarum diametris quae ad eosdem axes normaliter ducuntur minores esse* (Los ejes de los planetas son más pequeños que los diámetros que normalmente se dirigen a los mismos); *XIX) Invenire proportionem axis planetae ad diametros eidem perpendiculares* (Hallar la relación entre el eje del planeta y los diámetros perpendiculares a él) ; *XX) Invenire & inter se comparare pondera corporum in terrae bujus regionibus diversis* (Hallar y comparar los pesos de los cuerpos en diferentes partes de la Tierra). Al parecer, Newton ya había intentado verificarla en 1666, apoyándose en la medida del arco de meridiano efectuada por R. Norwood en 1637 (que asignaba 60 millas a su desarrollo); pero que los malos resultados obtenidos hicieron que renunciase a su publicación. En cambio, resultó determinante para la comprobación y posterior publicación de la ley, la medida que efectuó años después, en 1671, el abate francés Picard; referida por Newton en estos términos: «Picartus mensurando arcum gradus unius & 22´ 55´´ in meridiano inter Ambianum & Malvoisinam, invenit arcum gradus unius esse hexapedarum Parisiensium 57060».



386 PHILOSOPHIÆ NATURALIS

DE

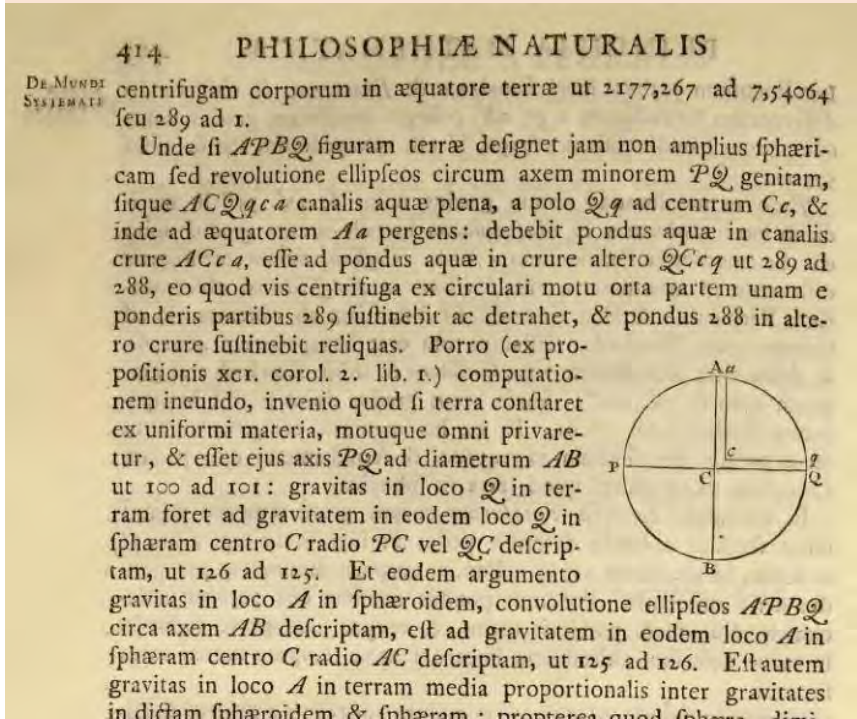
MUNDI

SYSTEMATE.

LIBER TERTIUS.

IN libris præcedentibus principia philoſophiæ tradidi, non tamen philoſophica ſed mathematica tantum, ex quibus videlicet in rebus philoſophicis diſputari poſſit. Hæc ſunt motuum & virium leges & conditiones, quæ ad philoſophiam maxime ſpectant. Eadem tamen, ne ſterilia videantur, illuſtravi ſcholiis quibuſdam

La Figura de la Tierra en los principia de Newton



414 PHILOSOPHIÆ NATURALIS

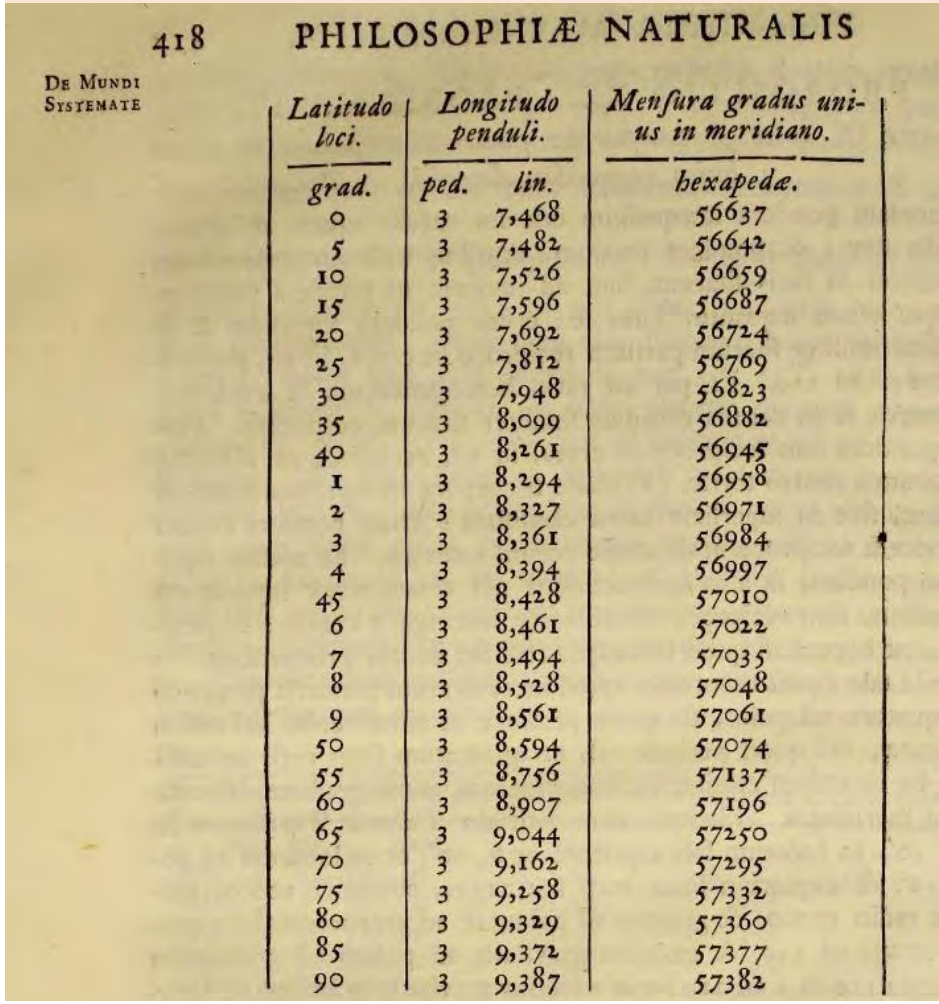
De Mundi Systemate

centrifugam corporum in æquatore terræ ut 2177,267 ad 7,54064 ſeu 289 ad 1.

Unde ſi *APBQ* figuram terræ deſignet jam non amplius ſphæricam ſed revolutione ellipſeos circum axem minorem *PQ* genitam, ſitque *ACQqca* canalis aquæ plena, a polo *Qq* ad centrum *Cc*, & inde ad æquatorem *Aa* pergens: debebit pondus aquæ in canalis crure *ACca*, eſſe ad pondus aquæ in crure altero *QCcq* ut 289 ad 288, eo quod vis centrifuga ex circulari motu orta partem unam e ponderis partibus 289 ſuſtinebit ac detrahet, & pondus 288 in altero crure ſuſtinebit reliquas. Porro (ex propoſitionis xci. corol. 2. lib. 1.) computationem ineundo, invenio quod ſi terra conſtaret ex uniformi materia, motuque omni privaretur, & eſſet ejus axis *PQ* ad diametrum *AB* ut 100 ad 101: gravitas in loco *Q* in terram foret ad gravitatem in eodem loco *Q* in ſphæram centro *C* radio *PC* vel *QC* deſcriptam, ut 126 ad 125. Et eodem argumento gravitas in loco *A* in ſphæroidem, convolutione ellipſeos *APBQ* circa axem *AB* deſcriptam, eſt ad gravitatem in eodem loco *A* in ſphæram centro *C* radio *AC* deſcriptam, ut 125 ad 126. Eſt autem gravitas in loco *A* in terram media proportionalis inter gravitates

La verificación consistió en comprobar que la coincidencia entre la fuerza centrífuga de la Luna y la atracción ejercida sobre los puntos de la superficie terrestre, es decir la validez de la ecuación: $\omega^2 D = g R^2/ D^2$, siendo ω la velocidad angular de la Luna en su órbita, D la distancia Tierra Luna, g la gravedad sobre la superficie terrestre y R el radio de la Tierra. Por otro lado, la relación del periodo del péndulo que bate segundos con la gravedad y su longitud, permite escribir que $g = \pi^2 l$; de manera que sustituyendo en la expresión anterior se tendría $l = \omega^2 D^3/\pi^2 R^2$. Consiguientemente, si se sustituyen los valores conocidos en aquella época, resultaba para la longitud del péndulo el siguiente valor: $l = 1.569 \times 10^{-7} R$. Dado que la longitud del péndulo se podía medir con cierto rigor, se trataba de sustituir el valor del radio y comparar los resultados previstos con los realmente observados. Es evidente que la Geodesia vino a refrendar la bondad de una ley fundamental para conocer el universo. La contrapartida que ofreció Newton a la geodesia no pudo ser más brillante y revolucionaria, ya que consiguió demostrar que el modelo esférico supuesto hasta entonces como el ideal para la Tierra, debería ser sustituido por otro elipsoidal con aplastamiento polar. Newton halló incluso la relación entre los semiejes de ese elipsoide, en el supuesto de que la Tierra fuese una masa fluida, homogénea, con todas sus partículas sometidas a la ley de atracción, fijando el valor del aplastamiento en 1/231 (el semieje polar es al ecuatorial como 230 es a 231). La sustitución de la esfera por elipsoide se produciría definitivamente a mediados del siglo XVIII al estar avalada por numerosas medidas de arcos de meridiano y de paralelo.

Longitud del péndulo en función de la latitud, de acuerdo con los cálculos de Newton



418 PHILOSOPHIÆ NATURALIS

De Mundi Systemate

Latitudo loci.	*Longitudo penduli.*		*Mensura gradus unius in meridiano.*
grad.	*ped.*	*lin.*	*hexapedæ.*
0	3	7,468	56637
5	3	7,482	56642
10	3	7,526	56659
15	3	7,596	56687
20	3	7,692	56724
25	3	7,812	56769
30	3	7,948	56823
35	3	8,099	56882
40	3	8,261	56945
1	3	8,294	56958
2	3	8,327	56971
3	3	8,361	56984
4	3	8,394	56997
45	3	8,428	57010
6	3	8,461	57022
7	3	8,494	57035
8	3	8,528	57048
9	3	8,561	57061
50	3	8,594	57074
55	3	8,756	57137
60	3	8,907	57196
65	3	9,044	57250
70	3	9,162	57295
75	3	9,258	57332
80	3	9,329	57360
85	3	9,372	57377
90	3	9,387	57382

Medalla George I acuñada en Londres (*Royal Mint*). Busto drapeado de Isaac Newton en el anverso y personificación de la ciencia en el reverso, envuelta por la leyenda FELIX COGNOSERE CAUSAS; la figura sostiene una tablilla con el modelo del sistema solar. Se da la circunstancia de que Newton fue Guardián de la Real Casa de la Moneda en 1696 y Maestro en 1699; desempeñando en la misma una importante labor tendente a evitar falsificaciones.

Émilie de Châtelet

PRINCIPES MATHÉMATIQUES

DE LA

PHILOSOPHIE NATURELLE,

Par feue Madame la Marquise DU CHASTELLET.

TOME PREMIER.

A PARIS,

Chez { DESAINT & SAILLANT, rue S. Jean de Beauvais. ET LAMBERT, rue & à côté de la Comédie Françoise, au Parnasse.

M. D. C C. L V I.

AVEC APPROBATION, ET PRIVILEGE DU ROI.

R.WOLF

BIBLIOTHEK

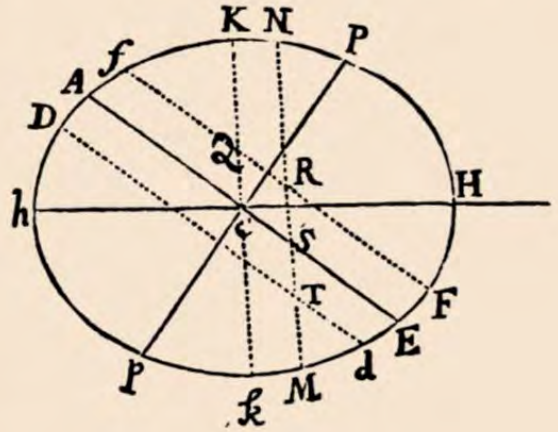
En el libro III de los Principia se expuso también una explicación razonada del fenómeno de las mareas, al desarrollar la proposición XXIV: *Fluxum & refluxum Maris ab actionibus Solis ac Lunæ oriri debere*. (El flujo y reflujo del mar surgen por la acción del Sol y la Luna), desde un punto de vista esencialmente matemático; en ocasiones se considera esta proposición como una de las más brillantes de la obra, que solo fue posible por la ingente información que poseía al respecto en la *Royal Society* de Londres. Tras su análisis, una de las primeras conclusiones de Newton fue que, para un lugar dado, las atracciones ejercidas por ambas luminarias cuando pasaban por su meridiano. Asimismo, dedujo que sus efectos no se mostraban por separado, sino que conformaban una especie de movimiento mixto: «En la conjunción de los astros o en la oposición también se juntan sus efectos, y se componen el flujo o reflujo máximos. En las cuadraturas el Sol aporta agua cuando la Luna la retrae , y la retrae cuando la Luna la aporta; y de la diferencia de los efectos surgirá la marea más pequeña de todas». Su ley gravitatoria le permitió deducir que los efectos de la atracción de ambos dependía de sus distancias a la Tierra, de manera que cuando son menores se incrementan sus efectos, y al contrario, al aumentar las distancias los efectos disminuirían: «por tanto, el Sol, en invierno, hallándose en el perigeo, produce efectos mayores, y hace que las mareas en las sizigias (se producen cuando el sistema Tierra Luna y el Sol están alineados) sean algo mayores y en las cuadraturas algo menores que en verano; y la Luna en el perigeo de cada mes genera mareas más grandes que

quince días antes o después, cuando se halla en el apogeo». Los comentarios de Newton se ilustran con una sección del globo terráqueo, «supuestamente cubierto de agua profunda por todas sus partes», en la que se apoyó para calcular la variación de la amplitud de la marea con la latitud.

Cuando Newton verificó la ley de gravitación universal demostró estar al tanto de las operaciones geodésicas que se habían venido realizando desde tiempos muy pretéritos, a fin de determinar el tamaño de la Tierra. Una evidencia que, unida a su acendrada formación religiosa y a su permanente interés por las unidades de medida usadas en la antigüedad, le condujo al estudio de la metrología histórica, ligada según él a la estructura del universo. Newton estaba convencido de que las dimensiones y unidades contempladas en construcciones tan emblemáticas como la gran Pirámide de Giza o el Templo de Salomón tenían un significado oculto y de relevancia matemática, no en vano vio reflejado en dicho templo la representación del universo y la constatación del orden divino de la creación. Una de sus inquietudes más notables, en ese sentido, fue la supuesta relación entre la ancestral unidad de medida antropométrica del codo y los principios fundamentales que regían el

Fragmento de la exposición sobre las mareas en los Principia de Newton. La figura muestra la deformación producida por la marea sobre la superficie oceánica de la Tierra: Pp es el eje del mundo, AE es el ecuador y hHL materializa la dirección de la Luna.

Pendent etiam effectus Luminarium ex locorum latitudine. Designet *ApEP* Tellurem aquis profundis undique coopertam; *C* centrum ejus; *P p*, polos; *AE* Æquatorem; *F* locum quemvis extra Æquatorem; *Ff* parallelum loci; *Dd* parallelum ei respondentem ex altera parte æquatoris; *L* locum quem Luna tribus ante horis occupabat; *H* locum Telluris ei perpendiculariter subjectum; *h* locum huic oppositum; *K*, *k* loca inde gradibus 90 distantia, *CH*, *Ch* Maris altitudines maximas mensuratas à centro Telluris; & *CK*, *Ck* altitudines minimas: & si axibus *Hh*, *Kk* describatur Ellipsis, deinde Ellipseos hujus revolutione circa axem majorem *Hh* describatur Sphærois *HPKhpk*; designabit hæc figuram Maris quam proximè, & erunt *CF*, *Cf*, *CD*, *Cd* altitudines Maris in locis *F*, *f*, *D*, *d*. Quinetiam si in præfata Ellipseos revolutione punctum quodvis *N* describat circulum *NM*, secantem parallelos *Ff*,



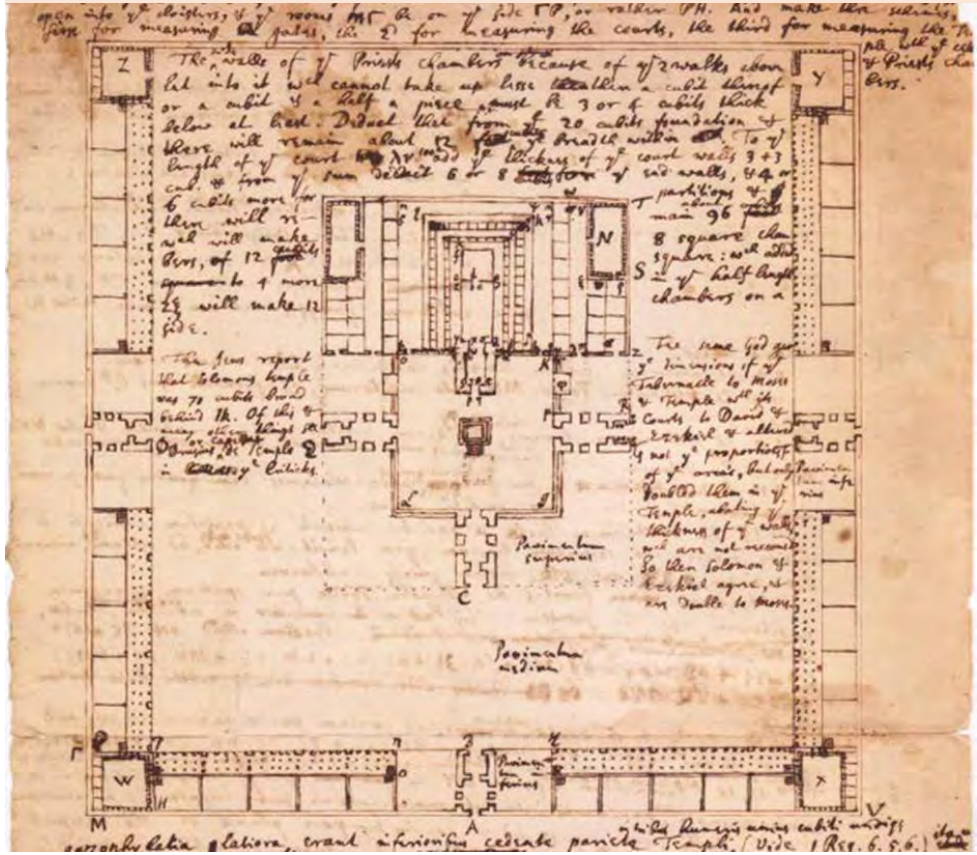
I.

Grabado del Templo de Salomón. De Hooge. 1715

cosmos; de ahí que su afán por hallar la verdadera longitud de esa unidad acabara convirtiéndose en una obsesión, ya que de su conocimiento cabal dependía la comprensión de la configuración del referido templo. De hecho, Newton estuvo tratando de esas cuestiones metrológicas durante cincuenta años, debiendo destacar el manuscrito del año 1680 que tituló *De magnitudine cubiti sacri,* que formó parte de otro más extenso sobre el Templo de Salomón, que fue traducido al inglés en 1737 por John Greaves: *A Dissertation upon the Sacred Cubit of the Jews.* Newton detalló en él la reconstrucción del templo anterior basándose sobre todo en el Libro de Ezequiel, aunque también tuviese en cuenta las transformaciones que había sufrido a lo largo del tiempo, de acuerdo con lo referido por Filón, Hecateo y el cordobés Maimónides. En la reconstrucción no solo se esbozó la estructura del templo, sino que se describieron las columnatas, indicando su número, altura, grosor, intervalos y estilos; apoyándose para ello en la teoría arquitectónica de Vitrubio (*De Architectura*). Dado que según el relato de Ezequiel la altura de la puerta era de veinte codos, concluyó Newton que su anchura sería de diez, según las normas establecidas en la época; no obstante, pensaba que el diseño del templo superaba los patrones clásicos, confirmando que había una fila de veintiuna columnas y veinte intercolumnios. Para él, tanto la armonía como la simetría eran consustanciales al diseño del templo, de ahí que rechazara cualquier elemento descrito por los autores antiguos que pudieran alejarse de ese criterio. La unidad de medida empleada en su construcción fue el codo, comentándose en el Libro de Ezequiel que el profeta fue guiado por un ángel que media cada parte del

templo al ir recorriendo su recinto. Newton refirió dos tipos de codos: sagrados y profanos (o vulgares) y trató de concretar la longitud de cada uno de ellos; partiendo de que el primero se extendía desde el codo al extremo del dedo corazón y de que en el vulgar se mantenía el puño cerrado, resultaba que el primero era ligeramente más largo que el segundo. Para ello analizó las medidas mencionadas por los autores clásicos, comparándolas entre sí y coligiendo por ejemplo que el codo romano equivalía a pie y medio, equivalente a 0. 97 del pie inglés. Según él, todos los edificios antiguos se construyeron usando una medida estándar basada en los ladrillos babilónicos: con una longitud de un pie, un ancho de ocho pulgadas y un grosor de seis. Dando por sentado que el codo sagrado era el doble del pie geométrico, serían 24 los ladrillos de que constaría el codo cúbico. Newton acabó convencido de que la religión antigua era la original de Dios, a la que estaba indisolublemente unido el principio matemático del diseño supremo que regía el sistema solar. Newton reprodujo los planos definitivos del Templo de Salomón en el capítulo quinto de su *libro The Cronology of Ancient Kingdoms amended. To wich is Prefix´d, A short Chronicle from the first Memory of Things in Europe, to the conquest of Persia by Alexandear the Great*, el cual fue editado a título póstumo

Manuscrito de I. Newton con el plano del Templo de Salomón



Ezequiel observando al Ángel midiendo el ancho de la puerta

Plate III p. 346.

A Particular Description of one of the Gates of the Peoples Court, with part of the Cloyster adjoyning.

A Scale of Sacred Cubits

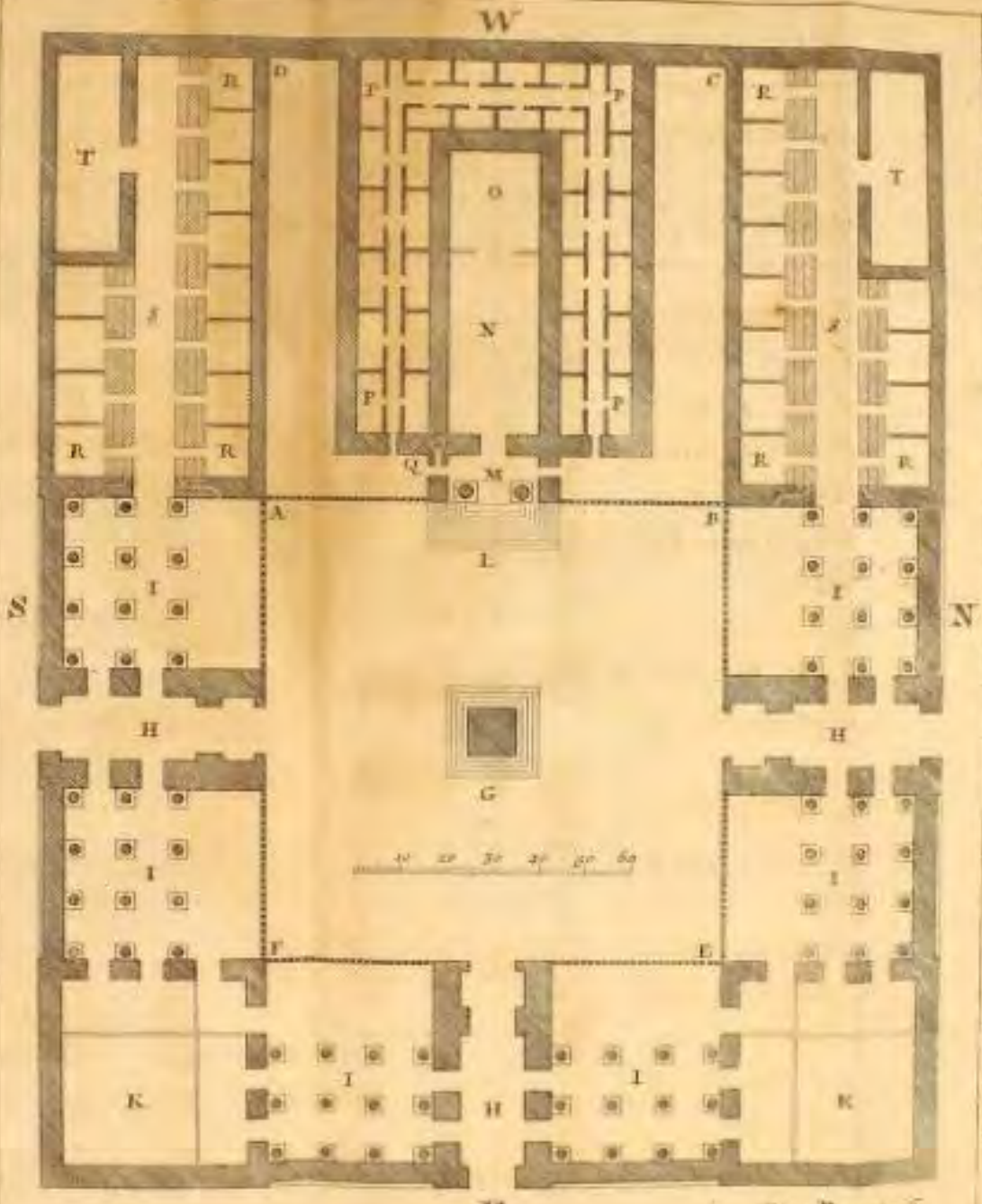
10 20 30 40 50 60

a a. The inner Margin of the Pavement compassing three sides of the Peoples Court. xxx &c. The Pillars of the Cloyster supporting the Buildings for the People. yyyy Double Pillars where two Exhedræ joyned, and whose intercolue in the front z. z. were fill'd up with a square Column of Marble.

Note. The preceding letters of this Plate refer to the description in pag. 344. 345.

A Description of the Inner Court & Buildings for the Priests in Solomons Temple.

ABCD. *The Separate Place.*
ABEE. *The Inner Court, or Court of the Priests, parted from the Separate Place, and Pavement on the other three sides, by a marble rail.*
G. *The Altar.*
HHH. *The East, South, & North Gates of the Priests Court.*
III &c. *The Cloysters supporting the Buildings for the Priests.*
KK. *Two Courts in which were Stair Cases and Kitchins for the Priests.*
L. *Ten Steps to the Porch of the Temple.*
M. *The Porch of the Temple.*



N. *The Holy Place.*
O. *The most Holy Place.*
PPPP. *Thirty Treasure-Chambers, in two rows, opening into a gallery, door against door, and compassing three sides of the Holy & most Holy Places.*
Q. *The Stairs leading to the Middle Chamber.*
RRRR. &c. *The buildings for the four and twenty Courses of Priests, upon the Pavement on either side of the Separate Place, three Stories high, without Cloysters, but the upper Stories narrower than the lower, to make room for Galleries before them. There were 24 Chambers in each Story, and they opened into a walk or alley S S. between the Buildings.*
TT. *Two Courts in which were Kitchins for the Priests of the twenty four Courses.*

Plate II p. 346.

A Description of THE TEMPLE OF SOLOMON

ABCD. *The Separate Place in which stood the Temple.*

ABEF. *The Court of y^e Priests.*

G. *The Altar.*

DHLKICEFD. *A Pavement compassing three sides of the fore-mention'd Courts, and upon which stood the Buildings for the Priests, with Cloysters under them.*

MNOP. *The Court of the People.*

MQTSRN. *A Pavement compassing three sides of the Peoples Court, upon which stood the Buildings for the People, with Cloysters under them.*

UXYZ. *The Mountain of the House.*

aabb. *A Wall enclosing the whole.*

c. *The Gate Shallecheth.*

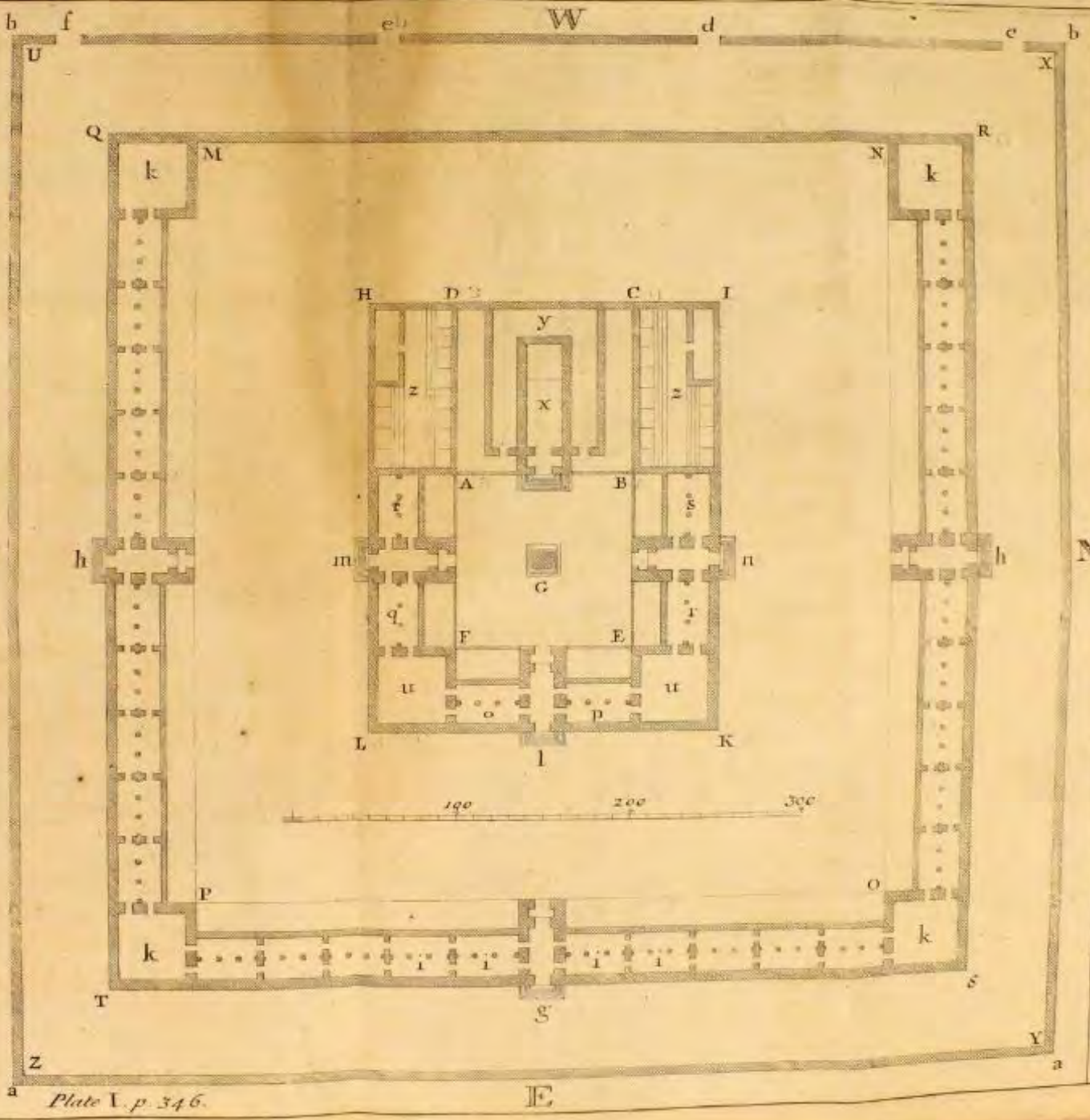
d. *The Gate Parbar.*

e f. *The two Gates Assupim.*

g. *The East Gate of the Peoples Court, call'd the Kings Gate.*

hh. *The North and South Gates of the same Court.*

iiii. *The Chambers over the Cloysters of the Peoples Court, where the People ate the Sacrifices; 30 Chambers in each Story.*



kkkk. *Four little Courts serving for Stair Cases and Kitchins for the People.*

l. *The Eastern Gate of the Priests Court, over which sate the Sanhedrim.*

m. *The Southern Gate of the Priests Court.*

n. *The Northern Gate of the same Court, where the Sacrifices were flea'd &c.*

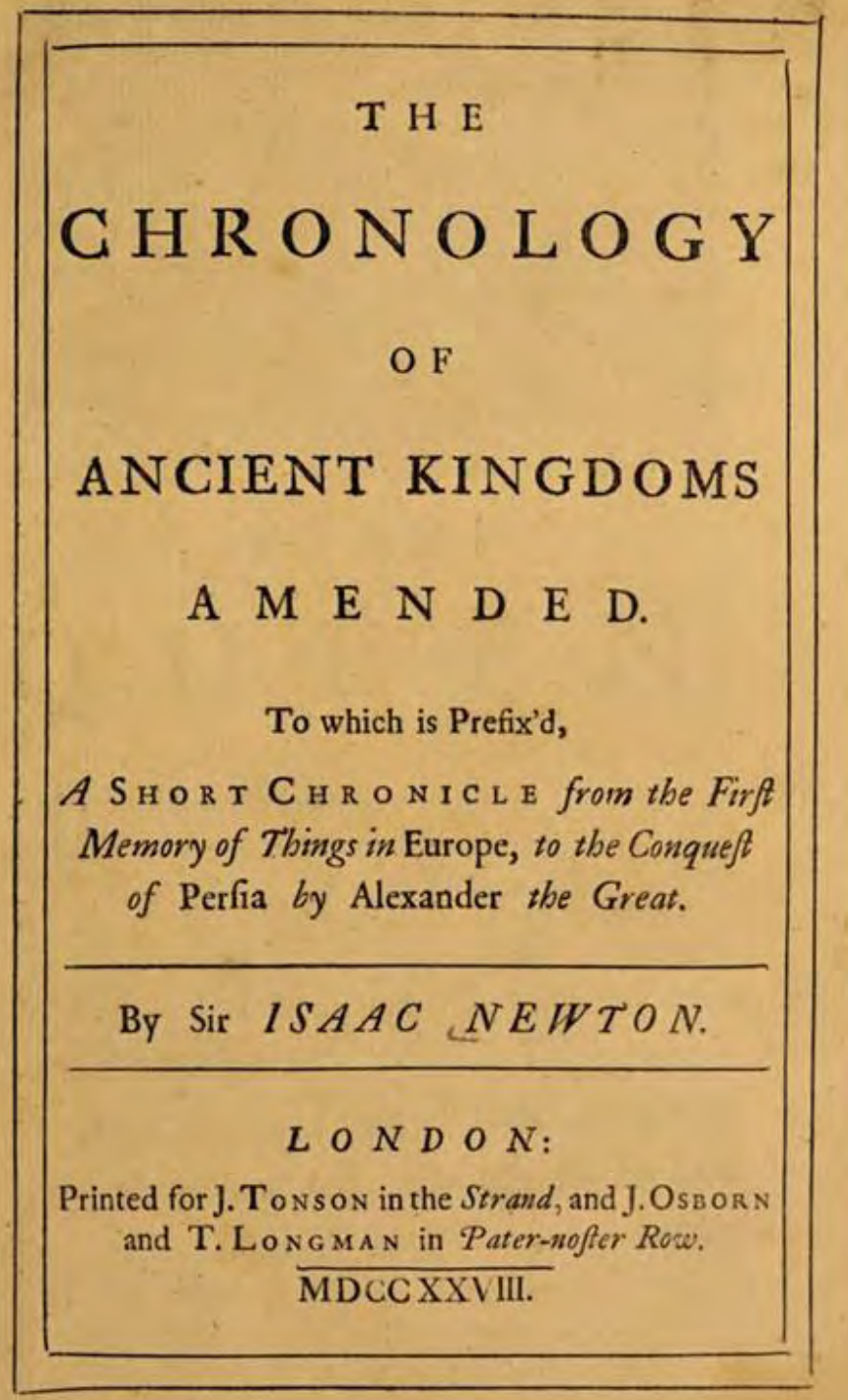
opqrst. *The Buildings over the Cloysters for the Priests, viz. six large Chambers (subdivided) in each Story; whereof o and p. were for the High Priest and Sagan. q. for the Overseers of the Sanctuary and Treasury. r. for the Overseers of the Altar and Sacrifice and s and t. for the Princes of the twenty four Courses of Priests.*

uu. *Two Courts in which were Stair-Cases and Kitchins for the Priests.*

x. *The House or Temple, which (together with the Treasure Chambers y. and Buildings z z. on each side of the Separate Place) is more particularly describ'd in the second Plate.*

Plate I. p. 346.

Retrato de Sir Isaac Newton, pintado por su amigo William Stukeley, en torno al año 1726. Su rostro aparece de perfil, a modo de medallón, sostenido por una figura femenina con múltiples pechos, posiblemente Diana, sentada sobre un globo celeste en el que aparece la constelación de la Osa mayor. Dos cometas se cruzan siguiendo órbitas elípticas. Milo Keynes (*The iconography of Sir Isaac Newton to 1800*, 2005, pp.27-29) interpreta el cuadro como una alusión a la historia de Jasón. Newton había calculado la fecha de la expedición de los argonautas en su obra póstuma *The chronology of ancient kingdoms amended. To which is prefixed, a short chronicle from the first memory of things in Europe, to the conquest of Persia by Alexander the Great* (1728). La obra se conserva en la *Royal Society* de Londres (RS 9256), la cual fue presidida por Newton entre 1703 y 1727.



THE

CHRONOLOGY

OF

ANCIENT KINGDOMS

AMENDED.

To which is Prefix'd,

A SHORT CHRONICLE *from the First Memory of Things in* Europe, *to the Conquest of* Perſia *by* Alexander *the Great.*

By Sir *ISAAC NEWTON.*

LONDON:

Printed for J. TONSON in the *Strand*, and J. OSBORN and T. LONGMAN in *Pater-noſter Row.*

MDCCXXVIII.

en el año 1728. Se da la circunstancia de que fue dedicado a la Reina (Carolina de Branderburgo-Ansbach, esposa del rey Jorge II) por John Conduitt, casado con una sobrina de Newton y sucesor de este como Maestro de la Casa de la Moneda. Newton acabó convencido de que la religión antigua era la original de Dios, a la que estaba indisolublemente unido el principio matemático del diseño supremo que regía el sistema solar.

CROQUIS MANUSCRITO DE ORIENTE MEDIO REALIZADO POR ISAAC NEWTON

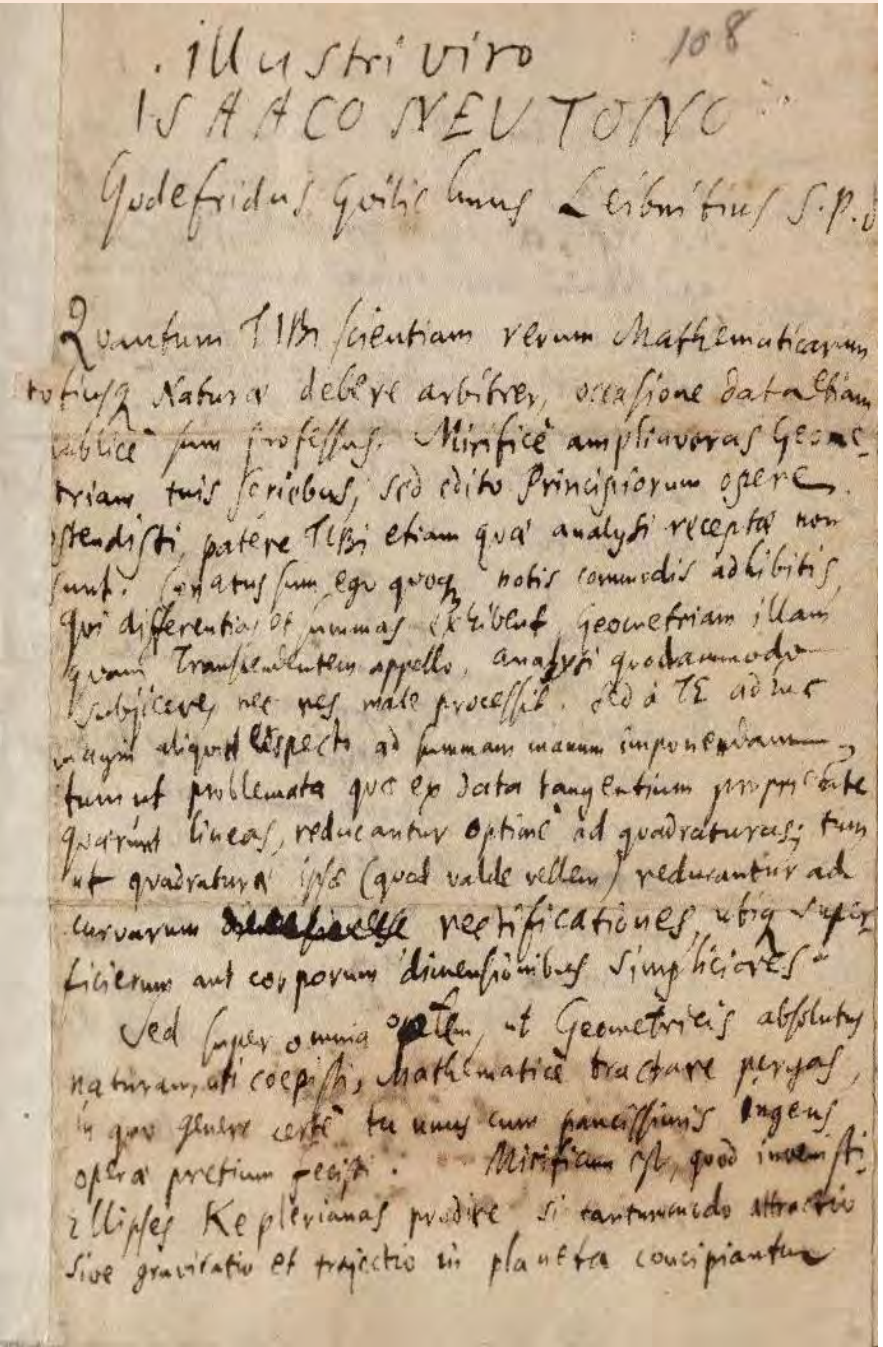
La verosimilitud que concedió Newton a los textos bíblicos, le llevaron a abrazar sin ambages la visión apocalíptica que se da del fin del mundo en el último libro del Nuevo Testamento, fijando no solo el año en que se produciría, el 2060 (« puede terminar más tarde, pero no veo razón para que termine antes»), sino que incluso concretó donde tendría lugar la guerra final y decisiva, entre Dios y el demonio, conocida con el sobre nombre de Armagedón. Para fijar mejor su posición, Newton dibujó un croquis de la zona, en el que se localizaron algunas de sus ciudades mediante las coordenadas geográficas correspondientes; destacando Konya, Damasco, Mosul y Silvan. A cada una de ellas le asignó uno de los cuatro ángeles liberados del río Éufrates, cuando sonó la sexta trompeta; y es que en el relato del Apocalipsis se habla del sonido de siete trompetas, anunciando cada una de ellas un suceso diferente. Como Newton no creía que el final de los días se produciría en su tiempo, solo localizó

en el mapa citado los acontecimientos previos, ligados a los toques de la quinta y sexta trompeta. Para él, la quinta sonó con el asentamiento del Islam y la sexta con el advenimiento del Imperio Otomano, mandados, a su juicio, por Dios para castigar a los cristianos pecadores y destruir los restos del corrupto Imperio de Bizancio.

Afirmar que la trayectoria científica de Newton fue inalcanzable e inimitable no es nada novedoso, lo que si puede serlo es el recuerdo de que puntualmente resultó un tanto ensombrecida por comportamientos inadecuados de tan señalado protagonista; posiblemente ligados a una infancia muy difícil exenta del cariño materno. Uno de ellos se produjo durante la controversia que mantuvo con Leibniz, a propósito de la paternidad del cálculo diferencial e integral: Newton realizó sus descubrimientos entre 1664 y 1666, pero no los publicó hasta 1693; Leibniz, por su parte, hizo los suyos después, entre 1672 y 1676, pero los publicó en 1684 y 1686, antes que aquel. La disputa se acentuó al entrar en juego el orgullo patrio y llevar el asunto a los tribunales, disponiéndose en el año 1711 la creación de una Comisión arbitral en el seno de la *Royal Society*, entonces presidida

BATALLA DE ARMAGEDÓN. En el centro un ángel presidiendo la escena, a la derecha un caballo blanco montado por un jinete de cuya boca sale una espada. Abajo a la derecha la bestia y su ejército se baten en retirada. Jan Snellinck. 1585

Carta de Gottfried Wilhelm Leibniz a Isaac Newton, escrita en Hannover (17.III.1693)



por Newton; el cual redactó la resolución final que acusaba de plagio al alemán. La animadversión de Newton le acompañó incluso tras la muerte de Leibniz, en cuyo haber está la formulación del cálculo con una excelente notación, que aún se mantiene en la mayoría de los casos. Ambos matemáticos fueron los creadores del análisis moderno: Leibniz dio para la integral la notación $\int f(x)\,dx$, que recuerda el cálculo por sumación de los antiguos, mientras que según Newton [x] significa la fluyente que tiene como fluxión x. Al mantenerse en Inglaterra anclados al criterio de Newton, se ralentizó el desarrollo matemático, con relación al resto del continente europeo, durante todo el siglo XVIII.

Sir Isaac Newton como Presidente de la *Royal Society*

Nicolás Oresme (ca. 1320-1382)

Obispo y consejero de Carlos V el Sabio (Rey de Francia), versado en astronomía, filosofía, matemáticas y medicina; así como principal impulsor de la reforma medieval previa al Renacimiento. Él fue uno de los primeros pensadores en defender que la Tierra tenía un movimiento de rotación propio, adelantándose más de un siglo a la tesis copernicana. Poco se sabe acerca de los primeros años de N. Oresme, salvo que nació en Normandía y completó su formación académica en el famoso Colegio parisino de Navarra, en donde fue alumno del filósofo escolástico Jean Buridán, obteniendo el grado de Maestro de Teología en 1355. Debió ser tan buen estudiante que al año siguiente fue nombrado Gran Maestre de dicho colegio, entablando una imperecedera amistad con el futuro rey Carlos V. Oresme dejó el cargo en 1362, al

ser nombrado canónigo de la catedral de Rouen, comenzando entonces su carrera eclesiástica: ascendiendo primero a deán de la misma y después a capellán real y consejero del Rey. A partir del año 1370 residió sobre todo en París, traduciendo al francés, por iniciativa de su amigo diversas obras de Aristóteles (Ética, Política, *Oeconomica* y *De Caelo*), recibiendo como premio el nombramiento de Obispo de Lisieux en 1377; su versión fue crítica, en tanto que ocasionalmente cuestionó las doctrinas del autor. Entre las desavenencias, caben destacarse las referidas al tiempo y a la posición: en el primer caso Oresme propuso una definición independiente del movimiento uniforme al que lo suponía ligado aquel, en cuanto a la segunda, Oresme defendía que la posición de un cuerpo se refería al espacio que ocupaba este y no al límite del espacio circundante, tal como se reconocía

Ethiques d´Aristote. Media página que muestra al sabio griego enseñando a Aristóteles. *British Library*.

en el pensamiento aristotélico. Al hacer esas traducciones introdujo en el lenguaje nuevos vocablos, que ahora son de uso cotidiano: *monarchie, démocratie, oligarchie, numérateur, dénominateur* y muchas más propias de la astronomía, cosmografía y geografía.

De las traducciones realizadas por Oresme, sobresale en el presente contexto la que realizó de la obra cosmológica de Aristóteles (*De Caelo*), a la que dio por título *Livre du ciel et du Monde;* en cuyo frontispicio figura sentado el propio Oresme junto a una bella esfera armilar. Oresme fue beligerante al oponerse a la teoría de la Tierra estacionaria, que defendía Aristóteles, con un argumento tan agudo y contundente como que «no puede probarse ni por experiencias ni por

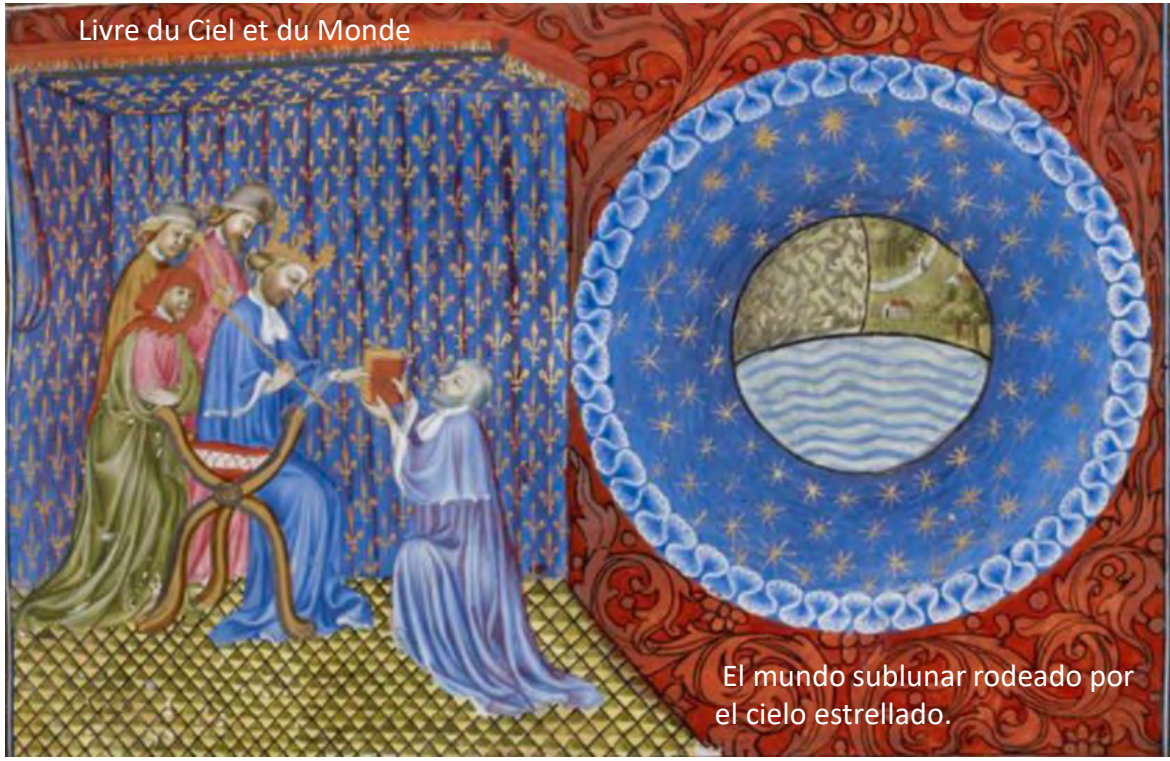
Frontispicio de la obra *Livre du ciel et du monde* (1377). Nicolas Oresme. Biblioteca Nacional de Francia

razonamientos, que el cielo se mueva con rotación diaria y la Tierra no». El físico y sacerdote Mariano Artigas Mayayo, recogió muchos más en su trascendental trabajo *Nicolás Oresme. Gran Maestre del Colegio de Navarra y el Origen de la Ciencia Moderna* (Príncipe de Viana. Suplemento de Ciencias. 1989.pp: 297-332). En uno de ellos recordaba Oresme la objeción a la rotación terrestre que formuló Tolomeo: «si la Tierra se mueve de occidente a oriente, …una piedra lanzada desde la Tierra hacia arriba caería hacia occidente, en contra de lo que manifiesta la experiencia». Tras afirmar que ese reparo era uno de los más poderosos, replicó comentando «que también podría moverse hacia el este junto con el aire y la masa del mundo terrestre». Oresme rechazó también otros argumentos, sustentados por relatos bíblicos en los que se mencionaba el movimiento del Sol, la quietud de la Tierra y el hecho de que el Sol se detuvo en tiempo de Josué; concluyendo que no constituían una objeción real al movimiento de la Tierra,

Harmen Jansz Müller. 1585

afirmando que realmente se trataba de una forma de expresarse, como se hacía en otros lugares. Acto seguido, añadió que todos los fenómenos astronómicos podían explicarse igualmente admitiendo la rotación diaria de la Tierra.

Oresme cuestionó asimismo la tesis de la unicidad propuesta por Aristóteles, tan ligada a su concepción del mundo perfecto y eterno, apoyándose para ello en tres modos de imaginar otros mundos. Primeramente, afirmaba que Dios al ser todopoderoso podría haber creado y destruido varios mundos. En segundo lugar, uno podría estar dentro de otro. En último término, un mundo podría encontrarse fuera de otro, añadiendo en ese sentido que las nociones de alto y bajo son relativas, y que Dios por su propia naturaleza podría crear de la nada o hacer que el último cielo tuviese otra figura, e incluso hacer que existiera el vacío. Oresme siguió reflexionando sobre esa cuestión, refiriendo que más allá de la esfera de las fijas, existía «un espacio incorporal, vacío, de diferente naturaleza que el espacio corpóreo, de modo análogo a como la duración



El mundo sublunar rodeado por el cielo estrellado.

Imagen heterodoxa de las esferas planetarias, en tanto que la de Saturno es rodeada por las demás, cuando de acuerdo con los cánones clásicos debería de haber envuelto la suya a las otras. La licencia astronómica y geométrica puede explicarse porque el autor desearía que presidiese la escena el Dios creador, sosteniendo el orbe tripartito.

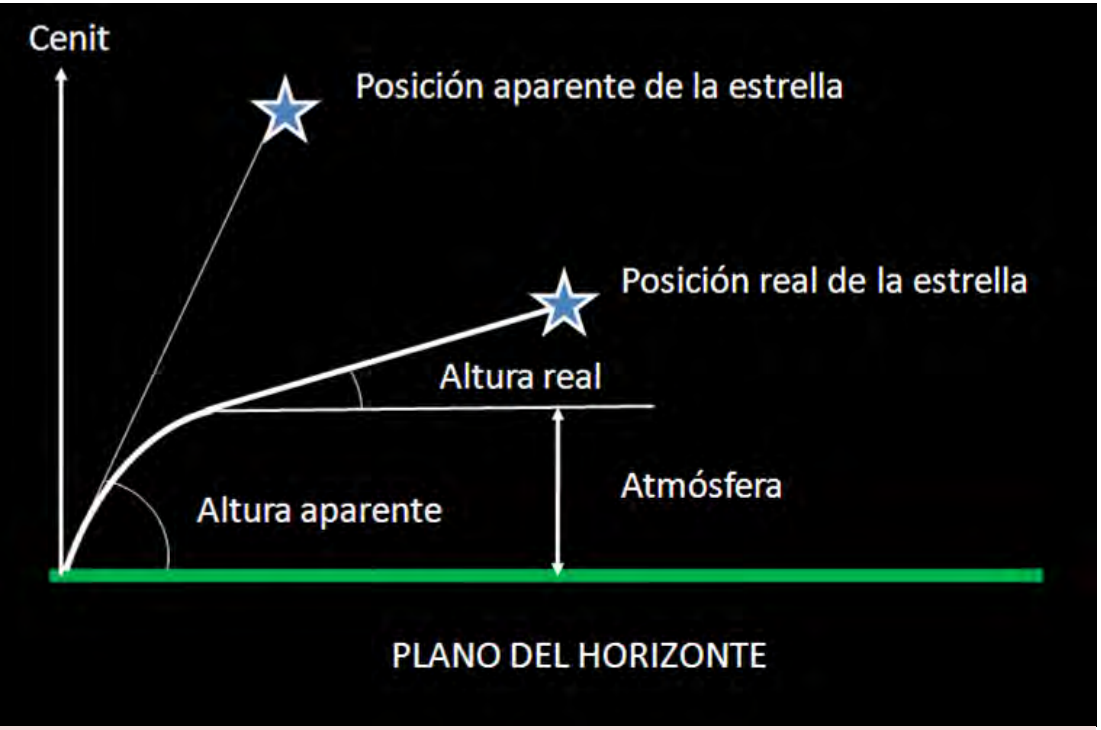
denominada eternidad es de otra naturaleza que la duración temporal, aunque ésta fuese perpetua; ese espacio sería infinito e indivisible, sería la inmensidad de Dios y Dios mismo, así como su eternidad es infinita e indivisible y Dios mismo; no podemos comprender estas realidades, porque nuestro entendimiento depende de nuestros sentidos que son corporales. Artigas Mayayo sintetizó muy bien las ideas cosmológicas de Oresme, cuando aseguraba: «Lo que pretende con sus argumentos no es defender el movimiento de la tierra como hipótesis física real. Pero sus razones en favor de esa hipótesis y su refutación de las objeciones en contra son totalmente claras y dejan el terreno preparado para los desarrollos posteriores».

Además de las traducciones anteriores, N. Oresme escribió muchas más obras: *De proportionibus proportionum*; *Quaestiones super geometriam Euclidis*; *Algoritmus proportionum*; *Tractatus de configurationibus qualitatum et motuum*; *De visione*

stellarum; *Questiones super De celo*, *Questiones de spera*; *Tractatus de commensurabilitate vel incommensurabilitate motuum celi*; etc. En ellos se combatió abiertamente la astrología y se abordaron novedosas cuestiones relativas a la física y a las matemáticas. En la última obra citada, incluyó un diálogo entre Apolo y las Musas en las que descreditaba las predicciones astrológicas mediante argumentos matemáticos; insistiendo sobre el mismo asunto en su *Traité des divinacions*, que escribió en francés al ser destinado a los nobles de Francia. En él se comentaba «Mon entencion a l'aide de Dieu est moustrer en ce livret, par experience, par auctoriez, par raison humaine, que fole chose, mauvaise, et perilleuse temporelment, est mettre son entente a vouloir savoir ou deviner les aventures et les fortunes avenir…» (Mi intención, con la ayuda de Dios, es mostrar en este opúsculo, por experiencia, por auditoría, por razón humana, que lo únicamente, malo y peligroso en el tiempo, es poner el entendimiento en querer saber o adivinar aventuras y fortunas futuras...). Una de las aportaciones principales de Oresme a la física y a las

Alegoría y personificación de la Astrología, con instrumentos astrológicos y un globo celeste. Frans Floris. S. XVI

matemáticas, fue la introducción de un par de coordenadas (*latitudo* y *longitudo*) para localizar puntos en el plano, anticipándose así al par cartesiano; a ellas se refirió tanto en las *Quaestiones super geometriam Euclidis* como en el *Tractatus de commensurabilitate vel incommensurabilitate motuum celi.* De ese modo pudo dibujar figuras geométricas (*configurationes*) distinguiendo entre distribuciones uniformes, y no uniformes, de varias cantidades, tales como el cambio de la velocidad con relación al tiempo, o la distribución de una cantidad en relación con la extensión del sujeto. En la discusión del movimiento, en el eje básico (de la longitud) se representaría el tiempo, mientras que sobre el eje perpendicular al mismo se representaría la velocidad del movimiento en un instante dado. También es digno de mención el hecho de que en su obra *De visione stellarum* rompiese con la tradición óptica de autores tan reputados como Tolomeo o R. Bacon, para los que la refracción solo podía producirse en la interfaz de dos medios de densidades diferentes y, por tanto, no tendría lugar en un único medio de densidad uniformemente variable. En efecto, antes de que lo hicieran Newton o Hooke, afirmaba Oresme



Efectos de la refracción en las observaciones astronómicas

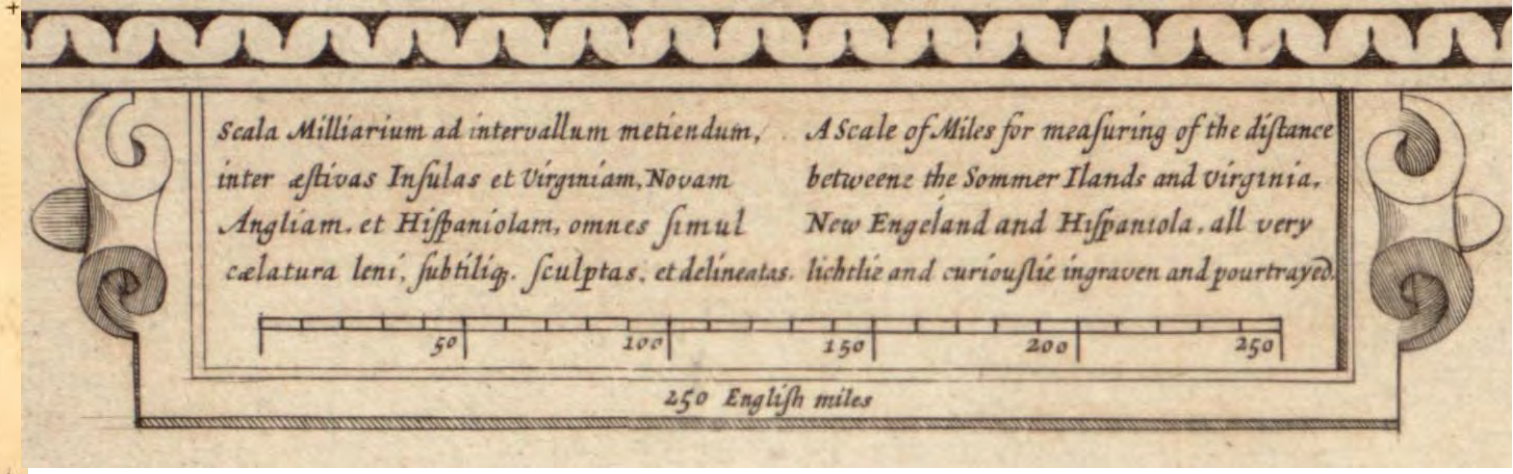
que la refracción atmosférica se producía a lo largo de una curva, proponiendo aproximarla mediante una serie infinita de segmentos rectilíneos, cada uno de los cuales representaría una refracción única. Sería improcedente referir este trabajo sobre la visión de las estrellas y no hacer lo propio con otro trabajo complementario de Oresme, escrito en francés, siguiendo el ejemplo de J. Sacrobosco: *Traité de la sphère.* En él se definieron los elementos geométricos de la esfera celeste (puntos, ejes, círculos y planos) que permiten localizar sobre ella a los planetas y a las estrellas, y analizar sus movimientos. Otra razón igual de relevante es que en el mismo se incluye una representación del universo delineada de acuerdo con el patrón geocéntrico clásico.

La esfera terrestre figura rodeada por las tres de los elementos (agua, aire y fuego), así como por las de la Luna, Mercurio, Venus, Sol, Marte, Júpiter, Saturno, la octava (Firmamento o esfera de las fijas), la novena (Zodiaco) y la décima (*Primum mobile*). Después se encontraría el cielo empíreo, el sitio de la presencia plena de Dios. *Bibliothèque Nationale de France*

Richard Norwood (1590-1675)

Cartógrafo, matemático y topógrafo inglés, que midió por primera vez un arco de meridiano en Inglaterra, concretamente el comprendido entre Londres y York; también es reconocido por haber formado un plano riguroso de las Islas Bermudas, en el que se basaron todas las que se fueron publicando después. Nació Richard Norwood en Stevenagel (Hertforshire), en el seno de una familia acomodada pero venida a menos. Solo cursó estudios elementales, aunque logró aprender latín y griego. Las circunstancias familiares le obligaron a abandonar la escuela y a colocarse en una pescadería londinense cuando tenía 15 años, entrando en contacto con marineros que le despertaron su interés por la navegación y los viajes. Después de haber superado la epidemia de peste, se enroló en un barco que navegaba entre Londres y Newcastle, aunque pronto cambió de parecer, para viajar por tierra y mar a Holanda, Bélgica e Italia. En agosto de 1610 navegó varias veces por el Mediterráneo oriental, siendo entonces cuando llegó a apasionarse por el estudio de las matemáticas, llegando a dominar, como autodidacta, el álgebra, la

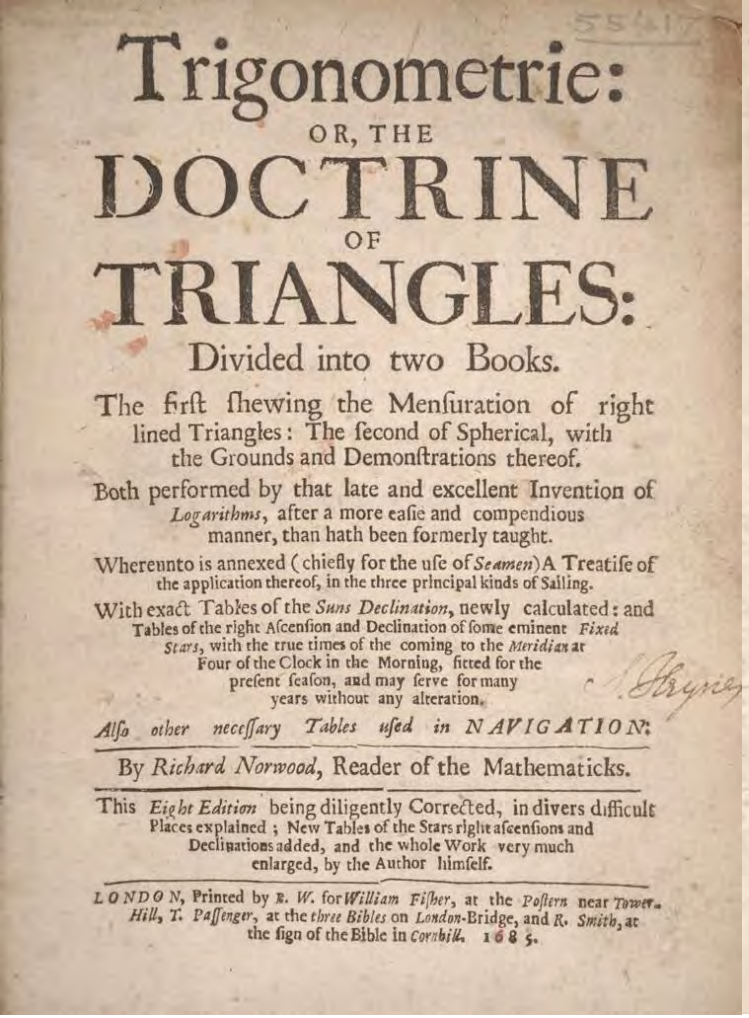
geometría y la trigonometría. Cuando finalizó esa etapa se asoció con John Goodwin, profesor de matemáticas, formando una empresa que solo actuó como tal unos meses; justamente hasta que la Compañía Virginia le propuso buscar perlas en el archipiélago de las Bermudas, abonándole su salario con parte de las que encontrase. Sin embargo, antes de iniciar la travesía hacía América, la compañía vendió sus acciones a un grupo de inversores; una de cuyas primeras decisiones fue la de efectuar el levantamiento topográfico de las islas, para proceder a su reparto equitativo. Cuando se estaba procediendo a ello, llegó Norwood a la colonia británica y le sonrió de inmediato la fortuna, ya que el topógrafo responsable abandonó su tarea y viajó hacia Inglaterra; en efecto, a raíz de ello el gobernador le encargó a este su nuevo cometido. Norwood comenzó reconociendo el litoral, y en ello estaba cuando un nuevo gobernador le pidió que dividiese los terrenos en ocho lotes (tribus o parroquias), para subdividirlos después en parcelas de 25 acres; salvo las islas de San Jorge y San David, que serían terreno comunitario. Norwood, que contó con la colaboración de Charles Caldicott, volvió a la metrópoli una vez finalizado su trabajo, viendo publicado su plano seis años después de su llegada, esto es en 1622. El título elegido para su cartela fue: *Mappa Aestivarum Insularum alias Bermudas dictarum ad ostia Mexicane aestuarii iacentium in Latitudine Graduum 32 Munitorum 25. Ab Anglia, Londino Scilicet versus Libonotum 3300 Miliaribus Anglicanis et a Roanoack (quilocus est in Virginia) versus Euro notum 500 Mil. acurate descr*. No obstante, figuró junto a ese texto su versión



inglesa, al igual que se hizo en otra de sus ventanas para indicar el modo y duración del viaje de vuelta a Inglaterra: «A mediados del verano de 1616, cinco personas partieron de estas islas en un pequeño barco de 3 toneladas y después de 7 semanas llegaron a salvo a Irlanda. Me temo que tal acontecimiento ha pasado desapercibido». Todas las parcelas fueron numeradas, asignándole los correspondientes propietarios en la lista que figuraba en el borde inferior del plano. En él se incorporó una bella rosa de los vientos, dos escudos de armas y dos escalas gráficas en millas, para facilitar su lectura.

El mismo año en que se publicó su plano del archipiélago, Norwood contrajo matrimonio y se trasladó a Londres, permaneciendo allí durante veinte años. En ese periodo de tiempo se dedicó a la enseñanza , al ejercicio de la topografía y a la escritura. En el año 1623 viajó de nuevo a la colonia de Virginia, con el encargo de efectuar un levantamiento topográfico, aunque le surgieron contratiempos tales que decidió volver de inmediato a la metrópoli. Ocho años después publicó el primero de sus libros, dedicado a la trigonometría, con tanto éxito, que fue reimpreso en numerosas ocasiones a lo largo de cincuenta y cinco años. En su portada figuró no solo su título *Trigonometrie or*

Mappa.
ÆSTIVARUM
Insularum alias Bermudas Dictarum, ad ostia Mexicæ Si. ostreary Lacentium in Latitudine Graduum 32. Meridionarum 25. Ab Anglia Londino distitet versus Occidentem 3300 Milliaribus Anglicanis, et a Roanock qui locus est in Virginia versus Ortum 900 Milliaribus Ang.
A Mapp of the
SOMMER
Ilands once called the Bermudas lying at the mouth of the bay of Mexico in the Lattitude of 32 degr. 25 mi. Distant from England via from London toward the west southwest 3300 miles And from Roanock in Virginia toward the east south east 900 miles exactlie surveyed
SOMERSETI INSULA
HIBERNIA LAND
VIRGINIA
NOVA ANGLIA
New England
LATUM
FRETUM
The Great Sound
Hammilton
Haring toni Fretum
SOUTHAMTONIÆ PORTUS
Southampton Harbour
St David's Iland
Burnt point
Gurnets head, Hyrcus promont.
Smiths Tribe
Devonshire Tribe
Warwick Tribe
Pagets Tribe
Pembroke Tribe
Part of the Generall Iland
Scala trium Miliarium, vel viginti quatuor Stadiorum.
A scale of three miles or fourandtwenty furlongs
Nomina, fortunæ bona submittentium in quæstus Virginiani alea, Anno 1622, quam fieri potuit accuratissime, expressa
The names of the now Adventurer, viz, this yeare 1622 as neare as wee could gather, ex



Trigonometrie:
OR, THE
DOCTRINE
OF
TRIANGLES:

Divided into two Books.

The first shewing the Mensuration of right lined Triangles: The second of Spherical, with the Grounds and Demonstrations thereof.

Both performed by that late and excellent Invention of *Logarithms*, after a more easie and compendious manner, than hath been formerly taught.

Wherennto is annexed (chiefly for the use of *Seamen*) A Treatise of the application thereof, in the three principal kinds of Sailing.

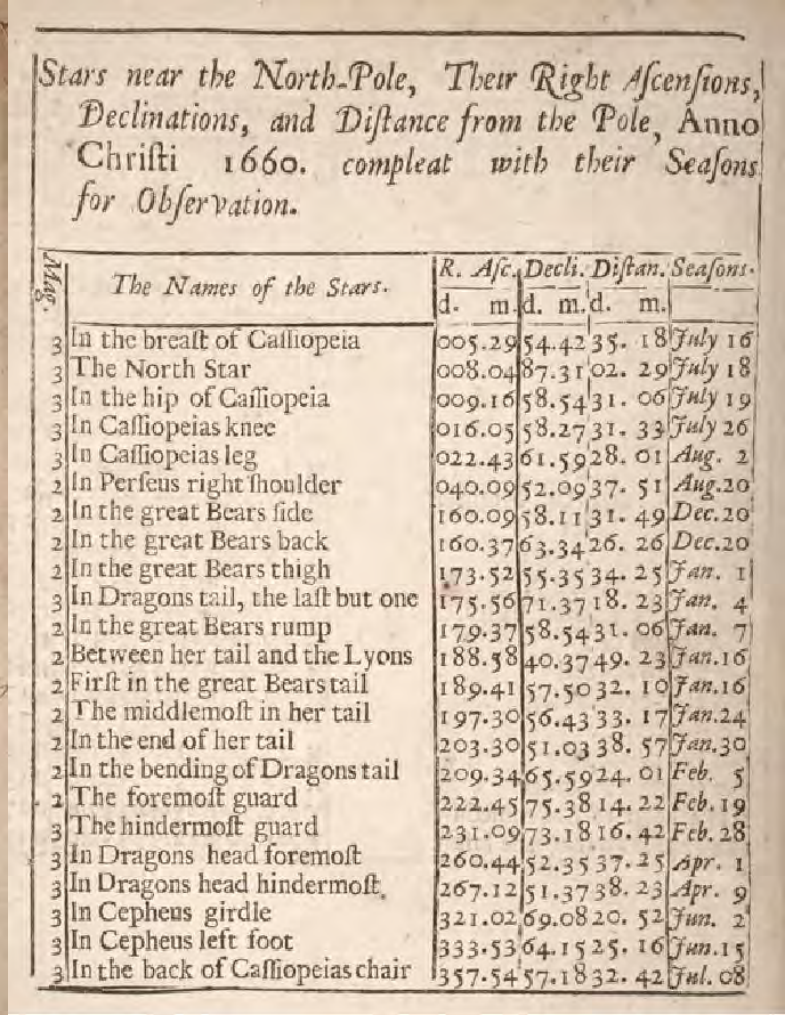
With exact Tables of the *Suns Declination*, newly calculated: and Tables of the right Ascension and Declination of some eminent *Fixed Stars*, with the true times of the coming to the *Meridian* at Four of the Clock in the Morning, fitted for the present season, and may serve for many years without any alteration.

Also other necessary Tables used in NAVIGATION:

By *Richard Norwood*, Reader of the Mathematicks.

This *Eight Edition* being diligently Corrected, in divers difficult Places explained; New Tables of the Stars right ascensions and Declinations added, and the whole Work very much enlarged, by the Author himself.

LONDON, Printed by *R. W.* for *William Fisher*, at the *Postern* near *Tower-Hill*, *T. Passenger*, at the *three Bibles* on *London*-Bridge, and *R. Smith*, at the sign of the Bible in *Cornhill*. 1685.

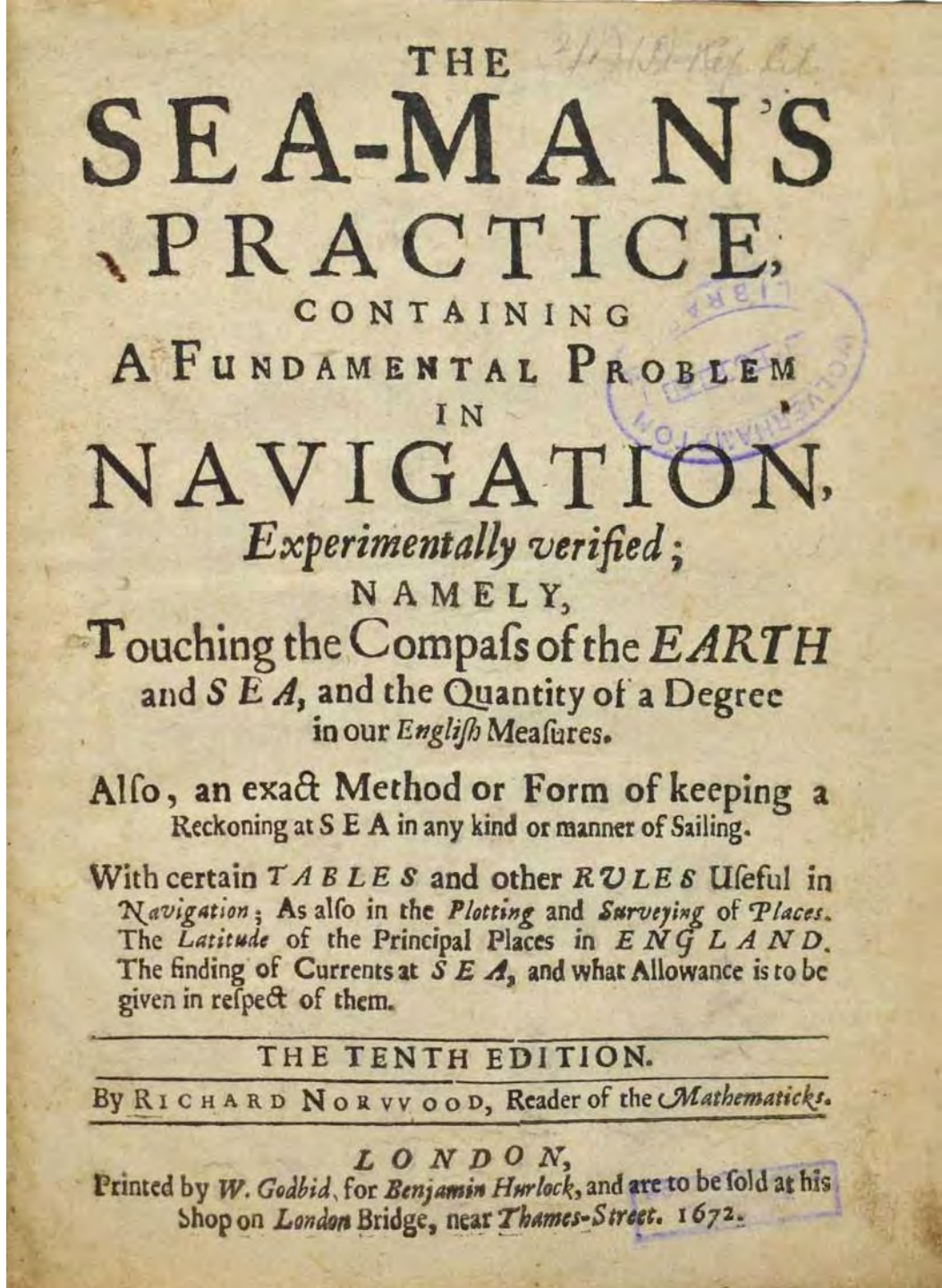


Stars near the North-Pole, Their Right Ascensions, Declinations, and Distance from the Pole, Anno Christi 1660. compleat with their Seasons for Observation.

Mag.	The Names of the Stars.	R. Asc. d. m.	Decli. d. m.	Distan. d. m.	Seasons.
3	In the breast of Cassiopeia	005.29	54.42	35. 18	*July* 16
3	The North Star	008.04	87.31	02. 29	*July* 18
3	In the hip of Cassiopeia	009.16	58.54	31. 06	*July* 19
3	In Cassiopeias knee	016.05	58.27	31. 33	*July* 26
3	In Cassiopeias leg	022.43	61.59	28. 01	*Aug.* 2
2	In Perseus right shoulder	040.09	52.09	37. 51	*Aug.*20
2	In the great Bears side	160.09	58.11	31. 49	*Dec.*20
2	In the great Bears back	160.37	63.34	26. 26	*Dec.*20
2	In the great Bears thigh	173.52	55.35	34. 25	*Jan.* 1
3	In Dragons tail, the last but one	175.56	71.37	18. 23	*Jan.* 4
2	In the great Bears rump	179.37	58.54	31. 06	*Jan.* 7
2	Between her tail and the Lyons	188.58	40.37	49. 23	*Jan.*16
2	First in the great Bears tail	189.41	57.50	32. 10	*Jan.*16
2	The middlemost in her tail	197.30	56.43	33. 17	*Jan.*24
2	In the end of her tail	203.30	51.03	38. 57	*Jan.*30
2	In the bending of Dragons tail	209.34	65.59	24. 01	*Feb.* 5
2	The foremost guard	222.45	75.38	14. 22	*Feb.*19
3	The hindermost guard	231.09	73.18	16. 42	*Feb.*28
3	In Dragons head foremost	260.44	52.35	37. 25	*Apr.* 1
3	In Dragons head hindermost	267.12	51.37	38. 23	*Apr.* 9
3	In Cepheus girdle	321.02	69.08	20. 52	*Jun.* 2
3	In Cepheus left foot	333.53	64.15	25. 16	*Jun.*15
3	In the back of Cassiopeias chair	357.54	57.18	32. 42	*Jul.* 08

the doctrine of triangles, sino que también resumió el contenido de la obra; estructurada en dos libros, uno dedicado a la resolución de los triángulos planos y otra a la de los esféricos, con el auxilio imprescindible de los logaritmos. Contó también con un anexo, especialmente útil para la navegación, en el que incorporó tablas con las declinaciones del Sol, nuevamente calculadas, otras con las ascensiones rectas y declinaciones de las estrellas fijas más relevantes, indicando la hora verdadera a que culminaban todas ellas. Gracias a esa obra, los marinos pudieron resolver problemas complejos, como determinar el rumbo con el auxilio de una carta náutica dibujada de acuerdo con el desarrollo cilíndrico y conforme de Mercator. En el año 1637 se publicó otra obra de Norwood que alcanzó una fama similar a la anterior, baste decir que se fue reeditando hasta bien entrado el siglo XVIII; su título fue del tenor de la época: con una parte principal y con el resumen de su contenido: *The Seaman's Practice, Containing a Fundamental Problem in Navigation, experimentally verified: Namely, Touching the Compass of the Earth and Sea, and the Quantity of a Degree in our English Measures. Also an exact Method or Form of keeping a Reckoning or Journal at Sea, in any kind or manner of Sailing. With certain Tables and other Rules used in Navigation. The Latitude of the*

Principal Places in England: The Variation of the Compass: The finding of the Currents at Sea, and what Allowance is to be given in respect of them. By Richard Norwood, Reader of the Mathematicks.
Con este libro, logró ocupar el autor un lugar de honor en la historia de la geodesia, ya que en el segundo de sus doce capítulos (*An Experiment made for finding the Quantity of a Degree, and so the Circumference of tbe Earth and Sea, in our known Mensures*) resumió con suficiente detalle la medida del arco de meridiano, comprendido entre Londres y York, que efectuó principalmente durante el verano del año 1635. Norwood comenzó su crónica refiriéndose a las medidas de las alturas meridianas del Sol que había tomado en York, durante los días 6 y 11 de junio de 1635; usando para ello un sextante de cinco pies de radio, arrojando un resultado de 59º 33´. A continuación, recordó que el día 11 de junio de 1633 había medido también, cerca de la Torre de Londres, la altura meridiana del Sol, obteniendo 62º 1´y «viendo que la declinación del Sol el 11 de junio de 1635 y el 11 de junio de 1633 eran prácticamente las mismas, y que las alturas fueron casi idénticas, no necesitaban efectuarse correcciones algunas debidas a la declinación, refracción o paralaje. De modo qué sustrayendo la menor altura aparente, es decir 59º 33´, de la mayor, 62º 1´, resultarían 2º 28´; los cuales son la diferencia de las latitudes de las


THE
SEA-MAN'S
PRACTICE,
CONTAINING
A FUNDAMENTAL PROBLEM
IN
NAVIGATION,
Experimentally verified;
NAMELY,
Touching the Compaſs of the *EARTH* and *SEA*, and the Quantity of a Degree in our *Engliſh* Meaſures.
Alſo, an exact Method or Form of keeping a Reckoning at SEA in any kind or manner of Sailing.
With certain *TABLES* and other *RULES* Uſeful in *Navigation*; As alſo in the *Plotting* and *Surveying* of *Places*. The *Latitude* of the Principal Places in *ENGLAND*. The finding of Currents at *SEA*, and what Allowance is to be given in reſpect of them.
THE TENTH EDITION.
By RICHARD NORVVOOD, Reader of the *Mathematicks*.
LONDON,
Printed by *W. Godbid*, for *Benjamin Hurlock*, and are to be ſold at his Shop on *London* Bridge, near *Thames-Street*. 1672.

Cadena

dos ciudades, esto es de Londres y York». Por otro lado, Norwood había medido el desarrollo lineal del arco, a lo largo de la calzada romana (*Ermine Street*) sensiblemente recta, usando para ello una cadena; aunque en los casos en que la alineación se separaba del meridiano emplease un *circumferator* con brújula incorporada, para poder medir los ángulos y reducir las distancias a la dirección anterior. El resultado de la medición fue 9149 cadenas, como cada cadena tenía ocho polos y cada polo equivalía a 16.5 pies, serían 99 los pies de la cadena y 905751

Circumferator

los pies del desarrollo. La consecuencia era inmediata: a los 2º28´ correspondían 9149 cadenas, o lo que es lo mismo, el desarrollo de un grado de meridiano sería igual a 3709 cadenas y cinco pies, es decir 367196 pies; valor que Norwood redondeó para fijar el grado en 367200 pies. Acto seguido expresó ese mismo valor en las otras unidades inglesas: aproximadamente 22254.5 polos, o 556 *furlongs* y 14 polos (teniendo en cuenta que 1 *furlong* son 40 polos); asimismo lo hizo en millas, de manera que partiendo de la equivalencia correspondiente (1 milla tiene 8 *furlongs*) resultarían para el grado de meridiano 69 millas, 4 *furlongs* y 14 polos. Norwood calculó después el perímetro de la Tierra , multiplicando los 360º de su circunferencia máxima por el desarrollo del grado, obteniendo 132192000 pies, que reducidos a polos se transformaron en 8011636, equivalentes a 200290 *furlongs* y 36 polos, o bien a 25036 millas inglesas. Más adelante obtuvo el valor del diámetro, valiéndose de la relación (7/22) entre él y el perímetro, fijada por Arquímedes; llegando a que el doble del radio tendría 42061091 pies, y este 21030545 pies o 3983 millas.

Segundo plano de las Bermudas, levantado por R. Norwood (1662-63). Detalle de la tribu *Pembroke*. Al compararlo con el representado en el primero se observa la proliferación de casas en el interior de las parcelas.

Los problemas religiosos que venía teniendo Norwood con algunos obispos, podrían explicar el que solicitase la plaza de maestro que había ofrecido la Compañía de las Bermudas y que decidiera emigrar al archipiélago para tomar posesión de la misma y afincarse definitivamente en la colonia; no se sabe la fecha concreta en que abandonó Inglaterra, aunque debió ser a finales del año 1637 o en enero del de 1638, poco después de que se publicara su obra magna. Sin embargo, las dificultades prosiguieron en la isla, aunque fuese elegido para formar parte del triunvirato que gobernó las islas entre 1645 y 1647, viéndose obligada a renunciar a la plaza de maestro en el año 1649; no obstante, doce años después le convencieron para que volviese a la escuela. La actividad docente la compaginó siempre con los trabajos de agrimensura asociados a los permanentes conflictos entre propietarios limítrofes. Como su prestigio como topógrafo estaba fuera de discusión, fue contratado por la Compañía para que volviese a levantar el plano general de las islas; efectuando los trabajos de campo en el año 1662 y los de gabinete en 1663, conservándose la documentación correspondiente en *Domesday Book of Bermuda*. Esta segunda medición fijó la superficie de las islas en unos 12162 acres, alrededor de 19 millas cuadradas; constatando que se había alterado sustancialmente la distribución de la propiedad en favor de los residentes en el archipiélago. Sus hijos Andrew y Mathew siguieron sus pasos, ejerciendo el primero de topógrafo y escribiendo el segundo los libros: *The Seaman´s Companion* (1671) y *Norwood´s system of navigation* (1685), alcanzando ambos un éxito notable.

Sosteniendo compás y esfera armilar

Pedro Nunes (1502-1578)

El mejor matemático portugués de la época de los descubrimientos, un cosmógrafo genial al que se le debe la introducción de las líneas de igual rumbo, luego llamadas loxodrómicas; las cuales fueron básicas para el desarrollo de la navegación. Suyo fue el invento del *nonius* (vocablo derivado de su apellido), un aditamento indispensable para mejorar la exactitud de los goniómetros y de otros instrumentos de medida. Reconoció el valor de los que habían descubierto nuevas islas, nuevas tierras, nuevos mares y nuevos pueblos, pero también pensaba que había algo más: un cielo nuevo y estrellas nuevas. Pedro Nunes nació en Alcácer do Sal, llamado por los romanos Salacia, de ahí que en ocasiones figure con el nombre latino de *Petrus Nonius Salaciensis*. Su familia era judía, aunque no haya constancia de que él profesara esa doctrina, nada se sabe de sus primeras enseñanzas, pero si que ingresó en la Universidad de Salamanca hacia el año 1517; partiendo de los conocimientos que adquirió, debió de recibir clases de filosofía, geografía, matemáticas y medicina. Se graduó en 1523, justamente en el

mismo año en que contrajo matrimonio con la salmantina Guiomar Areas, con la que se trasladaría después a Portugal. No se sabe cuando lo hicieron, pero debió ser antes de 1527, Ya que entonces Nunes era tutor de un hermano del Rey Juan III (el piadoso), una tarea que prosiguió hasta el año 1531; al mismo tiempo enseñó técnicas de navegación a diversos marinos, entre ellos Martim Afonso de Sousa, quien comandó la colonización de Brasil en 1530. Tal fue su prestigio, que el 16 de noviembre de 1529 fue nombrado Cosmógrafo del Reino de Portugal, cargo que compatibilizó con el profesor de filosofía en la Universidad de Lisboa hasta el año 1532 y con los estudios propios del doctorado en medicina, título que le fue otorgado en marzo de ese mismo año.

No se puede asegurar a ciencia cierta donde residió Nunes durante el periodo comprendido entre los años 1532 y 1544, aunque haya constancia de que parte de él estuvo en España (posiblemente impartiendo clases en Salamanca). También fue en ese tiempo cuando fue contratado oficialmente por la Universidad de Lisboa, supervisando los estudios de doctorado de varios alumnos. Fue entonces (1534) cuando empezó a escribir su libro de Álgebra, aunque no lo publicara hasta muchos años después. En el año 1537 se presentó su obra *Tratado da sphera*, compuesta de varios libros: una edición crítica del homónimo de Sacrobosco, la *Theoricae nouae planetarum de Peurbach* y el libro primero de la Geografía de Tolomeo, añadiendo

1537

Tratado da sphera
com a Theorica do Sol & da
Lua. Ho primeiro liuro da
Geographia de Claudio Pto
lomeo Alexãdrino. Tirados nouamen
te de Latim em lingoagem pello Doutor
Pero Nunez Cosmographo del Rey dõ
João ho terceyro deste nome nosso Se
nhor. E acrecẽtados de muitas annota
çõees & figuras per que mays facilmente
se podem entender.

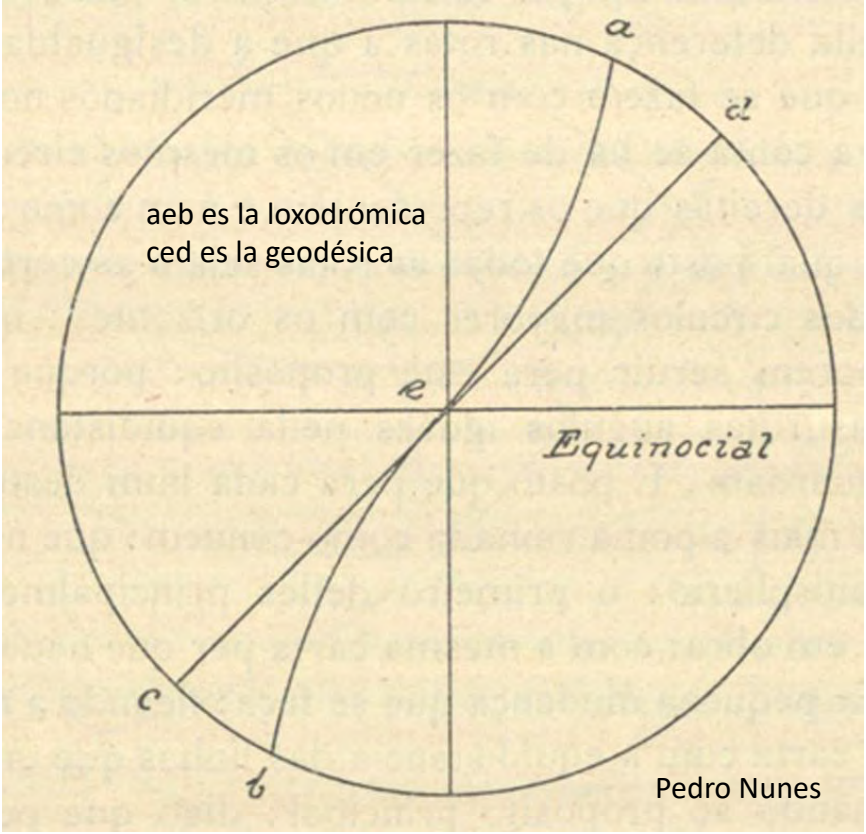
Item dous tratados ẽ o mesmo Dou
tor fez sobre a carta de marear. Em os
quaes se decrarão todas as principaes
duuidas da nauegação. Cõ as tauoas de
mouimento do sol & sua declinação. E o
Regimẽto da altura assi ao meyo dia: co
mo nos outros tempos.

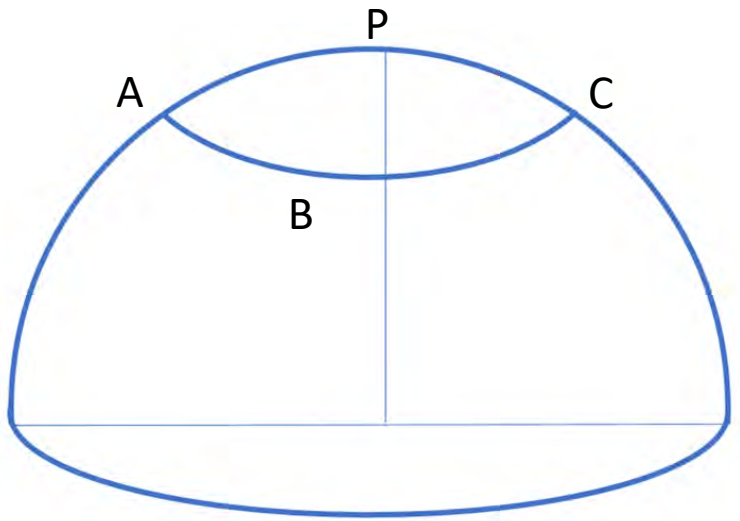
COM PREVILEGIO REAL.

atado da sphera com a Theorica do Sol e da Lua. E ho primeiro livro da Geographia de Claudio Ptolomeo Alleradrino.

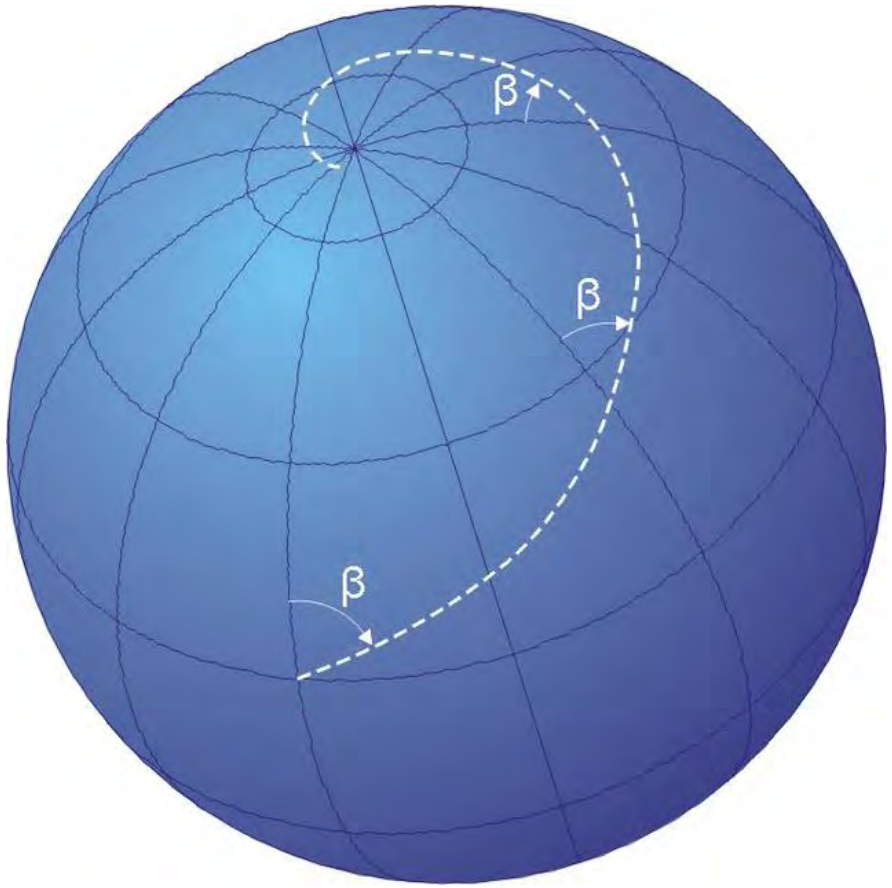
además, dos obras propias sobre navegación. Los títulos de estas últimas fueron: *Tratado que ho doutor Pêro nunez fez sobre certas duuidas de nauegação* y *Tratado que ho doutor Pêro nunez Cosmographo del Rey nosso senhor fez em defensam da carta de marear.* Es posible que Nunes se refiriera por primera vez a las líneas de acimut constante en el año 1534, a propósito de las consultas que le hiciera al respecto su antiguo alumno Martim Afonso de Sousa. Tales líneas fueron, y son, indebidamente llamadas de igual rumbo, confundiendo los meridianos geográficos con los magnéticos, siendo preferible la denominación de loxodrómicas, acuñada en 1624 por el holandés Willebrord Snell (Snellius). No obstante, el tratamiento formal de la cuestión lo efectuó en los dos tratados que se acaban de citar, cuyo principal objetivo fue disipar las dudas de la mayoría de navegantes, los cuales pensaban que al seguir una travesía con rumbo constante estaban trazando sobre la esfera un arco de círculo máximo. Otro de los problemas a los que se enfrentaban fue el de la imposibilidad de fijar el rumbo sobre las cartas náuticas, recurriendo ocasionalmente al empleo de globos terráqueos. Entre los navegantes de la época debió imperar un cierto caos, a tenor de lo escrito por Nunes en el primer tratado, explicando los fundamentos matemáticos de la navegación y distinguiendo con claridad entre las dos posibles

trayectorias del barco: ortodrómica (círculo máximo de mínima distancia y acimut variable) y loxodrómica (línea de acimut constante y de la familia de las espirales). Sus palabras son esclarecedoras : «e se per altura que os nauegantes poucas veces acertam: fazem sua conta: huas veces erram per darem mays longura: e otras veces per darem menos: ho nordeste per que cuydaam que vam. He a linha .de.e.c nesta figura. Mas o camino per que verdadeyramente andam: he a linha curua .a.e.b. a qual nao he circulo nem linha dereita. E quem esta minha imaginacao bem oulhar: entendera que do erro dos naugantes se pode tirar a verdade: e que sem ir a hum lugar: nem nunca nauegar: pella falsa enformaçao que dam delle: se pode saber a verdade». La diferencia entre las distancias recorridas siguiendo uno u otro trayecto es considerable cuando los extremos de la travesía están muy alejados, así se desprende del ejemplo siguiente: en el supuesto de seguir el paralelo de latitud 60º entre dos puntos cuya diferencia de longitud fuese de 180º (ABC) la línea de la figura adjunta) la distancia recorrida sería de πR/2; en cambio si para ir de A a C se hubiese seguido el arco ortodrómico APC, la distancia recorrida hubiese sido de πR/3. La diferencia entre ambos valores sería pues de πR/6, es decir unos 3335.85 km, en el supuesto de fijar el radio de la Tierra en 6371 km. No obstante, el desarrollo definitivo de la navegación no se produjo hasta que Mercator publicó en 1569 su mapa *Nova et Aucta Orbis Terrae Descriptio ad Usum Navigantium Emendate Accommodata.* En efecto, al tratarse de una representación





Loxodrómica de acimut β, rodeando al polo de la esfera



Verde (geodésica) y Rojo (loxodrómica)

conforme (se conservan los ángulos al pasar de la esfera al plano) y ser paralelas las imágenes de los meridianos, la representación de las loxodrómicas será rectilínea, de ahí la facilidad de fijar el rumbo de la travesía sobre la carta náutica dibujada de acuerdo con ese criterio. Por el contrario, la imagen de la geodésica, u ortodrómica, será curvilínea, presentando su concavidad hacia la línea ecuatorial; dándose por tanto la circunstancia de que las geodésicas que pasen de uno a otro hemisferio tendrán en ella su punto de inflexión. La deformación inherente a los sistemas cartográficos hace que se presente una contradicción aparente: la mínima distancia entre dos puntos del plano del mapa no es un segmento rectilíneo.

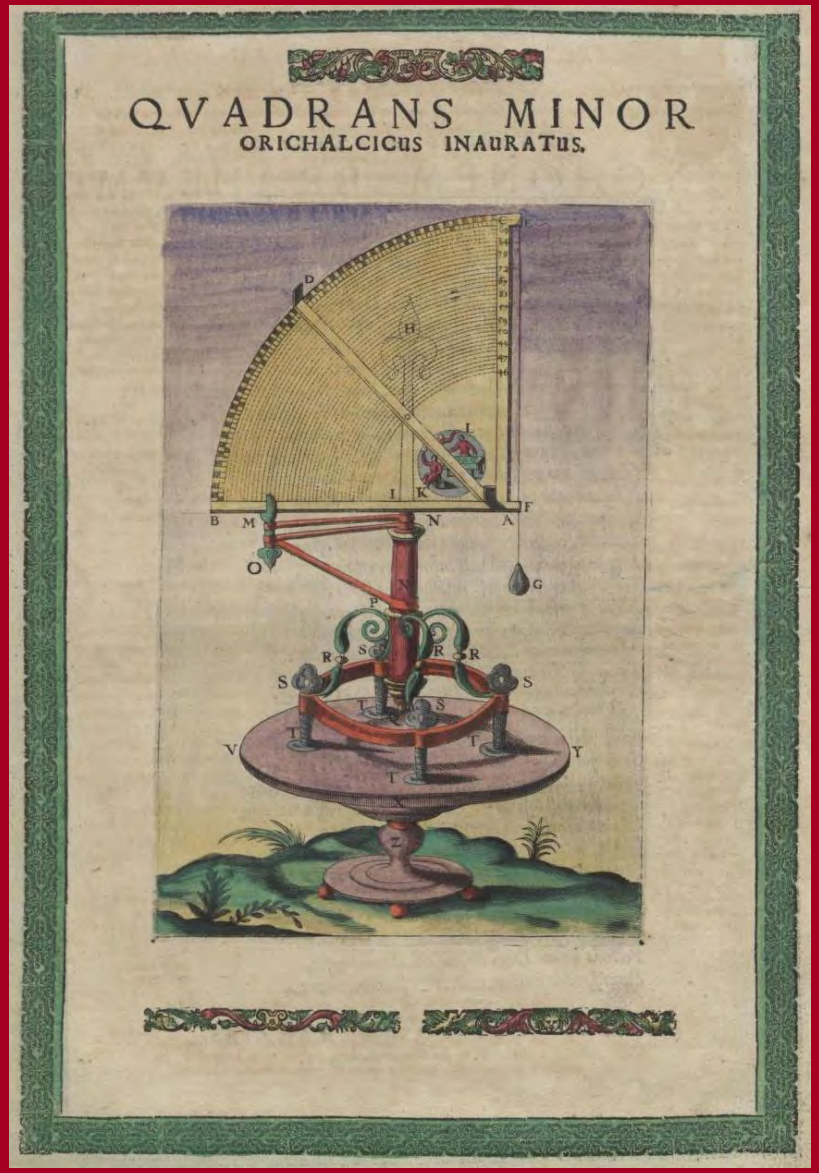
La siguiente publicación de Nunes fue *De Crepusculis*, editada en el año 1542, la cual parece que fue concebida como ampliación de la respuesta dada a uno de sus alumnos, el príncipe Enrique, hijo del rey Manuel I; el cual ya estaba al tanto de calcular la latitud del lugar mediante las alturas meridianas del Sol. El futuro Rey de Portugal (1578) le preguntó qué día del año era aquel en que duraba menos el crepúsculo. Esa obra fue la más notable de las que escribió P. Nunes, a tenor del respeto y admiración con que era citada por los matemáticos de los siglos XVI y XVII; en ella amplió y generalizó el problema de la duración del crepúsculo, explicando su dependencia del lugar y de la época del año,

También fue en esta obra donde introdujo la idea del nonius, incorporando una serie de arcos circulares concéntricos, divididos de modo que cada uno tuviese una parte menos que el anterior: el de mayor radio tenía 90, y los anteriores 89, 88, etc. Cuando se efectuaba una lectura angular, se anotaba el círculo y la división marcada por la alidada; consultando luego una tabla para obtener la lectura definitiva. Tycho Brahe hizo suya la novedad de Nunes, incorporándola a dos de los cuadrantes que construyó para el Observatorio de Uraniburgo: uno pequeño de 39 cm de radio y otro mediano de 58 cm. No obstante, el modelo original fue transformado posteriormente por autores como Pierre Vernier (*La construction, l 'usage et les proprietez du quadrant nouveau de mathematique. 1631)*, de ahí que también se use el nombre de vernier para referirse al dispositivo que optimiza la lectura correspondiente; otros autores que también diseñaron su propio modelo fueron los jesuitas Jacob Curtis y Christopher Clavius, siendo este último alumno de Nunes en Coímbra.

En el año 1544 se incorporó P. Nunes a la Universidad de Coímbra para dirigir la cátedra de Matemáticas, permaneciendo al frente de la misma hasta 1562; si bien, durante el periodo 1557-1561 residió en Lisboa. Las Las enseñanzas fundamentales impartidas en dicha cátedra se centraron principalmente en las aplicaciones relativas a la navegación,

PETRI NONII
Salaciēſis, de Crepuſculis liber unus, nūc recēs & natus et editus.
ITEM Allaten Arabis uetuſtiſſimi, de cauſis Crepuſculorum Liber unus, à Gerardo Cremonenſi iam olim Latinitate donatus, nunc uero omniū primum in lucem editus.
Olyſſipone
M.D.XLII.

Reconstrucción del ASTROLABIO Y CUADRANTE DE NUNES
con nonio incorporado



CUADRANTES DE TYCHO BRAHE, con el aditamento
de PEDRO NUNES. *Astronomia Instauratæ Mechanica*

puesto que la riqueza del país dependía en gran manera del comercio marítimo. Nunes comenzó sus clases un año después de que Copérnico publicase su celebérrima obra *De revolutionibus orbium cœlestium*, de la que aceptó sus planteamientos matemáticos, pero sin pronunciarse sobre la verosimilitud del modelo cósmico. Ello no fue óbice para que los trabajos de Nunes fuesen reconocidos por sus contemporáneos europeos: siendo referido tanto por Tycho Brahe como por el francés Pierre Gassendi, el cual incluyó al portugués en la lista de los grandes matemáticos y astrónomos del siglo XVI. Nada más instalarse en Coímbra, Nunes analizó los trabajos realizados por O. Fineo sobre los tres problemas clásicos de la cuadratura del círculo, la trisección de un ángulo arbitrario y la duplicación del cubo, concluyendo que edran incorrectos, de ahí el título de la obra que publicó en el año 1546*: DE ERRATIS Orontii Finaei Regii Mathematicarum Lutetiae Professoris, qui putavit inter duas datas lineas, …& longitudinis locorum differentias aliter quam per eclipses lunares, etiam dato quovis tempore manifestas fecisse, Petri Nonii Salaciensis liber unus*. Desde el punto de vista cosmográfico es destacable el hecho de que abordase el difícil problema de la determinación de la diferencia de longitudes, por medio de la observación simultánea de un eclipse lunar desde los dos puntos implicados.

BIBLIOTECA JOANINA de la Universidad de Coimbra, fundada por el Rey Juan V.

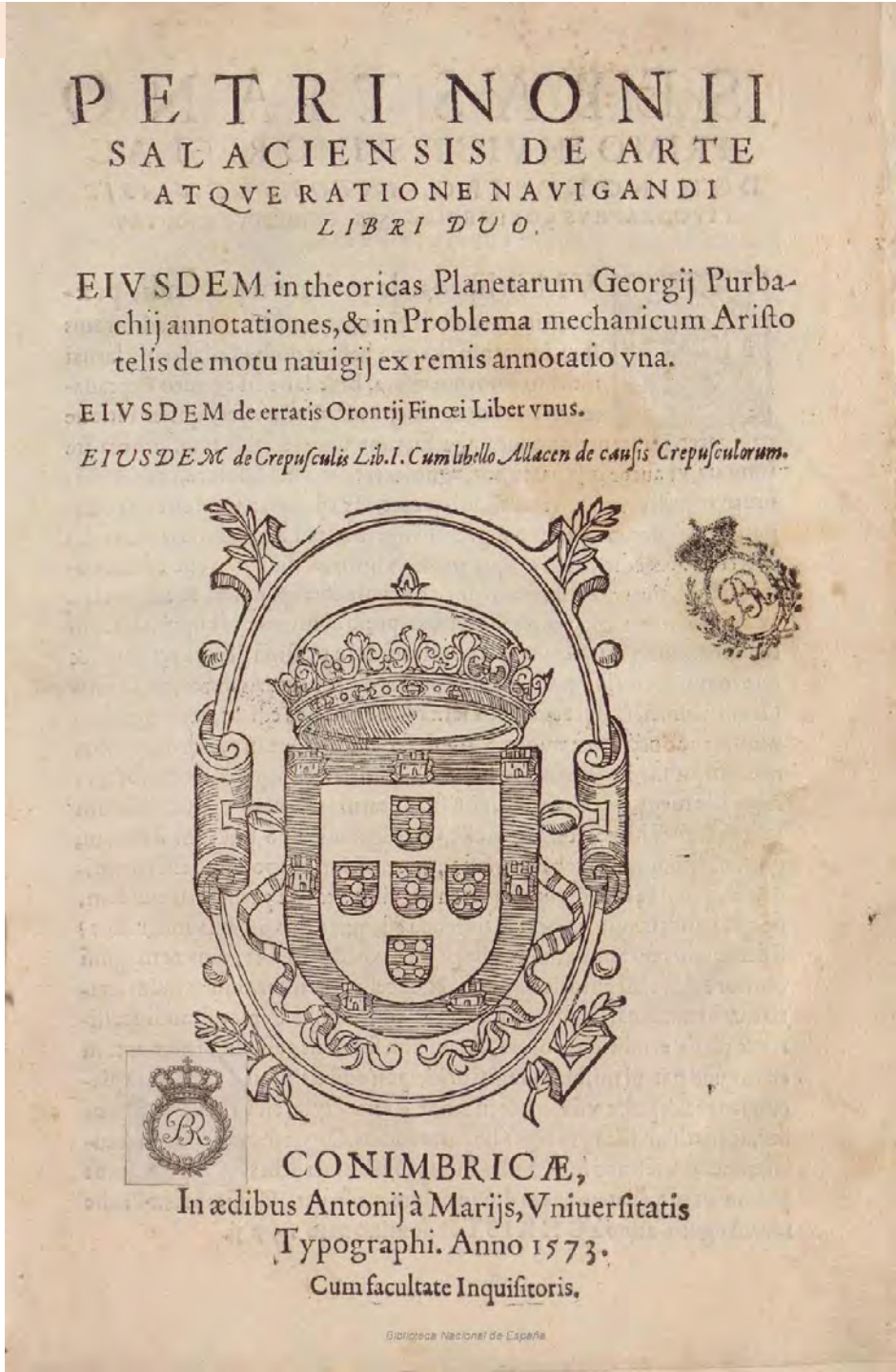
PETRI NO-
NII SALACIENSIS
OPERA, QVÆ COMPLECTVNTVR,
PRIMVM, DVOS LIBROS,
IN QVORVM PRIORE TRACTAN-
TVR PVLCHERRIMA PROBLEMATA.
IN altero traduntur ex Mathematicis disciplinis regulæ & instrumenta artis nauigandi, quibus uaria rerum Astronomicarum
circa cœlestium corporum motus explorare possumus.
DEINDE, Annotationes in Aristotelis Problema Mechani cum de Motu nauigij ex remis.
POSTREMO, Annotationes in Planetarum Theoricas GEORGII PVRBACHI, quibus multa hactenus perperam intellecta, ab aliis præterita exponuntur.
Quæ quemadmodum mole exigua uidentur, ita uirtute ingentia, Lector candide, intelliges.
Cum Gratia & Priuilegio Cæ-
sareæ Maiest.
BASILEÆ,
EX OFFICINA HENRICPETRINA.

Pedro Nunes recopiló todas sus obras en la publicación Petri Nonii Salaciensis Opera, editada en el mes de septiembre de 1566 (Basilea); en la que se desarrollan los cuatro apartados indicados en su portada. Los dos primeros pueden considerarse las versiones latinas de los tratados de navegación incluidos en el *Tratado da Sphera* de 1537, aunque la correspondiente al segundo aparece mucho más detallada y extensa que en aquel: *De regulis & instrumentis, ad uarias rerum tam maritimarum quam & coelestium apparentias deprehendendas, ex Mathematicis disciplinis*. Ciertamente, en él se analiza el fundamento de las cartas náuticas y el diseño de las mismas, ocupándose también de la navegación astronómica y del trazado de las loxodrómicas en el globo terráqueo. Esos textos latinos de Nunes fueron incorporados, previa traducción al inglés, por Edward Wright, el cual fue el primero en publicar tablas de latitudes crecientes para formar cartas en las que las imágenes cartográficas de las loxodrómicas fuesen rectilíneas. Los capítulos siguientes del *De regulis & instrumentis* tratan de la navegación astronómica, incluyendo varios procedimientos para hallar coordenadas geográficas.

En los siete últimos capítulos de este segundo tratado se abordó el problema del trazado de loxodrómicas en un globo terráqueo, una cuestión más complicada que la construcción de la tabla de latitudes crecientes. Para ello ideó un procedimiento complicado, consistente en la resolución secuencial de varios triángulos esféricos, para obtener

En el año 1573 se publicó una edición mejorada de la Opera, pero con un título diferente: *De arte atque ratione navigandi*

puntos localizados aproximadamente en loxodrómicas de la esfera. Los dos tratados latinos de Pedro Nunes sobre la navegación fueron traducidos al español por Juan Cedillo Díaz, conservándose su manuscrito en la Biblioteca Nacional de España. El tercer apartado de la Opera fue un breve ensayo titulado *In Problema mechanicum Aristotelis de Motu nauigij ex remis* (Sobre el movimiento de los barcos con remos en la Mechanica de Aristóteles). El cuarto y último, *In Theoricas Planetarum Georgii Purbachii annotationes aliquot*, es una colección ampliada de anotaciones a la *Theoricae Novae Planetarum* de ese matemático austriaco del siglo XIV.



PETRI NONII
SALACIENSIS DE ARTE
ATQVE RATIONE NAVIGANDI
LIBRI DVO.

EIVSDEM in theoricas Planetarum Georgij Purbachij annotationes,& in Problema mechanicum Aristotelis de motu nauigij ex remis annotatio vna.

EIVSDEM de erratis Orontij Finœi Liber vnus.

EIVSDEM de Crepusculis Lib.I. Cum libello Allacen de causis Crepusculorum.

CONIMBRICÆ,
In ædibus Antonij à Marijs, Vniuersitatis
Typographi. Anno 1573.
Cum facultate Inquisitoris.

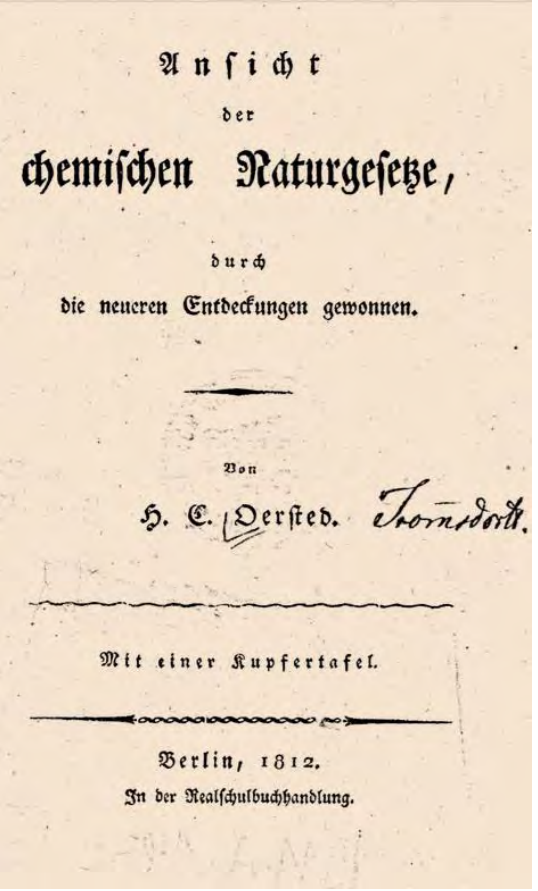
Biblioteca Nacional de España

Hans Christian Oersted (1777-1851)

Físico y químico danés que descubrió experimentalmente el electromagnetismo en la primavera del año 1820, al comprobar que se movía la aguja de una brújula al pasarle cerca una corriente; el artículo en el que dio cuenta de su descubrimiento lo publicó en el mes de julio en las principales revistas científicas de Europa. Hans Christian Oersted nació en Langeland y con pocos años fue adoptado por una familia alemana junto a su hermano menor. Las capacidades de ambos se hicieron pronto patentes, llegando a aprender latín, francés y matemáticas. No obstante, cuando tenía once años volvió a su domicilio paterno para trabajar como mancebo en la farmacia familiar. En 1794 se trasladaron los dos hermanos a Copenhague e ingresaron en su universidad, al superar con honores el examen de ingreso en la misma. Anders se convertiría en jurista, al contrario que Hans Christan que prefirió la filosofía kantiana, la cual sería básica para su formación científica. Durante su formación universitaria estudió además astronomía, física y química; logrando su título de farmacéutico en 1797. En 1798 se hizo redactor de la revista *Philosophisk repertorium for faedrelandets nyeste litteratur*, publicando en ella

un artículo que sirvió de base para su tesis doctoral: *Dissertatio de forma metaphysices elementaris naturae externae*, cuyo título logró al año siguiente; vislumbrándose en ella las dos cuestiones en las que iban a centrarse sus posteriores trabajos: el electromagnetismo y la comprensibilidad de gases y líquidos. En el verano de 1801, emprendió viaje por Europa para ampliar su formación científica, prestando especial atención a la reciente presentación (1800) de la pila voltaica. Llegado a París en el mes de diciembre, permaneció allí un año, asistiendo a las conferencias pronunciadas, entre otros, por Claude Louis Bertholet (sobre química), J. B. Biot (sobre física) y Georges Cuvier (sobre historia natural). También visitó las ciudades de Berlín, Weimar y Gotinga; coincidiendo en esta última con el físico Johann Wilhelm Ritter, estudioso de los efectos químicos de la corriente eléctrica. Durante ese viaje se asentaron aún más su admiración por Kant y por la filosofía natural. Oersted volvió a Dinamarca en el año 1804 y se dedicó a impartir conferencias, con tanto éxito que logró ser catedrático de la Universidad de Copenhague en 1806. Entonces se inició el progreso de su carrera académica, publicando numerosos trabajos y creando en 1824 la Sociedad para el fomento de las Ciencias Naturales; cinco años después fe nombrado director del Instituto Politécnico de Copenhague, un puesto que desempeñó el resto de su vida. Desde esa posición consiguió situar a la ciencia danesa al mismo nivel que había alcanzado en las principales naciones del resto del continente.

UNIVERSIDAD DE COPENHAGUE

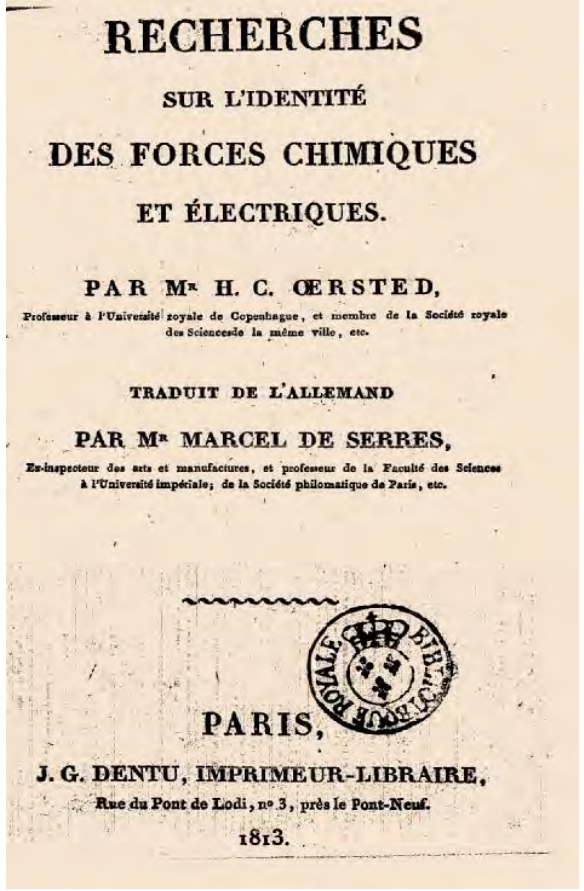


Ansicht
der
chemischen Naturgesetze,
durch
die neueren Entdeckungen gewonnen.

Von
H. C. Oersted. Thomsdorff.

Mit einer Kupfertafel.

Berlin, 1812.
In der Realschulbuchhandlung.



RECHERCHES
SUR L'IDENTITÉ
DES FORCES CHIMIQUES
ET ÉLECTRIQUES.

PAR Mr H. C. ŒRSTED,
Professeur à l'Université royale de Copenhague, et membre de la Société royale des Sciences de la même ville, etc.

TRADUIT DE L'ALLEMAND
PAR Mr MARCEL DE SERRES,
Ex-inspecteur des arts et manufactures, et professeur de la Faculté des Sciences à l'Université impériale; de la Société philomatique de Paris, etc.

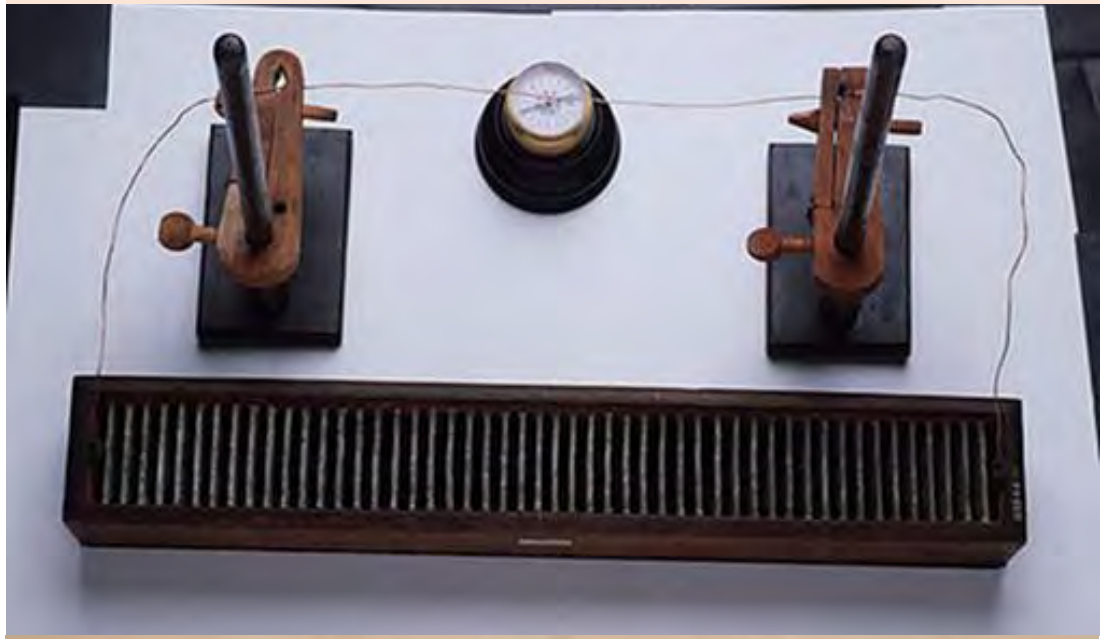
PARIS,
J. G. DENTU, IMPRIMEUR-LIBRAIRE,
Rue du Pont de Lodi, n° 3, près le Pont-Neuf.
1813.

Durante su estancia en París, Oersted estableció buenos contactos que permitieron la traducción al francés, años después, de una de sus obras más señaladas escritas en Berlín: *Ansicht der chemischen Naturgesetze, durch die neueren Entdeckungen gewonnen* (Exposición de las leyes químicas de la naturaleza, a la luz de los recientes descubrimientos). El título elegido fue ligeramente diferente al del original de 1812: *Recherches sur l'identité des forces chimiques et électriques*. La obra constó de ocho capítulos, señalándose en la introducción de los mismos que el estado actual de la parte química de las ciencias naturales era similar al que tenía la mecánica antes de recibir las brillantes contribuciones de Galileo, descartes, Huygens y Newton. La versión francesa de la obra fue dedicada al químico francés ya referido: el senador y conde Berthollet. Lamentablemente tan relevante contribución fue inmerecidamente olvidada, apenas se menciona en las historias clásicas de la química, a pesar de que intentara resolver algunos de los principales problemas de la época; en concreto, trataba de dar sentido a las diversas reacciones químicas que intervienen en la combustión y la neutralización de ácidos y bases. En aquella época era generalmente admitido el papel químico de la electricidad, pero el tratamiento que le dio Oersted no pareció ser del agrado de la mayoría, aunque si resultara interesante, al menos para los historiadores de la ciencia, la posibilidad que apuntaba: la transformación de la electricidad en magnetismo. En 1812 visitó Moscú y en 1813 Leipzig, así como Berlín y París, congratulándose de la buena acogida que había tenido su obra de 1811: *Videnskaben om Naturens Almindelige Love and Første Indledning til den*

den Almindelige Naturlære (Introducción a la Teoría General de la Ciencia que rige las leyes de la naturaleza). En ella se pronunciaba en favor del llegado de Ritter, aunque mostrase su desacuerdo con algunas de sus conclusiones, confesando que seguía creyendo en la unidad esencial de las fuerzas naturales y proponiendo la conveniencia de comprobar si la electricidad, en una de sus formas más latentes, podría actuar sobre los cuerpos magnéticos como tales.

El año 1820 fue crucial en la vida profesional de Oersted, pues parece ser que, en el invierno (1819-20) y mientras daba una conferencia, al conectar los extremos de un cable a los bornes de una batería, notó que la aguja de una brújula cercana se ponía en movimiento. Sorprendido por el efecto, en los meses siguientes continuó experimentando hasta cerciorarse de que efectivamente era la corriente eléctrica la causante de la oscilación de la aguja imantada. Una vez convencido de la relación mutua entre la electricidad y el magnetismo, el día 21 de julio hizo pública una nota de cuatro páginas con el título *Experimenta circa effectum conflictus electrici in acum magneticam*, en la que anunciaba haber descubierto el efecto de una corriente eléctrica sobre una aguja imantada; la cual fue traducida de inmediato al danés,

Reconstrucción del experimento realizado por H. C. Oersted para demostrar que el electromagnetísmo era producido por una corriente eléctrica



EXPERIMENTA

CIRCA EFFECTUM

CONFLICTUS ELECTRICI IN ACUM MAGNETICAM.

Prima experimenta circa rem, quam illustrare aggredior, in scholis de Electricitate, Galvanismo et Magnetismo proxime-superiori hieme a me habitis instituta sunt. His

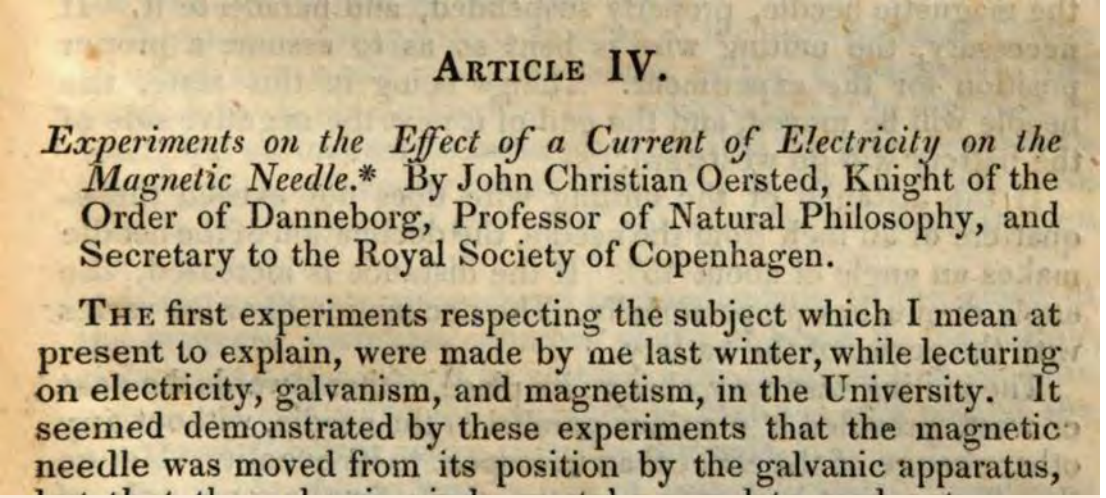
Dabam Hafniæ, d. 21de Julii 1820.

Johannis Christianus Örsted.

Eques auratus Ordinis Dannebrogici, in Universitate Hafniensi Prof. Physices Ord., Secretarius Societatis Regiæ Scientiarum Hafniensis.

Daguerrotipo de H.C. Oersted (1840)

Uno de los muchos dibujos que se hicieron para representar el descubrimiento del electromagnetismo



ARTICLE IV.

*Experiments on the Effect of a Current of Electricity on the Magnetic Needle.** By John Christian Oersted, Knight of the Order of Danneborg, Professor of Natural Philosophy, and Secretary to the Royal Society of Copenhagen.

THE first experiments respecting the subject which I mean at present to explain, were made by me last winter, while lecturing on electricity, galvanism, and magnetism, in the University. It seemed demonstrated by these experiments that the magnetic needle was moved from its position by the galvanic apparatus,

La versión inglesa se publicó en la revista escocesa *Annals of philosophy, or, Magazine of chemistry, mineralogy, mechanics, natural history, agriculture, and the arts*. V. XVI pp. 273–276. 1820.

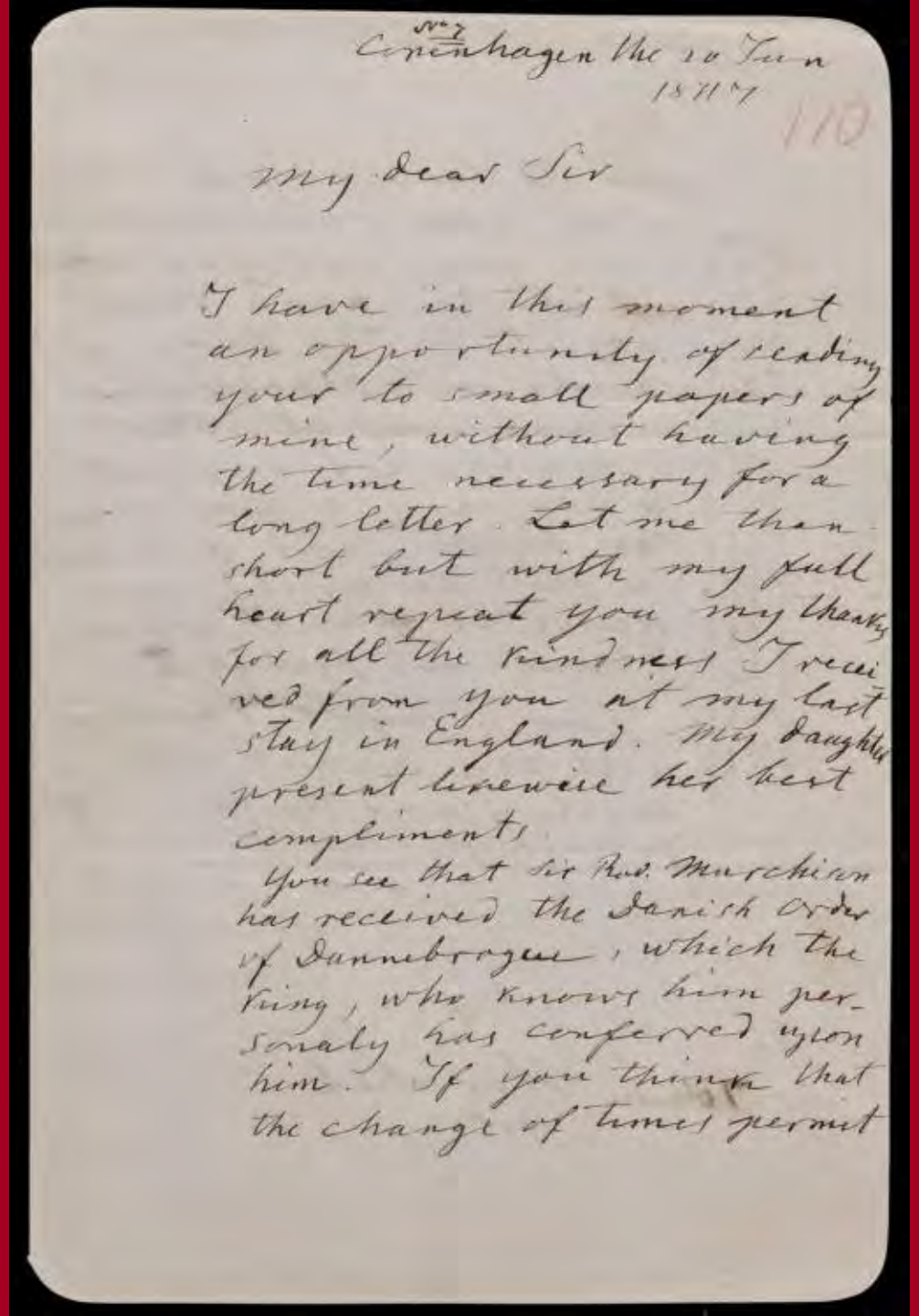
holandés, inglés, francés, alemán e italiano. El relato de Oersted comienza recordando que se asoció con su amigo Lauritz Esmarch y algunos compañeros de la universidad para repetir el experimento con una batería galvánica más potente que las anteriores, la cual estaba compuesta por 20 celdas de cobre de 12 pulgadas de largo e igual altura y dos pulgadas y media de ancho. En cada una de ellas, una placa de zinc estaba sujeta a un aro que sobresalía de la cubeta perteneciente a la celda contigua. Las cubetas se llenaron con agua que contenía 1/60 de su peso de ácido sulfúrico e igual peso de ácido nítrico. La parte recta de este hilo, que transportaba la corriente, se colocó horizontalmente por encima de la aguja magnética, debidamente suspendida, y paralela a ella; hilo que unía los extremos opuestos de la pila galvánica. En tales condiciones, la aguja se moverá, y el extremo de la misma, próximo al lado negativo de la pila, se dirigirá hacia el oeste. Por otro lado, cuando se colocaba el cable bajo la aguja, ésta se movía en sentido contrario; la amplitud de la oscilación era directamente proporcional a la separación ambos elementos y dependiente de la carga de la batería. La declinación asociada a la brújula empleada por Oersted en su experimento fue de 45º. En su comunicación Oersted comentó que la oscilación de la aguja era independiente de la naturaleza del cable: platino, oro, plata, latón, hierro, plomo, estaño o masa de mercurio, comprobando incluso que el efecto de la corriente se mantenía incluso cuando se colocaba vidrio, metal, madera, agua, resina, gres o piedras entre la aguja y el cable. En lo referente a la fuerza ejercida sobre la aguja, le sorprendió a Oersted que su dirección fuese perpendicular al plano atravesado por el cable y la aguja, en tanto que parecía contradecir la ley de Newton. También parece un tanto heterodoxa la explicación del fenómeno dada por Oersted, recurriendo a la expresión *conflictus electricus* y no a la de corriente

Hans Christian Oersted, descubre la acción de una corriente voltaica sobre la aguja imantada. *LA SCIENCE POPULAIRE. Journal Hebodomadaire illustré*. 23 de febrero de 1882.

eléctrica; ejemplo seguido en las versiones alemana, danesa, francesa e italiana, en cambio los ingleses la tradujeron por *Current of electricity* y los holandeses por *de werking van het galvanismus op de magneetnaald* (la acción del galvanismo sobre la aguja magnética). Aunque la expresión corriente eléctrica ya hubiera sido empleada en la época previa a la de Oersted, es posible que su formación filosófica le hiciera decidirse por el vocablo conflicto.

La importancia del descubrimiento realizado por Oersted y lo que podría significar para el desarrollo posterior del electromagnetismo, fueron valorados muy positivamente por distintas corporaciones científicas; siendo elegido miembro de las siguientes: *Royal Society* de Edimburgo (1821); *Royal Society* de Londres (1821), la cual ya le había concedido el año anterior su medalla Copley; Real Academia de Ciencias de Suecia (1822), *American Philosophical Society* (1829), *American Academy of Arts and Sciences* (1849). Por otra parte, el impacto posterior que produjo, se mantuvo presente en la sociedad durante un prolongado espacio de tiempo; buen botón de muestra es la portada de la revista francesa (número del 23 de febrero de 1882) que se reproduce junto a estas líneas.

Hans Christian Oersted y John Herschell mantuvieron un extenso intercambio epistolar, del que se ofrece aquí la carta que le escribió el primero, desde Copenhague (20 de junio de 1847), se conserva en la *Royal Society* de Londres.



Nº 7
Copenhagen the 20 Juin
1847

110

my dear Sir

I have in this moment an opportunity of sending your to small papers of mine, without having the time necessary for a long letter. Let me then short but with my full heart repeat you my thanks for all the kindness I received from you at my last stay in England. My daughter present likewise her best compliments.

You see that sir Rod. Murchison has received the Danish Order of Dannebrogen, which the King, who knows him personaly has conferred upon him. If you think that the change of times permit you to have any advantage of the order once conferred upon you, and you would ~~write~~ write upon the subject to the King, I should with pleasure present him it. Still I should not neglect to prepare a good reception before, and if I should see that he would not receive it ~~as~~ as I, which I should not present it.

Since this was written the King is death and many things are changed here, nevertheless I believe that I may safely write mentioned if you should find it convenient. This 25 August 1849

I am, my dear friend, with the highest consideration and the heartlight friendship

most sincerely
yours
HChrsted

To
Sir John Herschel
Bart

Otras de las contribuciones científicas de Oersted fueron resumidas por Horacio Aravena Andaur en su trabajo, de 1951: *Hans Christian Oersted, el descubridor del aluminio*. « I) Estudio de la compresión de los líquidos, ideando un instrumento a tal efecto: el piezómetro o aparato de Oersted. II) En colaboración con Svedsen, hizo comprobaciones de la Ley de Boyle-Mariotte (1826). III) Perfeccionó el electrómetro, que Dellinann había construido a indicación suya (1843). IV) Mientras hacía su segundo viaje por Francia, construyó con JeanBaptiste-Joseph de Fourier, autor de la Teoría Analítica del Calor, la pila termoeléctrica, cuyo principio había formulado en 1821 el sabio ruso J. T. Seebeck. V) Entre las últimas contribuciones físicas de Oersted, figuran sus trabajos sobre el diamagnetismo, que Faraday desarrollara de un modo tan notable. VI) Algunas de sus obras sobre Física fueron las dos siguientes: a) Mecanismo de la propagación de la fuerza eléctrica y magnética (1806), b) Manual de Física Mecánica (1809), etc. »

El aparato de Oersted, ideado para medir la compresibilidad de los líquidos. Hoy es más conocido como piezómetro, un término que podría haber sido acuñado por el ingeniero americano Jacob Perkins

La MEDALLA OERSTED. Otorgada desde el año 1936, por la Asociación Americana de Profesores de Física

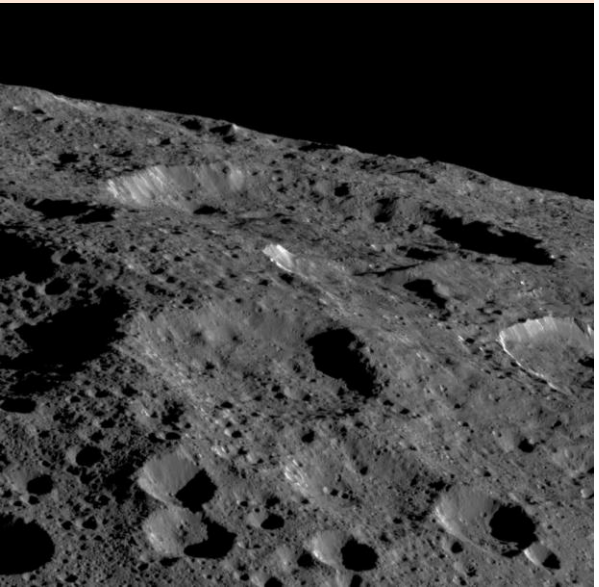
Oersted fue docente durante más de cuarenta años, sabiendo compaginar la actividad científica con sus firmes sentimientos religiosos; en una ocasión, al iniciar el discurso les dijo a los alumnos: « Sólo el convencimiento de que mientras os consagráis a las ciencias estáis al mismo tiempo honrando a Dios, os capacitará permanentemente para tener el valor y la voluntad que requiere vuestra vocación, condiciones que inútilmente encontraréis en estímulos externos. Muchos de vosotros podréis alcanzar honores que lleven vuestros nombres a través de los tiempos a lejanas tierras. Mientras impartáis conocimientos, estaréis ayudando a consolidar el reino de Dios en la Tierra». También se sentía muy orgulloso de su nación, como prueba el siguiente párrafo, extraído de< una carta que escribió a Goethe : « Por nacimiento, tradición e idioma estoy ligado a Dinamarca. Es aquí, por sobre todo otro lugar de la tierra, en donde me agradaría que mi nombre se mantuviera latente y en donde mi raza prosperara». En 1815, el Rey lo nombró Miembro de la Orden de Dannebrog, entregando al joven sabio la hermosa Cruz de oro y esmaltada en blanco, en cuyos brazos se encuentra la inscripción *Gud og Kongen* (Dios y el Rey). Años después, en 1828, fue nombrado Consejero de Estado.

Heinrich Wilhelm Matthäus Olbers (1758-1840)

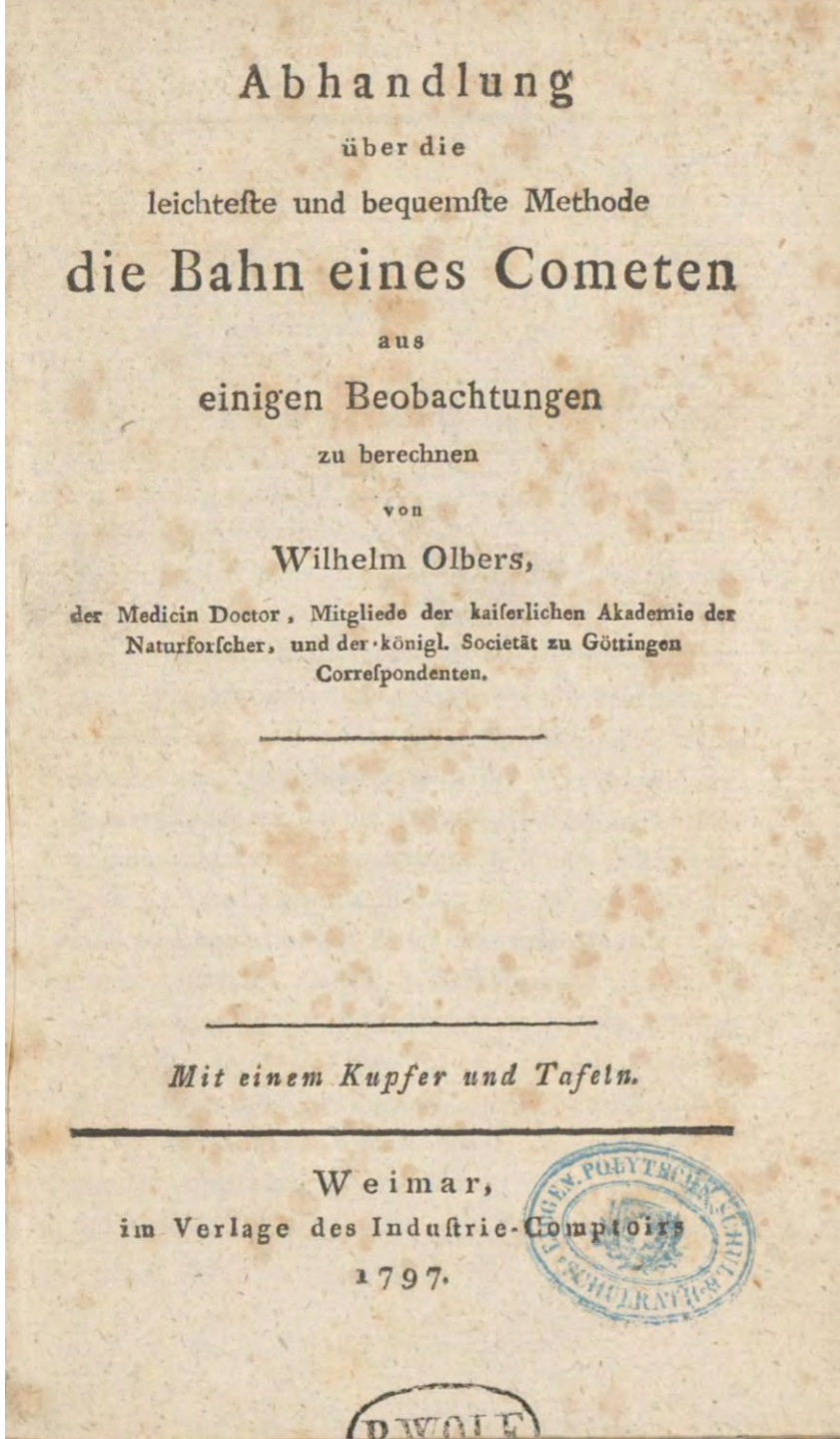
Médico y astrónomo alemán, estudioso de las órbitas de los cometas y descubridor de los asteroides Palas y Vesta; afamado también por haber planteado una de las paradojas astronómicas más singulares: en un cielo poblado de infinitas estrellas, no debería haber regiones oscuras. Heinrich Wilhelm Matthäus Olbers, nació en Arbergen, cerca de Bremen; enseñándole en el instituto de esta última ciudad humanidades, aunque él estudiase por su cuenta astronomía y matemáticas. En el año 1777 inició la carrera de medicina en la Universidad de Gotinga, a la vez que se interesaba por los cometas; de hecho, descubrió el primero tres años después. Finalizados sus estudios universitarios estableció su consulta en Bremen, instalando en la segunda planta de su casa un telescopio; mención aparte merecen sus esfuerzos por ir formando una biblioteca especializada, que al final de su vida era una de las mejores colecciones privadas de Europa. Su primera publicación relevante la presentó en 1797: *Abhandlung über die leichteste und bequemste Methode die Bahn eines Cometen aus einigen Beobachtungen zu berechnen* (Método para calcular la órbita de un cometa a partir de unas

pocas observaciones), en la que sistematizó las investigaciones previas, especialmente el método con el que halló el cometa de 1796 y el nuevo modo de calcular su órbita; facilitando con mayor claridad los procedimientos propuestos años antes por P. Simón Laplace. Esas tareas las simultaneó con la búsqueda de asteroides, a raíz del encargo que le hizo C.F. Gauss, a propósito de Ceres (descubierto por G. Piazzi en 1801). Gauss, que había calculado su trayectoria por la esfera celeste, pretendía que Olbers la verificase con sus observaciones; y así sucedió, cuando, el 31 de diciembre de ese año, este divisó el cometa en la zona prevista por aquel; a partir de entonces surgió una amistad imperecedera entre ambos personajes, planteando este la hipótesis, acertada, de que la materia expulsada por el núcleo de un cometa es arrastrada de vuelta a la cola por la fuerza del Sol.

Detalle del asteroide Ceres. Imagen captada por la sonda Dawn (NASA) el 19 de mayo de 2018



Al continuar observando el cielo nocturno, Olbers descubrió dos nuevos asteroides: Palas, el 28 de marzo de 1802, y Vesta, el 29 de marzo de 1807. Al primero lo bautizó así en honor a Atenea, diosa griega de la sabiduría; un año después, en 1803, se descubrió el elemento químico paladio y se llamó así en referencia al asteroide. El nombre del segundo, en recuerdo de la diosa romana del hogar, fue propuesto por C.F. Gauss y aceptado



Abhandlung

über die

leichteſte und bequemſte Methode

die Bahn eines Cometen

aus

einigen Beobachtungen

zu berechnen

von

Wilhelm Olbers,

der Medicin Doctor, Mitgliede der kaiſerlichen Akademie der Naturforſcher, und der königl. Societät zu Göttingen Correſpondenten.

Mit einem Kupfer und Tafeln.

Weimar,

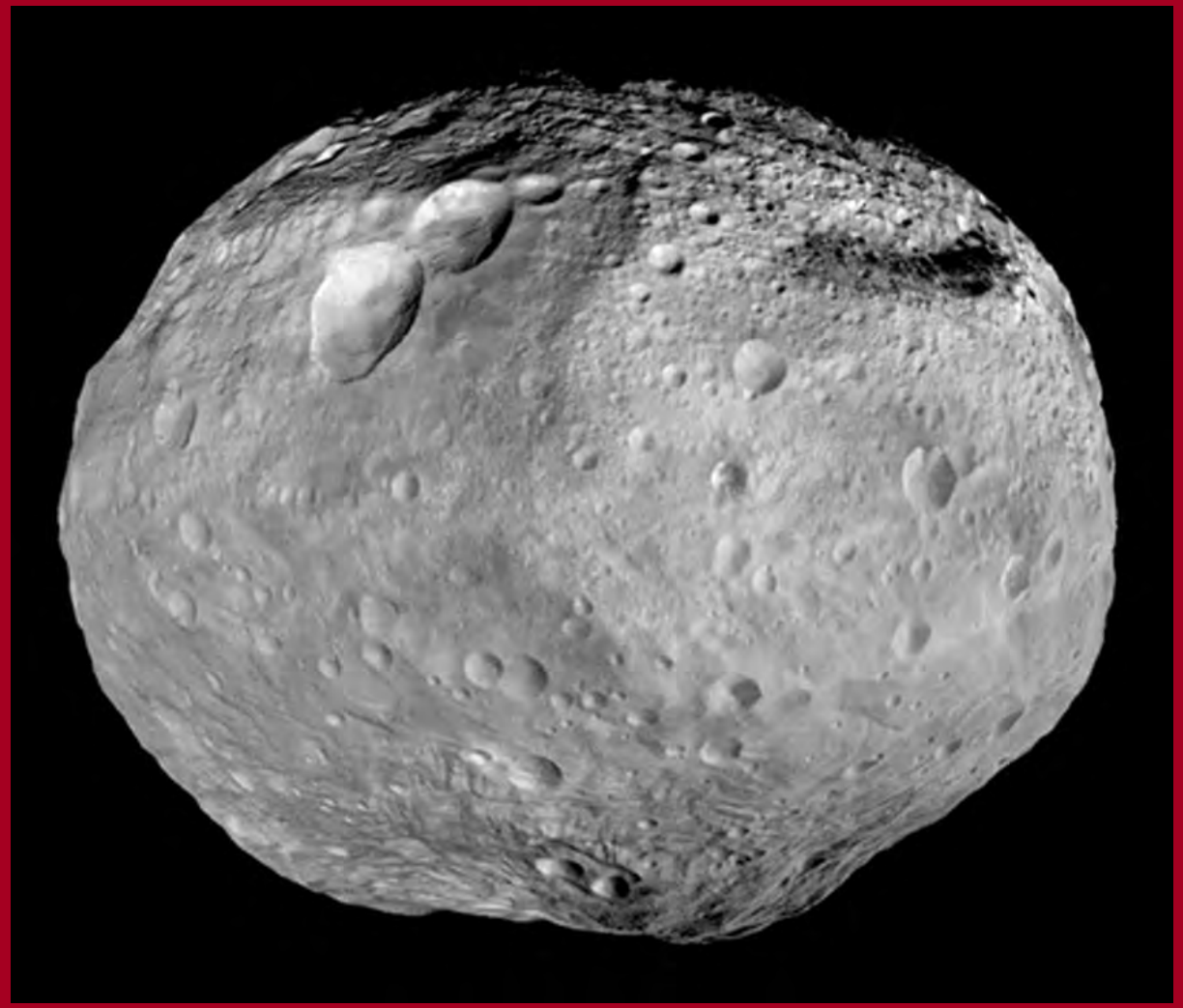
im Verlage des Induſtrie-Comptoirs

1797.

PALAS

Palas es una especie de elipsoide triaxial con semiejes de 275, 258 y238 km (aproximadamente una esfera de 513 km de diámetro). Su densidad es del orden de 3.4 gr/cm^3 y rota en torno a su eje cada 7.8 horas.

VESTA



Mosaico fotográfico tomado por la cápsula Dawn entre julio de 2011 y septiembre de 2012. Su mayor diámetro es próximo a los 350 km, siendo su densidad de unos 3.8 gr/cm^3.

por Olbers. Para conmemorar ambos descubrimientos se acuñaron distintas monedas, coincidiendo con alguna efeméride. Así ocurrió por ejemplo en el año 1830, en que se cumplía el 50 aniversario de su licenciatura, emitiéndose medallas de plata y bronce de 50 mm de diámetro con el retrato del homenajeado mirando hacia la izquierda. La leyenda alrededor rezaba así: HEINR. WILH. MATH. OLBERS GEB. D. 11 OCT. 1758 DOCTOR DER HEILKUNDE D. 18 DEC. 1780. En el reverso hay una corona de estrellas de seis puntas, alrededor de la leyenda siguiente: «DEM / ENTDECKER / DER / PALLAS U. DER VESTA / DEM ERFORSCHER / DER KOMETENBAHNEN / IHREM / HOCHVEREHRTEN / DIRECTIONS MITGLIEDE / AM IUBELTAGE SEINER / DOCTOR WÜRDE / DIE GESELLSCHAFT / DES MUSEUMS / IN BREMEN / D.28 DEC. 1830 ».

Al enviudar en 1820, abandonó su actividad médica para centrarse en la astronómica, abordando poco tiempo después el complejo fenómeno que lleva su nombre, esto es la *paradoja de Olbers*, la cual plantea la pregunta ¿Por qué el cielo está obscuro por la noche?. Si se supone que el universo es infinito y contiene innumerables estrellas, es razonable pensar que estuviese iluminado por

todas ellas, la paradoja estriba en que no es esa la realidad que observamos. En principio intentó explicar el fenómeno suponiendo que el espacio interestelar no era transparente y que el polvo que contenía absorbía parte de la luz que debería llegar a la Tierra. Asimismo, añadía que el número de estrellas no era infinito y que el universo no era inmutable; ahora es sabido que las galaxias al alejarse hacen que su espectro se desplace hacía el rojo, es decir que emiten menos radiación en longitudes de onda ópticas.

En el año 1804, Olbers ingresó en la *Royal Society* de Londres. En 1809 fue elegido miembro correspondiente del Real Instituto de los Países Bajos. En 1822, miembro honorario de la Academia Americana de las Artes y las Ciencias y en 1827, miembro de la Real Academia Sueca de las Ciencias. La ficha de ingreso en la *Royal Society* recoge como méritos principales de Olbers el redescubrimiento del «nuevo planeta Ceres y el del asteroide Pallas, destacando entre los miembros que propusieron su elección: J. Banks, H. Cavendish, W. H. Wollaston, W. Mudge , W. Herschell y el marino español J. Mendoza Rios. A Olbers le cupo el honor de haber fomentado en Bessel el interés por la astronomía: se da la circunstancia de que este le envió su manuscrito con el cálculo de la órbita del cometa Halley, comprobando Olbers la extraordinaria calidad del trabajo y animándolo a que lo publicara. Olbers también mantuvo correspondencia con astrónomos tan consagrados como William Herschell, al que le comunicó el descubrimiento del asteroide, denominado después Vesta. W. Herschell dio cuenta del mismo en las *Philosophical*

1803/12

William Olbers, M.D. of Bremen in Germany who rediscovered the new planet Ceres, after it had been lost ten months, and soon after discovered another new planet, named by him Pallas, and has made various and useful observations on both; is by us the underwritten hereby recommended as a Candidate for election on the foreign List of the Royal Society.

Read 17th Nov.r 1803.

Balloted for & elected 12 April 1804.

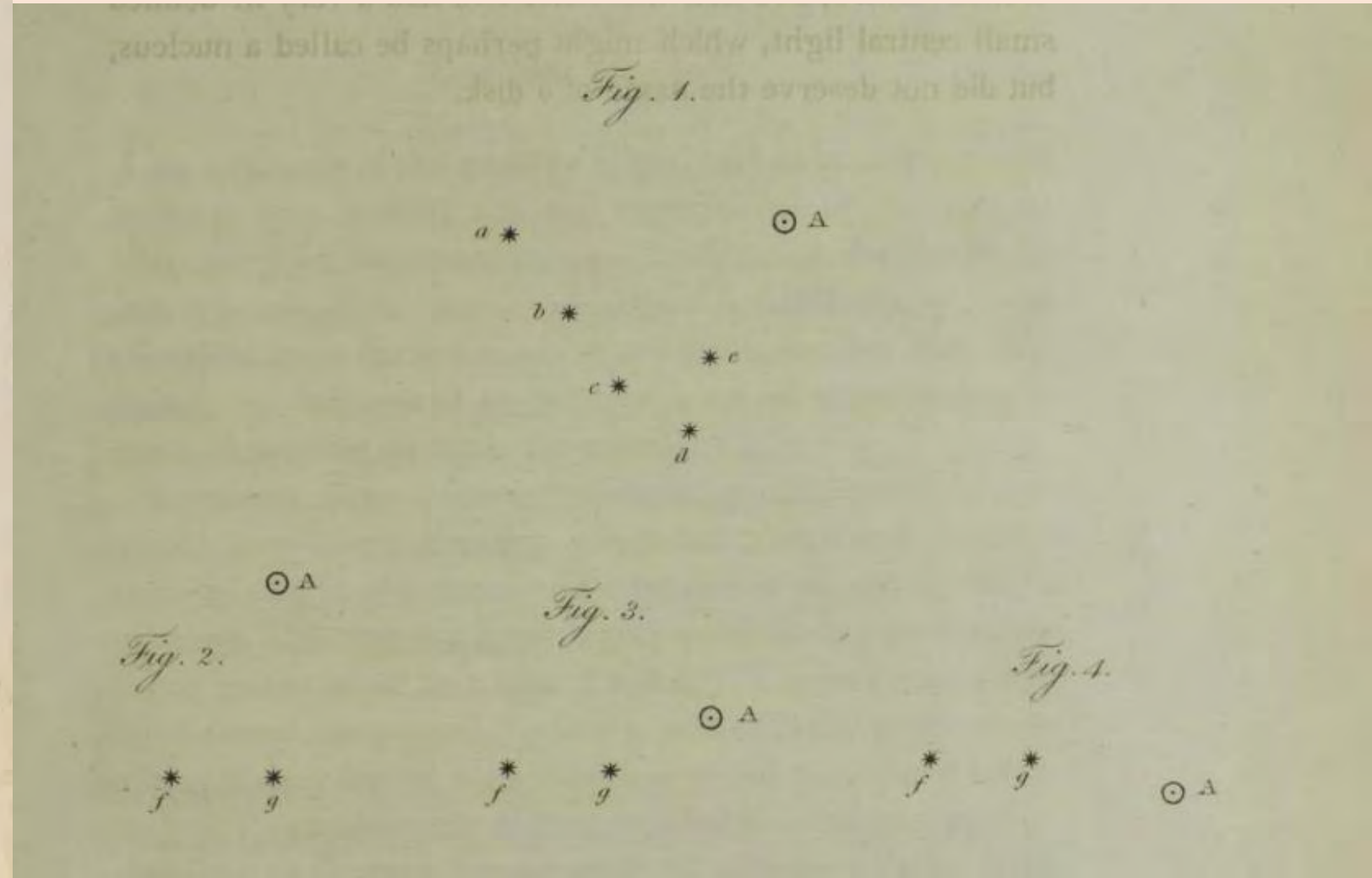
Neil Maskelyne
Stephen Lee
Thomas Young
Wm. Herschel

Jn.o Banks
H. Cavendish
Alex.r Aubert
Wm. Hyde Wollaston
Hl. Englefield
W.m Hudgep
I. Hunter
Jos. de Mendoza Rios
J. Reinold
J. Huddart
Geo. Best
M. Beaufoy

Ficha de ingreso en la *Royal Society*, con las firmas de los proponentes

Transactions: *Observations on the nature of the new celestial body discovered by Dr. Olbers, and of the comet which was expected to appear last January in its return from the sun.* V. 97. Año 1807; ilustrando el artículo con un dibujo en el se identificó al asteroide con la letra A.

El asteroide Vesta en el artículo de W. Herschell. *Philosophical Transactions* (1807)

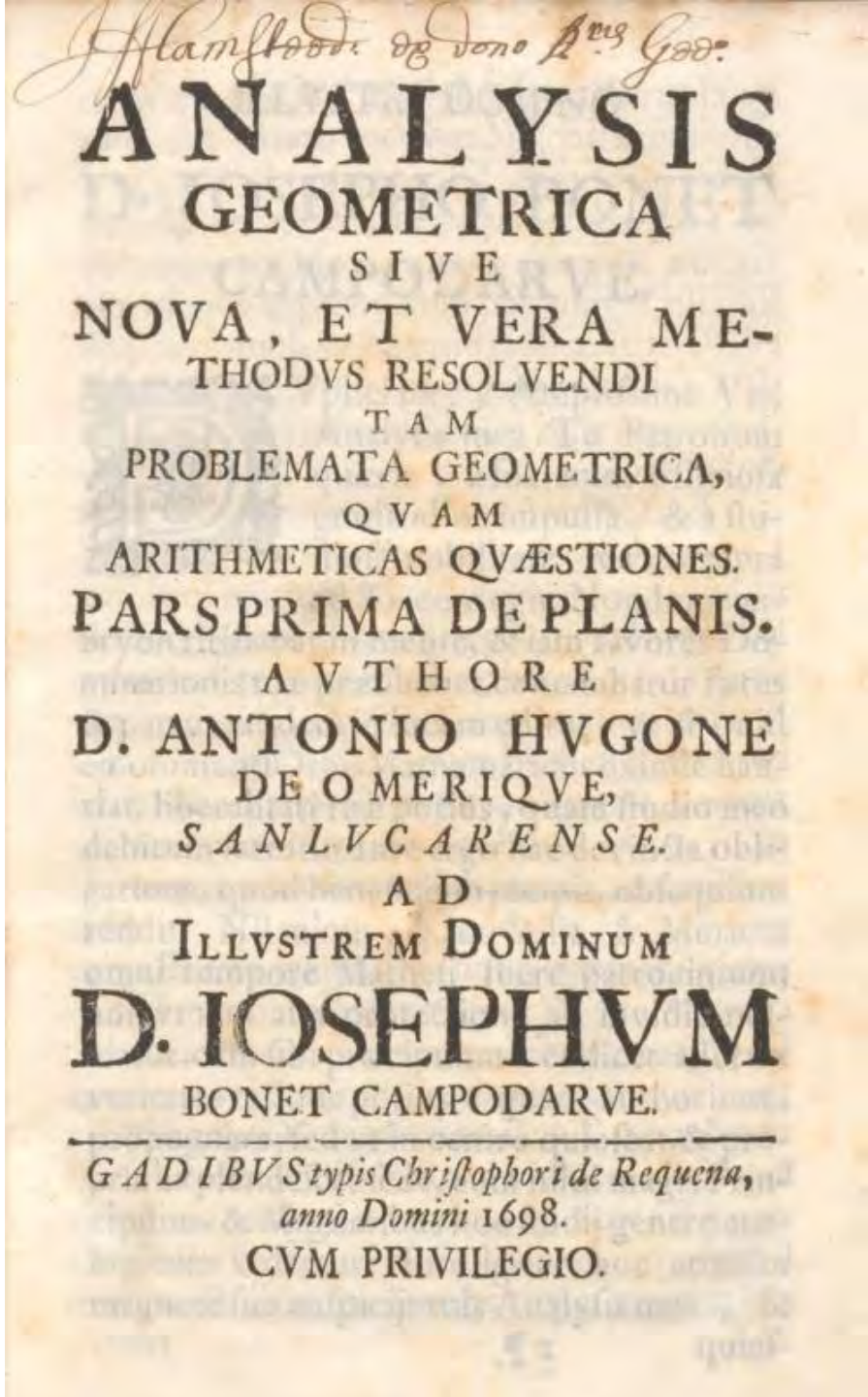


Frontispicio

Antonio Hugo de Omerique (1631-1705)

Matemático gaditano universal, que tuvo el merecido privilegio de haber sido elogiado por Isaac Newton. Antonio Hugo de Omerique nació en Sanlúcar de Barrameda y estudió en el Colegio que la Compañía de Jesús regentaba en Cádiz; debiendo adquirir allí sus primeros conocimientos matemáticos, por boca de profesores como Carlos Powell y Jacob Kresa. Durante su estancia en Cádiz debió entablar relación con José Bonet Campodarve, contador de la Casa de Contratación de Cádiz, por el que sentía tanta consideración que acabó dedicándole su obra más relevante, publicada en el año 1698. No obstante, sus conocimientos matemáticos ya eran evidentes antes de 1689, puesto que así lo refería indirectamente J. Kresa en sus elementos de Euclides; al haber incluido en el libro VI (proposiciones XVII y XXII) dos problemas planteados y resueltos por el sanluqueño. La formación de Omerique se debió completar con el estudio de las obras publicadas por los autores más conocidos de su tiempo, tales como Christophorus Clavius, René Descartes, François Vieta y José Zaragoza, entre otros; todos ellos citados repetidamente en su obra geométrica, al igual que hizo con los clásicos griegos: Apolonio de Pérgamo, Papo de Alejandría y Euclides.

Entre su producción bibliográfica sobresale el libro que se publicó en el año 1698: *Analysis geometrica sive nova et vera methodus resolvendi tam problemata geometrica quam aritmeticas quaestiones*. La obra incorporó una extensa dedicatoria al Ilustri Domino D. Josepho Bonet Campodarve, firmada por su Obsequentisimus Servitor D. Antonius Hugo de Omerique. Dicha dedicatoria va seguida de la correspondiente censura, escrita por el R.A.P. Jacobi Presa (*Societatis Jesu in Collegio Imperiali Matritensi Mathematum Profesoris Regii*); tampoco podía faltar la licencia de la inquisición, dictada en Madrid el 5 de diciembre de 1697. La obra consta de una introducción, cuatro libros y un apéndice; desarrollándose en ellos la temática de acuerdo con el orden siguiente. Introducción) Definición de análisis y síntesis. Resolución de problemas básicos para el resto de la obra; I) Resolución por proporciones; II) Continuación del anterior, III) resolución por comparación de planos; IV) Condiciones de los problemas y Apéndice. Omerique resolvió en este último tres proposiciones, tras comentar la importancia de las contribuciones clásicas, por haber logrado resolver los triángulos conocidos tres de sus elementos (ángulos y lados; incorporando como novedad, por su parte, el cálculo logarítmico. Las dos primeras proposiciones evidenciaron los conocimientos astronómicos de Omerique, pues explicó dos procedimientos para hallar la latitud del lugar (la altura del polo): interviniendo la altura de la estrella en el círculo de la hora sexta (en el primer caso) o bien la hora en que se producía el orto


ANALYSIS
GEOMETRICA
SIVE
NOVA, ET VERA ME-
THODVS RESOLVENDI
TAM
PROBLEMATA GEOMETRICA,
QVAM
ARITHMETICAS QVÆSTIONES.
PARS PRIMA DE PLANIS.
AVTHORE
D. ANTONIO HVGONE
DE OMERIQVE,
SANLVCARENSE.
AD
ILLVSTREM DOMINUM
D. IOSEPHVM
BONET CAMPODARVE.
GADIBVS typis Chriſtophori de Requena,
anno Domini 1698.
CVM PRIVILEGIO.

436 APPENDIX

PROPOSITIO I.

Data altitudine aſtri in circulo horæ ſextæ, elevationem poli inveſtigare, quæ declinationem aſtri differentiæ aſcenſionali exhibeat æqualem.

Datur altitudo aſtri in circulo horæ ſextæ, nempe arcus *cd* g. 10. Quæritur altitudo poli *bx*, quæ declinationem aſtri *yv* æqualem reddat differentiæ aſcenſionali *zy*.

Analyſis noſtra quarta argumẽtatione problema ſoluit, & hanc operationem inſtituendam docet.

OPERATIO.

n. 2. g. 10. eſt 9.99335 in logarithmis
Quadratum 19.98670

estelar (en el segundo caso). La tercera proposición fue un ejercicio de trigonometría esférica, en el que se obtenían los tres ángulos del triángulo en función de los tres lados.

PROPOSITIO II.

Data horà ortus Aſtri, dataque eius altitudine in verticali primario: elevationem poli, & declinationem Aſtri perſcrutari.

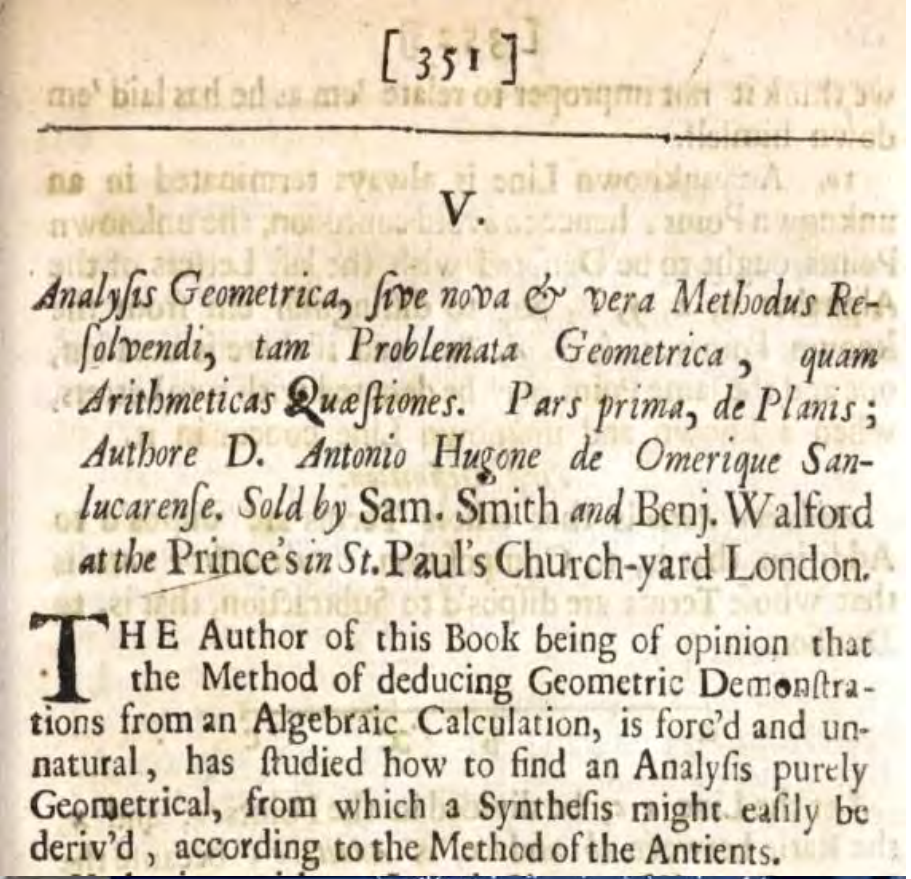
Datur ortus Aſtri in hora quarta, nempe arcus *cd*. g. 30, & altitudo ipſius in verticali primario, videlicet arcus *cq* ponitur g. 22. quæritur altitudo poli *bx*, & declinatio Aſtri *dv*.

Analyſis noſtra quartà argumentatione problema ſolvit, & hanc oſtendit operationem.

OPERATIO.

Sin. 2. g. 22. eſt 9.96716 in logarithmis
Quadratum 19.92432

El mérito del *Analysis Geometricae* de Omerique (Análisis geométrico, o un nuevo y verdadero método para resolver problemas tanto geométricos como aritméticos) es incuestionable, pues intercaló en el texto numerosas figuras (cuando no era lo usual) y fue el mejor que se escribió (en su género) en la España del siglo XVII. Sin embargo, no fue ese el motivo por el que fue tan celebrada, sino el hecho de que fuese referida por Isaac Newton en una carta que escribió en 1699: «…I have look into De Omerique´s Analysis Geometrica & fint it a judicious & valuable piece answering to ye Title. For therin is laid a foundation for restoring the Analysis of the Anciens…»; esto es: «He estudiado el Análisis Geométrico de Omerique y me parece una obra juiciosa y valiosa que responde a su título. Porque en él se sientan las bases para restaurar el Análisis de los Antiguos...». El día 31 de octubre del mismo año, se publicó en la revista *Philosophical Transactions* (*Royal Society*) el artículo titulado: *Analysis geometrica, five nova & vera methodus resolvendi, tam problemata geometrica, quam arithmeticas quæstiones. Pars prima, de planis; Authore D. Antonio Hugone de Omerique Sanlucarense.* Volumen 21. n.º 257, pp: 351-362). En cuyo inicio se rechaza el empleo del álgebra en las demostraciones geométricas por parecerle al autor forzado y antinatural, prefiriendo en cambio abordar esas cuestiones bajo un punto de vista geométrico, más acorde



[351]

V.

Analyſis Geometrica, ſive nova & vera Methodus Reſolvendi, tam Problemata Geometrica, quam Arithmeticas Quæſtiones. Pars prima, de Planis; Authore D. Antonio Hugone de Omerique Sanlucarenſe. Sold by Sam. Smith *and* Benj. Walford *at the* Prince's *in St.* Paul's Church-yard London.

THE Author of this Book being of opinion that the Method of deducing Geometric Demonſtrations from an Algebraic Calculation, is forc'd and unnatural, has ſtudied how to find an Analyſis purely Geometrical, from which a Syntheſis might eaſily be deriv'd, according to the Method of the Antients.

Sanlúcar de Barrameda

con el Método de los Antiguos. El autor de la reseña recordaba que la obra se dividió en cuatro libros, planteando y resolviendo varios de los ejercicios propuestos en el original. Curiosamente se citó junto al título el nombre del establecimiento y el lugar en que se podría adquirir la obra: *Sold by Sam. Smith and Benj. Walford at the Prince's in St. Paul's Church-yard London*. Las referencias a esa obra de Omerique fueron múltiples en los siglos siguientes, llegando hasta el presente; una de las más singulares fue la debida al ilustre profesor Alberto Dou, quien, en 1988, defendía que se debía a una de las obras más profundas, originales e interesantes escritas por autores españoles en los siglos XVI y XVII, «y quizás se puedan añadir los siglos XVIII y XIX».

En realidad, el *Analysis Geometrica* de Omerique es solo la primera parte de una obra más amplia, tal como anunciaba este al señalar que estaba preparando la segunda. Asimismo, en las páginas 434 y 435 de la misma, mencionó que tenía compuestos un tratado de aritmética y dos de trigonometría (posiblemente plana y esférica), aunque se ignore su paradero. Mención especial merece otra de sus obras: *Comercio de las barras de plata. Tablas artificiales para ajustar breve, fácil, y puntualmente el valor de una barra conforme los estilos de España y las Indias,* impresa en Cádiz por la Compañía de Jesús en el año 1691 y que recuerda la actividad del autor como contador del Comercio de Indias.

Alberto Dou i Mas de Xèxas, jesuita, filósofo, Ingeniero de caminos, canales y Puertos, así como Catedrático de Análisis Matemático en la Universidad de Madrid.

Dou, Albert (1988): LAS MATEMÁTICAS EN LA ESPAÑA DE LOS AUSTRIAS. Instituto de Estudios Riojanos. Logroño.1988.

Hugo de OMERIQUE (n. en San Lúcar de Barrameda, Cádiz, 1634; fl. 1698). La obra *Analysis Geometrica* de Omerique y la *Geometria Magna* in minimis de Zaragoza son con toda probabilidad la dos obras de matemáticas más profundas, originales e interesantes de matemáticos españoles durante los siglos XVI y XVII (y quizás se puedan añadir los siglos XVIII y XIX). Es curioso que ninguno de los dos figure en el *Dictionary of Scientific Biography* de Gillispie, aunque esto sólo indique, quizás, cuán deficiente sea la situación de la historia de las matemáticas en España. La palabra "Analysis" del título de la obra de Omerique me parece que depende del título y método de la obra fundamental de Viète "In artem *analyticam* isagoge", quien a su vez la prefiere a "álgebra" y la emplea en el mismo sentido que Proclo cuando habla del método analítico de Euclides como opuesto al apodíctico[22]. P. Peñalver ha estudiado la obra de Omerique, pero se echa de menos un estudio más completo.

quarum quælibet cum dato numero 15 binomium secundum constituet. Neque in integris reperientur plures.

Nota si exempli gratia pro parte maiore accipias 10 √3. & binomium sit 10 √3 + 15, vel in tota sua denominatione √300 + 15: radicem differentia potentiarum partium esse 5 √3. vel in tota sua denominatione √75, semissem videlicet differentiæ coefficientium 5 & 15 multiplicatam per √3. & sic de reliquis.

Hinc manifestus fit tibi ordo huius operationis, sunt enim 10 & 5 semisses aggregati, & differentiæ coefficientium 5 & 15, quorum quadrata 100, & 25 plano differunt 75, quare omnibus per 3 multiplicatis plana 300. & 75 quadrato dato 225 differunt, & sic de reliquis.

Sufficiens quidem specimen libri 10. *elem. dedimus, qui totus circa compositionem, & divisionem magnitudinum, sive longitudine tantum, sive longitudine, & potentia incommensurabilium versatur. Vt quisque ex prædictis reliquas ex binis nominibus, aliasque magnitudines, de quibus ibi agitur, secundum præscriptas conditiones (quæ omnes diminutæ sunt) inquirere possit. A quo nos etiam vltro abstinemus, quia hac de re plura habemus in nostra Arithmetica, quæ nondum prelum subiuit. Et quemadmodum prædicto libro ea Euclides, quæ ad plana pertinebant, finiuit, ita & nos resolutioni problematum planorum finem imponimus.*

D. O. M.

Omnis laus, honor, & gloria.

APPEN-

Páginas en las que menciona Antonio Hugo de Omerique que tenía compuestos un tratado de aritmética y dos de trigonometría.

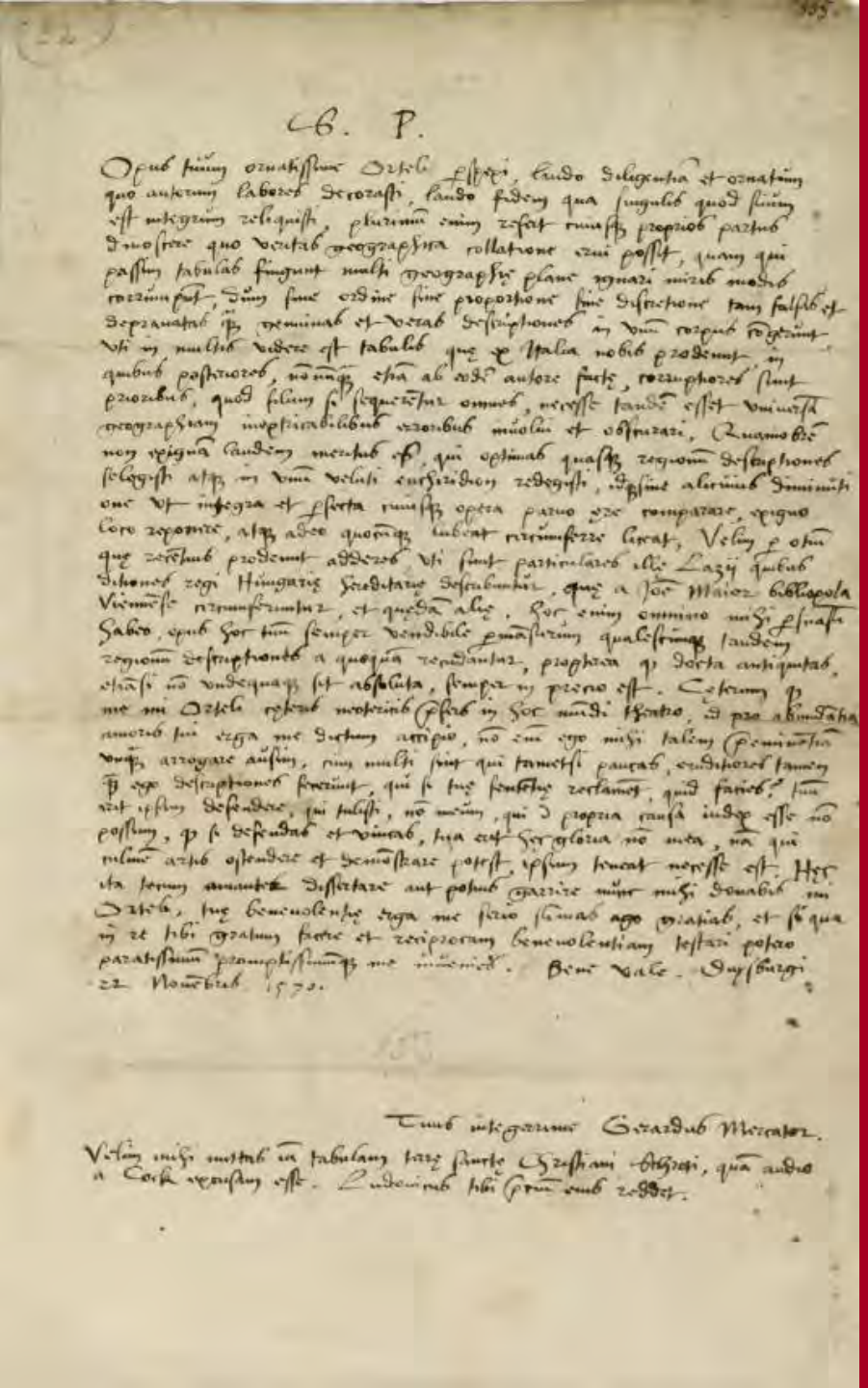
APPENDIX.

ANalysis nostra circa trigonometriam æquè facilè; immo facilius, quam circa geometriam versatur, neque aliter vniversalis dici mereretur. Quanto labore Veteres hac in re insudaverint, & quanto studio Recentiores communem trigonometriam eò vsque promoverint, vnde *datis tribus partibus* triangulum resolvi possit: ijs, qui Authores per legerunt, satis est notum. Vlterius nos progredimur, nostra enim Analysis trigonometrica *datis in vnoquoque triangulorum tribus quibuscumque conditionibus* mappam statuit, per analogias arguit, brevissimis lineis problema solvit, & per logarithmos calculum instituit. Dum tandem, favente tempore, typis mandatur, vnum, vel alterum exemplum (quoad calculum) curiosis porrigere placet.

Abraham Ortelius (1527-1598)

Cartógrafo holandés y excelente grabador de mapas, autor del primer atlas de los tiempos modernos (*Theatrum Orbis Terrarum*) y estrecho colaborador de su gran amigo Mercator. Abraham Oertel (Ortelius) nació en Amberes en el seno de una familia católica originaria de Ausburgo, que le dio estudios de latín, griego y matemáticas. Sus primeros trabajos como grabador los ejecutó en la Corporación San Lucas de su ciudad natal, dedicándose poco tiempo después a la compraventa de mapas formados por cartógrafos de diferentes países. Para mejorar su red de contactos y recopilar material susceptible de ser empleado, viajó repetidas veces por Europa, antes de 1558, en ocasiones acompañado por Mercator, el cual lo animó a que formase sus propios mapas. Uno de sus primeros trabajos fueron un mapamundi de ocho hojas (1564), dibujado en proyección cordiforme, con el título de *Nova Totius Terrarum Orbis Iuxta Neo Tericorum Traditiones Descriptio*; una manifestación de la llamada espiritual hacia la unidad del mundo preconizada por la secta heterodoxa conocida como la Familia del Amor. En los años siguientes publicó un mapa de Egipto en dos hojas (1565), otro de Asia en dos hojas (1567) y las seis hojas del mapa de España, presentado en 1570.

Carta de Mercator a Ortelius, escrita el 22 de noviembre de 1570



Ornatissimo Viro D.
Abrahamo Ortelio
amico cum primis caro.

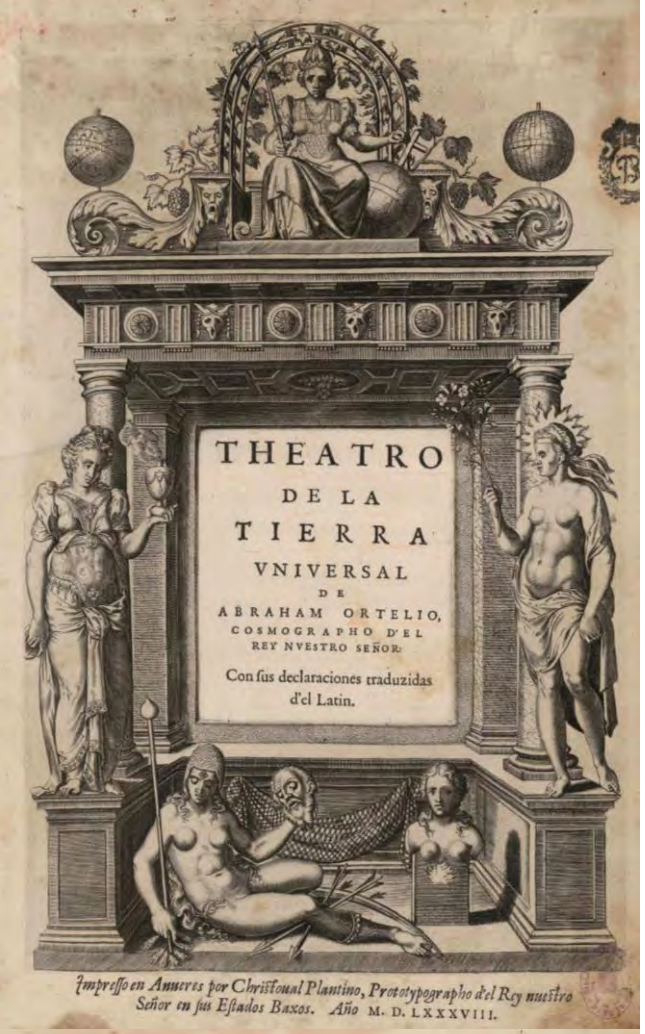
Antuerpiæ

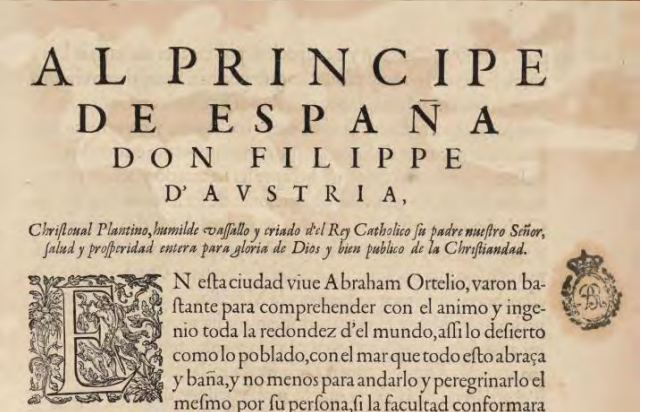
NOVA TOTIVS TERRARV
TERICORVM TRADITI
ABRAH. ORTELIO
ANVERPIANO AVCT.
M ORBIS IVXTA NEO
ONES DESCRIPTIO
ANNO DOMINI
.M.CCCCC.LXIIII.
ZONA TEMPERATA
ZONA TORRIDA
ZONA
FRIGIDA
MARE MAGELLANICVM
SIVE PACIFICVM
MAR DEL ZVR
OCEANVS OCCIDENTALIS
MAR DEL NORT
MEDITERRANEVM
MERCIVM ALIQVOT PEREGRINA
RVM, ET LOCORVM VNDE AD NOS
ADFERVNTVR, CATALOGVS
NOBILI ET ERVDITO MARCO
LAVRINO D. DE WATERVLIET.
ABRAHAMVS ORTELIVS
ANVERPIANVS
AVSTER.
MERIDIES

EL MAPA DE HISPANIA, presentado por Abraham Ortelius en 1570, incorporado después al *Theatrum Orbis Terrarum*

En esos años fue también cuando preparó, a instancias de Gillis Hooftman van Eyckelberg (banquero y amante de la cartografía) y de su amigo Johannes Radermarcher, la que sería su obra maestra, a la que llamó *Theatrum Orbis Terrarum*; publicada en Amberes el mes de mayo de 1570, conteniendo 53 hojas con 73 mapas y 35 hojas de texto. Los mapas fueron grabados en planchas de cobre por Frans Hoogenberg, el cual acompañó a Ortelius y a Mercator en los viajes ya citados. El atlas fue dedicado a Felipe II, Rey de España y de los Países Bajos. La estructura de la obra recuerda a la de la Geografía de Tolomeo, mostrando la representación del mundo por continentes, países y regiones; en todos ellos figuró el nombre del cartógrafo responsable del dibujo original. La presentación de la obra fue muy acertada, ya que fue presidida por una representación alegórica del mundo, mediante las cuatro figuras femeninas que simbolizaban los continentes entonces conocidos. Coronando la estampa figuraba la Europa cristiana, con cetro y sosteniendo un mundo cruciforme, flanqueada por dos globos: celeste y terrestre. Bajo la misma aparecen: a la izquierda Asia con un incensario y a la derecha África con una corona de fuego, símbolo del calor del Sol. La imagen del nuevo mundo la simboliza el indígena apoyado en el pedestal que sustentaba Asia. El atlas demuestra que Ortelius era más editor que cartógrafo. No obstante, aunque no idease como Mercator nuevos sistemas de representación si homogenizó la presentación de los

MAPAMUNDI
en el *Theatrum Orbis Terrarum*. 1570




AL PRINCIPE
DE ESPAÑA
DON FILIPPE
D'AVSTRIA,

Christoual Plantino, humilde vassallo y criado d'el Rey Catholico su padre nuestro Señor, salud y prosperidad entera para gloria de Dios y bien publico de la Christiandad.

EN esta ciudad viue Abraham Ortelio, varon bastante para comprehender con el animo y ingenio toda la redondez d'el mundo, assi lo desierto como lo poblado, con el mar que todo esto abraça y baña, y no menos para andarlo y peregrinarlo el mesmo por su persona, si la facultad conformara

tratando siempre de actualizar su contenido; a pesar de que incluyera referencias al legendario Preste Juan e hiciera suya la creencia del mítico continente austral. El éxito que tuvo el atlas explica que se editase en numerosas ocasiones (31), procurando incorporar mapas actualizados, de sus 73 mapas y 87 referencias bibliográficas de su primera edición, acabó presentando 167 mapas y 183 referencias; editándose igualmente cinco suplementos, identificados por Ortelius con el nombre de *Additamenta*. El latín original fue pronto traducido a otros idiomas: holandés (1571), alemán (1572), francés (1572), español (1588), inglés (1606) e italiano (1608). La versión española la efectuó el franciscano fray Balthazar Vicentius, titulándola *Teatro de la Tierra Universal*, y la imprimió Cristóbal Plantino , dedicándola al príncipe don Felipe de Austria, futuro Felipe III. En su frontispicio figuraba Ortelius como Cosmógrafo del Rey Nuestro Señor, un cargo que venía ocupando desde 1575, en que Felipe II lo nombró geógrafo regio; probablemente a instancias de Benito Arias Montano, amigo personal de Ortelius y colaborador en la búsqueda de mapas de las regiones españolas. Esta edición, que constó de cien mapas, permitió que los lectores apreciasen, en su justa medida, la inmensidad del territorio ocupado por su imperio. Como complemento a la información anterior, se reproduce un fragmento extraído de la reseña debida a la Real Academia de la Historia: «Hasta 1724 se hicieron setenta y seis ediciones del *Theatrum.* En esta fecha se actualizó y se amplió, traduciéndose a varios idiomas. La primera edición póstuma (1601) tenía ciento dieciocho mapas. En 1602 y 1612 se hicieron sendas ediciones en castellano. La segunda está dedicada a Felipe III y la Real Academia de la Historia guarda dos ejemplares».

MAPA DE PORTUGAL.
Theatrum Orbis Terrarum .1595

Frontispicio del *Theatrum Orbis Terrarum, Opus nunc denuo ab ipso Auctore recognitum, multiusquè locis castigatum, & quamplurimis novis Tabulis atquè Commentariis auctum* . Año 1595.

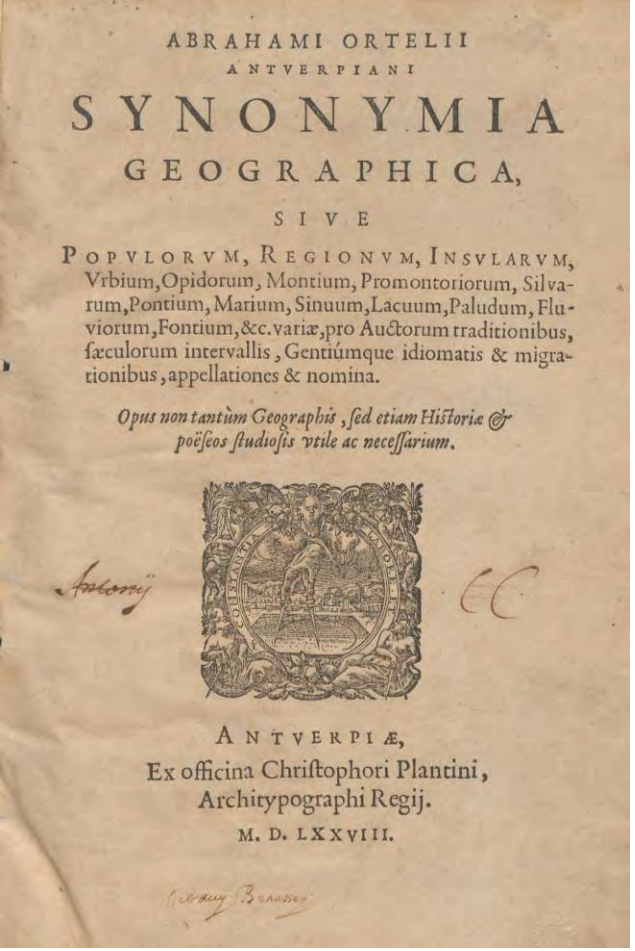
La producción cartográfica de Ortelius fue ingente, ya que además de los mapas de los Teatros, publicó muchos otros, centrados en cuestiones que se alejaban un tanto de la ciencia geográfica: el mapa de Utopía y la bella imagen del Tempe, son dos buenos ejemplos del año 1595. El primero se refiere a la isla ideal e imaginaria que había descrito Tomas Moro en su obra Utopia, mientras cumplía en Amberes una misión diplomática. El mapa lo dedicó el autor al honorable Johannes Matthaeus Wacker von Wackenfels, consejero de su Majestad Imperial y canciller del obispo de Breslau, considerado por Ortelius «Amico Optatissimo». En otra de sus ventanas se advertía al lector del mapa: «Esta es esa Utopía, baluarte de paz, centro de amor y justicia, mejor puerto y buena orilla, alabada por otras tierras, honrada por ti quién sabe por qué, este, más que cualquier otro lugar, ofrece una vida feliz. Para I.W.W. à W.f.; contado por Rafael; descrito por More; publicado por Abraham Ortelius. Disfrútalo y que te vaya bien». El segundo ejemplo es una representación del paraíso del valle del Tempe, en donde se recreaban los dioses del monte Olimpo, justo en el límite de Tesalia y Macedonia; el valle es atravesado por el río Peneo, en cuyas orillas crecía el laurel, con el que eran coronados los vencedores de los Juegos Píticos. La vista muestra diferentes escenas de alegría, banquetes y bailes, a los pies de los llamativos picos de las montañas. La inclusión, en la cumbre del Olimpo de un altar dedicado a Júpiter, es prueba de la admiración que sentía Ortelius por lo mítico, mágico y fabuloso.

MAPA DE UTOPIA
1595

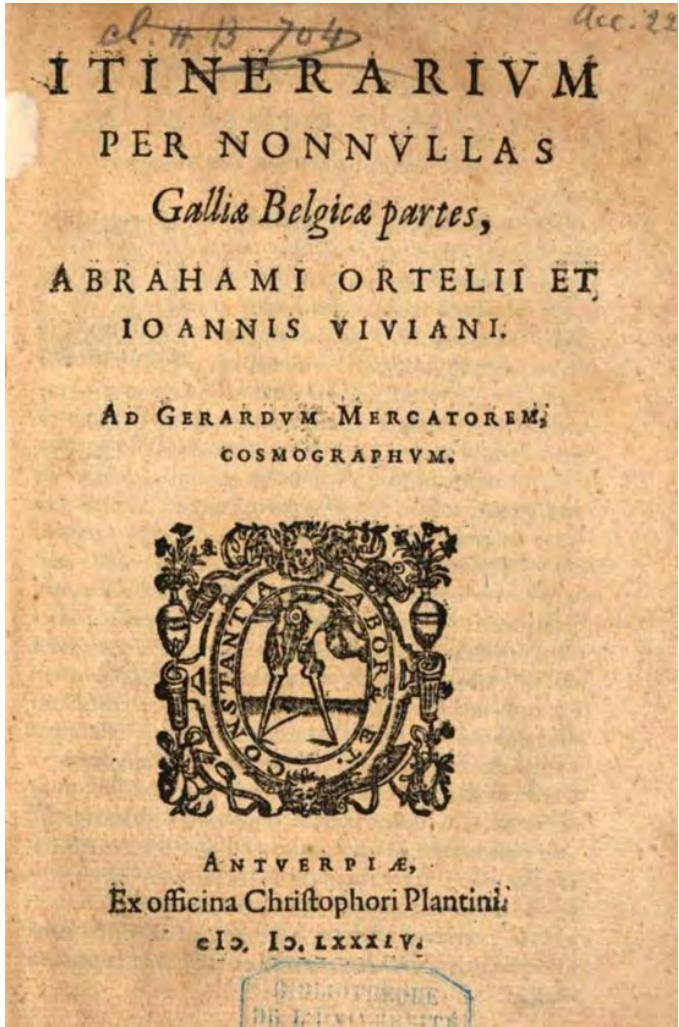
TEMPE.
MACEDONIAE PARS.
THESSALIAE PARS.
Thermaicus Sinus,
MARIS AE GAEI PARS.
Est nemus Aemoniæ prærupta quod undiq; claudit
Silva, vocant TEMPE, per quæ Pencius ab imo
Effusus Fundo, spumosis volvitur undis.

COSMOGRAPHIA
Das ist:
Warhaffte eigentliche vnd kurtze Beschreibung/
deß gantzen Erdbodems/ nemlich/ Europe/ Asie/ Affrice/ vnd die nach Petolomeo neuw erfundenen Inseln/ Americe vnd Magellane (so jetzt die neuwe Welt genennt) Darinnen eines jeden Theils Landschafft vnd Prouincien in sonderheit/ mit allem fleiß verzeichnet vnd begriffen wirt:
Dergestalt/ daß darauß ein jeder der gantzen Welt/ vnd aller jetziger zeit bekannten Landtschafften gelegenheit/ jhrer Eynwohner Herkommen/ Art/ Sitten vnd Gewonheit/ sampt allen andern vmbstenden/ als in einem kurtzen summarischen (doch verstendtlichen) Außzug/ lesen/ lehrnen vnd vernemmen kan.
Allen Hohes vnd Nidrigs Standts Personen/ nicht allein lieblich vnd lustig/ sondern auch nötig vnd nützlich zu wissen.
Getruckt zu Franckfurt am Mayn/ M. D. LXXVI.

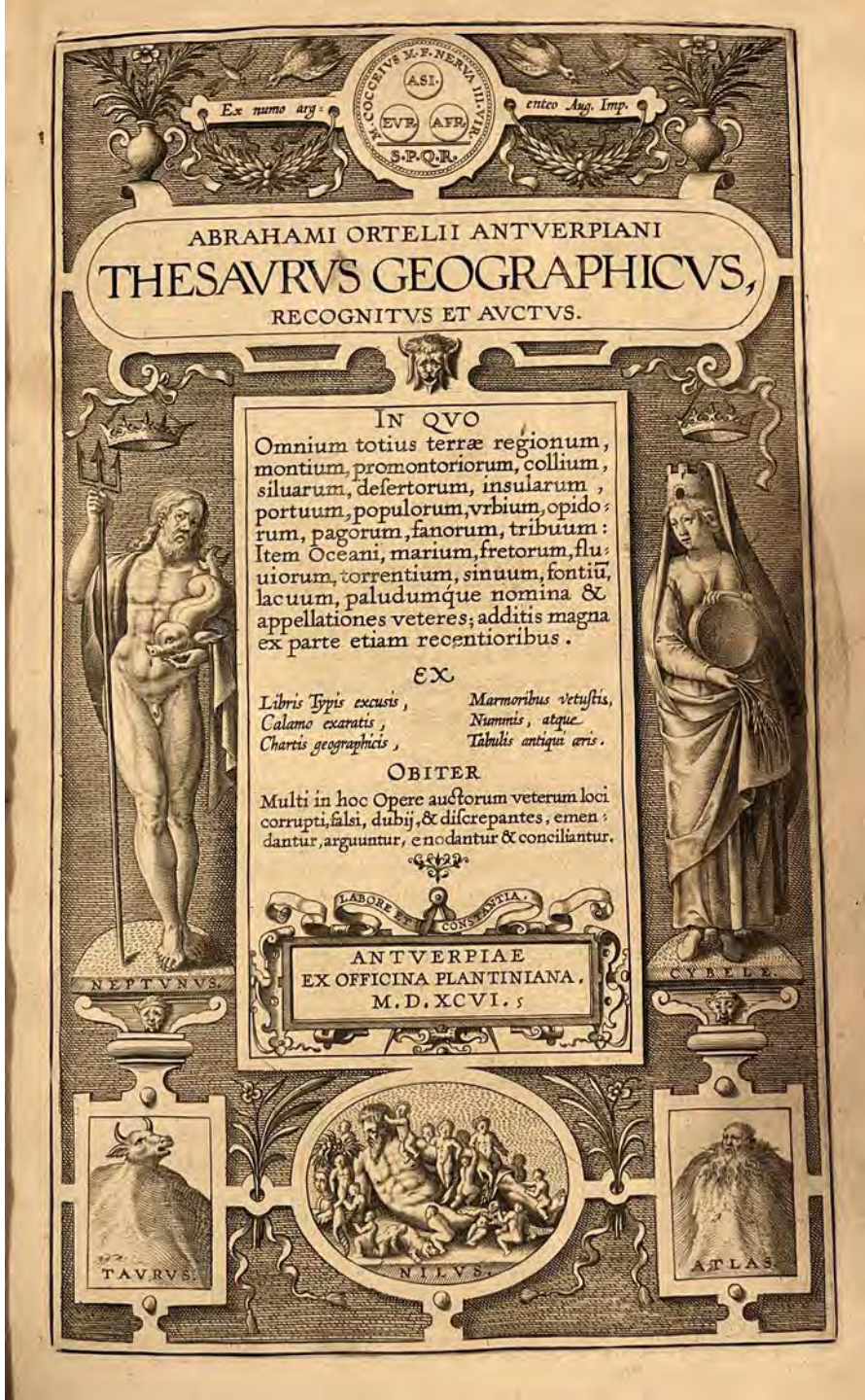
Ortelius fue también un geógrafo entendido, así se desprende de los muchos libros que escribió, como por ejemplo el titulado *Cosmographia; das ist: Warhaffte eigentliche vnd kurtze beschreibung, dess gantzen erdbodems, nemlich, Europe, Asie, Affrice, vnd die nach Petolomeo neuw erfundenen inseln, Americe vnd Magellane (so jetzt die neuw welt genennt) Darinnen eines jeden theils landschafft vnd prouincien in sonderheit, mit allem fleiss verzeichnet vnd begriffen wirt ...* (Cosmografía; es decir: Una descripción detallada y breve de toda la Tierra, a saber, Europa, Asia, África, y las islas recién descubiertas después de Tolomeo; América y Magallanes (ahora llamado el Nuevo Mundo), en el que cada parte del paisaje y su provincia es diligentemente registrada y entendida en detalle); impreso en 1576 y reeditado en 1581. Con esa obra perdió vigencia la Geografía de Tolomeo, en favor de los estudiosos de la cartografía histórica. Dos años después publicó un segundo libro: *Abrahami Ortelii Antverpiani Synonymia geographica, sive Popvlorvm, regionvm, insvlarvm, vrbium, opidorum, montium, promontoriorum, silvarum, pontium, marium, sinuum, lacuum, paludum, fluviorum, fontium, &c. variae, pro auctorum traditionibus, saeculorum intervallis, gentiúmque idiomatis & migrationibus, appellationes & nomina* (Abraham Ortelius de Amberes. Sinónimos geográficos, ya sean pueblos, regiones, islas, aldeas, ciudades, montañas, promontorios, bosques, puentes, mares, bahías, lagos, pantanos, ríos, manantiales, etc. Varios, según las tradiciones de los autores, los intervalos de los siglos, los


ABRAHAMI ORTELII
ANTVERPIANI
SYNONYMIA
GEOGRAPHICA,
SIVE
POPVLORVM, REGIONVM, INSVLARVM, Vrbium, Opidorum, Montium, Promontoriorum, Silvarum, Pontium, Marium, Sinuum, Lacuum, Paludum, Fluviorum, Fontium, &c. variæ, pro Auctorum traditionibus, fæculorum intervallis, Gentiúmque idiomatis & migrationibus, appellationes & nomina.
Opus non tantùm Geographis, ſed etiam Hiſtoriæ & poëſeos ſtudioſis vtile ac neceſſarium.
ANTVERPIÆ,
Ex officina Chriſtophori Plantini,
Architypographi Regij.
M. D. LXXVIII.

modismos y migraciones de las naciones, las denominaciones y nombres), que fue editada por Christoffel Plantijn (Cristobal Plantino). Se trata de un verdadero diccionario geográfico, que nació como complemento del *Theatrum Orbis Terrarum*, identificando miles de topónimos, tanto antiguos como modernos, de los diferentes detalles topográficos representados en los mapas. El glosario se fue mejorando en sucesivas ediciones, incorporando apéndices bilingües, aunque Ortelius continuara apoyándose principalmente en los autores clásicos, y haciendo evidentes sus conocimientos lingüísticos y lexicográficos. En el año 1584 publicó un tercer libro, titulado *Itinerarivm per nonnvllas Galliæ belgicæ partes, Abrahami Ortelii et Ioannis Viviani. Ad Gerardvm Mercatorem, cosmographvm* (Itinerario por varias partes de la Galia, Bélgica, por Abraham Ortelius y Johannes Viviani. A Gerardo Mercator, cosmógrafo); una crónica breve, 76 páginas, del viaje que realizó junto al comerciante y humanista J. Viviani, que comunicó a su amigo Mercator en forma de carta. El recorrido lo habían hecho en realidad durante el año 1575, visitando Amberes, Malinas, Lovaina y Lieja, pasando por Luxemburgo hasta llegar Tréveris y a la región de Lorena. Al texto anterior le sigue la transcripción de un texto medieval sobre el monje Notger, príncipe obispo de Lieja (fallecido en 1008); el cual había sido hallado en una de sus iglesias, por otro compañero de Ortelius en este viaje, Hieronymus Scholierius.

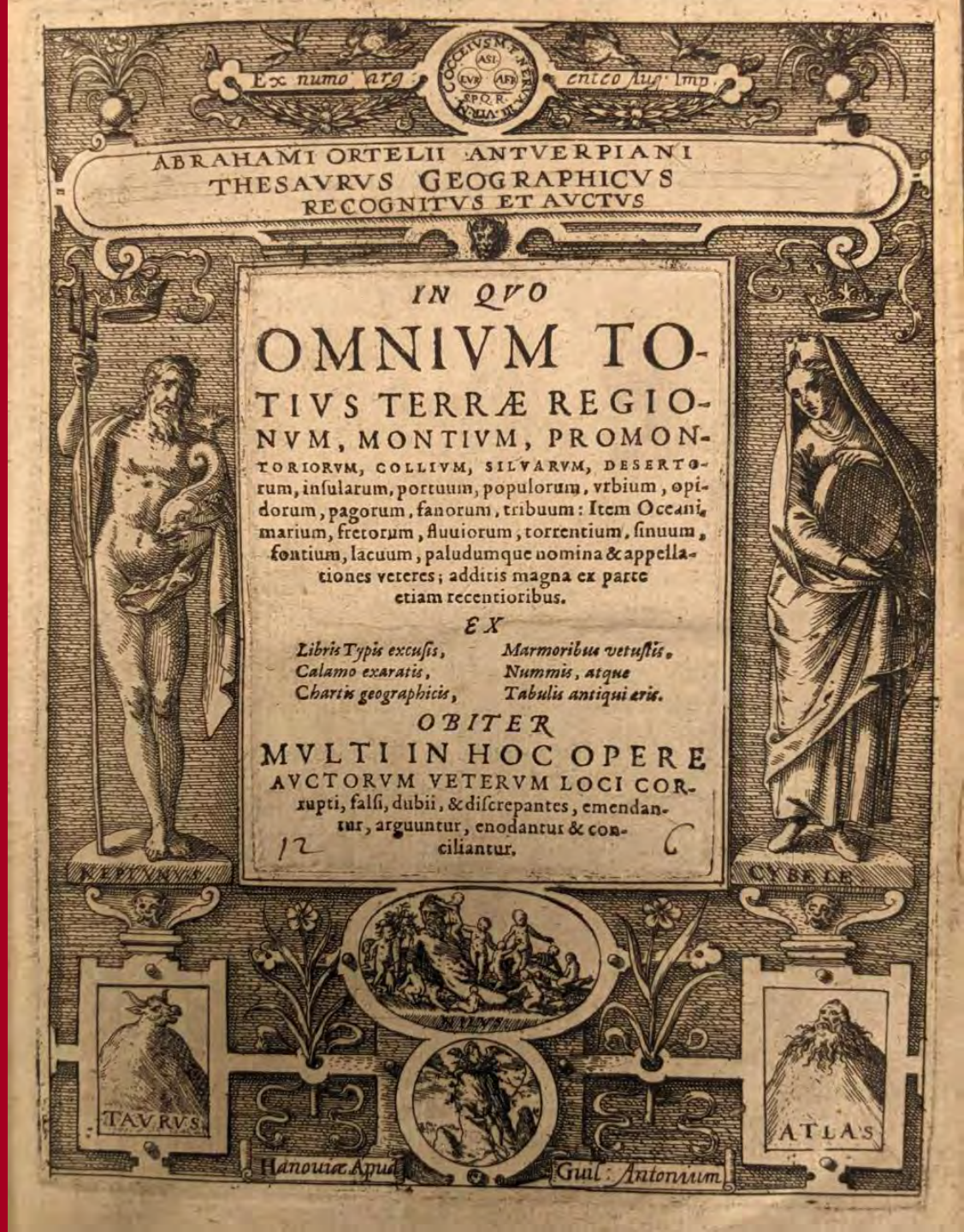

ITINERARIVM
PER NONNVLLAS
Galliæ Belgicæ partes,
ABRAHAMI ORTELII ET
IOANNIS VIVIANI.
AD GERARDVM MERCATOREM,
COSMOGRAPHVM.
ANTVERPIÆ,
Ex officina Chriſtophori Plantini,
cIↃ. IↃ. LXXXIV.

El último libro que será comentado se publicó en el año 1587 y fue una versión actualizada del editado en 1583 (*Synonymia geographica*) aunque ahora cambiase el título por *Abrahami Ortelii Antverpiani Thesaurus Geographicus Recognitus et Auctus ; in quo omnium totius terrae regionum, montium, promontoriorum, collium ... additis magna ex parte etiam recentioribus : ex libris typis excusis, calamo exaratis, chartis geographicis, marmoribus vetustis, nummis, atque tabulis antiquiaris: obiter multi in hoc opere auctorum veterum loci corrupti* ... (Tesoro Geográfico, reconocido y aumentado de Abraham Ortelius, en el que se incluyen todas las regiones de la Tierra, montañas, promontorios, colinas... con el añadido de gran parte de los más recientes: de libros impresos, dibujados a pluma, mapas geográficos, mármoles antiguos, monedas y tablillas antiguas. Por cierto, muchos lugares corruptos, falsos, dudosos y discrepantes de autores antiguos en esta obra son corregidos, argumentados, ennoblecidos y reconciliados). A la consabida relación de topónimos referidos a los diferentes accidentes naturales de aldeas, pueblos y ciudades, añadió un comentario sumamente novedoso que merece ser recordado; ya que sugirió entonces la posibilidad de que el litoral occidental del continente africano hubiese coincidido, en tiempos prehistóricos, con el oriental del continente americano. La reflexión la hizo apoyándose en la similitud que presentaban las dos orillas continentales, llegando a sugerir que la separación entre ellas debió ser producida por terremotos e inundaciones;



añadiendo: «Los vestigios de la ruptura se revelan por sí mismos, si alguien observa con atención un mapamundi y compara la costa de los dos continentes». Es sabido que las observaciones de Ortelius, sobre la yuxtaposición continental y su propuesta de ruptura y separación, pasaron desapercibidas hasta qué a finales del siglo XX, fueron confirmadas, en parte, con el descubrimiento de las placas tectónicas y de sus desplazamientos. No obstante, fueron repetidas durante los siglos XVIII y XIX (sobre todo por el geógrafo y geólogo francés, Antonio Snider-Pellegrini) y más tarde por Alfred Wegener, que publicó su hipótesis de la deriva continental en 1912 y en los años siguientes; gracias a la amplia difusión de sus ideas, se le atribuye a Wegener el mérito de haber sido el primero en reconocer la posibilidad de la deriva continental.

Portada del TESORO GEOGRÁFICO de Abraham Ortelius. Ambas aparecen censuradas para ocultar los atributos de Neptuno, la de la izquierda fue zafia y la de la derecha un poco más disimulada.



Luca Pacioli (1445-1517)

Fraile franciscano que publicó al final del siglo XV una recopilación del saber matemático de su tiempo, debiéndose a él la introducción de los signos más y menos (+ y -); tuvo la fortuna de que Leonardo da Vinci ilustrase una de sus obras más notables. Nació Luca Bartolomeo de Pacioli en Sansepolcro, una localidad cerca de la ciudad de Perugia, donde debió recibir sus primeras enseñanzas; trasladándose pronto a Venecia, para ponerse al servicio de Antonio Rompiasi, un rico comerciante. Para entonces ya debía contar con una buena formación, ya que fue nombrado tutor de los tres hijos de su patrón. En esa etapa continuó perfeccionando sus conocimientos matemáticos, de la mano de Domenico Bragadino; de hecho, fue entonces (1470) cuando publicó su primera obra, un libro de aritmética que dedicó a sus tres alumnos. Poco después abandonó Venecia y se trasladó a Roma, hospedándose en la casa de Leone Battista Alberti, matemático y secretario de la Cancillería papal; puede que por su influencia acabara estudiando teología y haciéndose fraile. A partir del año 1477, Pacioli enseñó aritmética en varias universidades italianas, Perugia y Nápoles entre otras, destacando su estancia en la de Roma, hasta que en 1489 volvió a Sansepolcro; siendo allí donde comenzó a escribir uno de sus libros

más conocidos: el celebrado *Summa de arithmetica, geometria, proportioni et proportionalità*, publicado en Venecia (1492); el cual fue dedicado al duque de Urbino (Guidobaldo de Montefeltro, un mecenas que había conocido en Roma), encabezando la dedicatoria un grabado del autor. A partir del año 1477, Pacioli enseñó aritmética en varias universidades italianas, Perugia y Nápoles entre otras, destacando su estancia en la de Roma, hasta que en 1489 volvió a Sansepolcro; siendo allí donde comenzó a escribir uno de sus libros más conocidos: el celebrado Summa de arithmetica, geometria, proportioni et proportionalità, que dedicó al duque de Urbino (Guidobaldo de Montefeltro). Pacioli reconoció que había consultado para su redacción las obras de autores como Euclides, Sacrobosco y Fibonaci. El libro resumió el estado del conocimiento matemático en el renacimiento, expuesto en diez capítulos: dedicando los siete primeros a la aritmética, el octavo al álgebra, el noveno a la contabilidad y el décimo a la geometría y a la trigonometría. La obra, escrita usando una mezcla de latín e italiano, fue convenientemente ilustrada con dibujos en los márgenes del

Ad illustrissimū Principem Gui. Abalduz Urbini

Ducem Montis feretri: ac Durantis Comitem. Grecis latinisq; litteris Ornatissimum: z Mathematice discipline cultorem feruentissimum: Fratris Luce de Burgo sancti Sepulchri: Ordinis minorum: z sacre Theologie Magistri. In artem Arithmetice: z Geometrie Prefatio

A quantita Magnanimo Duca: e si nobile z excellente cosa: che molti philosophi per questo giudicata hanno alla substantia para: e concessa coeterna. Peroche hanno cognosciuto per vez modo alchuna cosa in rerum natura senza lei nō potere existere. Per laqual cosa de lei intendo (con ladiuto de colui che li nostri sensi reggè) tractarne: non che per altri prischi e antichi philosophi nonne sia copiosamente tractato: e in Theorica e practica. Ma perche lor dicti gia allí tempi nostri sonno molto obscuri: e da molti male apresi: e alle practiche vulgari male applicati: dilche in loro operationi molto variano: e con grādi e laborioſi affanni mettano in opera: si de numeri cōmo de misure: onde di lei parlando non intendo se non quanto che alla

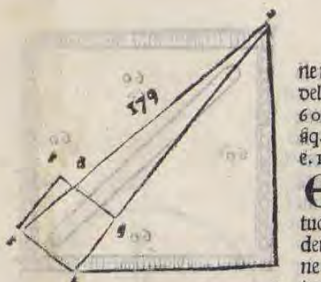
Summa de Arithmetica geometria. Proportioni: et proportionalita:

Nouamente impressa In Toscolano su la riua del Benacense et vnico carpionista Lago: Amenissimo Sito: de li antique z euidenti ruine de la nobil cita Benaco ditta illustrato: Cum numerosita de Impatorij epitaphij di antique z perfette littere sculpiti decorato: z cus finissimi z mirabil colone marmoree: numeri fragmenti di alabastro porphidi z serpentini. Cose certo lector mio dilecto oculata fide miratu digne sot terra del nostro uano.

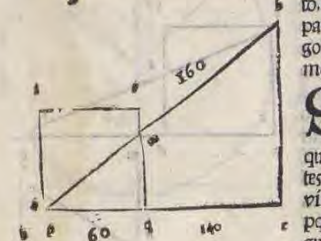
BIBLIOTHEK D. EIDG. TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH
1523

Contenuta de tutta lopera:

De numeri e misure in tutti modi occurrenti.
Proportioni e pportionalita a notitia del 5º de Euclide: e de tutti li altri soi libri.
Chiaui: ouero euidētie numero. 13. per le quantita continue pportionali del 6º e 7º de Euclide extratte.
Tutte le parti de lalgorismo: cioe reduna re partire: multiplicare: sūmare: e sotrare: con tutte sue ppue in sani e rotti adicti e progressioni.
De mercantesca ditta del. 3. e quamēti cō casi exēplari p cō mō
De guadagni: per dite: transportationi: e inuestite.
Partir: multiplicar: sūmar: e sotrar de le pportioni: e de tutte sorti radici.
De le tre regole del Catayn ditta positione: e sua origine.
Euidentie generali: ouer conclusioni numero. 66. absolnere ogni caso che per regole ordinarie non si podesse.
Tutte sorte binomii e recisi: e altre linee irrationali del decimo de Euclide.
Tutte regole de Algebra ditte de la cosa e lor fabriche e fondamenti.
Cōpagnie in tutti modi: e lor partire.
Socide de bestiami: e lor partire.
Fitti. pesioni: cottimi: liuelli: logagioni: e godimenti.
Baratti in tutti modi semplici: composti: e col tempo.
Cambi real: secchi: fittitij: e diminuti: oner communi.
Termini de riti semplici e a capo danno: e altri Relij: saldi: sconti: de tēpo e denari: e de recare a vn di piu partite.
Oro: argenti: ellozo affinare: e carattare.
Molti casi e ragioni straordinarie: varie e diuerse a tutte occurrētie: cōmo nella sequente tauola appare ordinatamente de tutte.
Ordine a saper tener ogni cōto: e scriptura: e del quaderno in vinegia.
Tariffa de tutte vlance e costumi mercanteschi in tutto el mondo.
Pratica e theorica de geometria: e de li cinq corpi regulari: e altri de decenti
E molte altre cose de grandissimi piaceri: e frutto: commo diffusamente per la sequente tauola appare.



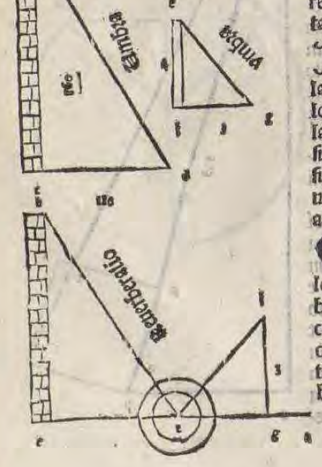
ne notato che pongo sia il ponto.d.e tu considera.rd.che parte sia del.s p.e tal parte sia.a q. del.a b.adonca sia.rd.il terzo dun ponto.Concio siacosa che noi habiamo detto che.rq.sia. 60.ponti.adonca $\frac{1}{3}$.de ponto e $\frac{1}{180}$.del.sp.per laqual cosa.aq.sia $\frac{1}{180}$.del a b.onde quando. aq.fusse vno braccio la linea visuale che si parte dal pōto.a.e va inuerso.b.cioe la linea.ab. e.180.braccia.E questo era da mostrare. 3ª



Similmente e da operare quando tu fosse insu laltezza.b.e volesse sapere quanto fos se dal ponto.b.infino al ponto.a. allhora porrai lo ponto.p. col ponto.b.e locchio tuo poni al ponto.p.e manda la regola secondo lo lato.pq.e per lo foro dela regola.fa diui dere il ponto.a.e perfettamente acconcio lo strumento in modo che non si possa muouere ne mutare e tu poni locchio insul ponto.s.e poni luno lato ouero capo dela regola insul pō to.s.e fa diuedere per lo suo foro il ponto.a.loquale veduto ferma la regola e sappi in che parte del lato.r q.ella passa che pongo sia il ponto.d.e troua che parte e.dr.del.s p.che pō go sia $\frac{1}{180}$.Cioe che.dr.sia $\frac{1}{180}$.del.s p.Adonca.sp.sia $\frac{1}{180}$ del.ab.che essendo noto.qp.hare mo nota tutta.ab.comme vogliamo. 4ª

Se fosse in vn piano cioe insun vn prato e volesse misurare vna altezza delaquale il pie si vede con locchio.Comme volendo misurare laltezza dela torre.b c.laquale al tez za e.bc.e fosse insul ponto.a.dal quale ponto si vedesse il ponto.c.e volesse sapere quanto sia.bc.Prima te bisogna sapere la distatia dal.a.al.c.laquale se altramente non po tesse misurala secondo la prima di questo trattato.cioe con lo strumento: ouero con le. 2. virgole che pōgo che dal.a.al.c.sia.240.braccia.Porrai lo tuo strumēto in modo chel lato pq.insul detto piano vno cō lo piano.ac.e questo fatto e tu poni locchio tuo al ponto.p.e guarda per la regola accio che vegga il ponto.e noti inche parte delo lato.rq.la regola pas sa cioe quanto e dal.d.al.q.che pongo sia.40.ponti liquali proportion erai con lo lato.a q. che e.60.ponti.Onde.40.sono di.60.gli $\frac{2}{3}$.Dico che.bc.e gli $\frac{2}{3}$.del.ac.e detto che.ac.e.240. bra.Doue gli $\frac{2}{3}$.sonno.160.Adonca.bc.e 160.bracia cōmo volauamo.Quero multiplica rai.40.per.240.braccia e partirai in.60.che ancora ne vienne.160.bra.p laltesa.b c.Cioe multiplicarai.d q.per.a c.e partirai per.aq.e cosi di tutte poi fare. 4ª

Ancora questo medesimo si puo fare col quadrante. Comme nel detto exemplo di ciamo che hauesse a misurare.bc.cioe la sua altezza. dico che pigli el quadrante e per lo verso de larco guarda il ponto.b.E sempre poni locchio per gli buchi dello quadrante.E se lo filo con lo piombo che passa per lo dosso del quadrante e in mezzo.f e.a le.2.ombre cioe insul ponto.n.allhora laltezza.e igiuale ala distantia del pie tuo:ouero alloc chio tuo ala radici dela torre.E quando il filo cadesse insu la linea.no.allhora laltezza e mi nore dela detta distantia.E quando cade nela linea.mn.allhora laltezza e maggiore. Onde adonca tanto indrieto quero innanci te farai che il filo caggia in sul messo dele dette om bre cioe insul ponto.n.cioe a.45.gradi.E fermati:e misura dal tuo pie ala radici dela tor re.Quero di quella altezza e a quella somma agiongi la tua altezza.e harai laltesa dela det ta torre e questo e assai buon modo. 4ª



Ancora questo medesimo si puo fare con lombra del sole.Exempli gratia rissa vna misura cognosciuta equidistante ala torre:e quādo il sole e in modo che lombra de la detta torre si posa bene comprendere:e tu piglia la detta ombra. E similmente piglia lombra dela tua cognosciuta misura:e proportionerai lombra dela tua misura alombra de la torre.E quella parte e veramente fia la tua misura dela torre.Verbi gratia sia la misu sura cognosciuta.4.braccia cioe.e f.E lombra dela torre sia.cd.e sia.120.braccia.E la torre sia.bc.si comme vedi segnato appresso.E lombra dela tua misura sia.fg.e sia.3.braccia:do ue proportionerai.3.braccia con.120.braccia sonno $\frac{1}{40}$.E $\frac{1}{40}$.ela tua misura.e f.della torre. adunque la torre e.160.braccia.E questo habia a mente. 4ª

Questo medesimo anchora si puo fare col specchio.Cioe dico chi volesse misurare vna altezza.comme e vno albero elquale e situato in sul piano.a c.Dico che ponga lo specchio in sul piano e da quello ti parti in modo che locchio tuo vegga la cima del al bero.E quando ai veduto la cima.cioe il ponto.b.e tu confidera che parte e la tua altezza cioe.fg.del.ge.tal parte e.cb.cioe laltezza delalbero del.ce.Comme sia la tua altezza.3. braccia.E.ge.sia.2.braccia $\frac{1}{2}$.E.c e.sia.12.braccia.Doue a volere laltesa de lalbero:cioe.bc.mul tiplicarai.12.per.3.fanno.36.E questo parti in.2$\frac{1}{2}$.vienne.14$\frac{2}{5}$.E.14.braccia.$\frac{2}{5}$.fia laltesa bc.e cosi habia a mente sempre. 5ª

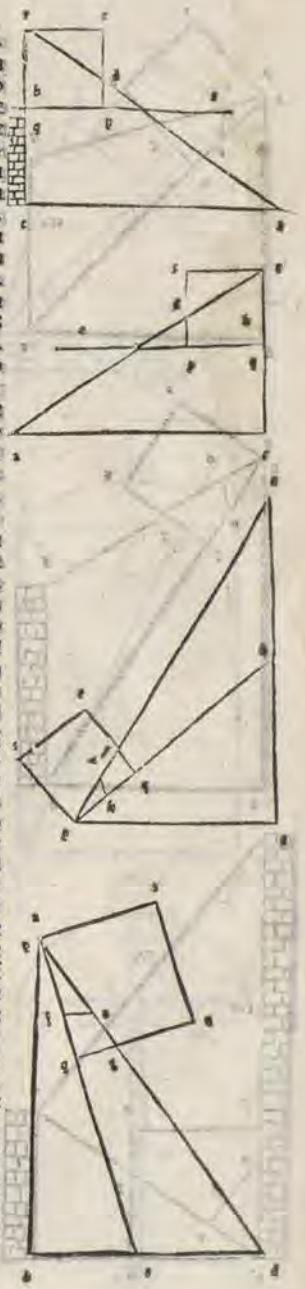
APLICACIONES TOPOGRÁFICAS
en la *Summa de arithmetica, geometria, proportioni et proportionalità*

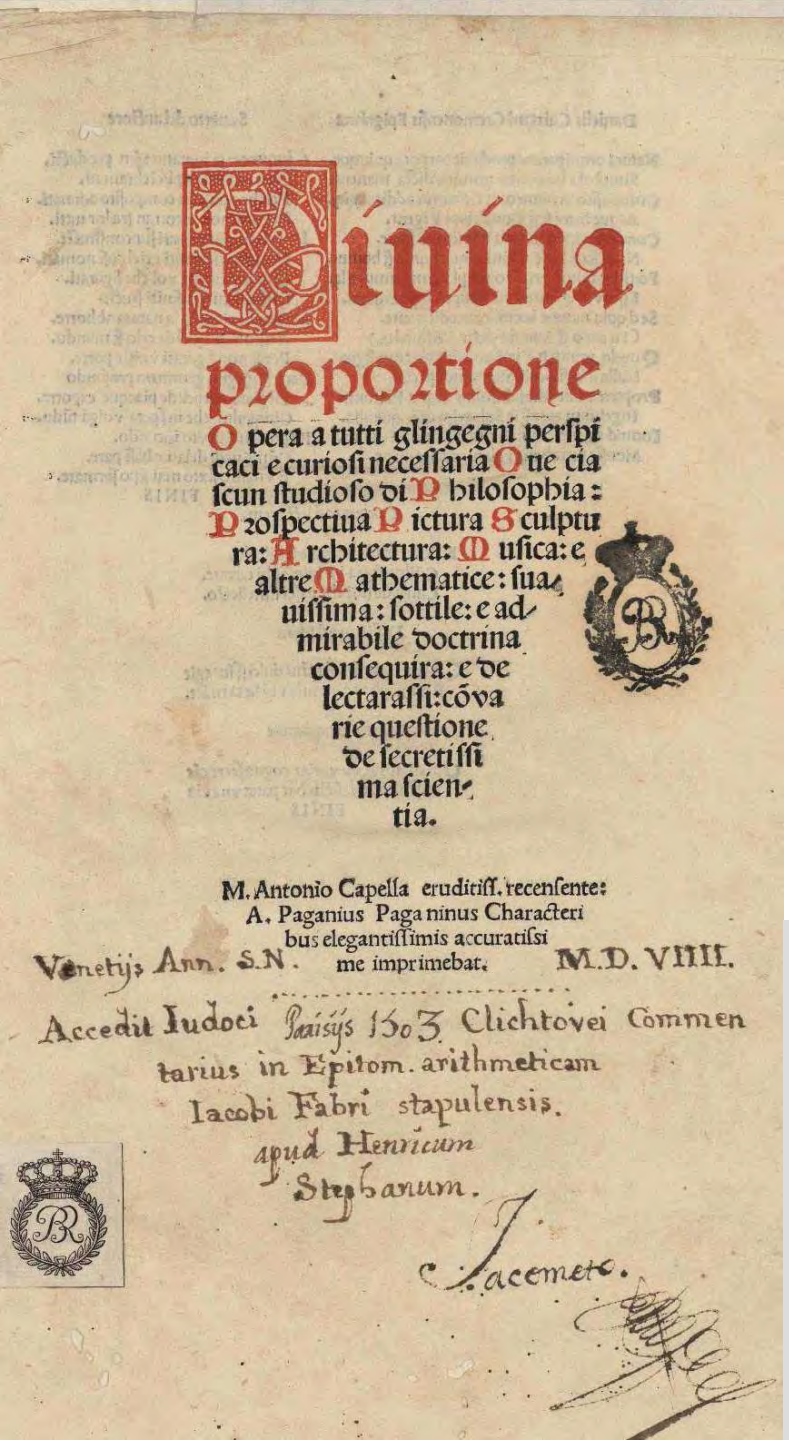
Se tu fosse insul ponto.b.daltezza di monte o altra cosa.e vedese nel piano il ponto.a. E volesse sapere quanto e dala linea che si parte dal ponto.a.E sia equidistante al pia no del monte ouero dela cosa alta cioe al piano.be.E dal ponto.b perpendiculare al detto piano del.a.cioe quanto sia dal.b.al.c.che e il congiongnimento del piano.ac.con la radice de laltezza.bc.Porrai lo tuo strumento insul piano del.bc.e quando quello e bene situato e acconcio che non sia per alchuna cagione mouente.E guarda per la regola cioe per li fo ri dela regola hauendo postola al canto.r.e guarda con quella il ponto.a.e quello sensa niu no impedimento veduto:e tu considera in che parte del lato.sp.ouero.pq.la detta regola passa che a questa proposta pongo passi per lo pōto.d.loquale sia nel lato.sp.E sia.sd.36. ponti.e.dp.sia.24.ponti.E il.rs.sia.60.pōti.Cioe lo equale del.qp.sia.rd.Circa a.70.pon ti.cioe piccola cosa meno di.70.pōti.cioe la radici di.4896.laquale e di poca differentia a 4900.Queste cose note e tu per la.3ª di qsto sappi quanto e dal.r.al.a.che pongo sia.150. bra.E dipoi adonca dirai se.36.pōti cioe.ds.danno.70.ponti cioe.rd.ouero.dr.adiman do che darāno.150.bra. Doue con minori numeri dirai se.18.dāno.35.cioe se.ds.e.18 e.rd.e.35.e.ra.e.150.che sira.rc.Multiplicarai.18.via.150.fanno.2700.E parti in.35. vienne.77$\frac{1}{7}$.E.77.bra.$\frac{1}{7}$.sia laltesa.rc.dela quale altezza trareno laltesa del.rq.Cioe vno bro rimane.76$\frac{1}{7}$.E.76.bra $\frac{1}{7}$.E dal.b.al.c.laquale cosa era da mostrare. 6ª

Volendo sapere quanto e dal.a.al c.conuiēti operare comme nela passata:cioe sapere la longhessa del.r.al.a.p tertiā precedentē che pōgo ancora sieno.150.braccia.e sap pi quanto e dal.r.al.s.E quanto e dal.s.al.d.che pōgo sia.60.ponti. E dal.r.al.d. sieno.70.ponti e dirai se.70.potumisa dāno.60.te piano.cioe se.7.dāno.6.che daranno. 150.Multiplicarai.150.via.6.fanno.900.e partirai in.7.viene.128$\frac{4}{7}$.E. 128.braccia $\frac{4}{7}$ sia dal.a.al.c.E questo sempre ti stia amente. 7ª

Se locchio tuo e nel piano.e tu voglia misurare vna altessa insu vno monte comme sonno rocche o castella.Comme sia locchio al ponto.d.nel piano del.dc.e insul mon te.cb.sia la torre.ba.laquale vogliamo misurare:prima e di bisogno sapere quanto e dal.d. al.b.E questo per seconda di questo chiaramente larai che pongo che dal ponto.d al.b.sia. 320.braccia.E dipoi ponendo locchio al ponto.d.debbi trouare la longhesa ad per secun dam huius.laquale pōgo sia.400.braccia e tutte queste cose notate e tu poni locchio tuo al ponto.d.e poni la regola su per lo lato.pq.e fa diuedere dal ponto.d.il ponto.b.e quando lo vedi sensa alcuno impedimento:e tu poni locchio ancora al pōto.d.e mena la regola in modo che guardando per la regola vegga il ponto.a.E quello veduto sensa alcuno impe dimēto e tu nota inche pte del lato.rp.la regola passa che dico sia il ponto.f.e questo bene notato tu poi per piu agilita leuare lo strumento.e con questo argomento entrare. Noi dicemmo che.db.era.320.braccia.e.da.era.400.braccia.Doue se possibile con interi nu meri minori in tutta proportione hauere togli. Adunque che haremo nei minori numeri cosi.4.a.5.comme.320.a.400.Adonca quando.db.fosse.4.braccia.da.sarebbe.5.braccia.p la qualcosa io torro delo lato del strumento.qp.320.pōti cioe il messo che fia il ponto.h.de la linea.pf.ne pigliero tanti quanti e di bisogno sieno in detta proportione a.320.cōme.5.a 4.Doue fia.37$\frac{1}{2}$.Dico che de la linea.pf.ne pigliero.37.ponti $\frac{1}{2}$.che fia.pu.Doue dipoi me nerai vna linea dal.u.al.h.che.sienno.20.ponti.E qsto perfettamēte intesso e compreso e tu dirai se.37$\frac{1}{2}$.danno.20.che darāno.400.Doue multiplicarai.400.via.20.fanno.800.e ptiralo in.37$\frac{1}{2}$.vienne.213$\frac{1}{3}$.E.213.braccia $\frac{1}{3}$.sia alta la detta torre.cioe dal.b.al.a.Potre sti ancora argomētare in qsto modo.Detto e che.ph.e.320.pōti e.hu.e.20.ponti. Onde di rai se.320.mi dāno.20.che mi dara.320.Cioe.cb.Multiplicarai.320.per.20.E ptirai in 320.e viēne.213.braccia $\frac{1}{3}$.E tāto e laltesa dela torre come disopra trouāmo. E nota che laltezza.ba.E equidistante ala linea.hu.E questo era da mostrare. 8ª

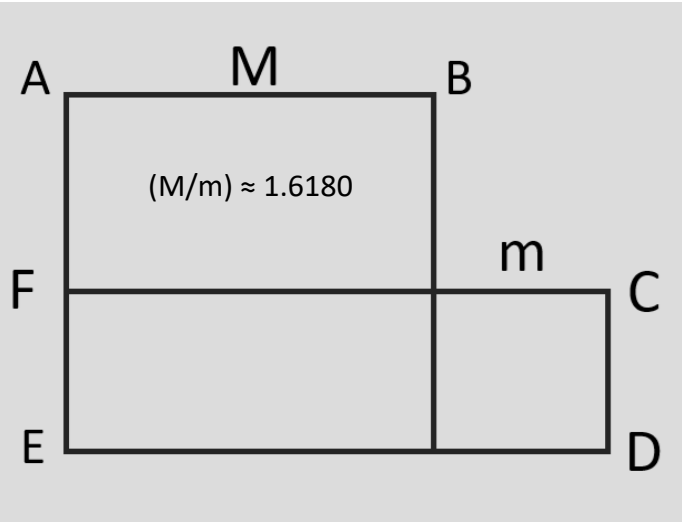
Se fosse in su vno monte o altra altecca e vedesse.2.ponti in vn piano comme doi ca se o.2.fonti o.2.albori,o quel che si sia.Diciamo.2.case le quali sonno insu ponti.c.e. d.nel piano.db.E pongo sia insu laltezza.ab.nel ponto.a. E voglia sapere quando e dal ponto.d al ponto.c.Pigliarai lo instrumento atto a questo.e con quello per la secōda di questo sappi la lōghesa.ac.laquale pōgo sia.120.bra.E dipoi sape ti bisogna quāto e dal a.al.d.per lo detto modo.cioe per la secōda di qsto.Doue pongo fia.140.braccia. E que sto bene cognosciuto e tu ferma locchio insul ponto.p.ponendo ellato.pg.insu la linea.c q.e volendo conoscere se hai bene adattato lo strumento.poni la regola insul lato.pq.e per gli buchi di tutta regola guarda il pōto.c.E quādo bene lo strumento e adattato e tu guarda




Divina
proportione
Opera a tutti glingegni perspi
caci e curiosi necessaria Ove cia
scun studioso di Philosophia:
Prospectiva Pictura Sculptu
ra: Architectura: Musica: e
altre Mathematice: sua
vissima: sottile: e ad
mirabile doctrina
consequira: e de
lectarassi: cóva
rie questione
de secretissi
ma scien
tia.
M. Antonio Capella eruditiss. recensente:
A. Paganius Paganinus Characteri
bus elegantissimis accuratissi
me imprimebat.
Venetijs Ann. S.N. M.D. VIIII.
Accedit Iudoci Praetij 1503 Clichtovei Commen
tarius in Epitom. arithmeticam
Iacobi Fabri stapulensis.
apud Henricum
Stephanum.

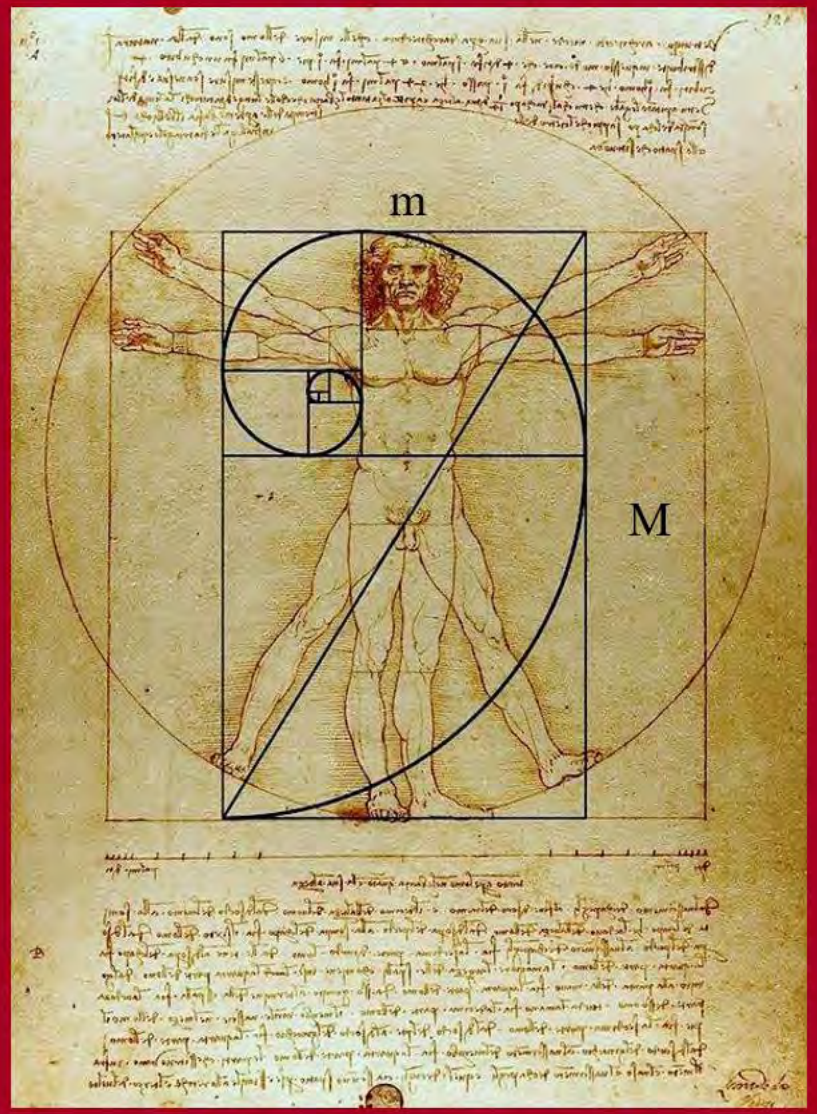
texto, siendo muy destacables los ejercicios topográficos que se comentan en el décimo capítulo: explicando el uso de instrumentos como el cuadrante o el sector circular, para medir desniveles o alturas de edificios.

El éxito alcanzado por esa obra de L. Pacioli hizo que fuese invitado a Milán por Ludovico Sforza, para enseñar matemáticas en su corte. Allí tuvo como alumnos a Alberto Durero y a Leonardo da Vinci, surgiendo entre él y el segundo una amistad que se vería reforzada por el manifiesto interés del artista por las enseñanzas que recibía de su profesor. Pacioli compuso su otra obra magna en esa época, justo entre los años 1496 y 1498; de hecho, firmó el manuscrito original, de 130 hojas, el día 14 de diciembre de ese último año. El título elegido para la misma no se prestó al equívoco *De Divina Proportione*, ya que quiso unirse así a los matemáticos de la antigüedad clásica y a los filósofos griegos, que ya estaban fascinados por esta curiosa proporción de la sección áurea; que parecía reflejar la perfección y la armonía divinas. El manuscrito constó realmente de tres partes: una primera denominada *Compendio divina proportione*, en la que se aborda el



Se dice que la proporción entre dos segmentos dados, M y m, es áurea (dorada o divina), cuando el cociente entre el menor (m) y el mayor (M) coincide con el formado por este (M) y la suma de ambos (M + m), es decir cuando m/M = M/(M + m); ecuación que expresa la igualdad del área del cuadrado de lado AB y la del rectángulo CDEF. Resuelta esa ecuación se obtiene el valor de la razón áurea o número de oro, aproximadamente igual a 1.6180.

La Razón Áurea o la Divina Proporción



EL HOMBRE DE VITRUVIO

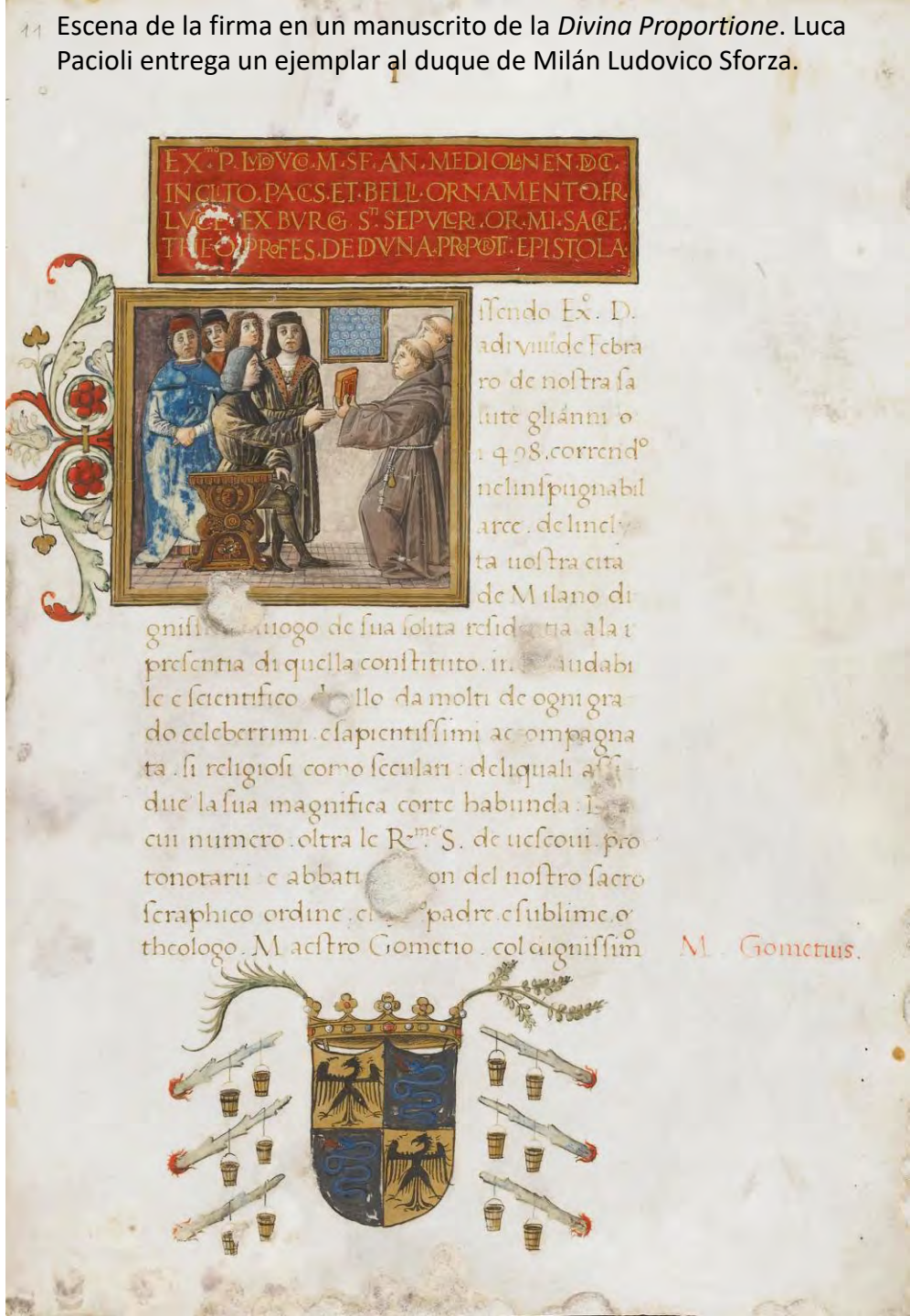
Dados dos segmentos M y m, tales que M > m > 0, se dice que ambos guardan la proporción áurea si se cumple que la razón entre la suma de ambos y el mayor coincide con la existente entre ese y el menor; es decir si se verifica la igualdad (M +m) / M = M /m. Al cociente M/m se le suele llamar número áureo, dorado o número de Dios, y se representa por la letra griega φ. En los elementos de Euclides (c. 300 a. C-265 a. C.) se definía así: Se dice que una recta ha sido cortada en extrema y media razón cuando la recta entera es al segmento mayor como el segmento mayor es al segmento menor.

A partir de la igualdad se puede deducir el valor de dicho número, ya que (M +m) / M se puede escribir como 1 + 1/ φ, concluyendo que 1 + 1/ φ = φ. Resolviendo esa ecuación de segundo grado y eligiendo la raíz positiva, pues tanto M como m lo son, se obtendría que $\varphi = (1 + \sqrt{5}) /2 \approx 1.618034$.

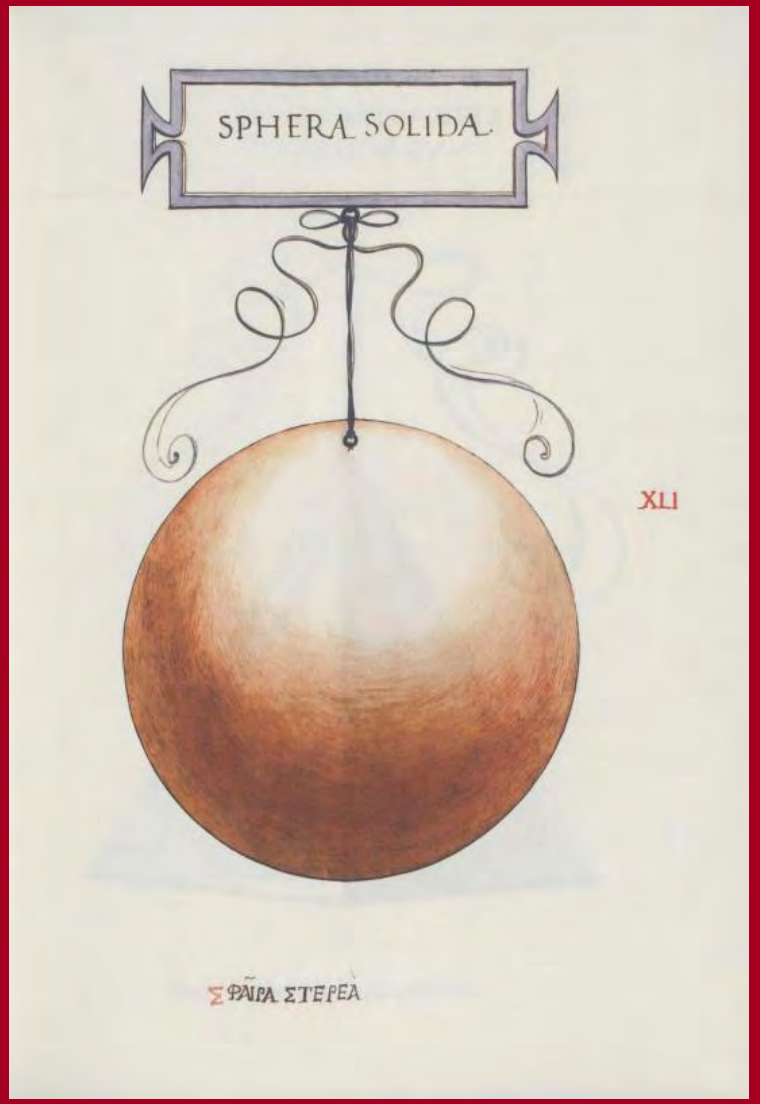
Es por tanto evidente, que para saber si un rectángulo guarda esa proporción, el cociente entre el lado mayor y el menor ha de ser igual a dicho número. Del mismo modo, si se quiere construir un rectángulo que cumpla con ese requisito y cuyo lado mayor sea M, es obvio que el valor del menor ha de ser M/φ. Sobre un rectángulo de ese tipo se pueden ir dibujando otros menores del mismo tipo y dibujar la curva llamada espiral dorada, la cual está presente tanto en la naturaleza como en el arte.

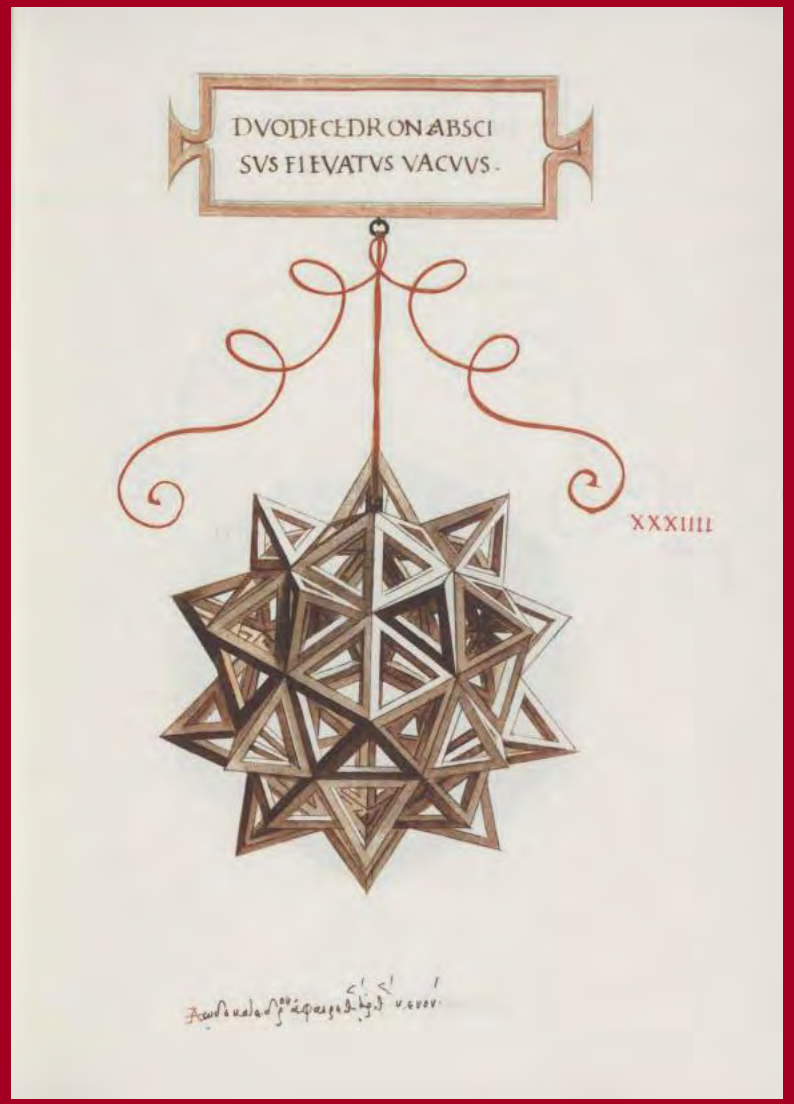
estudio de la proporción desde un punto de vista matemático, seguida de otra llamada *Trattato dell'architettura,* que analiza y desarrolla el pensamiento de Vitruvio al respecto, aplicándolo a la arquitectura. La tercera y última parte, a la que *llamó Libellus in tres partiales divisus*, que fue una traducción al italiano de la obra latina *De quinque corporibus regularibus*, la cual había sido escrita recientemente por el matemático y pintor Piero della Francesca, referida, como su nombre indica, a los cuerpos geométricos. A continuación del texto principal, se incorporaron dos colecciones de estampas, constando la primera de veintitrés letras mayúsculas dibujadas, con regla y compás, por Pacioli; mientras que la segunda es una muestra más de la maestría de Leonardo da Vinci, que ejecutó mientras fue su alumno. Se trata de un conjunto de 61 láminas con grabados individualizados de los distintos cuerpos geométricos: esfera, poliedros (estrellados o no), prismas (*columna laterata*), pirámides, cono (*pyramis rotunda solida*) y cilindro (*columna rotunda solida*); con la particularidad de permitir ver su estructura interna. Esas ilustraciones geométricas de Leonardo es probable que sean las primeras representaciones conocidas de los poliedros platónicos, las cuales podrían haber sido dibujadas teniendo a la vista modelos de madera con bordes sólidos, diseñados por Pacioli, por el mismo o por ambos.

Escena de la firma en un manuscrito de la *Divina Proportione*. Luca Pacioli entrega un ejemplar al duque de Milán Ludovico Sforza.



DE DIVINA PROPORTIONE





Algunas de las ilustraciones dibujadas por Leonardo da Vinci

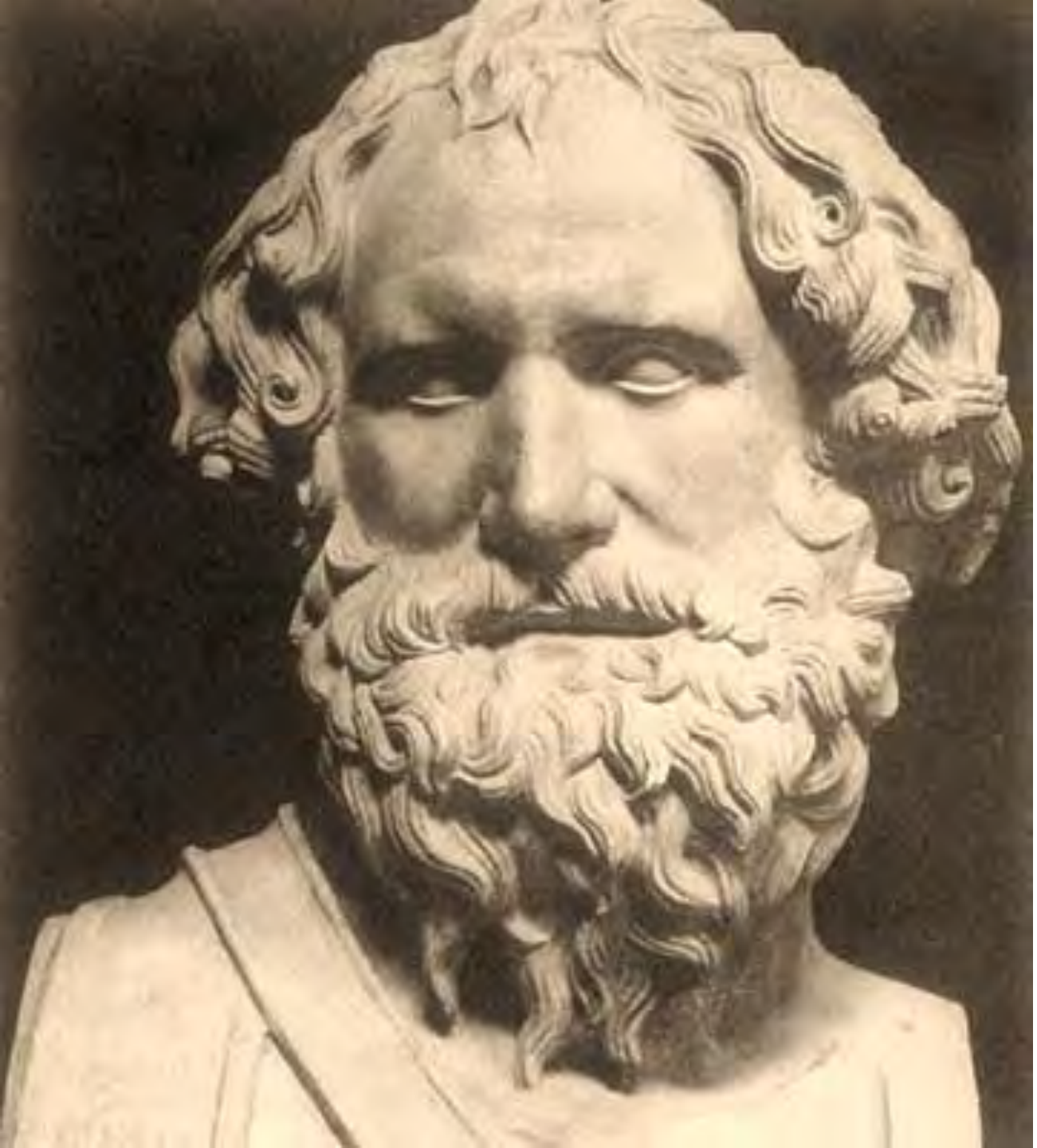
Sansopolcro. 1994

Cuando el ejército francés entró en Milán (1499), Pacioli y Leonardo da Vinci huyeron para refugiarse en Venecia; aunque acabaran trasladándose a Florencia, donde ambos compartían casa. En ese tiempo (1500), la Universidad de Pisa, que había establecido su sede en Florencia, nombró a Pacioli profesor de geometría, un puesto en el que se mantuvo hasta el año 1506; con el paréntesis del curso 1501-1502, durante el que enseñó en la Universidad de Bolonia. Mientras vivió en Florencia compatibilizó sus estudios de matemáticas con los asuntos religiosos, ingresando en el año 1506 en el monasterio de Santa Croce.

Tras dejar Florencia, se instaló de nuevo en Venecia, donde le concedieron los derechos exclusivos para publicar sus obras, haciéndolo con los tres volúmenes de la Divina Proportione en el año 1509. l año siguiente regresó a Perugia y a Roma, para impartir conferencias; regresando acto seguido a su localidad natal, dejando inédita una obra tan interesante como De Viribus Quantitatis (Sobre el poder de los números).

Monumento conmemorativo del 500 aniversario de SUMMA DE ARITHMETICA, GEOMETRIA, PROPORTIONI ET PROPORTIONALITÀ.

Luca Pacioli realiza una construcción geométrica en una pizarra, en cuyo marco se lee Euclides, mientras que apoya la mano izquierda en un ejemplar de su libro *SUMMA DE ARITHMETICA GEOMETRIA, PROPORTIONI ET PROPORTIONALITÀ*. Sobre la mesa se encuentran instrumentos como una escuadra y un dodecaedro. A la izquierda del cuadro cuelga un rombicuboctaedro (sólido con 18 caras cuadradas y 8 triangulares). La identidad del joven es incierta, para algunos es la imagen genérica del estudiante, pudiéndose tratar, según otros, de A. Durero.



Papo de Alejandría (ca.290 - ca.350)

Fue uno de los últimos referentes del mundo grecorromano conocido por su obra Synagoge (*Συναγωγή*), un compendio del saber en el que se abordó el estudio de materias tales como la astronomía, la geometría y la mecánica; uno de sus teoremas es considerado como la base de la geometría proyectiva moderna. Apenas se sabe nada de la vida de papo o Pappus de Alejandría, salvo que debió de ser profesor de alguna escuela de dicha ciudad y que su obra principal fueron los ocho libros de su *Colección Matemática*; esto es, la ya referida Sinagoga. No obstante, en la enciclopedia bizantina SUDA se citan también otros trabajos: una Descripción del mundo habitado (*Chorographia Oikoumenike*) y un Comentario sobre el Almagesto de Tolomeo. Aunque queden fuera del presente contexto geográfico el comentario detallado de su Colección, si parece obligado recordar al menos algunas de las cuestiones allí tratadas. En el tercer libro describió por ejemplo como cada uno de los cinco poliedros regulares podría inscribirse en una esfera. En el

ΠΑΠΠΟΥ

ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΩΣ

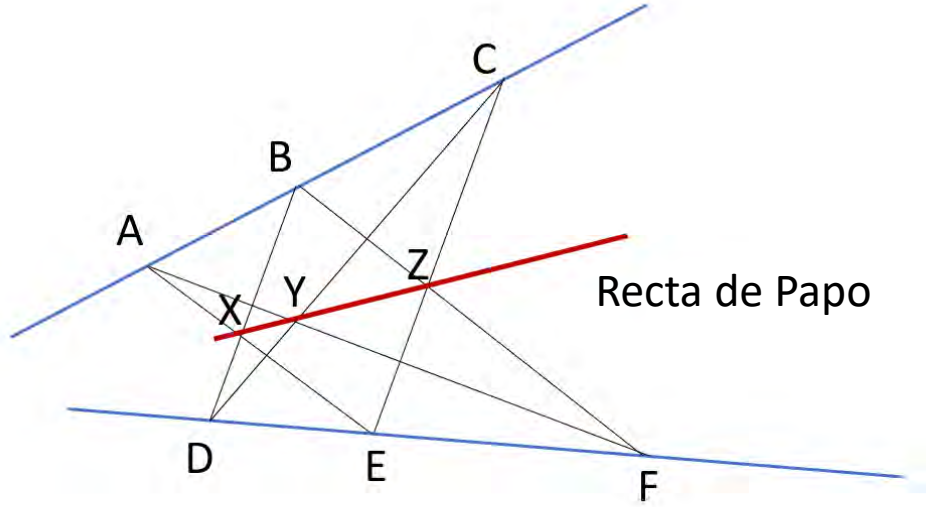
ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ·ΟΓΔΟΟΝ

ΠΕΡΙΕΧΕΙΔΕΜΗΧΑΝΗΚΑΠΡΟΒ

ΛΗΜΑΤΑΣΥΜΜΙΚΤΑΚΑΙΑΝΘΗΡΑ

Primera y última página de la COLECCIÓN MATEMÁTICA de Papo de Alejandría

cuarto analizó las propiedades de la espiral de Arquímedes. En el libro quinto explicó como construían los panales las abejas: «Las abejas, entonces, saben precisamente este hecho que les es útil, que el hexágono es mayor que el cuadrado y el triángulo y retendrá más miel por el mismo gasto de material en la construcción de cada uno. Pero nosotros, que pretendemos tener una mayor parte en sabiduría que las abejas, investigaremos un problema algo más amplio, a saber, que, de todas las figuras de planos equiláteras y equiangulares que tienen un perímetro igual, la que tiene el mayor número de ángulos es siempre la mayor, y la mayor de todas es el círculo que tiene su perímetro igual que el de ellas». En el sexto libro trató de los autores que con sus obras habían formado la llamada pequeña Astronomía, en contraste con la Astronomía Mayor (el Almagesto), efectuando una revisión de su contenido e indicando los errores que había descubierto. Lo más relevante del séptimo libro fue la inclusión en el mismo del conocido ahora como teorema del hexágono de Pappus (o simplemente teorema de Pappus): si los vértices de un hexágono se localizan alternativamente sobre dos rectas dadas, las intersecciones de los lados opuestos están alineadas. Finalmente, el libro octavo lo dedicó a la mecánica, que a su juicio «tenía muchos usos importantes en la vida práctica…porque trata generalmente de la estabilidad y movimiento de los cuerpos alrededor de su centro de gravedad, y de sus movimientos en el espacio». En relación con los comentarios de Papo sobre el Almagesto, solo se refirieron a algunos de sus libros y fueron irrelevantes, en comparación con la solvencia que tuvieron los geométricos; así lo hizo saber en el pasado siglo XX el gran matemático austriaco Otto Neugebauer, especializado en la historia de las matemáticas y astronomía antiguas: «…La monotonía y pomposidad de estos tratados escolares es demasiado evidente».

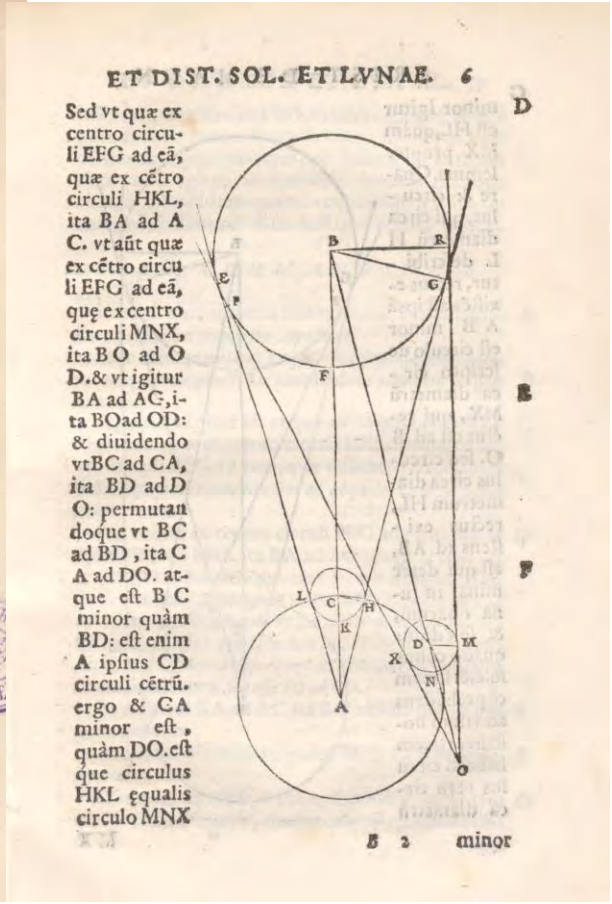


Teorema de Pappus: Dados tres puntos (A,B,C) de una recta y tres (D,E,F) de otra, las intersecciones de los segmentos: X (AE ∩ DB), Y (AF ∩ DC), y Z (BF ∩ EC), están alineadas (recta de Pappus).

Robert' Hegg Dunelm.

ARISTARCHI
DE MAGNITVDINIBVS,
ET DISTANTIIS SOLIS,
ET LVNAE, LIBER
CVM PAPPI ALEXANDRINI
explicationibus quibuſdam.
A' FEDERICO COMMANDINO
Vrbinate in latinum conuerſus, ac
commentarijs illuſtratus.
Cum Priuilegio Pont. Max. In annos X.

PISAVRI, Apud Camillum Franciſchinum.
M D L X X I I.


ET DIST. SOL. ET LVNAE. 6

Sed vt quæ ex centro circuli EFG ad eã, quæ ex cẽtro circuli HKL, ita BA ad AC. vt aũt quæ ex cẽtro circuli EFG ad eã, quę ex centro circuli MNX, ita BO ad OD. & vt igitur BA ad AC, ita BO ad OD: & diuidendo vt BC ad CA, ita BD ad DO: permutandoque vt BC ad BD, ita CA ad DO. atque eſt BC minor quàm BD: eſt enim A ipſius CD circuli cẽtrũ. ergo & CA minor eſt, quàm DO. eſt que circulus HKL ęqualis circulo MNX

B 2 minor

Gran parte de los trabajos de Papo fueron traducidos al latín por el matemático y humanista italiano Federico Commandino, en la segunda mitad del siglo XVI. Uno de los más señalados fue aquel en el que Papo explicó los cálculos que había hecho Aristarco al fijar los valores de las distancias a que se encontraban el Sol y la Luna: *Aristarchi de magnitudinibus, et distantiis solis et lunae, liber cum Pappi Alexandrini explicationibus quibusdam*, impreso en Pésaro el año 1572; el cual fue dedicado a Alderano Cibo-Malaspina, marqués de Carrara. La traducción estuvo profusamente ilustrada con figuras análogas a la reproducida aquí, debiendo resaltar la importancia de dos de sus últimas proposiciones: XVI) *Sol ad terram maiorem quidem prportionem habet, quàm 6859 ad 27, minorem vero, quàm 79507 ad 216*; XVII) Diameter Terrae ad *diametrum Lunae in maiori quidem est prportione, quàm 108 ad 43, in miniori vero, quàm 60 ad 19.*

F. Commandino tradujo asimismo la obra fundamental de Pappus, aunque se publicase a título póstumo en el año 1588, es decir trece años después de su fallecimiento; el título elegido fue el siguiente: *Pappi Alexandrini Mathematicae Collectiones. A Federico Commandino urbinate in latinum conversae, et commentariis illustratae*. En esta ocasión, la obra fue dedicada al Serenísimo Francisco Maria II, el último duque de Urbino, y debió de agotarse de inmediato, ya que volvió a editarse en Venecia el año 1589. El éxito de la obra prosiguió durante todo el siglo siguiente, ya que el año 1660 se publicó de nuevo en Bolonia con idéntico título, pero incluyendo en su portada una

PAPO DE ALEJANDRÍA

COLECCIÓN MATEMÁTICA

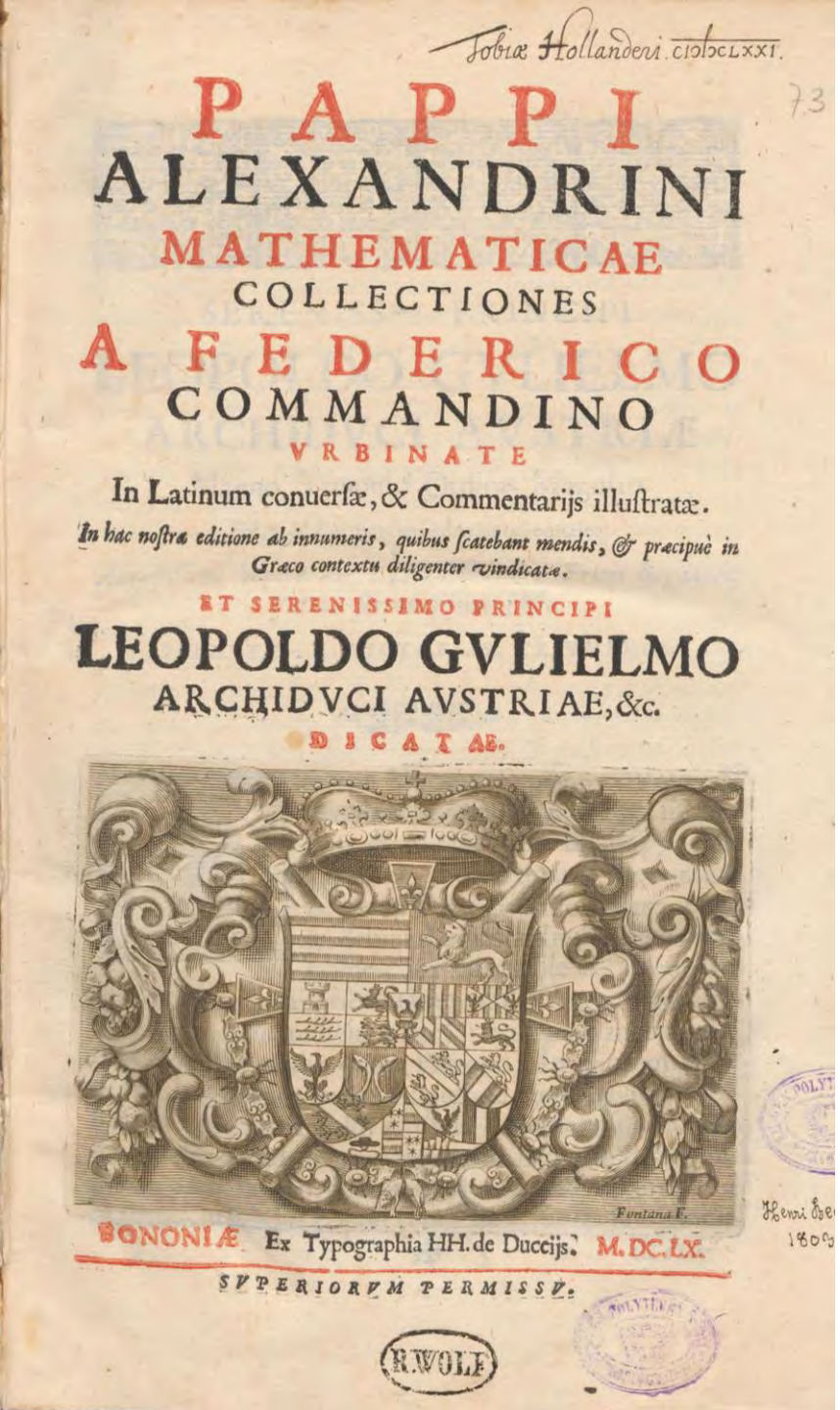
Las dos primeras ediciones latinas : Písaro (1588) y en Venecia (1589)

PAPPI
ALEXANDRINI
MATHEMATICAE
COLLECTIONES
A FEDERICO
COMMANDINO
VRBINATE
IN LATINVM CONVERSÆ,
ET COMMENTARIIS
ILLVSTRATAE.

PISAVRI,
Apud Hieronymum Concordiam,
M. D. LXXXVIII.
Superiorum Conceſſu.

PAPPI
ALEXANDRINI
MATHEMATICAE
Collectiones.
A FEDERICO
COMMANDINO
VRBINATÆ
In Latinum Conuerſæ, & Commentarijs
Illuſtratæ.

VENETIIS.
Apud Franciſcum de Franciſcis Senenſem.
M. D. LXXXIX.



Tobiæ Hollanderi. CIↃIↃCLXXI.

73

PAPPI
ALEXANDRINI
MATHEMATICAE
COLLECTIONES
A FEDERICO
COMMANDINO
VRBINATE

In Latinum conuerſæ, & Commentarijs illuſtratæ.

In hac noſtræ editione ab innumeris, quibus ſcatebant mendis, & præcipuè in Græco contextu diligenter vindicatæ.

ET SERENISSIMO PRINCIPI
LEOPOLDO GVLIELMO
ARCHIDVCI AVSTRIAE, &c.
DICATAE.

Fontana F.

BONONIÆ Ex Typographia HH. de Duccijs. M.DC.LX.

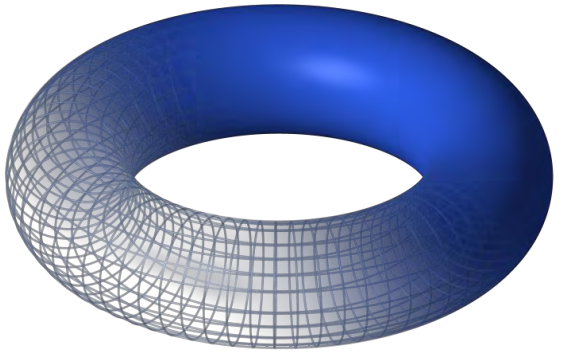
SVPERIORVM PERMISSV.

R.WOLF

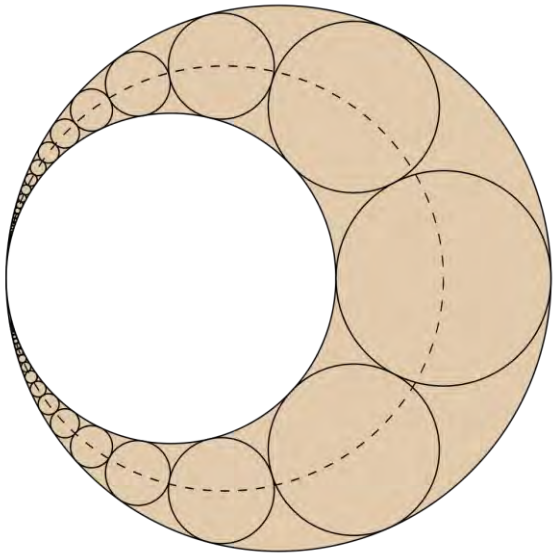
reivindicación de los autores griegos junto al nombre, con grandes caracteres, y escudo de armas del Archiduque de Austria (Sereno Príncipe Leopoldo Guillermo); a él fue dedicada esta obra, en su condición añadida de obispo y gobernador de los Países Bajos españoles. En lo que se refiere al texto: la dedicatoria y la advertencia al lector fue escrita por el editor Carolus Manolessius, iniciándose el resto como en las ediciones previas, esto es con el libro tercero, ya que los manuscritos de los dos primeros debieron perderse; con la salvedad de ir presidido por un bello frontispicio del Archiduque montado a caballo y de ilustrar el libro octavo con elaborados dibujos de maquinarias.

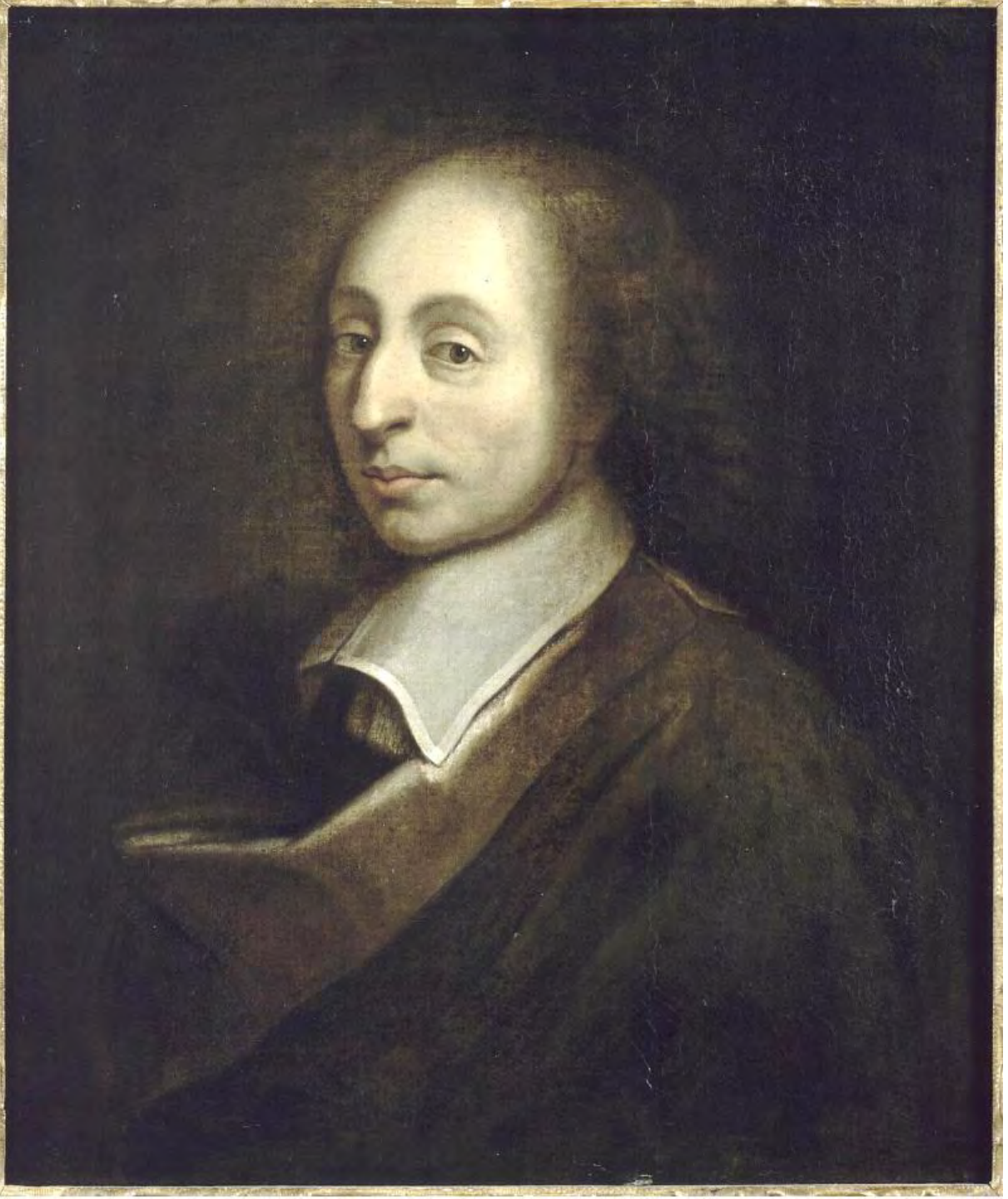
La obra de Pappus de Alejandría pasó desapercibida durante la Edad Media, aunque luego ejerciera una marcada influencia sobre los matemáticos europeos, tras ser traducida por Federico Commandino. Ciertamente, su Colección Matemática fue una de las fuentes principales en que se apoyó François Viète, al preparar su libro *In Artem Analyticem Isagoge* (1591), y Descartes al desarrollar su geometría analítica. También lo hizo Pierrre de Fermat cuando analizó el método de los máximos y mínimos, a partir de los resúmenes de la obra de Apolonio efectuados por Pappus; otros de los matemáticos influidos por él fueron Pacioli, Kepler, Pascal, Newton, Euler, Gausss, Steiner, Poncelet y Chasles. El nombre de Papo de Alejandría sigue estando presente en la matemática actual, a través de varios teoremas que así lo atestiguan. Además del referido al hexágono, ya citado, existe el teorema del centroide de Pappus; realmente dos teoremas: uno referido al área de una superficie de revolución («El área A, de una superficie de revolución generada mediante la rotación de una curva plana C alrededor de un eje externo a tal curva sobre el mismo plano, es igual a su longitud L, multiplicada por la distancia, $2\pi d$, recorrida por su centroide en una rotación completa alrededor de dicho eje. Es decir, $A = 2\pi Ld$ ») y otro al volumen de dicha superficie («El volumen, V, de un sólido de revolución generado mediante la rotación de un área plana alrededor de un eje externo, es igual al producto del área, A, por la distancia, $2\pi d$, recorrida por su centroide en una rotación completa alrededor de dicho eje. Es decir, $V = 2\pi Ad$»). Otro concepto singular es la llamada cadena de Pappus, una especie de anillo de círculos tangentes limitados por otros dos que también lo son; se demuestra que el lugar geométrico de todos los círculos de la cadena es una elipse.

Toro, sólido que se origina de la revolución de un círculo sobre un eje externo.



Cadena de Pappus

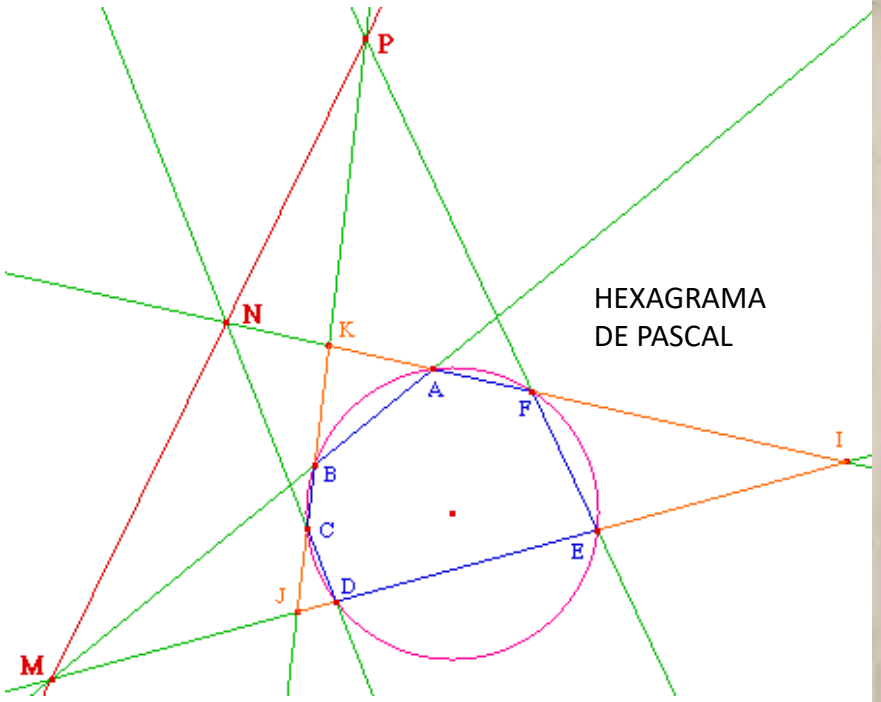




Blaise Pascal (1623-1662)

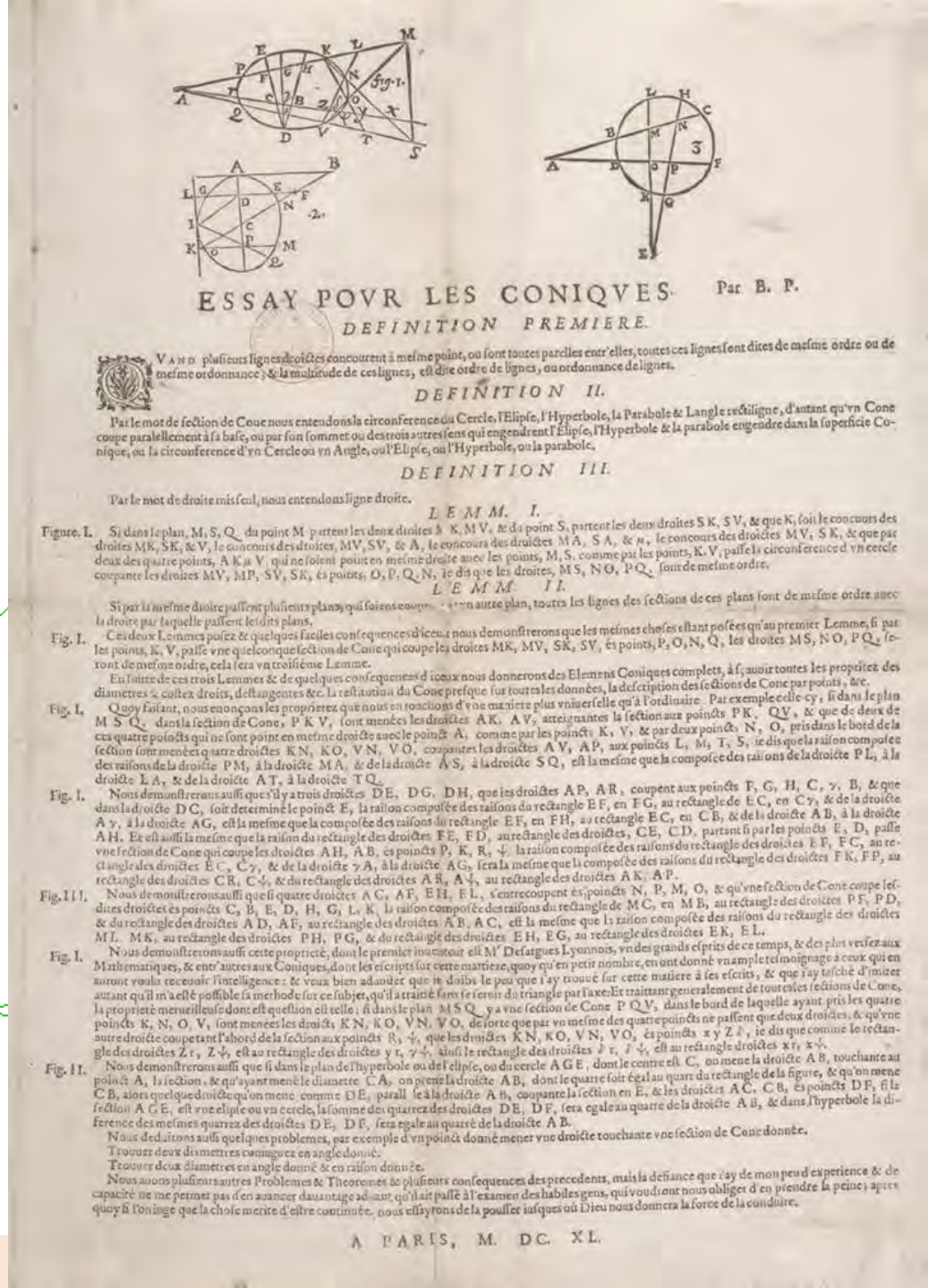
Filósofo y matemático francés, con aportaciones significativas en varias disciplinas científicas: cálculo, probabilidad, geometría e hidrostática; entre las que podrían destacar su generalización del teorema del hexágono de Papo, el invento de la máquina para agilizar los cálculos aritméticos de su padre (la pascalina) y la medida barométrica que efectuó en la torre Saint Jacques de París para determinar la altura de la misma. Blaise Pascal nació en Clermont y siendo niño se trasladó con su familia a París. A pesar de la oposición de su padre, mostró gran interés desde pequeño por las matemáticas, con tanto aprovechamiento, que con tan solo 12 años concluyó que la suma de los tres ángulos de un triángulo era de 180º; un hecho que fue reconocido por este al regalarle como premio una copia de los Elementos de Euclides. Tres años después conoció, por medio de su padre, a varios matemáticos, entre los que se encontraba Girard Desargues, estudiando de inmediato su obra y convirtiéndose en su discípulo. De aquel entonces data su primer gran descubrimiento, concretamente fue a finales

del mes de junio de 1639 cuando demostró, al examinar un hexágono inscrito en una sección cónica, que los puntos de intersección de los lados opuestos estaban alineados. A finales de ese año presentó su *Essay pour les coniques*, una especie declaración de intenciones que fue publicada en una sola página a comienzos de 1640, cuando ya residía en Rouen, ciudad a la que había sido destinado su padre como Comisario de Impuestos de la Baja Normandía, por decisión del cardenal Richelieu. En tan interesante documento incorporó la figura a la que se referiría posteriormente con el nombre de *Hexagramme Mystique*. La comunicación, que permaneció oculta hasta que la redescubrió en 1779 el matemático Charles Bossut, fue reimpresa en numerosas ocasiones, aunque conservando las erratas del documento original; dándose la circunstancia de que algunas de ellas no fueron corregidas hasta que lo hizo René Taton en 1955.



HEXAGRAMA DE PASCAL

A la recta MNP se le suele llamar recta de Pappus o de Pascal.



ESSAY POVR LES CONIQVES. Par B. P.

DEFINITION PREMIERE.

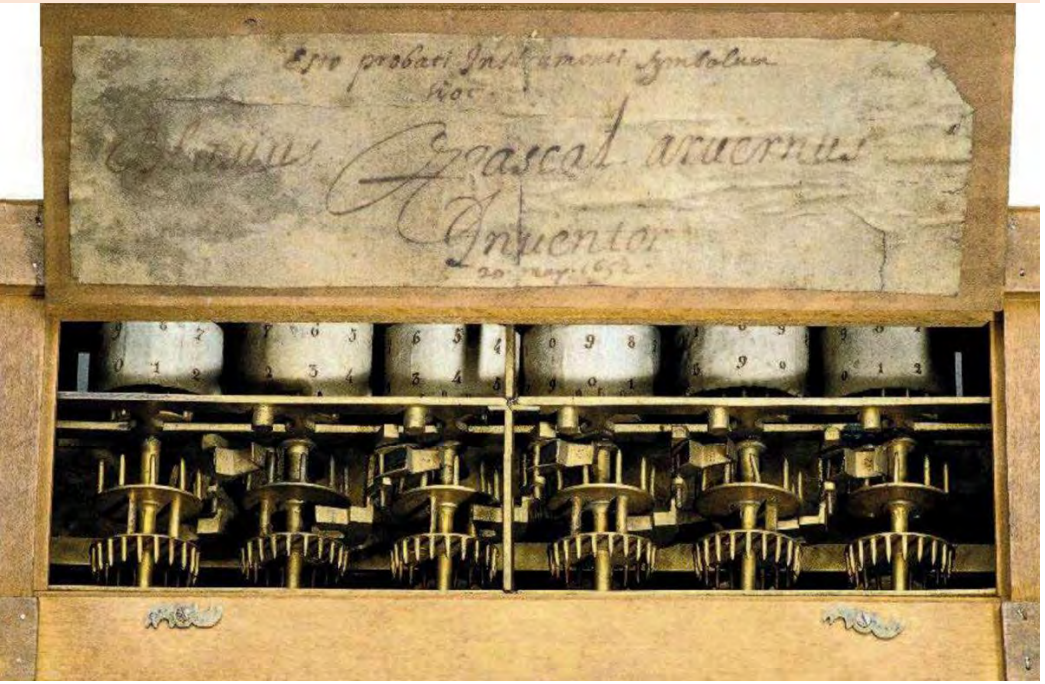
DEFINITION II.

DEFINITION III.

LEMM. I.

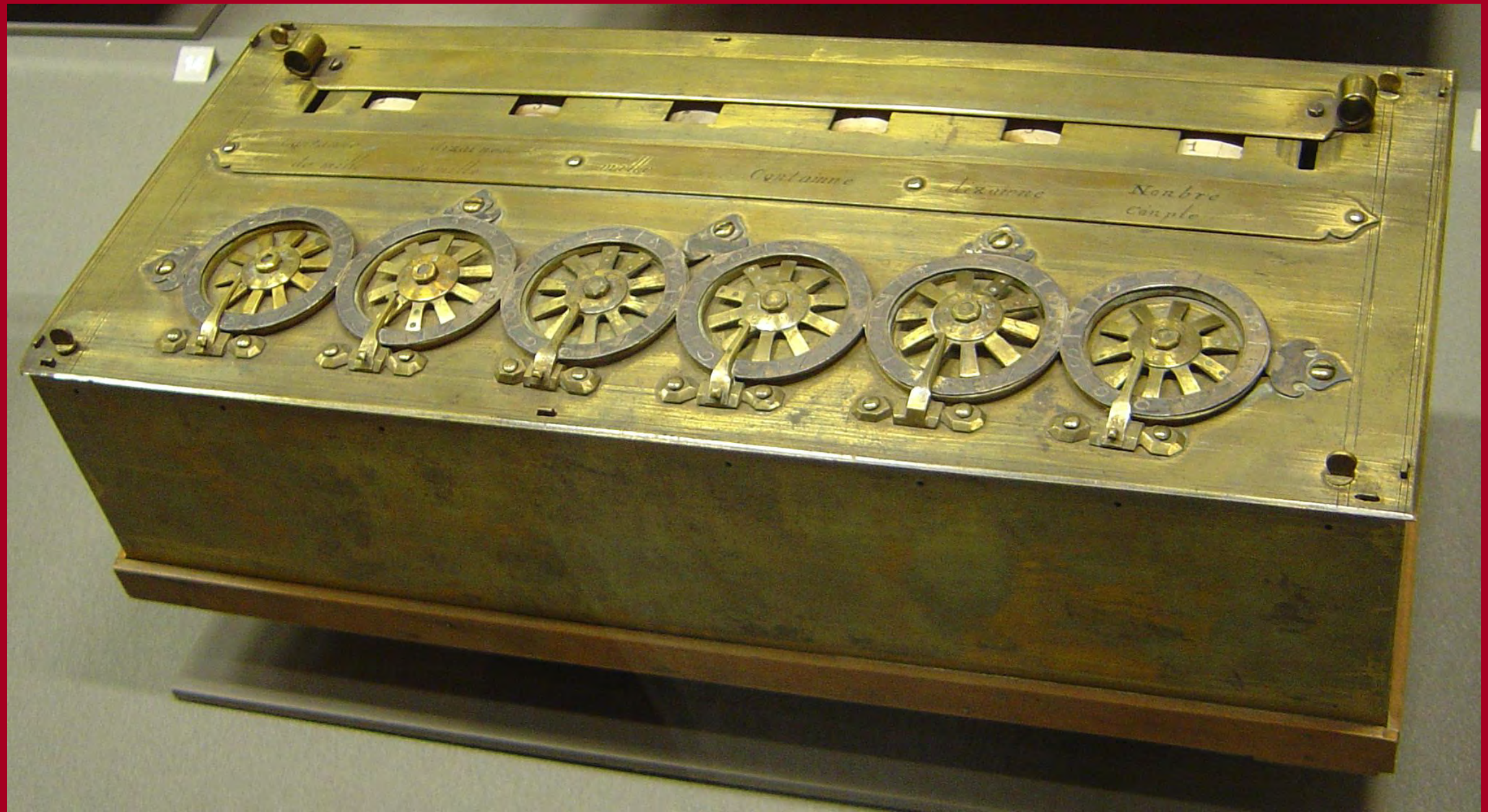
LEMM. II.

La máquina de calcular inventada por Blaise Pascal, que acabaría siendo conocida con el nombre de Pascalina,



Abrumado por los problemas del padre al efectuar las operaciones propias de su cargo, decidió Pascal preparar un instrumento que se los evitara. Fue así, como en 1642, concibió la idea de su máquina aritmética, en cuyo interior había una cadena de transmisión, de modo que cuando una rueda efectuaba un giro completo en torno a su eje, hacía avanzar un diente a la siguiente posición. Cada diente correspondía a u número y cada rueda constaba de diez pasos, marcados con los números del 9 al 0. El aparato tenía un total de ocho ruedas, seis para representar los números enteros y dos más, en el extremo derecho, para los decimales. Las ruedas se hacían girar con una manivela en uno o en otro sentido, dependiendo de la operación que se quisiera efectuar (suma o resta). La principal dificultad que Pascal tuvo que resolver para desarrollar su máquina fue el problema del acarreo, consultando para ello con relojeros caracterizados por su probada minuciosidad. Después de preparar 50 prototipos, fabrico finalmente solo 20 ejemplares adoptados al sistema monetario de su tiempo; presentando el primer aparato en el año 1645. Lamentablemente , su invento no tuvo el éxito esperado, a pesar de contar con el privilegio que le había otorgado el Rey Luis XIV el 22 de mayo de 1649. A partir de esta fecha, Pascal dejó de fabricar máquinas, preocupándose solo de comprobar que las que tenía en sus manos eran efectivamente auténticas. La relevancia de su iniciativa no tiene parangón, en tanto que puede, y debe. considerarse como el antecedente más remoto de los actuales ordenadores.

Ejemplar de PASCALINA, conservado en el *Musée des Arts et Métiers.* París.



En esa misma época propuso Pascal un experimento que acabó revolucionando la ciencia, al probar con el barómetro de mercurio que el aire pesaba y que por tanto existía la presión atmosférica, comprobando que su valor era inversamente proporcional a la altitud del lugar. A raíz de entonces pudo realizarse la nivelación barométrica y evaluar de manera global el relieve terrestre. Tras la conclusión del experimento hizo Pascal una declaración trascendental a ese respecto: « Le moyen de cognoistre si deux lieux sont en mesme niveau, c´est à dire ésgalement distants du centre de la terre, ou lequel des deux est le plus esleué, si esloignez qu´ils soient l´un de l´autre, quand mesmes ils seroient Antipodes, ce qui seroit comme imposible par tout autre moyen». Otra de las consecuencias, no menos relevantes de dicho experimento, fue la constatación de la existencia del vacío, una cuestión controvertida que a partir de entonces comenzó a dejar de tener sentido. En realidad, el que realizó el experimento fue Florin Perier, cuñado de Pascal, siendo este quien se lo encargó al escribirle la carta del 15 de noviembre de 1647; rogándole en ella que midiese la altura marcada por el barómetro colocado tanto en la ciudad de Clermont como en el Puy de Dôme, próximo a la misma: «…l´ay beaucoup estimé mon bon-heur d´avoir en cette occasion rencontré l´un & l´autre, puis que nostre ville de Clermont est au pied de la haute montagne du Puy de domme, & qui l´espere le vostre bonté, que vous m´recorderez la grace d´y couloir faire vous mesme cette experience…».

Vista de Clermont – Ferrand y Puy de Dôme

Experiencia barométrica en el Puy de Dôme ell 19 de septiembre de 1648. Aparecen Florin Périer, La Ville, Bégon, Mosnier, canónigo de la catedral y Laporte, doctor en medicina.

Aunque tardara un poco en realizar el encargo, procedió a ello durante en la segunda quincena del mes de septiembre de 1648, dando cuenta de las observaciones efectuadas en la carta que escribió a Pascal, el día 22 de ese mismo mes. Comenzó su relato señalando que el sábado 19 había podido ascender a la montaña, después de un mes de espera, acompañado de varios eclesiásticos y seglares. Previamente había envasado el mercurio en varios recipientes herméticamente cerrados y efectuado durante su mañana las primeras lecturas barométricas en los jardines de la residencia que tenían los Padres Mínimos en Clermont, localizada en la parte más baja de la ciudad, resultando que el mercurio había alcanzado una altura de 26 pulgadas y 3.5 líneas. Iniciaron después el ascenso a la cumbre del Puy de Dôme, a unas 500 toesas por encima de la ciudad, comprobando que la altura del mercurio era menor: 26 pulgadas y 2 líneas, resultando: «qu´ainsi entre les hauteurs du vif argent de ces deux experiences, il y eut trois pouces une ligne & demi de difference, ce qui nous ravit tous d´admiration & d´estonuement, & nous surprit de telle sorte, que pour nostre satistaction propre, nous volumes la repeter». A todo ello añadió que había repetido las observaciones en cinco lugares del entorno de la cumbre, obteniendo siempre el mismo valor de 23 pulgadas y 2 líneas. Durante el descenso volvieron a medir la altura del mercurio, viendo que alcanzaba las 25 pulgadas, coligiendo fehacientemente que su valor dependía de la altitud del lugar. Cuando regresaron a la residencia de los Mínimos, comprobaron como el barómetro, que habían

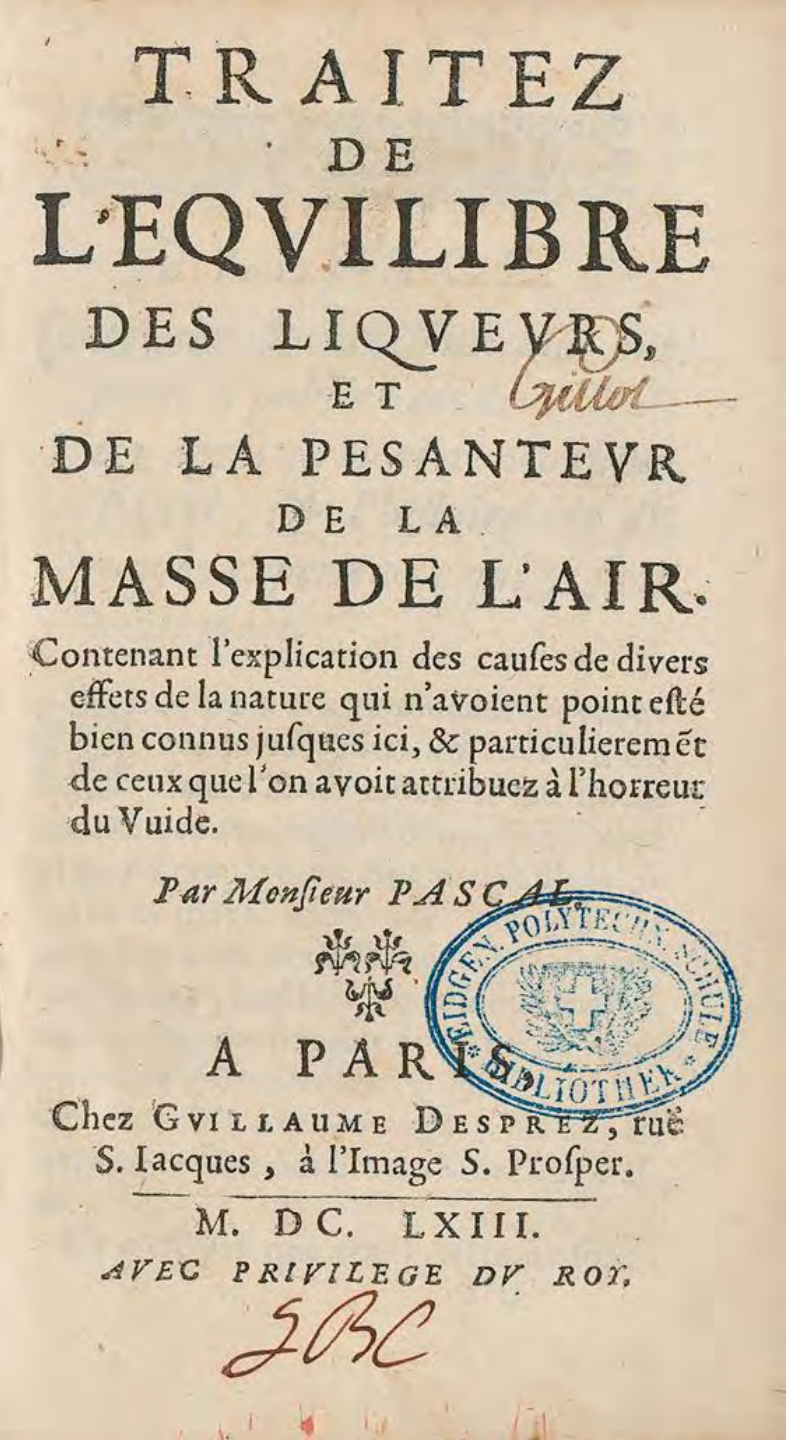
Experimento barométrico en Puy de Dôme, para comprobar la relación entre la presión atmosférica y la altitud. Óleo de Ernest Board (1877-1934). La longitud del tubo era de 4 pies.

dejado instalado en sus jardines, seguía marcando la misma altura de 26 pulgadas y 3.5 líneas. El cuñado de Pascal refirió además otras observaciones que habían realizado en diferentes lugares de la ciudad, con idéntica altura de 26 pulgadas y tres líneas; destacando la efectuada al pie y sobre la torre más alta de la catedral (unas 20 toesas), con una lectura de 26 pulgadas y 1 línea en la parte superior, unas 2 líneas que la correspondiente al pie de la misma. La carta finalizaba asegurando que las lecturas del mercurio siempre se habían obtenido muy exactamente, pero que la fiabilidad de las altitudes de los lugares en que habían estacionado el barómetro era menor.

Pascal recibió con agrado la carta de F. Périer, pues vio confirmada su sospecha, de que la altura del mercurio estaba relacionada con la altitud, y podía repetir en París las medidas de aquel en la catedral de Clermont. El lugar elegido por B. Pascal fue la torre de Saint Jacques, cuando aún estaba unida a la iglesia de igual nombre destruida durante la revolución (se dice que la torre quedó intacta como homenaje a Pascal). He aquí la reseña de la carta y de la medida efectuada, que hizo el propio protagonista: «Cette relation ayant éclaircy…, je ne dissimule pas que j´en receus beaucoup de satisfation, & y ayant veu que la difference de vingt toises d´elevation, fait-soit difference de deux lignees à la hauteur du vif argent, & que fix à sept toises en faisoient

Experiencia de Blaise Pascal con el barómetro de mercurio en lo alto de la Torre Saint Jacques la Boucherie de Paris.

La torre de Saint Jacques fue restaurada completamente en 1855, abriendo cuatro puertas en su base para permitir el paso de carruajes. Dos años después, se colocó en su centro una estatua de Blaise Pascal, en la que destaca el barómetro con el que hizo las medidas, tanto en el pie como en la terraza de la torre.



TRAITEZ
DE
L'EQVILIBRE
DES LIQVEVRS,
ET
DE LA PESANTEVR
DE LA
MASSE DE L'AIR.

Contenant l'explication des causes de divers effets de la nature qui n'avoient point esté bien connus jusques ici, & particulierem ẽt de ceux que l'on avoit attribuez à l'horreur du Vuide.

Par Monsieur PASCAL.

POLYTECH. SCHULE
BIBLIOTHEK

A PARIS,
Chez GVILLAUME DESPREZ, ruë S. Iacques, à l'Image S. Prosper.

M. DC. LXIII.
AVEC PRIVILEGE DV ROY.

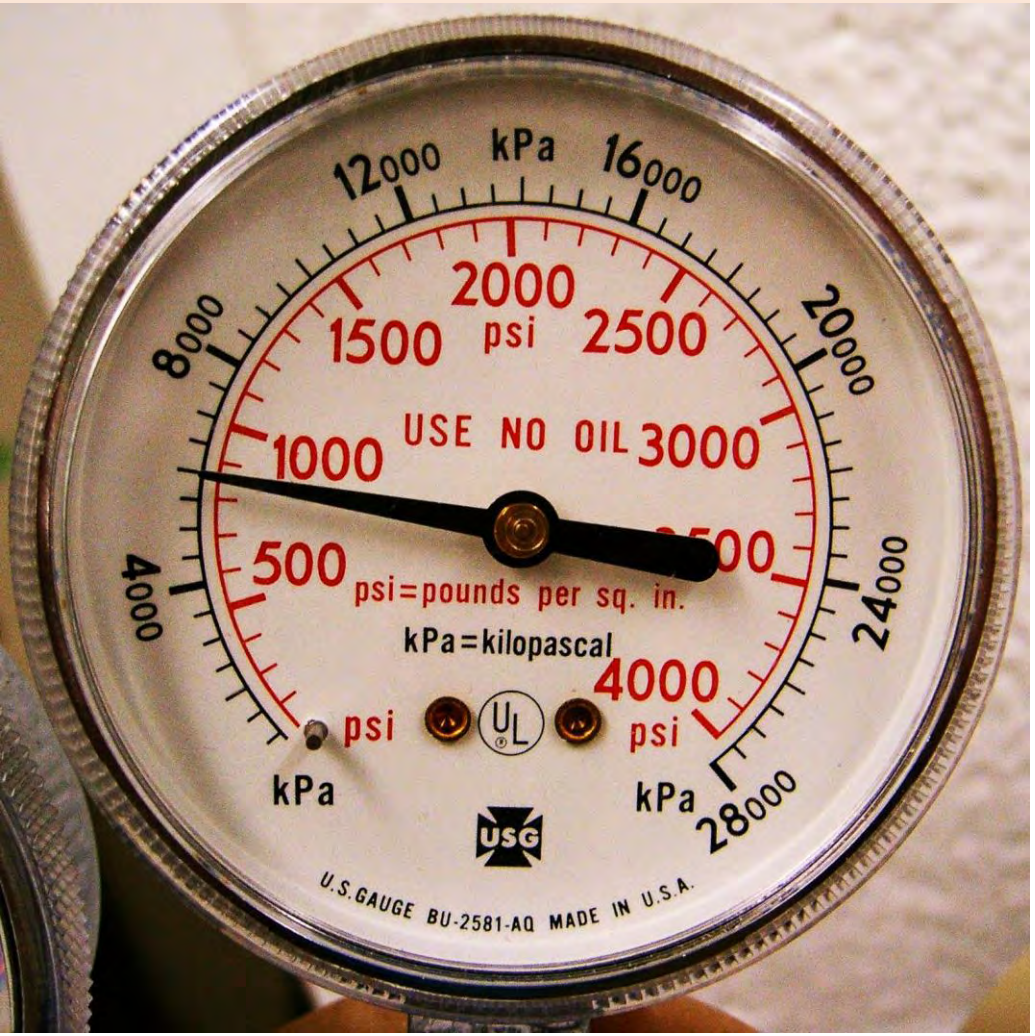
environ demy ligne, ce qu´il m´estoit facile d´éprouver en cette Ville, Ie fis l´experience ordinaire du Vuide au Haut & au bas de la tour de S. Iacques de la Bouchaerie, haute de 24 a 25 toises, je trouvay plus de deux lignes de difference à la hauteur du vif argent, & ensuite, je la fis dans une maison particuliere haute de 90 marches, ou je trouvay tres sensiblement demy ligne de difference, ce qui se rapporte parfaitement au contenu en la relation de Monsieur Perier. Tous les curieux le pourront éprouver eux-mesmes quand il leur plaira». Pascal valoró tanto los resultados obtenidos, tanto por él como por su cuñado, que decidió publicar un opúsculo de 20 páginas, para comentar los detalles básicos de aquella operación: *RÉCIT DE LA GRANDE Expérience de l'Équilibre des Liqueurs. Projectée par le Sieur B. P. Pour l'accomplissement du Traicté qu'il a promis dans son abbrégé touchant le Vuide. Et faite par le Sieur F. P. en une des plus hautes montagnes d'Auvergne.* Paris.1648.

El tratado anunciado no se hizo publico en vida de Pascal, aunque apareciese en 1663, a título póstumo, la obra *Traitez de l´Equilibre des Liqueurs et de la Pesanteur de la Masse de l´Air*, preparada precisamente por su cuñado F. Perier, a la sazón Consejero de su Majestad en el Tribunal de Aydes de Clermont-Ferrand; contando para ello con el privilegio real otorgado el 8 de abril de ese mismo año. Perier indicaba en el prefacio del libro que, al haberse extraviado el tratado original de Pascal, había creído oportuno dar a conocer las cuestiones a las que dedicó tanto tiempo su autor; recopilando diversos

trabajos al respecto, que permitieron estructurarlo en dos partes bien diferenciadas: «l´un est intitulé De l´Equilibre des Liqueurs; & l´autre, De la Pesanteur de la masse de l´Air»; constamndo la primera de siete capítulos y la segunda de nueve.. No obstante, Perier incorporó el texto del folleto anterior, así como ocho tablas sobre diversas cuestiones y una relación de las observaciones barométricas efectuadas por él en Clermont durante el trienio ¡649, 1650 y 1651; junto a las de otros operadores en París, Inglaterra y Suecia. Únicamente se comentará, por su singularidad, el contenido del capítulo noveno de la segunda parte, titulado: *Combien pese la masse entiere de tout l´Air qui est au monde*. En él, afirmaba Pascal que la experiencia enseñaba como, a nivel del mar, el aire pesaba como el agua, a la altura de 31 pies y dos pulgadas, aunque pesara menos en los lugares con una cierta altitud. Recordaba después las observaciones efectuadas en Puy de Dôme: «Or nou savons veu que l´Air qui est au dessus des montagnes hautes de 500 toises sur le niveau de la mer, pese autan que l´eau à la hauteur de 26 pies, 11 pulgadas». Concluyendo después de otras reflexiones que «il faut considerer toute la masse de l´Air en l´estat libre où elle est, de la meme sorte que si elle eust esté autrefois comme une masse d´eau de 31 pies de haut à l´entour de toute la terre». A continuación, procedió a efectuar los correspondientes cálculos, partiendo de una Tierra

Blaise Pascal con diversos instrumentos: barómetros, transportador, compás y nivel de agua. Hippolyte Flandrin. 1844.

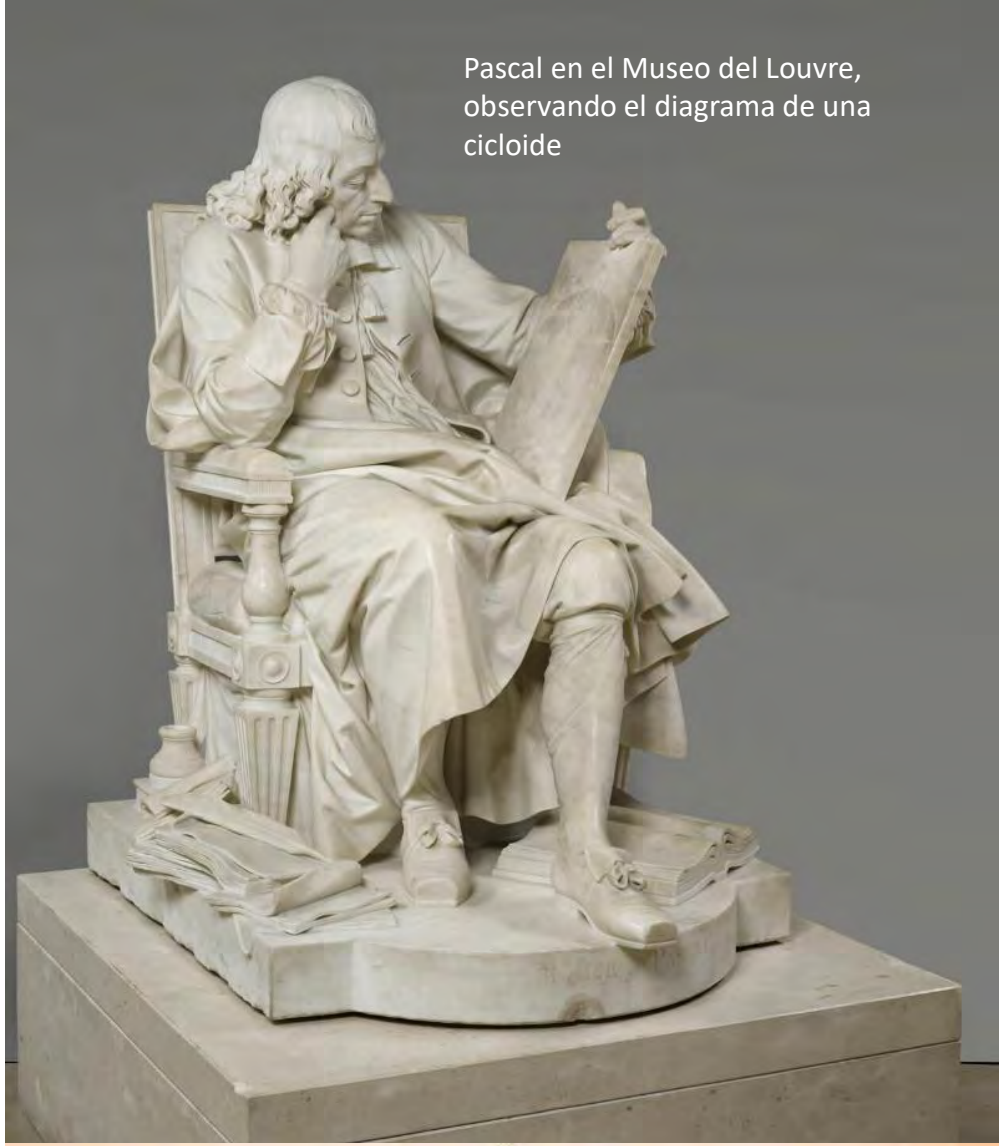
Manómetro para Oxígeno. La escala negra indica kilopascales.



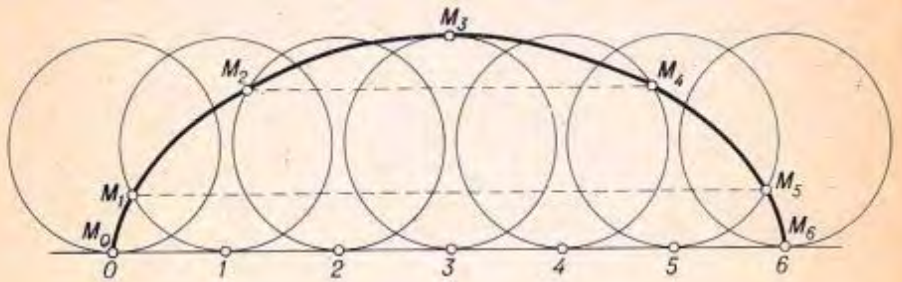
esférica en la que el desarrollo lineal de un grado media 50000 toesas (alrededor de 97.245 km); siendo evidente que la esfera elegida por Pascal era menor de lo debido (en una esfera de radio 6371 km, el desarrollo del grado sería de unos 111.195 km). Por otro lado, también se puso de manifiesto el caos metrológico imperante, al señalar que las leguas en los alrededores de París eran de 2500 toesas, de modo que un grado equivaldría a 20 leguas, pero que en otros casos las leguas eran de 2000 toesas; resultando grados de 25 leguas. Inmediatamente después fijó el perímetro de la Tierra en 7200 leguas (es decir que optó por la legua de París, sin justificar su elección), resultando un diámetro de 2291 leguas (suponiendo que $\pi = 22/7$). Calculó también la superficie de la esfera, multiplicando el perímetro de la circunferencia máxima por su diámetro, obteniendo 16 495200 leguas cuadradas. Teniendo en cuenta que la toesa tenía 6 pies y que un prisma de agua con un pie cuadrado de base y 31 pies de altura pesaba 2232 libras, dedujo que la masa del aire que rodeaba a la Tierra pesaba 828388944000000000 libras. Las investigaciones hidrostáticas de Pascal fueron reconocidas otra vez en el siglo pasado, cuando la XIV Conferencia de Pesas y Medidas (octubre de 1971) decidió incorporar al Sistema Internacional de Unidades la nueva unidad que lleva su nombre; definiéndola como la presión ejercida por una fuerza de un newton que actúa perpendicularmente sobre una superficie de un metro cuadrado, es decir 1 Pa = N/m^2 = Kg/ms^2.

Triángulo de Pascal

Las contribuciones matemáticas de Blaise Pascal fueron punto y aparte, además de su estudio sobre las cónicas, cabe recordar su tratado sobre el triángulo aritmético, escrito en 1654 y publicado a título póstumo en 1665, y la aplicación del mismo con relación a los coeficientes binomiales; en la que se apoyaría Newton para enunciar su celebrado teorema general del binomio. También han de valorarse muy positivamente sus aportaciones a la teoría de la probabilidad, sentando sus fundamentos durante la correspondencia que mantuvo con P. Fermat, así como su último trabajo sobre la cicloide (Curva descrita por la circunferencia que gira sobre una línea recta); permanentemente recordado en una de las estatuas que representa al genio en el Museo del Louvre.



Pascal en el Museo del Louvre, observando el diagrama de una cicloide



Generación de la cicloide

MONUMENTO A BLAISE PASCAL EN SU CIUDAD NATAL.

Fue inaugurado el 4 de septiembre de 1880. En la actualidad ha perdido la práctica totalidad del zócalo que la soportaba.

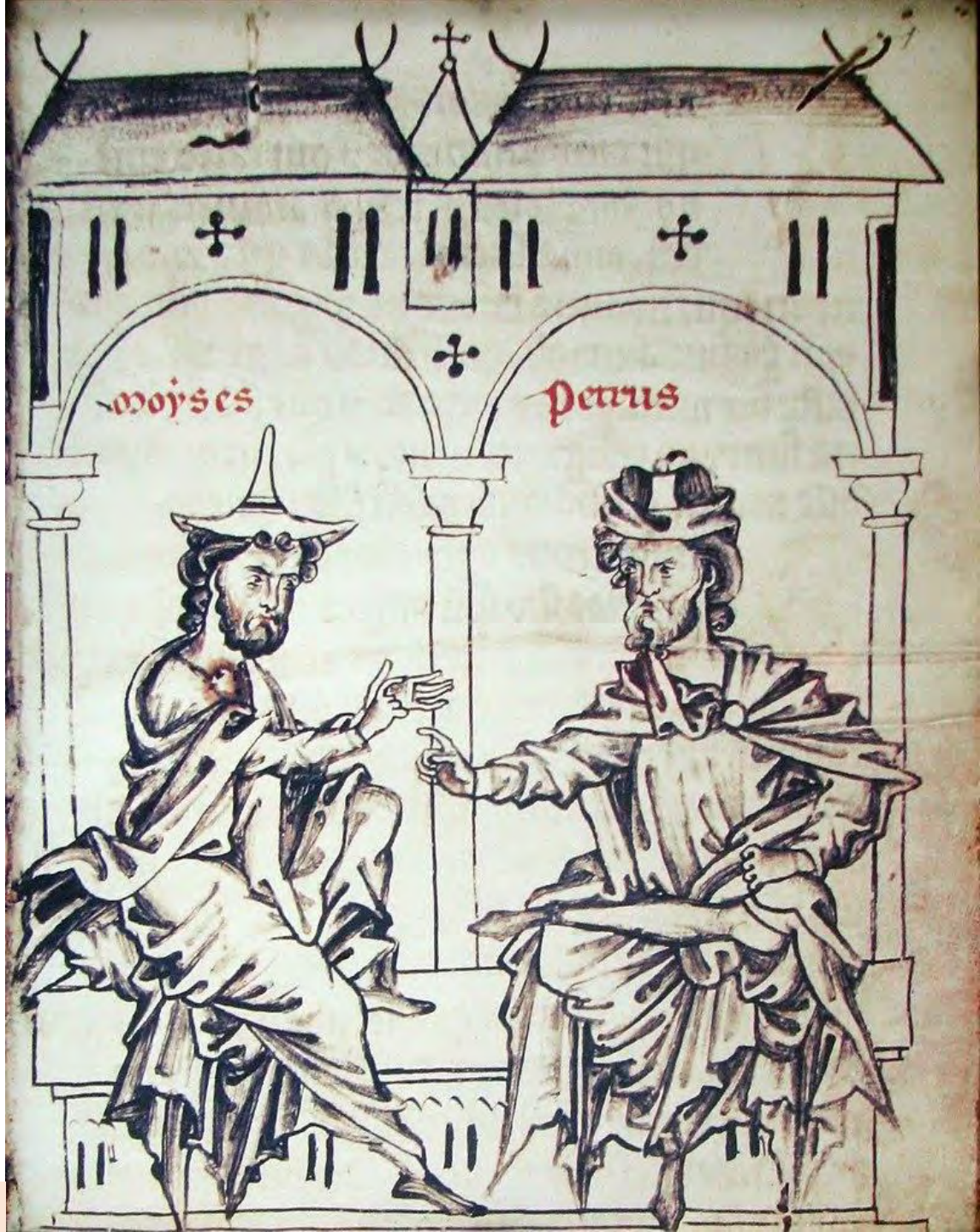
1493

Pedro Alfonso (1062-1140)

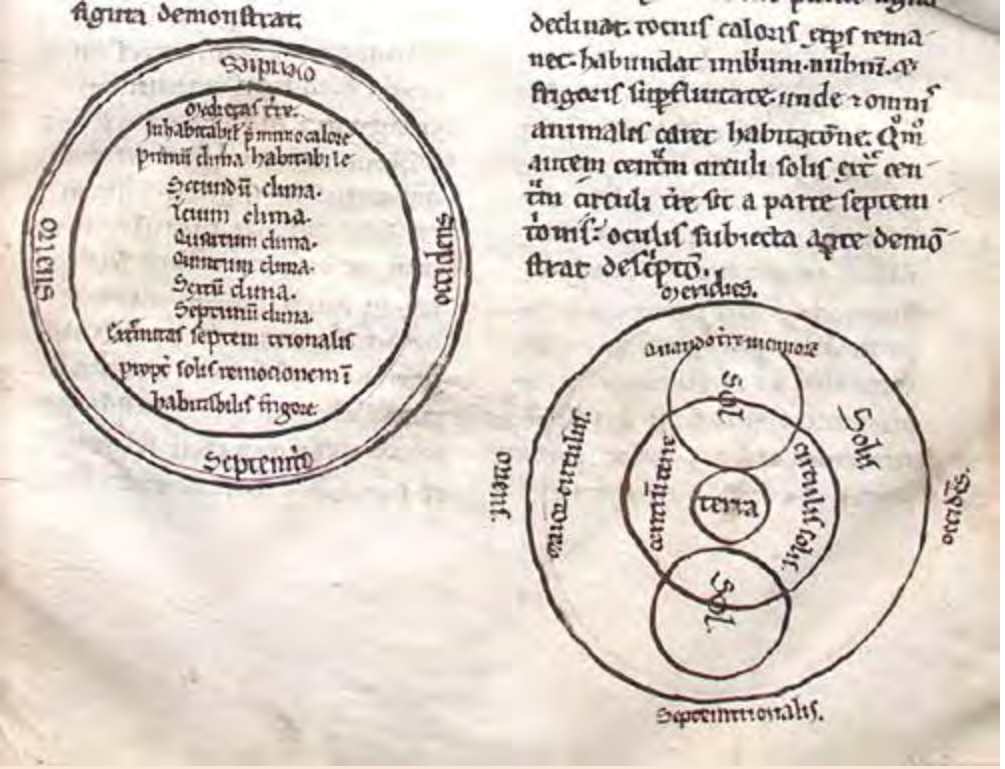
Médico sefardí y oscense que fue astrónomo afamado, contribuyendo con sus enseñanzas al desarrollo cultural en la Europa del siglo XII. Nació en el seno de una familia judía que le puso de nombre Moisés, manteniéndolo hasta que en el año 1106 decidió convertirse al cristianismo; siendo bautizado como Pedro Alfonso. El nombre no fue casual, pues la ceremonia se celebró coincidiendo con la onomástica del santo y el padrino fue el propio rey Alfonso I el Batallador, su principal mentor. Como era de esperar su conversión fue muy criticada por sus antiguos correligionarios, los cuales llegaron a tacharlo de traidor e ignorante de la ley, un hecho que explica por si mismo que escribiese en su defensa su archiconocido diálogo contra los judíos; P. Alfonso no solo criticó la religión judía, sino que también lo hizo con la islámica, pues estaba al tanto de todos sus preceptos. Una de las versiones latinas fue la siguiente: *Dialogi, in quibus impiae iudaeorum opiniones evidentissimis cum naturalis tum caelestis philosophiae argumentis, confutantur, quaedamque prophetarum abstrusiora loca explicantur (Dialogus Petri cognomento Alphunsi, ex iudaeo christiani, et Moysi Iudaei)*, cuya traducción podría ser la siguiente: *Diálogos en los que se refutan las opiniones impías de*

los judíos con los argumentos más evidentes de la filosofía natural y celestial, y se explican algunos de los pasajes más abstrusos de los profetas. Los dos interlocutores fueron el propio autor (Pedro Alfonso) y su otro yo sefardita, (Moisés); al que se refirió en estos términos: «Desde la tierna edad de mi infancia tuve cierto amigo perfectísimo muy unido a mí, de nombre Moisés, el cual había sido mi compañero y condiscípulo desde la primera edad».

Aunque en el contenido del Diálogo (o Diálogos, pues figuran doce) primaran las cuestiones religiosas, fueron numerosas las reflexiones de otro tipo que fueron incluidas y que evidenciaron la condición de erudito del protagonista. Múltiples referencias así lo manifiestan, de una u otra forma, como por ejemplo la que realizó en 1992 el profesor y sacerdote José González Luis en su artículo *El Dialogus de Pedro Alfonso* (Universidad de la Laguna): «En este aspecto incorpora al debate nuestro autor una tal cantidad de conocimientos de origen variado, sea del campo de la astronomía, geografía, meteorología, antropología, psicología, sea de investigación lingüística, historia, filosofía, etcétera, que su diálogo se convierte en venero de



Copia del Diálogo, datada en el siglo XIII. Bruges, *Grootseminarie Ten Duinen*, Manuscript 26/91

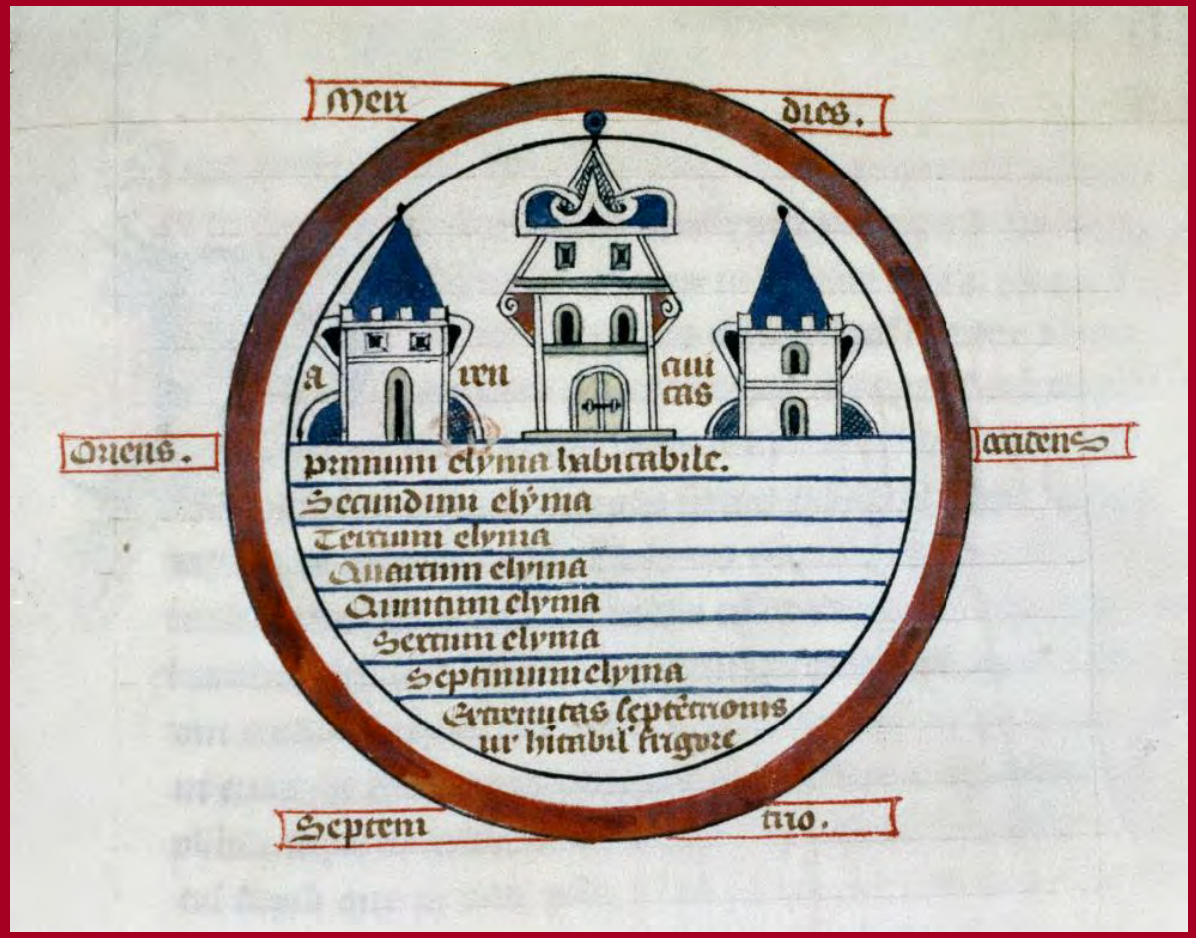


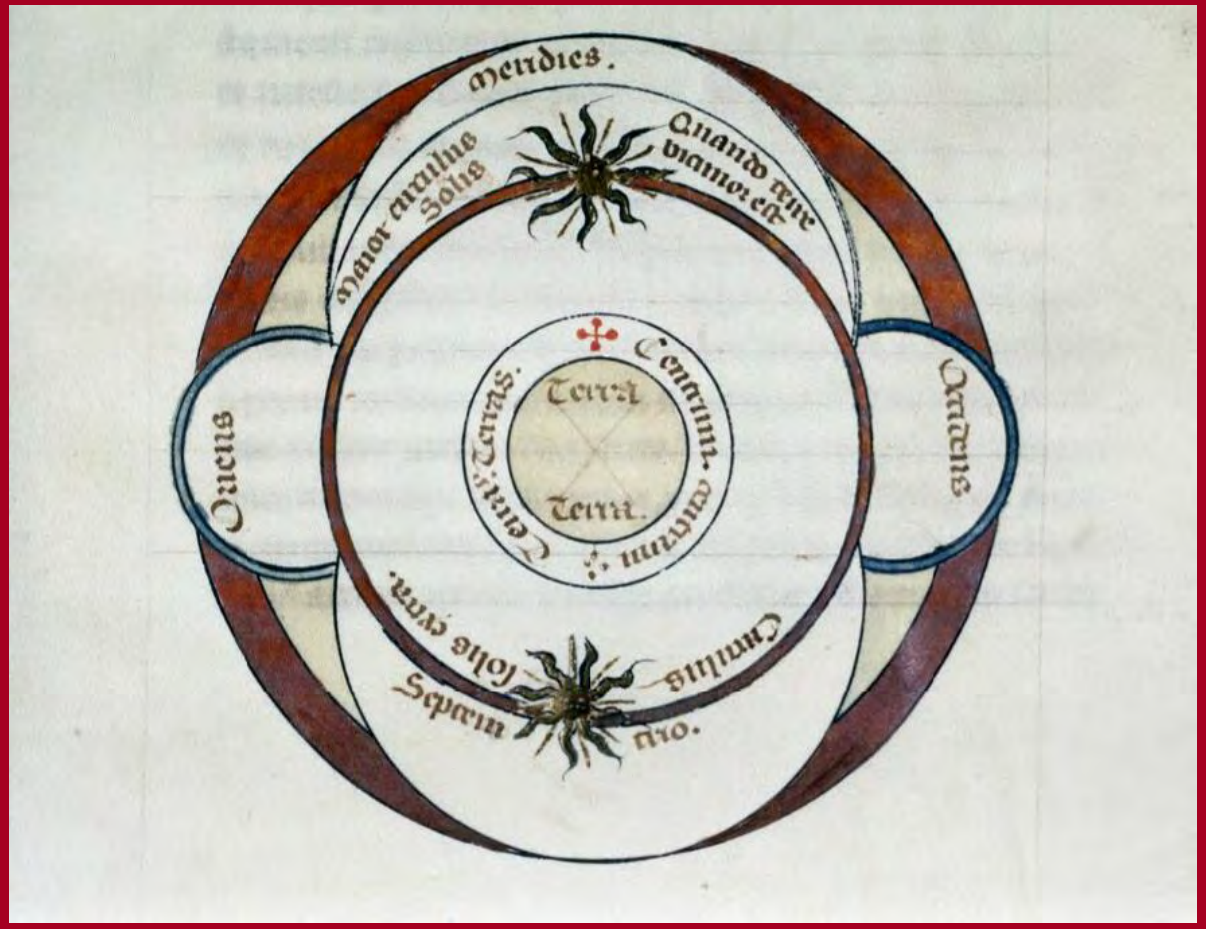
Dialogus adversus Judaeos, principios del siglo XIII. *MSD11. St. John´s College* de la Universidad de Cambridge.

conocimientos». De hecho, las ilustraciones que suelen acompañar a los diversos manuscritos de la obra también hacen patentes los conocimientos científicos del autor. Junto a estas líneas se reproducen dos diagramas de la Tierra, mostrando el de la izquierda los siete climas clásicos en donde se hallaban las zonas habitadas, en vueltas por el océano primigenio, en donde se marcaron las cuatro direcciones cardinales: *Meridies, Occides, Septentrionalis, Orient*; situando el Sur en la parte superior, por la influencia islámica. El otro diagrama es más astronómico que geográfico, pues representa el movimiento relativo y diurno del Sol alrededor de la Tierra; mediante una especie de proyección ortográfica geocéntrica, marcando las posiciones del Sol al pasar por el meridiano (esa segunda imagen se presta a la confusión, ya que en la mayoría de los lugares solo es visible la culminación superior del Sol; solo en las regiones del círculo polar podrían divisarse las dos en los días en que el Sol diese la vuelta por el círculo del horizonte). En la página siguiente se presentan, por separado, dos imágenes análogas a las de esta, las cuales ilustran el manuscrito *Dialogi duodecim cum Moyse Judae*, datado en el tercer cuarto del siglo XIV, custodiado en la *Bodleian Library* de Oxford. El mapamundi zonal de unos 9 cm de diámetro, también tiene el Sur en la parte superior y representa en su mitad meridional un esquema de la ciudad de Aren.

No se puede asegurar en qué fecha escribió Pedro Alfonso el Diálogo, aunque debió ser en torno al año 1110, ni donde la hizo, pensando ocasionalmente que bien pudo ser en el norte de Francia o de Inglaterra, países que visitó

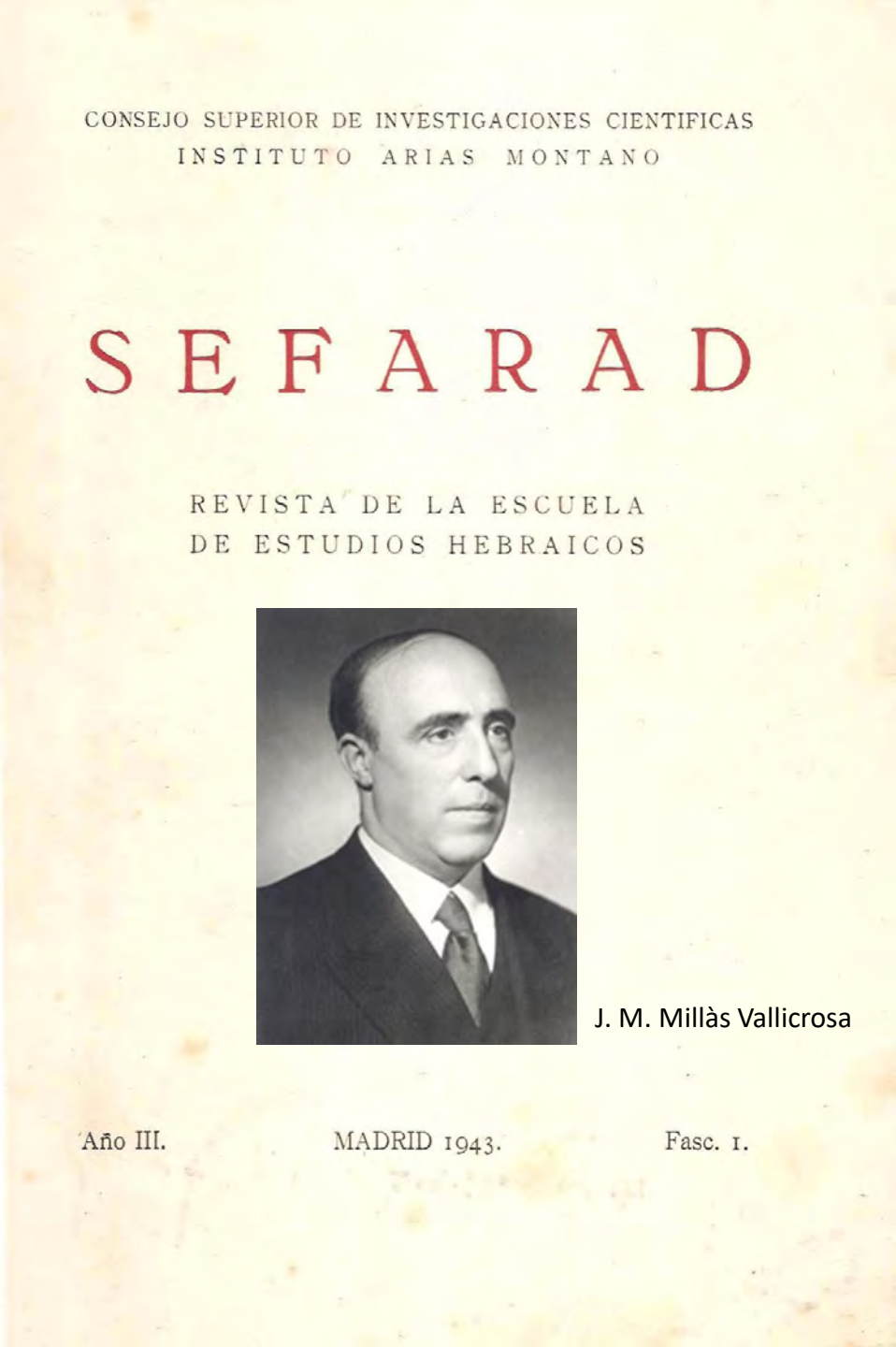
DIALOGI DUODECIM CUM MOYSE JUDIAE Petrus Alfonsus





Bodleian Library (Laud. Misc. 356. fol 120 r)

en esa época y en los que se encuentran la mayoría de las copias manuscritas de esa obra. En Inglaterra parece que fue médico del rey Enrique I y profesor de astronomía de alumnos tan relevantes como Walcher de Malvern o Adelardo de Bath, dándose la circunstancia de que el saber de su maestro fue transmitido, en gran parte, en los escritos de estos. El eminente profesor José María Millàs Vallicrosa, especialista en la figura y obra de P. Alfonsus, reveló en su trabajo *La Aportación astronómica de Pedro Alfonso* (Sefarad. Revista de Estudios Hebraicos y Sefardíes. 1943, pp: 65-105), que el primero de ellos presentó, en el año 1120, el trabajo titulado *Sententia Petri Ebrei, cognomento Anphus, de Dracone, quam Dominus Walcerus prior Maluernisis ecclesie in latinam transtulit linguam* (La sentencia de Pedro el judío, apellidado Anphus, sobre el Dragón, que el señor Walcerus, prior en la iglesia de Maluernis, tradujo a la lengua latina). La obra en cuestión fue una especie de tratado en el que explicó principalmente el modo de hallar la posición del Sol, la Luna y sus nodos, con vistas al cálculo de los eclipses; con la particularidad de que hizo alusión a las tablas astronómicas de al-Jwarizmi, que había traducido Pedro Alfonso, y a las consultas sobre cuestiones astronómicas que hizo a este, al que consideraba su maestro. Entre dichas cuestiones debió figura el problema de la longitud, pues el oscense ya sabía que la diferencia de longitudes entre dos lugares equivalía a la diferencia entre las horas


CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS
INSTITUTO ARIAS MONTANO

SEFARAD

REVISTA DE LA ESCUELA
DE ESTUDIOS HEBRAICOS

J. M. Millàs Vallicrosa

Año III. MADRID 1943. Fasc. 1.

Dios creando el Sol, la Luna y las estrellas del firmamento. Jan Brueghel el joven

respectivas, y que estas podrían determinarse observando simultáneamente un eclipse desde dichos lugares; el propio Walcher había observado mientras estuvo en Italia varios eclipses, y que uno lunar observado allí poco antes del amanecer, se había visto en Inglaterra en mitad de la noche. Millàs Vallicrosa resumía magistralmente el resto de las cuestiones de cálculo cronológico o astronómico expuestas por Walcher: «bástenos poner de relieve el magisterio directo de Pedro Alfonso sobre Walcher, las fuentes árabes de la doctrina astronómica que profesaba sobre el movimiento del sol y de la Luna especialmente, así como las teorías entonces adoptadas para explicar la duración del año trópico y el movimiento de los equinoccios, es interesante advertir las reacciones que esta nueva ciencia astronómica, enseñada por Pedro Alfonso, provoca en su discípulo Walcher, así como las dificultades que en la mente del discípulo surgían al notar la discrepancia entre dicha ciencia oriental y el viejo sistema de cronología y cosmografía de tradición latino-eclesiástica que hasta entonces se había empleado en el Occidente europeo».

En el mismo artículo del ilustre profesor y traductor gerundense se citan dos manuscritos más, uno del Corpus Christi College de Oxford y otro del British Museum (Arundel 270), que guardan relación con Pedro Alfonso, en tanto que ambos contienen el pasaje: *Dixit Petrus Aufulsus, seruus Ihesu Xristi, translator huius libri*…; cuyo desarrollo sirve de introducción o presentación de las Tablas de al-Jwarizmi. Su texto es una especie de carta dirigida a los

franceses interesados en el estudio de las ciencias, señalando qué de todas las artes, la astronomía es de la más útil pues «la misma medicina depende de ella, ya que la Astronomía estudia el curso del tiempo, del cual los seres creados y los mismos organismos vivos tanto dependen». Pedro Alfonso alegaba que él había cultivado esos estudios con toda diligencia, pudiendo ofrecerles el tesoro de su experiencia, «no sea qué a los aludidos estudiantes, fijándose de la fama de algún maestro o de algún autor, por ejemplo, Macrobio, les falte dicha base experimental que es tan necesaria». Apuntaba luego Millàs Vallicrosa que ese texto podría haber sido escrito por el oscense hacia el año 1120, después de abandonar Inglaterra, y que después de él seguiría el verdadero prólogo de su obra astronómica. El autor comenzó haciendo el canto de rigor a la divina creación, que adornó los cielos con sus astros y ángeles, y la Tierra con los diversos géneros de plantas y animales; mencionado a continuación la influencia de los seres celestes sobre las criaturas terrestres, como «se puede ver en los efectos del curso del Sol y en los cambios que produce según se mueva de un equinoccio a otro o de uno a otro solsticio». Proseguía el relato con una curiosa referencia al fenómeno de las mareas, asociado a «los cambios producidos por el curso de la Luna», y a los meteorológicos, como el viento y las lluvias.

Frontispicio de la obra de Macrobio, el cual aparece recostado. En parte superior figura un sabio explicando los símbolos planetarios, enmarcados por una corona circular; situada esta entre las imágenes del Sol y la Luna. Otro detalle a destacar es el gran globo celeste, con banda zodiacal, y peana. *British Museum.*

La Astronomía. Domenicus Claessens, pintor y grabador flamenco del siglo XVII

Citó después las influencias de otros astros, los planetas, sobre todo, «a pesar de que estas influencias escapan al vulgo de la gente, es el hombre quien las registra y si bien algunas son muy recónditas e inexplicables, ello se debe a nuestra propia limitación». Tras ello, mencionó a las criaturas terrestres, dividiéndolas en racionales e irracionales: otorgándole a las primeras la inteligencia suficiente para conocer la obra del creador y poder ensalzar así el nombre de Dios. Los seres celestes fueron clasificados en espirituales y corporales, siendo el análisis de los segundos el fin último de la Astronomía, clasificándola, de acuerdo con la costumbre de entonces, en las tres partes siguientes: I) La ciencia que estudia la cantidad y forma de los círculos del firmamento, II) La ciencia que estudia el movimiento de los astros y círculos del firmamento y III) La ciencia de las propiedades astrológicas de los círculos celestes. Finalizó esta introducción, reconociendo las fuentes egipcias, persas y árabes en que basó la obra para que superase a las previas: «et quia uolo ut hic liber predutis omnibus clareat». Desgraciadamente solo figuran en esos manuscritos los cuatro primeros capítulos de las Tablas astronómicas de Pedro Alfonso: tratando en el primero de los años y meses empleados por los árabes, mientras que en el segundo se hizo lo propio con sus homólogos persas. Análogamente, en los dos siguientes se comentaron los años y meses latinos, y egipcios. Millàs Vallicrosa hizo sabe que esta obra de Pedro Alfonso debió influir posiblemente en la traducción que realizó su alumno Adelardo de Bath de la obra de al-Jwarizmi; aunque en este caso el trabajo del alumno superase al del profesor. Como colofón de su artículo, izo un merecido elogio del astrónomo de Huesca: «Él

fue uno de los primeros que alzó en Europa el estandarte de la nueva ciencia, de aquella ciencia oriental que sabía proceder por la vía de la observación, que medía matemáticamente los movimientos de los astros, que ofrecía una técnica muy perfecta en sus instrumentos astronómicos: astrolabios, cuadrantes, relojes, etc….En fin, podríamos decir que hallamos en él…los primeros atisbos de una luz que venía a disipar las sombras de aquellos siglos de la alta Edad Media, en los cuales la tradición cultural parecía que estaba amenazada de muerte».

Astrolabio toledano del siglo XI

Cuadrante inglés de 1399

Fragmento de un reloj de Sol

Museo Arqueológico de Córdoba

Jean François Galaup de la Pérouse (1741-1788)

Marino francés experimentado que, entre 1785 y 1788, dirigió una nueva circunnavegación de la Tierra, con un fatal desenlace. La operación fue ambiciosa pues contó con un total de 220 expedicionarios, entre oficiales, científicos y marinería, distribuidos en dos tripulaciones: una a bordo de la fragata *Boussole* y otra a bordo de l´*Astrolabe*; cuyos nombres homenajeaban a dos de los instrumentos más imprescindibles en la práctica de la astronomía náutica. Jean François Galaup, Conde de la Pérouse, pasó su adolescencia en la ciudad de Albi, cursando en el colegio de los jesuitas sus primeros estudios, hasta que en el año 1756 ingresó en la Compañía de Guardiamarinas de Brest. De inmediato comenzó una carrera muy activa, participando en diversas batallas y recorriendo medio mundo. Su primera misión, en 1757, le llevó a Nueva Francia, para aprovisionar el fuerte de Luisburgo, a donde volvería al año siguiente; dando un rodeo por Terranova, para evitar las patrullas británicas. En 1759 fue hecho prisionero por los ingleses y canjeado a finales de 1760. Al estallar la guerra anglo-francesa en 1778, La Pérouse recibió el mando de la fragata *Amazone*, ascendiendo a capitán en 1780; en ese mismo

año formó parte de la *Expédition Particulière* (nombre en clave dado por el gobierno francés al plan de enviar tropas terrestres a América del Norte en apoyo de su revolución), zarpando de Brest el día 2 de mayo. En los años siguientes, continuó navegando y teniendo diversas escaramuzas con la armada inglesa.

Paul Fleuriot de Langle (1744-1787), capitán de la fragata Astrolabio. Falleció en la isla Maouna, perteneciente al archipiélago de Samoa

El interés geopolítico del gobierno de Francia, unido al interés del Rey Luis XVI por las expediciones geográficas y las ciencias naturales , hizo que en 1785 se decidiera organizar un viaje alrededor del mundo análogo a ls que había realizado años atrás el capitán J. Cook. El aspirante mejor situado para dirigir la empresa fue J. F. de la Perouse, ya qué a su valor y habilidad, añadía la experiencia de haber navegado por todos los mares, tanto en tiempo de paz como de guerra. Para llevarlo a cabo se dispusieron dos fragatas: *Boussole* y l´*Astrolabe*, las cuales serían respectivamente capitaneadas por La Pérouse y por Paul Fleuriot de Langle. Para facilitar su cometido, se equipó a los expedicionarios con una extensa biblioteca, en la que pudiesen realizar las consultas que estimasen necesarias, y con los mejores instrumentos científicos de su tiempo; de entre todos ellos sobresalen los que serían usados en las en las observaciones astronómicas, geodésicas y topográficas: 3 cuartos de círculo astronómicos; 1 instrumento de pasos, 3 relojes astronómicos; varios anteojos astronómicos, anteojos nocturnos y anteojos de prisma; 5 relojes marinos; 1 reloj de bolsillo, inglés, o cronómetro para las longitudes; 4 círculos de reflexión de Borda, para observar

Sextante de madera encontrado en el pecio de la fragata *Bussole*

la altura y distancias de los astros; 3 sextantes de reflexión ingleses, para los mismos fines; 4 teodolitos o grafómetros, con y sin anteojo, para medir ángulos en tierra y levantar planos; 2 juegos de cadenas y piquetes para el mismo fin; 1 toesa de acero, con su patrón, la misma que fue usada en Perú; diversos instrumentos para medir la longitud del péndulo; 2 brújulas inglesas, para observar la declinación de la aguja imantada, 2 brújulas de inclinación, proporcionadas por la *Board of Longitude* de Inglaterra, idénticas a las empleadas en el último viaje del capitán Cook; 1 brújula de inclinación, fabricada por Le Dru; varias brújulas más para diferentes usos, tales como minería y otros; varios relojes de arena, de media hora y de medio minuto; una caja con todos los útiles de relojería para resolver posibles incidencias; estuches matemáticos para los astrónomos e ingenieros, y otros instrumentos para la ingeniería y dibujo; numerosos barómetros, termómetros e higrómetros de varios tipos, útiles para diversas experiencias; un espejo ustorio cóncavo con un pie de diámetro.

Como la duración prevista para la expedición era de tres años, se cargaron encada barco 350 barriles de comida, así como 1000 toneladas de equipo y artículos para comerciar en los puertos en que atracaran. La redacción del memorándum sobre las actividades que deberían llevarse a cabo en el transcurso de la expedición, se apoyó en una

El Astrolabio y la Brújula en Hawai. Isla de Maui. 1786

MÉMOIRE

Rédigé par l'Académie des Sciences, pour servir aux Savans embarqués sous les ordres de M. DE LA PÉROUSE.

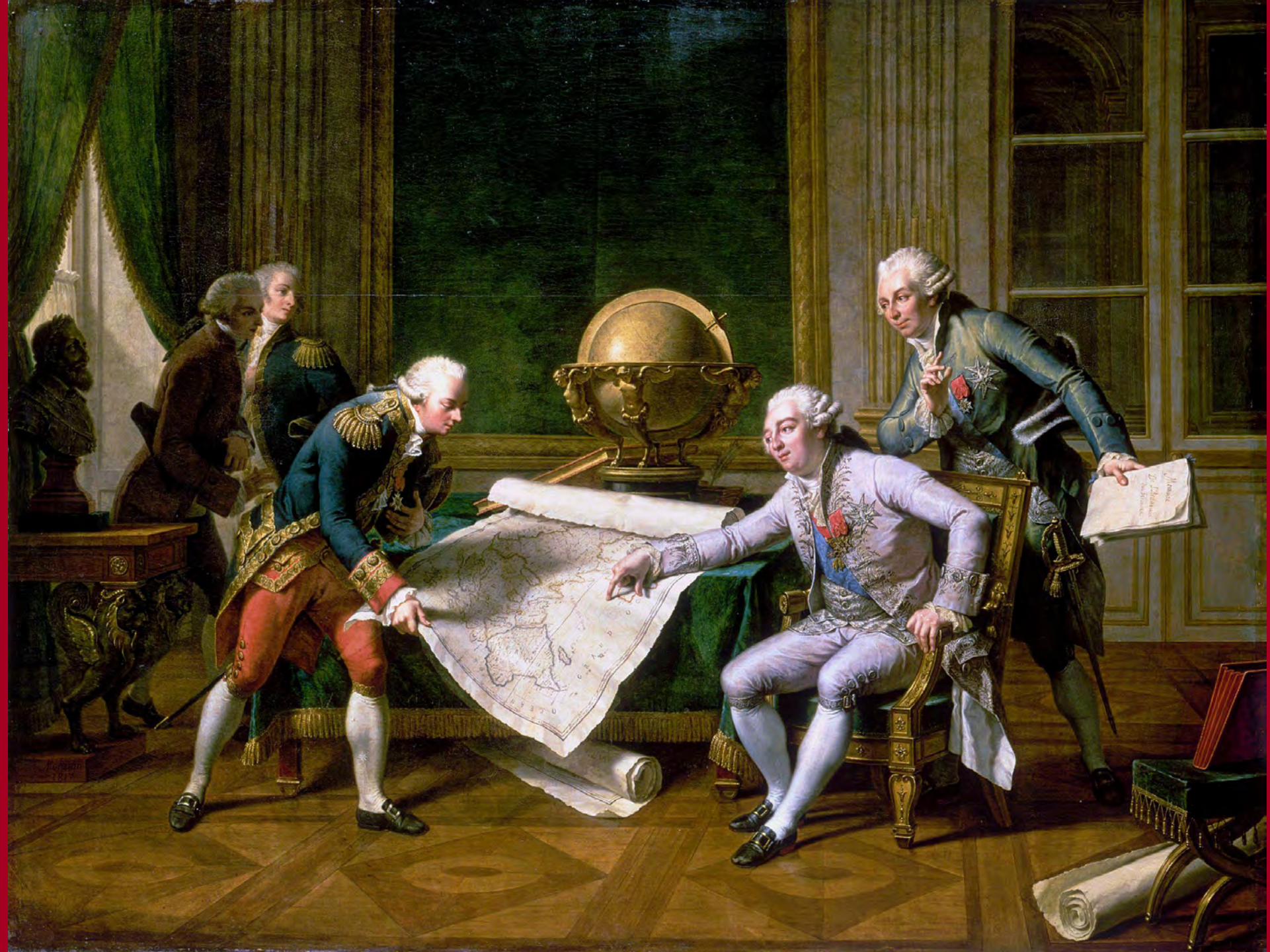
M. LE MARÉCHAL DE CASTRIES ayant demandé à l'académie, de la part du roi, un mémoire où seraient indiquées les observations qu'elle jugerait les plus importantes à faire dans le voyage entrepris, pour le progrès des sciences, autour du monde, l'académie a chargé chacun des premiers pensionnaires de ses différentes classes, de rassembler les mémoires particuliers qui leur seraient fournis par les membres de leur classe respective; elle a

Memoria de la Academia de Ciencias, en la que se indicaron las tareas científicas que deberían ser estudiadas, encuadradas en diversas disciplinas: geometría, astronomía, mecánica, física, química, zoología, mineralogía y botánica; además de un conjunto de informes puntuales presentados por varios académicos, que fueron trasladados a La Pérouse. Entre las muchas cuestiones a observar, destacan en este contexto las siguientes: la necesidad de medir la longitud del péndulo de segundos a diferentes latitudes, a fin de conocer la variación de la gravedad; la determinación de las longitudes geográficas, por medio del método de las distancias lunares o por el de los eclipses (combinado con el empleo de las efemérides astronómicas); la observación de las mareas, ya que se carecía de esa información en muchos de los lugares que se pretendían visitar; la variación e inclinación de la aguja imantada, por resultar esencial para fijar el rumbo de la travesía.

El documento oficial que reguló la expedición fue firmado por el Rey Louis XVI el 26 de junio de 1785: *Memoire du Roi, pour servir d´Instruction particulière au sieur de la Pérpouse, capitain de ses vaisseaux, commandant les frégates la Boussule et l´Astrolabe*. El cual constó de los cinco apartados que se indican a continuación: 1) Plan del viaje o proyecto de Navegación, 2) Objetivos relativos a la

política y al comercio, 3) Operaciones relativas a las ciencias y a las diferentes ramas de la historia natural, 4) Conducta a seguir con los naturales de los diferentes países y 5) Precauciones a tener en cuenta para la conservación del equipaje. El tercer apartado fue un resumen de las recomendaciones efectuadas por la Academia de Ciencias, con la novedad de incluir un pormenorizado encargo topográfico: «El Sr. de la Pérouse hará dibujar mapas exactos de todas las costas e islas que visiten, y si ya hubiesen sido reconocidas, verificará la exactitud de las descripciones y de los mapas hechos por otros navegantes. A tal efecto, cuando se navegue a lo largo de costas y con islas a la vista, las mandará levantar muy exactamente, con el círculo de reflexión o con la brújula,… Empleará oficiales de las dos fragatas y al ingeniero geógrafo, para levantar cuidadosamente los planos de las costas, bahías, puertos y fondeaderos, los cuales deberán de examinar y visitar; añadiendo a cada plano un comentario referido a la aproximación y reconocimiento de la costa, a la entrada y salida de los puertos, …, sondas, calidad del fondo, peligros, roquedos, vientos reinantes, brisas, monzones, …, en fin, todos los detalles náuticos que puedan ser de utilidad para los navegantes. Todos los planos del país, de las costas y puertos, se harán por partida doble; enviándose una copia cada uno de los capitanes comandantes. Al finalizar el viaje, el Sr. de la Pérouse hará entrega de la totalidad de los mapas y planos, acompañados de las descripciones correspondientes».

EL REY LUIS XVI



Luis xvi dando instrucciones al Sr. de la Pérouse, para su viaje alrededor del mundo (1817).

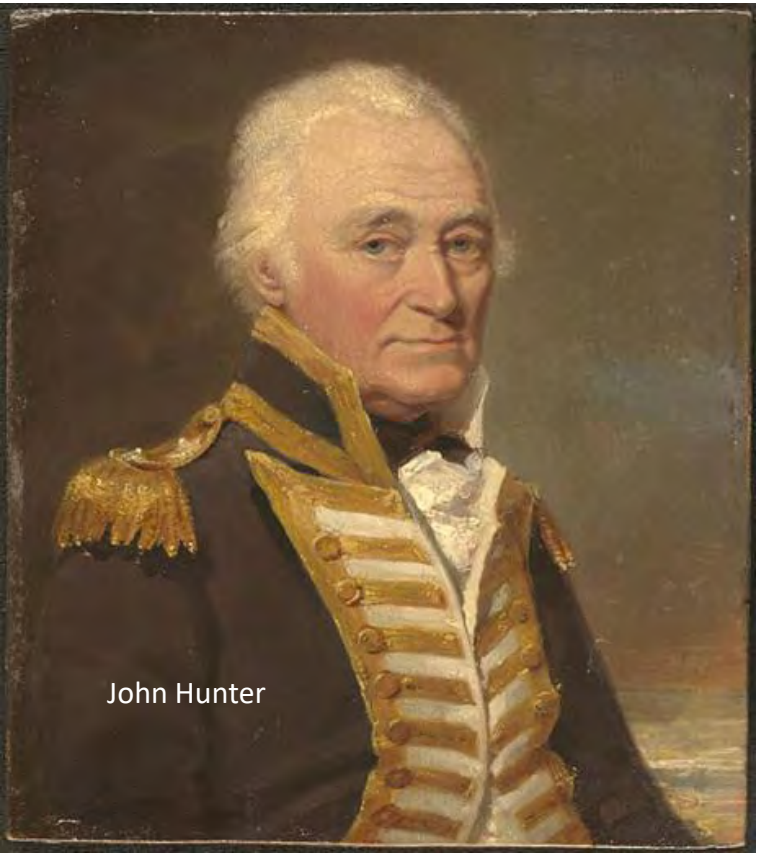
Nicolas André Monsiau (1754-1837).

Jean B. Berthélemy de Lesseps, oficial de la fragata *Boussols.*

Tras recibir en audiencia el encargo real, La Pérouse zarpó de Brest el día 1 de agosto de 1785, el propio comandante dio cuenta de ello al Rey, en los términos siguientes: «Tengo el honor de informar que *La Boussole* y L'Astrolabe partieron a las cuatro de la mañana con viento noroeste. Se ordenó a dos balandras acompañar a los navíos hasta que llegaran a mar abierto». De acuerdo con el plan previsto, se dirigió a Brasil y después de doblar el Cabo de Hornos, hizo escala en Chile, navegó hacia las islas Sandwich y de allí a Alaska, donde viró hacia el sur para explorar y vigilar la costa hasta California. Tras una breve escala en Monterrey, cruzó el Pacífico, descubrió islas inexploradas y visitó Macao y Manila. Tras seis semanas de avituallamiento y refresco, partió el 10 de abril de 1787 para inspeccionar las costas y territorios al norte de Corea, que habían sido descritos por misioneros cristianos. Navegó por el golfo de Tartaria, nombrando varios puntos en sus dos orillas y en septiembre se dirigió a Kamchatka para reabastecerse. Desde allí envió por tierra a París a un oficial, Jean Baptiste Berthélemy de Lesseps, con informes relativos a los dos años de travesía; mientras él se dirigía al sur, hacia Nueva Holanda. En diciembre, en Tutuila (Samoa), los nativos atacaron repentinamente a una partida de L'*Astrolabe* que buscaba agua y mataron a su capitán y a otras once personas. La Pérouse se marchó sin tomar represalias y navegó por las islas del Pacífico hasta la isla de Norfolk y la bahía de Botany. Fue avistado frente a la costa el 24 de enero de 1788, pero el mal tiempo le

Monumento a La Pérouse en la Bahía Botany , en la costa sudeste de Australia.

impidió entrar en la bahía durante dos días; no obstante, John Hunter capitán de la fragata inglesa Sirius ayudó a La Pérouse a fondear; dándose además la circunstancia de qué gracias a él, pudo enviar a Europa sus diarios, cartas y mapas. La Pérouse estableció un campamento en la costa norte, que ahora lleva su nombre, y mantuvo buenas relaciones con los ingleses durante su estancia de seis semanas. Zarpó el 10 de marzo y no se volvió a saber de él.



John Hunter

Su desaparición llevó al gobierno francés, en 1791, a equipar otra expedición al mando de marino Antoine Bruni d'Entrecasteaux para buscarlo, pero la búsqueda fue infructuosa; a pesar de que sus dos fragatas *La Recherche y L´Espérance* inspeccionaron la zona de las islas de Salomón, en donde tuvo lugar el naufragio (concretamente en las de Vanikoro), al Noreste de Australia.

Afortunadamente, la Pérouse tuvo la precaución de enviar a Francia la información geográfica y de todo tipo que fue recopilando, primero por medio de Lesseps y luego a través de Hunter, es como si hubiese presentido el trágico

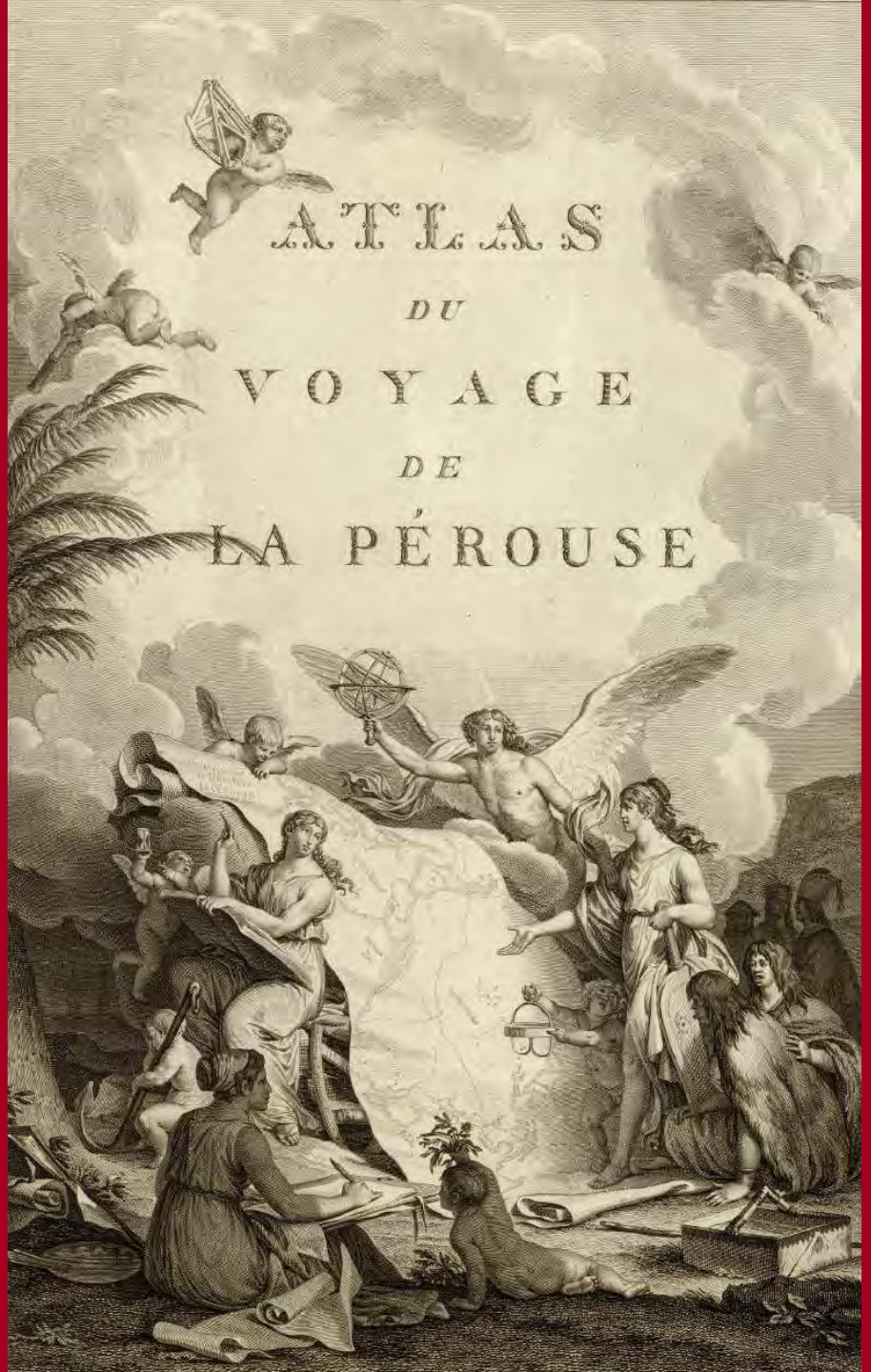
Monumento al conde de la Pérouse en la bahía *Botany*. Fue erigido, en 1825, por los marinos franceses: Bougainville, comandante de la fragata Thetis, y por Ducampier, capitán de la corbeta Esperanza.

final que iban tener todos los expedicionarios. Análoga reflexión cabría hacer a propósito de que el propio diario de la expedición fuese escrito antes de su regreso a París: « Si l´on imprime mon journal avant mon retour, que l´on se garde bien d´en confier la rédaction à un homme de lettres, ou il voudra sacrifier à une tournure de phrase agréable, le mot propre qui lui paraîtra dur et barbare, celui que le marin et le savant préféreraint et chercheront en vain; ou bien, mettant de cotée tous les détails nautiques et astronomiques…il commettra, par la défaut de connaissances que son éducation ne lui aura pas permis d´acquérir, des erreurs qui deviendront funestes à mes successeurs: mais choisissez un rédacteur versé dans les sciences exactes, qui soit capable de calculer, de combiner mes données avec celles des autres navigateurs, de rectifier les erreurs qui ont pu m´échapper, de n´en point commettre d´autres».

El deseo de La Pérouse se vio cumplido cuando la, recién ceada, Asamblea Nacional decidió que el redactor sería el general Louis Marie Antoine Destouff, Barón de Milet-Mureau, el cual decidió que el título de la obra debería ser *Voyage autour du monde*, ya que, aunque la expedición no volvió a puerto francés, la vuelta al mundo se produjo: pues partiendo de Europa, se llegó a China después de

haber doblado el cabo Horn y atravesado el océano Pacífico. El 22 de abril de 1791 decretó dicha Asamblea la publicación correspondiente: «L´Assemblée Nationale décrète que les relations et cartes envoyées par M. De La Pérouse, de la partie de son voyage jusqu´à Botany-Bay, seront imprimées et gravées aux dépens de la nation, et que cette dépense sera prise sur le fonds de deux millions ordonné par l´article XIV du décret du 3 aôut 1790». La obra se compuso finalmente de cuatro volúmenes *in 4º* y un Alas *in folio,* con el título común de *Voyage de La Pérouse autour du monde.* El primero recogió todos los prolegómenos del viaje, incluyendo las comunicaciones e informes de la Academia de Ciencias que le fueron entregados a La Pérouse. El segundo y el tercer volumen, resumieron el diario de operaciones efectuadas durante el viaje, exponiéndose igualmente los resultados de las observaciones astronómicas y meteorológicas; publicándose en el cuarto volumen las memorias e informes enviados al gobierno por los sabios de la expedición. En cuanto al soporte gráfico, he aquí las palabras que le dedicó el redactor de la publicación: «Le nombre, la grandeur et la beauté des gravures et des cartes, m´on determiné à les réunir dans un atlas séparé, et d´un plus grand format». El frontispicio de la obra escrita fue un busto del comandante de la expedición: *Jean François Galaup de la Pérouse, Chef d´Escadre des Armées Navales*. El correspondiente al Atlas, fue una bella composición salpicada de putti que manejan instrumentos matemáticos (cuadrante astronómico, anteojo, brújula y reloj de arena), junto a una figura alada que sostiene una esfera armilar. En el resto del cuadro destacan otras figuras que rodean un gran mapa desplegado, dibujando dos de ellas algunos de los detalles representados en el mismo. Tanto los cuatro volúmenes como el Atlas fueron publicados en el año 1797, cuatro años después de que fuese ejecutado el Rey Luis XVI; el acervo cultural de

Los dos frontispicios de la obra relativa a la expedición comandada por La Pérouse



Miguel de la Grúa y Talamanca, marqués de Branciforte y Capitán General de Canarias

de los franceses defiende que cuando este subía al patíbulo, preguntó si había alguna noticia de La Pérouse.

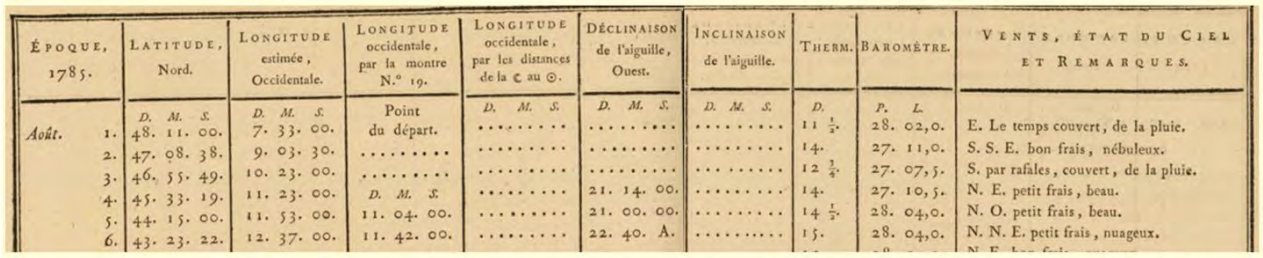
Forzosamente ha de mencionarse, aunque sea brevemente, el paso de La Pérouse por la Isla de Tenerife, tal como se recoge al inicio del segundo volumen de la obra. Su estancia de once días, desde el 20 al 30 de agosto de 1785. Debió ser agradable, a la vista de la frase que le dedicó al Capitán General de Canarias: «M. le marquis de BRANCIFORTE, márechal de Camp et gouverneur général de toutes les îsles canaries, necessa, pendant notre séjour dans sa rade, de nous donner les plus grandes marques d´amitié». Alí llegaron a las tres de la tarde del día 19, montando tres días después un observatorio en tierra firme, desde el que determinaron la marcha de los relojes astronómicos por las alturas correspondientes del Sol y de las estrellas, con objeto de verificar lo más pronto posible el movimiento de los relojes marinos de las dos fragatas; comprobando que el mayor error, pasados cuarenta y tres días (en Brest efectuaron las observaciones semanas antes de zarpar), no llegaba a los 15^{s}. las observaciones gravimétricas con el péndulo simple se efectuaron durante los días 27, 28 y 29 , a fin de poder determinar el valor de la intensidad de la gravedad en diferentes latitudes. Asimismo, se obtuvieron las coordenadas geográficas de Santa Cruz de Tenerife: latitud de 28^{o} 27´30´´ norte y 18^{o} 36´30´´ de longitud al oeste de París; a la vez que observaron las indicaciones de las brújulas de inclinación, pero dudando de los datos observados: «et nous ne les rapportons que pour prover combien cette espèce d´instrument est encore éloignée du point de perfection nécessaire pour mériter la confiance des observateurs». Además de las mediciones anteriores se efectuaron otras topográficas a cargo de Robert Paul de Lamanon, el cual constató que la altura del barómetro en la cumbre del Teide

resultó ser de 18 pulgadas 4 líneas y 3/10; mientras que a la misma hora alcanzaba en Santa Cruz de Tenerife las 28 pulgadas y 3 líneas, manteniéndose constante la temperatura de 9º en lo alto del pico. El resultado no debió de convencer demasiado a La Pérouse, que al ser también consciente de la dificultad para elegir la fórmula más adecuada que proporcionase el valor de la altitud, optó por no hacerlo: «je laissse á chacun la liberté d´en calculer la hauteur. Cette mamiére est si peu rigoureuse, que je préfère les données aux résultats». La Pérouse mencionó también que Paul Mérault Monneron pretendió efectuar una nivelación geométrica desde la playa a la cumbre del Teide, usando para ello un nivel de agua, pero que por poco no pudo conseguirlo, al negarse el personal subalterno a seguir participando en la operación (achacando la falta de agua para las acémilas, que acarreaban el material); así lo puso de manifiesto: «une journée suffirait aujourd´hui pour achever a nivellement, qui peut offrir un résultat plus satisfaisant qu´aucun de ceux qui ont été donnés jusqu´à présent par les différens voyageurs». La Pérouse concluyó su referencia señalando que cuando zarparon en la mañana del día 30 lo hicieron después de haber cargado, en cada fragata, sesenta barricas de vino, procedente de la Orotava.

Robert Paul de Lamanon

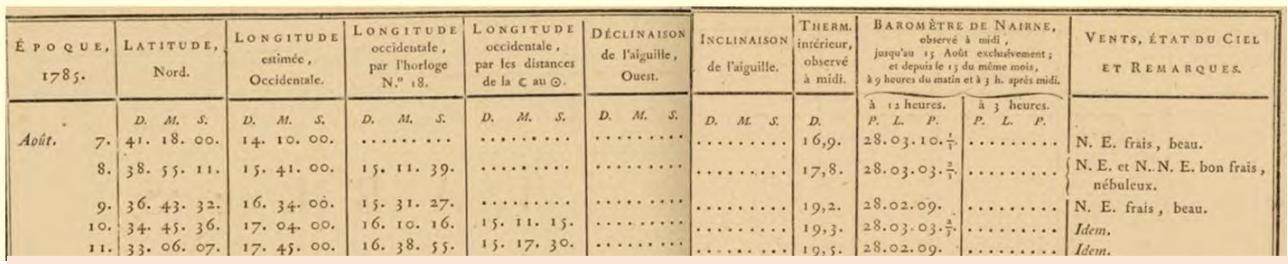
La mayor parte de la información científica, aportada por la obra anterior, fue resumida al final del tercer volumen en dos extensas tablas a nueve columnas, una para cada fragata, que recogían los valores medidos de forma diaria: I) *Tables de la Route de la Boussole, pendant les années 1785, 1786, 1787, 1788, depuis son départ d´Europe jusqu´à*

Botany-Bay (pp. 268-351); II) *Tables de la Route de l´Astrolabe, pendant les années 1785, 1786, 1787, depuis son départ d´Europe jusqu´au Kamtschatka* (pp. 354-411). Los conceptos contemplados en cada una de las columnas de la primera tabla fueron los siguientes: Latitud, Longitud estimada; Longitud proporcionada por el reloj número 19; Longitud por las distancias de la Luna al Sol; Declinación de la Aguja; Inclinación de la aguja; temperatura; Altura barométrica (en pulgadas y líneas); Vientos, estado del cielo y observaciones. En la segunda se procedió de forma análoga, cambiando el reloj número 19 por el número 18, añadiendo el nombre Naime al barómetro; con la salvedad añadida de que a partir del mes de febrero de 1787 dejaron de efectuarse las observaciones magnéticas y de que se incorporó una nueva columna para exponer los valores corregidos de la longitud dada por el reloj 18. Las tablas reflejaron la posición del barco a mediodía; la declinación de la aguja imantada, se observó por la mañana o por la tarde del mismo día, distinguiéndola con la letra A cuando se había deducido en función de un acimut; los grados del termómetro Reamur y la altura del barómetro se fijaron al salir el Sol; y la inclinación de la aguja imantada en la época en que pudo ser observada. Una de las primeras aplicaciones de las tablas anteriores fue el dibujo de la derrota de la expedición sobre una representación del mundo, ya que era conocida la posición diaria de las dos fragatas, y así debió encargarlo el redactor de la obra cuando decidió acompañarla del correspondiente atlas.



Époque, 1785.	Latitude, Nord.	Longitude estimée, Occidentale.	Longitude occidentale, par la montre N.° 19.	Longitude occidentale, par les distances de la ☾ au ☉.	Déclinaison de l'aiguille, Ouest.	Inclinaison de l'aiguille.	Therm.	Baromètre.	Vents, état du Ciel et Remarques.
	D. M. S.	D. M. S.		D. M. S.	D. M. S.	D. M. S.	D.	P. L.	
Août. 1.	48. 11. 00.	7. 33. 00.	Point du départ.	.....	.....	.....	11 1/2.	28. 02,0.	E. Le temps couvert, de la pluie.
2.	47. 08. 38.	9. 03. 30.	.....	.....	.....	.....	14.	27. 11,0.	S. S. E. bon frais, nébuleux.
3.	46. 55. 49.	10. 23. 00.	.....	.....	.....	.....	12 3/4.	27. 07,5.	S. par rafales, couvert, de la pluie.
4.	45. 33. 19.	11. 23. 00.	D. M. S.	.....	21. 14. 00.	.....	14.	27. 10,5.	N. E. petit frais, beau.
5.	44. 15. 00.	11. 53. 00.	11. 04. 00.	.....	21. 00. 00.	.....	14 1/2.	28. 04,0.	N. O. petit frais, beau.
6.	43. 23. 22.	12. 37. 00.	11. 42. 00.	.....	22. 40. A.	.....	15.	28. 04,0.	N. N. E. petit frais, nuageux.

Los primeros datos registrados por la fragata BUSSOLE

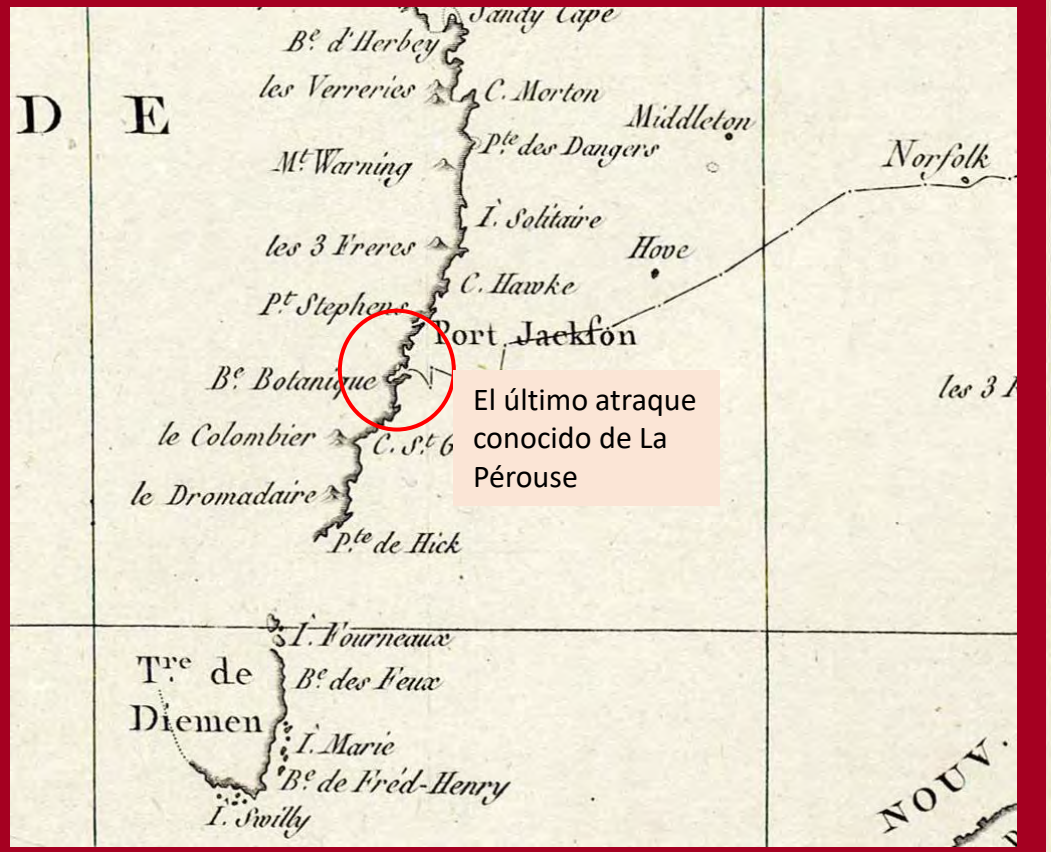


Époque, 1785.	Latitude, Nord.	Longitude estimée, Occidentale.	Longitude occidentale, par l'horloge N.° 18.	Longitude occidentale, par les distances de la ☾ au ☉.	Déclinaison de l'aiguille, Ouest.	Inclinaison de l'aiguille.	Therm. intérieur, observé à midi.	Baromètre de Nairne, observé à midi, jusqu'au 15 Août exclusivement; et depuis le 15 du même mois, à 9 heures du matin et à 3 h. après midi.		Vents, état du Ciel et Remarques.
	D. M. S.	D. M. S.	D. M. S.	D. M. S.	D. M. S.	D. M. S.	D.	à 12 heures. P. L. P.	à 3 heures. P. L. P.	
Août. 7.	41. 18. 00.	14. 10. 00.	.....	.....	.....	.....	16,9.	28.03.10.1/4.	.....	N. E. frais, beau.
8.	38. 55. 11.	15. 41. 00.	15. 11. 39.	.....	.....	.....	17,8.	28.03.03.2/3.	.....	N. E. et N. N. E. bon frais, nébuleux.
9.	36. 43. 32.	16. 34. 00.	15. 31. 27.	.....	.....	.....	19,2.	28.02.09.	.....	N. E. frais, beau.
10.	34. 45. 36.	17. 04. 00.	16. 10. 16.	15. 11. 15.	.....	.....	19,3.	28.03.03.2/3.	.....	*Idem.*
11.	33. 06. 07.	17. 45. 00.	16. 38. 55.	15. 17. 30.	.....	.....	19,5.	28.02.09.	.....	*Idem.*

Los primeros datos registrados por la fragata ASTROLABE

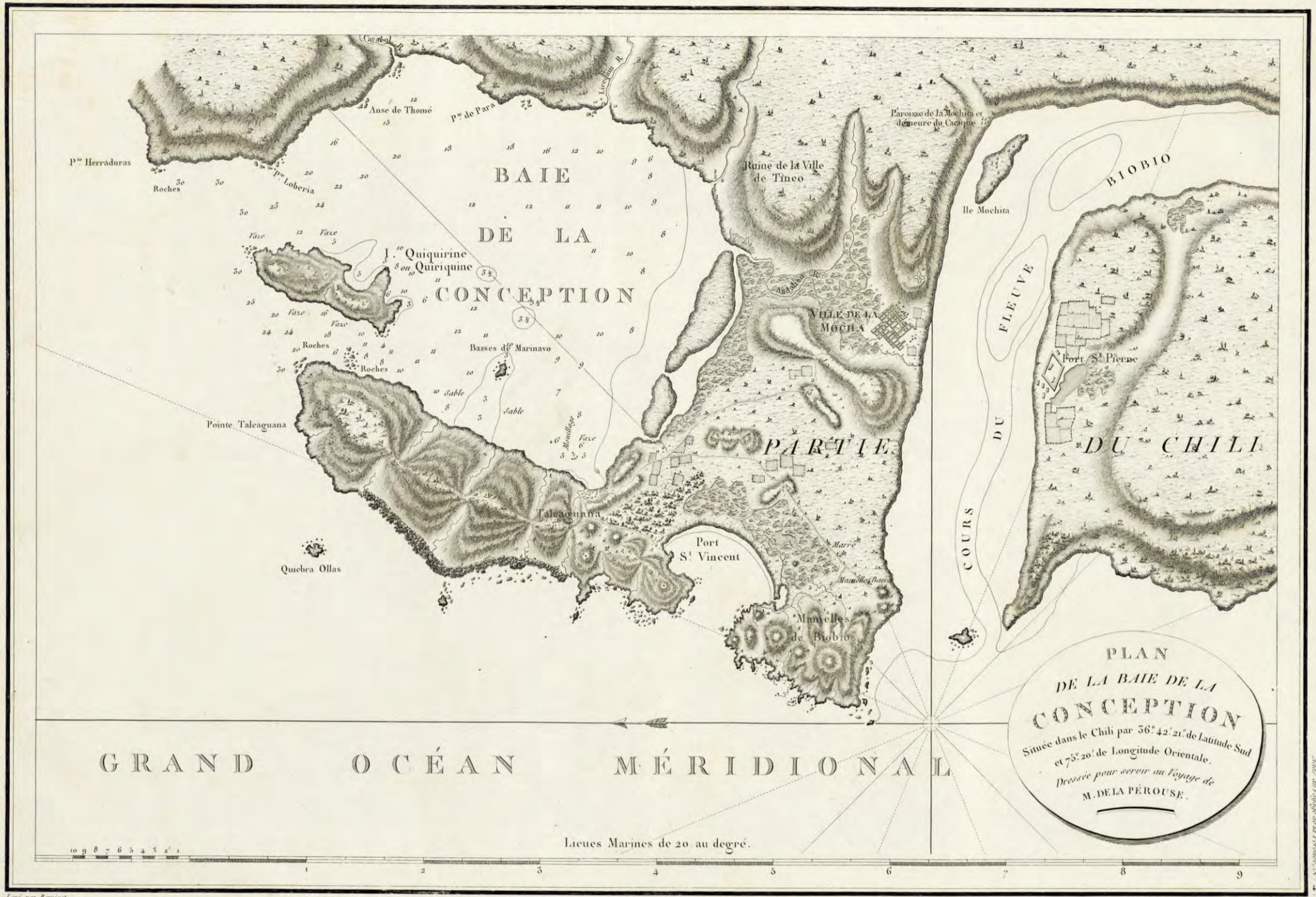
El atlas en cuestión (*Atlas du Voyage de la Pérouse*) es una colección de mapas, planos, vistas panorámicas, láminas de plantas y animales, además de otras estampas costumbristas con nativos y objetos singulares; se expone a continuación una muestra del mismo.

Mapamundi con el itinerario seguido por la expedición comandada por la Pérouse



El último atraque conocido de La Pérouse

La travesía del Océano Pacífico


Anse de Thomé
Pte de Para
Pte Herraduras
Roches
Pte Loberia
BAIE
DE LA
CONCEPTION
I.e Quiquirine
ou Quiriquine
Roches
Roches
Basses de Marinavo
Pointe Taleaguana
Sable
Sable
Vaze
Vaze
Vaze
Vaze
Vaze
Talcaguana
Quebra Ollas
Port
St Vincent
Ruine de la Ville
de Tineo
Paroisse de la Mochita et
demeure du Cacique
Ile Mochita
BIOBIO
FLEUVE
DU
COURS
VILLE DE LA
MOCHA
Port St Pierre
PARTIE
DU CHILI
Manielles
de Biobio
GRAND OCÉAN MÉRIDIONAL
Lieues Marines de 20 au degré.
PLAN
DE LA BAIE DE LA
CONCEPTION
Située dans le Chili par 36d 42′ 21″ de Latitude Sud
et 75d 20′ de Longitude Orientale.
Dressée pour servir au Voyage de
M. DE LA PÉROUSE.

Nativos y monumentos en la Isla de Pascua

Inauguración del monumento en honor de la Pérouse (1828)

La búsqueda de algún rastro de la expedición continuó en los años siguientes sin resultado, hasta que en 1826-1827 el capitán inglés Peer Dillon, al mando del buque St. Patrick descubrió que muchos de los nativos del archipiélago de Santa Cruz tenían objetos que habían sido fabricados en Europa; comentándole estos que procedían de dos barcos que hacía años habían naufragado en la isla Vanikoro. Al año siguiente, Jules Dumont d´Urville, a bordo de la corbeta Astrolabio (llamada así en recuerdo de la homónima de la expedición), visitó la isla y erigió un monumento como homenaje a La Pérouse; extrayendo del fondo marino un número considerable de objetos, depositados más tarde en el Museo de la Marina de París. La exploración del lugar prosiguió sin demasiado éxito, hasta que en 1981 se fundó la Asociación Salomon, hallándose en las campañas que organizó miles de piezas de vajilla, cristalería, cubertería de plata, relojes y esculturas. En tierra también se realizaron investigaciones, descubriendo en 1999 los restos de un campamento francés, entre los que se halló la muestra de un pie de rey. Durante el periodo comprendido entre el 18 de abril y el 16 de mayo del año 2005, se efectuaron nuevas campañas de excavaciones, destacando la participación de Marc de La Pérouse y Alain Fleuriot de Langle, descendientes de los dos capitanes de la expedición. El resultado principal logrado fue la localización exacta de los pecios: uno encallado en una meseta de coral (l´Astrolabe) y otro (la Boussole) incrustado en una falla, en el transcurso de la misma se halló un sextante con la inscripción Mercier, en alusión al fabricante del mismo, que perteneció a la fragata mandada por el Conde La Pérouse.

CIRCUMFERENTOR

GRAFÓMETRO CON ALIDADA Y BRÚJULA

instrumentos hallados en los pecios de las fragatas BRÚJULA y ASTROLABIO

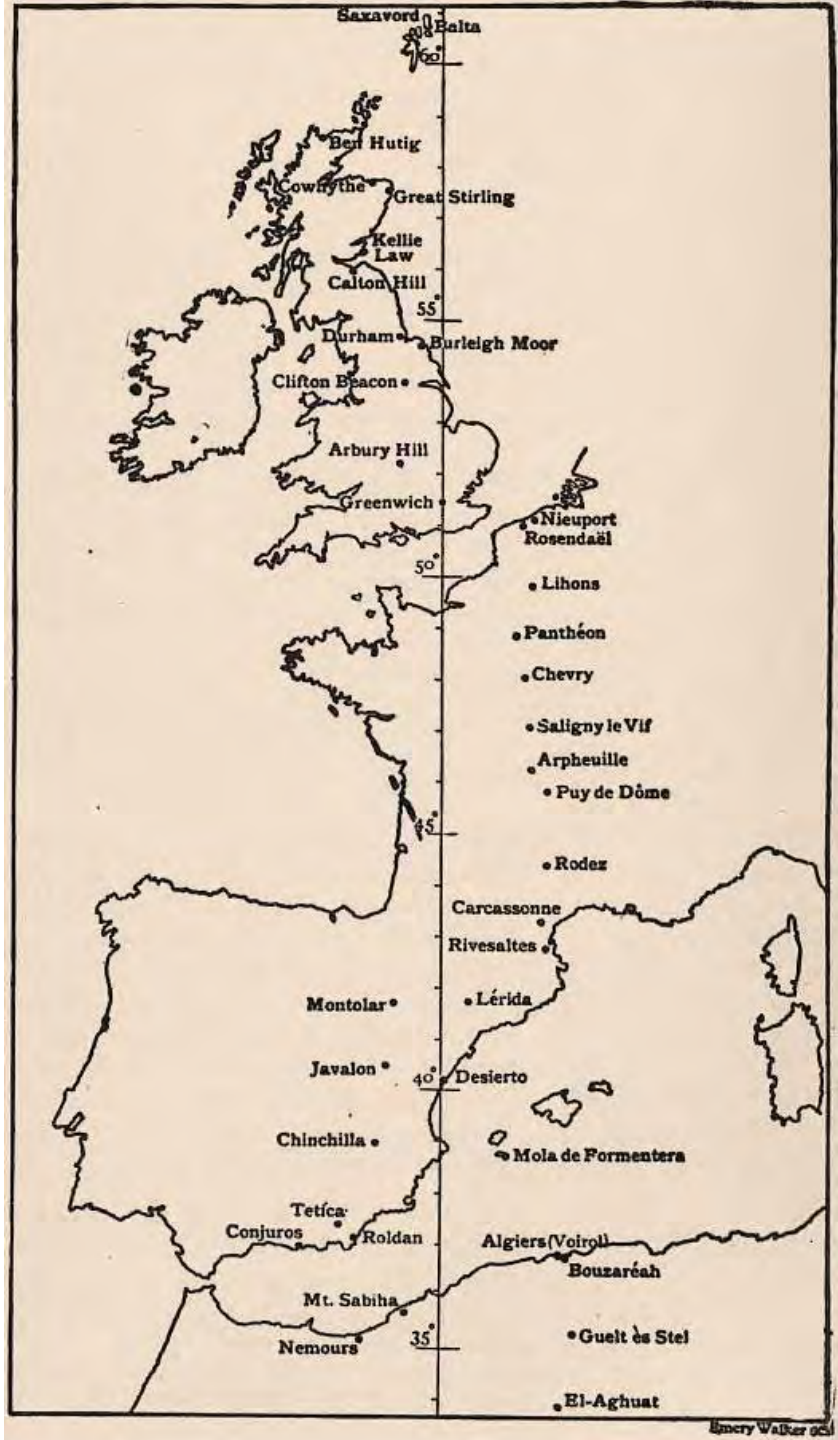
COMPÁS DE PROPORCIÓN

François Perrier (1833-1888)

General que restauró la geodesia francesa y codirigió, en 1879, el primer enlace astronómico y geodésico entre los continentes europeo y africano; mediante la observación y cálculo del cuadrilátero formado por los cuatro vértices siguientes: Mulhacén y Tetíca en España, Filhaoussen y M´Sabiha en Argelia. François Perrier nació en Valleraugue (región de Languedoc-Rosellon), cursó con brillantez el bachillerato en el instituto de Nimes y se preparó, en el colegio parisino de Saint Barbe, para ingresar en la Escuela Politécnica, lo que consiguió en el año 1853, integrándose dos años después en la Escueela de Estado Mayor. En 1857 es nombrado teniente y destinado al primer Regimiento de Cazadores en Argelia, donde permaneció durante dos años. Ascendido a capitán el 1 de febero de 1860, es trasladado a la X división militar con sede en Montpellier. El 6 de marzo de 1861, resultó decisivo para su trayectoria profesional, por haber ordenado su participación en la revisión del enlace geodésico entre Francia e Inglaterra, a través del Pas de Calais; lo que supuso posponer su actividad esencialmente militar en favor de la geodésica. El detonante fue la constatación de la supremacía de los geodestas ingleses, pues del lado francés «il ne restait que très peu d´officiers initiés a la pratique des opérations géodésiques; mais de plus, les cercles disponibles étaint trop petits et d´ailleurs très fatigués par un longue service» (*Eloge historique*

de F. Perrier par M. Gaston Darboux. Secretario perpetuo de la Academia de Ceincias. 1903). A pesar de tales limitaciones, los operadores franceses efectuaron sus observaciones con todo aprovechamiento, instanado heliotropos en las seis estaciones de la rd de enlace, una novedad para la geodesia de Francia, que permitió superar la barrera impuesta por las brumas del litoral inglés. Tras la operación comentó F. Perrier que las diferencias entre los resultados obtenidos en los dos países eran admisibles y achacables a los errores inherentes a la observación. La primera consecuencia del enlace fue la prolongación del meridiano de Francia 13º hacia el norte, a través de Inglaterra y Escocia, hasta las islas Shetland, «et embrassait ainsi entre ces îles et Formentera une amplitude de 22º 40´». Más adelante se refirió al adelanto que supuso, para la instrumentación geodésica, la irrupción de los círculos fabricados por Ramsden, que superaban con creces las prestaciones de los círculos repetidores franceses; a la vez que dejaba ver su frustración: « La comparaison était écrasante pour le Dépôt de la Guerre de France, et j´en fus si pronfondément frappé que je résolus dès lors de consacrer ma vie à la régéneration du service géodésique de notre armée, si tristement tombé en défaillance».

Animado por el éxito del enlace, el general Antoine Lucien Blondel, que dirigía entonces el Depósito de la Guerra, decidió potenciar la actividad geodésica del mismo: actualizando la triangulación de la Isla de Córcega e



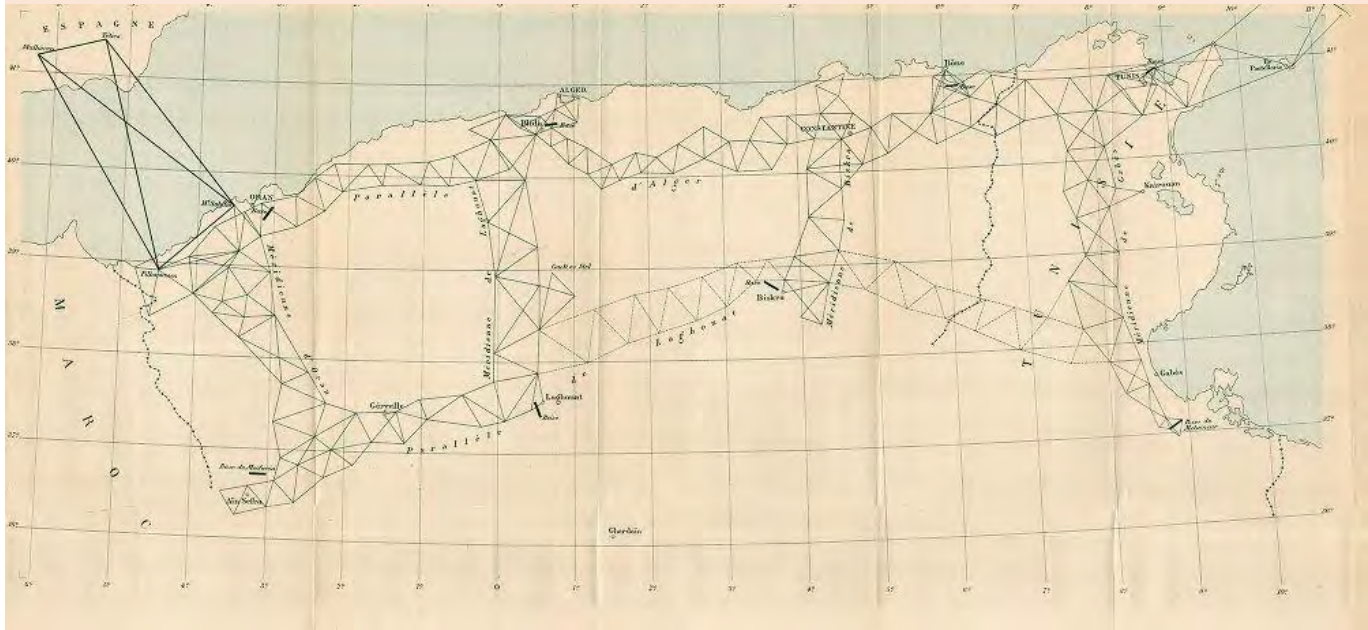
iniciando la de Argelia; contando para ello contó con la participación de Perrier. La primera triangulación de la isla ya la había realizado, en 1789, Jean Joseph Tranchot, discípulo de P. Méchain; consiguiendo enlazarla con la de Cerdeña y con la que discurría por el litoral de la Toscana. Apoyándose en ella y en los levantamientos catastrales de la misma época, se publicó en 1824 el mapa de la isla a escala 1/100000, en el que se simuló el relieve mediante el sistema de normales; tal representación, muy útil en su tiempo, en 1862 no satisfacía las necesidades propias de la ingeniería civil, por su difícil lectura. No obstante, ambos trabajos fueron válidos para efectuar los primeros reconocimientos topográficos, comprobando que la práctica totalidad de los antiguos vértices habían desaparecido; de modo que se tenía que realizar una nueva triangulación, la cual se concluyó en la campaña de 1863. Los operadores responsables fueron los capitanes, Perrier, Bugnot y Proust. Para facilitar su cometido, se dividió la isla en tres zonas de igual superficie: I) limitada por su parte septentrional y el paralelo de Corte (Perrier), II) situada entre el paralelo anterior y el de Ajaccio (Bugnot) y III) la región meridional (Proust). En la zona asignada a Perrier se localizaron 34 triángulos de primer orden y 200 puntos secundarios, encargándose además de enlazar la isla con la triangulación francesa; calculando una cadena de 100 triángulos, qué a lo largo del Golfo de Génova, llegaban al lado Granier-Colombier de la red de Francia. También efectuó una nivelación trigonométrica, con observaciones recíprocas, comprobando que la mayoría de las altitudes obtenidas

Red geodésica de la Isla de Córcega y su enlace a la cadena triangular de litoral italiano. 1864

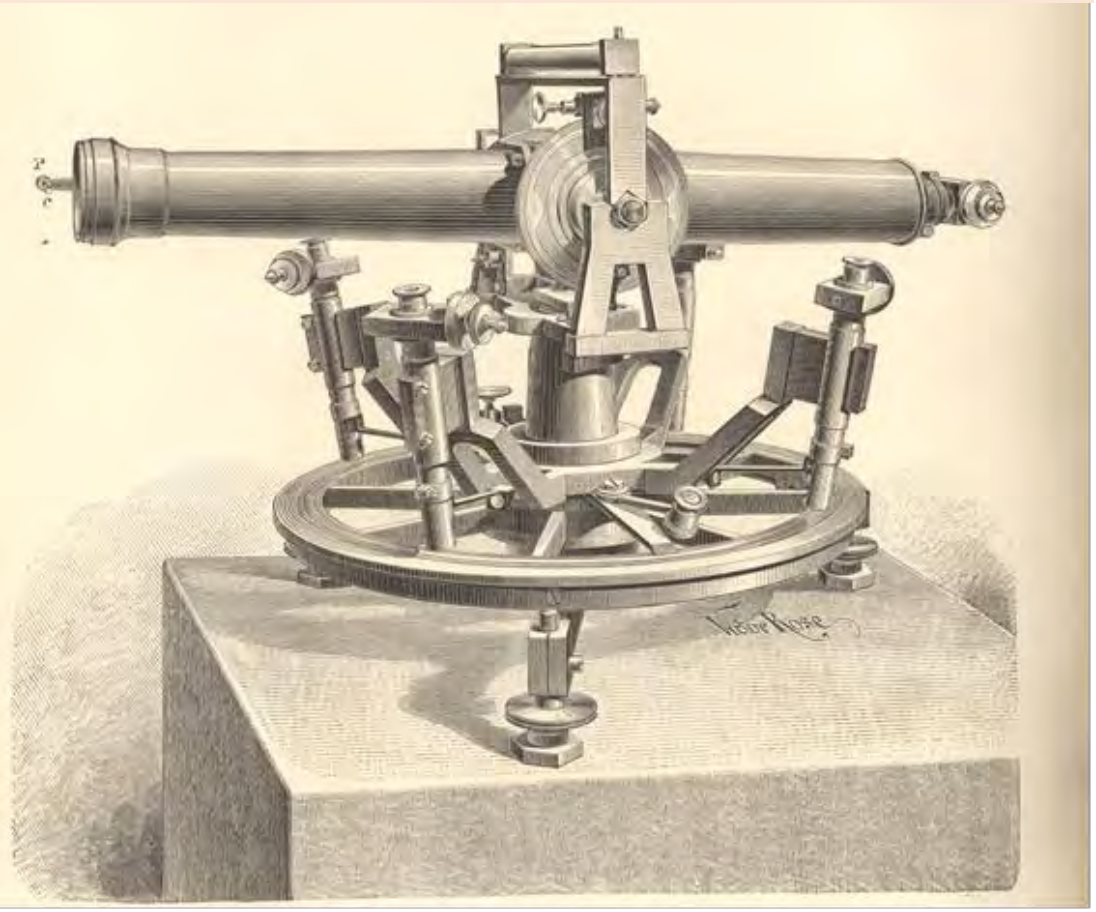
por Tranchot deberían ser modificadas; el caso más llamativo fue el del Monte Rotondo, considerado hasta entonces el punto culminante de la isla, que tuvo que ceder el primer puesto a Monte Cinto, cuya altitud era 80 metros mayor.

Las operaciones geodésicas y topográficas de Argelia, empezaron con su conquista, gracias a los levantamientos, en muchos casos expeditos, de los ingenieros geógrafos; los cuales observaron triangulaciones e itinerarios de brújula, útiles para imprimir las primeras representaciones del territorio. Sin embargo, a medida que progresaba la ocupación se hacía evidente la necesidad de contar con un mapa más detallado y fiable de aquel territorio. La tarea la emprendieron los capitanes Marel Y Foster, midiendo en el año 1854, una base en los alrededores de Blida; la cual serviría como punto de partida para establecer una red triangular a lo largo de la costa, desde la frontera de Túnez a la de Marruecos, en la que se apoyarían triangulaciones posteriores. Tras la interrupción de la guerra de Italia, se reiniciaron las operaciones en 1859, confiándole la parte oriental de la cadena al capitán Versigny. A Perrier le correspondió continuar con tales medidas, a partir de 1864, concretamente en el tramo comprendido entre Blida y la frontera de Marruecos. Seis años estuvo involucrado en este trabajo, no exento de dificultades, tal como explicaba después el propio Perrier: «L´insurrection des Arabes en 1864, le typhus et le choléra en 1866, la famine en 1867 et 1868, nous ont, fait courir souvent les plus grands dangers. Deux de nos camarades, les capitaines

TRIANGULACIÓN GENERAL DE ARGELIA Y TUNEZ. Cadenas de paralelo y de meridiano. 1891



CÍRCULO ACIMUTAL REITERADOR, construido por los hermanos Brunner; un modelo mejorado del que fabricaron a instancias de François Perrier

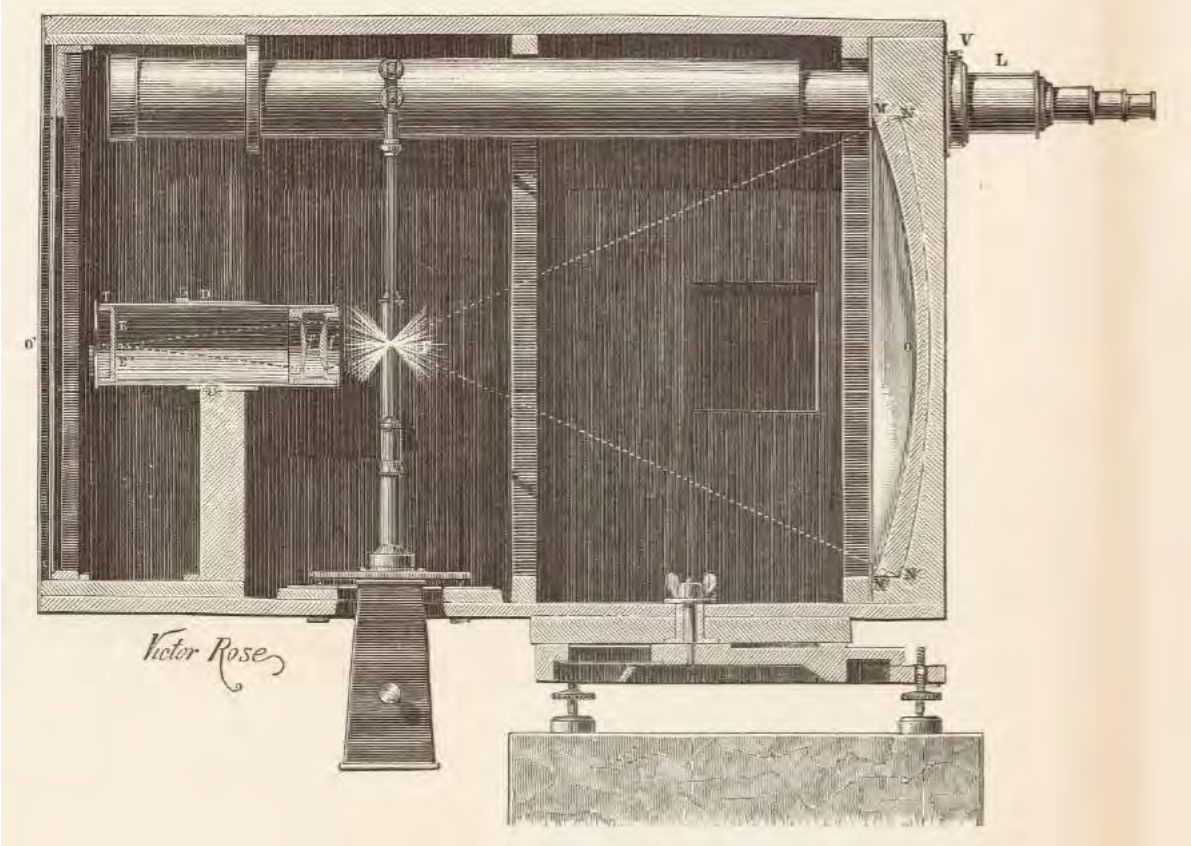


Vialla et Bondiverme, sont morts, l´un de la fièvre, l´autre d´une insolation, contractées dans les marais de la Macta et sur les bors du lac de Miserghin». Entre Argel y Marruecos se fijaron 25 vértices de primer orden, a la vez que Perrier midió en los extremos de esa cadena dos nuevas bases a modo de comprobación: una cerca de Bona (ahora Annaba) y otra en las proximidades de Orán. Las medidas de los ángulos se efectuaron con un círculo acimutal que había sido construido, ex profeso, en los prestigiosos talleres parisinos de los hermanos Brunner, cuyas principales características fueron: 1) limbo de 32 cm dividido en décimas de grado, 2) las lecturas angulares eran el promedio de las lecturas de dos micrómetros separados 200 grados, 3) distancia focal de 54 cm, 4) objetivo de 5.3 cm y 6) micrómetro focal con hilos móviles. Una vez finalizados los trabajos de campo, Perrier presentó sus resultados a la Academia de Ciencias, mereciendo el elogio de H. Faye, quien situó sus trabajos al mismo nivel que los más precisos efectuados en el extranjero. Perrier se mostró orgulloso de haber contribuido así al estudio de la figura de la Tierra, aportando a este un arco de paralelo con una amplitud cercana a los 10^{o} (≈ 900 km) y a una latitud inferior a todas las europeas; su deseo, entonces, fue el de enlazarlo con los triángulos italianos y españoles, para poder controlar así a la red europea.

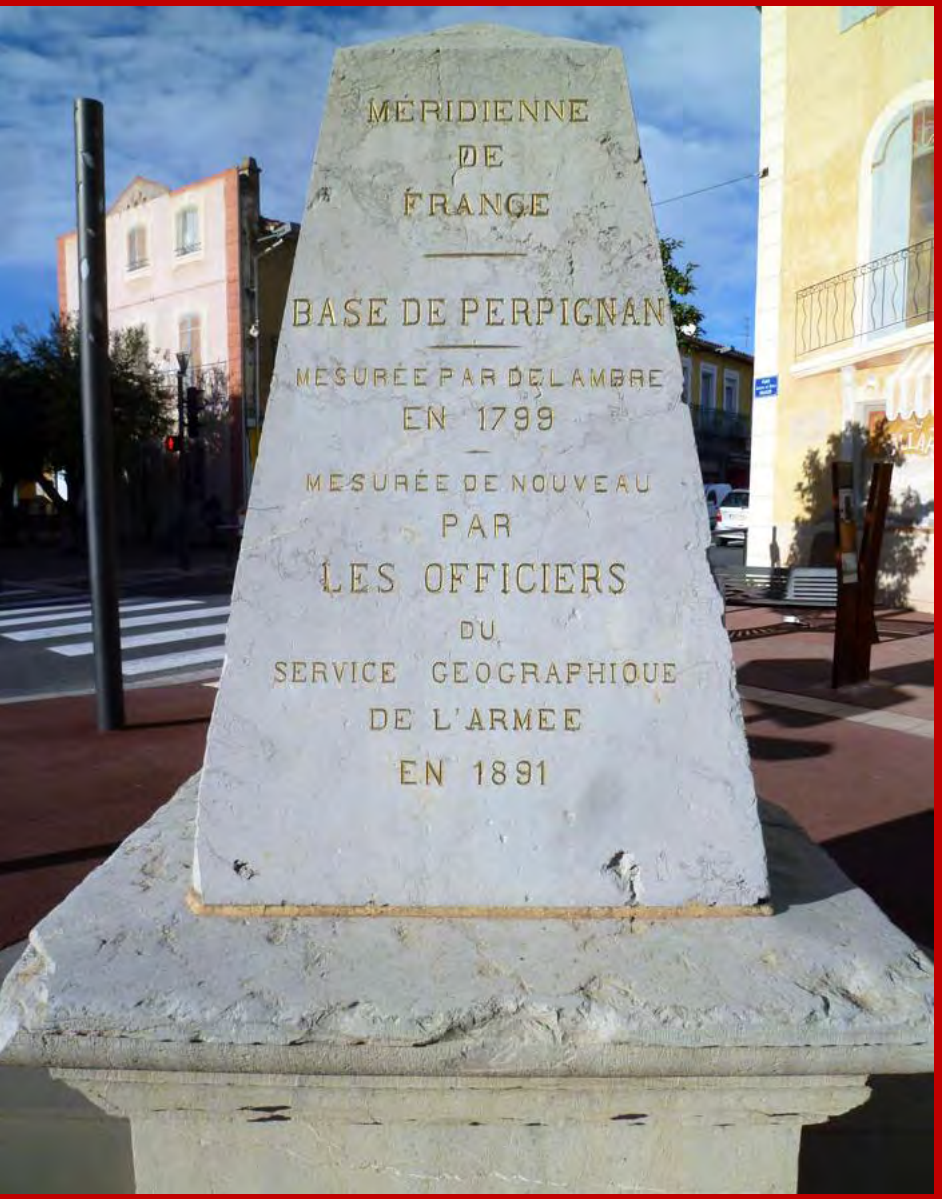
Antes de enlazar la red geodésica argelina con la europea, F. Perrier tuvo que dirigir la revisión de la triangulación

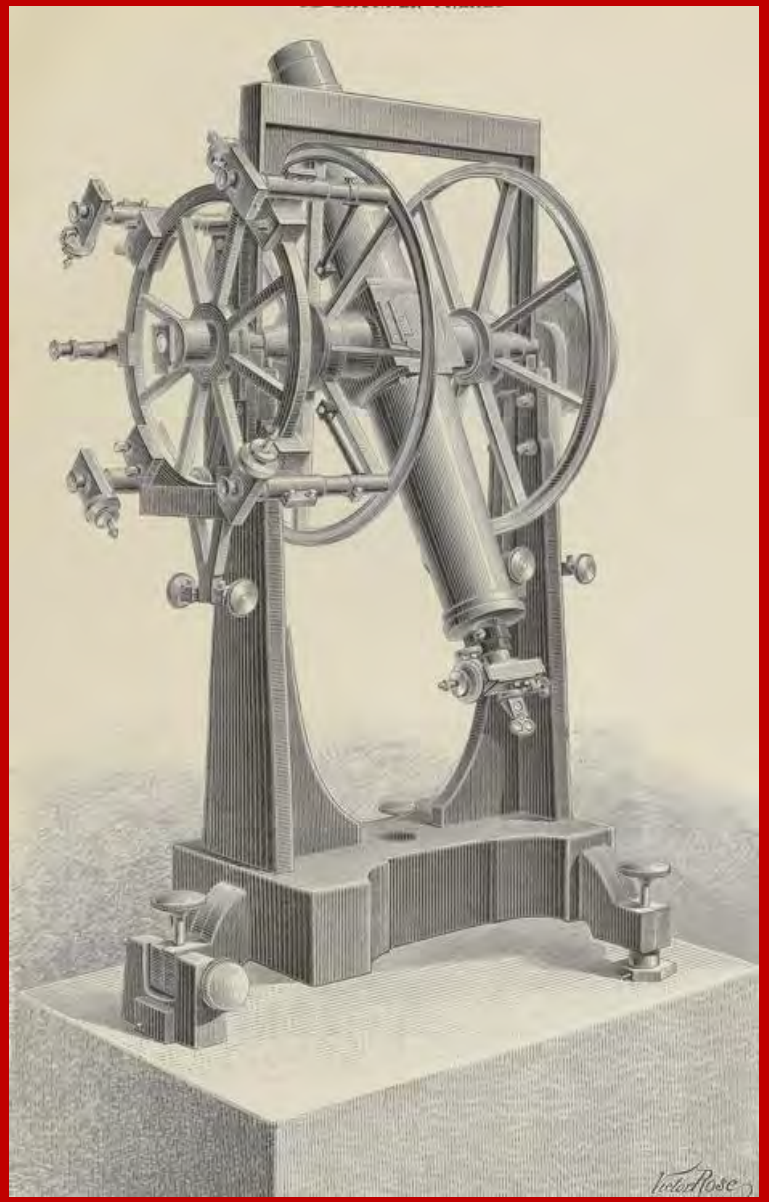
extendida a lo largo del meridiano de París (o de Francia); cuya necesidad era sentida desde tiempo atrás y en la se pensaba invertir tres años aproximadamente. Así lo manifestaba el Mariscal Adolphe Niel el mes de junio de 1869, justamente cuando responsabilizó a Perrier de esa tarea; señalando que, una vez concluida, el depósito de la Guerra le encargaría a él y a sus colaboradores la prolongación del meridiano anterior hasta la costa africana. Las observaciones del nuevo meridiano de Francia comenzaron en el año 1870, con la particularidad de que se conservaría sensiblemente la traza seguida por Delambre y Méchain, aunque se evitarían los vértices localizados en los campanarios, recurriendo a señales de carpintería: en las que el instrumento se colocaría sobre una plataforma independiente de la que soportaría a los operadores. Para facilitar la observación se usarían heliotropos durante el día y proyectores luminosos durante la noche, ideados por el coronel Mangin. La cadena fue observada entre 1872 y 1888, ya que los oficiales eran pocos y debían compaginar su tarea con la homóloga de la red argelina. Aunque en un principio, Perrier pretendió usar las bases de Melun y Perpignan, en las que se apoyaron Delambre y Méchain, al final empleó las tres siguientes. Cassel, al norte, Juvisy, cerca de París, y Perpignan. La nueva cadena triangular contó con varias estaciones astronómicas, en las que se calcularon su latitud (usando un círculo meridiano portátil, también construido por los hermanos Brunner) y longitud, eligiendo como origen el pilar de referencia sito en el Observatorio de París; para determinar esta última se disponía en cada estación de un reloj astronómico regulado en tiempo sidéreo.

Proyector de luz eléctrica del coronel Alphonse-François-Eugène Mangin



EL NUEVO MERIDIANO DE FRANCA

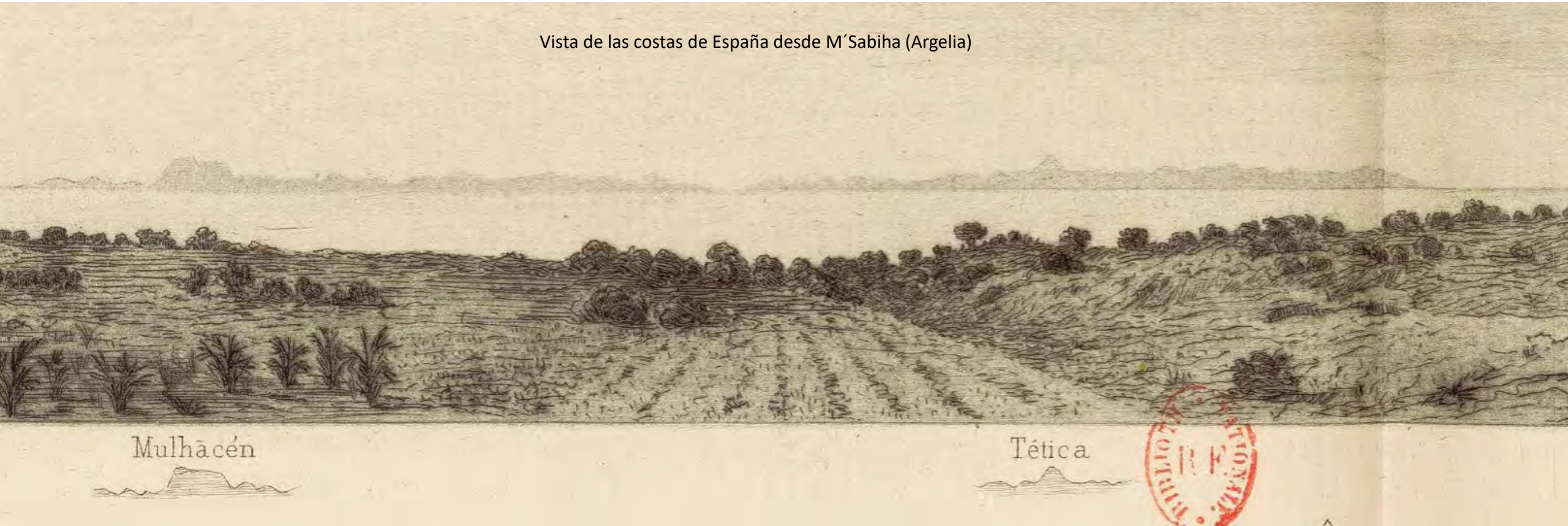




Círculo meridiano portátil, construido por Brunner

El comentario sobre el enlace entre la red geodésica europea y la incipiente africana será un resumen del artículo Jonction géodésique et astronomique de l´Algérie avec l´Espagne, debido al mismo F. Perrier y publicado en la revista NATURE, Revue des Sciences et des ses applications aux arts et a l´industrie (nº 346. 17 enero 1880). Tal como comentó el autor, la posibilidad de unir Argelia con España, a través del Mediterráneo, ya fue anunciada en los albores del siglo XIX por los astrónomos franceses Biot y Arago; sesenta años después, el coronel Levret demostró que las visuales que unían las cumbres del Atlas con las de las sierras de Granada y Almería (Perrier se confundió y escribió Murcia), eran posibles a pesar de la curvatura terrestre. Acto seguido indicaba Perrier que en la campaña de 1868 tuvo ocasión de comprobarlo, al divisar a simple vista las costas españolas desde las argelinas, dando cuenta del resultado a la Academia de Ciencias de París el 18 de noviembre de 1872: «Las crestas de las

Vista de las costas de España desde M´Sabiha (Argelia)

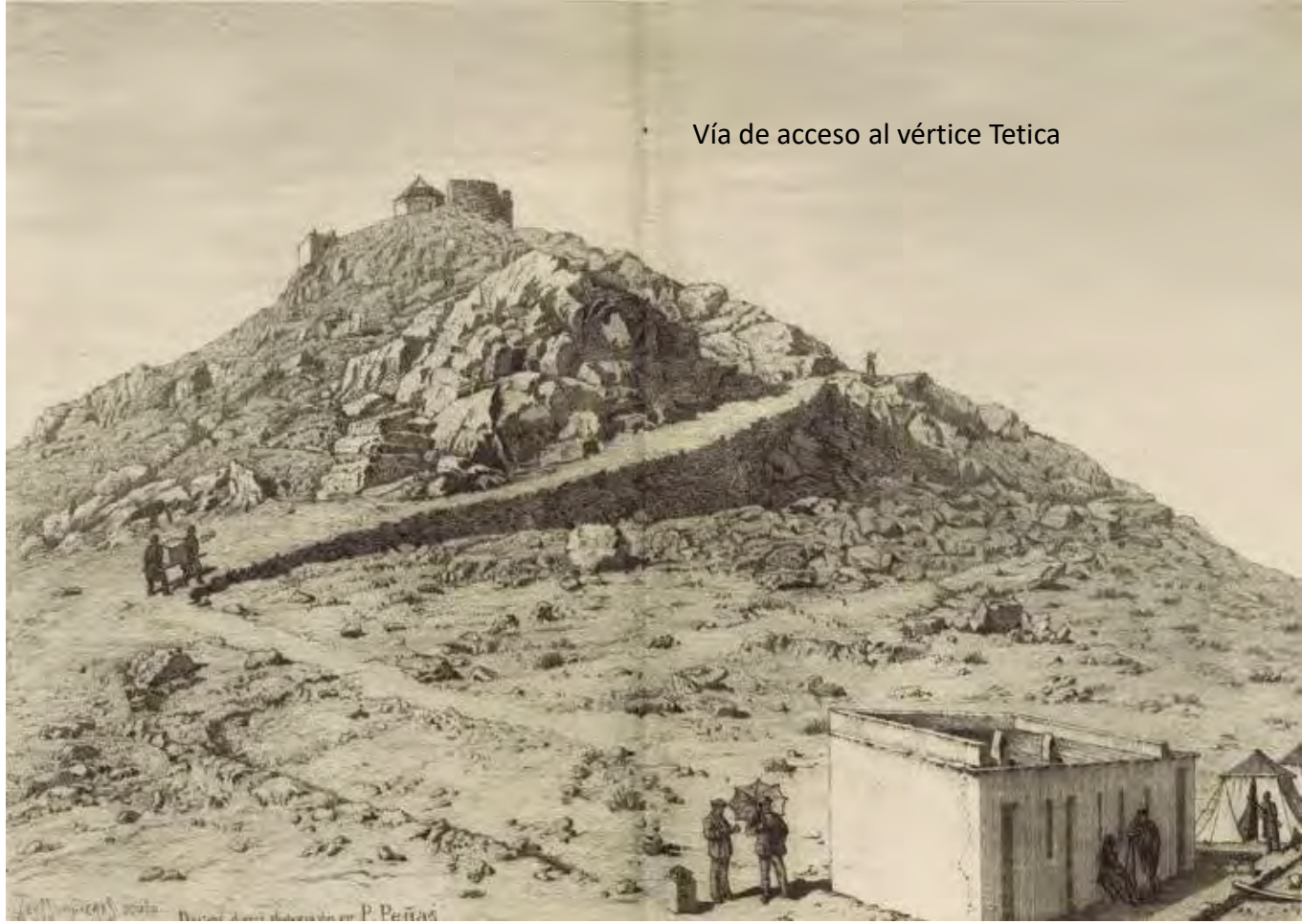


sierras españolas son visibles a simple vista,…, desde todos los vértices geodésicos de primer orden, comprendidos entre Orán y la frontera de marruecos; al estacionar en ellos he constatado que dos de ellas, cuya forma es muy característica, siempre se divisan y podrían por tanto servir de apoyo para pasar de España a Argelia por medio de triángulos gigantescos, sobrepasando la longitud de todos ellos a los hasta ahora observados» (F. Perrier hizo calculó la longitud aproximada de los lados). Con tales antecedentes, tanto él como C. Ibáñez de Ibero trasladaron a sus respectivos gobiernos tan ambicioso proyecto científico, el cual fue aceptado de inmediato en el año 1873. De entre todos los vértices posibles se eligieron los cuatro siguientes: Mulhacén y Tetíca en España, Filhaousen, punto culminante de Traras, entre Tremecén y Nemeurs, y M´Sabiha, cerca de Orán: «Ces quatre points forment un magnifique quadrilatère dont les quatre sommets sont réciproquement visibles entre eux».

Cuadrilátero del enlace intercontinental

Dado que el Mulhacén solo era accesible cunado había desaparecido la nieve y en Argelia no se podían realizar las observaciones más que al final del verano, ambos codirectores decidieron que la operación debería de efectuarse durante el mes de septiembre; de modo que los vértices serían ocupados simultáneamente en España y en Argelia, responsabilizándose los geodestas españoles de los primeros y los franceses de los segundos. El instrumental sería idéntico, así como la metodología observacional, dadas las distancias involucradas se contempló el empleo de heliotropos y de proyectores luminosos para las observaciones nocturnas. De común acuerdo, fue F. Perrier quien se responsabilizó de ese capítulo, encargando a

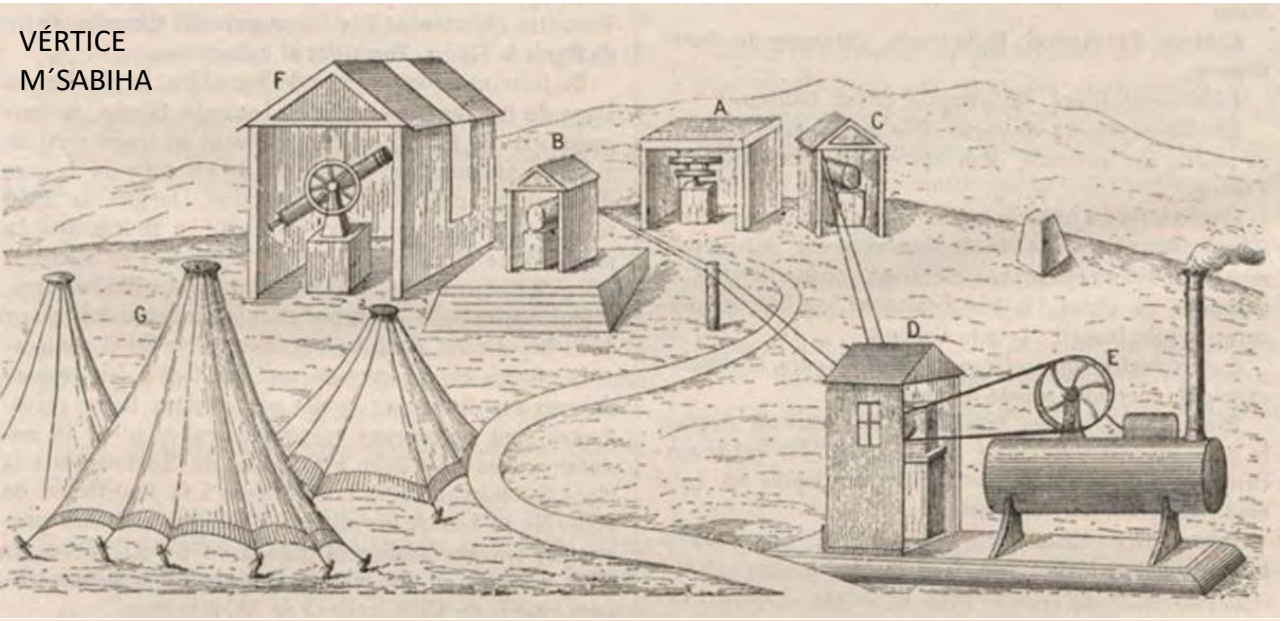
Breguet unos heliotropos especiales de espejos planos plateados de 0.30 m de lado y a Mangin los proyectores ya referidos, como fuente de energía eléctrica se optó por la máquina magneto eléctrica de Zénobe Théophile Gramme. Cuando estuvo disponible todo el instrumental, C. Ibáñez de Ibero, acompañado de los geodestas Joaquín Barraquer Rovira y Vicente López Puigcerver, se trasladaron a París, para recibir y probar el funcionamiento de los aparatos a ellos destinados: «et tous ensemble nous avons fait, dans les ateliers de M. Breguet et ceux de M. Santer, des expériences photométriques de jour et de nuit, pour nous rendre compte de la puissance de nos appareils». Continuaba relatando Perrier, como se tuvieron que abrir vías de acceso en regiones difíciles, aunque facilitadas por contar con el inestimable concurso de centenares de soldados, a uno y a otro lado del Mediterráneo. Tras varios meses de trabajo, todos los preliminares estaban prácticamente ultimados en la primera quincena del mes de agosto de 1879: «les quatre stations étaient prêtes le 20 août. Chacun de nous était à son poste: colonel Barraquer au Mulhacen, major Lopez à Tetica, captaine Bassot à Filhaoussen; j´occupais la station de M. Sabiha». A continuación, recordaba F. Perrier que las observaciones no comenzaron de inmediato, ya que la bruma permanente impedía materializar las visuales tanto de día como de noche, sin que sirvieran de nada los heliotropos y los proyectores; ni una sola señal pudo ser divisada desde España ni desde Argelia. Todo cambió el día



Vía de acceso al vértice Tetica

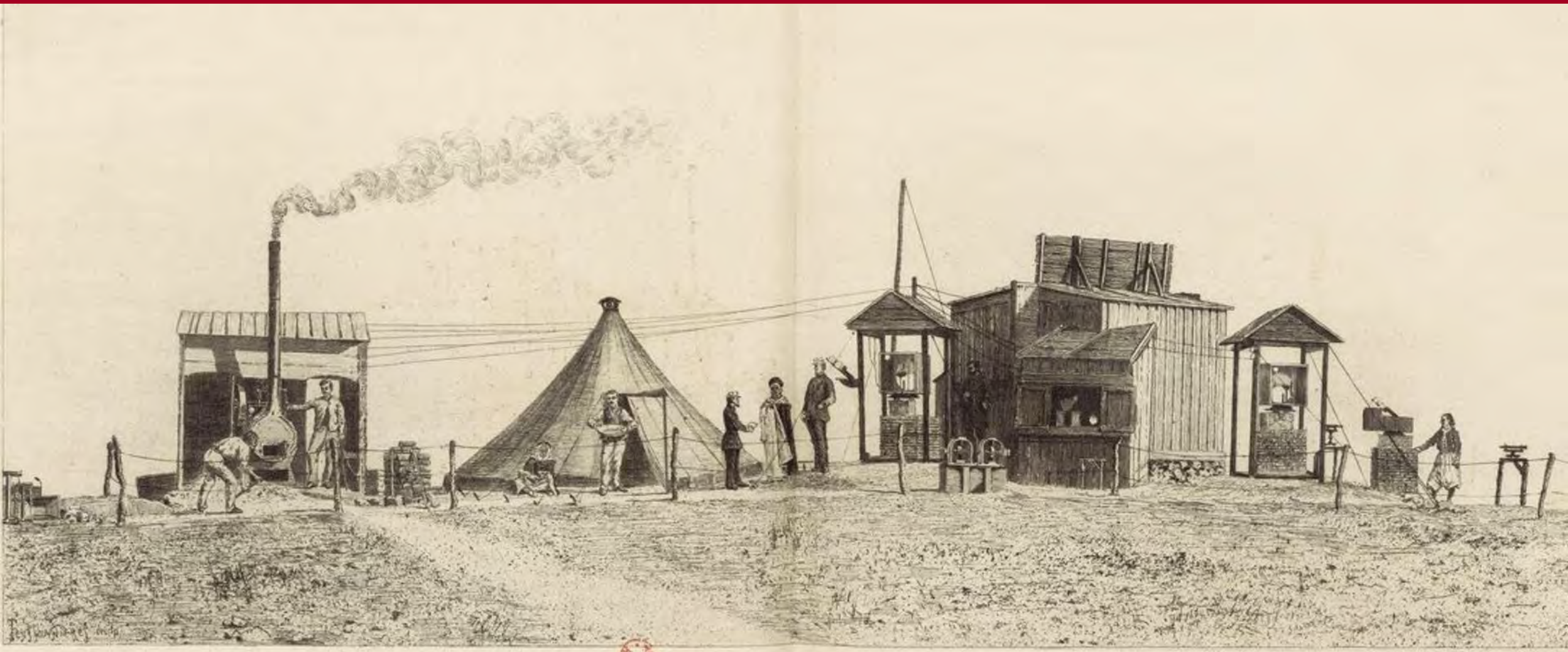
9 de septiembre, veinte días después de tan infructuosa espera, gracias a la máquina de Gramme: «j´apercevais la lmiére électrique de Tetica, visible parfois à l´oeil un, comme un disque rougeàtre, de teinte uniforme, comparable comme éclat à l´étoile α de Bouvier qui paraissait dans la voisinage au-dessus de l´horizon de la mer. Le 10, j´apercevais le feu électrique de Mulhacen; nos collègues espagnols apercevaient en même temps nos signaux et nous entrions dans la période des observations définitives; commencées le 9 septembre, elles étaient terminées le 1eroctobre». Justo después, citó con satisfacción los errores de cierre de los cuatro triángulos del enlace: 0´´.18, -0´´.54, 1´´.84 y 1´´.12, propios de triangulaciones en que los lados son del orden de 5 a 10 leguas; clara evidencia de la precisión alcanzada en las medidas. Su conclusión fue la siguiente: «Le problème de la jonction géodesique des deux continents est donc résolu, et la méridienne de France s´étend aujourd´hui sans interruption depuis les isles Shetland jusqu´au Sahara».

VÉRTICE
M´SABIHA



A. Pilar central. Círculo acimutal reiterador, B. Proyector dirigido al Tetica, C. Proyector dirigido al Mulhacén, D. Máquina magneto eléctrica de Gramme. E. Motor de tres caballos de vapor, F. Sala con el círculo meridiano, G. Tiendas, refugio y almacenes.

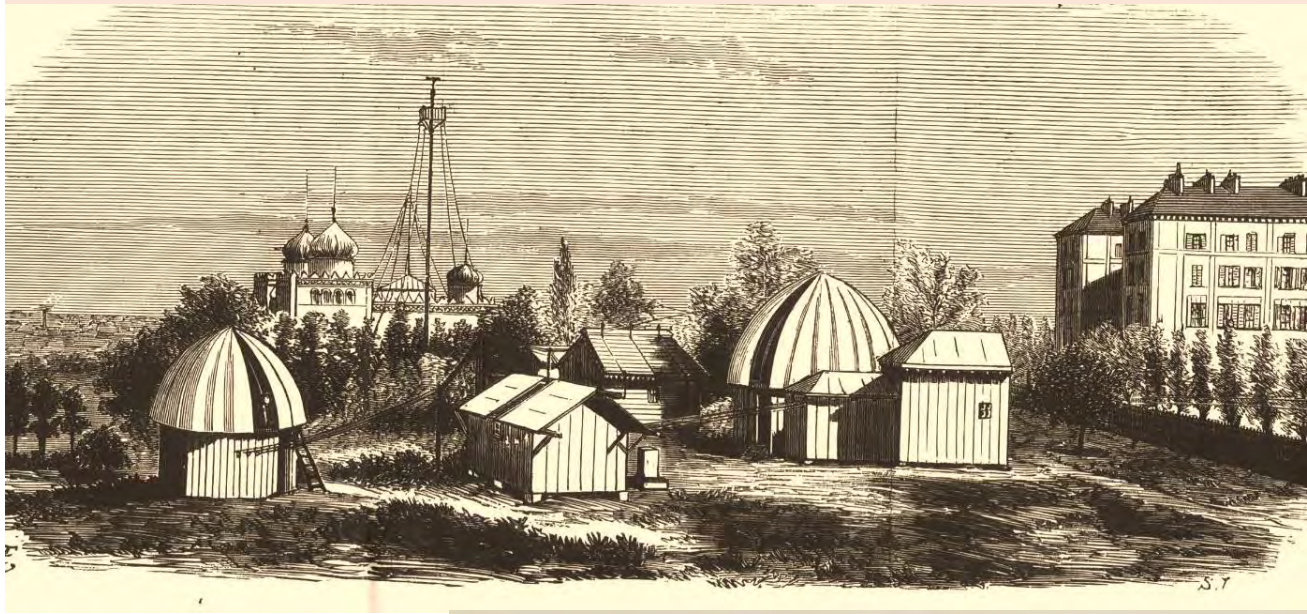
Concluido el enlace geodésico se procedió al astronómico, apoyándose para ello en los vértices Tetica y M´Sabiha. Se trataba de obtener en ambos la latitud de la estación y el acimut de una dirección, así como la diferencia de longitudes entre Argel y M´Sabiha, para ligar este vértice con París, y entre M´Sabiha y Tetica, para ligar a este con Madrid. Los operadores españoles fueron el astrónomo Merino y el ingeniero esteban, encargándose el capitán Bassot de la estación de Argel y el capitán Defforges del vértice M´sabiha. Este último estaba conectado telegráficamente con Argel, habiéndose obtenido su diferencia de longitudes

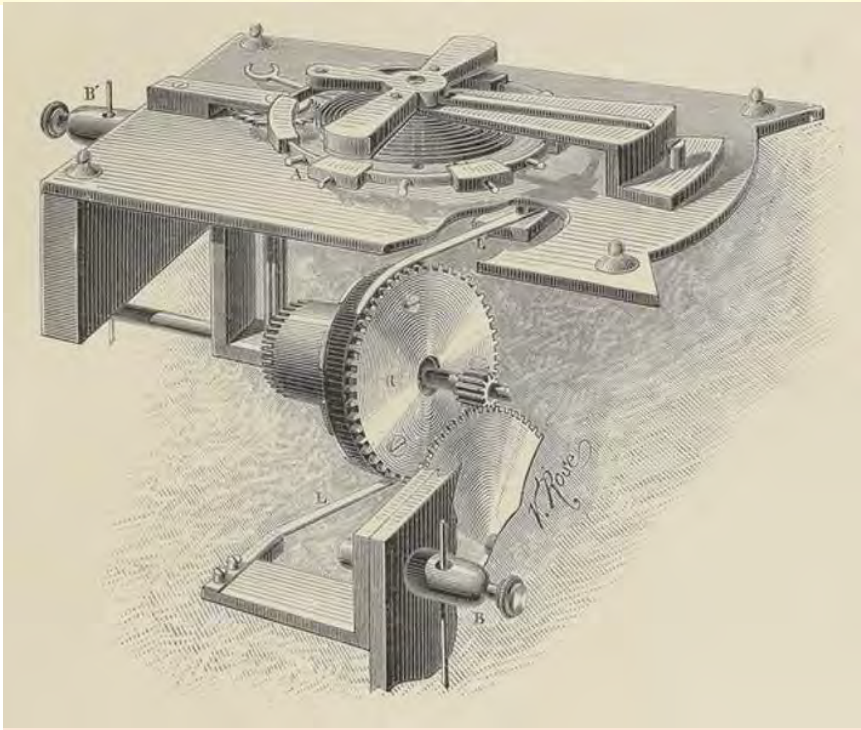


INSTALLATION
de la
STATION de M'SABIHA (Algérie)

mediante el intercambio de señales horarias, registradas en los cronógrafos de las dos estaciones. La conexión entre los vértices Tetica y M´Sabiha la explicaba así F. Perrier: «nous avons eu recours à l´échange réciproque, par dessus la Méditerranée, de signaux électriques lumineux et rythmés, dont la transmisión mème à 70 lieues, peut ètre considerée comme instantanée». En ocasiones como esta, la ecuación personal era doble: una referida a las observaciones astronómicas y otra a la observación de fenómenos luminosos instantáneos, detallando Perrier como las habían determinado tanto él como Merino en París, durante los meses de junio y julio, a partir de las mediciones que había efectuado en el *Bureau des Longitudes* (Parque de Montsouris) y en el Observatorio de París. El intercambio de señales luminosas entre los dos vértices, se produciría de manera que periódicamente fuese suspendido instantáneamente, comprendiendo cada intercambio cuatro series parecidas, con un total de ciento sesenta señales emitidas. Perrier señalaba que del 5 de octubre al 16 de noviembre se habían observado recíprocamente las señales luminosas durante quince jornadas verpertinas: «sept d´entre elles seulement, également favorables à M´Sabiha et à Tetica, peuvent servir au calcul de la longitude, chacune comprenant de part et d´autre quatre circumpolaires au

Vista del Observatorio del Bureau des Longitudes en el parque de Montsouris.





Interruptor eléctrico para el intercambio de señales luminosas

PUBLICATION INTERNATIONALE.

JONCTION

GÉODÉSIQUE ET ASTRONOMIQUE

DE L'ALGÉRIE AVEC L'ESPAGNE,

EXÉCUTÉE EN COMMUN EN 1879,

PAR ORDRE

DES GOUVERNEMENTS D'ESPAGNE ET DE FRANCE,

SOUS LA DIRECTION

DE

M. LE GÉNÉRAL IBÁÑEZ,
MEMBRE DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE MADRID,
DIRECTEUR GÉNÉRAL
DE L'INSTITUT GÉOGRAPHIQUE ET STATISTIQUE,
pour l'Espagne.

M. LE COLONEL PERRIER,
MEMBRE DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES
DE L'INSTITUT DE FRANCE,
CHEF DU SERVICE GÉOGRAPHIQUE DE L'ARMÉE,
pour la France.

PARIS.

IMPRIMERIE NATIONALE.

M DCCC LXXXVI.

moins, avec cinquante étoiles horaires réparties dans quatre positions successives du cercle, et l´échange de six cent quarante signaux».

Toda la casuística del enlace (antecedentes, proyecto, instrumentación, observaciones y proceso de datos) fue recogida en una publicación internacional editada en francés (1886) y en español (1888), por expreso deseo de sus dos codirectores. Los títulos respectivos fueron: *Jonction Géodésique et Astronomique de l´Algérie avec l´espagne, exécutée en comun en 1879, par ordre des gouvernements d´Espagne et de France, sous la direction de M. Le Général Ibáñez et de M. Le Colonel Perrier* y *Enlace Geodésico y Astronómico de Argelia con España realizado en 1879, bajo la dirección de los Sres General Ibáñez (Individuo de la Academia de Ciencias de Madrid, Director General del Instituto Geográfico y Estadístico) por parte de España, y Coronel Perrier (Individuo de la Academia de Ciencias del Instituto de Francia, Jefe del Servicio Geográfico del Ejército) por parte de Francia*. En la portadilla de la obra figuraron los responsables de las observaciones geodésicas y astronómicas, de ambos países. El jefe de la misión geodésica de España fue el Coronel Barraquer (de la Academia de Ciencias de Madrid), secundado por los Comandantes López Puigcerver, Borrés, Piñal y el Capitán Cebrián; por parte francesa, los responsables fueron el Coronel Perrier (jefe de la misión), el Comandante Bassot (*del Bureau des Longitudes*) y el Capitán Defforges. Los operadores españoles encargados del enlace astronómico fueron Merino (de la Academia de Ciencias y primer astrónomo del Observatorio del Retiro), y Esteban (Ingeniero de Minas); por parte

de Francia, los operadores fueron: el Coronel Perrier, el Comandante Bassot y el Capitán Defforges. Este enlace geodésico y astronómico entre Europa y África es una de las operaciones más señaladas en las Ciencias de la Tierra, siendo reconocidos sus directores como unos de los mayores geodestas de todos los tiempos. En la publicación correspondiente que figura en las Memorias del Instituto Geográfico y Estadístico (Tomo VII. 1888), se lee: «Las difíciles operaciones efectuadas para llevar a cabo el importantísimo trabajo internacional que su título indica se hallan minuciosamente explicados en esta Memoria, cuya primera parte describe, hasta en sus menores detalles, los instrumentos y aparatos empleados en la memorable campaña científica que relata; hallándose expuestos en las partes restantes los notables resultados de las observaciones geodésicas y astronómicas ejecutadas, a costa de inauditos esfuerzos contra dificultades de todo género, bajo la dirección del Sr. General Ibáñez y el Sr. Coronel Perrier, representantes de las dos naciones asociadas para tan grandiosa obra». Ambos vieron reconocida su labor: el primero fue nombrado Marqués de Mulhacén (1889) y el segundo ingresó por tal motivo en la Academia de Ciencias del Instituto de Francia (1880). De entre todos los datos proporcionados por el enlace han de subrayarse las grandes dimensiones de los lados y diagonales del cuadrilátero, así como las coordenadas geográficas de sus cuatro vértices (siempre dependientes del elipsoide elegido). Igualmente son reseñables los acimutes astronómicos obtenidos en M´Sabiha y en Tetica, ya que al relacionarlos con sus homólogos geodésicos permitieron formular la ecuación de Laplace y constatar que la precisión de la red de enlace estaba dentro de los límites establecidos.

PUBLICACIÓN INTERNACIONAL (*)

ENLACE

GEODÉSICO Y ASTRONÓMICO

DE

LA ARGELIA CON ESPAÑA,

REALIZADO EN 1879,

POR ORDEN

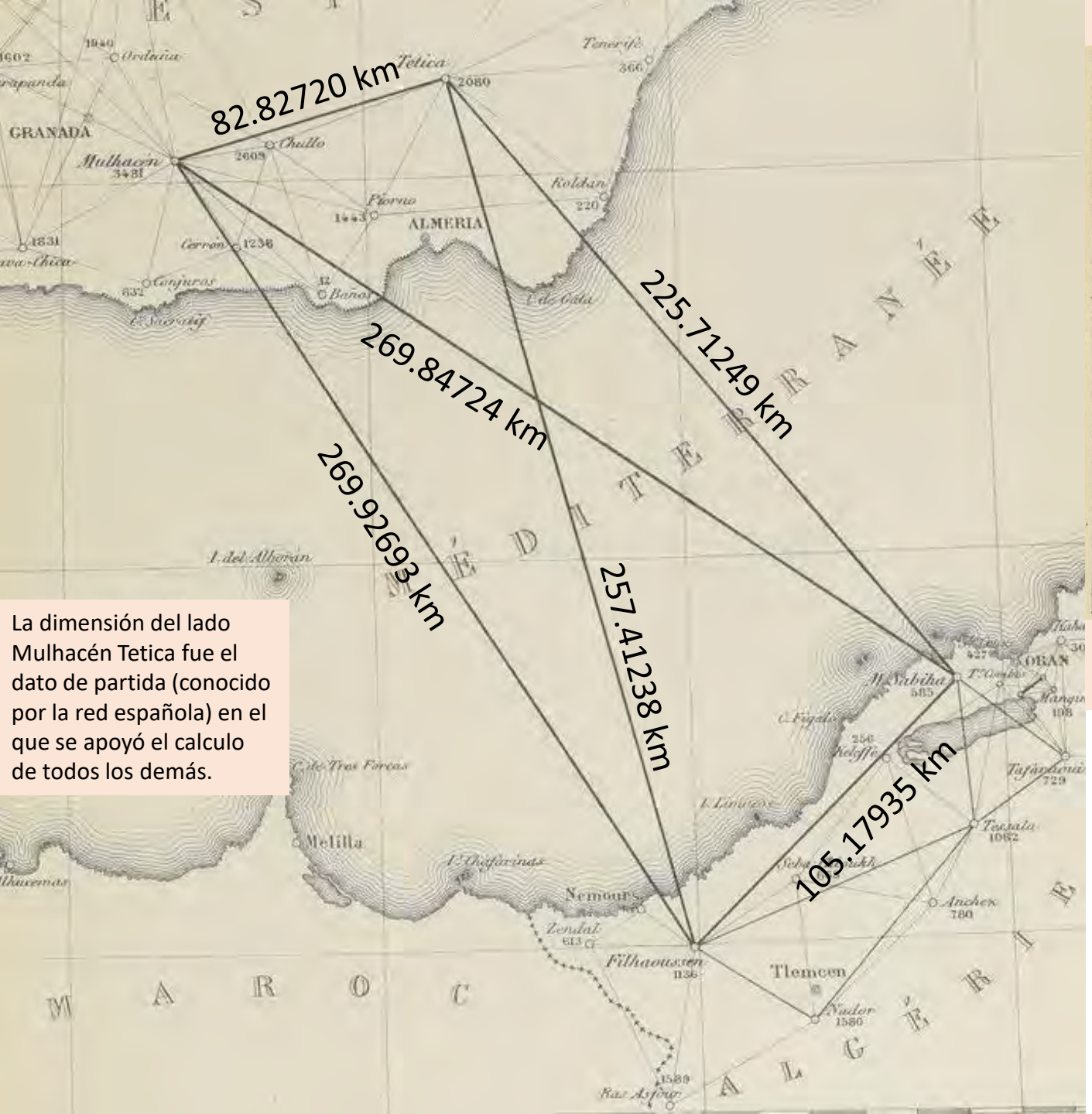
DE LOS GOBIERNOS DE ESPAÑA Y DE FRANCIA,

BAJO LA DIRECCIÓN

DE LOS SEÑORES:

GENERAL IBÁÑEZ,
INDIVIDUO DE LA ACADEMIA DE CIENCIAS DE MADRID,
DIRECTOR GENERAL
DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO Y ESTADÍSTICO,
por parte de España.

CORONEL PERRIER,
INDIVIDUO DE LA ACADEMIA DE CIENCIAS
DEL INSTITUTO DE FRANCIA,
JEFE DEL SERVICIO GEOGRÁFICO DEL EJÉRCITO,
por parte de Francia.



La dimensión del lado Mulhacén Tetica fue el dato de partida (conocido por la red española) en el que se apoyó el calculo de todos los demás.

TABLA DE LAS COORDENADAS: L (LATITUD), M (LONGITUD) Y Z (ACIMUT)

STATIONS.	ELLIPSOÏDE DE BESSEL (ADOPTÉ EN ESPAGNE).	ELLIPSOÏDE DE CLARKE (ADOPTÉ EN FRANCE).
M'Sabiha	L. = 35°.39′.37″,05	35°.39′.37″,05
	M. = 3.11.10,77	3.11.10,77
	Z (Filhaoussen) = 46.54.11,76	46.54.11,76
Filhaoussen	L. = 35. 0.34,64	35. 0.34,59
	M. = 4. 1.39,69	4. 1.39,70
	Z (M'Sabiha) = 226.24.59,92	226.24.59,92
Mulhacén	L. = 37. 3.17,59	37. 3.17,69
	M. = 5.38.57,91	5.38.57,93
	Z (Tetica) = 254.14.54,85	254.14.54,84
Tetica	L. = 37.15.14,71	37.15.14,83
	M. = 4.45. 3,14	4.45. 3,15
	Z (Mulhacén) = 74.47.28,59	74.47.28,58

Las longitudes se refieren al observatorio de París. Los acimutes se cuentan desde el Sur y en sentido retrógrado

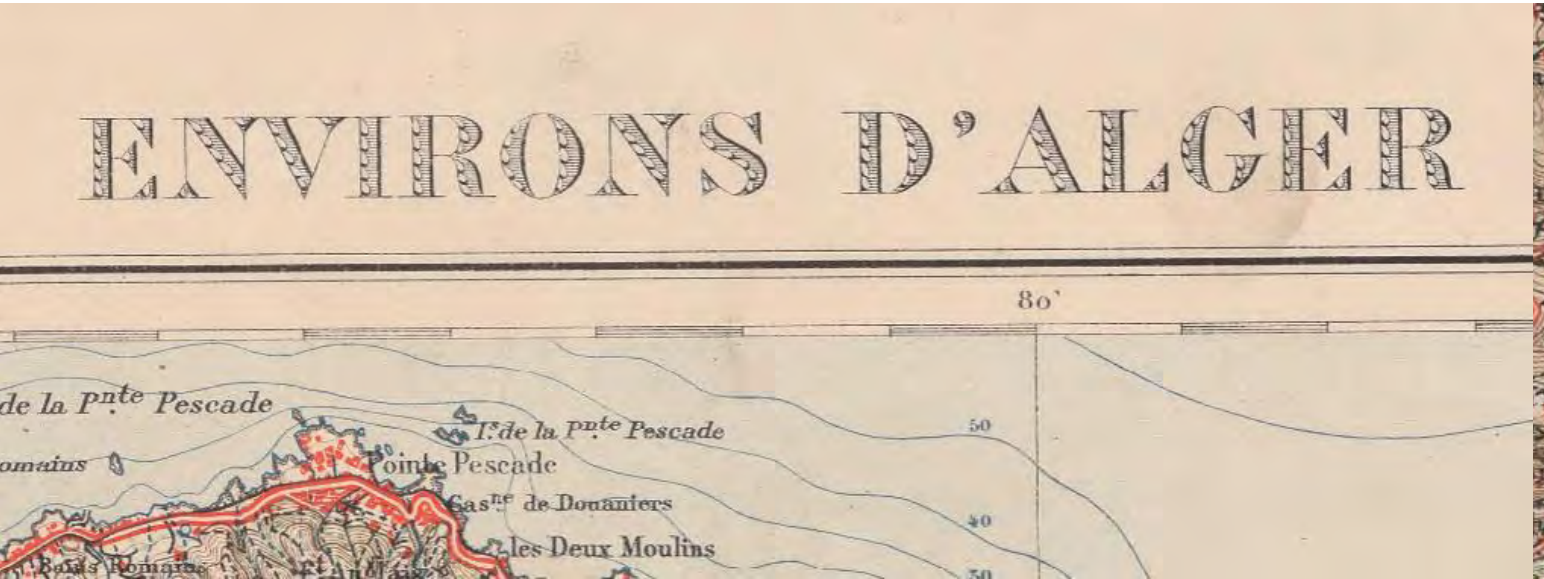
Al hallar la ecuación de Laplace se tuvieron en cuenta las coordenadas astronómicas de Tetica, obtenidas por Esteban, así como las geodésicas deducidas a partir de las de M´Sabiha:
$Z_a - Z_g + (M_a - M_g)\operatorname{sen} L = 0$; $\Delta Z = 6''.77$, $\Delta M = -7''.11$, con un residuo de 2”.50; «L´équation de condition est donc satisfaite d´une maniére suffisante».

Nada más ultimar el enlace, F. Perrier ascendió a Teniente Coronel (el 31 de diciembre de 1879), ingresando en la Academia de Ciencias una semana después (Sección de Geografía y Navegación). Una de sus primeros cometidos como Académico fue la de asesorar al embajador de Francia en Berlín, durante la Conferencia celebrada, en junio y julio, para fijar las nuevas fronteras entre Turquía y Grecia. Cuando volvió a Francia fue enviado de nuevo a Argelia (mayo de 1881) , a fin de que dirigiera los levantamientos topográficos necesarios para formar los planos que facilitasen la conquista prevista de Túnez. El 10 de enero de 1882, ya en Francia, fue nombrado Jefe del Depósito de la Guerra, logrando el ascenso a Coronel el 9 de mayo siguiente. Ese mismo año fue comisionado a la ciudad de San Agustín (Florida) para que observase desde el Castillo de San Marcos el tránsito de Venus, junto a sus colaboradores Bassot y Defforges; los tres observaron el paso con telescopios de 8, 6 y 3 pulgadas, logrando fijar con poca incertidumbre el cuarto contacto que tuvo lugar el 6 de diciembre. Defforges tomó 200 fotografías del cometa y del Sol, aprovechando la ocasión para hallar la longitud del lugar, de acuerdo con Preston (*Coast Survey*), comunicado telegráficamente con él desde Savannah. Bassot, por su parte, determinó la latitud de la estación observando la culminación de numerosas estrellas.

Castillo de San Marcos en la ciudad de San Agustín (Florida)

Jean Antonin Léon Bassot y Gilbert Etienne Defforges, fieles colaboradores de F. Perrier. Los dos llegaron a ser generales del ejército.

A partir de entonces , F. Perrier centró la atención del depósito de la Guerra en la producción cartográfica, cuyas directrices fueron fijadas por la Comisión de Trabajos Geográficos, que el mismo presidía; siendo la novedad fundamental el empleo de las curvas de nivel, indispensables para la ejecución de los proyectos de ingeniería civil. El 24 de enero de 1884 presentó a la Academia de Ciencias las diez primeras hojas del Mapa de Argelia, a escala 1: 50000, basadas en levantamientos topográficos a 1: 40000. Los mapas guardaban mucho parecido con los que venían publicándose, desde 1875, en el Instituto Geográfico y Estadístico de España, dirigido por Carlos Ibáñez; aunque el sistema cartográfico elegido fuese el desarrollo cónico de R. Bonne en lugar de la proyección poliédrica. Los mapas tenían un colorido excepcional, cada hoja requería el grabado de siete planchas, a saber: «la planche de *rouge* pour les lieux habités et les routes carrossables; celle de *noir*, afectée aux écritures, aux chemins dont la viabilité n´était pas assurée et au sentiers; celle de *bleu*, aux eaux; celles de *vert* aux bois, de *violet* aux vignes, de *bistre* aux courbes de niveau. Une septième planche en *gris bleuté* devait fournir le modelé du terrain, par un estompage au crayon litographique basé sur la lumière zénithale et rehaussée par un léger sentiment de lumière oblique». El 17 de marzo del mismo 1884 presentó también un nuevo mapa de Túnez a escala 1:200000, basado en



Ge C. 18674

ENVIRONS D'ALGER

Echelle 1/50000

Pl. 31

triangulaciones sumarias; aunque suficientes para una representación provisional, susceptible de ser perfeccionada años después con los correspondientes levantamientos topográficos. La atención al mapa de Francia la mantuvo, como muestra su claro intento de proceder en la metrópoli como en la colonia: publicándolo en hojas a escala 1: 50000. En efecto, en marzo de 1885 propuso a la Academia de Ciencias dos proyectos: uno para obtener el mapa apoyándose en los antiguos publicados a 1: 40000, y otro en el que los trabajos de campo se realizarían a 1:10000, en el que primaría el trazado fiable de las curvas de nivel; ninguno de los dos fue tomado en consideración aduciendo razones presupuestarias, a pesar de que el segundo hubiese sido defendido años atrás por Laplace, Delambre y Puissant. Otra contribución cartográfica relevante de Perrier fue el mapa en color de Francia, a escala 1: 200000, que se preparó bajo su dirección para presentarlo en la Exposición Universal de 1889; el cual fue obtenido por generalización de los que formaban la celebrada *Carte de l´État-Major*.

Inaugurada en Valleraugue, el 28 de agosto de 1892 y fundida en 1943, bajo el régimen de Vichy.

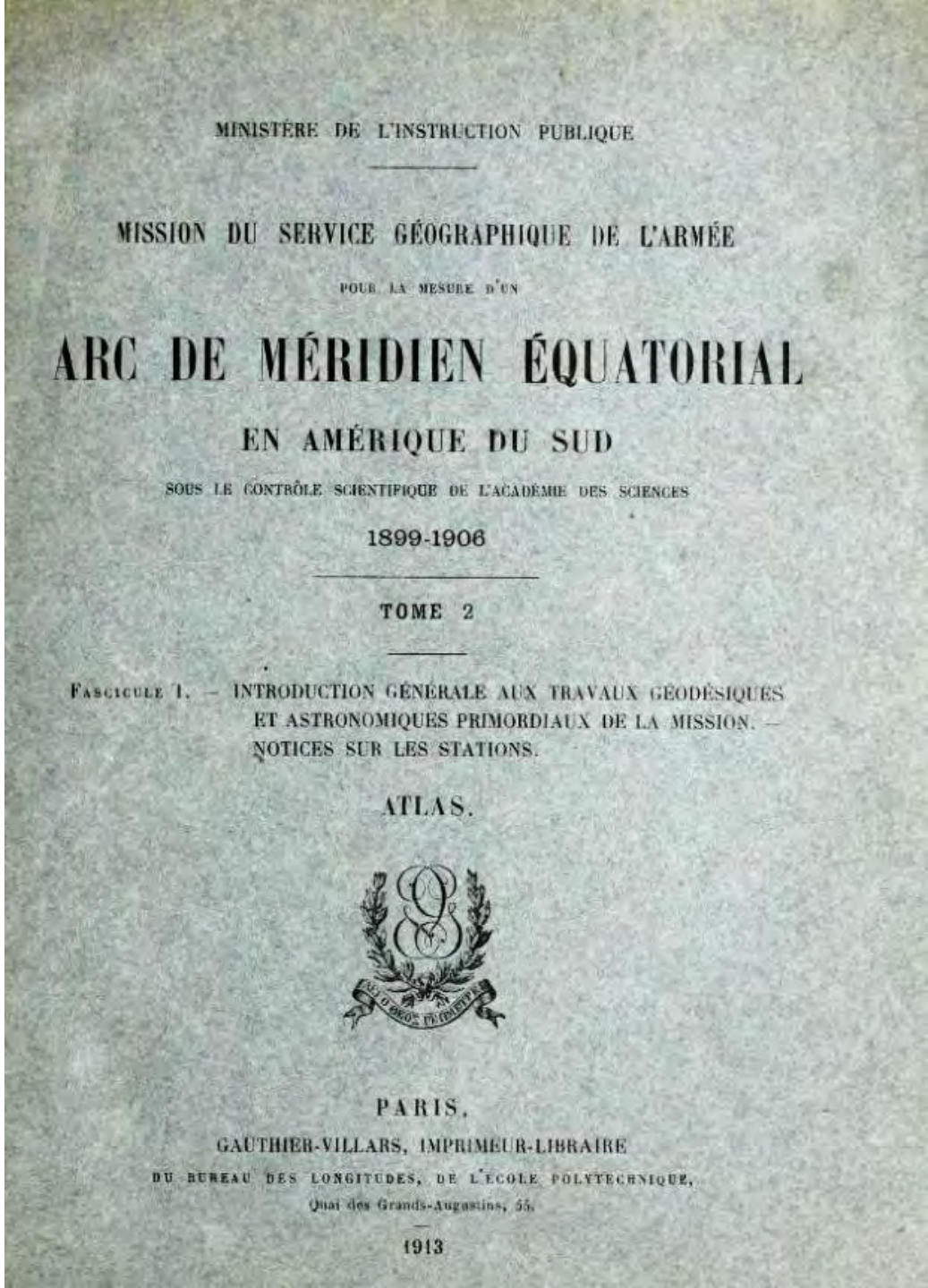
Reconstrucción en piedra

Georges Perrier (1872-1946)

General y geodesta francés, digno sucesor de su padre que también fue ambas cosas. Participó en la misión de la academia de ciencias que volvió a medir un grado de meridiano en américa central emulando así a los que lo hicieron a mediados del siglo XVIII. Fue profesor de geodesia y astronomía en la Escuela Politécnica de París y autor de una obra interesante, aunque la titulara *Petite Histoire de la Géodésie*. Georges François Perrier nació en Montpelier e hizo el bachiller en su Instituto, quedando huérfano de padre cuando tenía 16 años. Desde siempre quiso seguir la carrera de este, logrando ingresar en la Escuela Politécnica de París en 1892. En ella destacó por su brillantez, lo que le valió para poder servir en el arma de Artillería e incorporarse después al Servicio Geográfico del Ejército (1898), como Teniente de la Sección de Geodesia. Como su padre, participó en varias misiones ejecutadas en el norte de África, ejerciendo a continuación de Secretario en la Asociación Geodésica Internacional (1900).En esa época fue elegido para participar en la revisión de la medición del arco de meridiano del Perú, una operación que duró mas de cinco años (1901-1906), sin contar las tareas de reconocimiento de 1899 y otros trabajos

preliminares de 1900; dándose la circunstancia de que el directorde dicho Servicio era el General Bassot, antiguo y fiel colaborador de su padre.

El responsable de la expedición fue el Comandante Robert Bourgeois, auxiliado por otros cinco oficiales, 17 suboficiales y clase de tropa; todos ellos zarparon de Burdeos el 20 de abril de 1901 y llegaron a Guayaquil el 1 de junio. Aunque el nombre formal de la operación fuese *Mission du Service Géographique de l´Armé pour la mesure d´un arc de méridien équatorial en Amérique du Sud*, siempre estuvo tutelada por la Academia de Ciencias. El programa del proyecto fue realmente ambicioso: medir un arco de meridiano de seis grados, contando su triangulación con cinco bases principales; construir más de 70 vértices, desde los que se harían las observaciones angulares; determinación de las coordenadas geográficas de todas las estaciones, así como el acimut de varias direcciones; obtención las altitudes de cada base; medición de la gravedad en multitud de puntos; estudiar la historia natural del país y recopilar material para ser expuesto en el *Museum National d'Histoire Naturelle*, el otro patrocinador científico de la misión. El responsable de la misma fue el Comandante Robert Bourgeois, auxiliado por otros cinco oficiales y clase de tropa; todos ellos


MINISTÈRE DE L'INSTRUCTION PUBLIQUE

MISSION DU SERVICE GÉOGRAPHIQUE DE L'ARMÉE

POUR LA MESURE D'UN

ARC DE MÉRIDIEN ÉQUATORIAL

EN AMÉRIQUE DU SUD

SOUS LE CONTRÔLE SCIENTIFIQUE DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES

1899-1906

TOME 2

FASCICULE 1. — INTRODUCTION GÉNÉRALE AUX TRAVAUX GÉODÉSIQUES ET ASTRONOMIQUES PRIMORDIAUX DE LA MISSION. — NOTICES SUR LES STATIONS.

ATLAS.

PARIS.

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE

DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,

Quai des Grands-Augustins, 55.

1913

Robert Bourgeois, cuando era alumno de la École Polytechnique. Luego llegó a ser General.

zarparon de Burdeos el 25 de abril de 1901, llegando a Guayaquil eldía 1 de junio. Los resultados de tan importante proyecto científico se expusieron en una obra monumental, con idéntico título al ya señalado, se estructuró en cuatro partes: A. Histórica (Tomo I); B. Geodesia y Astronomía (Tomos II-V); C. Historia Natural (Tomos VI-X) y D. Atlas. La parte B fue redactada por Georges Perrier, de acuerdo con el programa que se indica a continuación. Tomo II, con dos fascículos, uno dedicado a los fundamentos de ese tipo de trabajos y a la descripción de los vértices de la triangulación, y un segundo dedicado a las bases. Tomo III, con los ocho fascículos siguientes: 1) Ángulos acimutales, 2) Compensación y calculo de los triángulos, 3) Latitudes, longitudes y acimutes geodésicos, 4) Nivelación de precisión, 5) Nivelación trigonométrica, 6) Latitudes observadas con el círculo meridiano, 7) Latitudes observadas con el teodolito astronómico, 8) Latitudes observadas con el astrolabio de prisma. Tomo V, con cinco fascículos: 1) Geodesia, topografía ypetrografía interandina septentrional de la República del Ecuador, 2) Idem, referida a zona central, 3) Idem, referida a la zona meridional, 4) Meteorología y 5) Magnetismo.

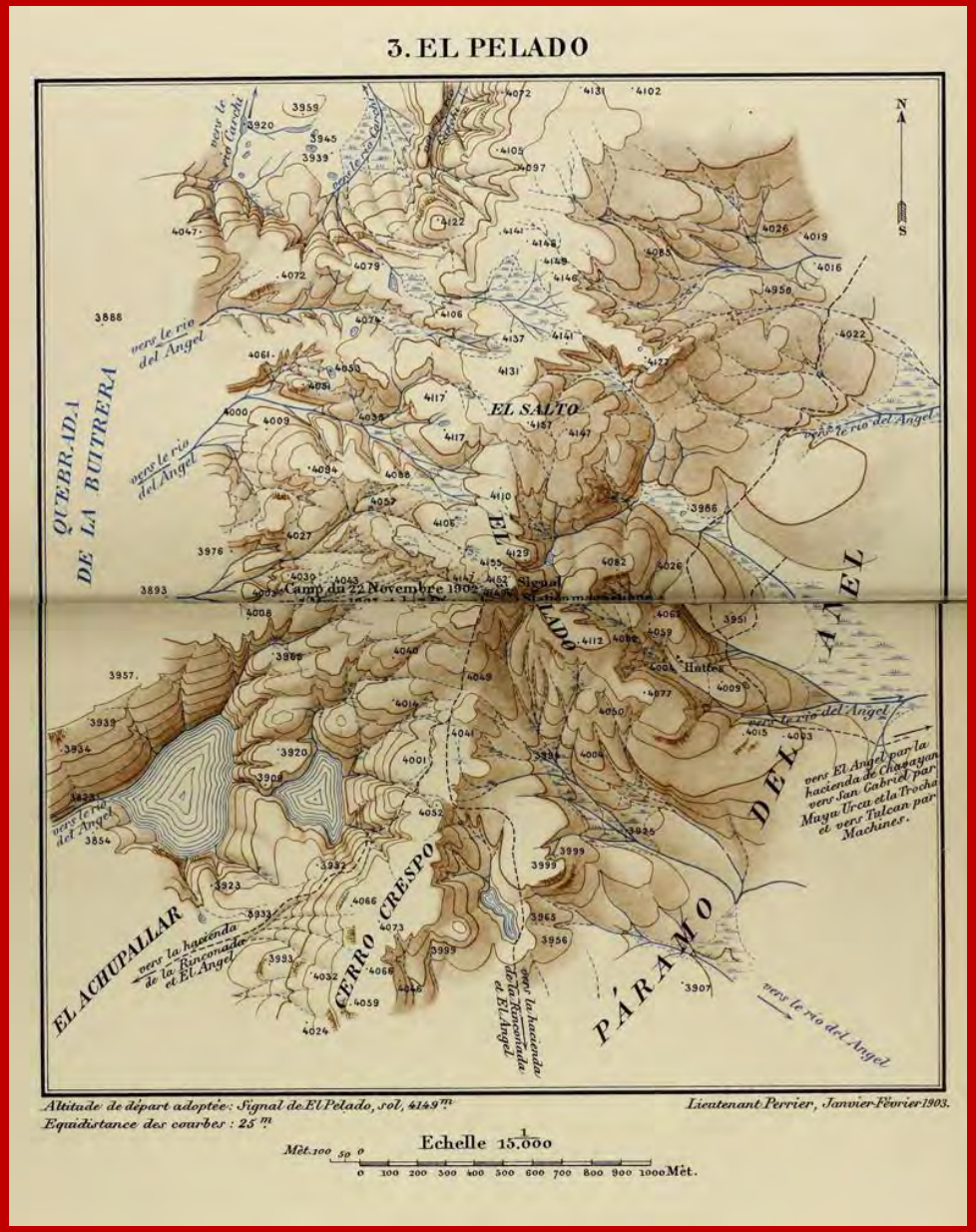
Barraca geodésica en Tulcán (10.I.1903), se aprecia el anteojo de pasos dentro de la tienda

En el obituario de G. Perrier, realizado por Pierre Tardí (uno de sus alumnos más destacados) se comentaba: «Seul de tous les officiers géodesiéns

Mapa y plano firmados por Georges Perrier. En el mapa de Tulcan figura los nombres de los primeros oficiales que integraban la Misión francesa, a saber:

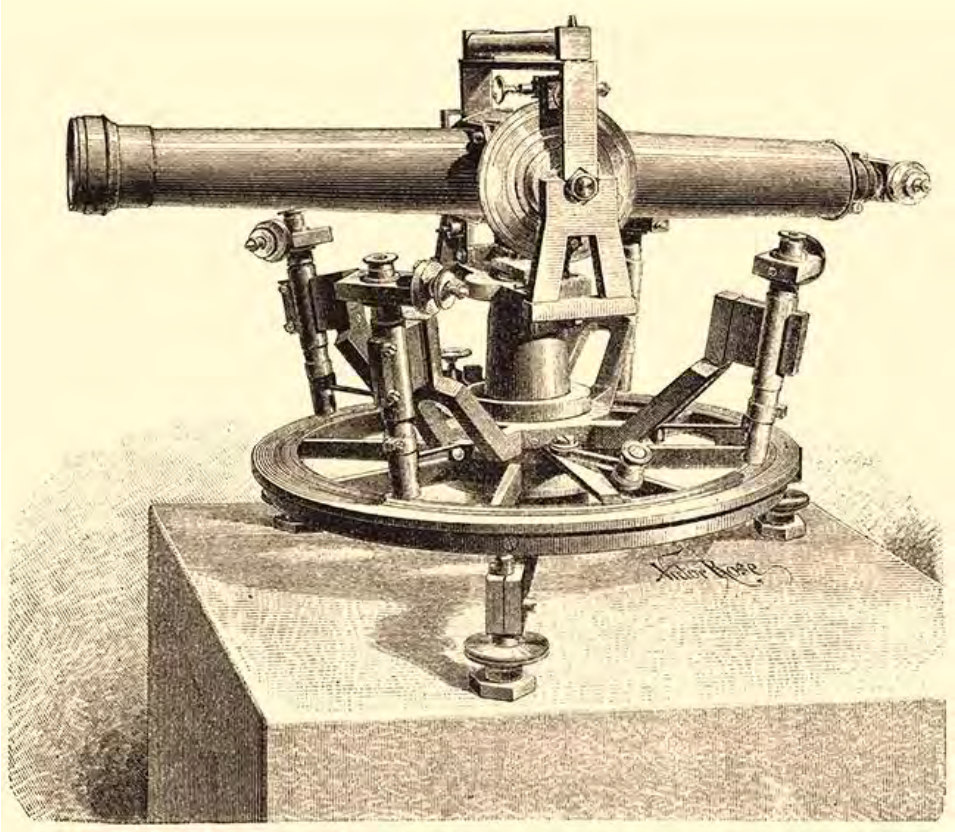
COMANDANTE BOURGEOIS,
CAPITÁN MAURAIN,
CAPITÁN LACOMBE ,
CAPITÁN LALLEMAND,
CAPITAN NOIREL
TENIENTE PERRIER.

En el transcurso de la misma participaron también otros oficiales , durante periodos que variaban en tre cinco meses y un año.



partis de France en 1901, le capitaine Perrier est resté en Amérique jusqu´à la fin de la Mission, menant, pendant de longes années, dans des régions inhospitalières, la dure existence du géodésien commandant d´un détachement entièrement isolé. Cette Mission a exercé sur l´orientation de sa vie une action décisive». Por diversas razones, después de volver a Francia, los otros participantes en la expedición, no pudieron o no quisieron responsabilizarse del cálculo, redacción, discusión de todas las observaciones geodésicas y astronómicas, ni de la publicación de sus resultados; todo ello incumbió al Capitán Perrier. Su trabajo no solo supuso el procesamiento de sus propias observaciones, sino que también tuvo que hacerlo con las efectuadas por los otros oficiales, cuyos resultados no siempre fueron expuestos con la claridad esperada. La tarea emprendida por Perrier fue ímproba, ya que durante la Misión los oficiales no se limitaron a la medida del arco, el fin último de la misma, sino que también tuvieron que ejercer de geógrafos, en el más amplio sentido del término, ocupándose de: la descripción geométrica completa de las dos provincias más septentrionales de Ecuador, su mapa a escala 1:100000, el reconocimiento de la región meridional de la República, itinerarios que recorrieron el país en todos los sentidos, desde la frontera de Colombia a la del Perú, vueltas de horizonte fotográficas, series de observaciones meteorológicas, así como la recopilación de colecciones y documentos de Historia natural, especialmente muestras petrográficas.

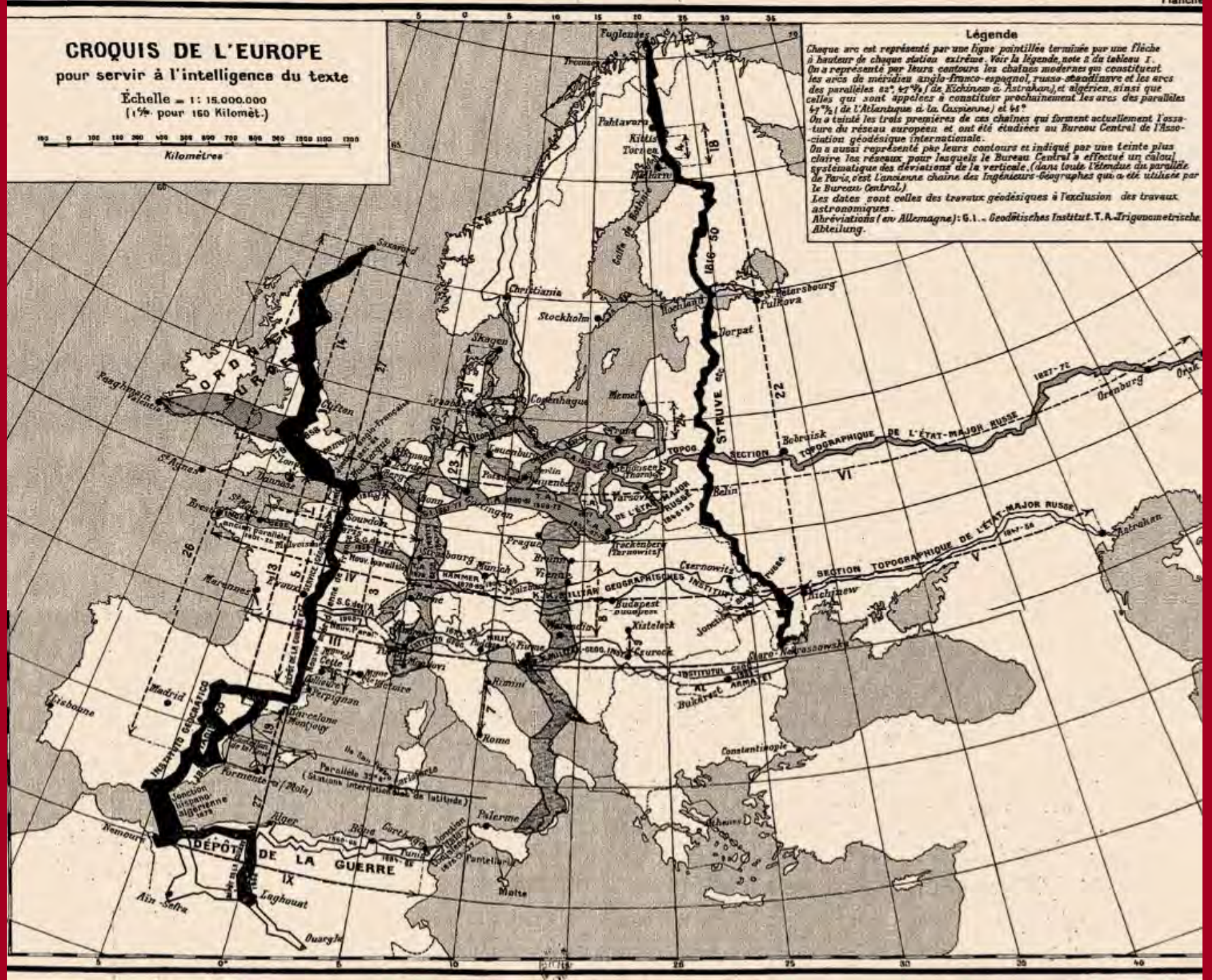
Círculo acimutal reiterador con cuatro microscopios, construido por los hermanos Brunner y usado en la segunda medición de un arco de meridiano ecuatorial



La primera guerra mundial interrumpió la publicación de los fascículos, reemprendida en 1918 para formar un

Georges Perrier

conjunto admirable en el que se expusieron con sencillez los métodos de observación propios de la geodesia superior. No obstante, desde su regreso a Francia, Perrier no dejó de dar a conocer la Misión del Ecuador en varios periódicos y revistas francesas. Así sucedió, por ejemplo, en el año 1908 cuando publicó su trabajo de mayor calado científico, fruto de una investigación exhaustiva y rigurosa, al que tituló *LA FIGURE DE LA TERRE, Les grandes opérations géodésiques, L´ancienne et la nouvelle mesure de l´arc méridien de Quito*. Se trata de una obra fundamental que ha pasado un tanto desapercibida en la historia de la geodesia, al no haber sido suficientemente divulgada, quizás por ser publicada solo en la *Revue de Géographie Annuelle* (II. Vol. 1908. pp. 201- 508), editada por Ludovic Drapeyron. Tras una interesante introducción histórica, G. Perrier dedicó la primera parte de su obra al desarrollo experimentado por la geodesia en los tres últimos siglos, analizando las aportaciones teóricas de Newton, Huygens, Clairaut, Laplace y D´Alembert, sin olvidar las determinaciones experimentales de ese periodo, culminándolo con el estudio del estado general de la geodesia a finales del Siglo de las Luces. Llegados al siglo XIX, lo inicia con una exposición sobre la teoría de errores y el método de los mínimos cuadrados, centrándose después en los métodos geométricos y dinámicos de la geodesia, en la relación de esta con la geología, en los métodos astronómicos, concluyendo con un resumen de los resultados obtenidos, a partir de ellos, relativos a la forma y dimensiones de la Tierra; dedicando el último capítulo a la Asociación Geodésica Internacional, relatando su historia y alguno de los proyectos científicos más relevantes.



LA FIGURE DE LA TERRE.
G. Perrier

Principales cadenas de triángulos extendidas a lo largo de meridianos y paralelos europeos, junto a su enlace con las homólogas del norte de África

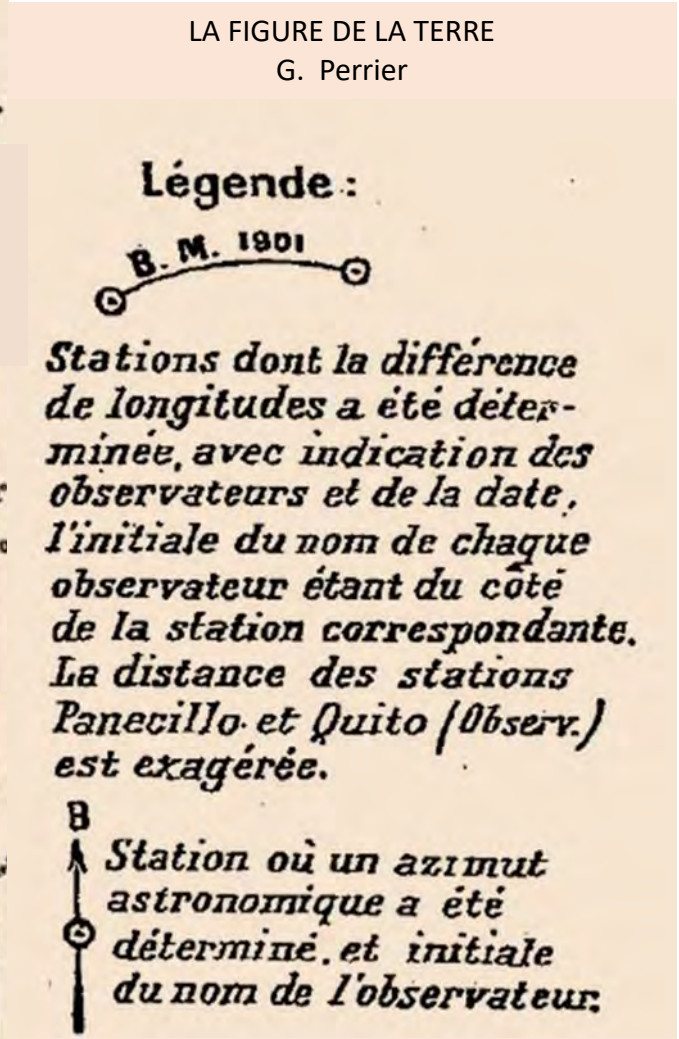
La segunda parte de esta obra, la dedicó G. Perrier a la primera expedición que organizó la Academia de Ciencias francesa para medir un arco de meridiano en el virreinato del Perú (1735-1744). En primer lugar, se refirió a los hombres y a sus escritos, entrando luego en el relato de la operación, que subdividió en tres periodos: primeras observaciones (marzo 1736 - septiembre 1737), la geodesia (septiembre 1737 – agosto 1739) y la astronomía (agosto 1739 – a 1743-44). Se refirió después a la polémica desatada entre los expedicionarios Bouguer y la Condamine, cuando regresaron a Francia. A continuación, se refirió a los resultados obtenidos, desglosando su exposición en los tres capítulos siguientes: longitud de los arcos, amplitud de los arcos, y las longitudes de los grados. Al señalar que se carecía de la información necesaria para pronunciarse sobre la fiabilidad de los resultados

LA FIGURE DE LA TERRE
G. Perrier

	AMPLITUDE	LONGUEUR DE L'ARC RÉDUITE		LONGUEUR DU DEGRÉ		
		AU NIVEAU DE CARABURU	AU NIVEAU DE LA MER	AU NIVEAU DE CARABURU	AU NIVEAU DE LA MER	POUR 14° RÉAUMUR
Bouguer, arc Tarqui-Cochesqui	3° 7′ 1″	176 940t		56 767t	56 746t	56 753t
La Condamine, id. ..	3° 7′ 1″	176 950t,47		56 770t,20	56 749t	
Espagnols, arc Cuenca-Mira	3°26′52″,75		195734t,547		56 767t,788	

obtenidos, se refirió a los de J. Juan y A. de Ulloa, en estos términos: «L´arc des Espagnols , plus sujet à caution encore que celui de Bouguer, n´a jamais été introduit après eux dans des calculs ayant pour but la détermination des éléments de l´ellipsoide terrestre. Il est probable que les géodésiens auriaient, depuis longtemps, renoncé aussi à utiliser celui de Bouguer,…».

LA FIGURE DE LA TERRE
G. Perrier



Diferencias de longitudes y acimutes astronómicos del nuevo meridiano de Quito.

Une Expedition Géodésique a Notre époque. La Mission de l´Équateur (1899-1906) fue el título elegido por G. Perrier para la tercera parte de su Figura de la Tierra, en la que él mismo jugaría un papel determinante. En primer lugar, refirió los trabajos de reconocimiento efectuados, entre los meses de mayo y diciembre de 1899, por los Capitanes Maurian y Lacombe; centrándose a continuación en los pormenores dez laa organización y preparación de la Misión en el periodo comprendido entre enero y abril de 1901. Al comentar después las condiciones del trabajo, recordó las principales actividades científicas que habían tenido lugar en el Ecuador durante el siglo XIX; valorando positivamente el apoyo recibido del gobierno; aunque se lamentara a la vez de las frecuentes destrucciones de las señales, por parte de los indígenas. Las dificultades del transporte y las condiciones atmosféricas fueron también factores que mediatizaron el normal desarrollo de las observaciones. El último capítulo de esta tercera parte se dedicó a la historia real de la expedición, desde junio de 1901 a junio de 1906, subdividido en los seis periodos: (junio 1901-febrero 1902), (febrero 1902-mayo 1904), (mayo 1904-febrero 1905), (febrero 1905-octubre 1905), (octubre 1905-enero 1906) y (enero a junio de 1906). En el capítulo siguiente se comentaron los diversos trabajos de la Misión y del

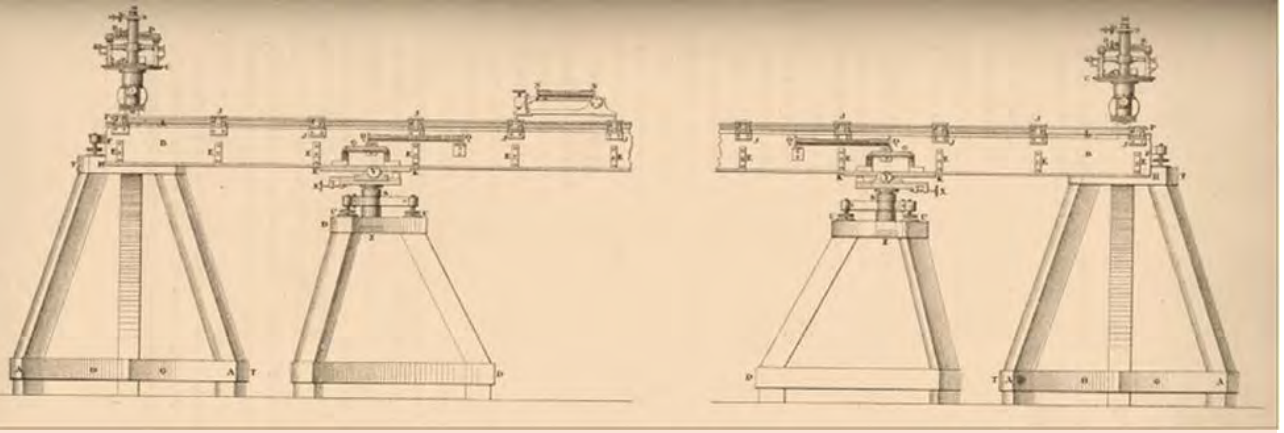
Observatorio de Quito, subrayando los geodésicos y los topográficos, los geológicos y petrográficos, para culminar con los magnéticos y meteorológicos. Mención especial merece el apartado que dedicó a los trabajos de ciencias naturales realizados por el Mayor Rivet, médico de la expedición. En cuanto a los efectuados en el Observatorio de Quito, reconoció la importancia de la colaboración prestada por el astrónomo Francisco Gonnessiat (enviado por el gobierno francés para que dirigiese el observatorio durante la Misión), indispensable para que se pudiesen hallar las diferencias de longitud entre dicho observatorio y varios de los vértices geodésicos.

En la cuarta parte se abordó el estudio de las operaciones necesarias para la medida de arcos, así como los métodos e instrumentos empleados. Su capítulo inicial se dedicó a la sbases, refiriendo las regla y aparatos del siglo XIX: Colby (1827), Bessel (1834), Porro (1854), e Ibáñez (1864); esta última construida por los hermanos Brunner (*Appareil des bases espagnol simplifié*). G. Perrier consideró a esa regla como el prototipo de las llamadas mono metálicas, recordando que con ella se habían medido ocho bases en España (1866-1874) y tres en Suiza (1880-1881), fijando la temperatura los cuatro

Detalle del cóndor y de la esfera armilar que coronan el monumento erigido, junto al observatorio de Quito, en honor de los geodestas que midieron un arco de meridiano por aquellas latitudes.

Fue concebido por el escultor francés Paul Louis Emile Loisseau-Rousseau

Monumento a las misiones geodésicas en los jardines del Observatorio de Quito. Fue inaugurado el 11 de julio de 1913, siendo sufragado por los gobiernos de Ecuador, Francia y la Academia de Ciencias de España. En la imagen de la derecha aparace la musa Urania, grabando la leyenda den la cara de la pirámide.



La regla fabricada por los hermanos Brunner, de acuerdo con las instrucciones de C. Ibáñez y F. Saavedra; y su empleo en la medición de la base suiza de Aarberg en 1880.

termómetros incrustados en la misma. Como reglas bimetálicas refirió las de dos láminas, una de platino y otra de latón, con una separación de 4 m entre los trazos origen, un ancho de 21 mm y un espesor de 5mmm. El segundo capítulo comenzó citando la construcción de los hilos de Jäderin hacia 1885, sometidos a una presión constante, con un diámetro de 1.65 mm, 24 m de longitud y una tensión de 10 kg; siendo adquiridos en Francia por el Servicio Geográfico del Ejército para medir una base en París. En el tercer capítulo se trató de la aleación invar, comentando su descubrimiento y propiedades, así como el protagonismo claro de Benîot (1895), a la sazón director del BIPM (*Bureau International des Poids et Mesures*), y de Guillaume. El primero estudió un acero con el 22% de níquel y 3% de cromo, mientras que el segundo (1896) comprobó que un acero al 30% de níquel se dilataba menos que el platino. G. Perrier explicó el significado de la palabra *invar*, acuñada al respecto: «une aussi remarquable propiété parut aussitôt appelle à rendre cet alliage, qui reçut le nom d´invar, éminemment propre à la constructions d´appareils monométalliques à règle ou à fil, en rendant pratiquement nulles les erreurs résultant d´une imparfaite détermination de la température». En 1897 el BIPM solicitó la construcción de una regla mono metélica de invar, destinada al Servicio Geográfico del Ejército; la cual fue presentada por Benoit y Guillaume en la Conferencia de Pesas y medidas celebrada en 1901. Sus características técnicas fueron: longitud de de 405 cm, sección en H con una superficie de

Medida de la base de San Gabriel (6605m) con los hilos Jäderin, durante la segunda Misión geodésica en la República del Ecuador.

Juego de hilos invar con sus trípodes

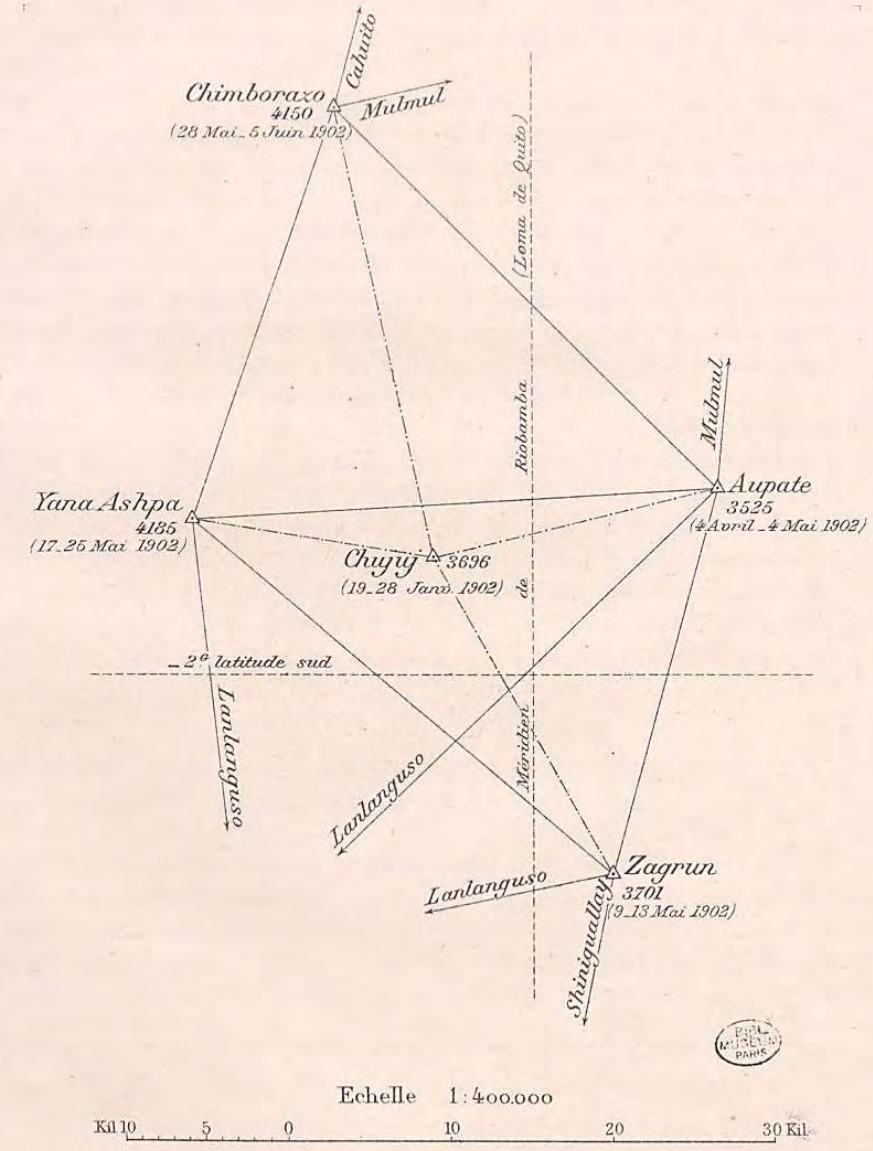
TRIANGULACIÓN PROYECTADA Y OBSERVADA DURANTE LA SEGUNDA MISIÓN FRANCESA A LA REPÚBLICA DEL ECUADOR.

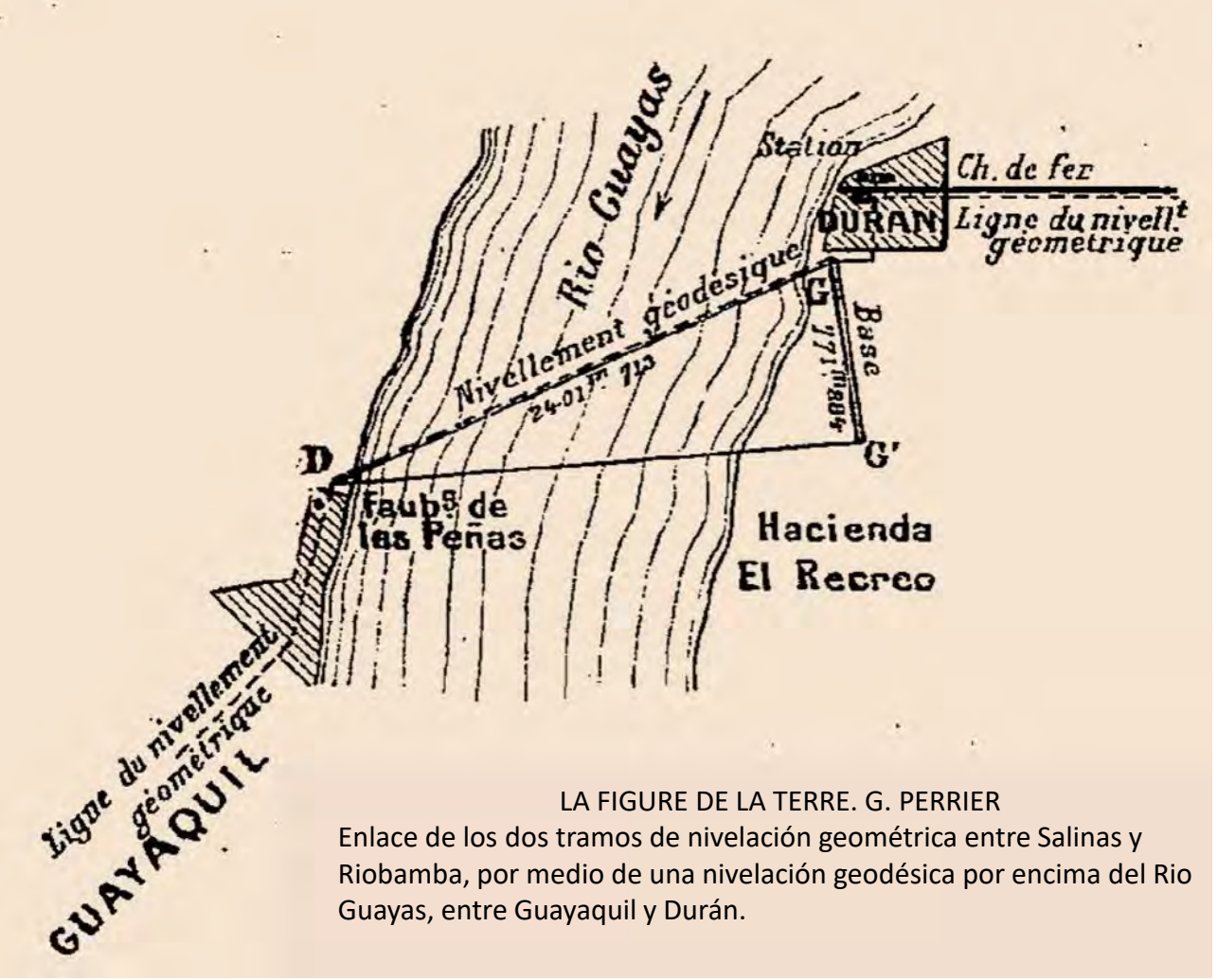
COLOMBIE
Rio Guiaire
Rio Chanayaco
Rio Aguarico
Rio Cofanes
Rio Zabalo
Rio Lagartococha
Rio Putumayo
Rio Napo
Rio Coca
Rio Quijos
Rio Jondachi
Rio Tiputini
Rio Curaray
Rio Pastaza
Rio Tigre
Rio Corrientes
Rio Huallaga
Rio Ucayale
Rio Maranon
Rio Pachitea
Rio Ucayale
Rio Perene
Rio Ene
Rio Tambo
Rio Apurimac
Rio Ucayale
Rio Beni
Rio Madre de Dios
Rio Madeira
Rio Mamore
Rio Guapore
Rio Paraguay
Rio Itenez
Rio Jauru
Rio Paraguay
Rio Pilcomayo
Rio Bermejo
Rio Salado
Rio Colorado
Rio Negro
Rio Chubut
Rio Deseado
Rio Santa Cruz
Rio Gallegos
Rio Coig
Rio Chico
Rio Gallegos
Rio Santa Cruz
Rio Deseado
Rio Chubut
Rio Negro
Rio Colorado
Rio Salado
Rio Bermejo
Rio Pilcomayo
Rio Paraguay
Rio Itenez
Rio Jauru
Rio Paraguay
Rio Guapore
Rio Mamore
Rio Madeira
Rio Beni
Rio Madre de Dios
Rio Apurimac
Rio Ucayale
Rio Tambo
Rio Ene
Rio Perene
Rio Ucayale
Rio Pachitea
Rio Maranon
Rio Ucayale
Rio Huallaga
Rio Corrientes
Rio Tigre
Rio Pastaza
Rio Curaray
Rio Tiputini
Rio Jondachi
Rio Quijos
Rio Coca
Rio Napo
Rio Putumayo
Rio Lagartococha
Rio Zabalo
Rio Cofanes
Rio Aguarico
Rio Chanayaco
Rio Guiaire
Rio Cayambe
Rio Blanco

799 mm^2, inscrita en un cuadrado de 40 mm; presentando una flecha de tan solo 0.6 mm. Tanto las reglas como los hilos invar fueron usados para medir las tres bases establecidas en la segunda Misión geodésica: la central de Riobamba, la norte de san Gabriel (también llamada el Vinculo) y la de Viviate (o Payta) en el sur. Todos los instrumentos de medida fueron debidamente contrastados con la base mural del Pabellón Breteuil (BIPM). Al igual que sucedió en la primera Misión, en esta se proyectó y observó una nueva triangulación que se extendió a lo largo del arco del meridiano, coincidiendo ocasionalmente con la antigua del siglo XVIII (de un total de 71 vértices, solo coincidieron 18 con los de la antigua). Al examinar el croquis de la misma se observa que en su parte central los triángulos son más pequeños, mientras que en los extremos septentrional y meridional aumenta considerablemente la longitud de sus lados (el lado menor fue del orden de 9900 m, alcanzando la longitud del mayor más de 85600 m).

El capítulo de la nivelación fue de especial interés, en tanto que se detalló en él el cómputo de las altitudes de todos los vértices, completando así el posicionamiento espacial de los mismos. Dos fueron los procedimientos empleados: uno geométrico y otro trigonométrico, observando en ocasiones algunas visuales recíproca y simultáneamente (para optimizar el desnivel correspondiente).

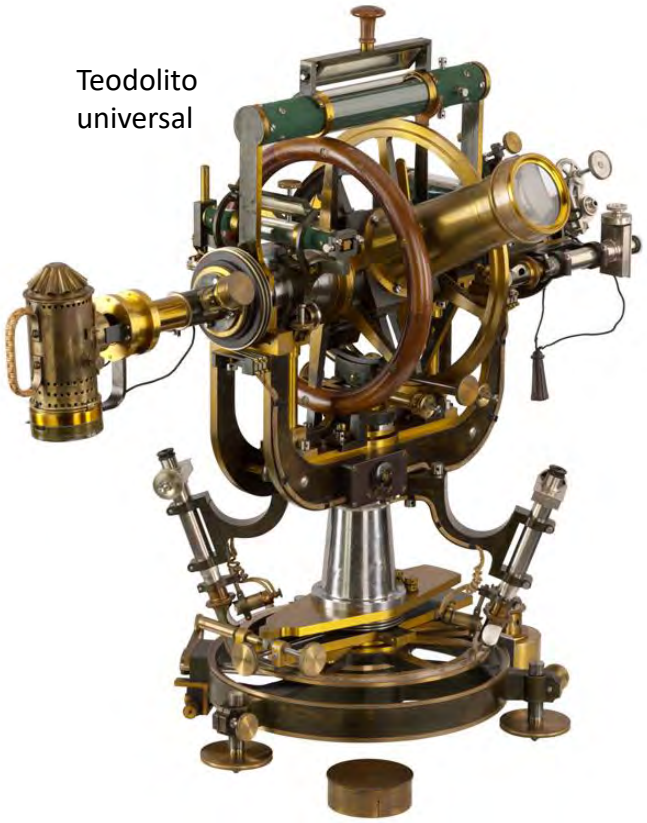
Detalle del enlace de la estación astronómica Chujuj (en ella se obtuvo la latitud) a la triangulación geodésica. Las altitudes indicadas eran provisionales.





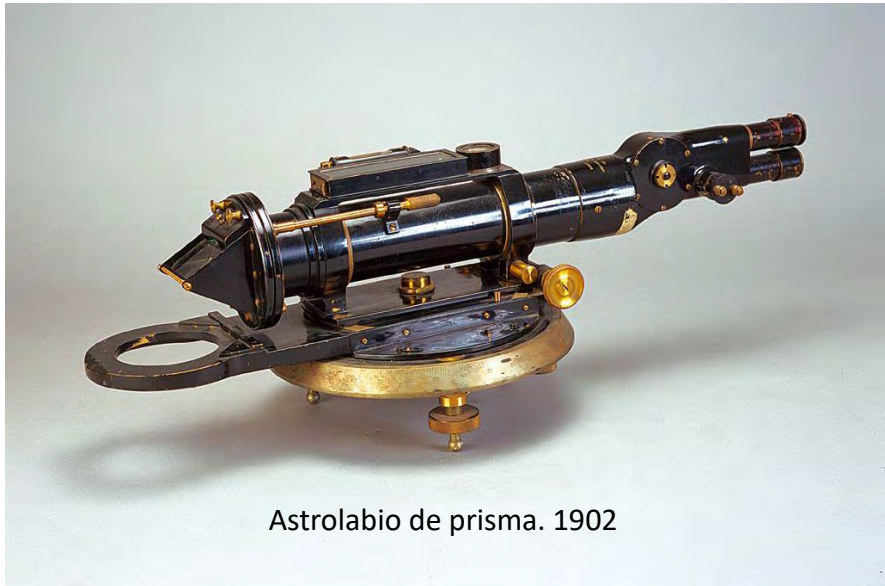
LA FIGURE DE LA TERRE. G. PERRIER
Enlace de los dos tramos de nivelación geométrica entre Salinas y Riobamba, por medio de una nivelación geodésica por encima del Rio Guayas, entre Guayaquil y Durán.

Mediante nivelación geométrica se ligaron al mar los extremos occidentales de las bases de Riobamba y de Viviate. El primer itinerario discurrió por una línea de ferrocarril y se dividió en dos tramos: de Riobamba a Durán (226 km) y de Guayaquil a Salinas (152 km). La unión de ambos se consiguió por medio de una nivelación geodésica entre Guayaquil y Durán, siendo el capitán Perrier el operador responsable, auxiliado por el Sargento Canet; midiendo en agosto de 1905 un total de 154 distancias cenitales recíprocas y simultáneas, «reparties sur huit journées, à des heures différents». El segundo itinerario se extendió desde el extremo oeste de la base de Viviate hasta un mareógrafo instalado en el puerto de Payta, desde el 7 de mayo de 1906; su desarrollo fue de 30 km, siguiendo la línea férrea que, partiendo de Piura, unía Sullana a Payta. En lo que se refiere a la nivelación geodésica, se efectuó, con teodolito de anteojo central, midiendo las distancias cenitales al menos con seis reiteraciones. Cuando no resultó posible la observación simultánea, se dedujo el índice de refracción para tenerlo en cuenta al corregir el desnivel provisional. Entre las medidas recogidas , se citan las que realizó Perrier en el vértice del Redondo (3835m), mientras el sargento Lecomte hacía lo propio en el de Pinllar (2875 m), entre el 12 y el 23 de septiembre de 1903; midiendo 391 parejas de distancias cenitales recíprocas y simultáneas, transmitiendo la hora (mediante señales) desde el primer vértice.



Teodolito universal

Tres fueron los objetivos perseguidos por las observaciones astronómicas previstas en la Misión geodésica. Cálculo de la latitud del lugar, determinación de la diferencia de longitud entre su meridiano y el de París, así como la obtención del acimut de una cierta dirección. El más fácil de conseguir fue el primero, ya que bastaba observar una estrella dada en el instante en que pasaba por el meridiano, puesto que entonces la latitud era una simple combinación lineal de la distancia cenital de la misma (corregida por refracción) y de su declinación. Una variante de ese procedimiento consistía en observarla instantes anteriores o posteriores a su culminación, deduciendo a partir de las distancias cenitales correspondientes la alcanzada al pasar por el meridiano de la estación. Los instrumentos empleados a tal fin fueron teodolitos universales (idénticos a los usados en las observaciones geodésicas), los círculos meridianos portátiles y el astrolabio de prisma; usando en el último supuesto el método de las alturas iguales, aunque también fuera posible aplicarlo con un teodolito universal fijando su anteojo a una altura invariable. El resumen de las observaciones de posible aplicarlo con un teodolito universal fijando su anteojo a una altura invariable). El resumen de las observaciones de latitud fue el siguiente: 8 determinaciones con el gran círculo meridiano, 2 con el círculo meridiano pequeño, 44 con el teodolito astronómico y 10 con el astrolabio. Una vez conocidas las latitudes de las estaciones extremas: Payta (- 5º 5´8´´.5), hallada por el Capitán Maurain, Tulcan (0º 48´25´´.7), hallada por el capitán Perrier, resultó que la amplitud angular del arco meridiano fue de 5º 53´34´´.2.



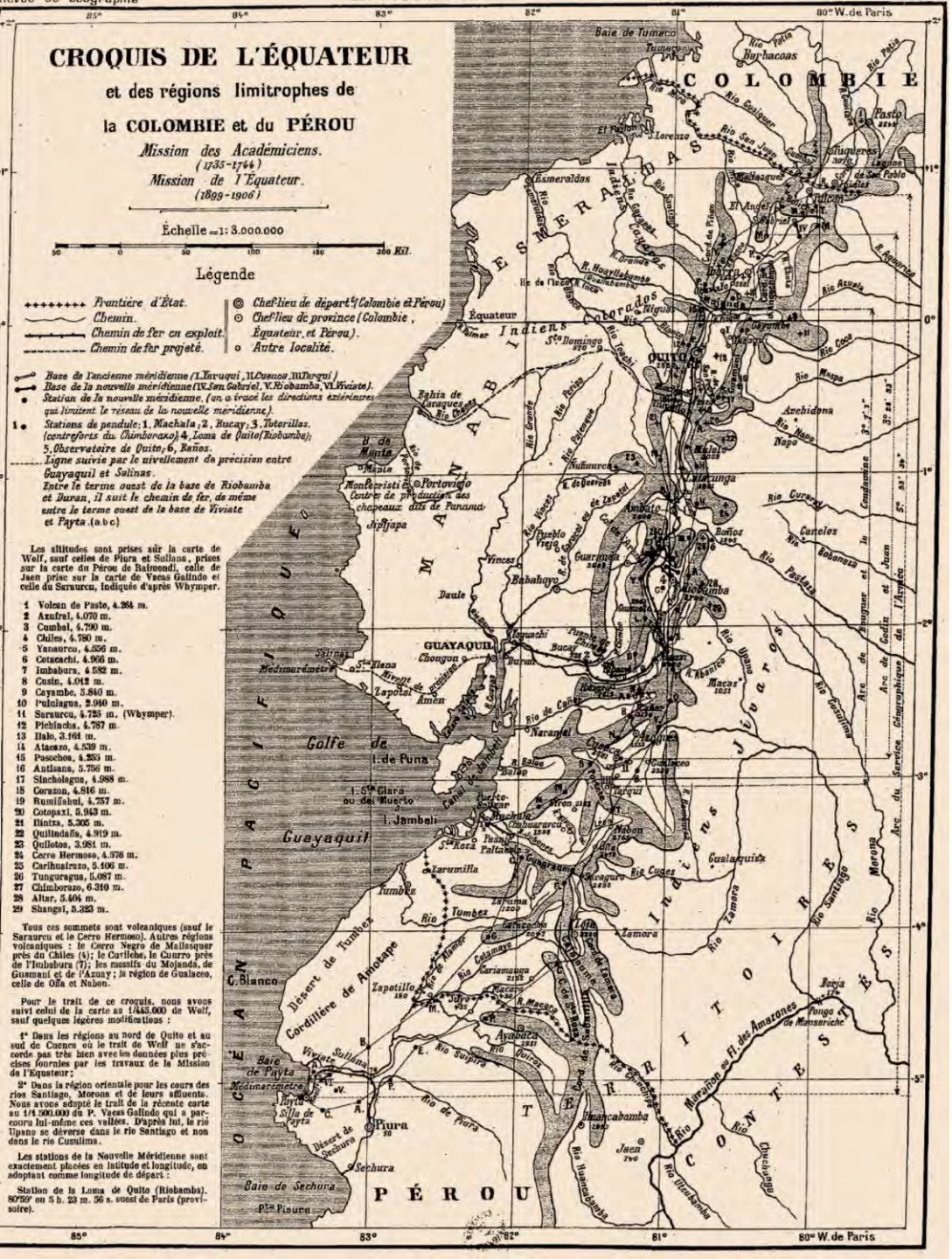
Astrolabio de prisma. 1902

En lo que respecta a la diferencia de longitudes y a los acimutes astronómicos, G. Perrier creía que la primera cuestión, el secular problema de la longitud, ya estaba resuelta por aquel entonces: al coincidir dicha diferencia con las de las horas locales en que se observara un mismo fenómeno, bastaba «pouvoir au même instant, en chaque station, noter l´heure que marque un garde-temps, chronomètre ou horloge de correction connue; la différence des heures corrigées sera la différence des longitudes cherchées». Se trataría por tanto de hallar la hora síderea local, observando la culminación de una estrella mediante el círculo meridiano, pues al ser igual a la ascensión recta de la misma, podría deducirse la corrección asociada a la indicación del reloj. Se constata así que las dos cuestiones planteadas al principio son interdependientes, puesto que en cada lugar habría que materializar la dirección del meridiano. Para ello se establecía una señal auxiliar, la llamada mira meridiana, en las proximidades de dicho plano, procediendo después al cálculo del acimut astronómico de la dirección: estación-señal. Un factor esencial que limita la exactitud de la hora del paso de la estrella por el meridiano es la ecuación personal: cada observador fija tal instante demasiado pronto o demasiado tarde. El papel jugado por el cronógrafo en ese tipo de observaciones fue determinante, al registrar en cada estación, sobre una misma tira de papel, los segundos, así como los instantes de paso y las señales telegráficas entre las estaciones involucradas. Perrier comentó qué una serie completa de observaciones, para hallar las diferencias de longitudes, comportó en cada estación cuatro posiciones de una docena de estrellas, y dos intercambios de 160 señales telegráficas, encuadradas una entre la 1ª y la 2ª posición y otra entre la 3ª y la 4ª.

DATES	STATIONS OUEST	STATIONS EST
Octobre-novembre 1901	Loma de Quito (Riobamba) B...	Panecillo M.
Janvier 1902	Panecillo M	Observatoire de Quito G.
Mars 1902.....	Observatoire de Quito M	Tulcan P.
Juillet 1902	Latacunga M	Observatoire de Quito G.
Mai-juin 1903.....	Observatoire de Quito G	Pinllar P.
Mars-avril 1904.....	Cuenca M	Observatoire de Quito P.
Septembre-novembre 1905	Machala P	Cuenca N.
Avril-mai 1906	Payta F.....	Cuenca N.
Juillet-août 1906	Guayaquil (Duran) L.....	Observatoire de Quito G.

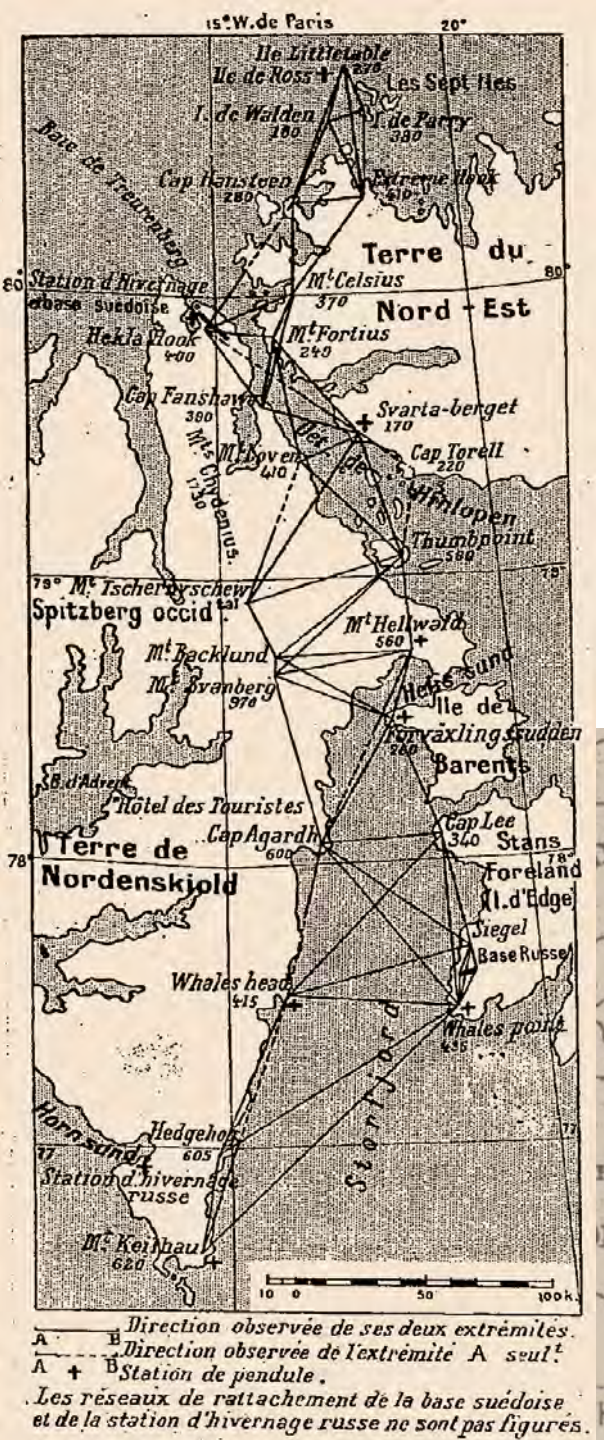
1. Observateurs : B = Bourgeois; F = de Fonlongue; M = Maurain; N = Noirel; P = Perrier. G = Gonnessiat; L = Lagrula.

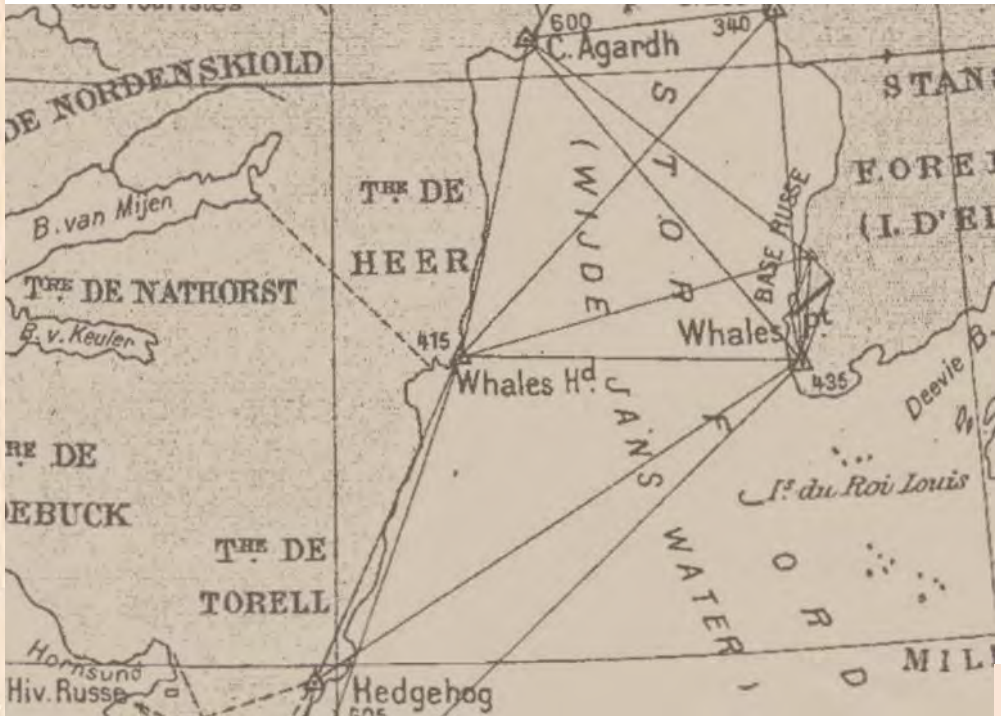
LA FIGURE DE LA TERRE. G. PERRIER.
Diferencias de longitudes determinadas en la Misión geodésica



La cuarta parte de la Figura de la Tierra finalizó con una breve referencia sobre las observaciones gravimétricas efectuadas durante la expedición geodésica, contando con el siguiente instrumental: péndulo, un reloj, un círculo meridiano y un cronógrafo con todos sus accesorios. Las medidas se realizaron en seis estaciones, repartidas de forma tal que se hiciesen evidentes las variaciones de la gravedad: desde el litoral del Pacífico hasta la vertiente oriental de los Andes, «et à avoir une idée de l´effet des masses considérables des deux cordillères sur la forme du géoide dans le region considérée». Su distribución de oeste a Este se resume a continuación: 1) Mechala, en el litoral: $\varphi = -3^{o}\ 16´$, altitud 2 m (Noirel, junio 1905); 2) Bucay, vertiente este de la Cordillera occidental: $\varphi = -2^{o}13´$, altitud 325m (Noirel, julio-agosto 1905); 3) Totorillas (Chimborazo), al este de la cumbre de la Cordillera occidental: $\varphi = -1^{o}\ 30´$, altitud 3685 m (Noirel, diciembre 1905); 4) Loma de Quito (Riobamba, en el centro de la planicie interandina: $\varphi = -1^{o}\ 40´$, altitud 2782 m Bourgeois, noviembre 1901); 5) Observatorio de Quito, centro de la planicie interandina: $\varphi = -\ 0^{o}\ 14´$, altitud 2825 m (Noirel, febrero 1906); 6) Baños, al pie de la vertiente este de la Cordillera oriental: $\varphi = -\ 1^{o}\ 27´$, altitud 1843 m (Noirel, diciembre 1905).

G. Perrrier repasó en la quinta y última parte de su Figura de la Tierra los principales proyectos geodésicos que jalonaron los albores del siglo XX: Nuevas medidas de arcos, Estudios del geoide (geométricos y dinámicos) y Desplazamientos de los polos. El primer arco al que se refirió fue el de Spitzberg (ahora Spitsbergen, nombre de la isla mayor del archipiélago noruego de Svalbard) a unos 1000 km del polo. Los reconocimientos previos a la triangulación los realizaron conjuntamente los geodestas rusos y suecos en el año 1898, en una expedición conjunta dirigida por Jäderin. En las expediciones sucesivas participaron numerosos científicos de ambas naciones, entre los que cabe destacar a los dos siguientes: el ya citado Jäderin y Óskar Andréievich Báklund, miembro de la Academia de San Petersburgo y director del Observatorio de Pulkovo. Las dificultades meteorológicas propias de aquellas latitudes, hicieron que los trabajos propiamente dichos no se iniciasen hasta el año 1901, responsabilizándose los rusos de la parte septentrional del arco y los suecos de la más meridional. La amplitud del arco alcanzó los 4º10´, con una latitud media de 78º 43´; los rusos midieron una base de 6219.1924 m en los dos sentidos, entre el 30 de junio y el 2 de julio de 1901, con los hilos Jäderin. Las observaciones angulares se realizaron con teodolitos de las firmas





Detalle con la base rusa y su red de enlace a la triangulación principal

Kern, Bamberg y Repsold. Los rusos calcularon la latitud y el acimut en 12 vértices, los suecos obtuvieron la latitud en 17 y el acimut en 9; comparando los acimutes astronómicos con los geodésicos se obtuvieron las dos componentes de la desviación de la vertical: $\xi = 13''.4$ y $\eta = 15''.47$. Tanto los rusos como los suecos midieron también la intensidad de la gravedad, en cinco estaciones cada grupo, pudiendo así calcular las pertinentes anomalías usando la fórmula de Helmert. Los detalles de esta expedición geodésica fueron publicados, en 19, con el título: *Missions scientifiques pour la mesured´un arc de méridien au Spitzberg entrepries en 1899-1902 sous les auspices des gouvernements russe et suédois*.

THE UNITED STATES STANDARD GEODETIC DATUM.
Meades Ranch. Kansas

Acto seguido, alabó Perrier la labor desarrollada por el *Coast and Geodetic Survey* para conformar la red trigonométrica de Norteamérica, una tarea extraordinaria por tratarse de un territorio tan extenso: 58 grados de longitud por 23 de latitud. La operación fue verdaderamente complicada y requirió una metodología alejada, en algunos casos, de los patrones convencionales con objeto de alcanzar al final la precisión requerida en las observaciones geodésicas. Para poder unificar las diferentes triangulaciones que se fueron ejecutando, hubo que calcular las coordenadas geodésicas y los acimutes en todos sus vértices, apoyándose desde 1884 sobre un mismo elipsoide (Clarke 1866) y partiendo de los valores alcanzados por tales variables en un punto tomado como origen (*The United States Standard Geodetic Datum*), localizado en Kansas (*Meades Ranch*); el cual fue elegido como tal en el año 1901. Fueron tantas las cadenas triangulares ejecutadas, que Perrier

Sede central del *COAST AND GEODETIC SURVEY*, en Washington. Al fondo se divisa el edificio del Capitolio. 1902.

solo se refirió en su obra las ocho que consideró más relevantes y que se indican a continuación.

I) Arco que discurre a lo largo del meridiano localizado a 88º al oeste de Greenwich, extendido desde el Golfo de Méjico ($\varphi = 30º10´$) al Lago Superior ($\varphi = 48º\ 40´$), esto es con una amplitud de 18º 30´. El tramo septentrional de 10º 12´fue observado por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, antes de 1878, y completado el resto por el *Coast and Geodetic Survey.*

II. Arco de paralelo ($\varphi = 42º$), también iniciado por los ingenieros del ejército antes de 1878, y continuado por el *Coast and Geodetic Survey*; se extendió desde *Cabo Cod* ($\lambda = 70º\ 4´$ W.G.) a *Willow Spring*, cerca de Chicago ($\lambda = 87º\ 49´$), con una amplitud de 17º 45´.

III. Triangulación ya finalizada cubriendo todo el litoral del Pacífico, desde la frontera mejicana ($\varphi = 32º30´$) hasta la frontera canadiense ($\varphi = 49º$), luego prolongado a través de Canadá hasta alcanzar el océano Glacial. Esa red triangular seguía prácticamente el meridiano, a partir del paralelo 39º, proporcionando un arco de 10º de amplitud, «son calcul , pour lequel on emploie le United States Standard Geodetic Datum, est en cours d´exécution». Perrier destacó la singularidad de alguno de sus lados, como el *Mount Shasta- Mount Hellena* que alcanzó los 306 km, una dimensión mayor que la de los lados hispano argelinos, considerados hasta entonces como difíciles de superar.

IV. El arco del paralelo 39º, llamado *Great central arc of longitude* o *transcontinental triangulation*, cuyos trabajos lo

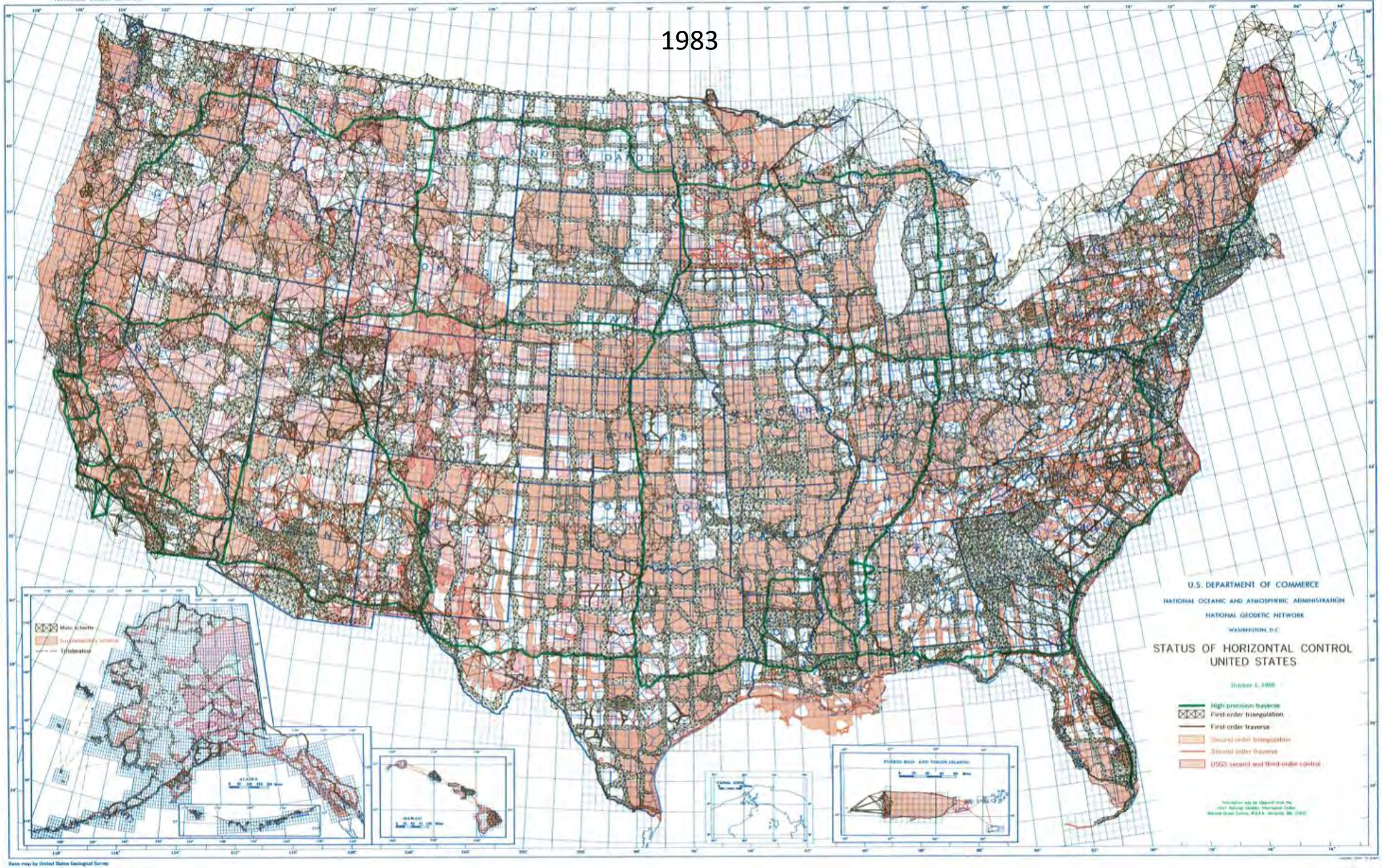
LA FIGURE DE LA TERRE. G. Perrrier. Los principales arcos de Norteamérica

realizaron, entre 1872 y 1898, un total de 55 operadores. Unió el Atlántico con el Pacífico: desde el *Cabo May* en New-Jersey ($\lambda = 74^{o}55´.8$) hasta *Point Arena* ($\lambda = 123^{o}\ 41´.8$), es decir con una amplitud de $48^{o}\ 46´$, equivalentes a unos 4225 km. Se apoyó en 10 bases, alguna de 11199 m (*Salt Lake*. Utah). La red tuvo un total de 220 vértices de primer orden. Como en el caso del meridiano del Pacífico, aquí también se materializaron lados muy largos, con la particularidad de alcanzar altitudes tan considerables como los 4031 m del *Pikes Peak*, al sur de Denver (Colorado).

V. Arco oblicuo del litoral atlántico (*The easttern oblique arc*) configurado entre 1833 y 1898, proyectado para enlazar entre si laas diversas triangulaciones efectuadas en esos territorios. Se extendía entre Calais (Maine), en la desembocadura del rio Santa cruz, en la frontera de Canadá ($\varphi = 45^{o}\ 13´$, $\lambda = 67^{o}17´$) hasta Nueva Orleans ($\varphi = 29^{º}\ 57´$, $\lambda = 90^{o}\ 4´$); con un desarrollo cercano a los 2612 km. La triangulación se apoyó en seis bases, siendo la de Massachusetts (17326 m) la más larga. Este arco fue usado por el *Coast and Geodetic Service* para el estudio de la forma de la Tierra, con resultados positivos para la formación del geoide norteamericano.

La red geodésica en América del Norte (*North America Horizontal Control*). USA (1969), Canadá (1968), Méjico y América central (1966).

1983

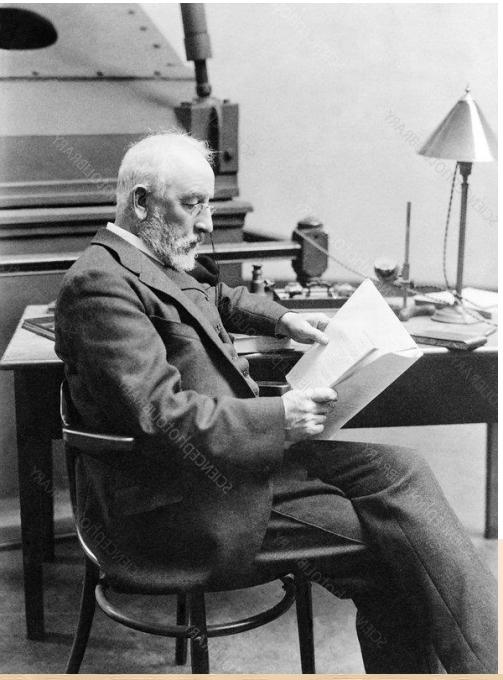

U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE
NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION
NATIONAL GEODETIC NETWORK
WASHINGTON, D.C.
STATUS OF HORIZONTAL CONTROL
UNITED STATES
High-precision traverse
First-order triangulation
First-order traverse
Second-order triangulation
Second-order traverse
USGS second and third-order control

VI. Arco del meridiano 98º, de él comentaba Perrier que se estaba ejecutando desde 1897, estando previsto extenderlo desde la frontera mejicana (φ = 26º) hasta Canadá (φ = 49º). Para minimizar, en lo posible, la proliferación de errores, se decidió medir varias bases, separadas 150 o 200 km, a todo lo largo de sus 23º de amplitud. En su estudió se comprobó que el valor relativo de los lados de la triangulación no incidía demasiado en la precisión de las observaciones, aunque se recomendara que su tamaño estuviese comprendido entre los 15 y 50 km. Las observaciones diurnas se efectuaron valiéndose de heliostatos, usando lámparas de acetileno en las nocturnas. El 30 de junio de 1907 habían finalizado los trabajos de campo, desde los alrededores de Corpus Christi (φ =27º 39´), en Tejas, hasta el paralelo 48º 30´. Perrier no dudó en reconocer el buen hacer del *Coast and Geodetic Survey*: «L´histoire de la Géodésie n´offre pas d´exemple d´un ensemble pareil de mesures menées avec autant de décision de rapidité et des moyens d´action aussi puissants, au service d´une très exacte compréhension du but à atteindre». En Méjico, su Comisión geodésica trianguló asimismo la zona correspondiente a este arco de meridiano, superando las dificultades impuestas por la orografía de Sierra Madre, con vértices casi inaccesibles; concluyendo las observaciones entre el Pacífico y el paralelo 22º , a lo largo de una amplitud angular de 6º.

Antiguo emblema del *Coast and Geodetic Survey* y medalla concedida a algunos de sus miembros para reconocer los servicios prestados durante la segunda guerra mundial

VII. Arco proyectado sobre el paralelo 46º, desde el cabo *Disappointment*, en la desembocadura del rio Columbia (λ = 124º) en el Pacífico, hasta el cabo *Breton* (λ = 64º) en el Atlántico; atravesando los Grandes Lagos y ocupando parte del territorio canadiense.

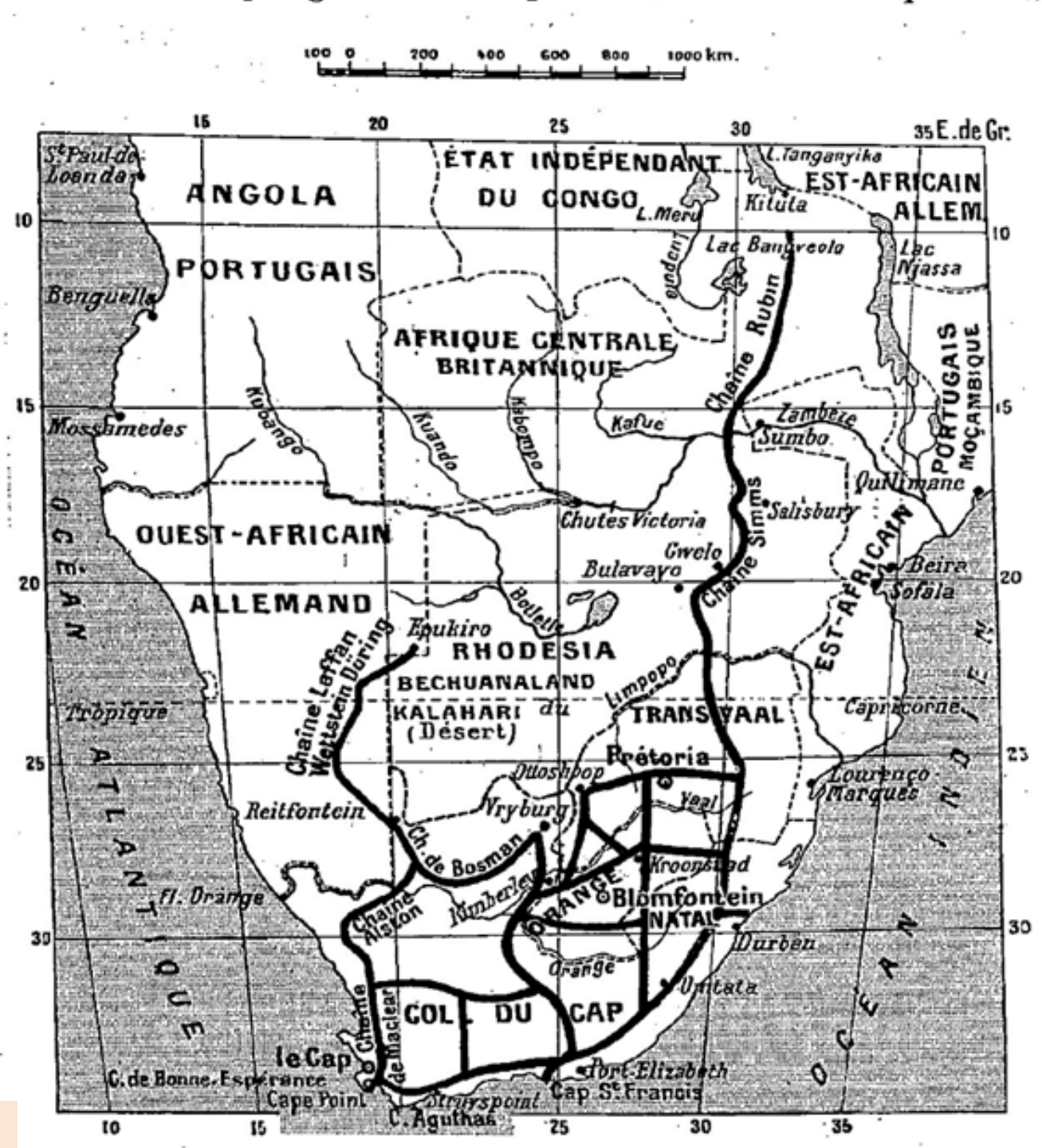
VIII. Arco proyectado siguiendo el paralelo 32º, desde la Isla de San Clemente (λ = 118º 1/3), en el Pacífico, hasta Charleston (λ = 79º 2/3), en el Atlántico; alcanzando un desarrollo aproximado de 3500 km.



Sir David Gill, Astrónomo real y director del Observatorio sito en el cabo de Buena Esperanza

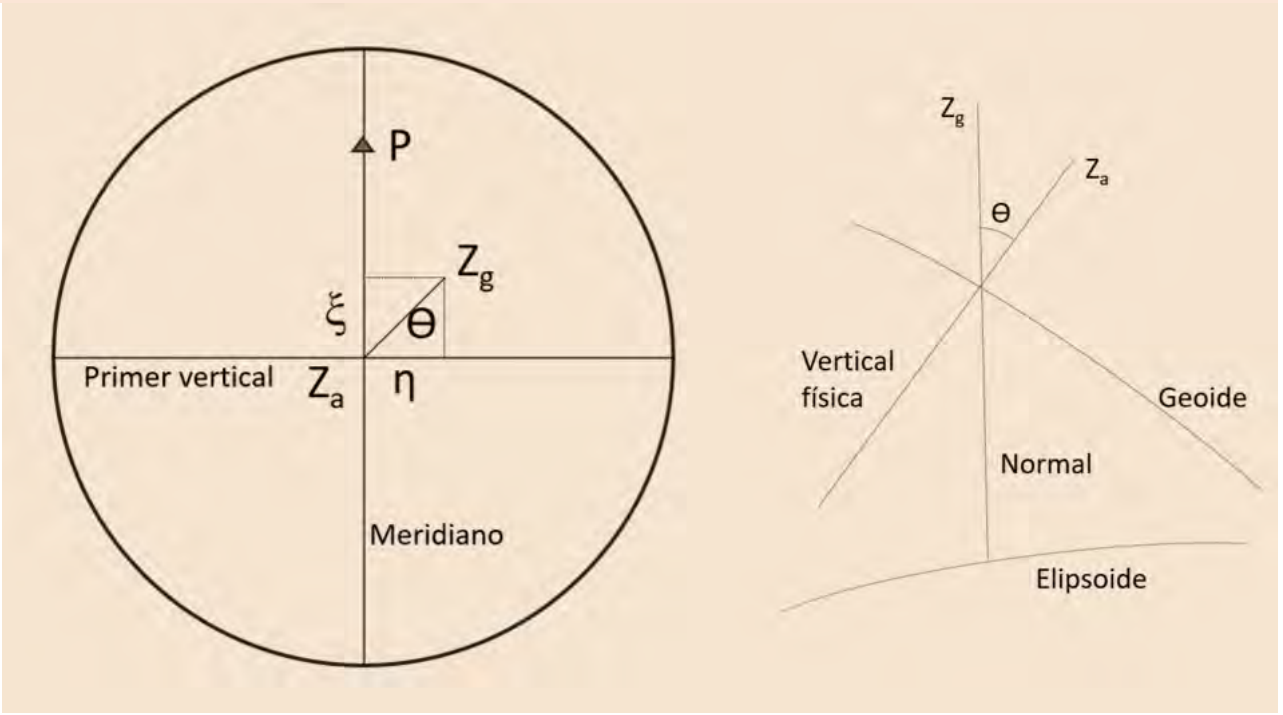
Perrier hizo también un amplio resumen de los arcos medidos en el África austral, destacando la gestión tan relevante de David Gill, astrónomo responsable del Observatorio de la Ciudad del Cabo. Por su iniciativa, y la colaboración de los gobiernos del Cabo y de Natal, se emprendió la triangulación de primer orden en las dos colonias, siendo confiada a los ingenieros reales; los cuales finalizaron sus trabajos en 1892, publicando los resultados en 1896. Por entonces, D. Gill ya tenía previsto triangular el litoral sudeste del continente, desde el Cabo a la frontera de Transvaal, enlazando así con una cadena de triángulos extendida por el meridiano de 30º; qué atravesando África, fuese desde el Cabo hasta el Cairo, cubriendo un arco de 65º. Un proyecto que posibilitaría unir dicha cadena al arco ruso-escandinavo de Struve, por medio de otra que discurriera a lo largo del litoral de Asia menor y Siria; formando al final una serie ininterrumpida de triángulos desde el Cabo de las Agujas al cabo Norte, que con una amplitud de 106º sería la de mayor extensión que se podría trazar en la Tierra. La relevancia de semejante proyecto africano para el gobierno inglés era obvia, en tanto que la red geodésica entre el Cabo y el Cairo, precedería o acompañaría al trazado del ferrocarril que acabaría uniéndolas algún día; una ilusión que siempre defendió Cecil John Rhodes, Primer ministro de la Ciudad del Cabo entre 1890 y 1896. Perrier refirió después los contactos que mantuvo D. Gill durante el

viaje que hizo a Inglaterra (1896), para el progreso de su proyecto, así como las diversas triangulaciones que se fueron ejecutando en los territorios recientemente conquistados, sin olvidar los nombres de los protagonistas más destacados; tales trabajos se vieron facilitados por la creación del *Survey Department* y del *Geodetic Survey of South Africa*. Entre julio de 1903 y junio de 1904 se midieron con los hilos invar de Jäderin cinco bases, cuyos errores relativos estuvieron comprendidos entre 1/6767000 y 1/2110000. A modo de conclusión, mencionó Perrier las tres cadenas principales, con numerosas estaciones astronómicas, que fueron útiles para el estudio de la figura de la Tierra: 1) El arco del meridiano 19º, comprendido entre Cabo Point (φ = - 34º 21´) a Epukiro (φ = -21º 55´), con una amplitud de 12º 26´; 2) El arco del meridiano 26º, extendido desde el Cabo a San Francisco (φ = -34º 10´) a Ottoshoop (φ= -25º 33´), con una amplitud de 8º 37´; 3) El arco del meridiano 30º, que partía de Umtata (φ = -31º 35´), extendiéndose los triángulos a través de Natal, el Transvaal y Rodesia, hasta alcanzar el paralelo 10º sur.



LA FIGURE DE LA TERRE. G. PERRIER. Triangulaciones en África austral

Proyección ortográfica de la esfera celeste, centrada en el cenit astronómico. El arco Z_aZ_g es la desviación de la vertical (Θ), y el par (ξ, η) sus dos componentes. Z_a es el cenit astronómico y Z_g el cenit geodésico.

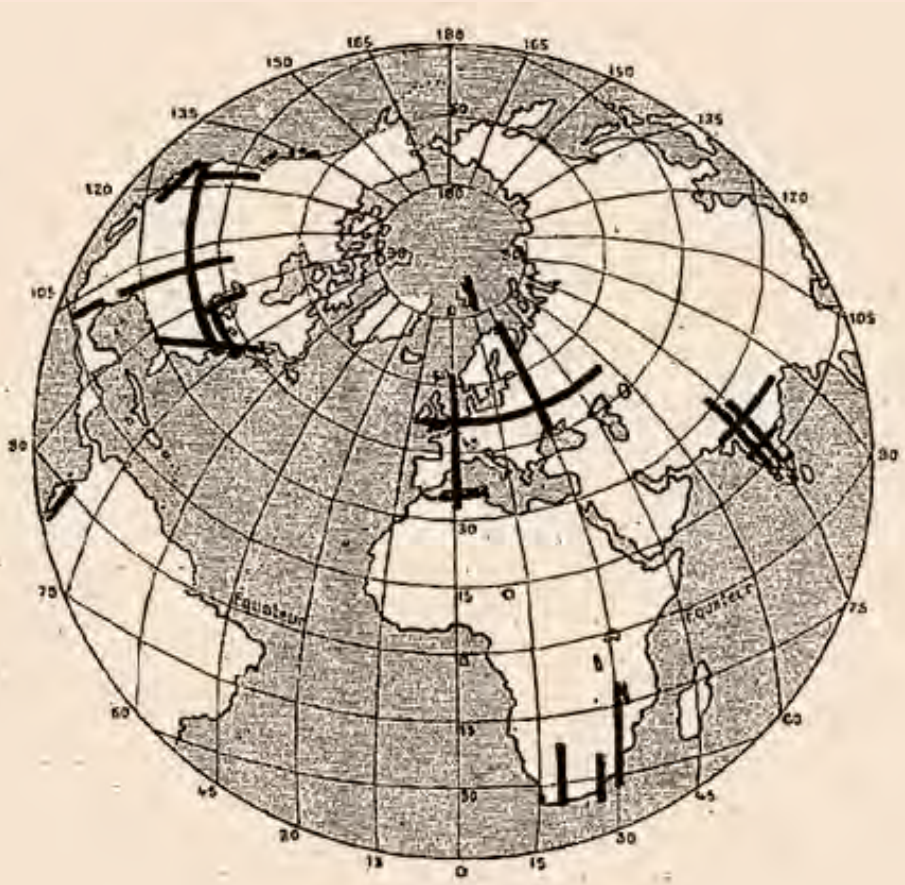


Continuaba esta quinta parte de la Figura de la Tierra con el estudio del geoide emprendido por la Asociación Geodésica Internacional a comienzos del pasado siglo XX, estructurándolo en dos apartados: uno basado en el método de los arcos (geométrico) y otro en el de las áreas (físico). Perrier inició su exposición planteando el problema de la desviación de la vertical y esbozando las líneas maestras de su solución. Se trataría en principio en hallar los valores de la desviación no solo para un elipsoide de referencia E, dado por el par (a, α), sino otro cualquiera E´, definido por los parámetros $a_1 = a + da$ y $\alpha_1 = \alpha + d\alpha$, semejante al primero en cuanto a dimensiones y posición. Se comenzaría por formar una. red astronómica y geodésica sobre el elipsoide E, uniendo dos a dos, por una geodésica de longitud Σ, los puntos s; en los que se sabe por observación las coordenadas astronómicas , latitud L, longitud M y acimut A. Sean ξ_o, η_o las componentes de la desviación de la vertical con relación al elipsoide E en el punto s_o; y sean δΣ, δL, δM y δA las correcciones que tendrían que aplicarse a las cantidades observadas Σ, L, M, A por los errores de la observación. Dada una línea geodésica cualquiera, que uniese los puntos s_m y s_n, se podría, al comparar los elementos geodésicos y astronómicos, hallar tres ecuaciones diferenciales que ligasen las cantidades ξ_m, η_m, ξ_n, η_n, a las componentes ξ_o, η_o, de la desviación de la vertical en el punto origen, a las cantidades da, dα y a las correcciones $\delta\Sigma_{(mn)}$, δL_m, δM_m y $\delta A_{(mn)}$.Unas ecuaciones que se reducirían a las que figuran al final de estos comentarios, cuando se supone el elipsoide E situado de modo que las componentes ξ_o, η_o sean nulas en el punto origen, cuando no se

tienen en cuenta las variaciones da y dα, y cuando los valores Σ, L, M, A proporcionados por la observación no estuviesen afectados por error alguno. Al eliminar ξ y η se deducen las ecuaciones de condición que deben satisfacer las incógnitas ξ_o, η_o, da, dα, δΣ, δ L, δM, δA. Al resolver tales ecuaciones por el método de los mínimos cuadrados se obtendrían los valores ξ_o, η_o, da, dα, que servirían mejor para fijar la posición y dimensiones del elipsoide de referencia, como modelo matemático del geoide en la región considerada, así como los valores de las correcciones correspondientes δΣ, δ L, δM, δA.

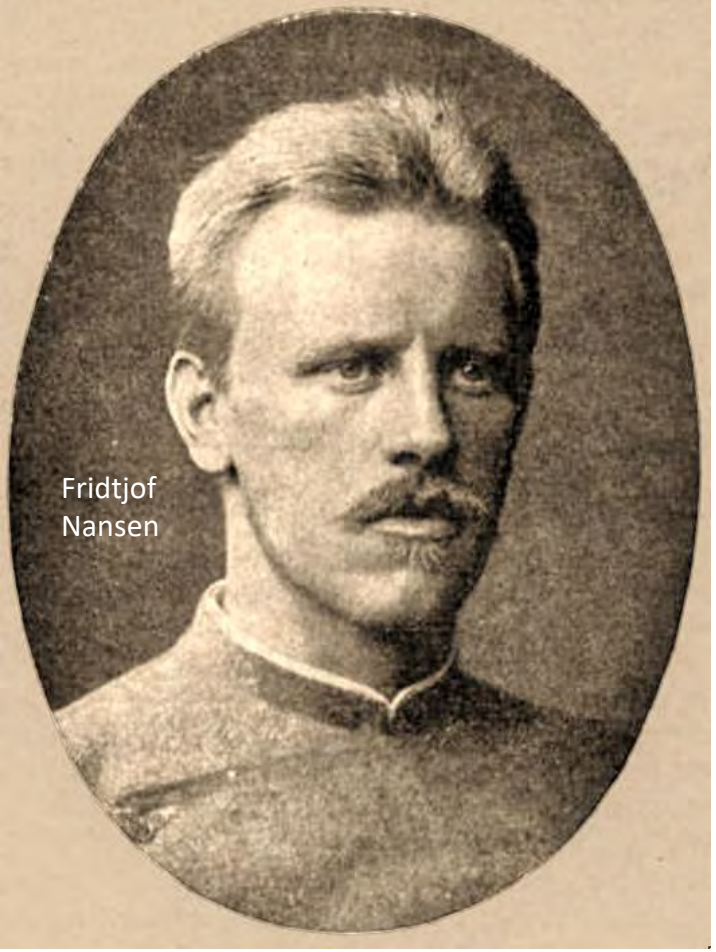
$\xi = L-l$, $\eta = (M-m)\cos l$, $\eta = (A_a-A_g)\cos l$; $\theta = (\xi^2 + \eta^2)^{1/2}$; $A_a - A_g = (M-m)\operatorname{sen} l$ (Ecuación de Laplace); l y m son la longitud y latitud geodésicas, A_a y A_g son los acimutes astronómicos y geodésicos.

La FIGURE DE LA TERRE. GEORGES PERRIER
Principaux arcs mesurés avec la precisión moderne



Perrier recordó después los trabajos efectuados a tal efecto por geodestas como Bessel y Clarke, aunque el elipsoide deducido por este ultimo modelizó también el geoide en África del Sur y en Australia, así como por los del *Coast and Geodetic Survey*, que propusieron el definido por los parámetros siguientes: semieje ecuatorial de 6379822 m y con 1/304.5 de aplastamiento polar.

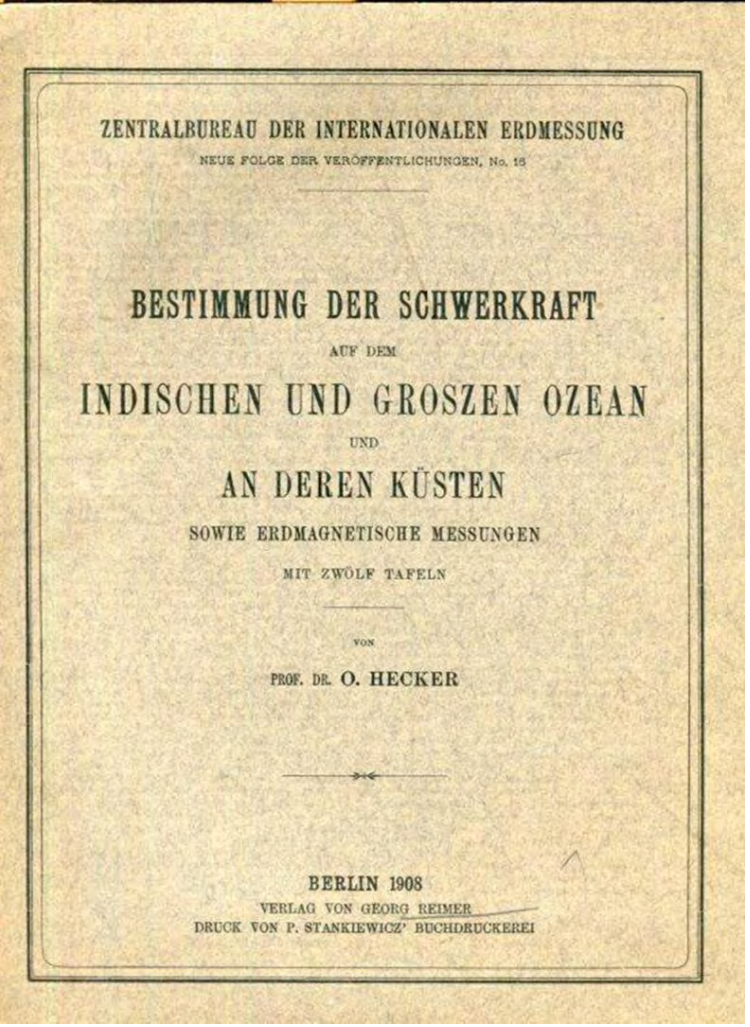
El estudio del geoide a partir de las observaciones gravimétricas, se refirió en primer lugar a las diversas tentativas de medir la gravedad en el mar; recordando las determinaciones de Scott Hansen a bordo del buque Fram. No obstante, fue durante la expedición polar del noruego Fridtjof Nansen cuando se hicieron diez medidas pendulares


Fridtjof Nansen

entre las latitudes 79º 15´y 85º 55´; deduciendo unas anomalías muy débiles con relación a la gravedad teórica prevista por la fórmula de Helmert (1884). Precisamente sería este sabio alemán el que sugirió al geofísico Oskar Hecker la medida de la gravedad en el mar, para poder analizar la precisión esperada de sus medidas en el mismo. Perrier detalló como el 24 de junio de 1901 partió aquel de Hamburgo, rumbo a Brasil, llegando a Río de Janeiro el 22 de agosto, después de haber hecho escala en la Coruña, Lisboa y Bahía. El 16 de septiembre zarpó de vuelta a Europa, desembarcando en Lisboa el 1 de octubre, para regresar a berlín, pasando por Madrid. Durante el viaje de ida midió 51 veces la intensidad de la gravedad, siendo 37 las veces en

Oscar Hecker

que lo hizo durante el viaje de vuelta. Aunque los valores observados estuviesen mediatizados por las lecturas hipsométricas y barométricas, al final pudieron evaluarse las anomalías a partir de otra fórmula de Helmert (1901); estando comprendidos sus valores entre - 0.177cm, en el Golfo de Vizcaya, y 0.161, cerca de Pernambuco. En pleno océano, a profundidades de 5600 m , las anomalías siempre fueron muy débiles: entre -0.038 cm y 0.028 cm. Concluyendo que la anomalía estimada para el trayecto de ida fue de ± 0.026 y para el de vuelta ± 0.041. Los resultados de esa expedición gravimétrica fueron presentados en *Bestimmung der Schwerkraft auf dem Atlantischen Ozean sowie in Rio de Janeiro, Lissabon und Madrid.* P. Stankiewicz, Berlin 1903, S. VI, 137.



ZENTRALBUREAU DER INTERNATIONALEN ERDMESSUNG

NEUE FOLGE DER VERÖFFENTLICHUNGEN, No. 15

BESTIMMUNG DER SCHWERKRAFT

AUF DEM

INDISCHEN UND GROSZEN OZEAN

UND

AN DEREN KÜSTEN

SOWIE ERDMAGNETISCHE MESSUNGEN

MIT ZWÖLF TAFELN

VON

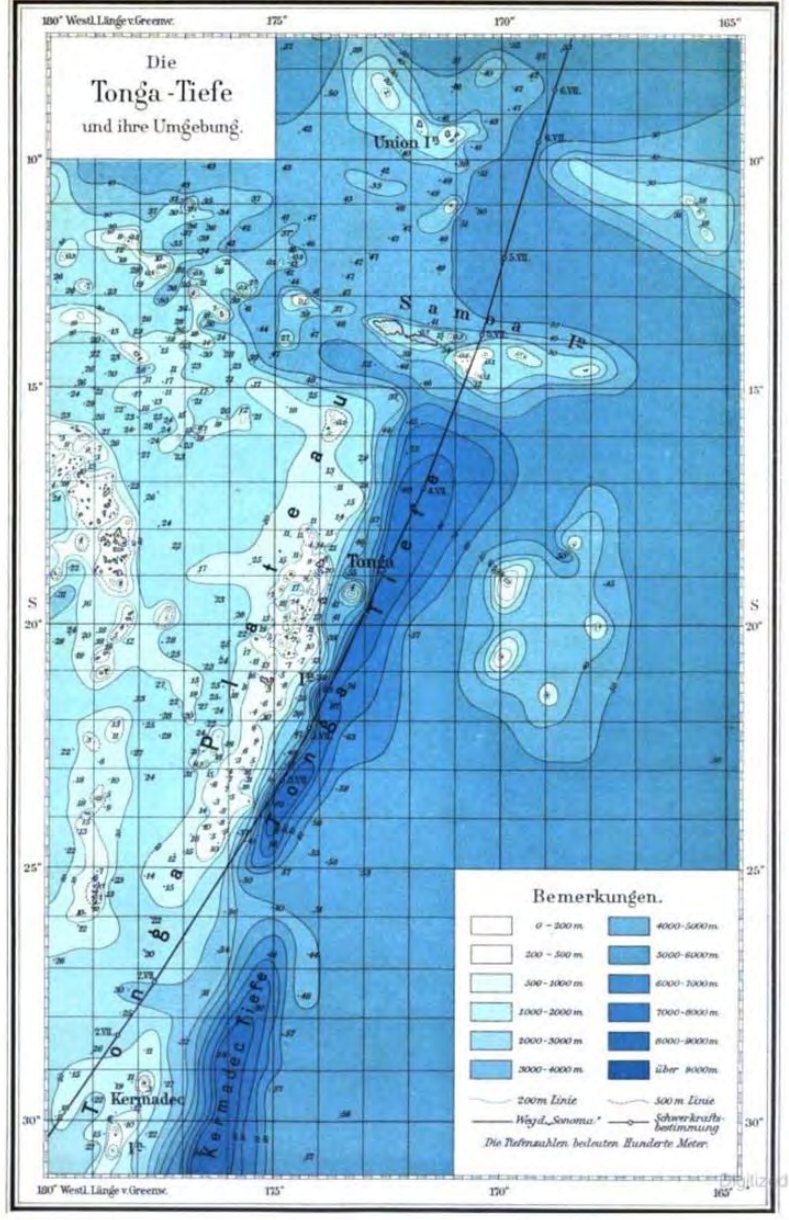
PROF. DR. O. HECKER

BERLIN 1908

VERLAG VON GEORG REIMER

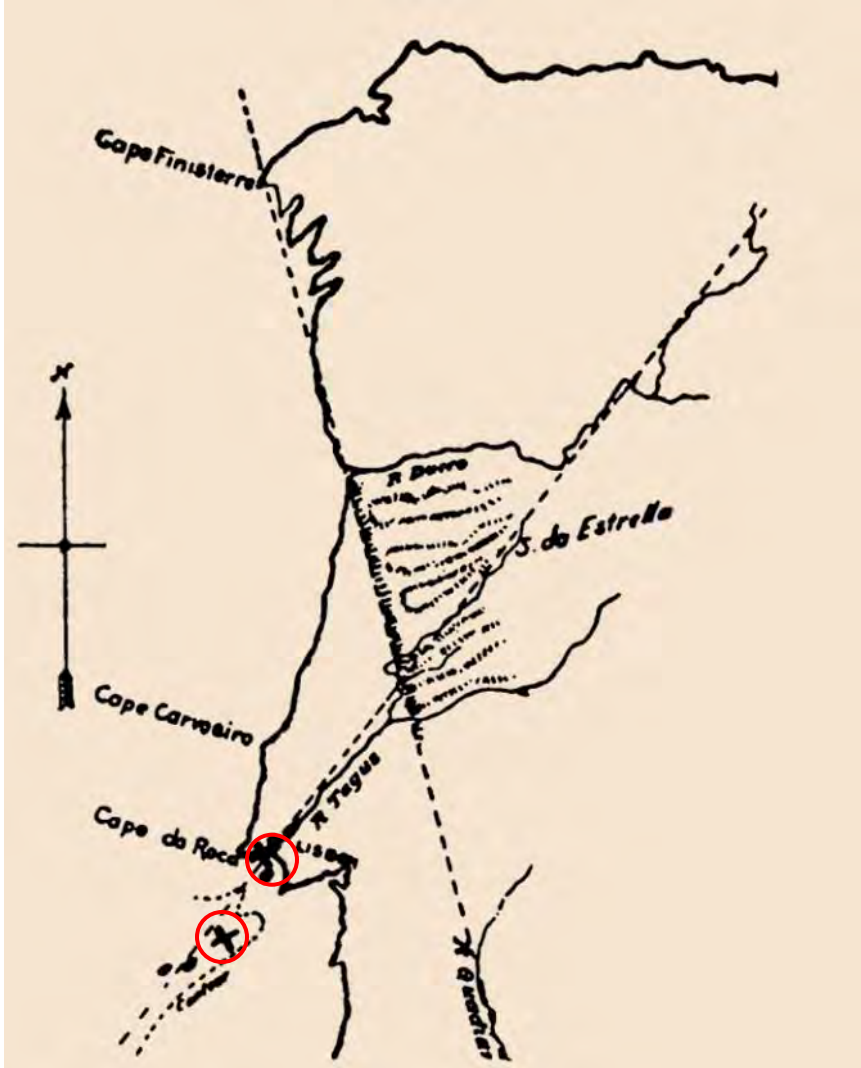
DRUCK VON P. STANKIEWICZ' BUCHDRUCKEREI

El éxito de la expedición anterior le animó a efectuar otra por el Océano Pacífico, renunciando al uso de barómetros de lectura directa en favor de los de registro fotográfico. Este segundo viaje duró más de un año (del 3 de marzo de 1903 al 8 de abril de 1904), realizando en su transcurso 165 determinaciones de la gravedad, con estaciones en Melbourne, Sídney, Berkeley, Tokio, Hong Kong y Jalpaiguri, entre otras. En esta ocasión, aunque la gravedad observada casi coincidió con la normal en el océano, se presentaron anomalías locales importantes: positivas al sur de Australia (0.212 cm), al norte de Nueva Zelanda (0.293 cm), cerca de las Islas Tonga (0.213 cm) y en la rada de Honolulu (0.319 cm), y negativas en las profundidades al este de tales islas, entre - 0.232 y - 0.271 cm; constatando así que el reparto de masas en Oceanía es más complejo que en el Atlántico. El error medio estimado para la anomalía en esta expedición fue de ± 0.030. Los detalles de las observaciones figuraron en *Bestimmung der Schwerkraft auf dem Indischen und Großen Ozean und an deren Küsten sowie erdmagnetische Messungen mit 12 Tafeln* (Berlín 1908). Años después se asociaron las grandes anomalías de la gravedad detectadas por Hecker a los accidentes



tectónicos y a la ocurrencia de terremotos, así lo hizo, por ejemplo, William Herbert Hobbs en su trabajo *Assumptions Involved in the Doctrine of Isostatic Compensation, with a Note on Hecker's Determination of Gravity at Sea* (*The Journal of Geology*. Vol. 24. pp 690-717. 1916). En él reprodujo un croquis de la Península Ibérica, en el que junto a la gran alineación del Tajo localizó las dos estaciones gravimétricas en las que Hecker realizo sus observaciones.

Perrier continuó su referencia señalando que Hecker acababa de recomendar en 1907 un nuevo método, más rápido y exacto, para hallar la gravedad en el mar: « qui permet de déterminer l´intensité de la pesanteur en mer d´une manière plus rapide, en tout cas plus exacte. On ne se servira plus des thermomètres d´ébullition. Les observations seront, pour la plus grande partie, enregistrées par la voie photographique et peuvent être exécutées par des personnes qui n´ont pas fait une étude spéciale du sujet ». Para él, los dos memorables viajes de Hecker siempre ocuparían un lugar destacable en la historia de la gravimetría, a la espera de que llegase la solución definitiva del problema. El último comentario de Perrier sobre la gravedad y el geoide, se refirió a los procedimientos más novedosos de su época, que reemplazarían en poco tiempo a los equipos pendulares, por su facilidad de transporte y rapidez en la medición; cualidades que permitirían multiplicar las determinaciones relativas, comprobando la necesidad de



Sketch map of a portion of the Iberian Peninsula to indicate the great lineament of the Tagus, along which shocks were especially heavy at the time of the Lisbon earthquake of 1755. The positions of ships which felt the shock of the Lisbon earthquake are indicated, and also the two positions (crosses) where Hecker´s measurements showed excessive values. *Hecker's figures in general indicate large anomalies of gravity above submerged escarpments and near where seaquakes have been.*

El Baron Loránd Eötvös, a comienzos de 1900.

conocer con mayor solvencia las variaciones de la gravedad en un espacio reducido. El procedimiento más eficaz resultó ser el ligado a la balanza de torsión diseñada por el físico L. Eötvös, un instrumento que permitía determinar en un punto cualquiera las curvaturas de las secciones normales del geoide, la curvatura de la vertical, las variaciones de la gravedad en diferentes direcciones y sobre el geoide; el cual ya había sido usado con éxito en más de 300 estaciones de Hungría.

Perrier concluyó su Figure de la Terre con un excelente resumen de una cuestión tan singular y novedosa como el desplazamiento de los polos, la cual afectaría no solo a la geodesia, sino también a la astronomía, a la física del globo y a la geología; mereciendo especial atención de la Asociación Internacional de Geodesia a lo largo del último cuarto del siglo XIX. La constatación de un fenómeno tan peculiar se produjo cuando se observó que el valor de la latitud no permanecía inalterable, no debe olvidarse que tal coordenada puede definirse como la altura del polo sobre el horizonte del lugar. Hasta mediados del siglo XVIII nunca se dudó de la coincidencia entre el eje polar de la Tierra y el eje menor del elipsoide de revolución, que le servía de modelo. Euler fue el primero en hacerlo, al demostrar que la coincidencia solo se produciría en el supuesto de la Tierra rígida, a la vez que probaba como desde entonces el eje de rotación terrestre describiría un cono circular, dando una revolución completa cada 305 días sidéreos; los estudios teóricos posteriores discurrieron en paralelo a los intentos de comprobar experimentalmente el fenómeno. Fue entre la primavera de 1884 y la de 1885, cuando Küstner comprobó, en el Observatorio de Berlín, que durante ese periodo la latitud había disminuido 0”.2. Tal observación facilitó la creación de un programa conjunto, de los

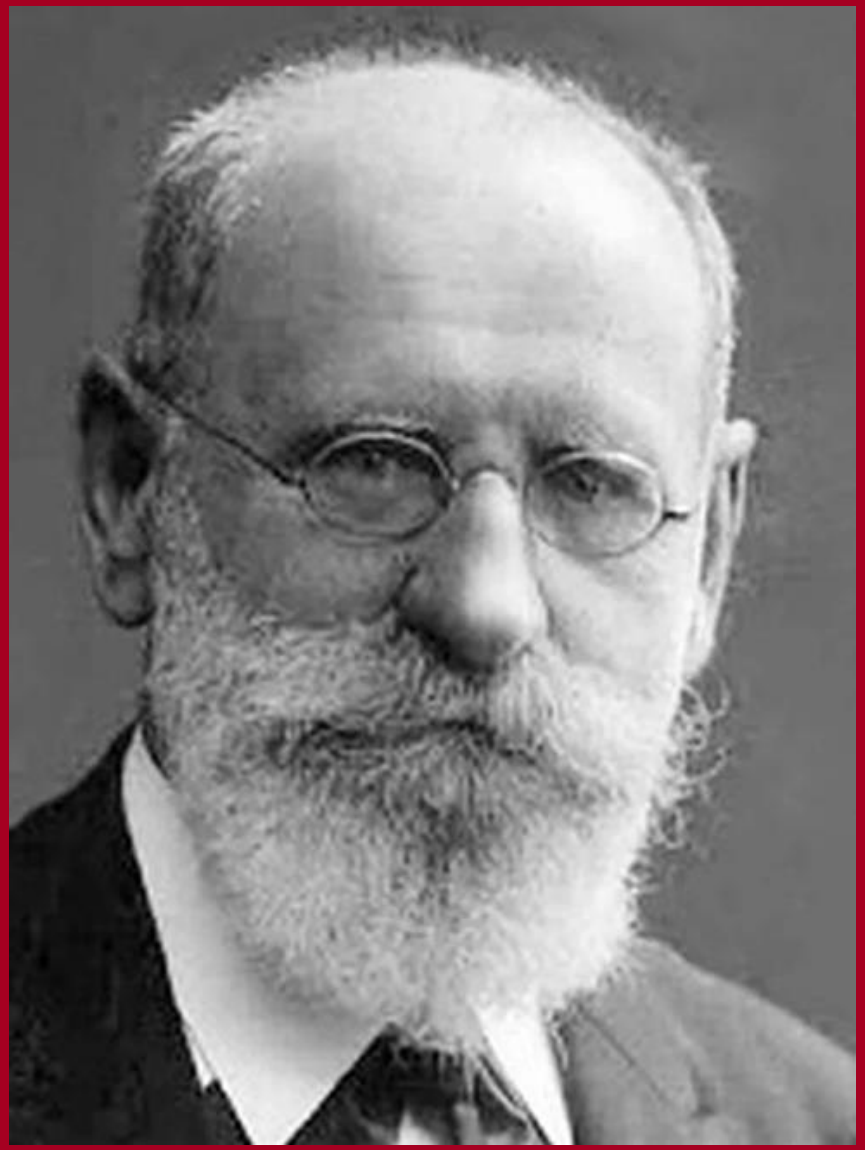
observatorios de Berlín, Potsdam y Praga, para evaluar continuamente la latitud: el resultado fue concluyente, ya que la latitud había variado hasta alcanzar un máximo en agosto de 1889 y un mínimo en febrero de 1890; con una amplitud total para todas las variaciones entre los 0”.5 y 0”.6. La conferencia celebrada en Berlín (1895) marcó un hito relevante, puesto que entonces el profesor alemán Carl Theodor Albrecht presentó la gráfica del movimiento efectuado por el polo desde enero de 1890 hasta mayo de 1895, al igual que haría años después la representar la polodia para el periodo comprendido entre 1900.0 y 1905.0. Siendo ya evidente el movimiento del polo, se constituyó el Servicio Internacional de Latitudes en el año 1895: el instrumento de observación sería el teodolito cenital de anteojo excéntrico fabricado por Wanschaff, usando el método de Horrebow coordenada usando el método de Horrebow -Talcott. Cuando Perrier ultimó la redacción de su obra (junio-julio de 1908), las estaciones que pertenecían a la red constituida al efecto eran las aquí indicadas.

Todas las estaciones se localizaron en el hemisferio norte, sobre el paralelo 39º, cuyas latitudes variaban entre los 39º 8´4” y los 39º 8´19”, es decir no más de 15”, equivalentes a unos 450 metros

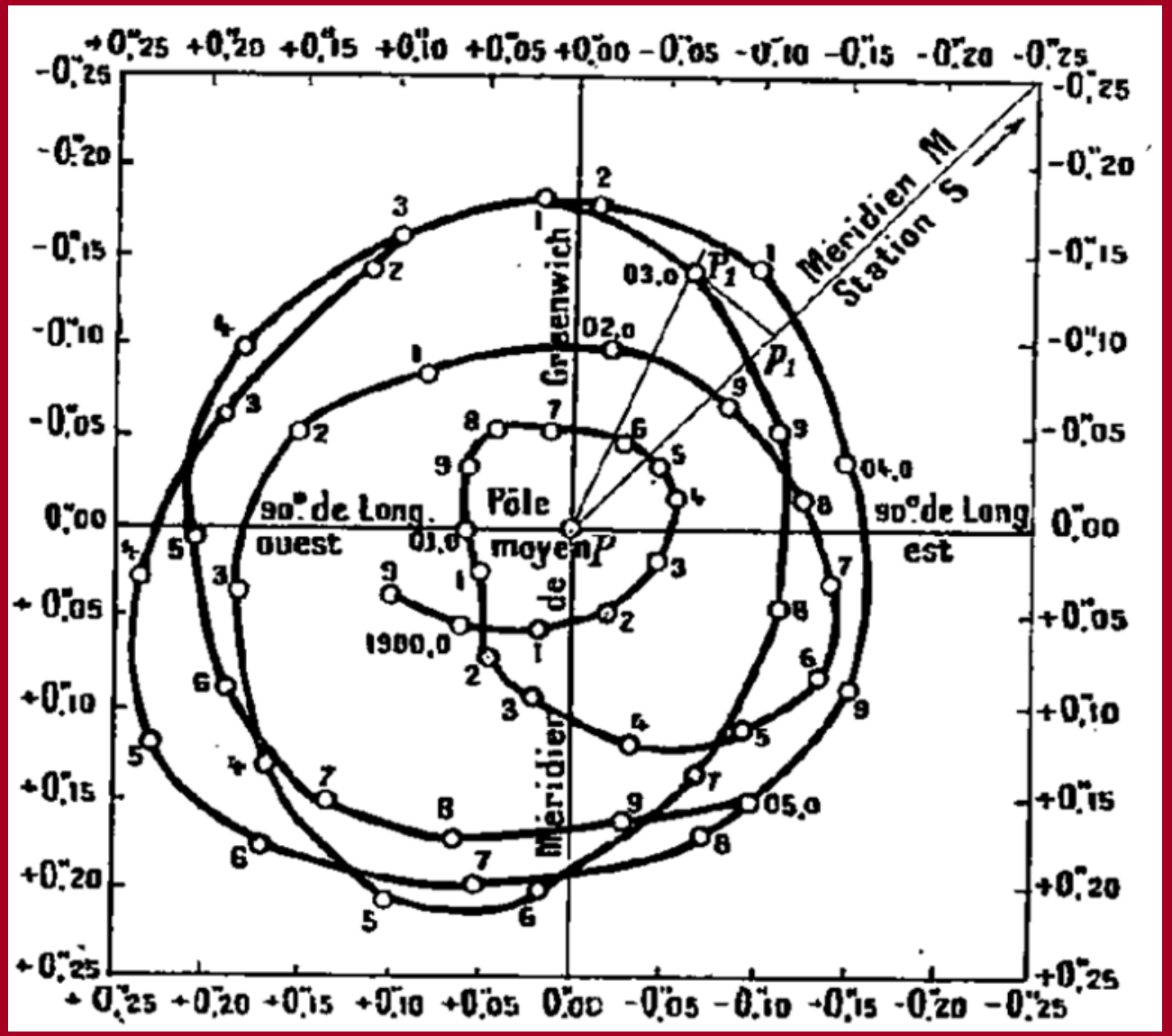
	LONGITUDES (Greenwich).
1. Mizusawa (Japon)	— 141° 2′
2. Tschardjui (sur l'Amu-Daria, Turkestan Russe)	— 63° 6′
3. Torre San Vittorio, à Carloforte (île San Pietro, littoral sud-ouest de la Sardaigne).	— 8° 3′
4. Gaithersburg (à 30 km. au nord-ouest de Washington)	+ 77° 2′
5. Cincinnati (Ohio, Etats-Unis)	+ 84° 4′
6. Ukiah (Californie du Nord à 150 km. au nord de San Francisco)	+ 123° 3′

Anteojo cenital Wanschaff, usado en las observaciones de latitud realizadas por el Servicio Internacional de Latitudes

Carl Theodor Albrecht



PRIMERA REPRESENTACIÓN DE LA POLODIA



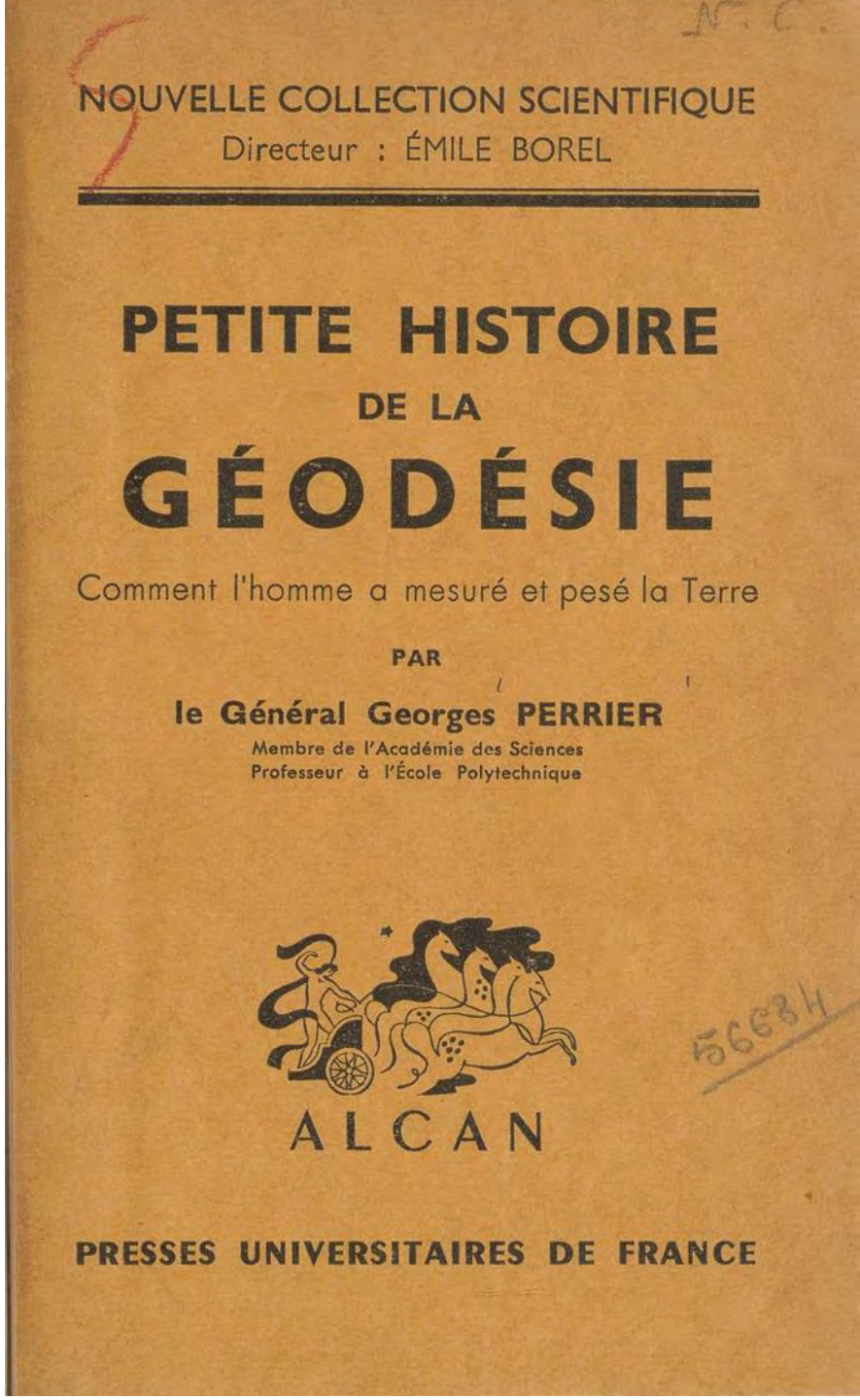
Movimiento del polo norte entre 1900.0 y 1905.0

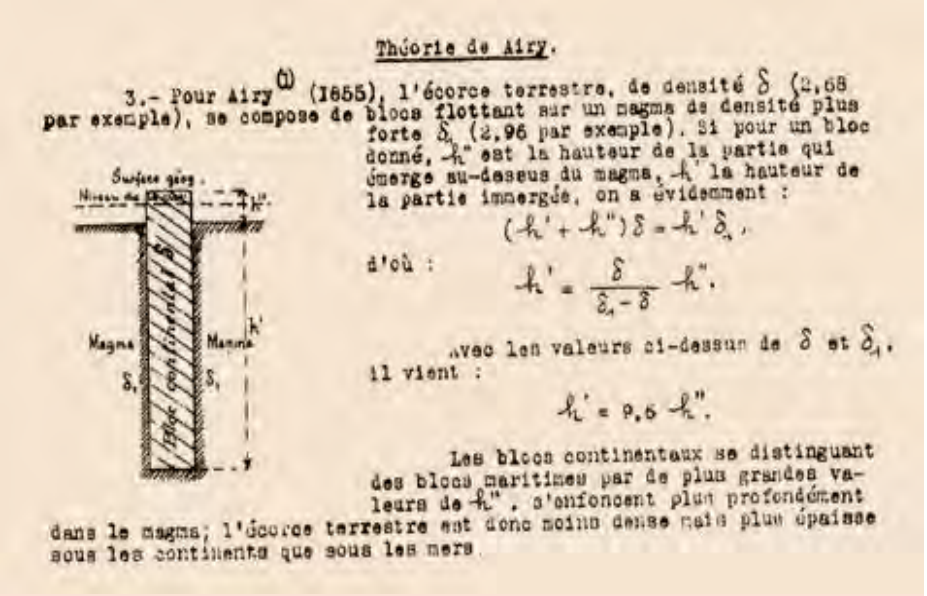
Su estudio sobre la figura de la Tierra le permitió a Perrier recibir la medalla de oro ligada al premio Barbier du Bocage, el cual había sido instituido en el año 1895 por la condesa de Preaulx para honrar la memoria de su padre, el cartógrafo y geógrafo, Amèdée Louis Victor Barbie du Bocage. En el año 1908 analizó también el desplazamiento diario del vértice de la torre Eiffel por la influencia del movimiento diurno del Sol. Al año siguiente se incorporó al programa de observaciones astronómicas y geodésicas que se estaban realizando en la intersección del paralelo de París y del meridiano de Lyon; tres años después efectuó la triangulación de segundo y tercer orden en la alta Sajonia, con vistas al nuevo mapa de Francia a 1/50000; en 1913 participó en los trabajos que delimitaron los protectorados de España y Francia en Marruecos. Durante la primera guerra mundial (1914-1918), Perrrier fue nombrado Jefe del escuadrón que debería fijar con precisión una serie de puntos singulares del terreno, para las necesidades de la artillería. Durante ese periodo fue nombrado Teniente Coronel y oficial de la Legión de Honor

(1917), por su brillante hoja de servicios. En el mes de julio de 1919 se responsabilizó de la jefatura de la Sección de Geodesia en el Servicio Geográfico del Ejército, reorganizándola con el fin de que todos sus oficiales adquiriesen los conocimientos astronómicos y geodésicos necesarios para la correcta ejecución de sus

futuros cometidos. En los años siguientes dirigió diversas campañas geodésicas, encargándose personalmente de la medida de las bases y de la determinación del acimut astronómico. De la misma época data la triangulación de Marruecos, iniciada en 1920, participando activamente en la misma durante la campaña de 1922. Tras ascender en la Orden de la Legión de Honor, fue destinado al arma de Artillería, con lo que tuvo que dejar su puesto en el Servicio Geográfico. En diciembre de 1925 era adjunto del General inspector de Aeronáutica, cargo que ocupaba cuando fue promovido a General de Brigada el 17 de septiembre de 1927 y a General de División el 16 de septiembre de 1931.

Su carrera docente fue fructífera, desde que en 1929 sustituyera al General Bourgeois como profesor de Geodesia y Astronomía en la Escuela Politécnica, en donde continuaría ejerciendo hasta el año 1942. Durante ese periodo preparó un libro de texto para sus alumnos: *Cours de Géodésie et d´Astronomie* (1933) y otra obra fundamental para los estudiosos de la geodesia, como disciplina científica: *Petite histoire de la Géodésie, comme l´homme a mesuré et pesé la Terre* (1939); tratándose esta última de una revisión actualizada de su estudio sobre la figura de la Tierra, de hecho conservó la estructura de la misma: tres capítulos, dedicados el primero a los siglos XVII y XVIII, el segundo al siglo XIX y el tercero a la época contemporánea. Entre sus otras publicaciones, ocupa un lugar muy





Théorie de Airy.

3.- Pour Airy (1855), l'écorce terrestre, de densité δ (2,68 par exemple), se compose de blocs flottant sur un magma de densité plus forte δ_1 (2,96 par exemple). Si pour un bloc donné, h'' est la hauteur de la partie qui émerge au-dessus du magma, h' la hauteur de la partie immergée, on a évidemment :

$$(h' + h'')\delta = h'\delta_1,$$

d'où :

$$h' = \frac{\delta}{\delta_1 - \delta} h''.$$

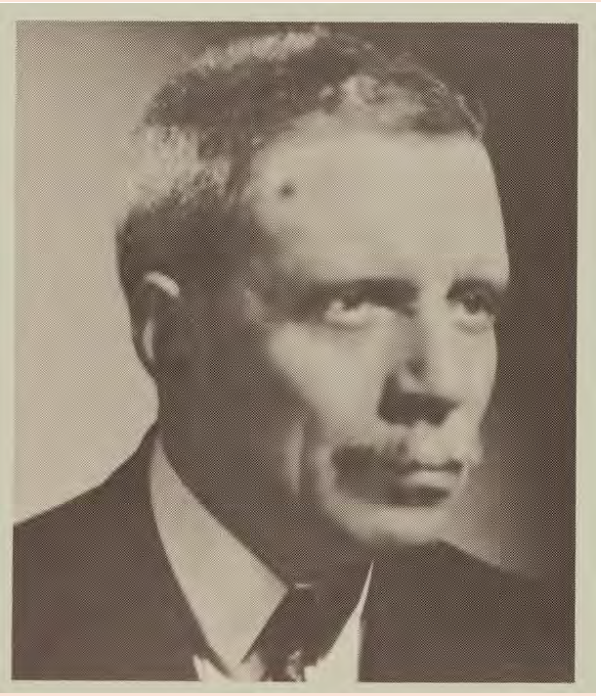
Avec les valeurs ci-dessus de δ et δ_1, il vient :

$$h' = 9{,}5\, h''.$$

Les blocs continentaux se distinguant des blocs maritimes par de plus grandes valeurs de h'', s'enfoncent plus profondément dans le magma; l'écorce terrestre est donc moins dense mais plus épaisse sous les continents que sous les mers.

El modelo isostático de Airy, en el Curso de Geodesia y de Astronomía de Perrier (1933).

destacado la serie de escritos que redactó desde la Secretaría de la Sección geodésica de la Unión Geodésica y Geofísica Internacional. Muchos de ellos incluidos en el *Bulletin géodésique*, el cual se venía publicando trimestralmente desde el año 1922; refiriéndose no solo a la información de interés para los geodestas, sino también a otras memorias científicas en francés, inglés, italiano y español. En ese año fue nombrado Correspondiente del *Bureau des Longitudes, siendo luego miembro titular dese 1935; ya en 1926 había publicado* en su Anuario la memoria: *Les raisons géodésiques de l´isostasie terrestre,* que en cierto modo fue continuación de su obra *La Figure de la Terre*. También en 1926 ingresó en la Academia de Ciencias, que llegó a presidir en 1940. La práctica totalidad de las publicaciones de G. Perrier fue recopilada por Pierre Tardí, otro geodesta francés excepcional, que fue uno de sus alumnos más sobresalientes. En tan alta estima tenía el Capitán a su antiguo profesor, que quiso que este prologara el Tratado de Geodesia que publicó en el año 1934. El general accedió y enriqueció la obra con una presentación brillante, en la que señalaba: «Le livre du Capitaine Tardi n´est pas un cours élémentaire à l´usage les commençants. Nous en conseillons la lecture et l´usage, non aux apprentis géodésiens, mais à ceux qui ont déjà une première instructions géodésique solide,...Ce Traité n´a pas toujours l´allure purement didactique, mais oblige parfois le lecteur à des réflexions et à un travail personnel, ce qui est excellent».

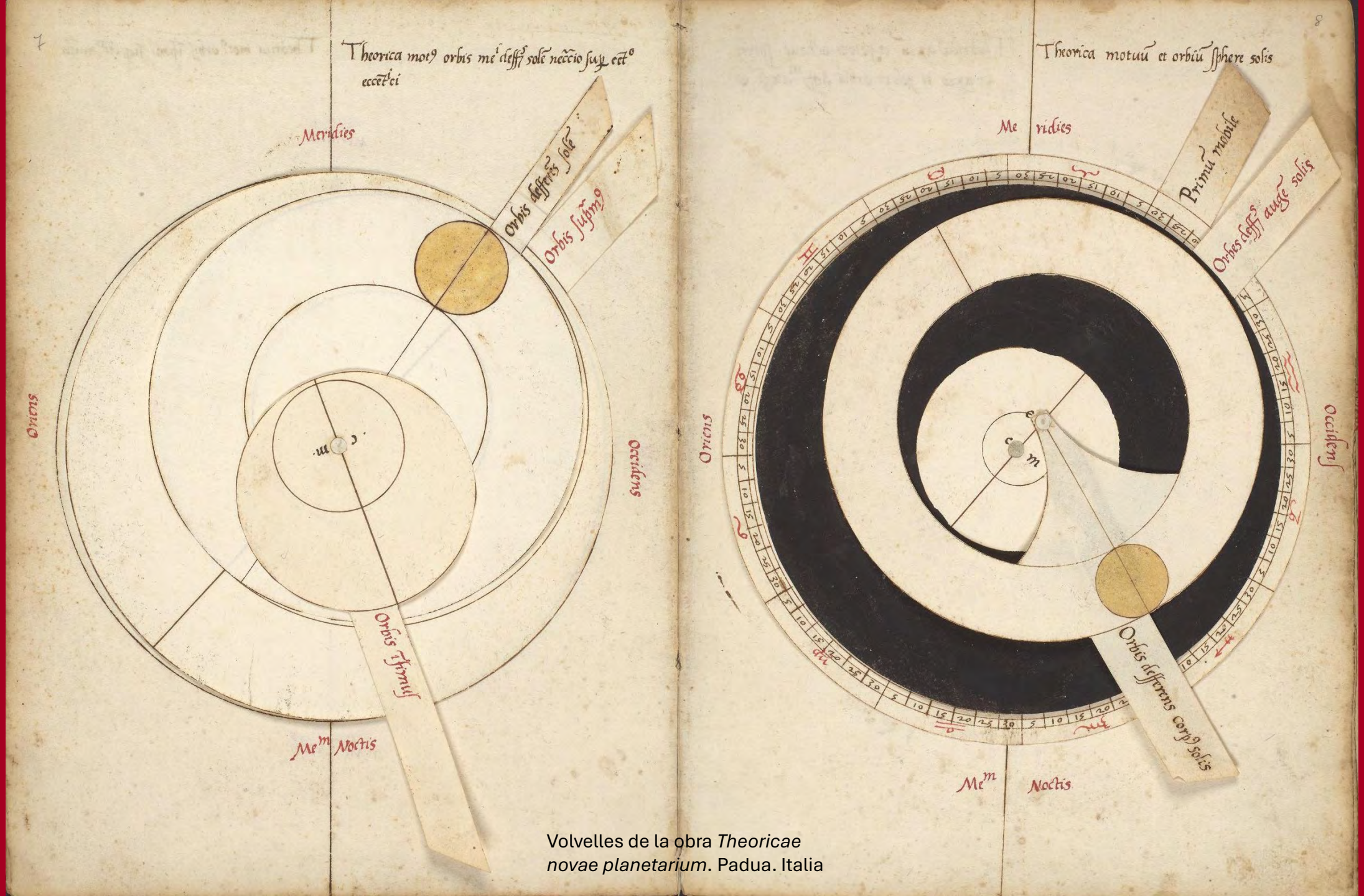


El general y geodesta Georges Perrier

Reloj de sol en el coro de San Esteban (Viena), probablemente obra de

Georg von Peuerbach (1423-1461)

Constructor de instrumentos matemáticos y astrónomo austriaco que divulgó el modelo geocéntrico de Tolomeo, cuando escribió en 1454 la nueva teoría de los planetas; sentando las bases de la enseñanza académica de la astronomía hasta años después de que Copérnico propusiera su modelo heliocéntrico. Los datos biográficos de Georg von Peuerbach comienzan con su fecha de ingreso en la Universidad de Viena (1446), en la que estudió humanidades, aunque probablemente también fuese allí donde se despertase su interés por la astronomía, influenciado por el legado del profesor Johannes von Gmundem. Entre los años 1448 y 1453 viajó por Alemania, Francia e Italia, dando conferencias astronómicas en universidades como Bolonia y Padua. Su fama le permitió ser nombrado, en 1454, astrólogo del rey Ladislao V de Hungría y de Bohemia, cargo que compatibilizó con el de profesor en la Universidad de Viena (primando sin embargo sus enseñanzas de humanidades). Tras el fallecimiento del rey sirvió el resto de sus días como *Astronomus caesaris* en la corte de Federico III, emperador del Sacro Imperio Romano; el cual estaba muy interesado en la astronomía, alquimia y magia. En la Universidad de Viena, Peuerbach fue profesor de Regiomontanus; comenzando la colaboración entre ambos en el año 1453. De ese tiempo data la preparación de la obra *Theoricae novae planetarum*, presentada en 1454 y publicada póstumamente en Nuremberg en 1473. Se trató de la edición revisada de la Astronomía de Tolomeo, explicando la doctrina

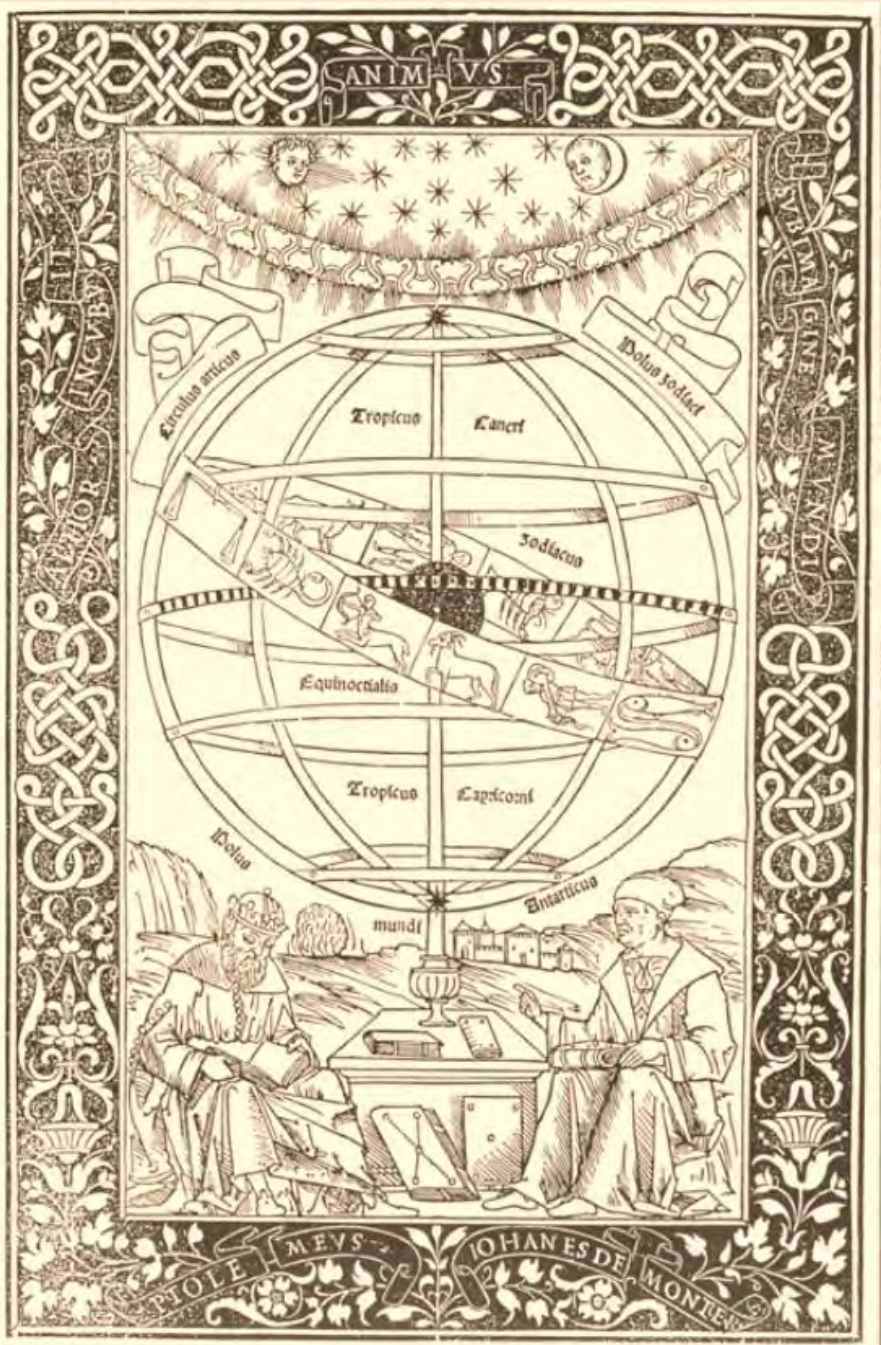


Volvelles de la obra *Theoricae novae planetarium*. Padua. Italia

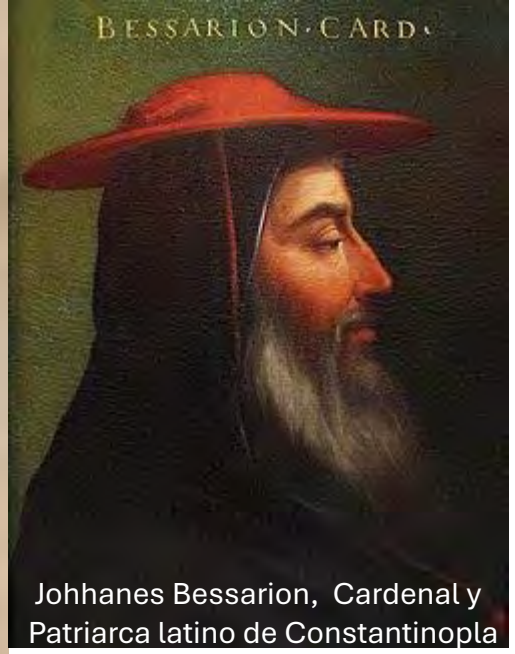
clásica con unas novedosas esferas cristalinas sólidas (aunque basadas en los trabajos previos del matemático árabe Alhacén), con la particularidad de que sus movimientos eran controlados por el Sol; dándole a este un marcado protagonismo, antes de que lo hiciese Copérnico . El éxito del libro fue incuestionable, pues fue editado al menos en 56 ocasiones (apareciendo la última en 1653), convirtiéndose el manual de astronomía más usado en el siglo XVI; es posible que contribuyera a ello el que se iluminara con numerosos diagramas (en muchos casos volvelles), análogos a los que debió emplear en sus clases como complemento didáctico indispensable (gran parte de los cuales fueron recopilados en su tratado *Speculum Planetarium*). En cuanto a su temario, trató no solo de los siete planetas, sino que también lo hizo de los eclipses, de la teoría de la latitud y del movimiento de la octava esfera, apoyado en las tablas alfonsinas; Peuerbach intentó conciliar las dos concepciones que explicaban los movimientos planetarios: las esferas cristalinas que los portaban y el sistema clásico epiciclo-deferente.

Peuerbach era profundo conocedor de la obra de Tolomeo, y así lo reconoció el cardenal Johannes Bessarion cuando le encargó traducir el Almagesto, para que resultase más comprensible; lamentablemente solo pudo hacerlo con seis de sus libros, realizando la del resto su

Frontispicio de la obra *THEORICAE NOVAE PLANETARUM*. Venecia (1496)



IOANNIS DE MON-
TE REGIO ET GEORGII PVRBA-
CHII EPITOME. IN CL. PTOLEMAEI MAGNAM
compositionem, continens propositiones & annotationes, quibus totum
Almagestum, quod sua difficultate etiam doctiorem ingenioq;
præstantiore lectorem deterrere consueverat, dilucida
& brevi doctrina ita declaratur & exponitur,
ut mediocri quoq; indole & eruditione præditi sine negotio
intelligere possint.
BASILEAE APVD HENRI-
CHVM PETRVM.



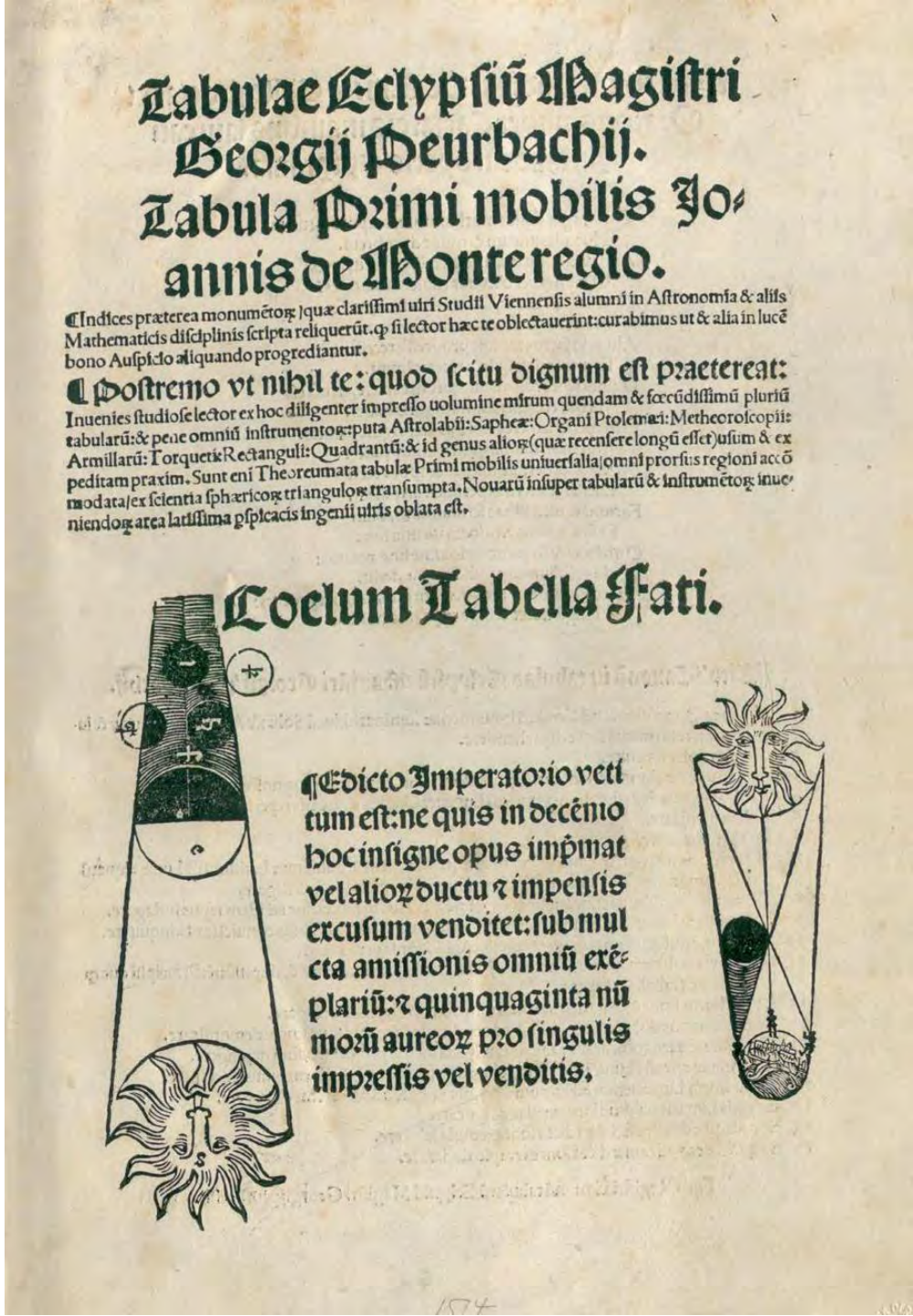
Johhanes Bessarion, Cardenal y Patriarca latino de Constantinopla

discípulo Regiomontanus. Si bien finalizó la traducción en 1463, no llegó a publicarse hasta el año 1496, con el título *Ioannis De Monte Regio et Georgii Purbachii Epitome : In Cl. Ptolemaei Magnam compositionem, continens propositiones et annotationes, quibus totum Almagestum, quod sua difficultate etiam doctiorem ingenioque praestantiore lectorem deterrere consueverat, dilucida et brevi doctrina ita declaratur et exponitur, ut mediocri quoque indole et eruditione praediti sine negotio intelligere possint Almagest*; corrigiendo muchos de sus errores en las reediciones de 1543 y 1550.

Peuerbach observó continuamente el cielo, divisando ya en 1456 el cometa, bautizado siglos después con el apellido del astrónomo Edmund Halley, e intentó calcular la longitud de su cola y el diámetro de su núcleo, con el siguiente resultado: 80 millas germánicas para la primera y 4 para el segundo (≈7.62 km); cuya inexactitud fue debida principalmente a la poca certidumbre con que se conocía eentonces tanto el diámetro

de la Tierra como su distancia a la Luna. No obstante, su trabajo sirvió de inspiración a Regiomontanus y a otros astrónomos del siglo XVII, estudiosos de los cometas. Otras de sus observaciones, le permitieron revisar la latitud de Viena, fijando su valor en 48º13´, muy próximo al real. Junto a su alumno, observó un eclipse lunar en 1457 y dos en 1460, con tal motivo transformó y corrigió las tablas alfonsíes, facilitando de ese modo los cálculos correspondientes; un trabajo complejo que use ultimó hacia 1459 y fue publicado con el título *Tabulae eclipsium super meridiano Viennensi* (1514). Entre sus contribuciones figura también un pequeño tratado sobre el cálculo de senos y cuerdas, además de otro de extensión análoga sobre el cómputo de los senos a intervalos de 10´; asimismo escribió un libro de matemáticas elementales en el que usó enteros y facciones, el cual fue impreso en varias ocasiones a lo largo de los siglos XV y XVI, también se caracterizó Peuerbach por el uso de la numeración arábiga cuando aún no era frecuente.

En la década de 1450, G. Peuerbach prestó especial atención a la preparación de almanaques, ligados a sus predicciones astrológicas, aunque también se dedicara a la construcción de relojes de sol con brújula incorporada. No obstante, su actividad



Tabulae Eclypsiũ Magistri Georgij Peurbachij. Tabula Primi mobilis Joannis de Monteregio.

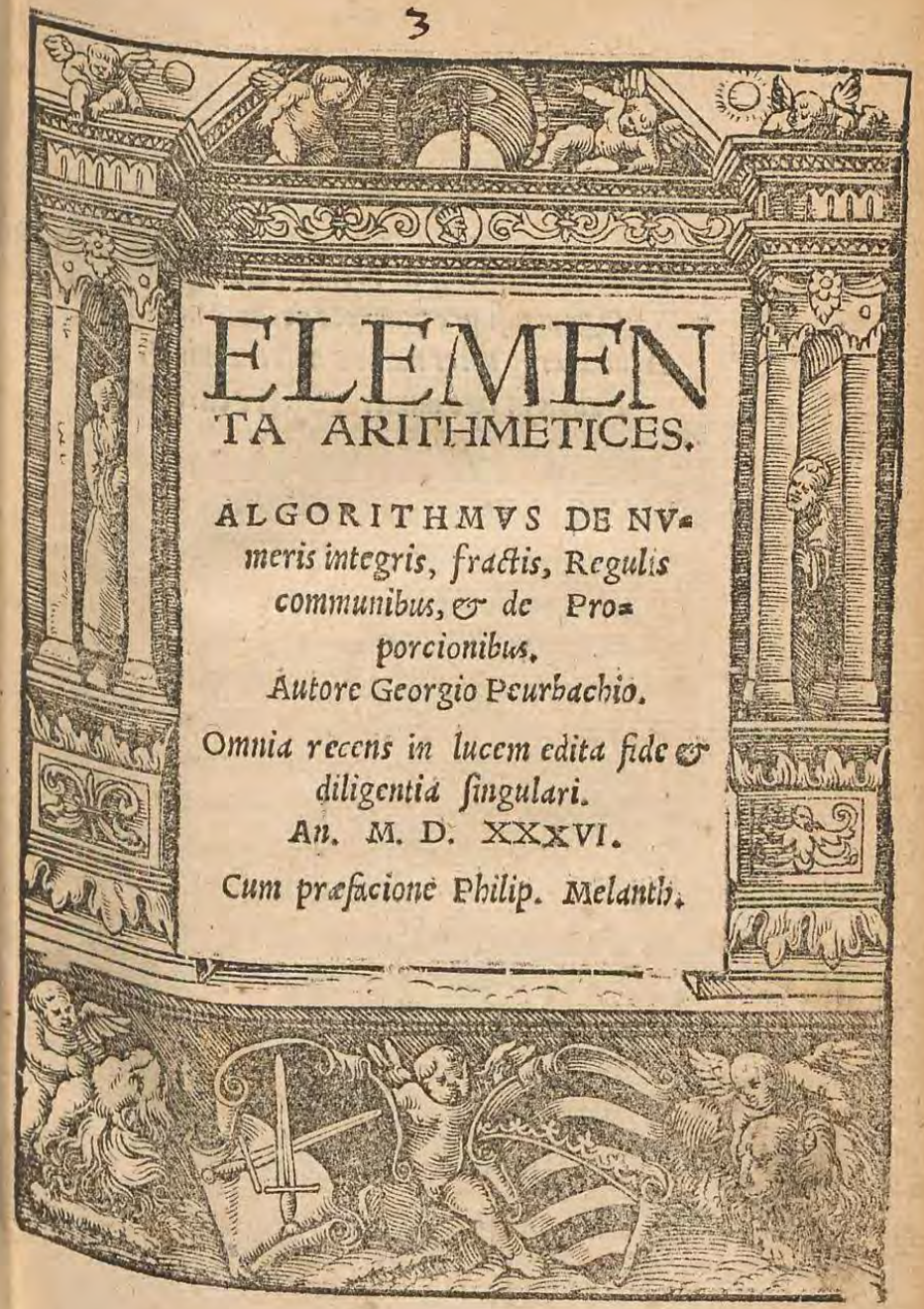
¶Indices praeterea monumẽtoꝝ quæ clarissimi uiri Studii Viennensis alumni in Astronomia & aliis Mathematicis disciplinis scripta reliquerũt. q̃ si lector hæc te oblectauerint: curabimus ut & alia in lucẽ bono Auspicio aliquando prodeant.

¶Postremo vt nihil te: quod scitu dignum est praetereat:

Inuenies studiose lector ex hoc diligenter impresso uolumine mirum quendam & forcũdissimũ pluriũ tabularũ: & pene omniũ instrumentoꝝ: puta Astrolabii: Sphæræ: Organi Ptolemæi: Metheoroscopii: Armillarũ: Torquetis: Rectanguli: Quadrantũ: & id genus alioꝝ (quæ recensere longũ esset) usum & expeditam praxim. Sunt enī Theoreumata tabulæ Primi mobilis uniuersalia omni prorsus regioni accõmodata: ex scientia sphæricoꝝ triangulorũ transumpta. Nouarũ insuper tabularũ & instrumẽtoꝝ inueniendoꝝ area latissima gpleacis ingenii uiris oblata est.

Coelum Tabella Fati.

¶Edicto Imperatorio vetitum est: ne quis in decẽmo hoc insigne opus impmat vel alioꝝ ductu & impensis excusum venditet: sub multa amissionis omniũ exẽplariũ: & quinquaginta nũmorũ aureoꝝ pro singulis impressis vel venditis.



ELEMENTA ARITHMETICES.

ALGORITHMVS DE NVmeris integris, fractis, Regulis communibus, & de Proporcionibus.

Autore Georgio Peurbachio.

Omnia recens in lucem edita fide & diligentia singulari.

An. M. D. XXXVI.

Cum præfacione Philip. Melanth.

GEORG VON PEUERBACH

Elementa arithmetices : algorithmus de numeris integris, fractis, regulis communibus, et de proportionibus 1536

Prologada por el teólogo Philippus Melanchthon (Philipp Schwartzerdt)

MODESTISSIMO ADOLESCENTI IVSTO IONAE FILIO D. DOCTORIS IONAE PHILIPPVS MELANCHTHON. S. D.

CVM VIDEAM TE HONESTISSIMO consilio patris tui uiri optimi ac mihi amicissimi, ad literas adhibitum esse, & singulari diligentia institui, duxi hunc libellum cum inscriptione nominis tui edendum esse, & ut ostenderem mihi consilium tui patris in te instituendo magno pere probari, & ut adhortarer cum te, tum cæteros adolescentes ad hanc philosophiæ partem, cuius in hoc libello traduntur elementa summo studio cognoscendam atq; colẽdam. Editur enim hic libellus, ut cæteris studiosis tecum communis sit. Quanta autem sit & dignitas et utilitas Arithmetices, non solum indicant testimonia doctorum hominum, sed etiam declarat quotidianus uitæ usus, in quo res loquitur ipsa, nõ posse homines numerandi scientia carere. Sed studiosi considerare debent non solum quam utilitatem indoctis artes afferant, sed etiam quem locum teneant, & quem habeant usum apud eos, qui ad perfectam

Astrolabio atribuido a Georg von Peuerbach. Viena (1457)

instrumental fue mucho más allá de la gnomónica, como evidencian muchos de sus escritos en los que se refiere a los astrolabios, al cuadrado geométricos y a otros instrumentos como la vara de Jacob. Entre las obras publicadas al respecto sobresale su *Cuadratum geometricum praeclarissimi Georii Burbachii*, impreso en Nuremberg (1518), en el que explicaba el modo de empleo en aplicaciones tales como la medida de alturas; esa obra fue incluida después por Regiomontanus en otra mayor, también impresa en Nuremberg (1544): *Scripta clarissimi mathematici M. Ioannis Regiomontani, de torqueto, astrolabio armillari, regula magna ptolemaica, baculo[que] astronomico, & observationibus cometarum, aucta necessariis, Ioannis Schoneri ... additionibus. Item observationes motuum solis, ac stellarum tam fixarum [qua ...] erraticarum. Item libellus M. Georgii Purbachii de quadrato geometrico ...*

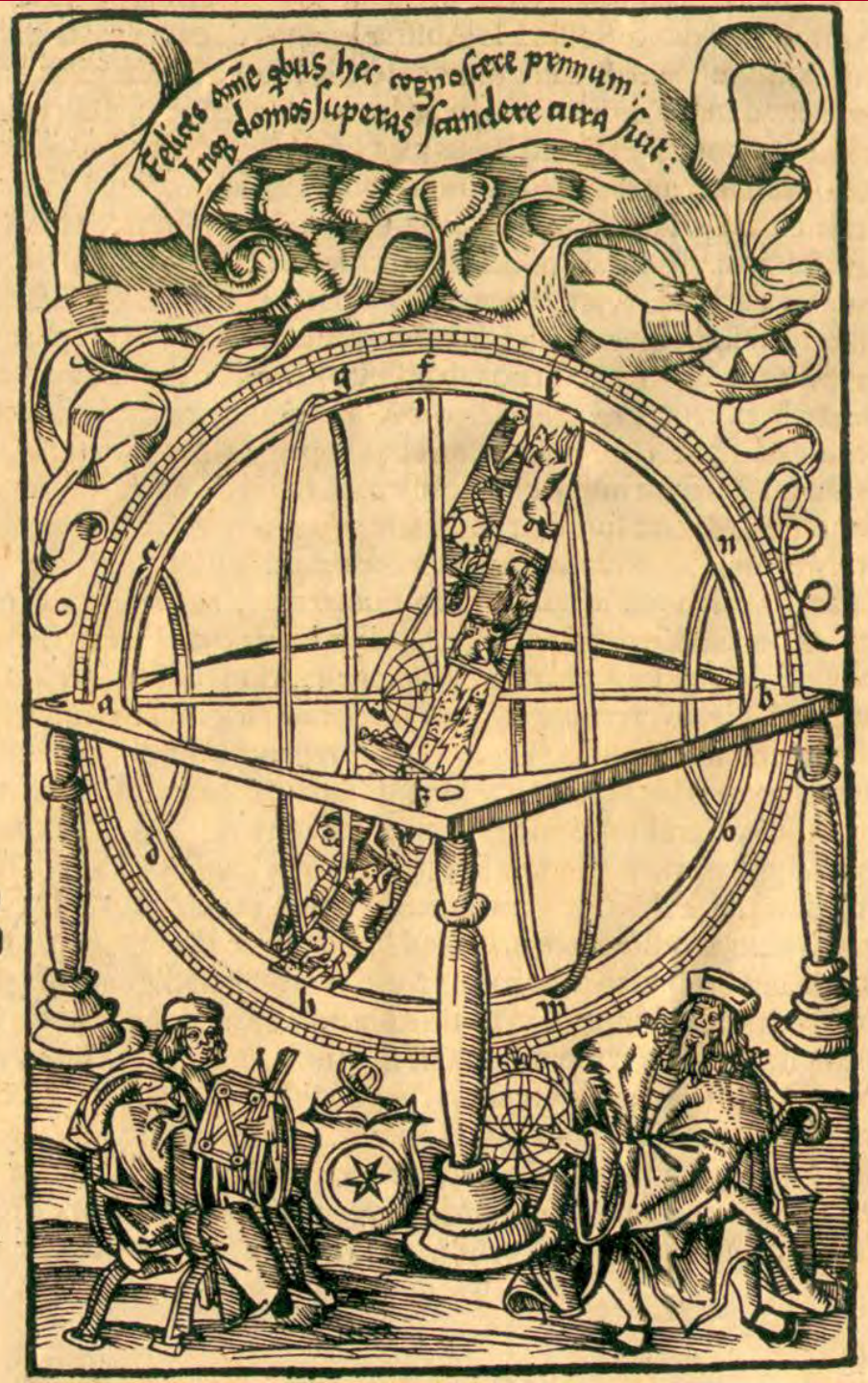


Ilustración de *Tabulae eclipsium.* Dichas tablas permitían calcular el curso del Sol y de la Luna, y por tanto la predicción de los eclipses.

Placa colocada en la catedral de San Esteban de Viena, el 12 de marzo de 1999. La fórmula del seno, con aplicaciones astronómicas y topográficas, fue descubierta por el homenajeado.

Extinctum dulces quid me defletis amici
Fata vocant Lachesis sic sua fila trahit
Destituit terras animus coelumque revisit
Quae semper colvit liber et astra petit

GEORG AUNPEKH
VON
PEUERBACH
30. V. 1423 – 8. IV. 1461

HOFASTRONOM KAISER FRIEDRICH III.,
MATHEMATIKER, DICHTER UND
HUMANIST, ENTDECKER DER
GEOGRAPHISCHEN DEKLINATION
FAND HIER IM APOSTELCHOR
SEINE LETZTE RUHESTÄTTE.

$$\sin h\,(\cos b - 1) = \sin H\,(\cos b - \cos t)$$

Jean Picard (1620-1682)

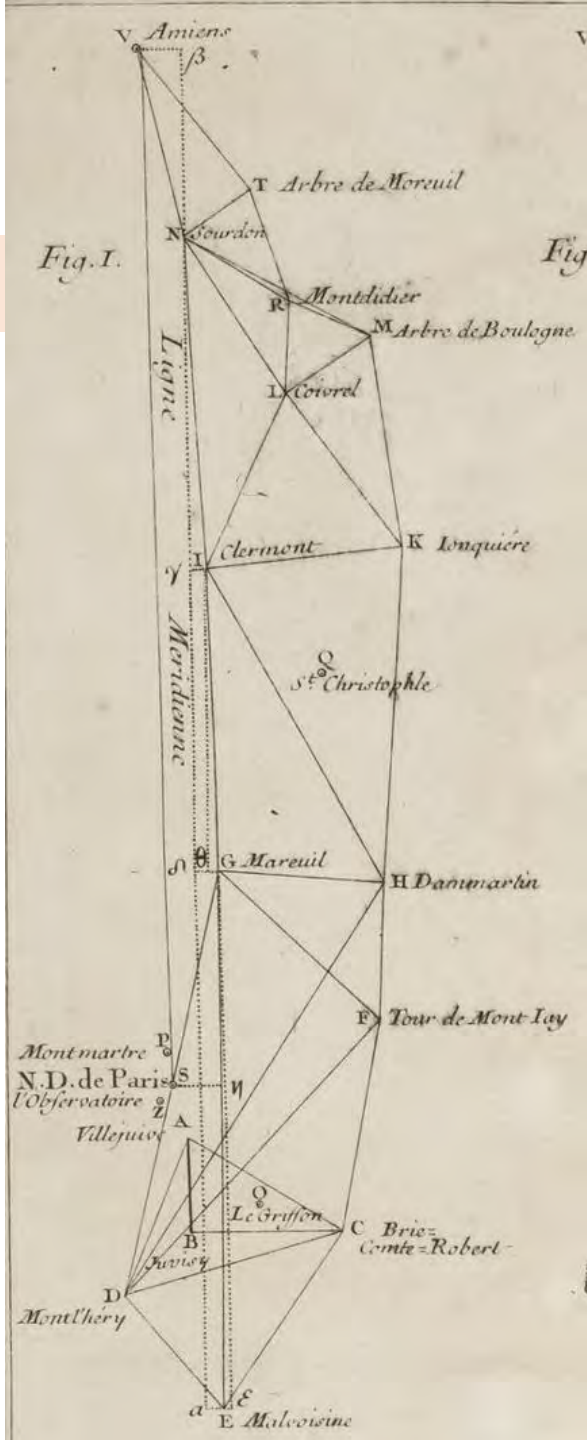
Abate francés que midió un arco del meridiano de París, hallando tanto su amplitud angular como su desarrollo lineal, apoyándose para ello en una triangulación extendida a lo largo del mismo. De ese modo pudo obtener la equivalencia lineal del grado terrestre y por ende el valor del radio de la Tierra, multiplicando su desarrollo por 180 y dividiendo el resultado por el número pi; la fiabilidad del valor hallado (próximo a los 6370 km) permitió que Newton pudiera verificar su ley de gravitación universal. Jean Picard nació en la Flèche y estudió en el colegio jesuita de dicha ciudad, trasladándose a París alrededor de 1644. Allí fue alumno de Pierre Gassendi, profesor de matemáticas en el Collège Royale (luego llamado de Francia), colaborando con él en la observación de diferentes eclipses; lo que permite suponer que ya poseía suficientes conocimientos astronómicos. En junio de 1650 obtuvo el grado de maestro de artes, expedido por la Universidad de París, alcanzando a partir de entonces tan buena reputación que fue nombrado profesor de astronomía en el referido Colegio (1655); siendo asimismo uno de los miembros fundadores de la Academia Real de las Ciencias (1666). Generalmente se considera a Picard como el creador de la astronomía moderna, tanto por la calidad de

Colbert presentando al rey Luis XIV los miembros de la Academia de Ciencias. Henri Tetelin (1667).

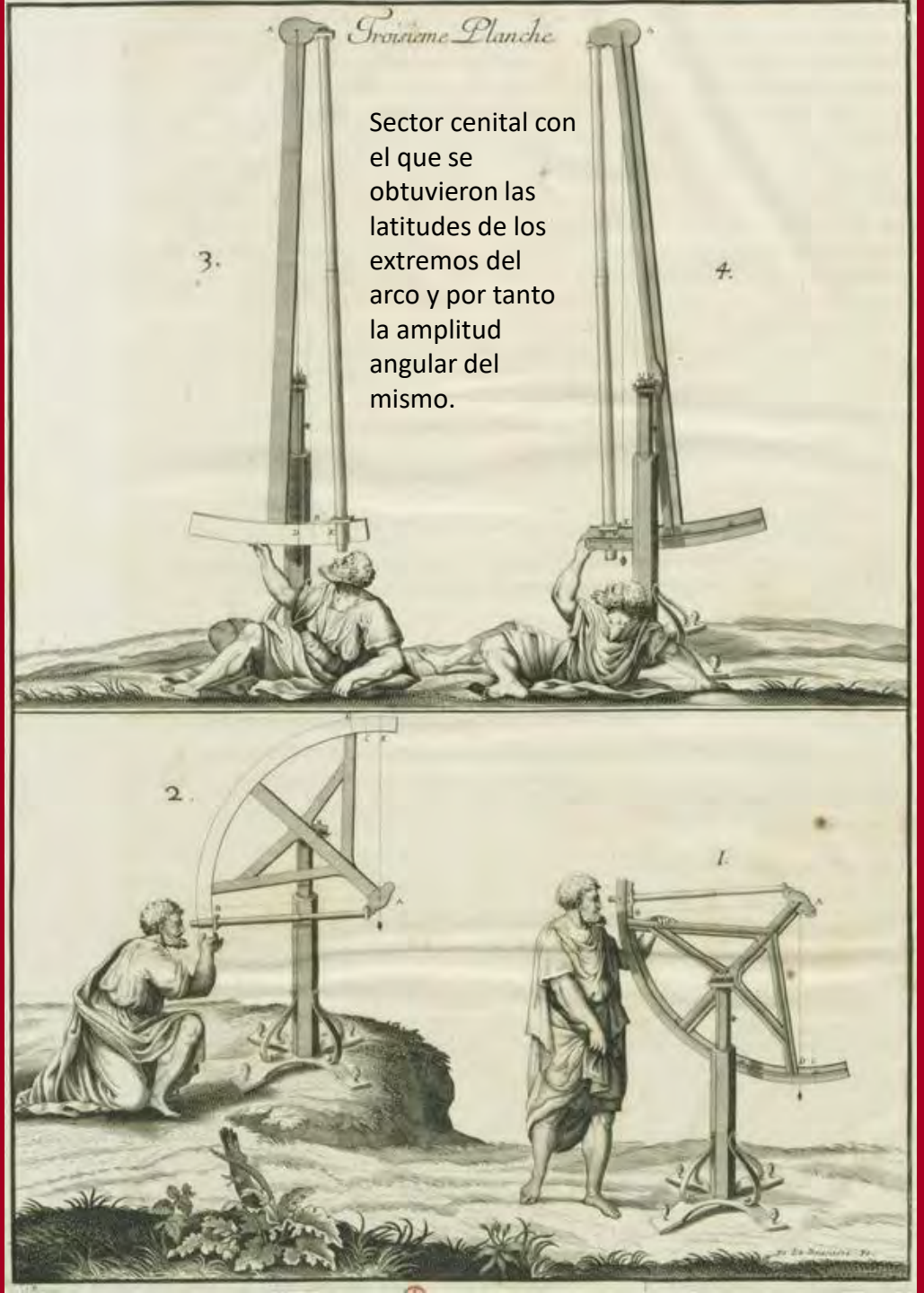
los instrumentos como por la de las propias observaciones que realizó de la Luna, del Sol, de los planetas, de las estrellas fijas y de los cometas; explicándose así que se pensara en él como responsable de la astronomía ligada al ambicioso programa científico de la incipiente Academia.

Cadena triangular a lo largo del arco de meridiano comprendido entre Amiens y Malvoisine

En él se contempló un doble objetivo geodésico y cartográfico: medir la magnitud de la Tierra y confeccionar mapas más exactos de Francia; nombrando comisarios a los académicos Gilles Personne de Roberval (matemático) y Jean Picard; este último explicó el método a seguir, sustentado por una red geodésica previa que serviría de soporte o armazón de mapa posterior. Así procedió el propio Picard cuando decidió fijar el tamaño de la Tierra, midiendo el arco de meridiano comprendido entre Amiens y Malvoisine, entre los años 1668 y 1670. La red geodésica correspondiente adoptó la forma de cadena compuesta de 13 triángulos principales, cuya escala fue fijada por dos bases: Villejuif- Juvisy (5663 toesas) y Mery-Past (3902 toesas), medidas con reglas de dos toesas debidamente contrastadas. Las medidas angulares se efectuaron con un cuarto de círculo diseñado al efecto, sometido a todas las comprobaciones necesarias para optimizar la observación. La amplitud angular resultante fue de 1º 22´, de manera que una vez determinado su desarrollo lineal, mediante la red anterior, se concluyó que un grado de meridiano equivalía a 57060 toesas. Un resultado nuevo y de suma importancia, que fue el más adecuado para comprobar la igualdad del cociente entre la intensidad de la gravedad sobre la superficie terrestre y la aceleración centrífuga de la Luna, con el formado por los cuadrados de las distancias respectivas al centro de Tierra.

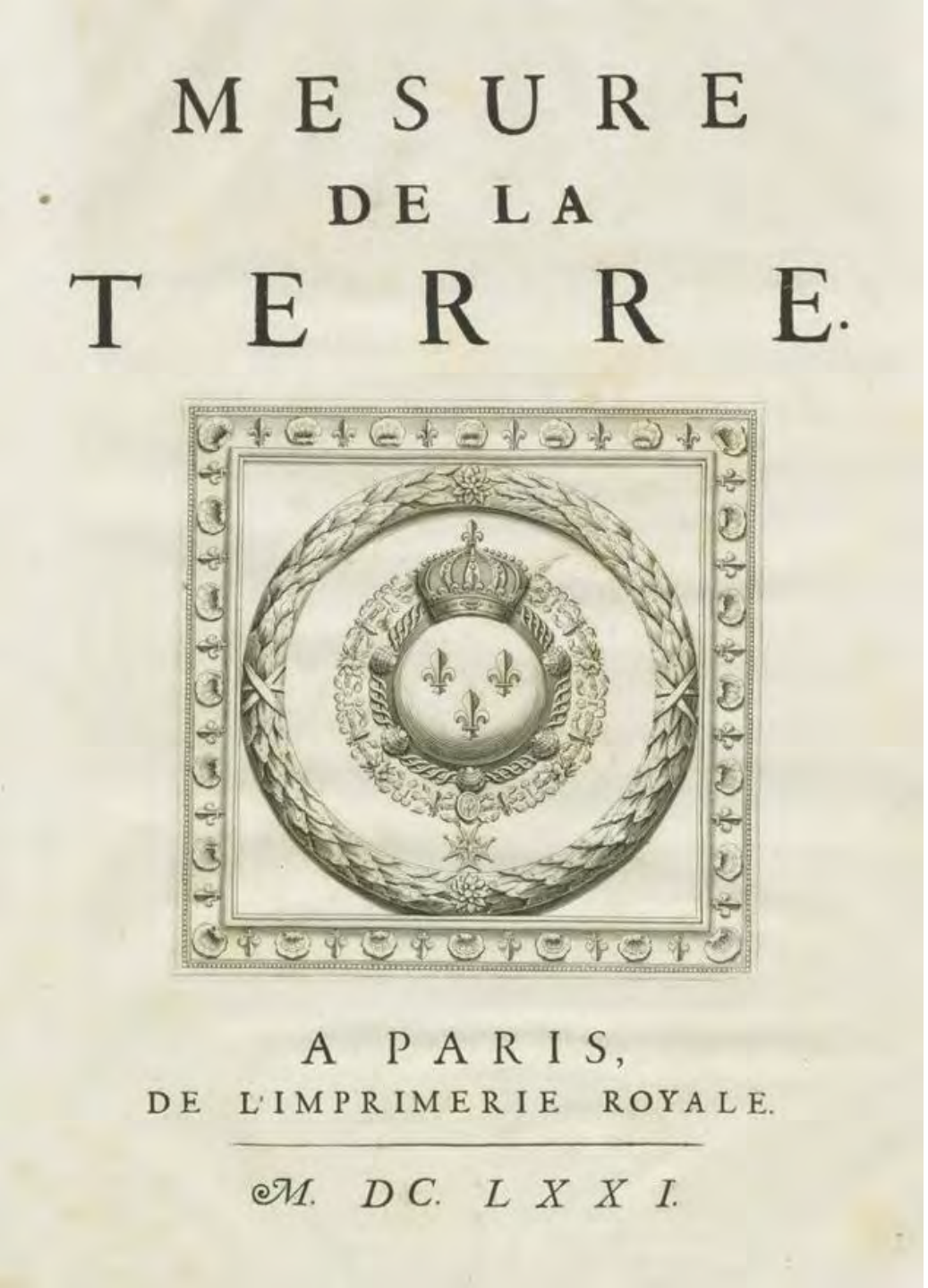


LA MESURE DE LA TERRE (1671). Frontispicio en el que se observa, a través de la ventana, el Observatorio de París en construcción.



Sector cenital con el que se obtuvieron las latitudes de los extremos del arco y por tanto la amplitud angular del mismo.

LA MESURE DE LA TERRE (1671). Operadores observando con el cuarto de círculo (1 y 2) y con el sector cenital (3 y 4)


MESURE
DE LA
TERRE.

A PARIS,
DE L'IMPRIMERIE ROYALE.

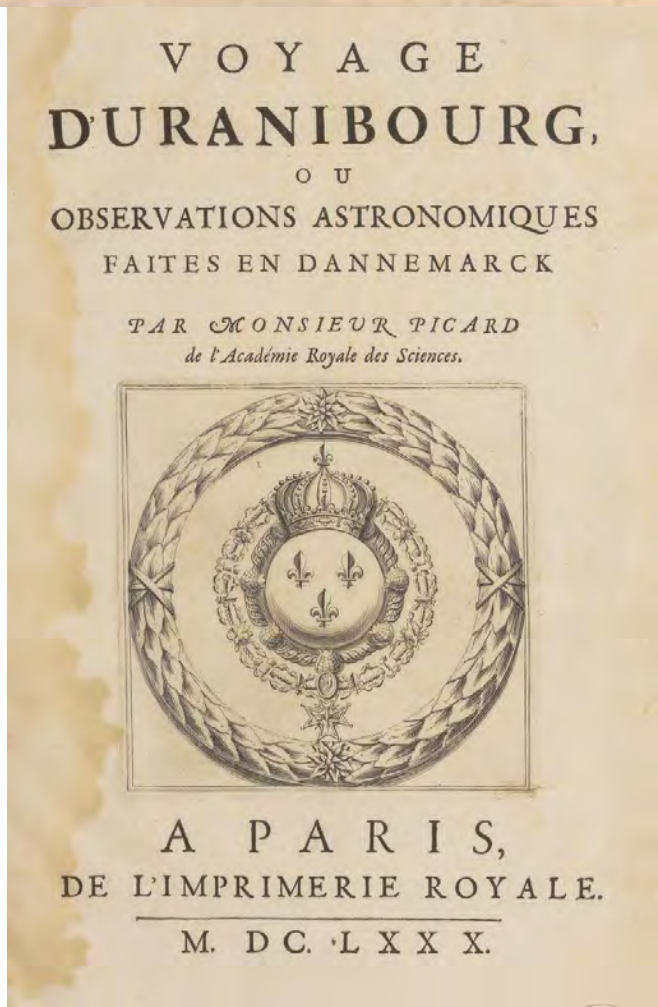
M. DC. LXXI.

El resumen de todas las operaciones realizadas por J. Picard fue publicado por la Academia de Ciencias de forma anónima, con el título *Mesure de la Terre*; de él se hicieron varias ediciones en las que ya si figuró el nombre de Picard. De entre todas ellas destacó la efectuada por Ph. de la Hire en 1684, aunque fuese como anexo de un Tratado de nivelación (póstumo) de Picard. Cuando este viajó a Dinamarca llevó consigo dos ejemplares de su medida de la Tierra, para entregárselos uno al Rey y otro al senado de Hamburgo.

El viaje lo efectuó Picard en el verano del año 1671, con el objetivo principal de visitar la isla de Hven, tan unida a la vida y obra de T. Brahe, y calcular la diferencia de longitudes entre el observatorio de París y el antiguo de Uraniburgo, ya en ruinas, para sustituir después las tablas rudolfinas por otras más fiables. Para ello observó numerosas emersiones y ocultaciones de los satélites de Júpiter, contando con la colaboración de un auxiliar excepcional, O. Römer; quien descubrió con ocasión de tales observaciones que la velocidad de la luz era finita, cifrando su valor en torno a los 327000 km/s. Tales observaciones se efectuaron a la vez que en el observatorio de París G.D. Cassini realizaba otras análogas; concluyéndose al final que la diferencia de longitudes era del orden de los $42^m\ 10^s$, un valor más exacto que todos los determinados con

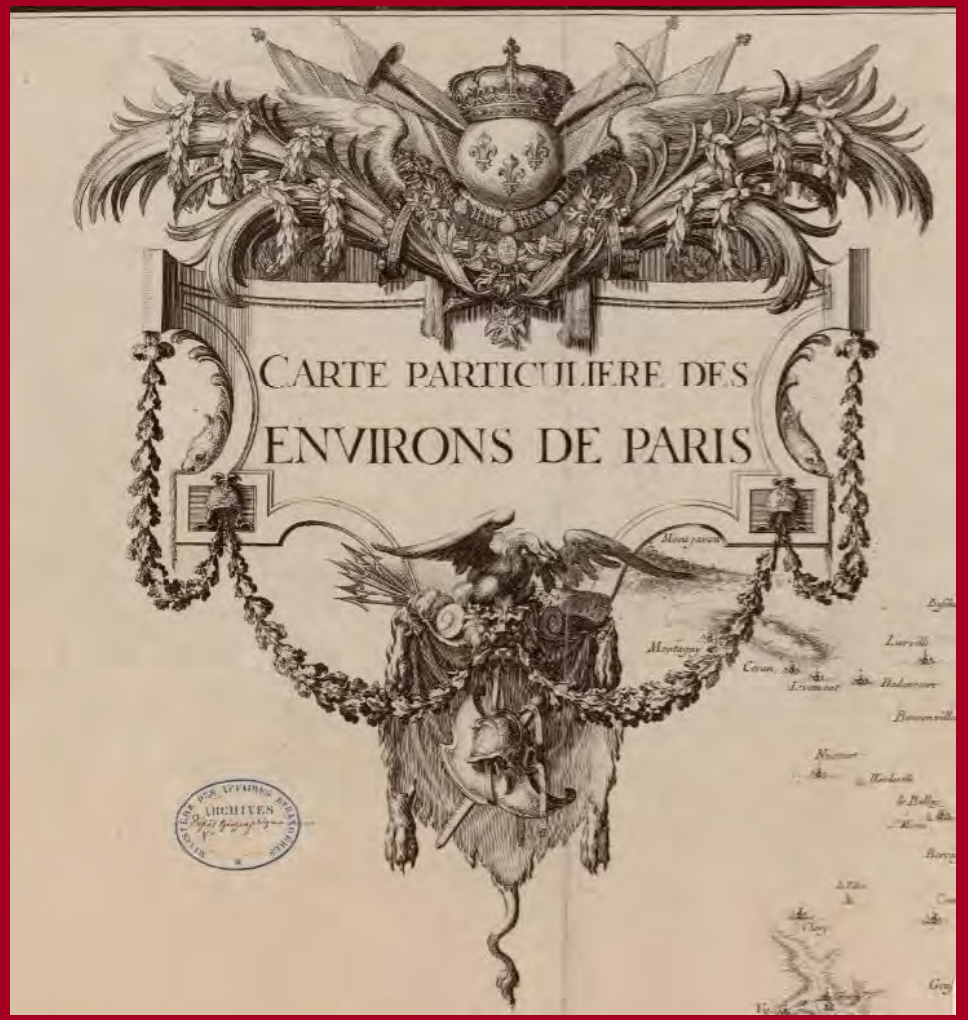
anterioridad. El resumen de todos los trabajos realizados durante dicho viaje fue publicado en París (1680), con el siguiente título*: Voyage d´Uranibourg, ou Observations astronomiques faites en Dannemarck par Monsieur Picard, de l´Academie Royal des Sciences*.

Observatorios de Uraniburgo, París y Compenhague (Torre redonda), tal como figuran en la cabecera del artículo primero de la obra sobre el Viaje a Uraniburgo.



Aunque la obra más conocida de Picard fuese la medida del meridiano ya mencionada (por ella es considerado el padre de la geodesia moderna), realizó muchas otras, también relevantes en el campo de la cartografía y de la topografía. En el primer caso ha de recordarse el papel determinante que jugó en la *Carte particulière des Environs de Paris* (1674), triangulando por primera vez la ciudad, levantada por iniciativa de la Academia de Ciencias y publicada en nueve hojas entre los años 1671 y 1678; cada uno de los planos era de 41.5 x 45 cm. Asimismo resultó decisiva su intervención en la áun más célebre *Carte de France corrigée par ordre du Roy sur les observations de Mss de l´Academie des Sciences*, publicada en 1693, aunque fuese presentado antes en la Academia. Fue al ver este mapa de 32 x 40.5 cm, cuando el Rey Luis XIV bromeó areca del territorio que le habían sustraído los miembros de la Academia: « Ces messieurs de l'Académie avec leurs chers travaux m'ont coûté une partie de mon royaume et m'ont pris plus de territoire que tous mes ennemis réunis !».
Su contribución topográfica más singular fue el tratado de nivelación, ya citado, publicado a título póstumo por su discípulo Ph. de la Hire en el año 1684: *Traité du*

CARTE PARTICULIÈRE DES ENVIRONS DE PARIS / Par Mess[ieu]rs de l'Académie Royalle des Sciences en l'année 1674 ; gravée par F. de la Pointe

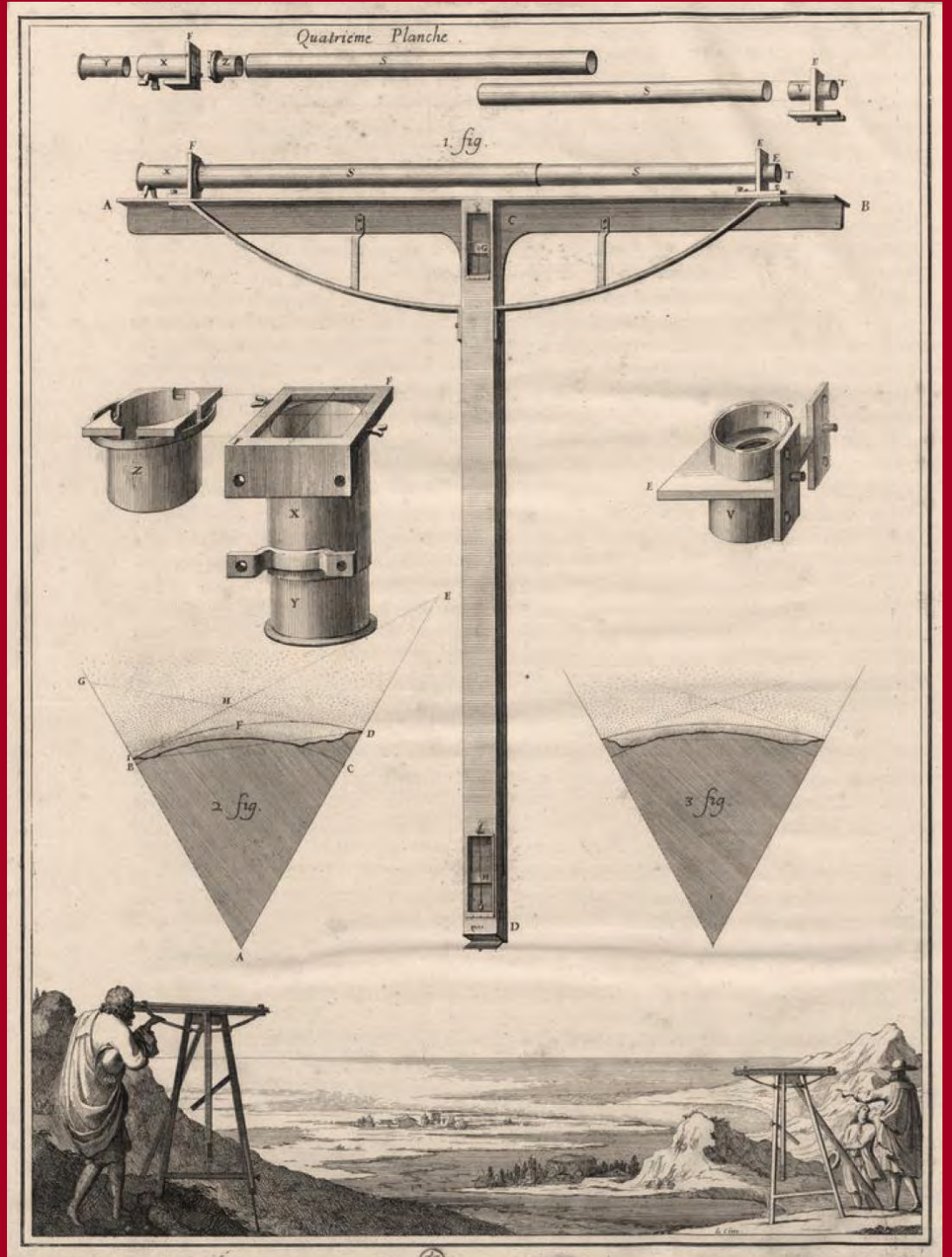


CARTE DE
FRANCE
Corrigee par Ordre
du Roy sur les Observaõns
de Mr de l'Academie
des sciences

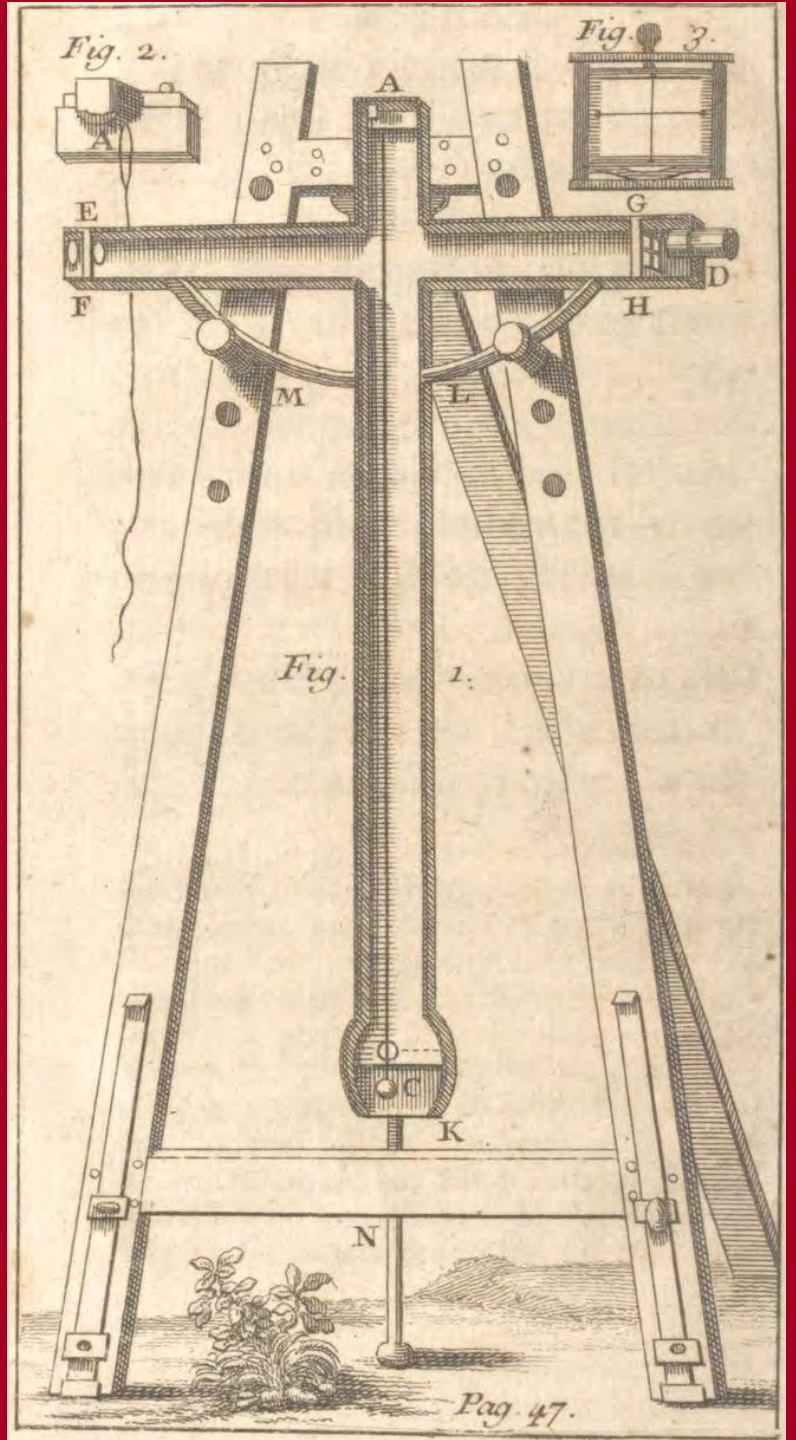
ANGLETERRE
L'OCEAN
OCCI-
DENTAL
MER
DE
GASCOGNE
ESPAGNE
ITALIE
FLANDRE
PICARDIE
NORMANDIE
BRETAGNE
POITOU
GASCOGNE
LANGUEDOC
PROVENCE
LA MANCHE
PARIS
PARALLELE DE PARIS
MERIDIEN DE PARIS
Douvre
Calais
Dunquerque
Dieppe
Amiens
Cherbourg
Havre
Caen
Rouen
S. Malo
M.S.Michel
Brest
la Fleche
Nantes
la Rochelle
Tour de Cordouan
Bordeaux
Bayonne
Lion
Montpellier
Narbonne
Marseille
Toulon
Antibe
Nice
Aix
Avignon
CARTE DE
FRANCE
Corrigee par Ordre
du Roy sur les Observaõns
de Mr de l'Academie
des sciences

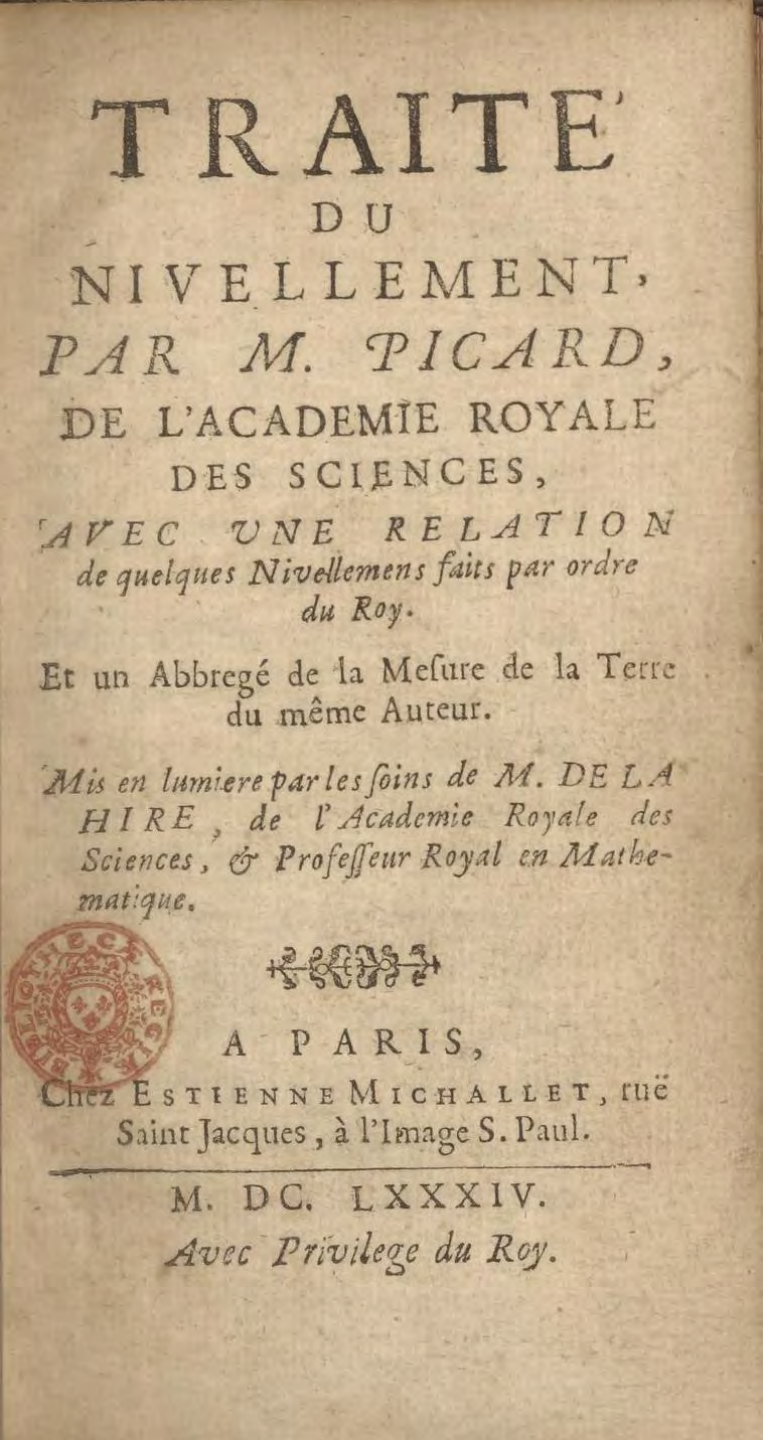
NIVEL DE PRECISIÓN DE JEAN PICARD

Modelo inicial



Modelo final





TRAITE'
DU
NIVELLEMENT,
PAR M. PICARD,
DE L'ACADEMIE ROYALE
DES SCIENCES,
AVEC UNE RELATION
de quelques Nivellemens faits par ordre du Roy.

Et un Abbregé de la Meſure de la Terre du même Auteur.

Mis en lumiere par les ſoins de M. DE LA HIRE, de l'Academie Royale des Sciences, & Profeſſeur Royal en Mathematique.

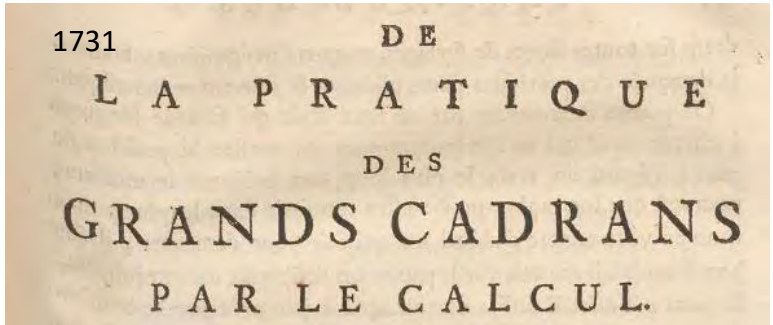
A PARIS,
Chez ESTIENNE MICHALLET, ruë Saint Jacques, à l'Image S. Paul.

M. DC. LXXXIV.
Avec Privilege du Roy.

Nivellement par M. Picard, de l´Academie Royal des Sciences. En él se recoge una de las primeras definiciones de superficie de nivel, basada en lo ya expuesto por Pascal y Cassini veinte años atrás : «Supposant donc que tous les points de la superficie des corps liquides, qui no sont point agitez, sont également éloignez du centre de la terre, nous dirons que tous les points de la superficie de ces corps sont de niveau, comme celle des mers, des lacs, des etangs, & generalement de toutes les liqueurs qui n´ont point de mouvement». Él y de la Hire explicaron asimismo la diferencia entre desnivel real y aparente, fijando la corrección por esfericidad en D2/2R, señalando además la necesidad de efectuar un itinerario de doble nivelación si la magnitud de la distancia entre los puntos, y la del desnivel entre los mismos, impedía que se hallase este desde una sola estación. El principio de la nivelación trigonométrica también fue introducido por Picard, al haber tenido la idea de medir las distancias cenitales para obtener, en función de ellas, el desnivel entre los extremos de un lado de los triángulos geodésicos; aplicándola para hallar el desnivel del río Sena entre Sèvres y Nôtre Dame. Igualmente, se le debe a él la división de las miras y la construcción de su propio nivel, al desconfiar de los de burbuja.

Como colofón de esta breve reseña sobre Picard, ha parecido conveniente recordar su interés por la gnomónica, desde la creación de la Academia Real de Ciencias, ya que fue el encargado de verificar sus instrumentos y concretamente el reloj de Sol instalado en los jardines de la Biblioteca del Rey. De entre los

relojes que debió construir, solo se le pueden atribuir con certidumbre los tres que adornaron el patio principal de la Sorbona, los cuales diseñó en el año 1676; habiendo constancia de que la universidad le recompensó con los cuatro volúmenes que contenían las obras de C. Clavio. El más relevante preside la fachada meridional, a 15 m del suelo, mientras que cada uno de los restantes se situaron: uno en la oriental y otro en la occidental. Los tres fueron restaurados en 1876, incorporándole al principal una analema, con la particularidad de que el reloj de la fachada oriental fue trasladado al Observatorio de Niza. Picard preparó en 1681 un opúsculo sobre gnomónica, *De la pratique des grands cadrans par le calcul*, que no pudo terminar y que fue publicado años después por la Academia: *Divers Ouvrages de Mathematiques et de Physique par messieurs de l´Academie Royal des Sciences* (1693), ocupando el trabajo de Picard las páginas comprendidas entre la 341 y la 365. Más adelante, en 1731, sería ampliado en el volumen publicado en la Haya: *Ouvrages de Mathematique de M. Picard* (pp. 183-224), en el que figuraron también aportaciones de Richer, Auzout y Römer.


1731

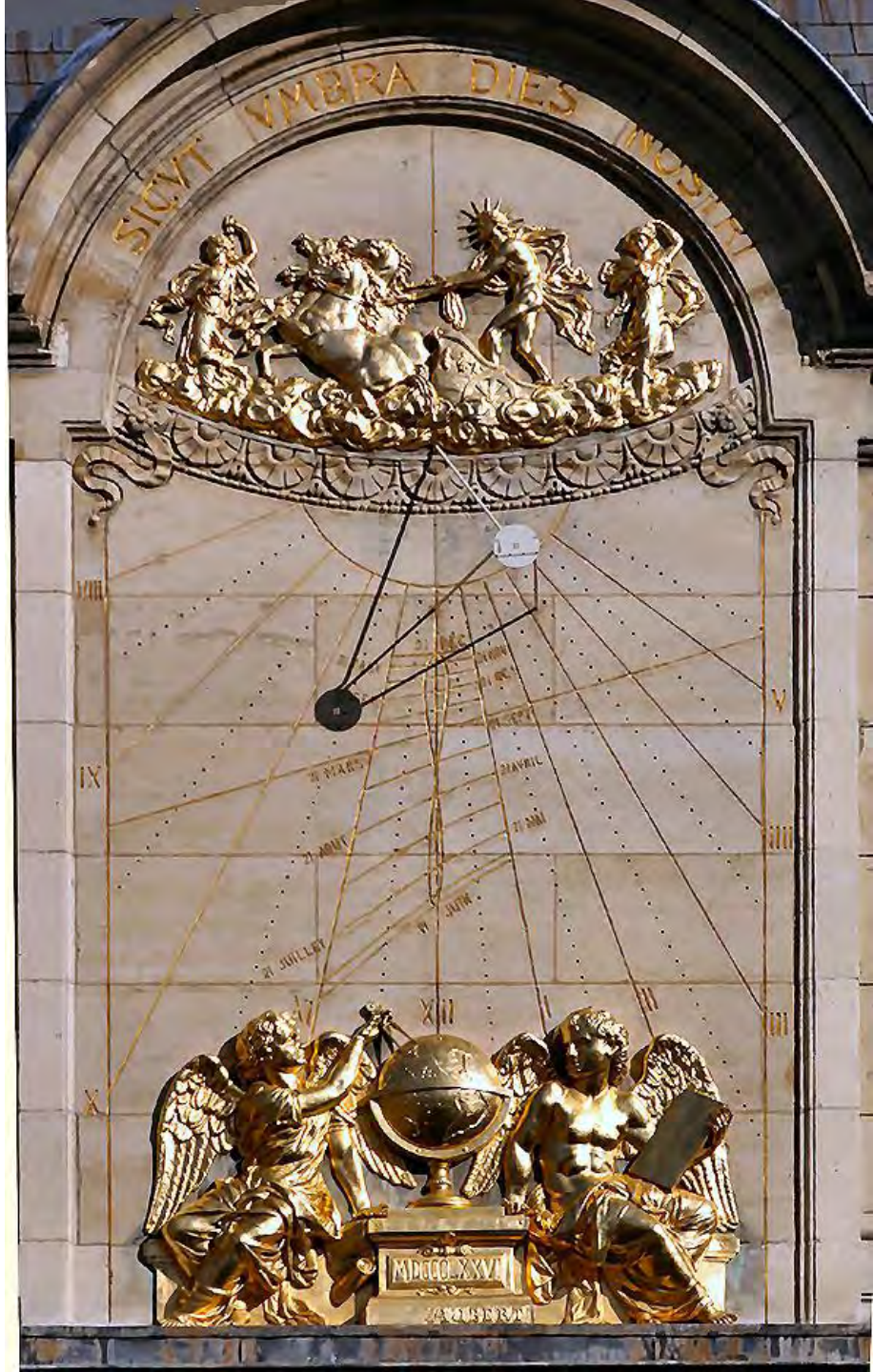
DE

LA PRATIQUE

DES

GRANDS CADRANS

PAR LE CALCUL.



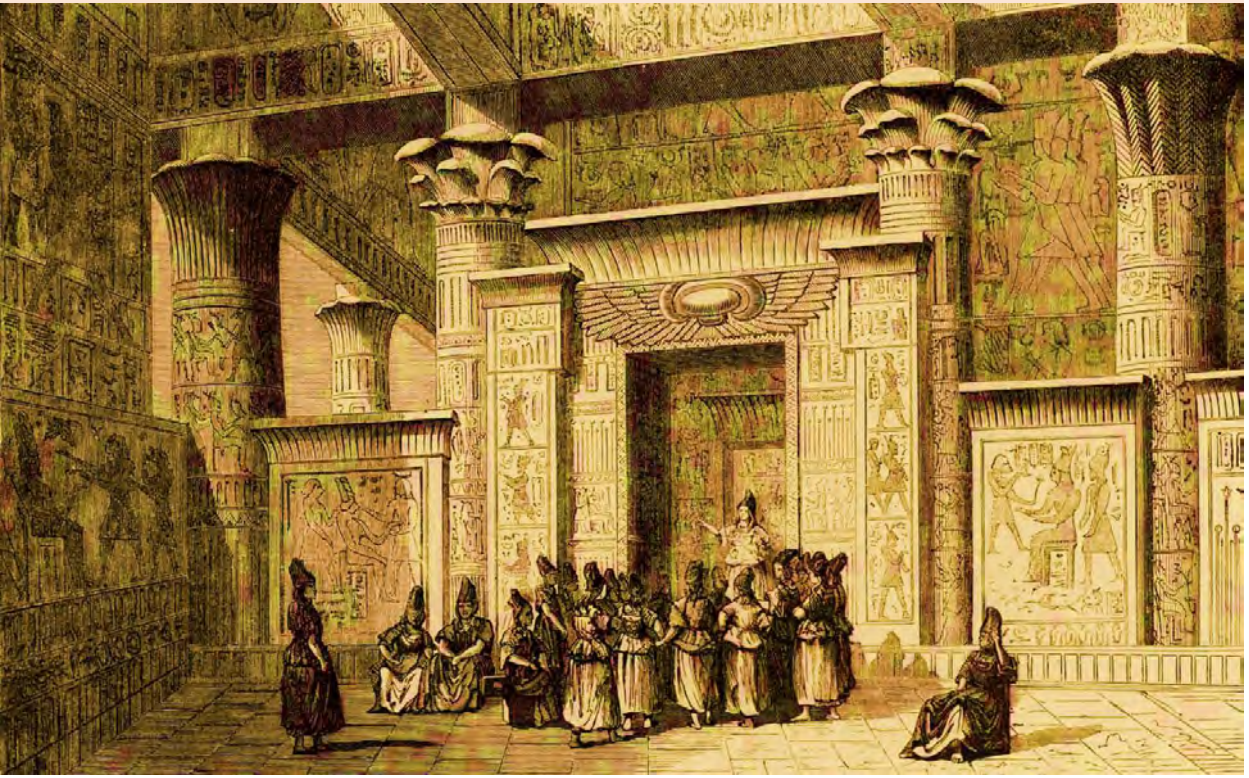
Pitágoras (ca.570 - ca.495)

Uno de los grandes sabios de la antigüedad, ocasionalmente llamado el hijo de Apolo, al que se atribuye el haber acuñado la palabra cosmos. Fue un firme defensor de la esfericidad de la tierra, aunque no revelara las razones en que basaba su afirmación. No dejó testimonios escritos, pero si creó escuela en la que los modelos que defendían sus partidarios eran más racionales que los previos. Para ellos, el número era el principio, la fuente y raíz de todas las cosas, todo se componía de los elementos del número, al que suponían limitado e ilimitado. Todos ellos estudiaban el número en si mismo (aritmética), en el espacio (geometría), en el tiempo (armonía), así como en el espacio y en el tiempo (astronomía). Poco se sabe de la infancia de Pitágoras de Samos, si bien se supone que fueron tres los filósofos que más influyeron en su formación; siendo Ferécides de Silos el más importante, pues generalmente se le considera su maestro. Los otros dos, que lo introdujeron en el mundo de las matemáticas, fueron Tales y Anaximandro, ambos vecinos de Mileto; recomendándole el primero que fuese a Egipto para aprender matemáticas y astronomía, y así lo hizo en el año 535 a.C.

Pitágoras leyendo y enseñando, mientras Tales mide el diámetro aparente del Sol para calcular un eclipse. Biblioteca nacional de Holanda. 1480

Aunque sean muchas las referencias que citan a Pitágoras estudiando con los caldeos u otros pueblos antiguos, ninguna resulta concluyente. En cambio, las que lo sitúan en Egipto son más fiables, buen ejemplo de ellas son varios de los testimonios griegos fechados a finales del siglo V a.C. El comentario sobre los estudios de filosofía realizados por Pitágoras en Egipto ya circulaba entre los oradores atenienses; siendo la referencia más remota la debida a Isócrates, en torno al año 390 a.C. En efecto, al alabar las grandezas de la civilización egipcia promovidas por el mítico rey Busiris (muerto por Heracles), comentaba a propósito de la piedad de los egipcios: « Si uno no estuviera decidido a apresurarse, podría citar muchos ejemplos admirables de la piedad de los egipcios, esa piedad que yo no soy ni el primero ni el único en haber observado; por el contrario, muchos contemporáneos y predecesores la han remarcado, de los cuales Pitágoras de Samos es uno. En una visita a Egipto, se convirtió en un estudioso de la religión del pueblo, y fue el primero en llevar a los griegos toda la filosofía, y más conspicuamente que otros, se interesó seriamente en los sacrificios y en la pureza ceremonial, creyendo que aunque no obtuviera con ello mayor recompensa de los dioses, entre los hombres, en todo caso, su reputación se vería grandemente realzada. Y así le sucedió. Pues tanto superaba a todos los demás en reputación, que todos los hombres jóvenes deseaban ser sus

Pitágoras entre los sacerdotes egipcios. Grabado de 1880

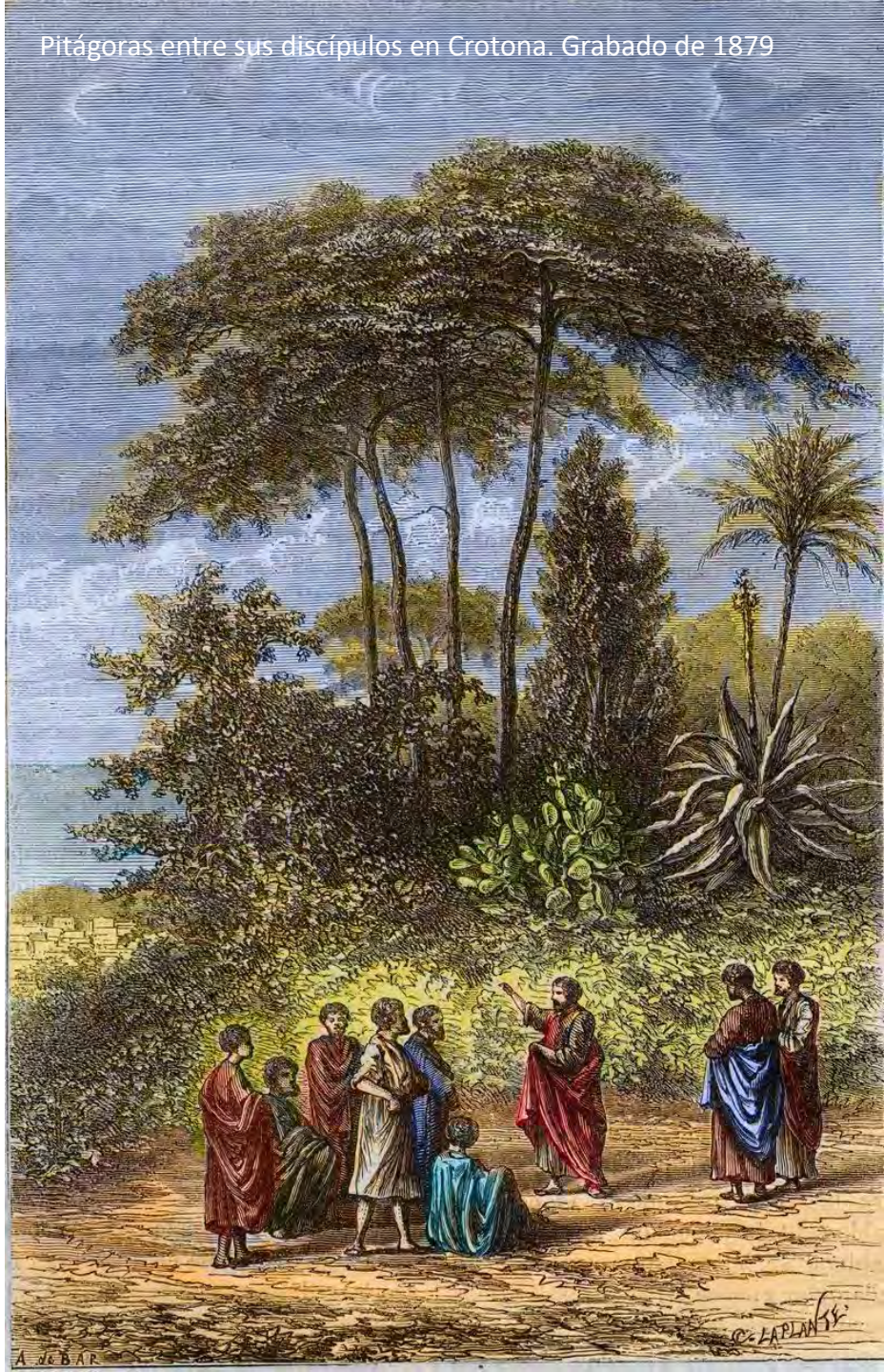


alumnos, y sus mayores estaban más contentos de ver a sus hijos en su compañía que ocupándose de sus asuntos privados. Y no podemos dejar de creer estos informes, porque, incluso ahora, las personas que profesan ser seguidores de su enseñanza son más admirados cuando están en silencio que los que tienen el mayor renombre por su elocuencia». En otros relatos sobre la estancia de Pitágoras en Egipto se sugiere que visitó muchos templos y aprendió de sus sacerdotes, en cambio también los hay en los que se afirma lo contrario; ese fue el caso del debido a Porfirio (*Vita Pythagorae*), quien aseguraba que se le negó la admisión en todos los templos salvo en el de Dióspolis, donde incluso fue aceptado como sacerdote, tras superar los ritos correspondientes.

Cuando los persas invadieron Egipto, Pitágoras fue hecho prisionero y enviado a Babilonia, en donde al parecer se instruyó en las ciencias que allí se cultivaban, hasta que pudo regresar a Samos alrededor del año 520 a.C. Fundó entonces el llamado Semicírculo, una escuela de la que dio cuenta Jámblico de Calcis (*De vita pytagorica*); señalando además que Pitágoras vivía en una cueva situada en las afueras de la ciudad, «pasando allí la mayor parte de la noche y el día, investigando sobre los usos de las matemáticas». Años después se trasladó a Crotona, al sureste de Italia, donde creó otra escuela con múltiples seguidores conocidos como *mathematikos*; una especie de secta regida por los principios que se indican a continuación:1) qué en su nivel más profundo, la realidad es de

naturaleza matemática, 2) que la filosofía puede ser utilizada para la purificación espiritual, 3) que el alma puede elevarse a la unión con lo divino, 4) que ciertos símbolos tienen un significado místico, y 5) que todos los hermanos de la orden deben observar estricta lealtad y secreto. La sociedad acabó siendo severamente reprimida, en particular la casa del atleta Milo (seguidor de Pitágoras) donde 50 o 60 simpatizantes fueron sorprendidos y asesinados; refugiándose los que sobrevivieron en Tebas y otros lugares.

El análisis del saber pitagórico es ciertamente complejo, pues abarca a diversas áreas de conocimiento. En el presente contexto astronómico y geodésico, se limitará a reflexionar someramente para tratar de responder a la pregunta de si Pitágoras fue matemático o cosmólogo. Actualmente se le conoce sobre todo por le famoso teorema que lleva su nombre, pero también, en menor medida, por su sorprendente visión del universo, con la música de las esferas en movimiento. Sin embargo, partiendo de que fue uno de los sabios más preclaros de la antigüedad, nada indica que su fama se debiera a las matemáticas o a la cosmología, así lo estimaban tanto Platón como discípulo Aristóteles. Con el descubrimiento de las tablillas de arcilla babilónicas, se comprobó que en Babilonia ya se sabían generar ternas pitagóricas, aunque no formulasen el teorema, que las liga, de forma explícita; la más simple de todas ellas


Pitágoras entre sus discípulos en Crotona. Grabado de 1879

fue la formada por los tres números enteros 3, 4, 5, directamente ligados al triángulo egipcio, tan usado en la construcción de los grandiosos monumentos de aquel país. Es posible pues que Pitágoras se limitara a transmitir a los griegos una verdad que aprendió en Oriente.

Resulta hasta cierto punto sorprendente que las pruebas relativas a sus conocimientos cosmológicos, adolezcan también de escasa consistencia. Sirva de ejemplo la correspondencia entre los acordes musicales centrales (octava, quinta y cuarta) con los números enteros 2:1, 3:2, y 4: 3, respectivamente, la cual fue atribuida a Pitágoras primeramente por Jenócrates, pero resulta que lo hizo después de que se asentara la exagerada tradición sobre Pitágoras. Igual de discutible es el hecho de atribuirle el descubrimiento de la esfericidad de la Tierra, de las cinco zonas celestiales y la identificación de Venus con los luceros matutino y vespertino; ya que Teofrasto indicó que mérito correspondió en realidad a Parménides. La controversia sobre el papel de Pitágoras como científico, continua, y posiblemente continuará, admitiéndose hoy que se trataba de un cosmólogo racional que intentó desarrollar un proyecto, iniciado por Tales, para construir el cosmos a partir de triángulos rectángulos; en todo caso, la visión de que no era ni matemático ni científico parece ser la predominante.

Tablilla (IM 67118) descubierta en el año 1962, durante una excavación efectuada en Tell edh-Dhiba´i, data del año 1770 a.C. En ella se expone y resuelve un problema en el que interviene la terna pitagórica (3,4,5), permitiendo inferir que los agrimensores egipcios estaban al tanto de la relación existente entre los lados del triángulo rectángulo muchos siglos antes de que Pitágoras llegase a tener constancia de ella.

Museo de Irak. Bagdad

La tablilla (*Plimpton 322 / Si. 427*), describe triángulos rectángulos usando las ternas pitagóricas. Data del periodo comprendido ente los años 1900 y 1600 a.C. Fue descubierta en Irak a finales del siglo XIX y se conserva en el Museo Arqueológico de Estambul. Fue identificada por el profesor Daniel Mansfield de la Universidad Nueva Gales del Sur (Sidney).

Pitágoras explicando la esfericidad de la Tierra. Óleo de Pierre Narcisse Guerin

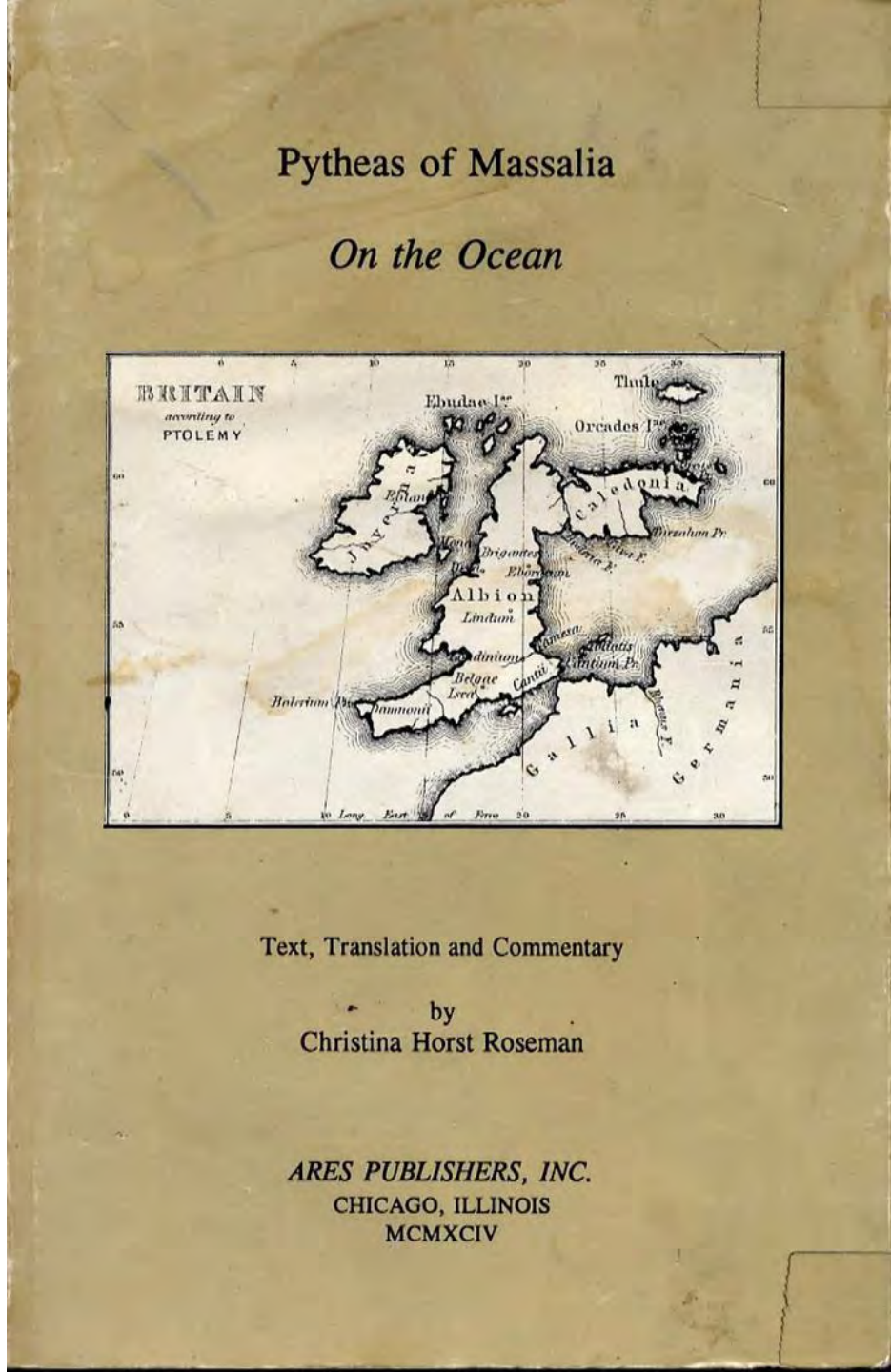
El Himno al Sol naciente de Pitágoras, mientras sus seguidores le rinden culto. Feodor Andreyevich Bronnikov. 1869. Galería Tretyakov. Moscú.

Piteas (ca. 350 - ca. 289 a.C.)

El primer explorador científico de la antigüedad. Recorrió territorios ignotos del norte de Europa, alcanzando casi el círculo polar. Determinó la latitud por diversos procedimientos y comprobó que la estrella polar no coincidía con la posición del polo celeste; calculó el valor de la oblicuidad de la eclíptica y estudió el fenómeno de las mareas. Piteas nació en la próspera colonia griega de Masalia, la actual Marsella, y le cupo el honor de haber sido uno de los primeros navegantes que abrió las puertas del Atlántico. Aunque no se pueda fijar con exactitud la fecha de su viaje, el que fuese mencionado por Dicearco y no por Aristóteles, su maestro, permite suponer que debió realizarlo entre los años 322 y 285 a.C. Probablemente, el proyecto inicial de la expedición debió ser comercial, para romper el monopolio impuesto por los cartagineses, transformándose pronto en científico, pues Piteas era un astrónomo experimentado que ya había calculado la latitud de su ciudad con bastante aproximación y había observado que, a pesar de su nombre, la estrella polar no estaba situada sobre el polo. Otro de los frutos del viaje fue cartográfico, en tanto que los valores de las latitudes que debió proporcionar, junto a la descripción de las costas que recorrió, permitieron mejorar sensiblemente el mapa de la zona central y septentrional de Europa. Desde el punto de vista de la ciencia, el viaje de Piteas fue más

fecundo que todos los que precedieron a los de la época del Príncipe Enrique de Portugal. Cuando regresó a Marsella debió escribir la crónica de su viaje, que al parecer tituló *Peri tou Okeanou* (Sobre el océano), proporcionando información detallada de sus observaciones astronómicas, geográficas, biológicas, oceanográficas y etnográficas. Incuestionablemente debieron existir copias del mismo en las grandes bibliotecas de Pérgamo y Alejandría, a las que debieron tener personajes tan relevantes como Hiparco y Eratóstenes, o el historiador Timeo de Tauromeno, contemporáneo de Piteas. Lamentablemente solo se conservan de él los fragmentos referidos por autores posteriores, como Dicearco, Estrabón, Diodoro de Sicilia y Plinio el viejo; todas ellas basadas en la información que había proporcionado en su tiempo el ya citado Timeo. El interés por tan singular expedición sigue vigente, como prueba la publicación en el año 1994 del libro *Pytheas of Massalia, On the Ocean*; escrito por Christina Horst Roseman.

El periplo del marsellés se puede replantear con exactitud entre el Estrecho de Gibraltar y el cabo Ortegal, pero a partir de él se vuelve bastante incierto; si bien se dirigió, al parecer, directamente hacia las minas de estaño localizadas en Cornualles, al suroeste de Inglaterra, para recorrer después todo el litoral oriental de la isla; Piteas describió Inglaterra como un triángulo, dando la medida de cada uno de sus lados.



aunque no se pueda asegurar que visitó Irlanda, si parece cierto que la divisó, siendo probable que Eratóstenes se valiera de la información que proporcionó para situarla en su justa posición con relación a Inglaterra. De acuerdo con el historiador Polibio, Piteas se jactaba de haber recorrido el interior de ese país; y así debió de haber sido a tenor de las acotaciones realizadas: «Inglaterra es de forma desigual, como Sicilia, con tres lados desiguales…El lado más corto, frente a Europa, mide 7500 estadios; el segundo, del estrecho al vértice, 15000 estadios, y el último 20000 estadios, con lo que se llega a 42500 estadios para el perímetro total de la isla». La cantidad asignada al perímetro es del todo exagerada, más del doble del valor real; se ha supuesto que las medidas anteriores podrían haberse referido en un principio a los días de vela y que más tarde algún autor griego los transformase en estadios. De gran interés es la información relativa a las olas que observó al norte de Gran Bretaña, con una altura de ochenta codos, por creer que podría haberse referido a las mareas británicas, si bien es posible que se tratase realmente de alguna tempestad, durante la cual se produjeron olas de considerable altura. Al parecer, Piteas cometió el error de pensar que las mareas diarias eran causadas por la luna llena y por la luna nueva; no obstante, fue el primero en asociarles a las fases lunares.

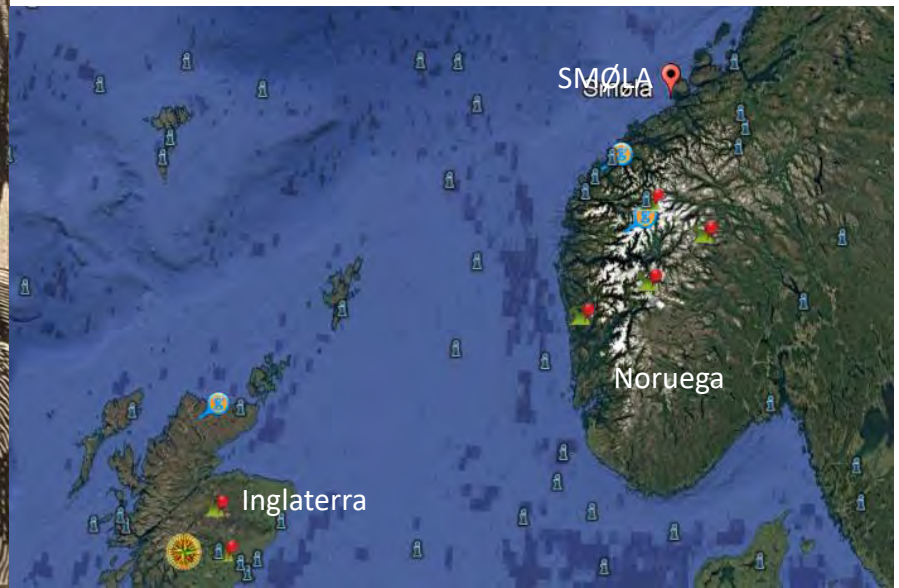
A pesar de la certera descripción que hizo Piteas de Inglaterra, lo que más llamó la atención de los geógrafos fue la mención que hizo de la Isla de Tule, a la que localizó como la más septentrional de las islas británicas, alejada seis días de vela de la costa inglesa y a un día de distancia del mar de Cronio, ocupado por los hielos. La latitud alcanzada fue tal que en el relato se comenta como en mitad del verano el curso del Sol coincidía con el de la Osa,

PYTHÉAS DE MARSEILLE ET LA GÉOGRAPHIE DE SON TEMPS.
Joachim Lelewel . 1836

EUROPA OCCIDENTAL, PARA SERVIR DE EXPLICACIÓN AL VIAJE DE PITEAS

Piteas descubriendo los primeros icebergs

añadiendo que por la noche «el Sol no se recoge a su lecho de descanso, sino para un breve sueño de dos o tres horas». En cuanto a la posición real de la isla en cuestión, se ha divagado mucho sobre si podía coincidir o no con Islandia, o con alguna de las Shetlands, aunque lo más plausible es que Piteas se refiriera a alguna de las existentes junto a la costa noruega; actualmente parece imponerse la idea de que podría tratarse de la isla de Smøla ($\varphi = 67^{o}\ 24´7”$, $\lambda = 8^{o}\ 1´45”$ E). Desde Tule debió dirigirse a Heligoland, el depósito de ámbar del Atlántico, regresando desde allí al Mediterráneo, en un viaje directo a lo largo de las costas europeas. Admitiendo que la navegación de Piteas fue siempre de cabotaje, la distancia total que recorrió podría estimarse entre 7000 y 7500 millas, una proeza menos audaz que la de Colón, el cual no tardó en perder de vista las costas, aunque si solo se considerase el valor de la distancia si se vería superado el memorable viaje del año 1492. Contrariamente a lo sucedido con el Almirante de Castilla, Piteas no tuvo sucesores, «ningún invasor



Mapa de Tolomeo, posiblemente influenciado por el relato de Piteas.

La isla mítica de Tule figura en la esquina superior derecha

CARTA MARINA ET DESCRIPTIO SEPTENTRIONALIUM TERRARUM. Olaus Magnus. 1539.

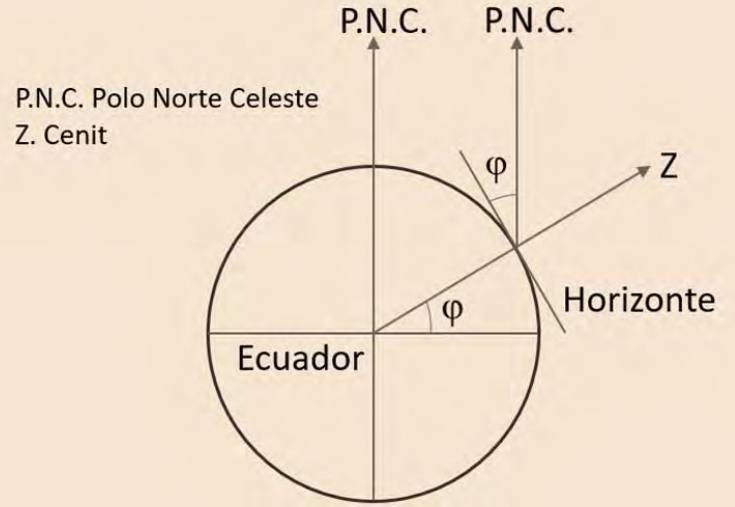
Cunado se confeccionó persistía la creencia de que existían monstruos marinos y la isla mítica referida por Piteas (Tule o Tile, como la llamó Plinio el viejo), de ahí que fuese representada

En la isla figuran las siguientes leyendas: *HEC INSULA HABET XXX MILLIA POPULUS ET AMPLIUS* (La isla tiene 30000 habitantes o más) *Y HIC HÁBITAT DOMINUS INSULARUM* (Aquí vive el Señor de las islas).

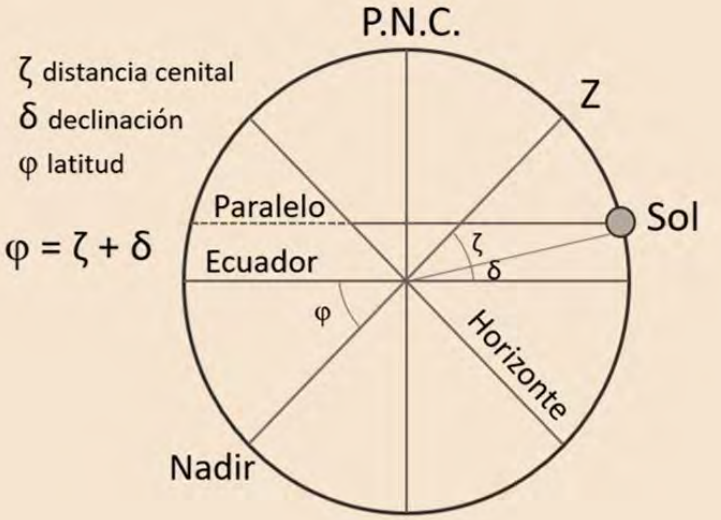
griego marchó sobre sus huellas y después de él las puertas del Atlántico volvieron a cerrarse por ciento cincuenta años»; así se pronunciaron Max Cary y Eric Herbert Warmington (*The ancient explorers*.1909).

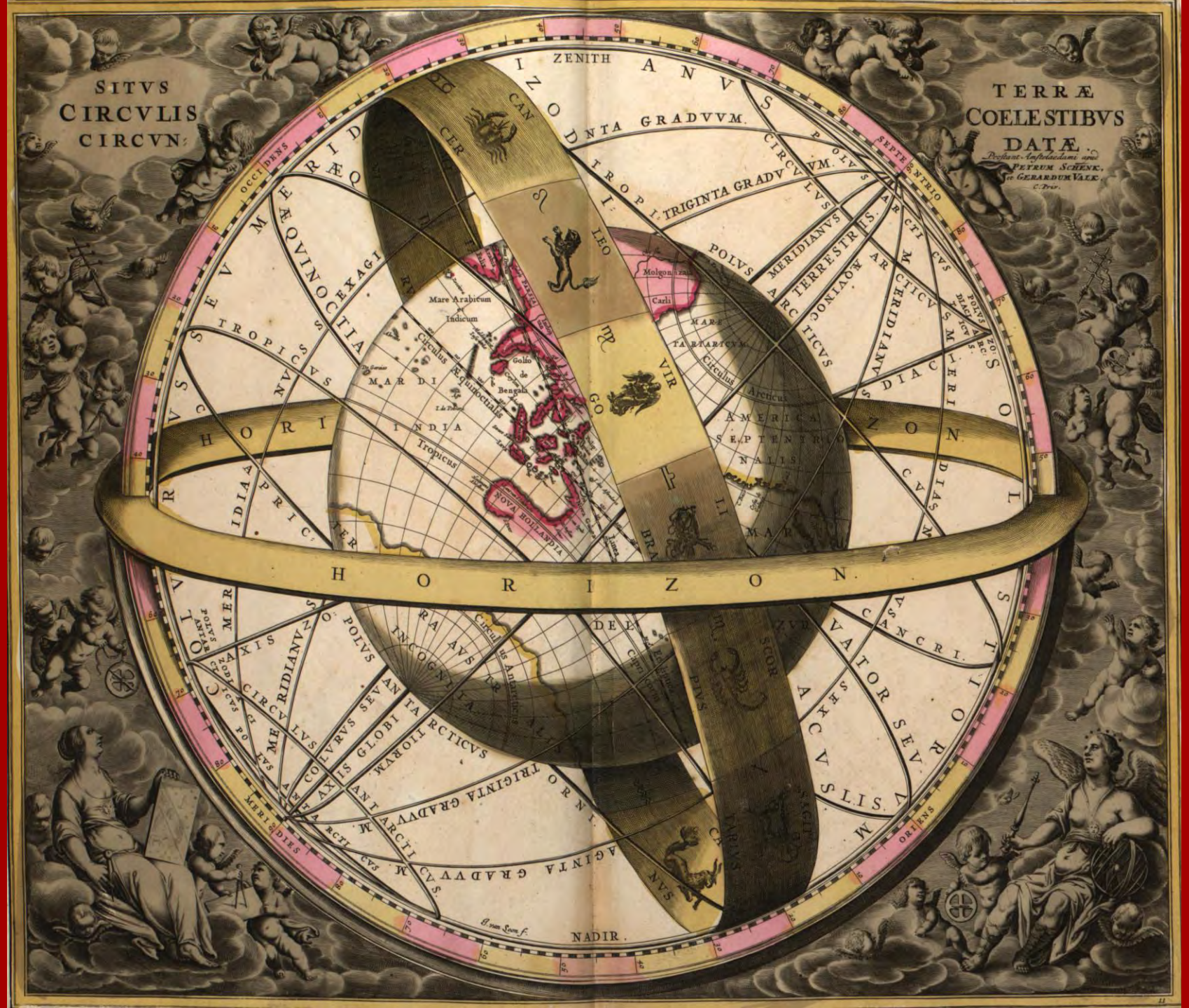
Han sido varias las veces en que se ha mencionado que Piteas calculó la latitud del lugar y de nuevo vuelve a hacerse ahora, con el fin de comentar con cierto detalle como lo consiguió. Para comprender mejor la metodología empleada, ha de recordarse que la latitud de cualquier punto de la tierra se puede definir indistintamente como el ángulo que forma la vertical física, trazada en el mismo, con el plano del ecuador, o bien como la altura del polo norte celeste sobre el plano del horizonte, correspondiente al punto considerado; tal como se indica en la figura adjunta. A tenor de lo indicado por cronistas como Estrabón, fueron diversos los procedimientos empleados, uno directo y otros indirectos, en el primer caso midiendo la altura del polo y en los otros observando la altura del Sol al mediodía, o teniendo en cuenta la máxima duración del día en las diferentes zonas de la Tierra, homónimas de las celestes. Dichas zonas se delimitan de acuerdo con los valores extremos de la declinación solar, cuyo valor absoluto coincide con la oblicuidad de la eclíptica (≈ 23º26´), de modo que el límite inferior del Trópico de Capricornio es el paralelo de latitud 23º26´ sur y el del Trópico de Cáncer 23º 26´ norte. De forma análoga se pueden fijar los límites inferiores de los dos círculos polares, esto es los paralelos 66º 34´de latitud norte (Ártico) y 66º34´ de latitud sur (Antártico); tales valores son

Sección meridional de la esfera terrestre



Sección meridional de la esfera celeste





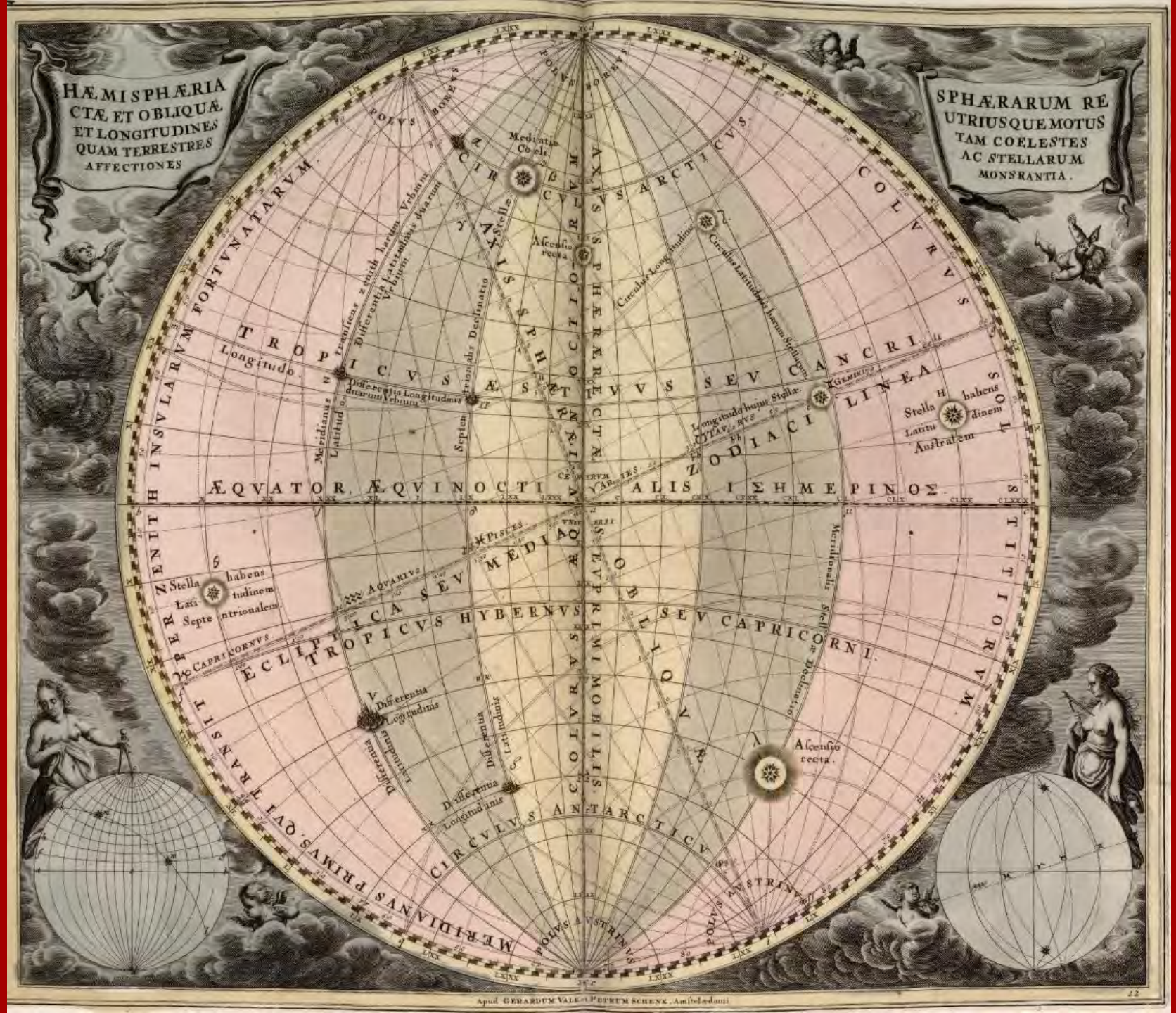
HARMONIA MACROCOSMICA

Andreas Cellarius (1660)

12. HEMISPHAERIA SPHAERARUM RECTAE & OBLIQUAE, UTRIUSQUE

HARMONIA MACROCOSMICA

Andreas Cellarius (1660)



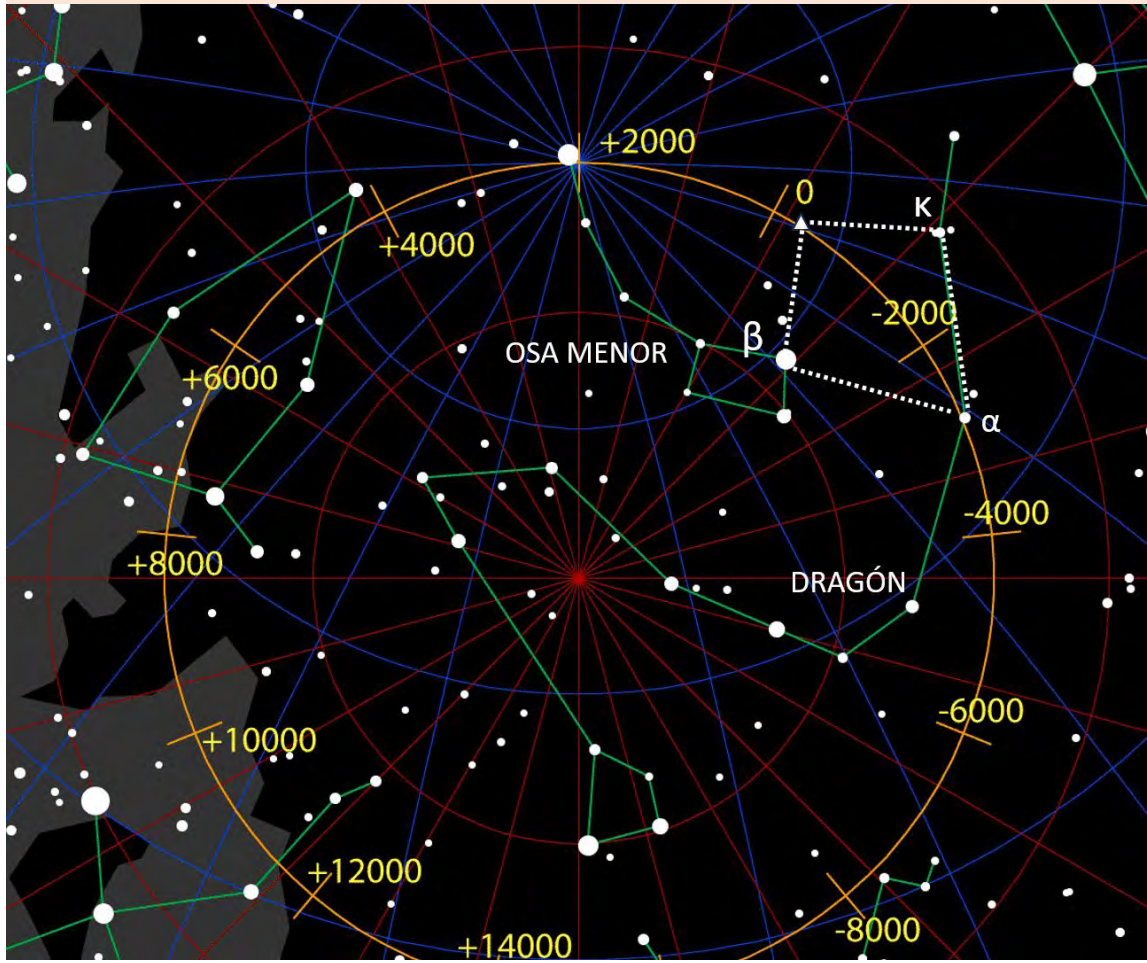
13. HEMISPHAERIUM ORBIS ANTIQUI, CUM ZONIS

Dos nativos de Borneo midiendo la sombra arrojada por el gnomon en el solsticio de verano

complementarios de la oblicuidad. En todos los casos no se medía directamente el ángulo en cuestión, sino la proporción entre la longitud de un gnomon y la de su sombra, una razón que siglos después sería identificada con la función arco tangente.

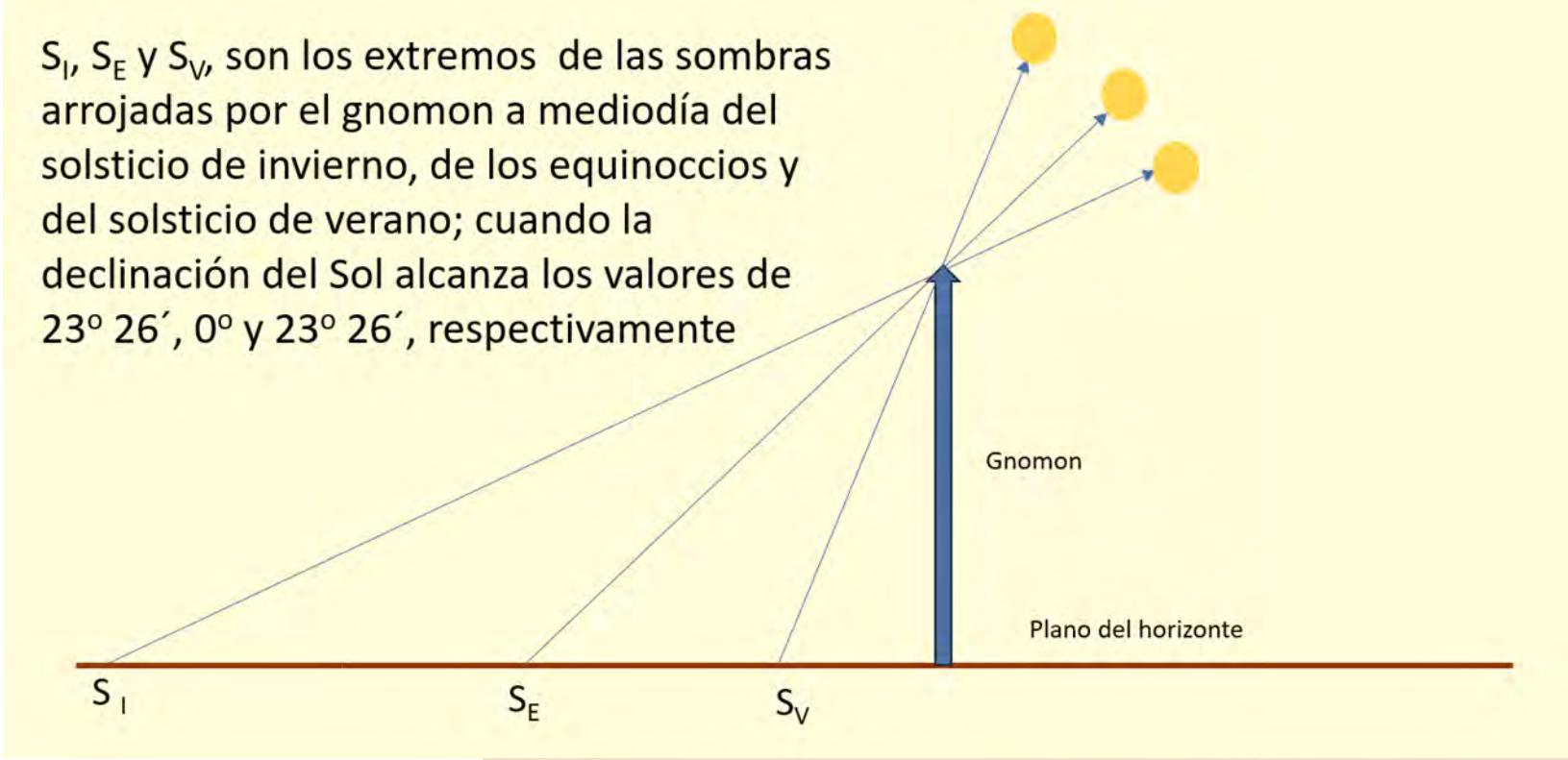
Estrabón aportó información muy concreta sobre las observaciones astronómicas de Piteas para obtener el valor de la latitud en algunos de los lugares que iba recorriendo, una serie de datos que debió conocer Hiparco; de acuerdo con las afirmaciones del geógrafo: en ocasiones apuntaba «Piteas dice» y en otras, como esta, indicaba «Hiparco dice». En su exposición se distinguieron cuatro apartados, a saber: I) Latitud por la altura del Sol, II) Latitud por altura del polo norte, III) Localización del círculo polar y IV) Latitud por la longitud del día más largo y por la altura del Sol en el día más corto. En el primer caso obtuvo la latitud de Marsella mediante un gnomon, midiendo su sombra a mediodía del día más largo, esto es en el solsticio de verano (cuando la declinación del Sol coincide con la oblicuidad de la de la eclíptica); de manera que como la proporción entre la longitud de la sombra y la del gnomon fue de 42/120, resultó una distancia cenital de 19º.29 (complemento de 70º.71, altura del Sol sobre el horizonte), que sumada a la oblicuidad dio una latitud de 43º13´, cinco minutos menos que el valor actual. Al analizar la segunda posibilidad, ha de tenerse presente que el aspecto del cielo varía con el tiempo, a causa de la precesión de los equinoccios, de modo que también cambia la posición de la estrella más próxima al polo norte celeste. De hecho, en la época de Piteas la posición de la estrella polar actual no marcaba la posición del polo, de ahí que el explorador asegurara que este se encontraba en el espacio vacío que había en la esquina de un cuadrilátero, cuyos otros lados los formaban

El cuadrilátero celeste mencionado por Piteas, en relación con la posición del polo norte celeste. En la imagen figura el movimiento polar a lo largo del tiempo, debido a la precesión de los equinoccios



las estrellas k y α de la constelación del Dragón y la β de la Osa menor. Cuando navegaba hacia el norte solo sabía que más allá de la zona templada, comprendida entre los paralelos de latitudes 23º 26´y 66º 34´, estaría la frígida, localizada entre ese último paralelo y el polo norte. Sin embargo, el poco desarrollo instrumental de aquel tiempo solo le permitiría conocer el valor de la latitud alcanzada, midiendo periódicamente la altura del polo desde algún punto del litoral. Cuando Piteas navegaba hacia el norte solo sabía que más allá de la zona templada, limitada inferiormente por el trópico de Cáncer (con una latitud igual a la oblicuidad de la eclíptica), se encontraba la llamada zona frígida.; pues la existencia del círculo ártico ya era admitida por aquel entonces la división en zonas de las dos esferas: celeste y terrestre, incluida la banda zodiacal, extendida a uno y a otro lado de la eclíptica, sobre la que se situaban las constelaciones que daban nombre a los doce signos. Dicha zonación se evidenciaba indirectamente al analizar la sombra arrojada por el gnomon a mediodía, ya que su longitud, para una latitud dada, variaba a lo largo del año: entre un mínimo en el solsticio de verano (cuando el día era el más largo y el Sol se halla en la constelación de Cáncer) y un máximo en el solsticio de invierno (cuando el día es más corto y el Sol se encuentra en la constelación de Capricornio). La existencia de la zona helada, e inhabitable, se postuló por consideraciones meramente simétricas, como contrapartida a la zona tórrida al sur de Egipto y Libia, que los filósofos griegos

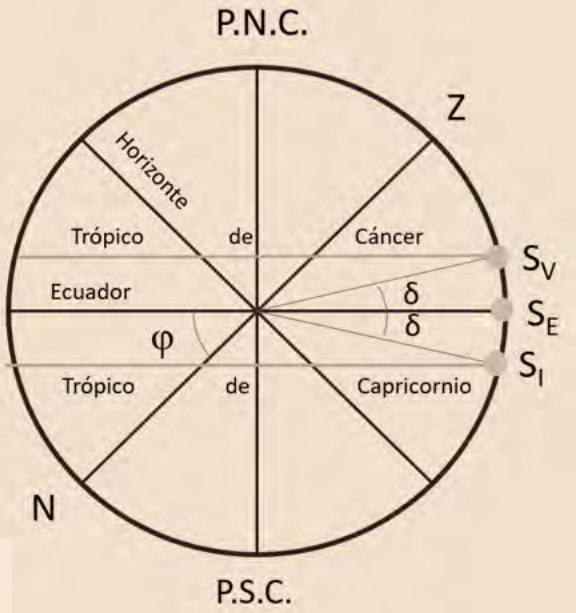
creyeron inhabitable, con la consecuencia añadida de que la distancia angular del polo al límite inferior de la primera debería ser igual a la existente entre el círculo del ecuador y el Trópico de Cáncer; coincidente con la oblicuidad de la eclíptica, como ya es sabido.



Por otro lado, a medida que Piteas ganaba latitud, observaría como el polo iba ascendiendo cada vez más sobre la esfera celeste, alcanzando un valor tal que se verían también las estrellas de su entorno, las llamadas circumpolares; de todas ellas, las más conocidas y usadas por los navegantes fueron las siete que forman la constelación de la Osa menor. La relevancia de la misma va más allá de la astronomía, en tanto que dio nombre a las regiones más frías de la Tierra: Ártico y Antártico, vocablos que derivan de los griegos *arktos* (oso) y de *arktikos* (cerca del oso). En el hemisferio septentrional, la zona fría estará pues comprendida entre el polo y el círculo Ártico, presentándose en ella la singularidad de que el Sol no tocase al

$ZS_V = \zeta_V$
$ZS_E = \zeta_E$ Distancias cenitales
$ZS_I = \zeta_I$

Latitud en el solsticio de verano
$\varphi = \zeta_v + \delta$
Latitud en los equinoccios
$\varphi = \zeta_E$
Latitud en el solsticio de invierno
$\varphi = \zeta_I - \delta$

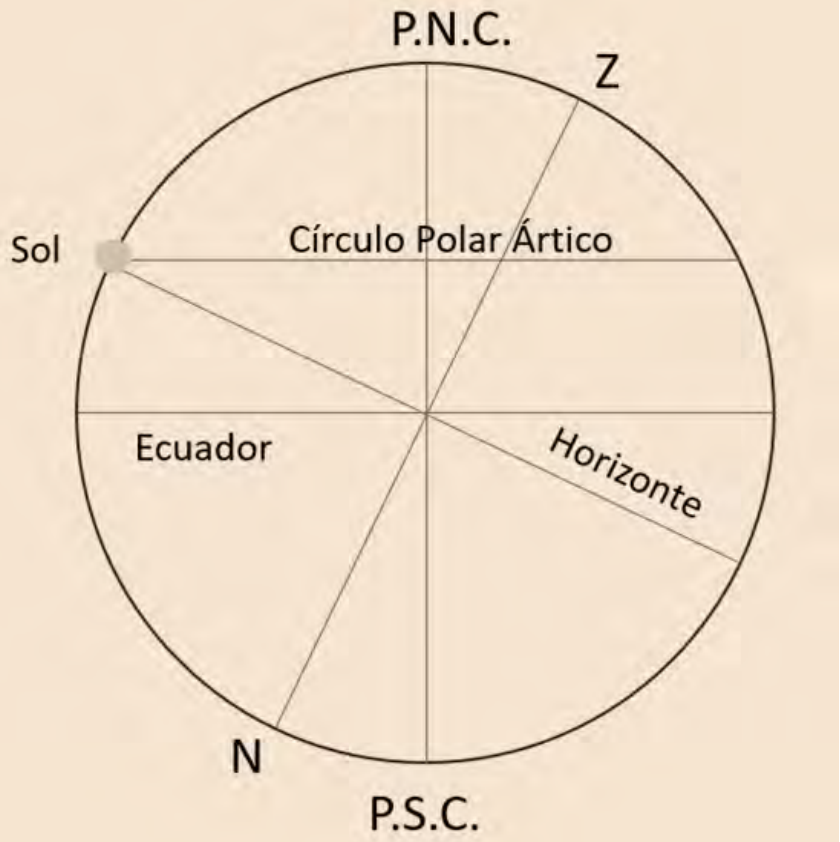


CÁLCULO DE LA LATITUD DEL LUGAR EN DIFERENTES ÉPOCAS DEL AÑO

La OSA MENOR rodeada por la constelación del Dragon. Atlas celeste Urania's Mirror, Londres. 1825

La infancia de Zeus. Cuadro de 1648 pintado por Nicolas Pietersz Berchem. En la mitología griega, Cinosura fue una de las nodrizas de Zeus, siendo también el nombre más antiguo de la Osa Menor y de su estrella más brillante (α *Ursa minoris*, es decir la estrella polar).

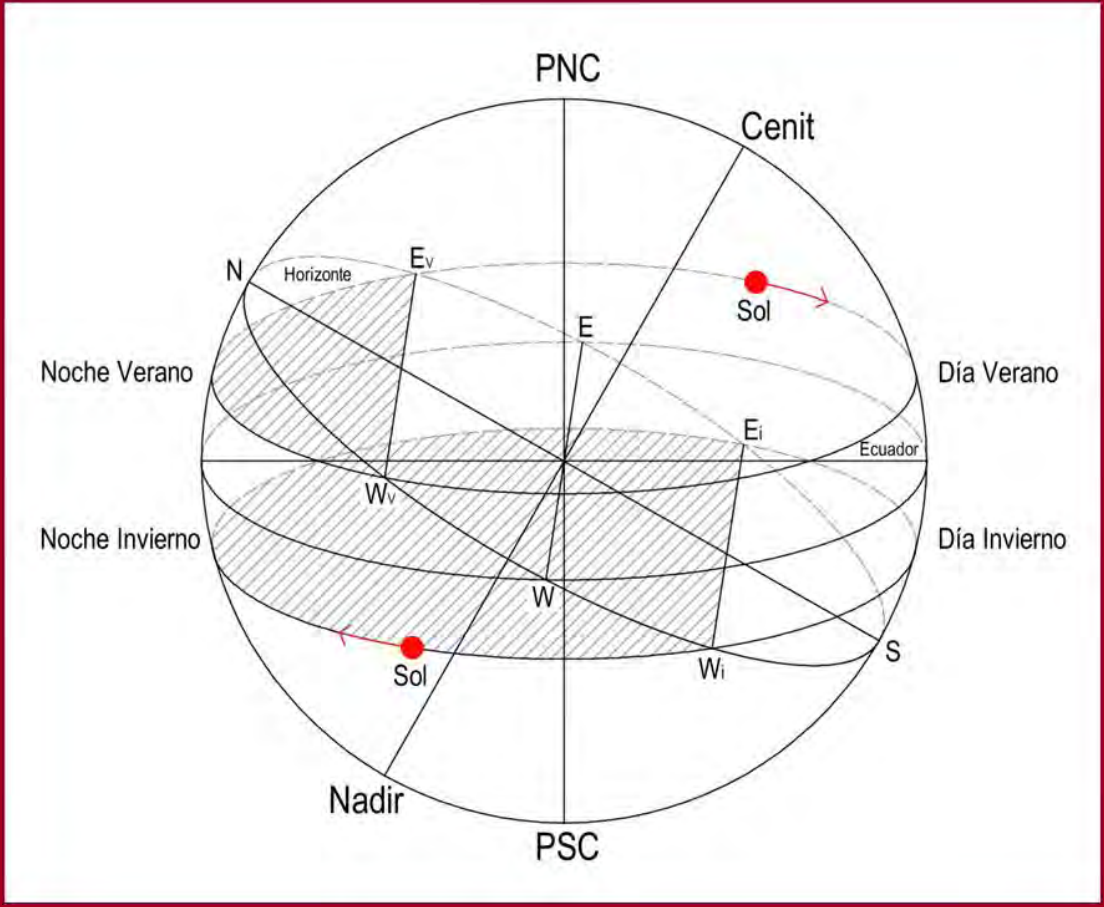
El Sol en el Círculo Polar Ártico, durante el solsticio de verano. En tal instante la declinación del Sol es máxima, e igual a la colatitud del lugar.



horizonte, esto es que el día tenga más de veinticuatro horas, el fenómeno astronómico en el polo es todavía más excepcional, en tanto que carece de sentido la definición usual de día y de noche; ya que el Sol está seis meses por encima y otros seis por debajo del horizonte. Piteas debió contemplar ese comportamiento, aparentemente anómalo del Sol, pues afirmaba que la isla de Tule estaba en el círculo Ártico y que había observado como la sombra arrojada a mediodía por el gnomon, en el solsticio de verano, se extendía hasta el horizonte; prueba inequívoca de que el Sol se encontraba en dicho plano, ocupando el punto diametralmente opuesto al extremo de la sombra.

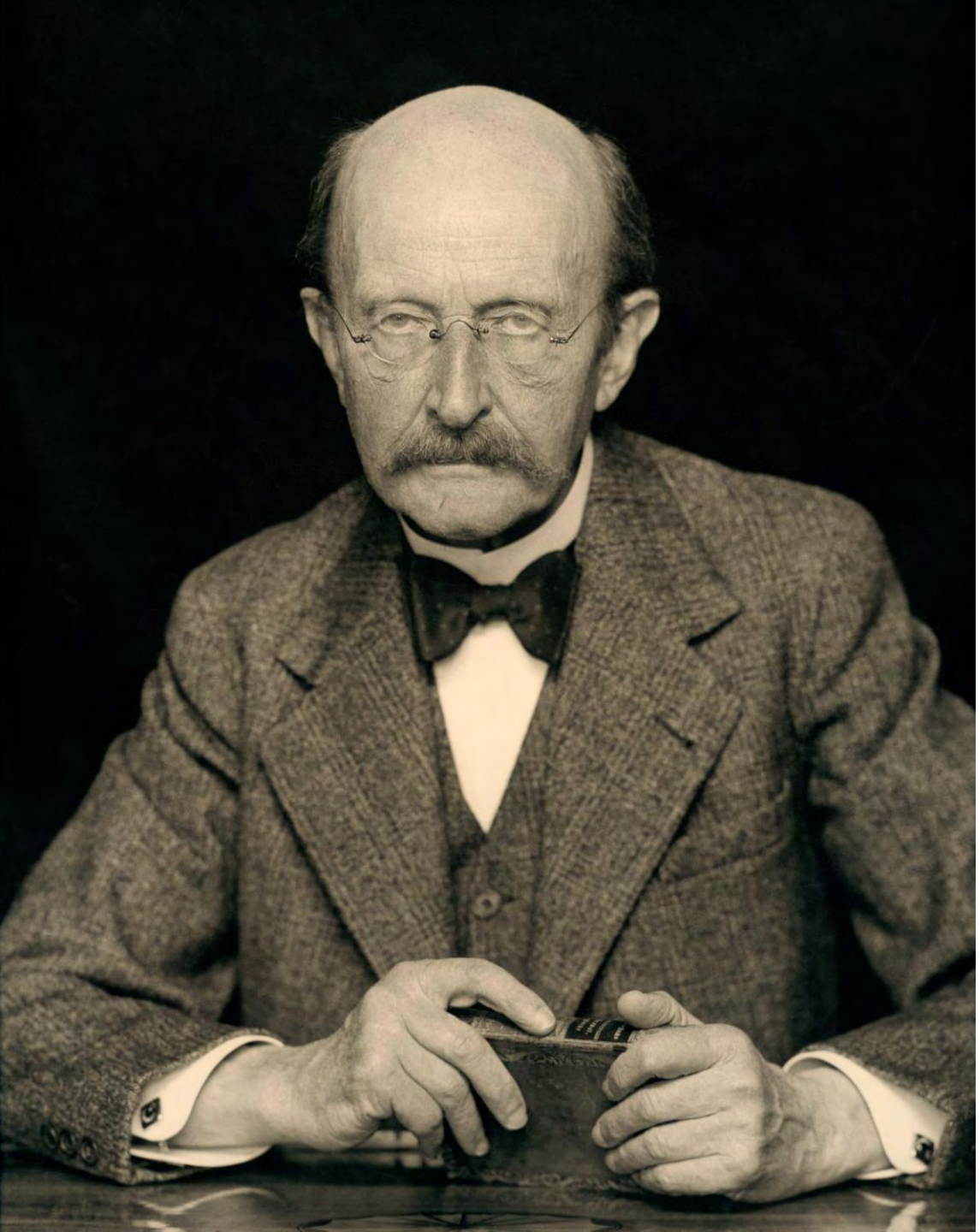
En el cuarto apartado Estrabón uso como unidad angular el codo, de igual nombre que la lineal, pero de significado radicalmente distinto; el cual equivalía a 2º y parece que fue copiado por Hiparco de los babilonios y estos a su vez de los sumerios. Asimismo, se hizo uso, como en la antigua Grecia, de la costumbre de asociar la latitud a la duración del día en el solsticio de verano, expresada en horas babilónicas; teniendo en cuenta que una hora era la duodécima parte del tiempo transcurrido entre el orto y el ocaso del sol en cualquiera de los equinoccios. Piteas, quien ya había supuesto que Marsella y Bizancio tenían igual latitud, fijó la distancia entre esta última y la desembocadura del río Borístenes (el actual Dniéper) en 3700 estadios; esto es a una distancia angular a lo largo del meridiano de 5º.3. Dado que el paralelo de la desembocadura del río anterior coincidía también con el que pasaba por la costa septentrional del país de los celtas, también pudo fijar la latitud correspondiente.

Los días más largo y más corto del año. Durante los equinoccios la duración del día sería igual que la de la noche, esto es 12 horas. Las noches correspondientes figuran rayadas, de forma tal que sus duraciones son opuestas a las de los días: la noche del solsticio de verano es mínima, al contrario que la del solsticio de invierno, que es máxima.



Recreación artística del trirreme de Piteas

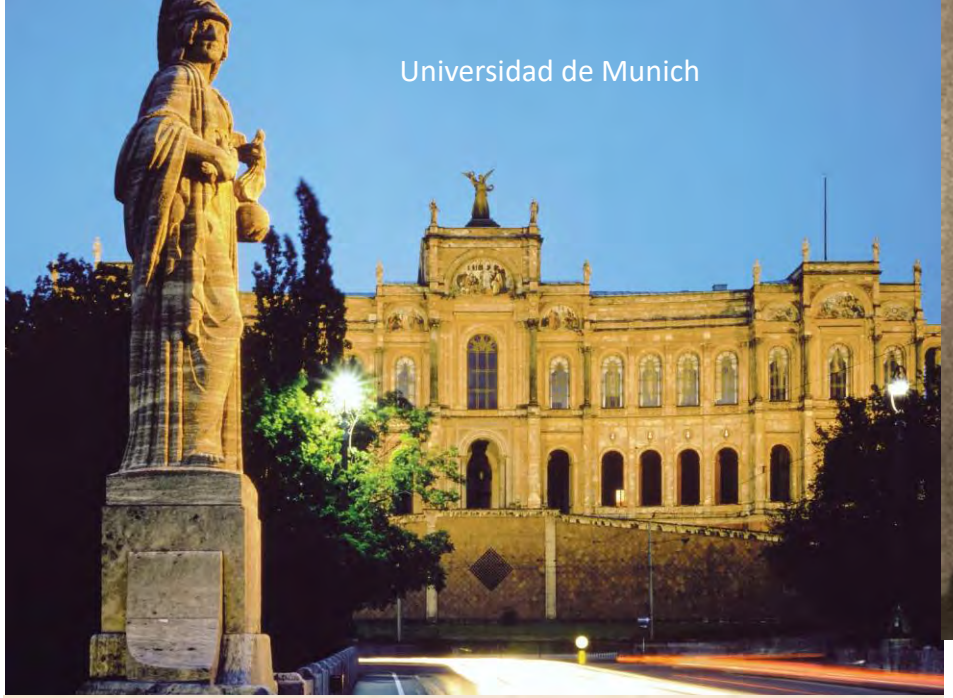
RECREACIÓN ARTÍSTICA DEL TRIRREME DE PITEAS



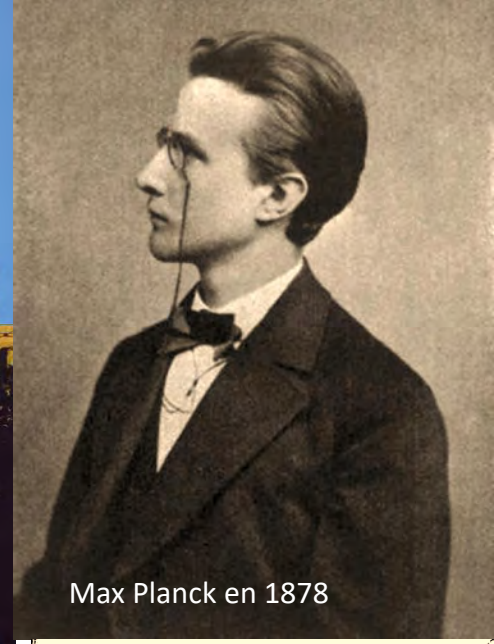
Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858-1947)

Sabio alemán al que se debe la teoría cuántica, por la que recibió el premio Nobel de física en el año 1918. Aunque fueron muchas más sus contribuciones a la física teórica, su teoría revolucionó el conocimiento de los procesos atómicos y subatómicos, al igual que la de la relatividad lo hizo con el del espacio y el tiempo. Ambas fueron las teorías fundamentales del siglo XX, las cuales transformaron las doctrinas filosóficas convencionales, propiciando aplicaciones industriales y militares que vienen afectando a todos los aspectos de nuestra actividad cotidiana. Max Planck nació en Kiel, junto al mar Báltico, en el seno de una familia acomodada e instruida, y allí hizo sus estudios primarios. La secundaria la cursó en Munich, concretamente en el Maximilian Gymnasium, donde ingresó en 1867. En principio mostró talento para la música, aunque al final de sus estudios mostrara ya interés por la física y las matemáticas, aún no tenía claro lo que seguiría estudiando cuando concluyó el bachiller en julio de 1874. Tras ingresar en la Universidad de Munich en el mes de octubre, optó finalmente por la física, explicando años después el por qué de su elección: « El mundo exterior es algo independiente del hombre, algo absoluto, y la búsqueda de las leyes que se aplican a este absoluto me pareció la búsqueda científica más sublime de la vida»; sin embargo, no fue grato el recuerdo que guardaba de sus profesores: «No tuve la

suerte de que un científico o profesor prominente dirigiera el curso específico de mi educación». Después de un breve paréntesis, en octubre de 1877 se matriculó en la Universidad de Berlín, en donde tuvo profesores tan eminentes como el matemático Karl Theodor Wilhelm Weierstrass, y los físicos Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz y Gustav Robert Kirchhoff; aunque a este último lo admirase, también lo consideraba seco y monótono en sus explicaciones. Acto seguido regresó a la Universidad de Munich, concluyendo sus estudios en julio de 1879, tras hacer una brillante exposición del tema titulado *Über den zweiten Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie* (Sobre la segunda ley de la teoría mecánica del calor); el cual fue el objeto de su tesis doctoral, que superó con la calificación *suma cum laudem*. Ya doctor, ejerció como profesor no remunerado (*Privatdozent*) de la Universidad de Munich, durante cinco años, tras haber sido habilitado, en el año 1880, con el trabajo *Gleichgewichtszustände isotroper Körper in verschiedenen Temperaturen* (Estados de equilibrio de cuerpos isótropos a diferentes temperaturas); fue entonces cuando conoció y trabó amistad con el matemático y físico Carl Runge, que mantuvo hasta que falleció este en 1927.

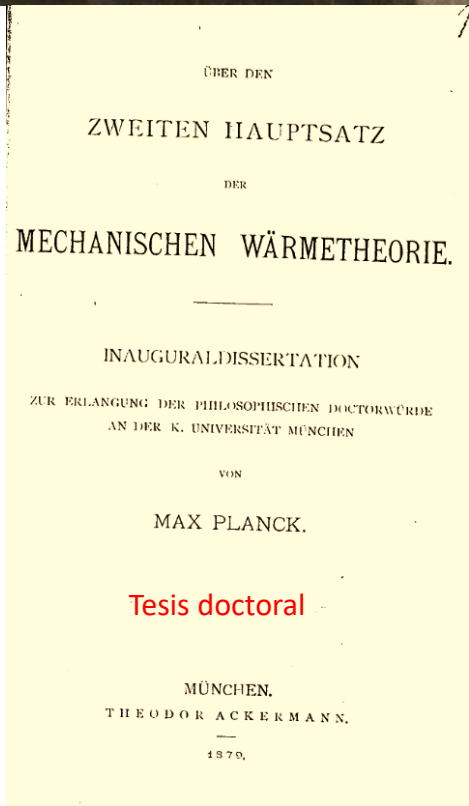


Universidad de Munich



Max Planck en 1878

An English translation of the PhD Thesis of Max Planck (1879)
"Über den zweiten Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie"
or: "About the second law of mechanical heat theory"
to provide a readable version of the German content.
Translated by Dr.Hab. Pascal Marquet
Possible contact at: pascalmarquet@yahoo.com Web sites!
Version-1 / January 16, 2024



ÜBER DEN

ZWEITEN HAUPTSATZ

DER

MECHANISCHEN WÄRMETHEORIE.

INAUGURALDISSERTATION

ZUR ERLANGUNG DER PHILOSOPHISCHEN DOCTORWÜRDE
AN DER K. UNIVERSITÄT MÜNCHEN

VON

MAX PLANCK.

Tesis doctoral

MÜNCHEN.
THEODOR ACKERMANN.
1879.

ÜBER

GLEICHGEWICHTSZUSTÄNDE

ISOTROPER KÖRPER

IN

VERSCHIEDENEN TEMPERATUREN.

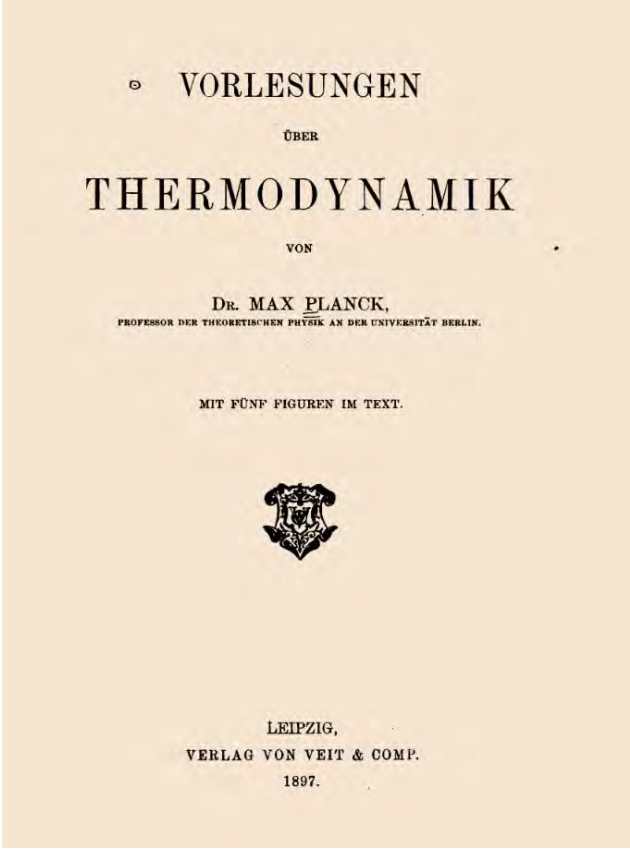
VON

DR. MAX PLANCK.

UNIVERSITÄTS-BIBLIOTHEK JENA

MÜNCHEN.
THEODOR ACKERMANN
KÖNIGLICHER HOFBUCHHÄNDLER.
1880.

En el año 1885 fue nombrado profesor asociado de física teórica en la Universidad de Kiel, cargo que ocupó durante cuatro años, dedicándose además al estudio de la entropía y su tratamiento, especialmente en el campo de la fisicoquímica; lo que le permitiría publicar más adelante, en 1897, su célebre tratado de Termodinámica: *Vorlesungen über Thermodynamik*. Al quedar vacante la plaza ocupada por Kirchhof en la Universidad de Berlín, aceptó sustituirle, de acuerdo, posiblemente, con la recomendación de Helmholtz; logrando la cátedra en mayo de 1892 y ocupándola hasta su jubilación en el mes de octubre de 1927. En esos años rechazó trasladarse a la Universidad de Viena (1907) y fue profesor invitado en la


VORLESUNGEN

ÜBER

THERMODYNAMIK

VON

DR. MAX PLANCK,
PROFESSOR DER THEORETISCHEN PHYSIK AN DER UNIVERSITÄT BERLIN.

MIT FÜNF FIGUREN IM TEXT.

LEIPZIG,
VERLAG VON VEIT & COMP.
1897.

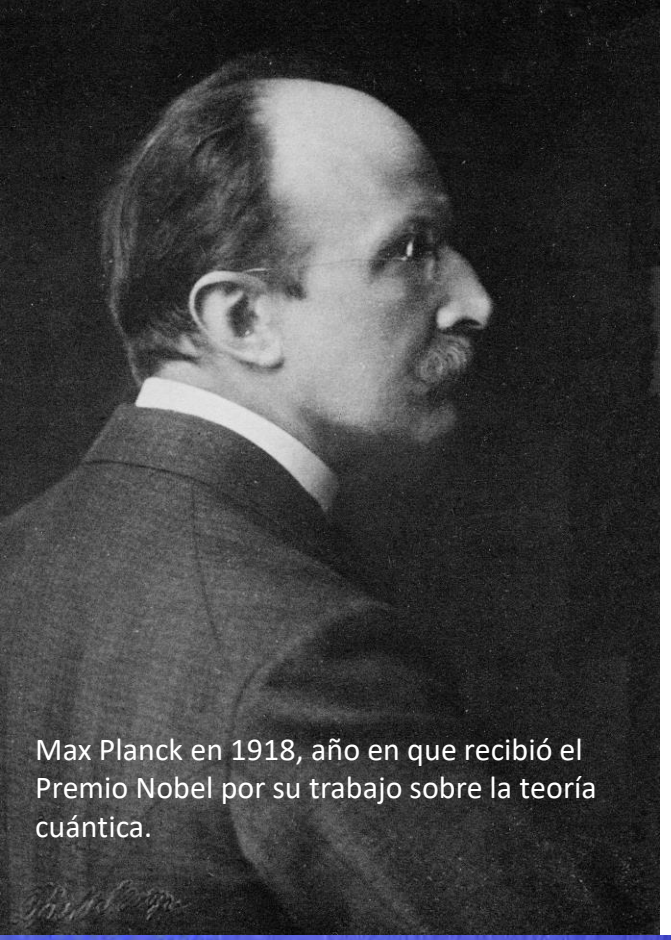
Universidad de Columbia (Nueva York) dos años después; sin olvidar su pasión por la música, llegando a construir un armonio con 104 tonos en cada octava, con el que daba conciertos en su propia casa.

De ese periodo de su vida, datan las contribuciones científicas más señaladas, algunas de las cuales se mencionan a continuación. En sus investigaciones de termodinámica examinó la distribución de energía según la longitud de onda. Combinando las fórmulas de Wilhelm Wien y de Lord Rayleigh (John William Strutt), Max Planck anunció en octubre de 1900 su fórmula de radiación, la cual describe la radiación electromagnética emitida por un cuerpo negro en equilibrio térmico a una temperatura definida; un resultado trascendente para la física moderna y la teoría cuántica. Pasados dos meses, hizo un estudio teórico y completo de su fórmula, renunciando a la física clásica e

introduciendo los cuantos de energía; presentándolos formalmente el día 14 de diciembre de 1900 en una reunión de la *Physikalische Gesellschaft* en Berlín, señalando que la energía(E) es el producto del cuanto elemental (*h*), también llamado constante de Planck y de la frecuencia de la radiación (v), es decir E = *h*v . De ese modo tuvo que rechazar su creencia de que la segunda ley de la termodinámica era una ley absoluta de la naturaleza, y aceptar la interpretación estadística dada por Ludwig Eduard Boltzmann. El cambio de postura no debió ser fácil para Max Planck, ya que un año más tarde escribió una carta en la que decía: «... Todo el procedimiento fue un acto de desesperación porque había que encontrar una interpretación teórica a cualquier precio, por muy alto que fuera». En el año 1918 fue galardonado con el Premio Nobel de Física, gracias a su descubrimiento de la teoría cuántica, al cual se refirió con detalle en el discurso de recepción que pronunció el 2 de junio del año 1920. En el comienzo del

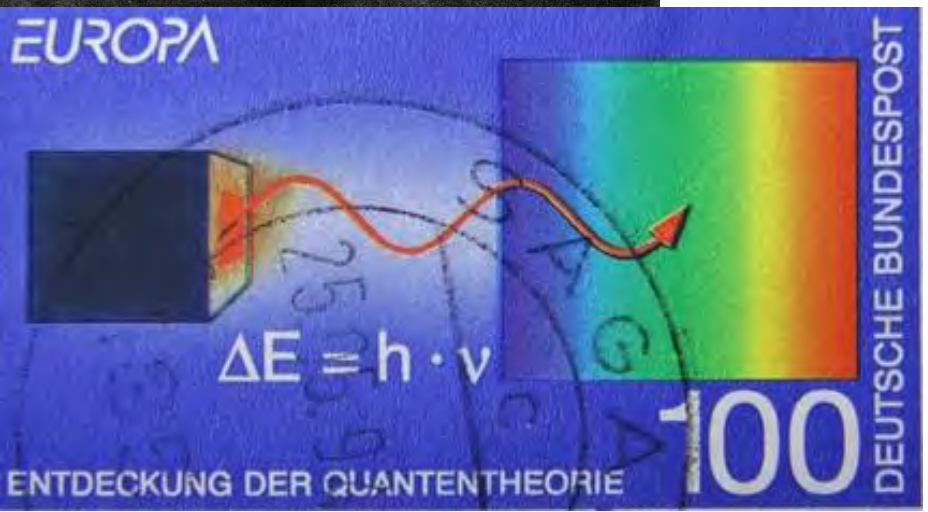
En este edificio enseñó Max Planck, descubridor del cuanto elemental de acción *h,* desde 1889 a 1928

UNIVERSIAD DE BERLÍN



Max Planck en 1918, año en que recibió el Premio Nobel por su trabajo sobre la teoría cuántica.

mismo se refirió al experimento y demostración crucial de Kirchhoff relativa a la radiación del cuerpo negro, que anunciaba un conocimiento más detallado sobre la relación entre la energía y la temperatura, el principal problema de la termodinámica. Más adelante se centró en la investigación consiguiente que llevó a cabo, tras haber planteado su nueva fórmula de radiación, con objeto de buscar una interpretación física de la misma, « y este problema me llevó automáticamente a considerar la conexión entre entropía y probabilidad, es decir la idea de Boltzmann, finalmente después de algunas semanas del trabajo más duro de mi vida, la luz entró en la oscuridad y una nueva perspectiva inconcebible se abrió ante mi…». Seguidamente mencionó el cuanto elemental de acción, y la facilidad de analizar el fenómeno físico cuando esta era infinitamente pequeña, al contrario de lo que sucedía en el caso general, sobre todo cuanto más débiles y rápidas eran las vibraciones consideradas. La conclusión de su discurso rompió con todo lo establecido: «el cuanto de acción debía desempeñar un papel fundamental en la física, y aquí había algo completamente nuevo, nunca antes oído, que parecía exigirnos una revisión básica de todo nuestro pensamiento físico, construido como estaba, desde la época del establecimiento del cálculo infinitesimal por Leibniz y Newton, sobre la aceptación de la continuidad de todas las conexiones causales».



Los primeros años del siglo XX los pasó Max Planck tratando de encuadrar, sin conseguirlo, el cuanto de acción con la física convencional. De hecho, su teoría no empezó a ser formalmente aceptada hasta que el físico danés Niels Bohr enunció en 1913 la teoría de las órbitas cuantificadas y publicó su propio modelo atómico; adaptando la estructura nuclear de Ernest Rutherford a la teoría cuántica de M. Planck. Pronto fueron otros los físicos y matemáticos que, de una u otra forma, se apoyaron también en ella, a saber: Einstein (con las teorías de los cuantos de luz), Henri Poincaré (demostrando que los cuantos eran consecuencia necesaria de su ley de radiación), Paul Dirac (que predijo la existencia de la antimateria y fue el autor de *The Principles of Quantum Mechanics*) y otros. Max Planck simultaneó sus tareas docentes y de investigación con las administrativas propias de sus cargos: Secretario de la Sección de la Academia de Ciencias de Berlín (1912-1943), en la que

El físico danés Niels Bohr, que se valió del cuanto de acción para formar su propio modelo atómico, recibiendo por ello el usando el Premio Nobel de Física en 1922

PREUßISCHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN (1700)
(Real Academia Prusiana de las Ciencias. Actualmente se denomina Academia de las Ciencias de Berlín-Brandeburgo (BERLIN-BRANDENBURGISCHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN).

había ingresado en 1894; tesorero y luego presidente de la Sociedad Alemana de Física (*Deutsche Physikalische Gesellschaft*) , en dos ocasiones (1905-1908) y (1915-1916). En el año 1929 se estableció en dicha Sociedad el premio Medalla Max Planck, convirtiéndose este en el primer receptor, junto a A. Einstein; siendo este el encargado de entregársela en Berlín. Desde 1916 formó parte de la *Kaiser Wilhelm Gesellschaft*, el principal centro de investigaciones de Alemania, que presidiría durante dos periodos: (1930 –1937) y (1945-1946); en el mes de febrero de 1948 pasó a denominarse Sociedad Max Planck.

Kaiser Wilhelm Gesellschaft

Deutsche Physikalische Gesellschaft

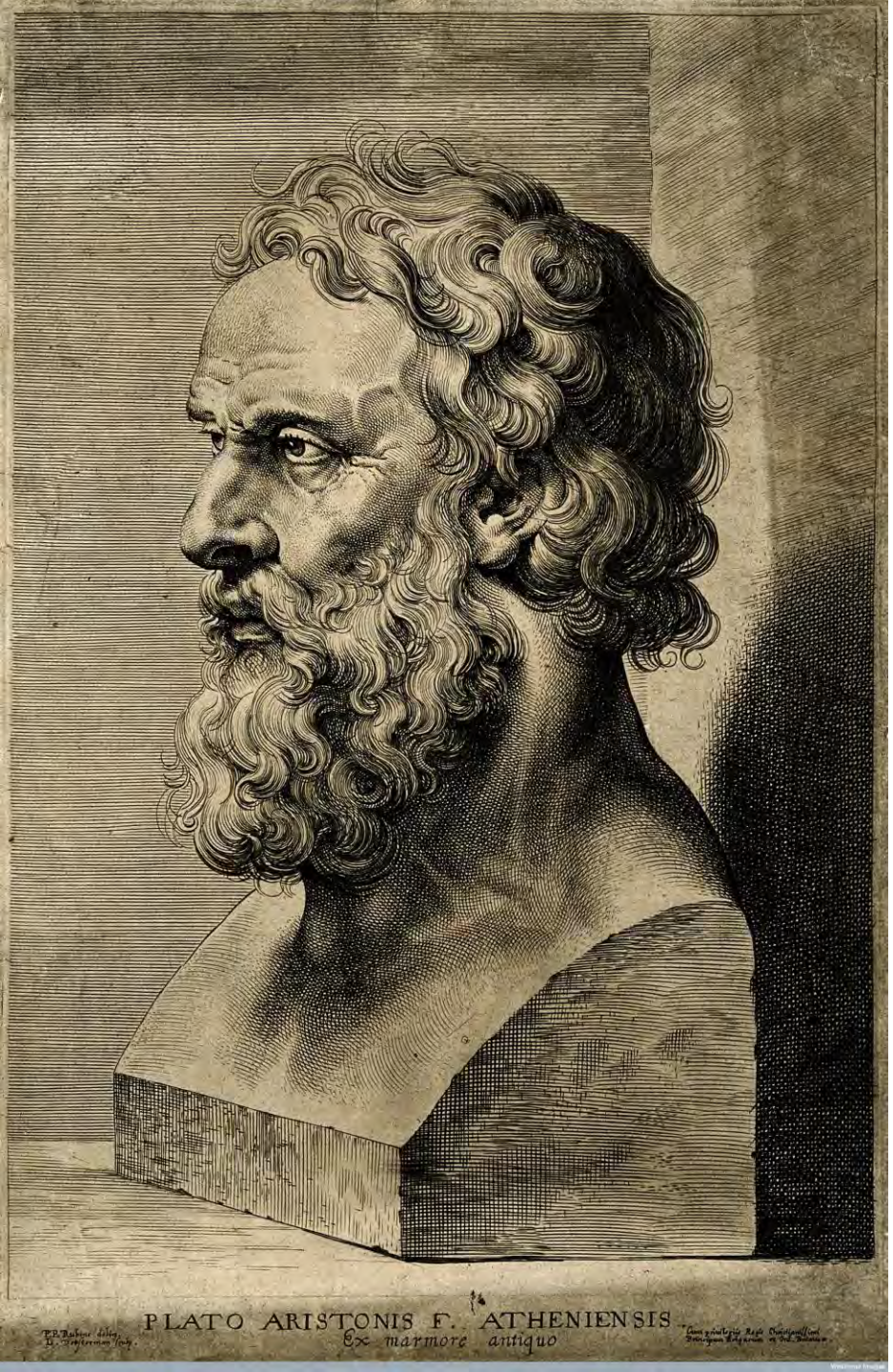
Max Planck entregando la medalla a Albert Einstein.

Max Planck ingresó en la *Royal Society* de Londres en el año 1926, siendo condecorado con su prestigiosa medalla Copley en el año 1929, en atención a sus contribuciones a la física teórica, y especialmente por haber sido el creador de la teoría cuántica.

ASISTENTES A LA CONFERENCIA SOLVAY DE 1927.

De atrás hacia adelante y de derecha a izquierda:

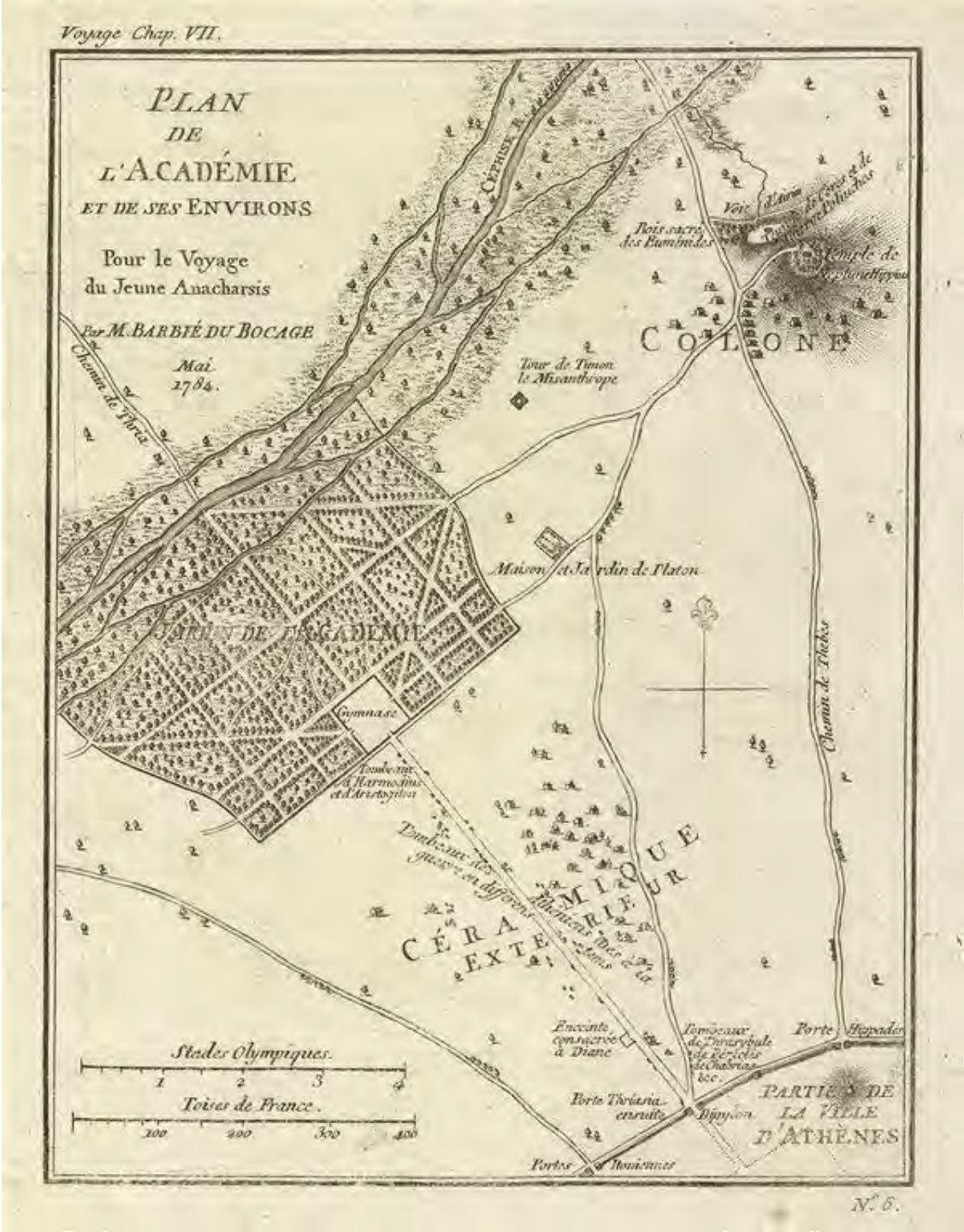
AUGUSTE PICCARD, ÉMILE HENRIOT, PAUL EHRENFEST, ÉDOUARD HERZEN, THÉOPHILE DE DONDER, ERWIN SCHRÖDINGER, JULES-ÉMILE VERSCHAFFELT, WOLFGANG PAULI, WERNER HEISENBERG, RALPH HOWARD FOWLER, LÉON BRILLOUIN, PETER DEBYE, MARTIN KNUDSEN, WILLIAM LAWRENCE BRAGG, HENDRIK ANTHONY KRAMERS, PAUL DIRAC, ARTHUR COMPTON, LOUIS DE BROGLIE, MAX BORN, NIELS BOHR, IRVING LANGMUIR, MAX PLANCK, MARIE SKŁODOWSKA CURIE, HENDRIK LORENTZ, ALBERT EINSTEIN, PAUL LANGEVIN, CHARLES-EUGÈNE GUYE, CHARLES THOMSON REES WILSON, OWEN WILLANS RICHARDSON



Platón (ca.429 -347 a.C.)

Indudablemente uno de los autores más sobresalientes de la tradición literaria occidental y uno de los más influyentes en la historia de la filosofía. Aunque no fuese el primer pensador al que se calificó como filósofo, era tan consciente de como debería concebirse esa disciplina, que ha de considerársele responsable de que se conciba la misma como un examen riguroso y sistemático de cuestiones éticas, políticas, metafísicas y epistemológicas. Platón, nacido en Atenas, se educó de acuerdo con la tradición impuesta por el régimen de Pericles, dado que su familia era acomodada. Diversos autores han señalado que su difícil relación con la democracia guarda relación con las enseñanzas que recibió de Sócrates, su maestro, y sobre todo por el final tan trágico a que este se vio abocado; el caso es que Platón optó por abandonar su primera intención de dedicarse a la política, como le aconsejaban sus parientes oligarcas. Aristóteles, su discípulo más distinguido, aseguraba que cuando Platón era joven conoció a Crátilo, aprendiendo de él que el mundo de la percepción sensorial es un mundo de flujo, y por tanto no es la materia más adecuada para adquirir el conocimiento verdadero y cierto. El que este fuese alcanzable en el plano conceptual lo habría aprendido de Sócrates, apuntando Diógenes Laercio que Platón se convirtió en su discípulo cuando tenía 20 años.

Impresionado por la ejecución de Sócrates, Platón abandonó Atenas y viajó por Egipto, Sicilia e Italia. Los relatos que lo sitúan en la tierra de los faraones no son concluyentes, pero si estuvo allí debió ser antes del año 395, en el que ya se había desplazado hasta Atenas por haber estallado la guerra de Corinto. Algunos autores afirman que Platón tomó prestado de los sacerdotes egipcios su teoría de las formas, sus ideas cosmológicas, o que allí debió conocer el fundamento de las clepsidras, o relojes de agua, que más tarde introduciría en Grecia. Lo que si es incuestionable es que Platón estuvo en SIcilia e Italia, posiblemente con la intención de contactar con los pitagóricos, aunque tampoco es descartable que lo hubiese hecho movido por su interés en los volcanes sicilianos, de acuerdo con el relato de Diógenes Laercio. También tuvo relación con Dionisio I, tirano de Siracusa, pero le fue tan mal que llegó a ser vendido como esclavo, si bien al final fue salvado por Anniceris, natural de Cirene, y pudo volver a Atenas. Fue entonces, alrededor del año 387 cuando debió fundar su Academia, en un lugar próximo al santuario construido en honor del héroe mitológico Akademo; de ahí su nombre. Las enseñanzas impartidas en la Academia no se limitaron a la filosofía, propiamente dicha, ya que también se explicaban



Mosaico romano con la Academia de Platón, datado en el siglo I a.C. Fue rescatado de Pompeya y se conserva en el Museo Arqueológico de Nápoles. La figura central podría ser Plató señalando un modelo celestial, o bien la esfera que figura en primer término.

La Academia de Atenas, según Pellegrino Tibaldi (1586).
Biblioteca del Escorial

Rótulo que figura a la entrada del Instituto de Matemáticas de la Universidad de Oxford, recordando el que debió existir en la Academia de Atenas.

astronomía, matemáticas y otras ciencias auxiliares. Platón pensaba que la mejor formación no debía ser exclusivamente práctica, sino que además debería contemplar a la ciencia por sí misma, el ambiente que se debía respirar en la misma se resumía en la frase que al parecer figuraba en su friso: *No entre el ignorante en geometría.* A la dirección de la Academia añadía Platón la impartición de conferencias, que lamentablemente no quiso que fuesen publicadas, al contrario de lo sucedido con sus famosos diálogos; por estar destinados a la lectura popular. Curiosamente su discípulo Aristóteles procedió a la inversa: las obras que se le atribuyen resumen sus conferencias y de sus diálogos solo se conocen fragmentos; por otro lado, comentaba este con frecuencia como los que asistían a las conferencias de Platón sobre el bien, se asombraban a menudo de no oir hablar más que de matemáticas y astronomía. No pueden mencionarse los nombres de Platón y Aristóteles, sin recoradar que ambos presiden el célebre fresco de la Escuela de Atenas, pintado por Rafael durante el papado de Julio II. En el centro de la composición aparecen maestro y alumno, absortos en una interesante conversación, señalando el primero hacia el cielo , mientras el segundo dirige hacia la Tierra la palma de su mano; sencilla simbología científica y alegoría suprema de la interconexión del conocimiento astronómico y geodésico, en cuya alternancia se viene basando todo el progreso de las Ciencias de la Tierra.

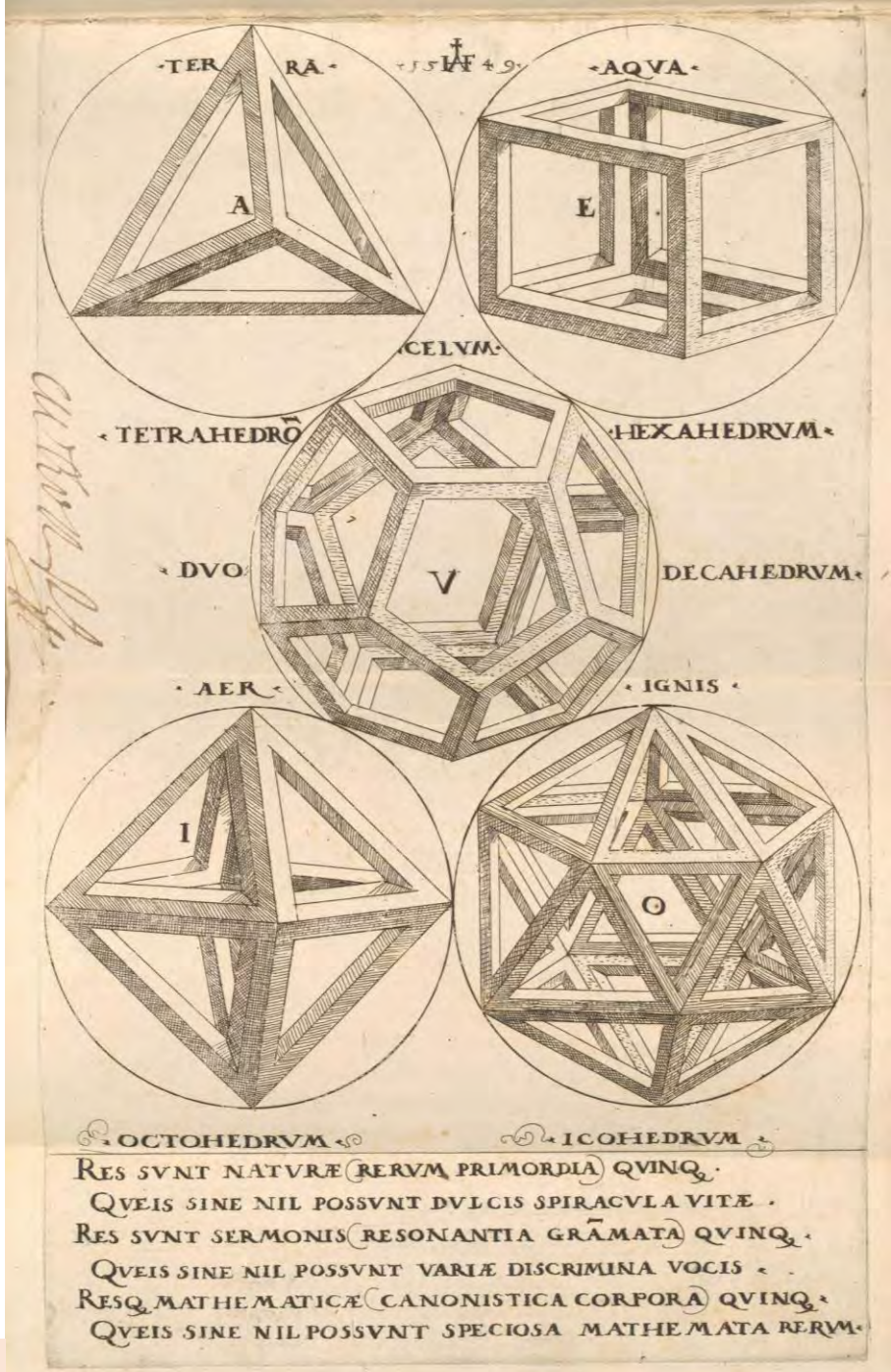
Cuando Platón se refería a la epistemología analizaba el conocimiento a priori y el racionalismo, rechazando en su teoría de las formas el mundo cambiante y engañoso del que somos conscientes a través de nuestros sentidos,

PLATÓN Y ARISTÓTELES

LA ESCUELA DE ATENAS. Fresco de Rafael Sancio en la *Stanza della Segnatura*. Museos Vaticanos

(5m x 7m)

proponiendo en su lugar su mundo de ideas, que si eran constantes y verdaderas. Buen ejemplo de ello fue el de la línea, un objeto que tiene longitud, pero no anchura y que nunca podrá ser representado en el mundo de nuestros sentidos, de manera que al tener siempre un determinado ancho (por muy estrecho que se dibuje) nunca será una forma perfecta. De acuerdo con Aristóteles dividió el cosmos en dos mitades: el mundo supralunar y el mundo sublunar, tratando de representarlas mediante modelos geométricos. En el primero era esencial el papel de las esferas, al tratarse de cuerpos con la forma más perfecta, por su armonía, simetría y uniformidad; en cambio el segundo no era inmutable y estaba sujeto a la corrupción: «las criaturas y cosas nacen, crecen, se desgastan y mueren». De esa manera que, al ser este mundo menos armonioso que el supralunar, los cuatro elementos clásicos: tierra, agua, aire y fuego, tendrían que asociarse a formas menos perfectas que las esferas. Platón introdujo de acuerdo con ello los cuatro siguientes: cubo (tierra), icosaedro (agua), octaedro (aire) y tetraedro (fuego), asimismo postuló un quinto elemento para unificar la geometría de su modelo cósmico. En la Edad Media se le llamó la quinta esencia, aunque en las obras de este (*Epinomis y Timeo*) se le llamó éter (flujo eterno). De esos cinco sólidos, denominados luego poliedros regulares, el dodecaedro fue el más próximo a la esfera, símbolo de la perfección celestial. Este quinto



Los poliedros de Platón en la obra *Ein aigentliche und grundtliche anweysung in die Geometria.* Augustin Hirschvogel. 1543.

poliedro fue usado, según Platón, por Dios para todo el universo, bordando figuras en él. Su simbolismo es evidente: el número 5, que indica los lados que tiene cada cara, es clave en el ocultismo; el 12, que es el número de caras, coincide con el número de signos del zodiaco, con los meses del año y hasta con el número de apóstoles.

Plato's cube and the natural geometry of fragmentation

Gábor Domokos[a,b], Douglas J. Jerolmack[c,d,1], Ferenc Kun[e], and János Török[a,f]

[a]MTA-BME Morphodynamics Research Group, Budapest University of Technology and Economics, 1111 Budapest, Hungary; [b]Department of Mechanics, Materials and Structure, Budapest University of Technology and Economics, 1111 Budapest, Hungary; [c]Department of Earth and Environmental Science, University of Pennsylvania, Philadelphia, PA 19104; [d]Mechanical Engineering and Applied Mechanics, University of Pennsylvania, Philadelphia, PA 19104; [e]Department of Theoretical Physics, University of Debrecen, 4032 Debrecen, Hungary; and [f]Department of Theoretical Physics, Budapest University of Technology and Economics, 1111 Budapest, Hungary

Edited by David A. Weitz, Harvard University, Cambridge, MA, and approved May 27, 2020 (received for review January 17, 2020)

Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.. 2020 Aug 4;117(31):18178-18185

El hecho de que Platón asociara a uno de los cuatro elementos con el hexaedro, obliga a insistir sobre el particular, pues recientemente ha sido publicado (enero de 2020) un artículo en el que se recuerda esa asociación: *Plato´s cube and the natural geometry of fragmentation*; afirmando el geofísico Douglas Jerolmack, uno de los autores, que « lo interesante aquí es que lo hallado en las rocas, o la tierra, es que hay algo más que una idea conceptual que se remonta a Platón, pues resulta que el elemento tierra, al estar formado por cubos, es literalmente el modelo estadístico medio de la tierra real, y eso es realmente impactante». La Tierra como cuerpo celeste despertó el interés de Platón, el cual estudió su configuración, forma y localización espacial, ligándola finalmente al dodecaedro. Esta singular contribución geodésica figuró en diversos pasajes de su obra *Fedón* (o Sobre el alma), un diálogo en el que Fedón de Elis, discípulo de Sócrates, narra las últimas horas de su maestro, siendo interlocutores del mismo Euclides, Critón y los pitagóricos Simmas y Cebes, entre otros. La primera referencia a la Tierra la hizo el propio Sócrates, a propósito de Anaxágoras, al creer que este le solventaría la duda

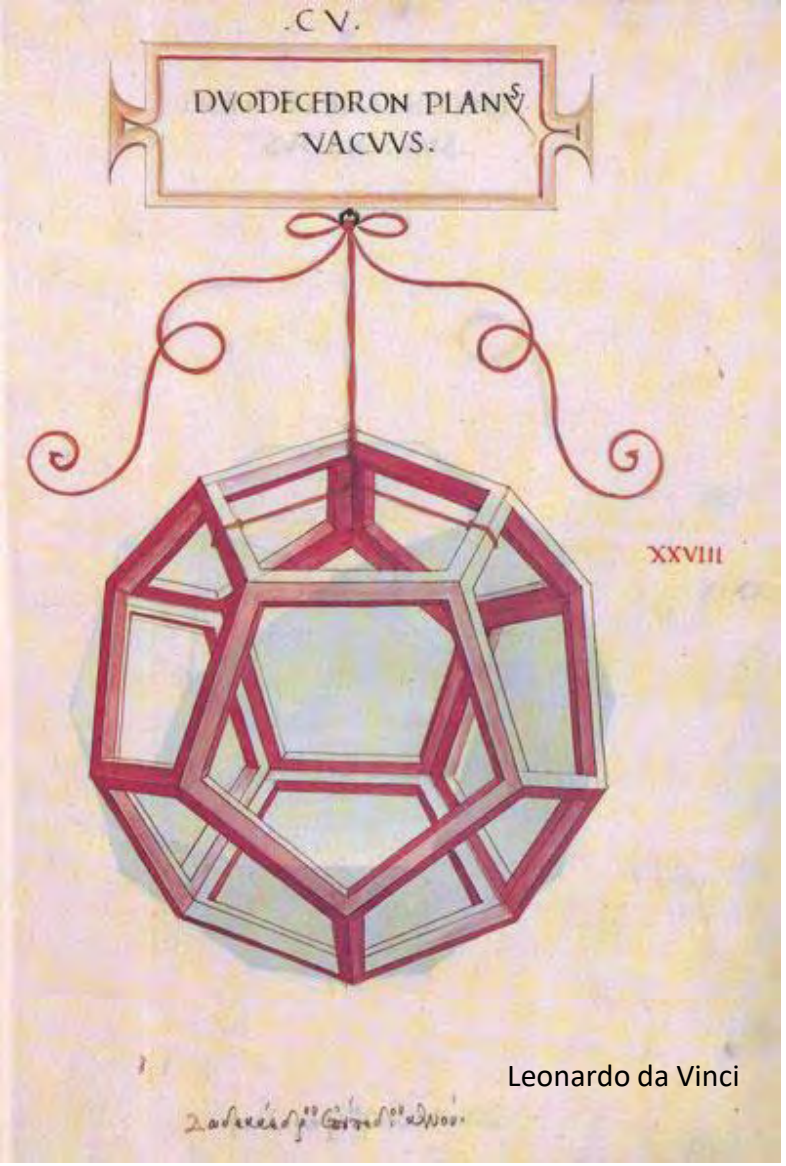
Sócrates sentado en el lecho de su celda, a la derecha aparece un soldado con la copa de cicuta. Grabado de 1776. *British Museum*. Londres

de si era plana o esférica: « pensé que había encontrado en Anaxágoras a un maestro de la causa de los seres de acuerdo con mi deseo, y que primero me haría conocer si la tierra es plana o esférica, y, una vez que lo hubiera hecho, me explicaría a continuación la causa y la necesidad, diciéndome lo que era lo mejor, y también que lo mejor era que fuera de tal forma. Y si dijera que estaba en el centro, me explicaría acto seguido que lo mejor era que estuviera en el centro. Y si me demostraba esto, estaba dispuesto a no echar de menos otra especie de causa. E igualmente estaba dispuesto a informarme sobre el sol, la luna y los demás astros, a propósito de sus velocidades relativas, sus revoluciones y demás cambios, del porqué es mejor que cada uno haga y padezca lo que hace y padece… Y tiene la tierra muchos lugares maravillosos, y no es, ni en su forma ni en su tamaño, tal y como piensan los que están acostumbrados a hablar sobre ella, según me ha convencido alguien».

Al preguntarle Simmias que quería decir con eso, y añadir que él también había oído muchas cosas sobre la Tierra, le respondió Sócrates: «si la tierra está en el centro del cielo y es redonda, no necesita para nada el aire ni ninguna otra necesidad de este tipo para no caer, sino que se basta para sostenerla la propia homogeneidad del cielo consigo mismo en todas sus partes y la igualdad de peso de la propia tierra. Pues un objeto que tiene en todas sus partes igualdad de peso, colocado en medio de algo homogéneo, no podrá inclinarse más o menos en una u otra dirección, sino que quedará inmóvil en la misma posición». Tras haberse referido a la estabilidad de la Tierra, Platón continuó

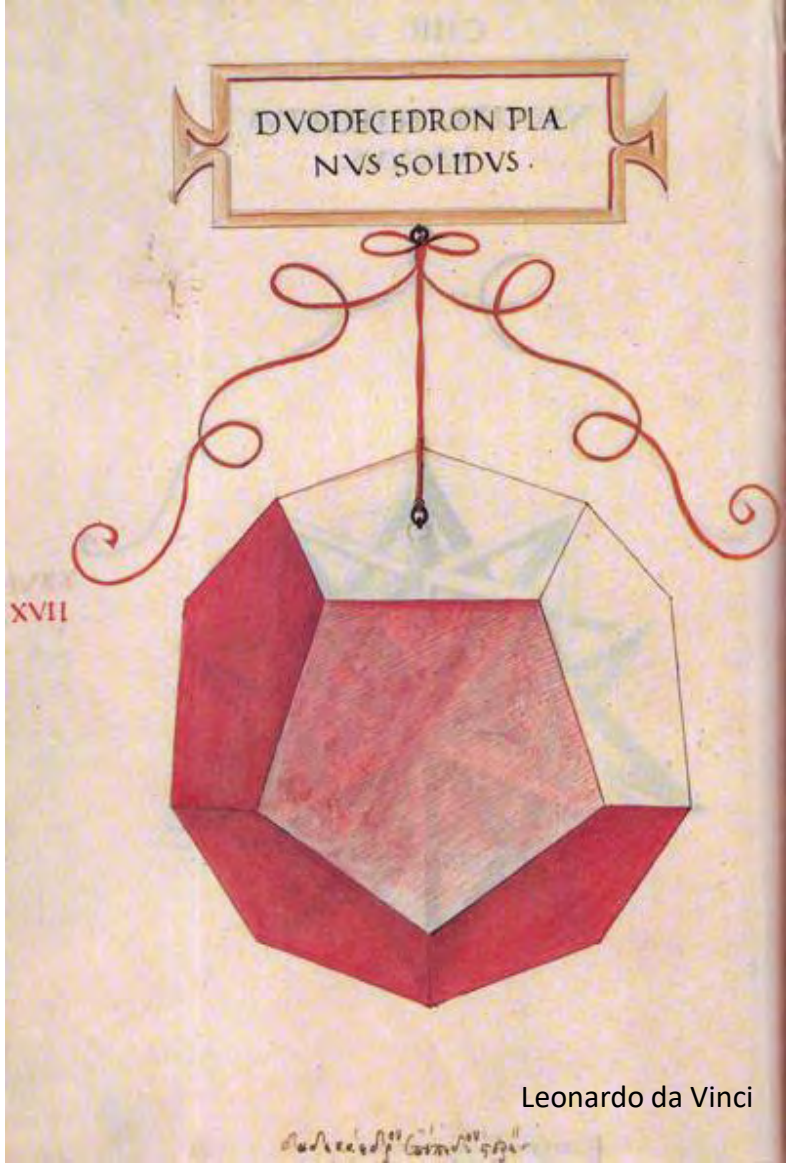
Portada de FEDÓN. Versión latina de Leonardo Bruni (ca. 1405). Florencia

Portada de la traducción al castellano del Fedón de Platón, realizada en el siglo XV, por Pero Díaz de Toledo, a partir de la versión latina de Leonardo Bruni



Leonardo da Vinci

poniendo en boca de Sócrates la descripción de la ecúmene y una referencia al tamaño de la misma: «los que vivimos desde Fáside a las Columnas de Heracles, habitamos en una minúscula porción, agrupados en torno al mar … hay otros muchos hombres en otros sitios que viven en lugares semejantes. Pues hay alrededor de la tierra por todas partes muchas cavidades de muy diferente forma y tamaño, en las que han confluido el agua, la niebla y el aire. En cuanto a la tierra, está situada pura en el cielo puro, en el que se encuentran los astros y al que llaman éter la mayoría de los que suelen hablar de estas cuestiones. De él precisamente son sedimento aquellos elementos que confluyen siempre en las cavidades».



Leonardo da Vinci

Después de otras reflexiones, prosiguió explicándole a Simmias como sería una visión global del planeta, haciendo mención al dodecaedro, aunque no lo mencionara expresamente: «se dice, en primer lugar, que la tierra se presenta a la vista, si alguien la contempla desde arriba, como las pelotas de doce pieles, abigarrada, con franjas de diferentes colores, siendo los que hay aquí y emplean los pintores algo así como muestras de aquellos».

El universo de Platón, formalizado siglos después por Cludio Tolomeo.

En la concepción astronómica de Platón, la esfera diáfana, con su cielo, es protagonista destacada, correspondiendo a cada uno de los planetas; las esferas se insertaban unas en otras, siendo la de las estrellas fijas la más alejada de la Tierra. Tal modelo se mantendría vigente durante más de 2000 años, conservándolo el mismo Copérnico en su sistema heliocéntrico. No obstante, la astronomía platónica se fue revisando a lo largo de la *República*, en el *Timeo* y en el *Epinomis*, aunque descansara siempre en la hipótesis de que el mundo era una creación ordenada. En todos los modelos se mantuvo la esfericidad del universo y la de todos los cuerpos celestes, incluida la Tierra (que ocupaba la posición central), efectuando sus correspondientes revoluciones a distancias variables. En su República, la Luna, que refleja la luz solar, es la más cercana a la Tierra, figurando a continuación Venus, Mercurio, Marte , Júpiter y Saturno. Las velocidades de rotación son idénticas para el Sol, Venus y Mercurio, que se encontraba a parecida distancia de la Tierra. Todos los astros giran en el mismo sentido, salvo Marte, que parece

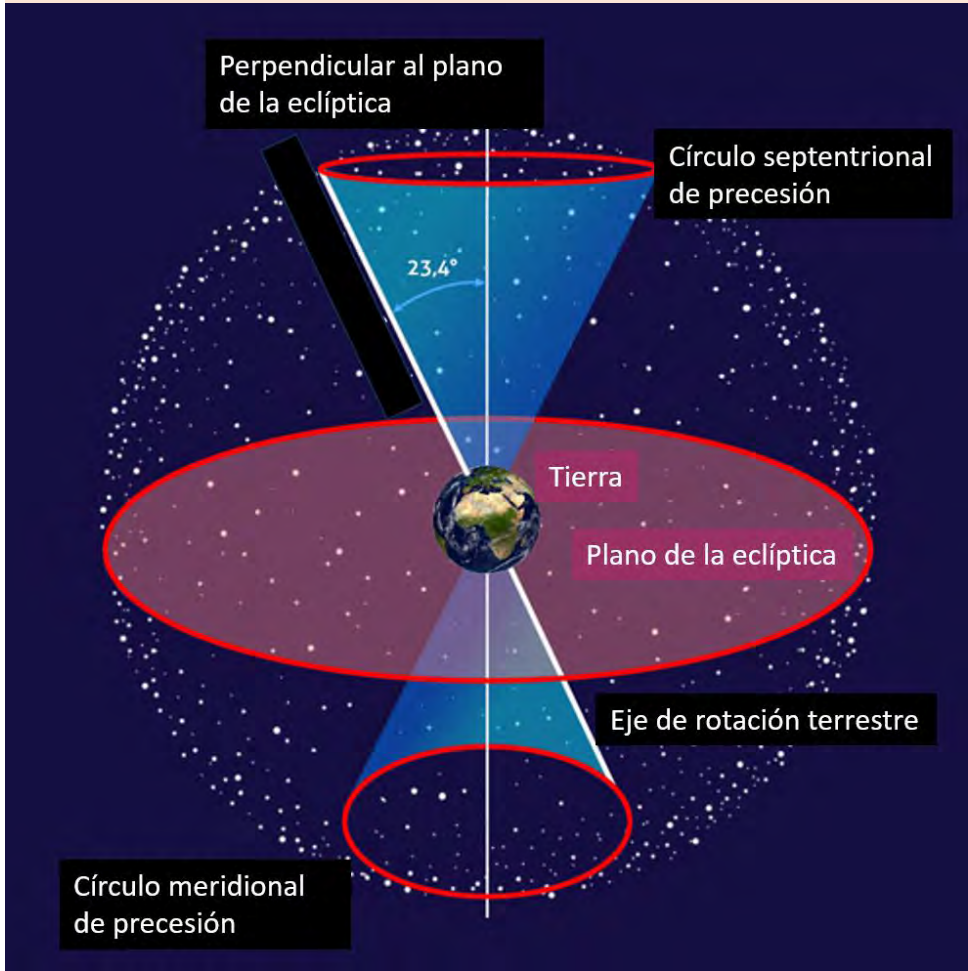
Alegorías de los cuatro elementos: tierra, agua, aire y fuego. Grabado del holandés Hendrick Goltzius. 1586

retrogradar. En cambio, se modificó el orden en el Timeo, apareciendo a partir de la Tierra, la Luna, el Sol, Mercurio y Venus. Las distancias se precisaron y se presentan cuatro esferas concéntricas (las de los cuatro elementos), a partir del centro del Universo, formando así una serie de capas cuyo espesor se calculó en función del radio terrestre: así el de la tierra es unitario, el de la capa de agua es 2, el del aire 5 y el del fuego 10. Consiguientemente, la distancia de la Luna a la Tierra sería igual a 8 (suma de 1, 2 y 5), la de Saturno sería 13 y la de las fijas 18, indicando el radio del mundo. En su obra Las Leyes, no se incorporaron novedades significativas con relación a las descripciones anteriores, salvo la necesidad de justificar las irregularidades aparentes que se venían observando en la revolución de los astros y la insistencia en la idea de que los cuerpos celestes tenían vida propia, una tesis ya

defendida en el Timeo. El Epinomis si transformó la situación previa, destacando la introducción del quinto elemento, el éter, mencionado en su momento; apareciendo así cinco esferas concéntricas, ya que la del éter se situó entre la del aire y la del fuego. De esa forma, todos los astros se alejaron aún más de la Tierra. En esa última obra, afirmaba Platón que los astros son de inmenso tamaño y que el Sol, en particular, es mucho mayor que la Tierra, a pesar de que también la supusiera considerable.

En lo referente al tiempo, procede en este momento recordar la reflexión, a propósito del año perfecto, que hizo Platón en Timeo: «Y así la gente ignora que el tiempo es realmente el deambular de estos cuerpos, tan desconcertantemente numerosos como asombrosamente variados. No obstante, es posible discernir que el número perfecto del tiempo completa el año perfecto en el momento en que las velocidades relativas de los ocho períodos se han completado juntas y, medidas por el círculo de lo Mismo que se mueve uniformemente, han alcanzado su consumación». Platón vino a definir ese tipo de año como el periodo invertido por el Sol, la Luna y los planetas, para completar un ciclo completo, volviendo a sus posiciones originales. En su honor, se le llama año platónico al periodo del movimiento circular del polo norte celeste alrededor del polo norte de la eclíptica, asociado a la precesión de los equinoccios; ya que esta es del orden de 50´´ por año, resulta que para recorrer los 360º se necesitarán alrededor de 26000 años; de ahí que también sea conocido como año mayor.

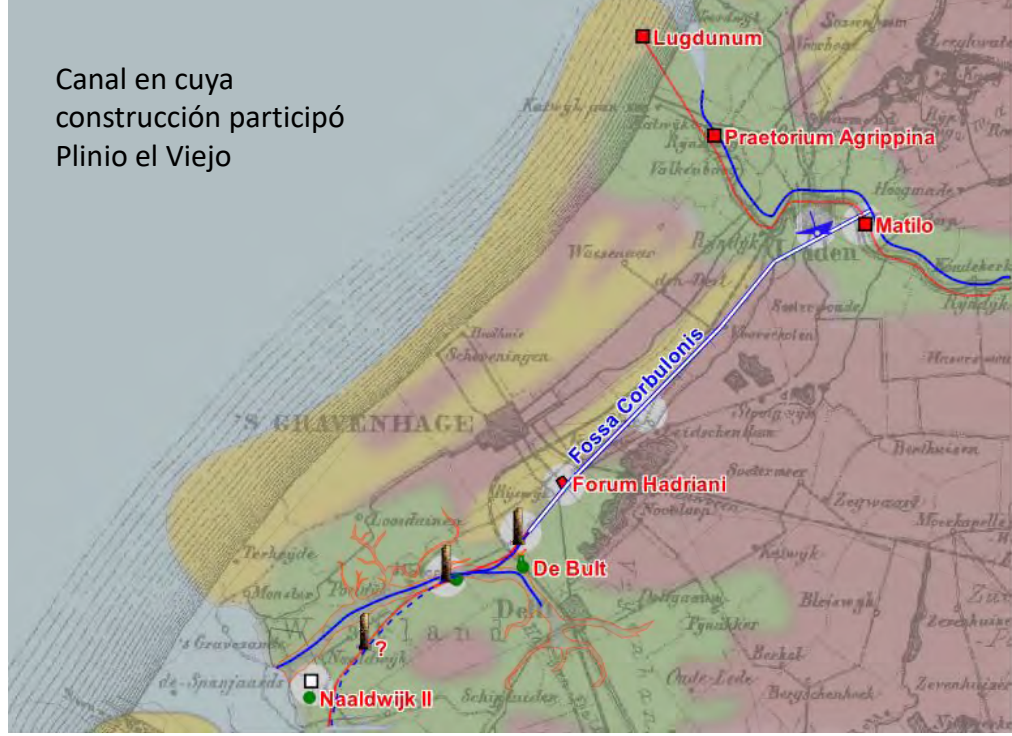
Revolución del polo norte celeste alrededor de su homólogo de la eclíptica, con un periodo próximo a los 26000 años.



Cayo Plinio Segundo (ca. 23-79)

Escritor y militar romano autor de la monumental obra *Historia Natural*, una recopilación del conocimiento de la antigüedad, que fue la única referencia científica en la Edad Media. Cayo Plinio Segundo, más conocido como Plinio el Viejo, nació al parecer en Novum Comum (Como), perteneciendo su familia a la clase social de os caballeros romanos. Pasó su juventud en Roma estudiando retorica, antes de iniciar su carrera ecuestre en la administración imperial; posteriormente fue educado por le poeta y general Publio Pomponio Segundo, el cual era amigo de su padre. Con él debió adquirir la curiosidad científica que le acompañaría el resto de su vida. En Roma estudió también botánica, y bajo la influencia de Séneca, se mostró muy interesado en el estudio de la filosofía, a la vez que ejercía de abogado. En el año 47 participó en la campaña militar de Germania, sirviendo como tribuno, y en la construcción del canal entre el Rin y el Mosa; la cual fue dirigida por el general Gneo Domicio Corbulón, de ahí que fuese identificada como *Fossa Corbulonis*. Estuvo residiendo en la Galia Narbonense, como administrador de las finanzas imperiales y observando fenómenos locales sobre temas muy diversos: los vientos, la hidrografía del Ródano, la flora y la fauna, la producción

agrícola, etc. Plinio visitó Germania por tercera vez como comandante del futuro emperador Tito Flavio. Siendo prefecto de la flota en Miseno fue testigo de la célebre erupción del Vesubio, que azotó Pompeya y causó su propia muerte mientras observaba el fenómeno volcánico al intentar rescatar a unos amigos; el trágico suceso fue relatado por su sobrino Plinio el Joven, en unas cartas que dirigió al historiador Tácito.



La muerte de Plinio el viejo cerca del Vesubio (24-X- 79). Grabado del polaco Daniel Nikolaus Chodowiecki

Bajo el mandato de Nerón, Plinio vivo en Roma y comentó un mapa en el que figuró Armenia y las costas del mar Caspio; asimismo fue testigo de la construcción de la *Domus Aurea*, tras el devastador incendio del año 64. En esa época completó los veinte libros sobre la historia de las guerras germánicas, dedicando también su tiempo a la gramática y a la retórica: de entonces data *Studiosus* y los ocho libros de *Dubii sermonis VIII reliquiae*. Cuando su amigo Vespasiano fue nombrado emperador ocupó el puesto de procurador en la Galia Narbonense y en Hispania, familiarizándose en esta última con su agricultura y minería, durante los dos años en que ejerció el cargo (71 y 72); la información recogida le permitió detallar esa actividad en la *Historia Natural*, debiendo señalar al respecto el informe que hizo sobre el modus operandi en el complejo de las Médulas. A continuación, viajó a África y regresó a Italia, para convertirse en consejero permanente del emperador. Gracias a su sobrino, se conocen todas las obras de su tío,

Destrucción de Pompeya y Herculano en el año 79. John Martin (c.1821)

las cuales relacionó en una de sus cartas, en el orden en que fueron escritas: *El arte de lanzar la jabalina a caballo*; *La Vida de Pomponius Secundus*; *las Guerras de Germania; El hombre de las letras*; *Las dificultades de la Gramática*; los últimos libros de historia que no pudo completar Publio Aufidio Baso (A fine Aufidi Bassi) y la *Historia Natural.*

Imagen de Plinio el Viejo en la letra capital de un manuscrito iluminado de su Historia Natural (1476). *Bodleian Library*. Oxford

De todas ellas solo se conservó su Historia Natural, que acabó publicando precisamente su sobrino, convirtiéndose en la referencia del saber científico y técnico durante muchos años; el autor recordaba que para su redacción había consultado 2000 obras de 500 autores diferentes. Tan concienzudo trabajo fue dedicado por este al emperador Tito: «Determinado he, graciosísimo Emperador, ofrecerte por esta mi atrevida letra los libros de la Historia Natural, obra nueva a las Musas de tus romanos y postrero parto de mi ingenio, porque tu solías

PLINIO EL VIEJO en el interior de la Catedral de Nuestra Señora (Como)

PLINIO EL JOVEN en la fachada de la Catedral de Nuestra Señora (Como)

LIBRO PRIMO DELLA NATVRALE HISTORIA DI C. PLINIO SECONDO TRADOCTA IN LINGVA FIORENTINA PER CHRISTOPHORO LANDINO FIORENTINO AL SERENISSIMO FERDINANDO RE DI NAPOLI.

PREFATIONE

ITERMINAI O GIOCONDISSIMO imperadore con epistola forse di troppa licētia narrarti elibri della historia naturale: opera nouella alle muse romane: nata apresso di me nel lultima genitura. Sia adunq; questa prefatiõe uenissima di te mẽtre che gia inuecchia nel grãdissimo tuo padre: per che usando el uerso di Catullo mio compatriota tu soleui pure stimare qualche chosa le mie ciãcie. Tu conosci questa castrense & militare parola. Et lui chome tu sai mutando le prime syllabe si fece alquanto piu duro che non uolea essere stimato da tuoi familiari & serui. Per questo adunq; ditermai scriuerti: & ãchora per che le nostre chose apparischino & sieno manifeste p questa mia audacia maxime dolẽdoti tu che pel passato non lhabbi facto in una altra nostra procace epistola. Et accio che tutti glhuomini sappino quanto di pari lomperio techo uiua: Tu elquale hai triomphato & se stato censore & sei uolte cõsolo & participe della tribunitia potesta: Se stato prefecto del pretorio: ilche hai facto piu nobile che tutti glaltri magistrati: perche per piacere a tuo padre & allordine equestre lacceptasti: Et tutte queste cose per rispecto della republica hai facto: Et me chome nel contubernio castrense tractasti? Et certo mẽte ha mutato inte lamplitudine & grandezza della tua fortuna: se non che tanto piu possi & uogla giouare: quãto quella e maggiore. Adũq; bẽche a tutti glaltri huomini sia aperta la uia a impetrare ogni chosa da te uenerãdoti: Niente di meno solo laudacia fa che io piu familiarmente te honori. Questa audacia adunq; imputerai a te medesimo: & a te medesimo nel nostro fallo perdonerai. Io mistroppicciai la faccia: & niente di meno nessuno proficto ho facto: perche per unaltra una mapparisti grande: & di lontano mi rimuoui con le facchelline del tuo ingegno. Et certo in nexuno piu ffolgora quella: laquale piu ueramente e decta in te che in altri forza deloquentia. In te e quella facundia che alla tribunitia potesta si conuiene: Con q̃ta risonantia tuoni tu le laude paterne? Cõ quanta (non sanza amore) dimostri quelle di tuo fratello? Quanto se excellente & sublime nella poetica faculta? O gran fecondita danimo. Certo hai trouato inche modo possi imitare tuo fratello. Ma queste chose chi potrebbe sanza paura considerare: hauendo a uenire al giudicio dellongegno tuo: maxime essendo quello dame prouocato? Certamente non sono in simile conditione quegli che publicano alchuno libro: & quegli che ate glintitolano. Impero che se io lo publicassi & non lo intitolassi ate: potresi dire perche leggi tu queste chose o imperadore? lequali sono scripte albasso uulgo & alla turba de glagricultori & de glartefici & a quegli che cõsumano elloro otio negli studii? Perche adunq; ti fa tu giudice: conciosia che quando io scriueuo questa opera: non thaueuo posto nella tauola doue sono descripti egiudici: Et eri di tanta excellentia: che non stimauo che tu ti degnassi scendere si basso? Preterea quando bene non fussi in si excelso grado: nientedimeno gli scripton comunemente fuggono el giudicio de docti. Questo fa Cicerone: elquale e di tanta eloquentia: che puo sottomettere longegno al giuocho della fortuna: & quel

FLORENCIA 1476

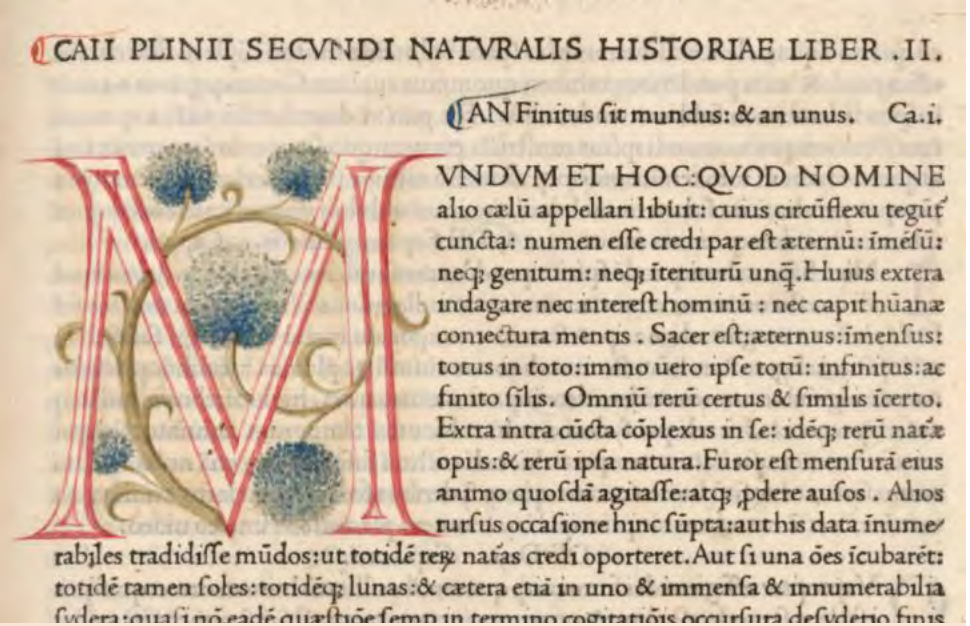
Financiadas por la familia Strozzi

Primera versión en italiano

HISTORIA NATVRALE DI. G. PLINIO. SECONDO. TRADOCTA DI LINGVA LATINA IN FIORENTINA PER CHRISTOPHORO LANDINO FIORENTINO AL SERENISSIMO FERDINANDO RE DI NAPOLI

PROHEMIO

DI NESSVNA CHOSA SERENISSIMO ET INVICtissimo Re Ferdinãdo e piu cupida la mẽte humana: che di poter con sua cognitione & con summa liberta penetrare per tutte le parte di questa uniuersale machina: la quale per ladmirabile suo ornamento da greci cosmos: da latini mondo e nominata. Per che essendo glia nimi nostri per loro natura di tãta celerita: quãta ne mia ne altra lingua exprimere nõ poterebe: Ne essẽdo altro cibo che glipasca & nutrisca: se non la cognitione: Chi nõ uede che nessuna piu grata chosa puo alloro adiuenire: che hauere uera scientia di tutte le cose? Et prima per che siamo nlegati in questa infima & bassa parte del mondo: & facti di quella non solamente habitatori: ma cultori & ornatori: e nõ piccola uolupta (se non si puo cõ gli ochi) al manco cõ la mẽte ricercare prima questo globo della terra: elqual bẽche a comparatione del resto del mondo sia cosa minima: & quasi centro di tutto el tondo. Et bẽche di questa meno assai che la quinta parte sia habitata dagli homini: niẽte di meno e suauissimo cibo a nri sensi: & quasi diuina ambrosia hauere noticia del sito & delle regione della plaga da noi habitata. Et cognoscer qual parte in essa sia piu excelsa & nleuata & a luna & a laltra orsa exposta senza assidui freddi & ghiacci. Et qual parte per lopposito sia a laltro polo piu depressa. Cõche longitudine dalle parte orientali alloccidentali si distenda. Nel qual si amplo spatio cõsideriamo quanto innumerabile & uarie nationi: & con quanta diuersita di lingue dhabito & di costũi sieno. Quãto uarii animali: parte mansueti & obtẽpãti allo ipero del huomo: parte siluaggi & feri. Consideriamo una incredibile discretione dalberi: con inenarrabile copia & uarieta di fructi. Ne e mediocre uolupta oltra alla necessaria utilita: quella che si piglia della cultura della terra. Della naturale pictura: della qual cõ uarie forme & colori essa si ueste. Ne rimane patiente lanimo di natura cupido delle cose infinite di rinchiudersi in si breui termini: ma per restringere lardentissima sete del sapere: passeggia tutto locceano. Ne solamente uuole cognoscere le monstruose bestie di quello: ma dimisurarlo (ilche pare impossibile) al tutto si sforza. Dal quale dapoi con le platoniche ale leuandosi auolo: passa prima per questo a noi contermine & piu grosso aere: & in quello considera tutte le pturbatione che quiui si generano. Vede onde sieno li uenti: onde le pioue. Intendiui una uehemẽtissima & atrocissima battaglia tral fredo & el caldo: tra lhumido & el secco. Cognioscе q̃l forza el baleno: q̃l el tuono: qual la saecta produca. Ne glie incognito per qual cagione nella freda stagione la neue: nella chalda la grandine si congeli. Dapoi lascia si perturbato aere: & anua al lucido & sereno. Trapassa lelemento del fuocho: non sanza summo stupore di miracoli di quello. Et quanto piu innalza magior uelocita prendendo: contempla la natura & propriета del corpo lunare: la uelocita di mercurio: la benignita di uenere. Cognioscе el sole essere ueramẽte el cuore del mondo: & temperatore & gouernatore di tutti li pianetti & moti celesti. Cognioscе lardor di Marte. Cognioscе la salubrita di Gioue. Cognioscе el fredo di Saturno. Cognioscе per che questo sia tardissimo di tutti li altri: & finalmente per che di si uarie & diuerse spere risulti tanto suaue harmonia. Ne contento consistere qui arriua alla porta non del cancro: per la quale di lassu qua giu si rouina: ma a quella del capricorno apissimo uarcho a intrare nel supremo cielo: doue come in propria patria ridocto per lassidua cõtemplatione mai gli occhi torcie da quello

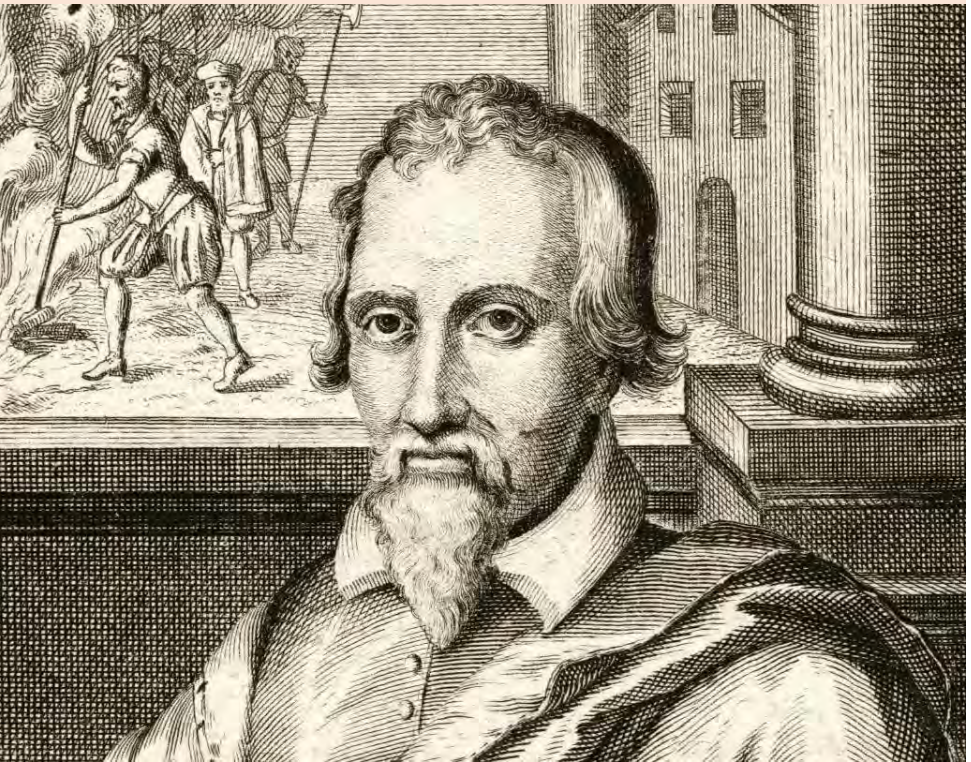


CAII PLINII SECVNDI NATVRALIS HISTORIAE LIBER .II.

AN Finitus ſit mundus: & an unus. Ca.i.

MVNDVM ET HOC:QVOD NOMINE alio cælũ appellari libuit: cuius circũflexu tegũt cuncta: numen eſſe credi par eſt æternũ: imẽſũ: neq; genitum: neq; iterituru unq̃. Huius extera indagare nec intereſt hominũ : nec capit hũanæ coniectura mentis . Sacer eſt:æternus:imenſus: totus in toto:immo uero ipſe totũ: infinitus:ac finito ſilis. Omniũ rerũ certus & ſimilis icerto. Extra intra cũcta cõplexus in ſe: idẽq; rerũ natũ opus:& rerũ ipſa natura. Furor eſt menſurã eius animo quoſdã agitaſſe:atq; ꝓdere auſos . Alios rurſus occaſione hinc ſũpta:aut his data inume rabiles tradidiſſe mũdos:ut totidẽ rerũ natas credi oporteret. Aut ſi una ões icubaret: totidẽ tamen ſoles:totidẽq; lunas:& cætera etiã in uno & immenſa & innumerabilia ſydera:quaſi nõ eadẽ quæ huic ſemp in termino cogitatiõis occurſura deſyderio finis

Francisco Hernández de Toledo

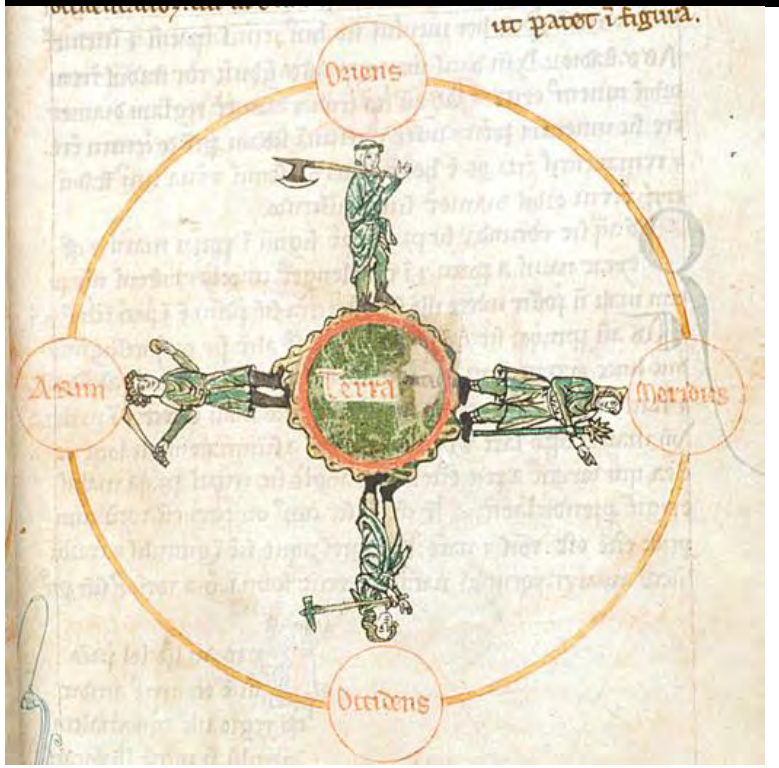


estimar en algo mis nonadas…». La difusión, influencia y alcance de su publicación fue inigualable: más de 200 manuscritos, su primera edición se publicó en Florencia (1476), realizándose después numerosas reediciones (43 antes del año 1536) e innumerables traducciones. Plinio el Viejo dividió su obra en 37 libros, en los que se abordaron las cuestiones siguientes: I) Prólogo, lista de contenidos y bibliografía; II) Astronomía y meteorología; III-VI) Geografía; VII) antropología y psicología; VIII-XI) Zoología; XII-XXIII) Botánica; XXIV-XXXII) Medicina; XXXIII- XXXVII) Mineralogía y metalurgia.

Desde el punto de vista de la geografía astronómica, o matemática, resulta especialmente interesante el libro segundo de esa Historia Natural, cuyo contenido se desarrolló a lo largo de 109 capítulos: 37 dedicados a la astronomía, 25 al aire y el resto a la Tierra. Los comentarios que siguen, se han efectuado consultando la traducción de la Historia natural que hizo Francisco Hernández de Toledo, médico de cámara de Felipe II (al que dedicó su trabajo: A la Sacra Católica y Real Majestad de Felipe II, Rey de España y de las Indias, etc.), contando con la participación de Gerónimo Gómez de la Huerta, que tradujo los libros XXVI al XXXVII y el capítulo LV del libro VII. Sin embargo, la traducción anterior no fue publicada hasta el año 1998, en que fue editada por la Universidad nacional Autónomo de Méjico. Se da la circunstancia de

que figuran en el texto una serie de notas a pie de página oportunas y tan bien documentadas que enriquecen el texto del autor; tales notas figuran bajo el epígrafe *El Intérprete*. En la parte astronómica se trató de los planetas, de las estrellas, de los eclipses, de los movimientos del Sol y la Luna; asimismo se abordó la descripción y casuística de los cometas, en el capítulo XXV, reflejando desde el inicio el pavor con el que fueron contemplados durante tantos siglos: «llaman los griegos cometas y crinitas los latinos a las que son, con su crin sanguínea, horribles y temerosos, y vellosas en la parte alta, con una manera de cabellos». Tocante a la Tierra, señalemos que en el capítulo LXIV se pronunció Plinio sobre su forma: «Es la tierra de figura redonda, en esto todos concuerdan, pues la llamamos comúnmente orbe o redondez». Su pronunciamiento es del todo incompleto, ya que no aportó prueba alguna que lo sustentara; fue el intérprete el que solventó la cuestión: «Con muchas razones pudiéramos confirmar esta verdad, tomadas principalmente de los eclipses de la Luna y sombras de la Tierra, al tiempo que se hacen». En el capítulo siguiente se insiste sobre ese particular, a propósito de la controvertida existencia de los antípodas: « Aquí nace una grande contienda entre los doctos y el vulgo, que les es contrario, sobre si la tierra es habitada por todas partes de los cuales, los unos tengan los pies vueltos contra los de los otros, y todo el cielo sobre la cabeza, y si la tierra está de todas partes en medio del mundo, como centro…más es de maravillar ser la tierra globo, habiendo en ella tantas llanuras de campos y tanta altura de montes. A lo cual responde Dicearco, varón eruditísimo, habiendo medido los montes , por mandato de los reyes

La sombra de la Tierra ocultando parte de la Luna al producirse el eclipse



Antípodas en las dos direcciones cardinales.

exhalando el espiritu dela vida yenlos ahogados conla
go antes retenido.//

DELA FORMA DELA TIERRA CAP LXIIII

ES LA TIERRA de figura redonda yenesto todos concuerdan pues la llamamos communmente orbe o redondes yaunque confesamos encerrarse entre sus cumbres porque nose puede dexar deconceder ser enpartes desygual, yeste globo y su forma no perfecta mente spherica como consta dela altura delos montes yllanuradelos campos pero estal que midiendo los cabos delas lineas con vn circulo resultara forma deperfecta redondes, logual nos fuerça quecreamos lamisma razon de natura puesto caso que no porlas mismas causas quediximos hablando delcielo. Porque laconcauidad deste estriba ensimisma cercando ygual mente portodas partes la tierra pero estasiendo magica yllena se leuanta concierta manera

de tumor yse estiende habia fuera, elcielo midiendo alcanto mas la tierra saledel formando su globo inmenso en forma de orbe la continua volubilidad del cielo queste reuelue al rededor della.//

EL INTERPRETES

Es la tierra de figura redonda) Con muchas razones pudieramos confirmar esta verdad tomadas principalmente delos ecclypses delaluna ysombras dela tierra al tiempo que se hazen, y tendel nascer yponerse delas estrellas alos orientales y occidentales ydela diuersa eleuacion dela estrella Polar yfinal mente delos espacios de los dias ydelas noches mas por queson vulgares ypuedel lector hallarlas doquiera nomedetengo entocarlas.//

SI HAY ANTIPODAS Y DELA REDONDEZA DELAGVA

Cap LXV

LA FORMA DE LA TIERRA en el manuscrito de la Historia Natural de Plinio el Viejo, traducida y escrita por Gerónimo Gómez de la Huerta, médico de Felipe IV (el Rey Planeta).

HISTORIA NATVRAL
DE CAYO PLINIO SEGVNDO.

TRADVCIDA
POR EL LICENCIADO GERONIMO DE HVERTA,
MEDICO Y FAMILIAR DEL SANTO
OFICIO DE LA INQVISICION.

Y AMPLIADA
POR EL MISMO, CON ESCOLIOS Y ANOTACIONES,
en que aclara lo escuro y dudoso, y añade lo no sabido hasta estos tiempos.

DEDICADA
Al Catolico Rey de las Españas y Indias don FILIPE IIII. nuestro señor.

Simula dum lustrat, defecatos reddidit orbes:
Pertutit, illumnat, lus nocet illa fouet.

Año 1624.

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE MUSEO DE CIENCIAS NATURALES BIBLIOTECA J. B.

CON PRIVILEGIO.

En Madrid, Por Luis Sanchez Impressor del Rey N. S.

D. GERONIMO GOMEZ DE HUERTA,
Medico de Felipe IV.
Sabio naturalista y el mejor interp.te de C. Plinio.
Nació en Escalona el año de 1573, y
murió en Madrid el de 1643.

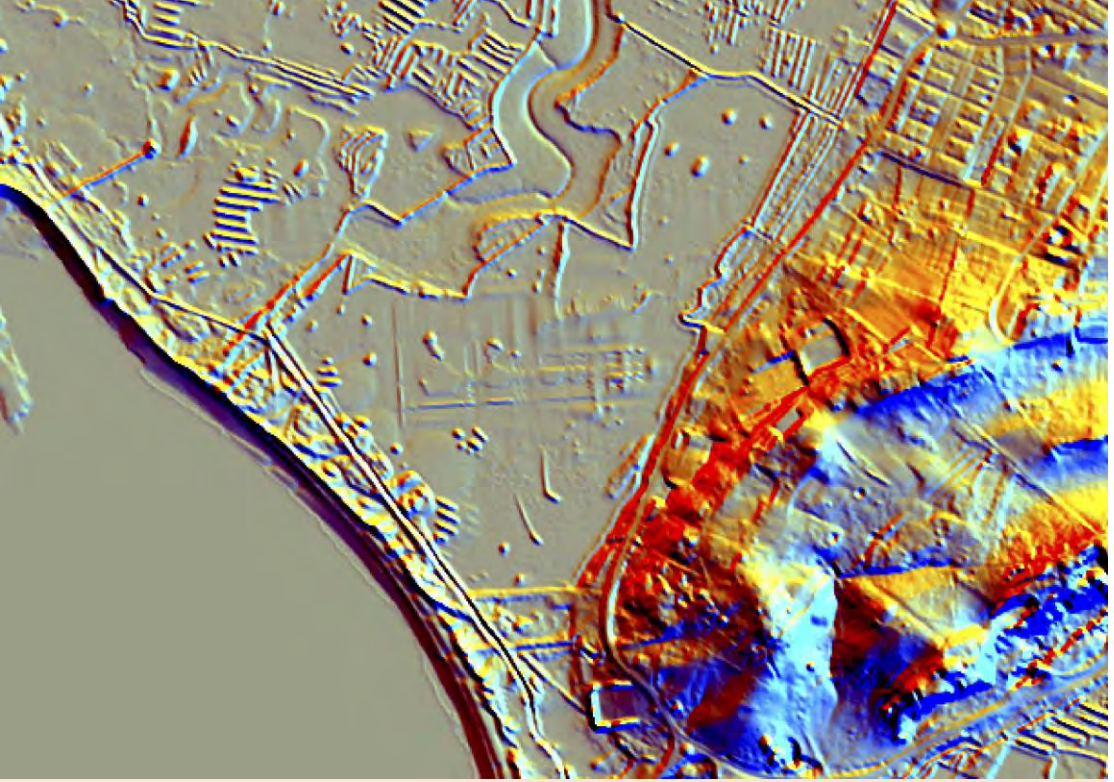
J. Maea lo dibuxó. *M. Brandi lo grabó.*

diciendo que el más alto de ellos, que es Pelión, se levanta a plomo no más que 1250 pasos, y que esta parte es segunda comparada con la redondez del Universo».

Varios son los capítulos que dedicó Plinio a los terremotos, un fenómeno que supuso meteorológico, como ya había hecho Aristóteles siglos atrás, sirva de prueba la definición que da del mismo: «y no es otra cosa temblor en la tierra, sino lo que trueno en la nube, ni acontece de otra manera el abertura que cuando el rayo sale, peleando el aire encerrado en la nube y procurando su libertad». En el capítulo LXXX detalla las épocas del año, y las horas del día, en que se producen con más frecuencia: «tengo yo averiguado que han temblado muchas veces los Alpes y el Apenino, y tiembla más veces la tierra por el otoño y verano, como también se hacen rayos, y por tanto en Francia y Egipto no tiembla, estorbándolo en Egipto el calor del estío y, en Francia la frialdad del invierno. Y más de noche que de día y son los mayores movimientos los que acontecen por la mañana y por la tarde pero los más ordinarios, ya que quiere amanecer. Hacénse los diurnos a mediodía y en la conjunción del Sol y de la Luna, por estar entonces las temperaturas sosegadas, en especial, cuando sucede a las lluvias, calor o, al calor, lluvias». Plinio refirió también algún terremoto histórico, como el que destruyó Lidia en el año 17: «El mayor terremoto que ha habido, entre todos los que duran en la memoria de los hombres, fue el que acaeció en el principado de Tiberio César, porque se hundieron en una noche doce ciudades de Asia», el intérprete completó la información, dando los nombres de las doce ciudades afectadas: Éfeso, Magnesia, Sardes (Sart), Mistene, Aegehiero Cesárea, Filadelfia (Alaqehir), Tmolo, Temnos, Cime, Mirina, Apolonia e Hicarnia.

1 sestercio

Tiberio eximió de impuestos, durante cinco años, a las ciudades asiáticas afectadas por el terremoto.



Posibles ruinas del templo de Hércules, localizadas entre Camposoto (T.M. de San Fernando) y la Isla de Sancti Petri, a una profundidad próxima a los 5 metros

Plinio describió con sumo detalle el fenómeno de las mareas, concretamente en el capítulo XCVII de este libro segundo: *De qué causas procede el flujo y reflujo de la mar y dónde se haga el mismo fuera de la razón*: «Muchas cosas hemos dicho de la naturaleza de las aguas, pero las más admirables de todas son las mareas y de muchas maneras. La causa consiste en el Sol y en la Luna. Crecen dos veces las aguas entre los dos nacimientos de la Luna y otras tantas decrecen, siempre en espacio de 24 horas, hinchándose primero cuando se levanta ella con el cielo y abajándose luego que inclina de la altura del meridiano, hacia el poniente, tornando a crecer cuando camina desde el ocaso por lo bajo del cielo y contrario al mediodía, y siendo sorbidas desde aquí hasta que otra vez nazca, porque entonces tornan a crecer». Recordaba más adelante como las mareas crecían en los equinoccios, sobre todo en el de otoño, siendo menores en el solsticio de invierno y más en el de verano. Termina el capítulo con unas curiosidades que se habían observado en el suroeste peninsular: «En Cádiz la fuente cercana al Templo de Hércules*, encerrada a manera de pozo, se acrecienta y disminuye algunas veces juntamente con el Océano y, otras veces, en tiempos contrarios…En la ribera del Guadalquivir hay un pueblo cuyos pozos, creciendo las mareas, se disminuyen y crecen cuando ellas decrecen y están en los tiempos intermedios inmóviles». Más interesantes son, si cabe, las notas del intérprete (Francisco Hernández), cuya extensión es mayor que la del propio capítulo.

*Santuario que existió en las antiguas Islas Gadeiras, en las aguas cercanas al actual Islote de Sancti Petri

Ánibal visita el templo de Hércules en Cádiz. Estudio de Luis Paret y Alcácar. 1766

EL TEMPLO DE HÉRCULES

Dibujo del arqueólogo Antonio García Bellido

El penúltimo capítulo de este libro trató *de la medida de toda la Tierra en longitud y latitud*. La mayor extensión del mundo habitado, según Plinio, era la existente entre oriente y Occidente, justo desde la India a las columnas de Hércules, con un total de ocho cuentos y 578000 pasos; un resultado que aclaró el intérprete, al suponer que el cuento era un millón de pasos, que la legua española tenía cuatro mil pasos y que la distancia en cuestión ascendía a 2144.5 leguas. El relato de Plinio continuaba así: «Según le parece a Artemidoro y según Isidoro, nueve cuentos y 818000. Añade más Artemidoro: desde Cádiz, en el circuito del cabo de San Vicente, hasta el de Finisterre, por donde se extiende más largamente la frente de Hespaña, 891000». En cambio, la dimensión latitudinal la redujo prácticamente a la mitad, cifrándola en cinco cuentos y 462000 pasos, aunque el intérprete cuestionara ese valor, con la correspondiente nota. Una vez concluida su exposición, añadió Plinio una reflexión digna de ser recordada por su evidente connotación geodésica: «Más Eratóstenes, en sutileza de todas las ciencias el más curioso y, principalmente, en esta cuenta que vio ser aprobada de todos, dijo comprender el circuito de toda la tierra 252 mil estadios lo cual será de las medidas romanas, de 31 cuentos y 5 mil pasos; osadía muy atrevida pero alcanzada con tan subtil computación, que no puede, sin gran vergüenza, dejar de creérsele». Es posible qué al pronunciarse así, recordara haber escrito en el capítulo primero de este mismo libro, a propósito de la medida del mundo: «tengo por desatino* haber querido algunos averiguar su tamaño y osadía escribirlo, y que otros, tomada de aquí ocasión o dándola a éstos, hayan afirmado que hubiera mundos sin cuento».

*El intérprete se limitó a añadir en su nota, con cierto sarcasmo, que uno de ellos fue Eratóstenes.

El pastor Magnes descubriéndola piedra imán, al quedarse su bastón pegado en la roca.

Moneda de oro, con el busto de Alejandro Magno, acuñada en Magnesia (ca. 325-323 a.C.)

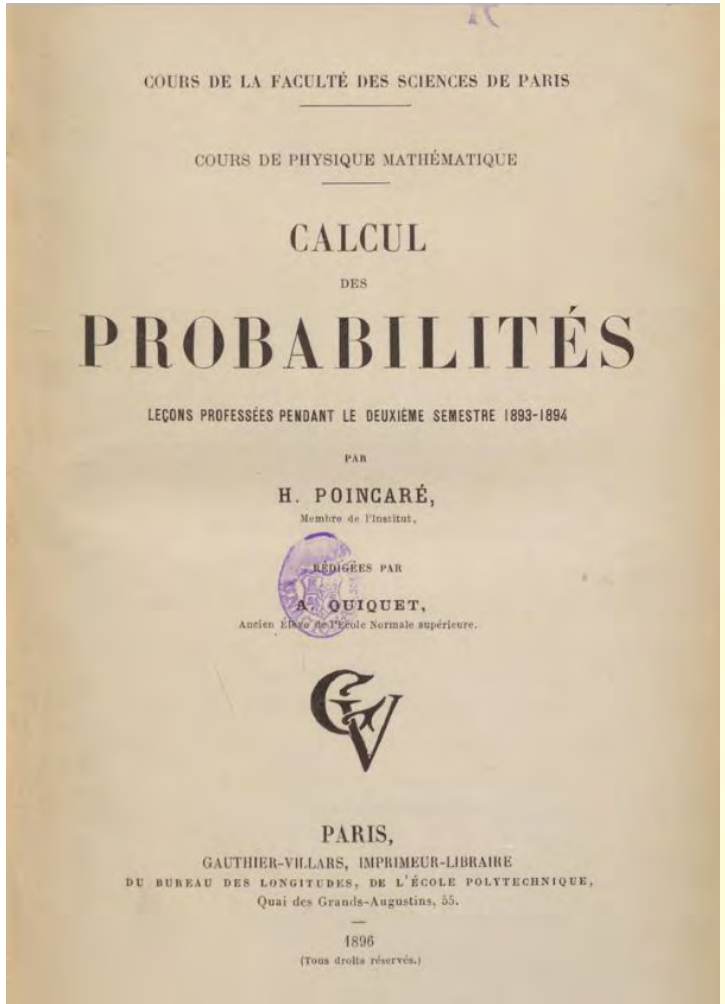
El último comentario que cierra esta reseña de la Historia Natural de Plinio el Viejo, es esencialmente etimológico, ya que expone la relación del magnetismo con Magnesia, una ciudad fundada por los griegos en el extremo sudoeste de la península de Anatolia. Alí se debió encontrar en tiempos pretéritos la piedra de imán (luego llamada magnetita) a que se refirió Plinio en el libro XXXVI (Naturaleza de Piedras y superfluidad de mármoles), concretamente en su capítulo XVI (de las especies que hay de piedra de imán y de sus medicinas). En realidad, apuntaba a que las había de muchas clases y colores, indicando para cada una el lugar en que se podían hallar. Previamente, se había referido a la clásica leyenda que atribuía su primer descubrimiento a un pastor que observó como se le pegaban trozos de piedra a los clavos de sus botas: «Fue llamada magnes por su inventor (como escribe Nicandro) y hallada en el monte Ida. Hallase en muchos lugares, como también en España. Dícese que la halló andando apacentando su ganado, viendo como se asían a ella los clavos del calzado y la punta del cayado o báculo».

Jules Henri Poincaré (1854-1912)

Astrónomo, filósofo, físico, ingeniero de minas y matemático francés universal, que dominó cualquier rama de esa disciplina, un verdadero genio que brilló en el último tercio del siglo XIX y primera decena del XX. Jules Henri Poincaré nació y creció en Nancy, recibiendo una educación esmerada acorde con la selecta formación intelectual de su familia. Cursó sus primeros estudios en el Instituto de su ciudad, que ahora lleva su nombre, destacando en el conocimiento de todas las asignaturas, especialmente en el de las matemáticas, allí preparó su ingreso en la escuela Politécnica (1873), donde se graduó en 1875. Acto seguido se hizo ingeniero de minas y ejerció como tal en Vesoul mientras preparaba su tesis doctoral sobre las ecuaciones diferenciales (*Sur les propriétés des fonctions définies par les équations aux différences partielles*), la cual fue dirigida por Charles Hermite, doctorándose en la Universidad de París en el año 1879. Es posible que fuese durante la preparación de su tesis cuando decidió centra su actividad profesional en la docencia y en la investigación, siendo su primera ocupación la de profesor de análisis matemático en la Universidad de Caen,

enseñando cálculo diferencial e integral durante dos años. Justo después ocupa un puesto análogo en la Universidad de París (1881), encargándose a continuación de varias cátedras: mecánica física y experimental (1884-1886), física matemática y cálculo de probabilidades (1886-1896), astronomía matemática y mecánica celeste (1896-1912), sin abandonar sus responsabilidades en el Cuerpo de Ingenieros de Minas.

Poincaré es considerado como uno de los grandes genios de todos los tiempos, con una capacidad de trabajo fuera de lo normal, que ha contribuido decisivamente al desarrollo del conocimiento de materias tan complejas como las que son propias de la mecánica celeste, la mecánica de fluidos, la teoría especial de la relatividad y la filosofía de la ciencia. Al preparar su tesis doctoral ya había vislumbrado indirectamente la idea que acabaría plasmando años después en las funciones fucsianas (en honor



COURS DE LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

COURS DE PHYSIQUE MATHÉMATIQUE

CALCUL
DES
PROBABILITÉS

LEÇONS PROFESSÉES PENDANT LE DEUXIÈME SEMESTRE 1893-1894

PAR

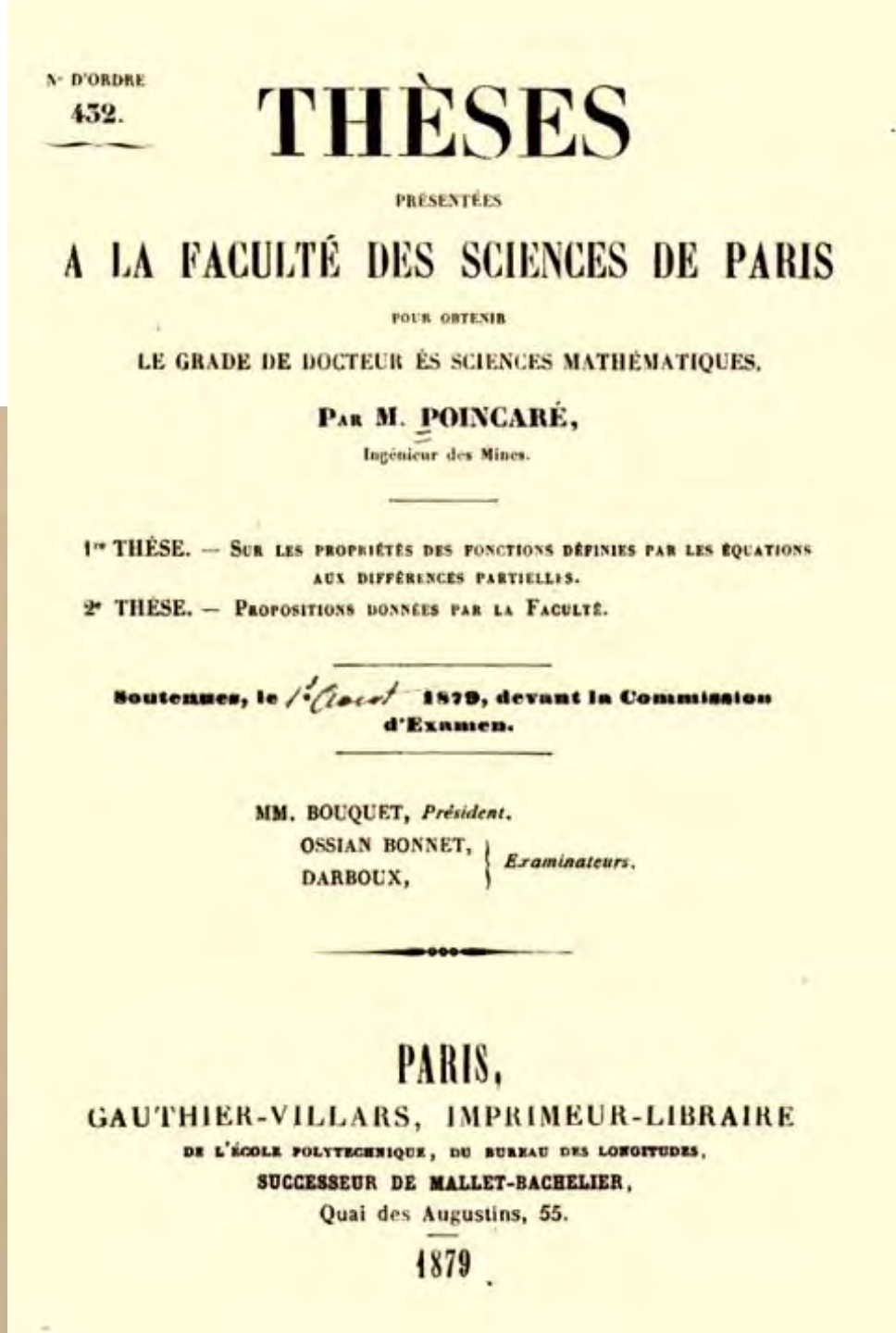
H. POINCARÉ,
Membre de l'Institut.

RÉDIGÉES PAR

A. QUIQUET,
Ancien Élève de l'École Normale supérieure.

PARIS,
GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE
DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
Quai des Grands-Augustins, 55.

1896
(Tous droits réservés.)



N° D'ORDRE
432.

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES MATHÉMATIQUES.

PAR M. POINCARÉ,
Ingénieur des Mines.

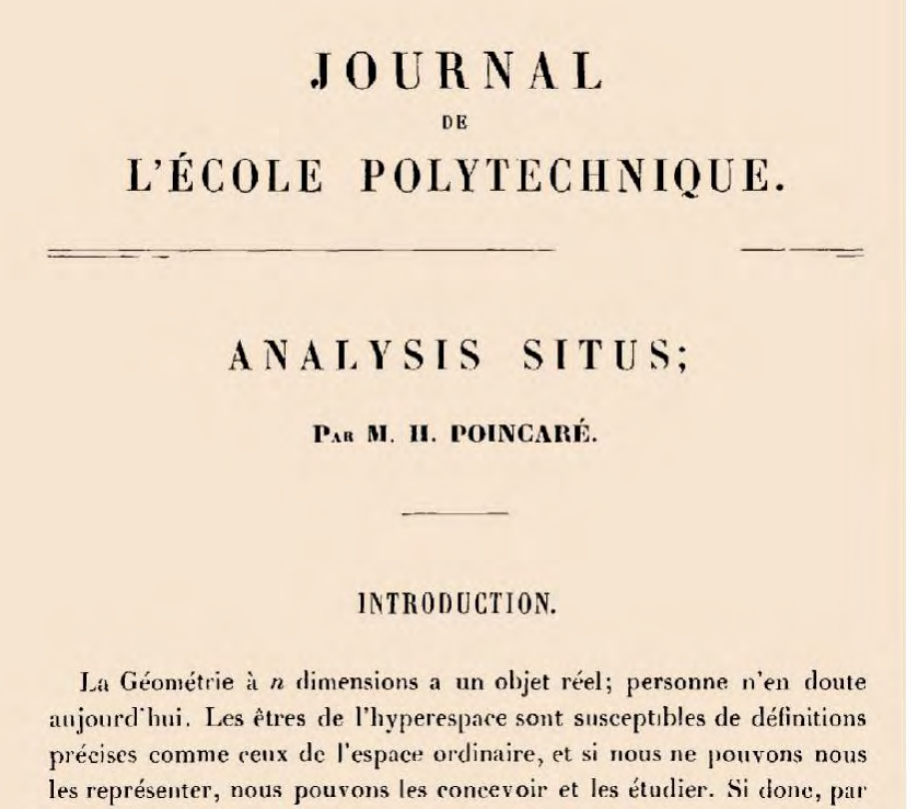
1re THÈSE. — SUR LES PROPRIÉTÉS DES FONCTIONS DÉFINIES PAR LES ÉQUATIONS AUX DIFFÉRENCES PARTIELLES.

2e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues, le 1er Août 1879, devant la Commission d'Examen.

MM. BOUQUET, *Président.*
OSSIAN BONNET,
DARBOUX, } *Examinateurs.*

PARIS,
GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE
DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE, DU BUREAU DES LONGITUDES,
SUCCESSEUR DE MALLET-BACHELIER,
Quai des Augustins, 55.
1879



JOURNAL
DE
L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE.

ANALYSIS SITUS;

PAR M. H. POINCARÉ.

INTRODUCTION.

La Géométrie à *n* dimensions a un objet réel; personne n'en doute aujourd'hui. Les êtres de l'hyperespace sont susceptibles de définitions précises comme ceux de l'espace ordinaire, et si nous ne pouvons nous les représenter, nous pouvons les concevoir et les étudier. Si donc, par

del matemático prusiano Lazarus Inmanuel Fuchs), luego denominadas automórficas. Enel año 1895 se publicó su trabajo Analisys Situs, uno de los pioneros en el ámbito todavía novedoso de la topología, iniciando así una trayectoria que le permitiría ser reconocido como creador de la topología algebraica. También se le atribuye la creación de la teoría de las funciones analíticas de varias variables complejas. En matemáticas aplicadas se interesó por cuestiones relacionadas con la capilaridad, cosmología, elasticidad, electricidad, geodesia, óptica; sin olvidar la teoría del potencial, la cuántica y la de la relatividad. Enel campo tan singular de la mecánica celeste, analizó el llamado problema de los tres cuerpos, junto a las teorías de la luz y de las ondas electromagnéticas.

Una de las más señaladas aportaciones científicas de H. Poicaré fue una extensa memoria en la que estudió la estabilidad del sistema solar: *Sur le problème des trois corps et les équations de la dynamique*, publicada en la revista *Acta Mathematica*. Con dicho trabajo participó en el concurso convocado para otorgar el premio concedido por el Rey de Suecia Oscar II, con ocasión de la celebración de su sexagésimo cumpleaños; la iniciativa fue debida al matemático sueco Magnus Gösta Mittag-Leffler, que había fundado la citada revista en el año 1882. El concurso fue anunciado formalmente en el volumen VII de *Acta Mathematica*(1885), estando prevista la entrega de una medalla

Henri Poincaré y M. Gösta Mittag-Leffler

de oro y 2500 coronas suecas; el jurado encargado de resolverlo estuvo formado por Mittag-Leffler, Karl Weierstrass (Berlín), y por Charles Hermite (París). Poincaré mandó su memoria el 1 de mayo de 1888, al igual que hicieron los otros once concursantes; la decisión del jurado fue clara: otorgar por unanimidad el premio al trabajo presentado por Poincaré. No obstante, el propio autor era consciente de la dificultad de resolver del todo el problema de los tres cuerpos, tal como anunciaba en la introducción de su memoria: «Je suis bien loin d'avoir résolu complètement le problème que j'ai abordé. Je me suis borné à démontrer l'existence de certaines solutions particulières remarquables que j'appelle solutions périodiques, solutions asymptotiques, et solutions doublement asymptotiques. J'ai étudié plus spécialement un cas particulier du probldme des trois corps, celui où l´une des masses est nulle et où le mouvement des deux autres est circulaire; j'ai reconnu que dans ce cas les trois corps repasseront une infinité de fois aussi près que l'on veut de leur position initiale, à moins que les conditions initiales du mouvement ne soient exceptionnelles». El trabajo premiado, como estaba previsto, se publicó en *Acta Mathematica* en julio de 1889 y fue entonces cuando surgió una dificultad importante que debía ser solventada. En efecto, a finales del mes de noviembre de ese mismo año, comprobó Poincaré que había cometido un error que invalidaba la demostración de un teorema y procuró solventarlo de inmediato. Para ello compró todos los ejemplares impresos, por un importe de 3500 coronas, es decir 1000 más de las que recibió como premio. Tras haber corregido el error, envió la nueva memoria revisada el 5 de enero de 1890, para que fuese publicada en el volumen 13 de ese año; esta memoria acabaría convirtiéndose más tarde en una de las obras fundacionales de la teoría del caos.

SUR LE

PROBLÈME DES TROIS CORPS

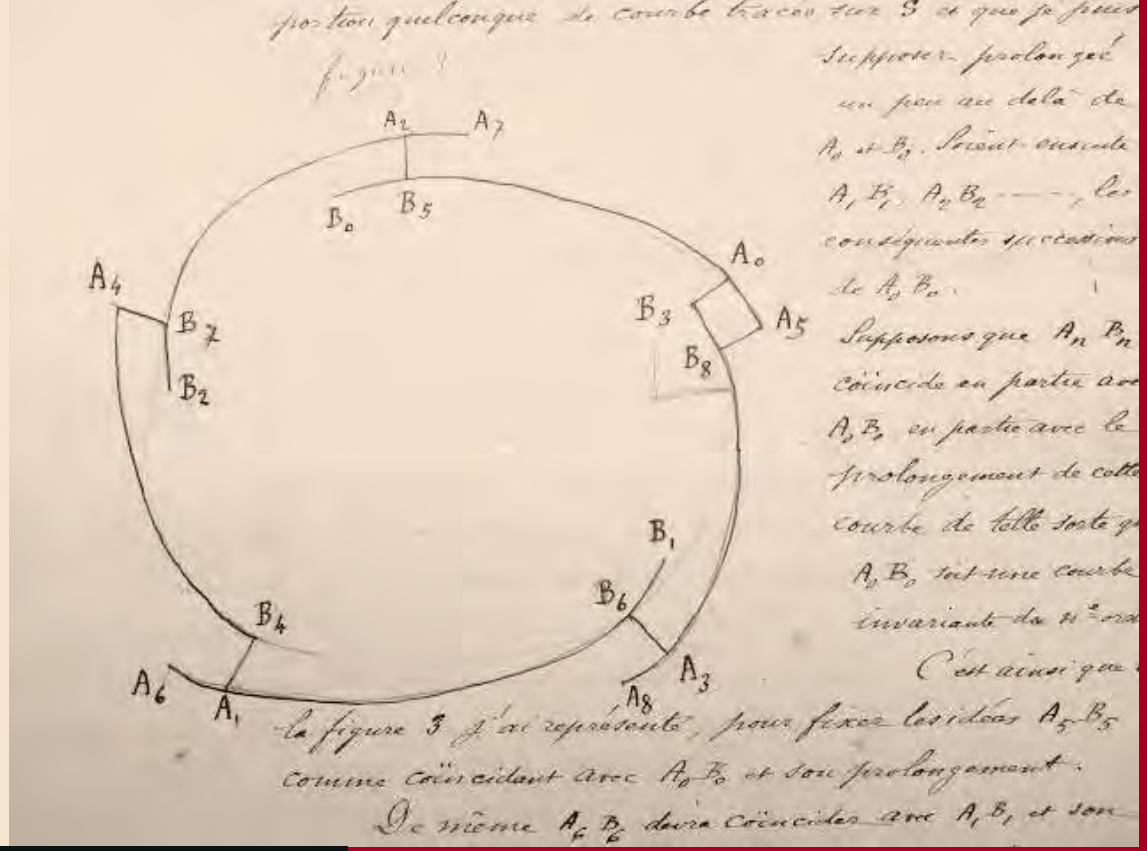
ET LES

ÉQUATIONS DE LA DYNAMIQUE

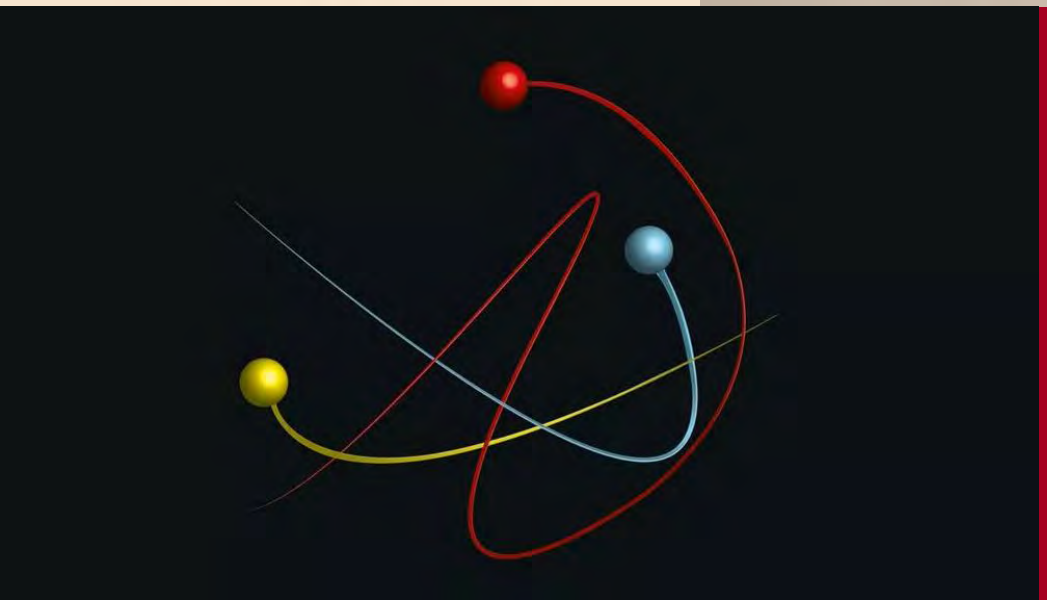
PAR

H. POINCARÉ
À PARIS.

MÉMOIRE COURONNÉ
DU PRIX DE S. M. LE ROI OSCAR II
LE 21 JANVIER 1889.



El problema de los tres cuerpos es una cuestión propia de la mecánica celeste. Se trata de hallar todas las soluciones matemáticas posibles de las ecuaciones diferenciales que describen los movimientos de tres astros, con atracción mutua por efecto de la gravitación.



A partir de la memoria de Poincaré se sabe qué si se dejan evolucionar libremente tres cuerpos másicos, sometidos únicamente a la acción gravitatoria, las trayectorias que describirían serían caóticas: variaciones mínimas en las condiciones iniciales se traducirían al cabo de cierto tiempo en cambios considerables de sus respectivas trayectorias.

A partir de entonces, Poincaré se hizo más popular en Francia, sin dejar de investigar en su cátedra de física matemática, alcanzando tal notoriedad entre sus alumnos que estos decidieron imprimir muchas de las lesiones que impartió. No obstante, su interés por la mecánica celeste se acentuó tras haber recibido el premio que lo encumbró, desarrollando los descubrimientos enunciados en la Memoria del mismo. Fue así como publicó en 1892 y 1893 los dos primeros volúmenes de su gran obra: *Les Méthodes Nouvelles de la Mécanique Céleste*. El matemático Jean Gaston Derboux, autor del elogio histórico de Poincaré, revela qué al quedar vacante, en 1890, la Cátedra de Astronomía Matemática en la Sorbona, era decano de la Facultad de Ciencias y qué junto a otros profesores, pidieron a Poincaré que dejase su cátedra de física matemática para ocupar la de astronomía. Poincaré aceptó gustoso la permuta y en su nuevo puesto ultimó la referida gran obra sobre los nuevos métodos de la mecánica celeste, publicando el tercer volumen en1899. Pero ya había comenzado otro, más práctico: *Leçons de Mécanique Céleste*, en tres volúmenes, que fueron publicados entre 1905 y 1910. Con sus dos obras, Poincaré abrió una nueva era en el estudio de la mecánica celeste, colocándose a un nivel análogo al de d´Alembert, con la Precesión de los Equinoccios, y de Laplace, con su Mecánica Celeste.

Medalla concedida a Poincaré por su Memoria sobre el problema de los tres cuerpos. En el anverso figura su nombre bajo un astrónomo contemplando el cielo, mientras apoya su mano, con un compás, sobre un globo celeste; en el reverso se expone el busto del rey Oscar II

Ecole Polytechnique.

1re Division

1906_1907.

Cours
d'Astronomie Générale

Mr Poincaré.

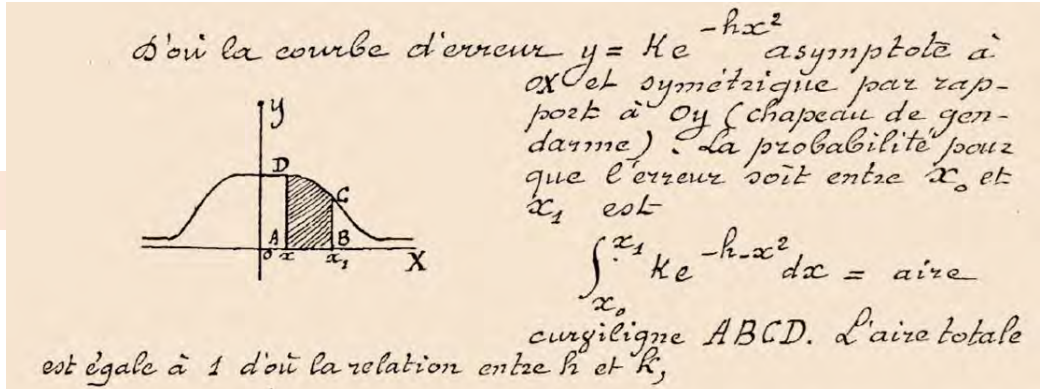
1ère Leçon.

Les coordonnées astronomiques ressortissent au système polaire dans l'espace.
La considération des rayons vecteurs, c'est-à-dire des distances des astres fait l'objet d'un chapitre à part et l'Astronomie sphérique considère seulement les directions, de sorte que les coordonnées des astres se réduisent à deux angles, comme les coordonnées géographiques se réduisent ordinairement à la latitude, ou son complé-

De esa misma época data su obra *Cours d´Astronomie Générale*, libro de texto en la *École Polytechnique*, en el que se distinguía el contenido exigible del opcional. El manuscrito, teórico práctico, constó de las lecciones siguientes: I) Trigonometría esférica, II) Sobre las probabilidades y los errores, III) Método de los mínimos cuadrados, IV) Instrumentos, V) Astronomía esférica, VI) Observaciones meridianas, VII) Refracción atmosférica, principios de la navegación astronómica, VIII) Movimiento aparente del Sol y los planetas, IX) parámetros orbitales, anomalías y gravitación universal, X) Estudio del movimiento planetario, XI) El sistema solar y la paralaje del sol, XII) La luna y los eclipses, XIII) La figura de los cuerpos celestes y el fenómeno de las mareas, XIV) Precesión, nutación y aberración, XV) Astronomía estelar, XVI) Astronomía física, XVII) Cartas geográficas. Tras ese interesante capítulo cartográfico, centrado en las representaciones conformes, se añadió un anexo dedicado a la Mecánica Celeste.

l'
ÉCOLE POLYTECHNIQUE
IP PARIS

Ley de Gauss



d'où la courbe d'erreur $y = Ke^{-hx^2}$ asymptote à ox et symétrique par rapport à oy (chapeau de gendarme). La probabilité pour que l'erreur soit entre x_0 et x_1 est

$$\int_{x_0}^{x_1} Ke^{-h^2x^2}\,dx = \text{aire}$$

curviligne ABCD. L'aire totale est égale à 1 d'où la relation entre h et K,

La producción bibliográfica de H. Poincaré fue tan considerable que se necesitaron once tomos para dar cuenta de la misma. La idea de publicarlos fue de Gaston Darboux, matemático y biógrafo de nuestro protagonista, bajo el auspicio del Ministerio de Instrucción Pública; no obstante, la interrupción impuesta por la primera guerra mundial retrasó la edición hasta que la Academia de Ciencias, de acuerdo con la propuesta unánime de su Sección de Geometría, decidió hacerse cargo de la misma. Los tomos I al IV se dedicaron a los temas de Análisis puro, el V a la Aritmética y al Álgebra, el VI a la geometría, los VII y VIII a la Mecánica celeste y a la Astronomía, los IX y X a la Física matemática y el XI a Memorias diversas que honraron la memoria de H. Poincaré. Aunque sus aportaciones a la geodesia, principalmente a la dinámica, fueron verdaderamente sobresalientes, no han sido divulgadas como sus otras contribuciones científicas. La constatación de su trascendencia se hace patente cuando se consulta cada una de ellas en el tomo VIII ya citado. Su índice fue dividido en los diez apartados que se indican a continuación: I) *Fonction perturbatrice et périodes des intégrales doubles*, II) *Figure de la Terre*, III) *Théorie des Marées*, IV) *Théorie de la Lune*, V) *Théorie des Planètes*, VI) *Quadratures mécaniques*, VII) *Hypothèses cosmogoniques*, VIII) *Articles*, IX) *Rapports*, X) *Conférences*. En el apartado II figuran siete artículos: dos sobre la Precesión, tres sobre la Figura de la Tierra, uno

ŒUVRES

DE

HENRI POINCARÉ

PUBLIÉES

SOUS LES AUSPICES DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES

PAR

LA SECTION DE GÉOMÉTRIE

TOME VIII

PUBLIÉ AVEC LA COLLABORATION

DE

PIERRE SÉMIROT

DIRECTEUR DE L'OBSERVATOIRE DE L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX

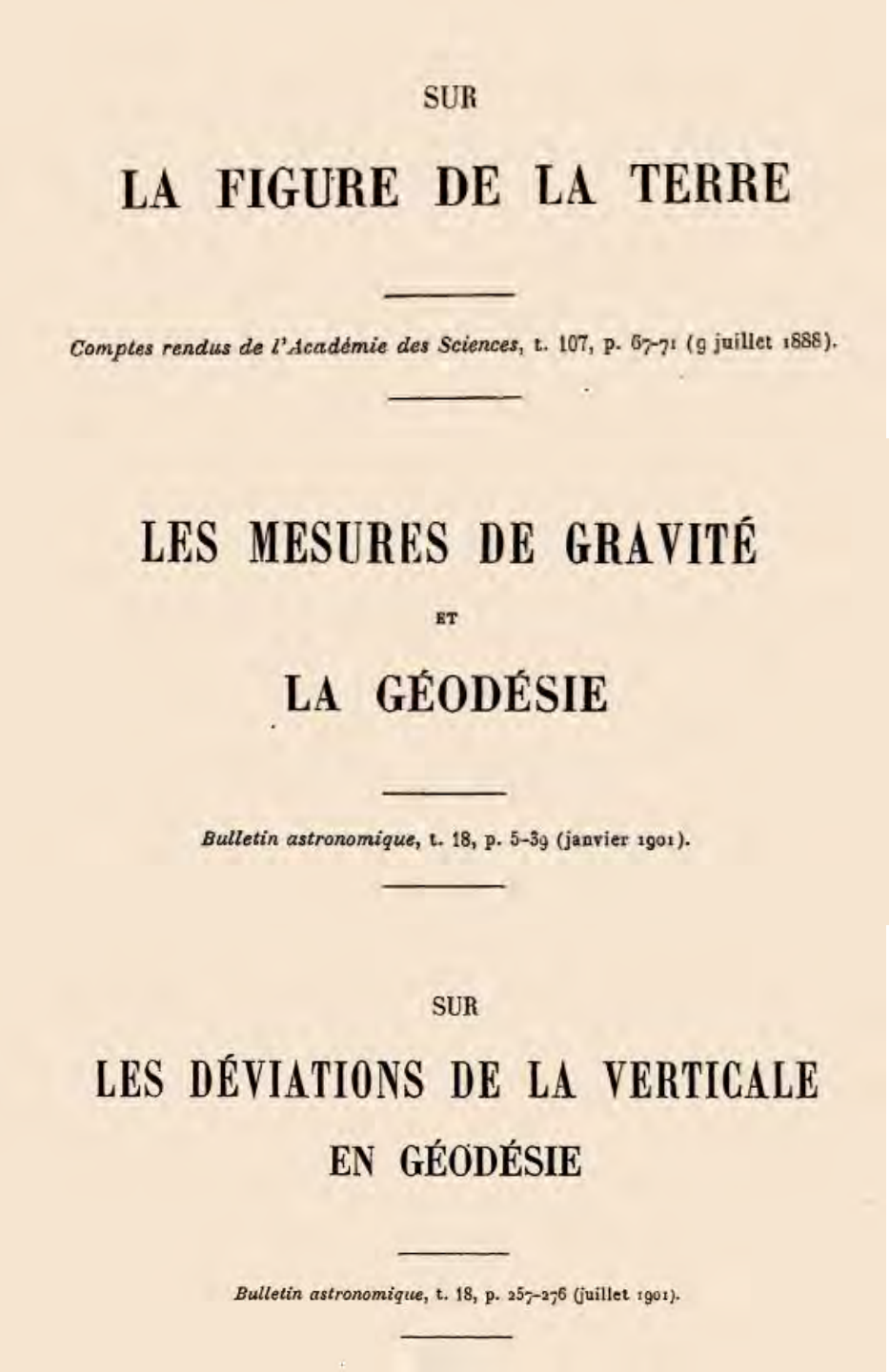
PARIS

GAUTHIER-VILLARS, ÉDITEUR

LIBRAIRE DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE

Quai des Grands-Augustins, 55

1952



SUR

LA FIGURE DE LA TERRE

Comptes rendus de l'Académie des Sciences, t. 107, p. 67-71 (9 juillet 1888).

LES MESURES DE GRAVITÉ

ET

LA GÉODÉSIE

Bulletin astronomique, t. 18, p. 5-39 (janvier 1901).

SUR

LES DÉVIATIONS DE LA VERTICALE

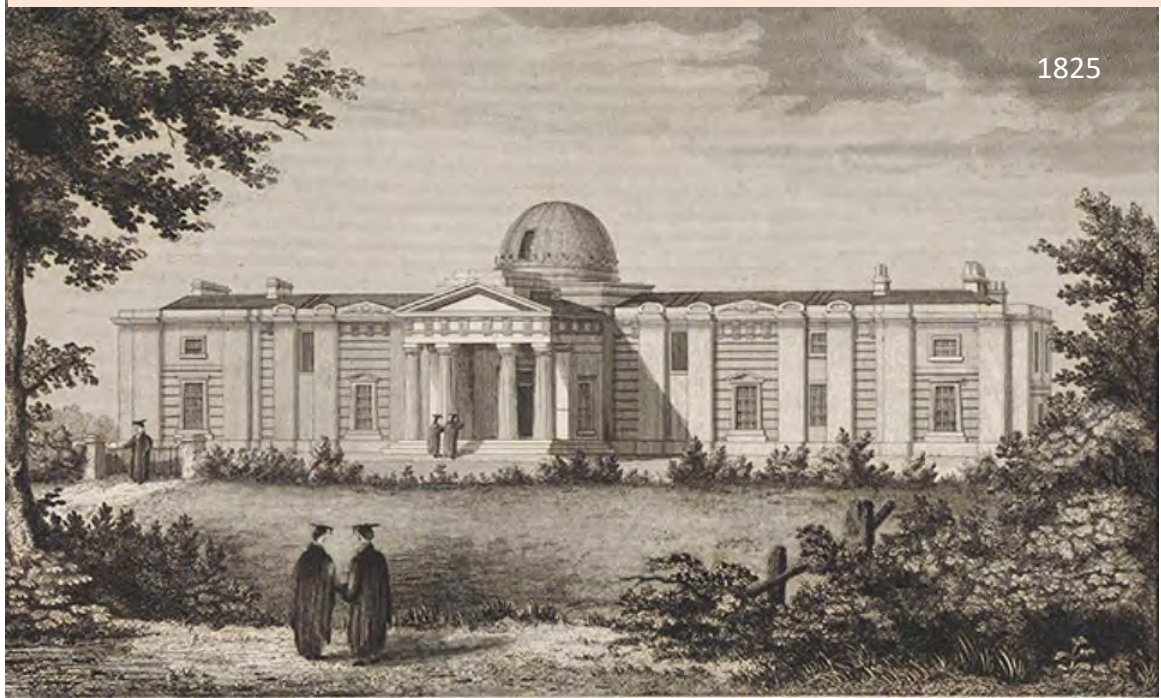
EN GÉODÉSIE

Bulletin astronomique, t. 18, p. 257-276 (juillet 1901).

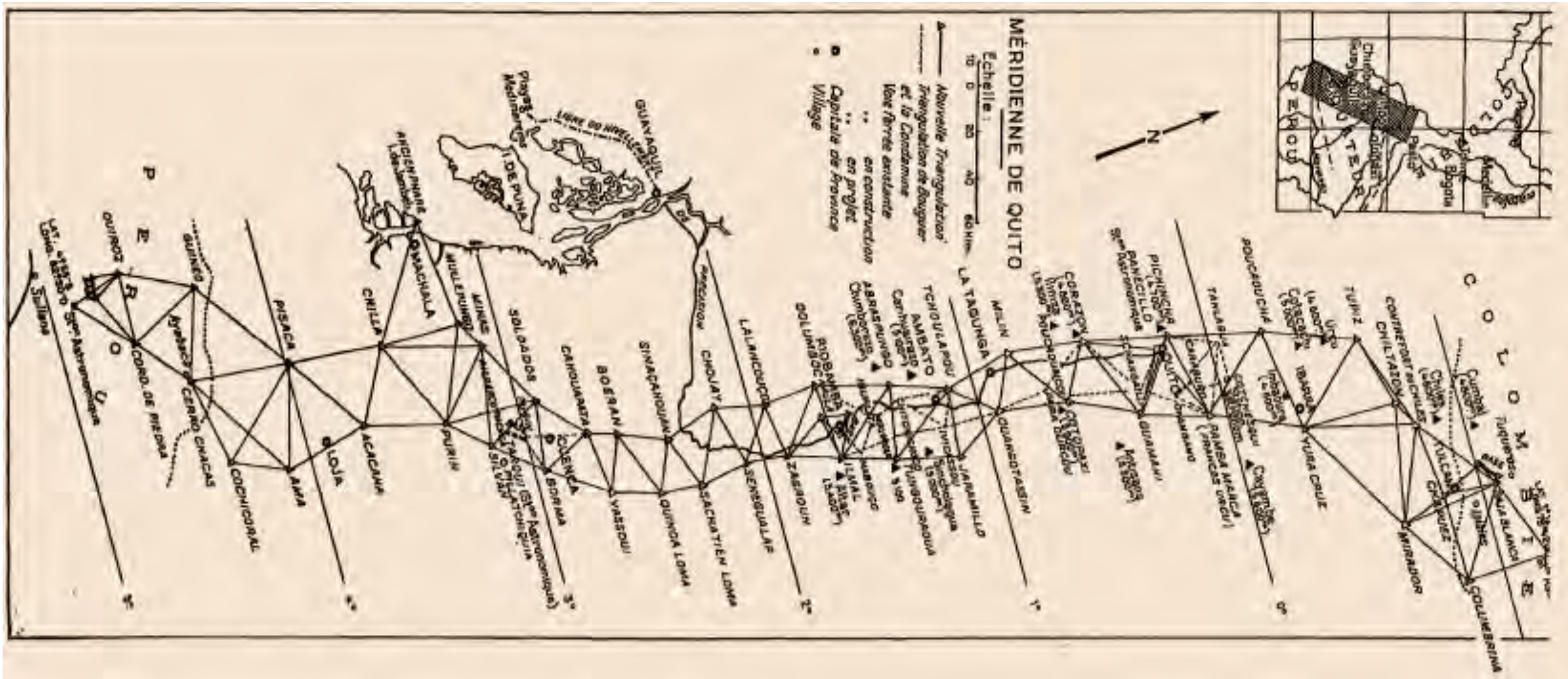
sobre las Medidas de la gravedad y la geodesia, y otro sobre las Desviaciones de la vertical en la geodesia. En el apartado III se exponen cinco artículos: uno sobre el equilibrio de as mareas, dos sobre el equilibrio y los movimientos de las mareas, otro sobre un teorema general relativo a las mareas, y por último otro en alemán (*Anwendung der Theorie des Integralgleichungen auf die Flutbewegung des Meeres*), que podría traducirse como Aplicación de la teoría de las ecuaciones integrales al movimiento de las mareas. En el apartado VIII se incluyó el informe que presentó sobre la XVI Conferencia de la Asociación Geodésica Internacional. En el apartado X se reprodujeron cuatro informes relativos a la segunda expedición al Ecuador, organizada por la Academia de Ciencias francesa: 1) Informe sobre el proyecto de revisión del arco de meridiano de Quito, 2) Informe presentado en nombre de la Comisión encargada del control científico de las observaciones geodésicas del Ecuador, 3) Informe sobre las operaciones geodésicas del Ecuador, 4) Informe sobre las operaciones geodésicas del Ecuador en 1903, 1904 y 1905; también se incluyó un quinto informe sobre astronomía geodésica, en el que se trató de la posible unificación del día astronómico y del civil. Todos esos trabajos fueron publicados en su momento por las revistas especializadas: *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, *Bulletin astronomique* y *Journal de Mathématiques Pures et Appliquées*, fundamentalmente.

Los trabajos de Poincaré que figuran en los apartados II y III, del tomo VIII, pueden ser considerados objeto de la Geodesia superior, a la que Gauss llamó *Höheren Geodiasie*, de modo que para su cabal comprensión es imprescindible el concurso de las matemáticas de nivel análogo; en cambio, no presenta dificultad alguna la lectura de los expuestos en el resto de apartados. El informe sobre la Conferencia celebrada por la Asociación Geodésica Internacional, celebrada en Londres y Cambridge durante los días 21 al 29 de septiembre de 1909, fue publicada también en el *Annuaire du Bureau des Longitudes* (A1-A9. 1911). Tras una breve introducción, en la que comentó que todos los asistentes a la Conferencia visitaron el Observatorio de Cambridge, manifestó: «Au lieu donc de traiter par ordre et en détail toutes les questions qui ont été agitées dans nos séances, je crois plus profitable d'insister sur quelques points qui ont parliculièrement attiré l´attention des délégués et qui présentent quelque cartère de nouveauté». Seguidamente desarrolló las cuestiones siguientes: Variación de las latitudes, Mareas de la corteza terrestre, Medida de la gravedad en el mar, balanza de Torsión, la Isostasia, Nuevo valor del aplastamiento, Misión del Ecuador, Arco del Spitzbeg, Arco africano, Telegrafía sin hilos.

Observatorio Astronómico de Cambridge, adscrito a su Universidad, fue inaugurado en 1823. En la actualidad es parte de su Instituto de Astronomía



La excelente reputación de H. Poicaré hizo que la Academia de Ciencias le encargase hacer público el dictamen de la Comisión que examinó el proyecto de volver a medir el arco de meridiano en América central. En la introducción del informe recordó como el desarrollo experimentado por la geodesia en los últimos años, había evidenciado la conveniencia de repetir las observaciones realizadas años atrás, tanto en Lapona como en Perú; gracias a las cuales se comprobó que el mejor modelo matemático para la forma de la tierra era el elipsoide de revolución con aplastamiento polar. Una vez que se consideró factible el proyecto, sea decidió efectuar el reconocimiento previo del



territorio, una tarea que le fue encomendada a los Capitanes Maurain y Lacombe del Servicio Geográfico del Ejército; los cuales partieron de Burdeos el 26 de mayo de 1899 y llegaron a Quito el 13 de julio. En treinta días llegaron al Cerro de Pasto en Colombia, fijando la posición aproximada de diez nuevos vértices geodésicos, una estación astronómica y una base. De inmediato exploraron el sur de Quito, proyectando dos nuevas bases, una de ellas en Perú, y eligieron quince vértices nuevos. De esa forma se podría prolongar el antiguo arco en los dos sentidos: 1º hacia el norte y 2º hacia el sur; concluidos sus trabajos, el 25 de noviembre zarparon de Guayaquil rumbo a Francia.

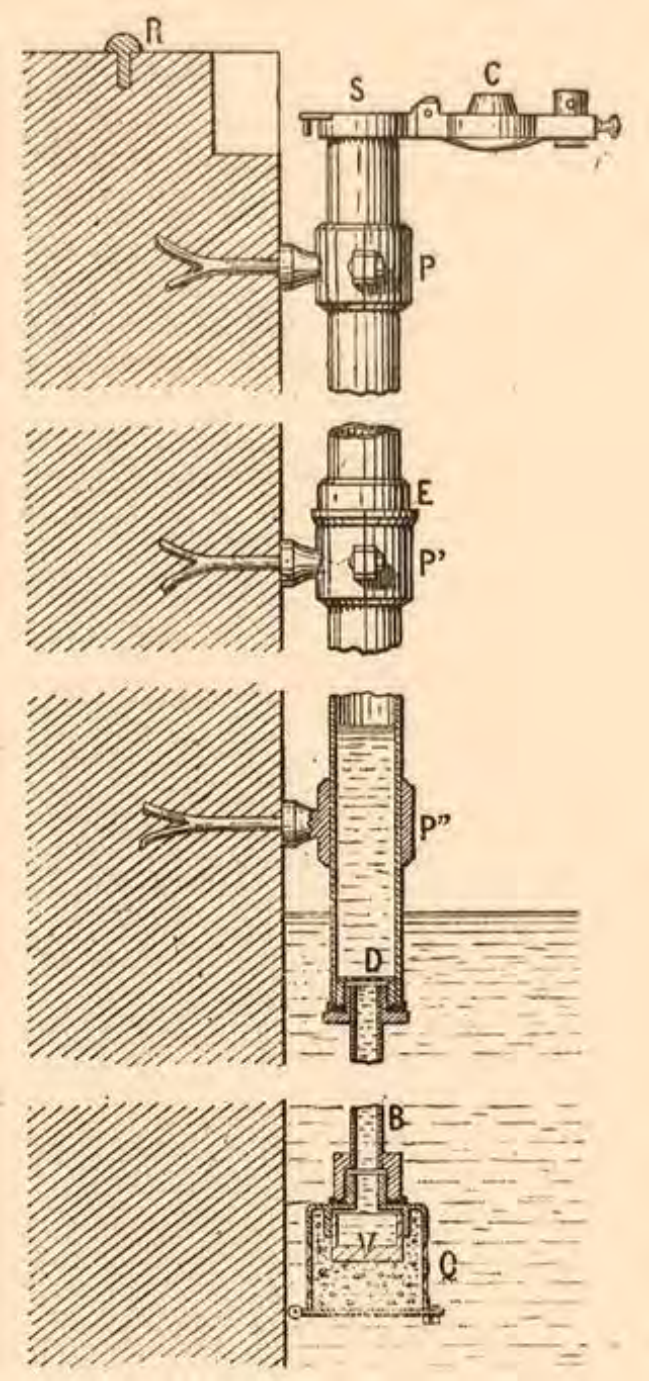
General de Brigada Jean Antonin Léon Bassot

La información gráfica proporcionada por los dos expedicionarios fue determinante para asegurar la viabilidad del proyecto: los alrededores de cada vértice y de cada base se hizo un levantamiento topográfico expedito, acompañando de vueltas de horizonte. Una vez recibida dicha información el ministro de Instrucción Pública solicitó a la Academia que se pronunciase al respecto, respondiéndole esta positivamente por el indudable interés científico de la operación; opinión que compartían el Bureau des Longitudes y la Asociación Geodésica Internacional. Los operadores responsables serían los oficiales del Servicio Geográfico del Ejército, una decisión acorde con el hecho de su director, el General Bassot, fuese miembro de la repetida Academia; encargándose esta del control científico de la expedición, contemplándose la posibilidad de que este se trasladase a Quito en caso de que se estimara necesario. Poincaré hizo a continuación un examen detallado del anteproyecto, analizando los siguientes aspectos: Medida de bases, Medida de ángulos, Astronomía fundamental, Longitudes, Astronomía secundaria, Nivelaciones, Observaciones pendulares, Observaciones magnéticas,

Observaciones geológicas y topográficas, Examen del presupuesto. Hubo otras dos cuestiones relevantes a las que también se refirió por separado Poincaré, a saber: La extensión del arco y La elevación del geoide.

Se medirían tres bases de 8500 m aproximadamente, una principal en el centro del arco, cerca de Riobamba, con una latitud de 1º.5 y una altitud de 2500 m; así como otras de comprobación en los extremos del arco: una al norte, cerca de Cumbal, en Colombia, y otra al sur en Perú, entre Quiroz y Sullana. En cuanto al instrumento de medida, se decidió empelar la misma regla bimetálica usada en el meridiano de Francia. La configuración montañosa del territorio hizo que se diseñaran dos redes triangulares, una sobre la cadena occidental, situando los vértices en sus cumbres o en los flancos, y otra sobre la cadena oriental. Se pensaban proyectar 52 vértices, de los que 28 coincidirían con los de la primera expedición comandada por l. Godin. Su altitud media sería del orden de 4000 m, con lados del orden de 30 o 40 km. Dada la dificultad de monumentalizar los vértices se optó por el uso de heliostatos. Tanto las dos coordenadas geográficas como el acimut se obtendrían en tres estaciones astronómicas fundamentales. La primera se situaría en Quito, hacia la mitad del arco, 1º.5 al norte de la base principal, localizándose las otras dos cerca de las bases extremas. Mientras que duren las observaciones geodésicas, dirigirá el Observatorio de Quito el astrónomo Gonnessiat, desplazado a tal efecto desde el Observatorio de Lyon. Mientras que los oficiales estén operando en las estaciones

Observatorio Astronómico de Quito. Se ha superpuesto una fotografía del astrónomo François Gonnessiat, director provisional durante la expedición francesa



Esquema del instrumento de Lallemand

extremas, hará este Director observaciones simultaneas en Quito, puesto que la simultaneidad es indispensable para el cálculo de la diferencia de longitudes y también, en menor medida, para el de las latitudes. La diferencia de longitudes entre Quito y las otras dos estaciones principales, y entre quito y Guayaquil se determinarían telegráficamente. Además de dichas estaciones se contaría con seis secundarias, en las que se obtendrán las latitudes diferenciales y los acimutes secundarios; la separación entre ellas será próxima al grado. Para hallar las altitudes se efectuarán nivelaciones, tanto geométricas como trigonométricas; una operación fundamental para poder reducir las medidas de las bases al nivel del mar. La altitud de la base central se obtendrá mediante una nivelación geométrica a lo largo de la línea férrea que se está construyendo entre Guayaquil y Quito. La determinación del nivel del mar se logrará instalando un mareógrafo (*médimarémètre* de Charles Lallemand) en Playas, en la costa del Pacífico, a unos 70 km de Guayaquil; instrumento que se unirá a la base central mediante una línea de nivelación con un desarrollo próximo a los 280 km. La unión con el mar de las bases extremas se logrará por la vía de la nivelación trigonométrica, usando el método de observaciones recíprocas y simultáneas, para obviar la refracción atmosférica, las altitudes de los vértices de la triangulación también se obtendrán a partir de la medida, en cada uno de ellos, de las distancias cenitales correspondientes.

Poincaré concedió una importancia capital a las medidas gravimétricas, no solo por ser complemento imprescindible de las operaciones geodésicas, sino también por el

hecho de que, al efectuarse en una zona con una altitud tan considerable, podrían producirse atracciones suplementarias capaces de producir anomalías de la gravedad y una elevación local del geoide; un fenómeno que unido a las desviaciones de la vertical en los extremos del arco, podrían afectar sustancialmente al resultado. El proyecto contemplaba siete u ocho medidas de la gravedad, dispuestas a lo largo de un perfil, qué partiendo de la costa de Guayaquil, pasara por la base del Chimborazo, Quito y llegase hasta la ladera oriental del macizo Cotopaxi-Antisana. No obstante, convendría también realizar otras a todo lo largo de la cadena triangular, para comprobar como varían las anomalías de la gravedad entre las dos bases extremas. Todas las medidas se efectuarían con el péndulo relativo del Coronel G.E. Defforges. Para corregir las latitudes observadas a causa de las desviaciones de la vertical, se tendría

que calcular la atracción local ejercida por los macizos montañosos más cercanos a la estación astronómica, y por consiguiente efectuar el levantamiento topográfico de los mismos, a una escala adecuada. Aunque el magnetismo terrestre tenga menor relación con el cometido específico de la misión geodésica, se aprovecharía tal circunstancia para medir los tres parámetros fundamentales: declinación, inclinación, y componente horizontal del campo, al menos en las nueve estaciones astronómicas; el director de las mismas sería Théodule Moureux. Si bien el capítulo del presupuesto no era, en realidad, competencia de la Academia de Ciencias, Poincaré lo vio ajustado y añadió: «Enfin, tandis que la Mission principale partira au mois de février ou de mars prochain en vue d'une campagne de

quatre ans, deux officiers partiront six mois plus tôt, en septembre 1900, afin de préparer les voies et d'acheter les animaux destinés aux transports. II est évident que cette disposition produira en définitive une économie notable». Más adelante recordó que el gobierno francés le había sugerido a la Academia la posibilidad de disminuir la amplitud del arco en dos grados, pasando de 6º.5 a 4.5º, a fin de reducir el importe del presupuesto, siempre que ello no supusiera inconveniente científico. La Academia se pronunció negativamente, argumentando que la exactitud de la operación geodésica prevista estaba directamente ligada a dicha amplitud y que la del arco propuesto era menor que la de todos los otros, con los que se debería comparar para determinar el tamaño de la Tierra con mayor certidumbre. Poincaré fue muy concreto: «A ce compte, en réduissant l´arc de 6º a 4º.5, on réduirait d´un Quart sa valeur scièntifique; mais, en réalité, ces sortes d´appré ciations ne peuvent se traduire par des chiffres».

Monumento a las Misiones geodésicas francesas en el Parque de la Alameda, junto al Observatorio de Quito. Fue financiado por los gobiernos de Ecuador, España y Francia, y se decidió levantarlo para conmemorar los resultados obtenidos por la segunda de ellas, los cuales comenzaron a ser publicados en el año 1910.

La última cuestión abordada por Poincaré en este informe se refirió a la elevación esperada del geoide por la atracción del macizo andino, con una altitud media del orden de los 4000 m; aunque las máximas del

CHIMBORAZO

COTOPAXI

CAYAMBE

ANTISANA

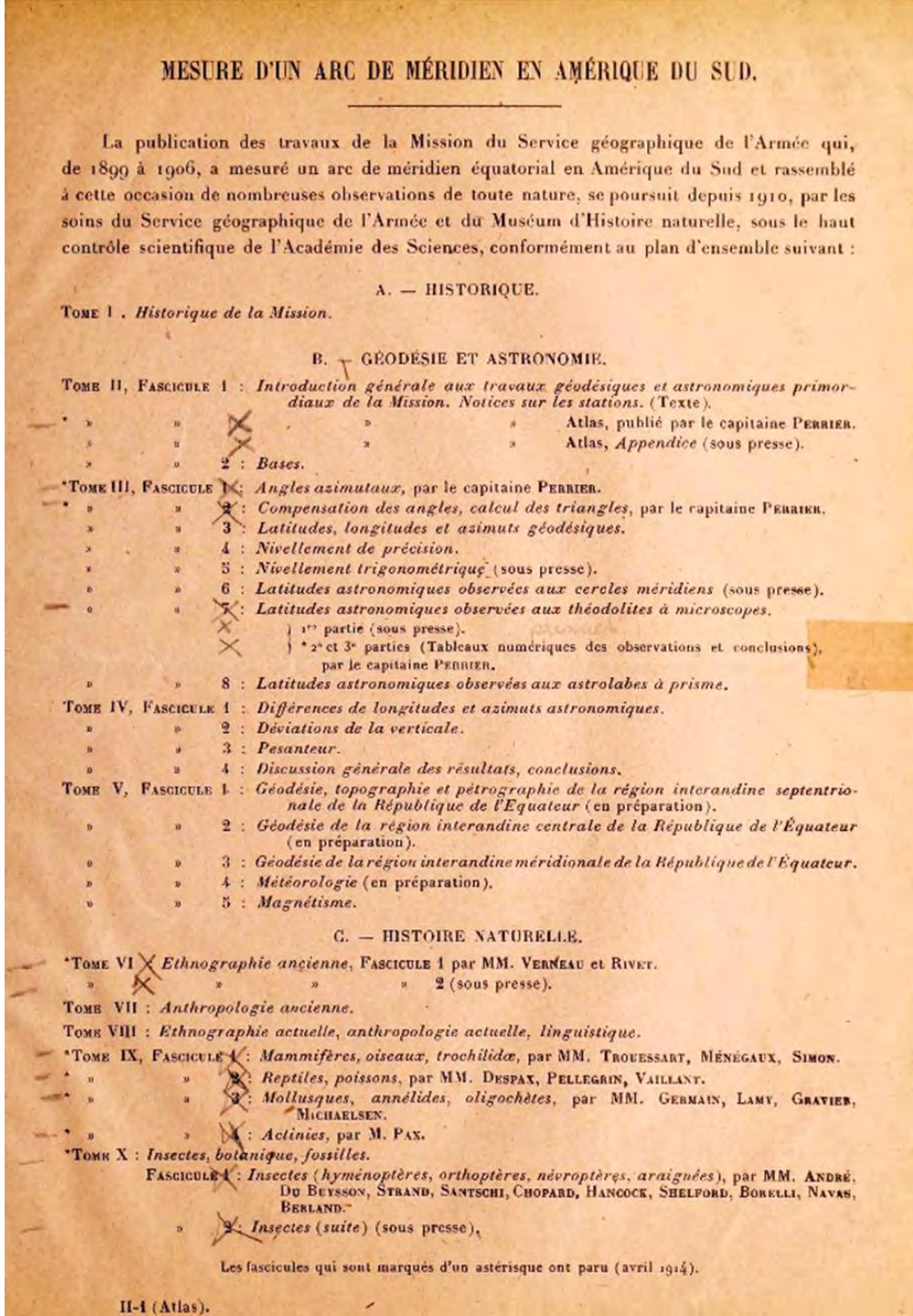
territorio ecuatoriano sean las siguientes: 6268 m (Chimborazo), 5897 m (Cotopaxi), 5790 m (Cayambe) y 5704 m (Antisana). Algunos autores llegaron a cifrar en 150 m la magnitud de la deformación, aunque Poincaré creyera que podría ser próxima a los 100 m. Según él, para evaluarla con rigor habría que tener en cuenta también la probable influencia de las masa interiores, comentando seguidamente que las observaciones del péndulo en las regiones montañosas evidenciaban dos hechos curiosos: los valores observados de la gravedad siempre resultaban inferiores a los calculados mediante la fórmula de Bouguer, pero concordaban bastante bien con los deducidos usando la fórmula de Faye, en la que se desprecian por completo la atracción de las montañas; de manera que si esa segunda fórmula fuese exacta el levantamiento del geoide sería nulo. Sí ocurría en los Alpes y en Himalaya, ¿ocurriría lo mismo en los Andes?, se preguntaba Poincaré. Solo la observación sobre el terreno podría resolver la duda. Para facilitar la

LOS ANDES ECUATORIANOS

comprensión del problema, se consideraron tres superficies: 1) el elipsoide de revolución, que es la más parecida a la forma de la Tierra; 2) el geoide verdadero, esto es la superficie de equilibrio de las aguas tranquilas, bajo la influencia de la fuerza centrífuga y de la atracción de todas las masas, tan aparentes como interiores; 3) el geoide corregido, es decir la figura de equilibrio que adoptarían esas mismas aguas tranquilas si se suprimieran algunos de los macizos más aparentes. Dos son los procedimientos indicados por Poincaré para evaluar la deformación del geoide, el primero de ellos fue el de la observación pendular, el menos costoso y el más seguro, con él pueden multiplicarse las medidas hasta tener una idea aproximada de todas las variaciones de la gravedad en la región considerada. El segundo se basa en la medida de la diferencia de longitudes entre un punto del litoral y Quito, y en su comparación con la diferencia de longitudes geodésicas. De esa manera se podría deducir, sino la forma absoluta del geoide, al menos la diferencia entre su elevación en Quito y la presentada en la costa del pacífico. El punto elegido fue Guayaquil, al norte del golfo de igual nombre, ligado telegráficamente a Quito; con lo que se podría obtener la diferencia de longitudes astronómica. Su homóloga geodésica requeriría la construcción de un vértice en la isla Puná y enlazarle luego trigonométricamente a la triangulación del meridiano.

En el resto de los informes preparados por Poincaré se fueron detallando las tareas propias de la Misión geodésica, cuyos resultados definitivos se harían públicos pocos años después en la voluminosa obra*: Mission du Service Géographique de l´Armée pour la mesure d´un Arc de Méridien Équatorial en Amérique du Sud, sous la contrôle scièntiphique de l´Academie des Sciences. 1899-1906*. Sus diez tomos comenzaron a ser publicados en 1910, finalizando en el año 1919; el contenido de cada uno de ellos figura en la imagen adjunta.

Poincaré alcanzó los más altos honores por sus contribuciones de verdadero genio. Fue elegido miembro de la Academia de Ciencias en 1887 y Presidente de la misma en 1906. La amplitud de su investigación lo llevó a ser el único miembro elegido para cada una de las cinco secciones de la Academia, a saber, las secciones de geometría, mecánica, física, geografía y navegación. En 1908 fue elegido miembro de la Academia Francesa y su director en el año de su muerte. También fue nombrado caballero de la Legión de Honor y fue honrado por un gran número de sociedades científicas de todo el mundo: Academia de Ciencias de Turín (1892), Royal Society (1894),Academia prusiana de las Ciencias, Academia de Ciencias de Rusia, etc. Ganó numerosos premios, distinciones y medallas: *Royal*



MESURE D'UN ARC DE MÉRIDIEN EN AMÉRIQUE DU SUD.

La publication des travaux de la Mission du Service géographique de l'Armée qui, de 1899 à 1906, a mesuré un arc de méridien équatorial en Amérique du Sud et rassemblé à cette occasion de nombreuses observations de toute nature, se poursuit depuis 1910, par les soins du Service géographique de l'Armée et du Muséum d'Histoire naturelle, sous le haut contrôle scientifique de l'Académie des Sciences, conformément au plan d'ensemble suivant :

A. — HISTORIQUE.

TOME I . *Historique de la Mission.*

B. — GÉODÉSIE ET ASTRONOMIE.

TOME II, FASCICULE 1 : *Introduction générale aux travaux géodésiques et astronomiques primordiaux de la Mission. Notices sur les stations.* (Texte).
» » » » Atlas, publié par le capitaine PERRIER.
» » » » Atlas, *Appendice* (sous presse).
» » 2 : *Bases.*
*TOME III, FASCICULE 1 : *Angles azimutaux*, par le capitaine PERRIER.
* » » 2 : *Compensation des angles, calcul des triangles*, par le capitaine PERRIER.
» » 3 : *Latitudes, longitudes et azimuts géodésiques.*
» » 4 : *Nivellement de précision.*
» » 5 : *Nivellement trigonométrique* (sous presse).
» » 6 : *Latitudes astronomiques observées aux cercles méridiens* (sous presse).
» » 7 : *Latitudes astronomiques observées aux théodolites à microscopes.*
1re partie (sous presse).
* 2e et 3e parties (Tableaux numériques des observations et conclusions), par le capitaine PERRIER.
» » 8 : *Latitudes astronomiques observées aux astrolabes à prisme.*
TOME IV, FASCICULE 1 : *Différences de longitudes et azimuts astronomiques.*
» » 2 : *Déviations de la verticale.*
» » 3 : *Pesanteur.*
» » 4 : *Discussion générale des résultats, conclusions.*
TOME V, FASCICULE 1 : *Géodésie, topographie et pétrographie de la région interandine septentrionale de la République de l'Equateur* (en préparation).
» » 2 : *Géodésie de la région interandine centrale de la République de l'Équateur* (en préparation).
» » 3 : *Géodésie de la région interandine méridionale de la République de l'Équateur.*
» » 4 : *Météorologie* (en préparation).
» » 5 : *Magnétisme.*

C. — HISTOIRE NATURELLE.

*TOME VI : *Ethnographie ancienne*, FASCICULE 1 par MM. VERNEAU et RIVET.
» » » » 2 (sous presse).
TOME VII : *Anthropologie ancienne.*
TOME VIII : *Ethnographie actuelle, anthropologie actuelle, linguistique.*
*TOME IX, FASCICULE 1 : *Mammifères, oiseaux, trochilidæ*, par MM. TROUESSART, MÉNÉGAUX, SIMON.
* » » 2 : *Reptiles, poissons*, par MM. DESPAX, PELLEGRIN, VAILLANT.
* » » 3 : *Mollusques, annélides, oligochètes*, par MM. GERMAIN, LAMY, GRAVIER, MICHAELSEN.
* » » 4 : *Actinies*, par M. PAX.
*TOME X : *Insectes, botanique, fossilles.*
FASCICULE 1 : *Insectes* (*hyménoptères, orthoptères, névroptères, araignées*), par MM. ANDRÉ, DU BUYSSON, STRAND, SANTSCHI, CHOPARD, HANCOCK, SHELFORD, BORELLI, NAVAS, BERLAND.
» 2 : *Insectes* (*suite*) (sous presse).

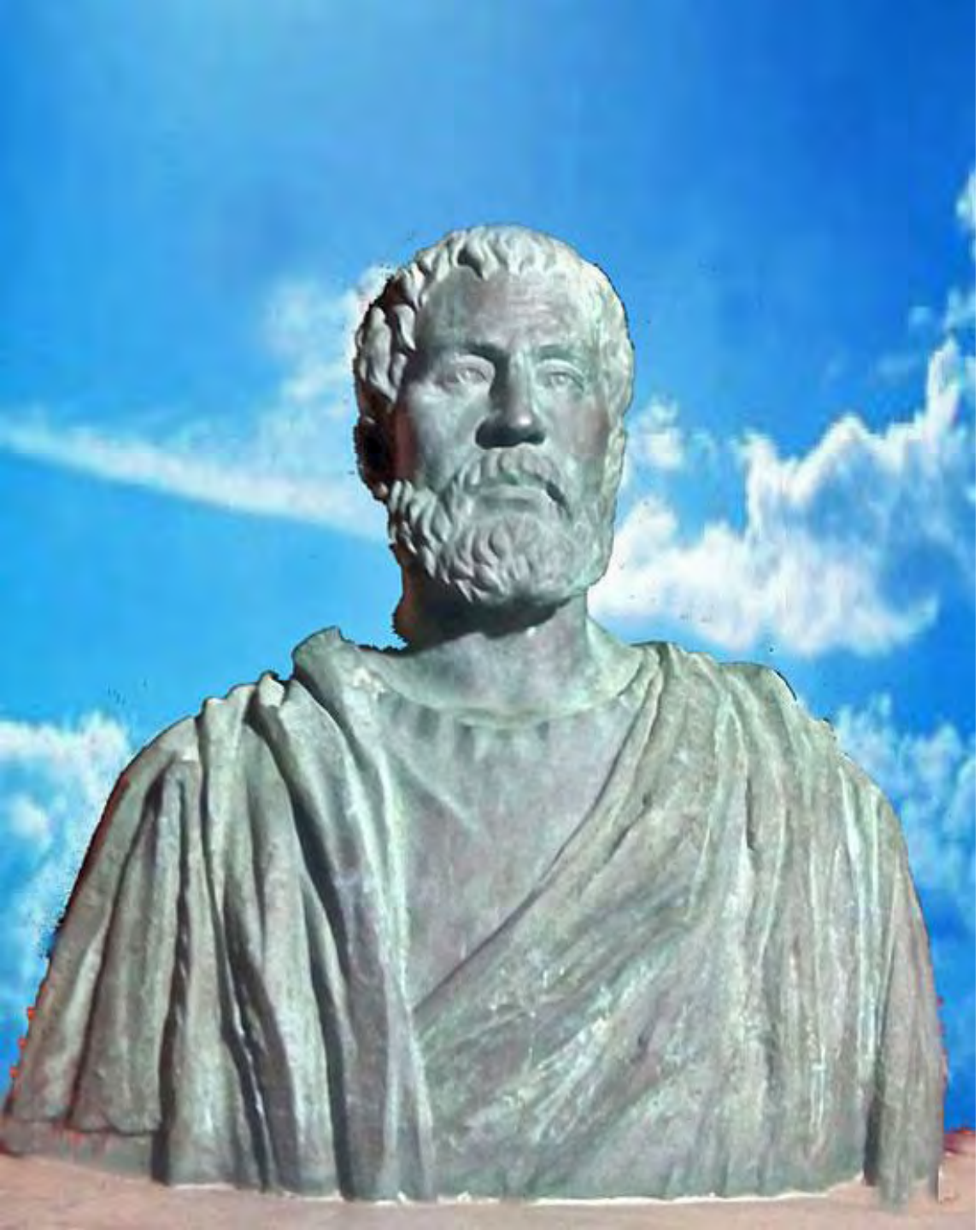
Les fascicules qui sont marqués d'un astérisque ont paru (avril 1914).

II-1 (Atlas).

Astronomical Society (1900), *Sylvester* de la *Royal Society* (1901), *Matteucci* de la Academia Nacional de Ciencias de Italia (1905), *Bruce* de la Sociedad Astronómica del Pacífico (1911). Fue Presidente de la Sociedad matemática de Francia (1900), Presidente de la Sociedad Astronómica de Francia (1901-1903) y Presidente de la Sociedad física de Francia (1902) .

Instituto de investigaciones matemáticas, dependiente del CNRS (*Centre National de la Recherche Scientiphique*) y de la Universidad de la Sorbona. Fue inaugurado en el año 1928. Se encuentra en la montaña de Santa Genoveva. París.

Se encuentra a la entrada del Instituto y fue colocada con motivo de la celebración del centenario



Pomponio Mela (fin siglo I a.C. – 47 d.C.)

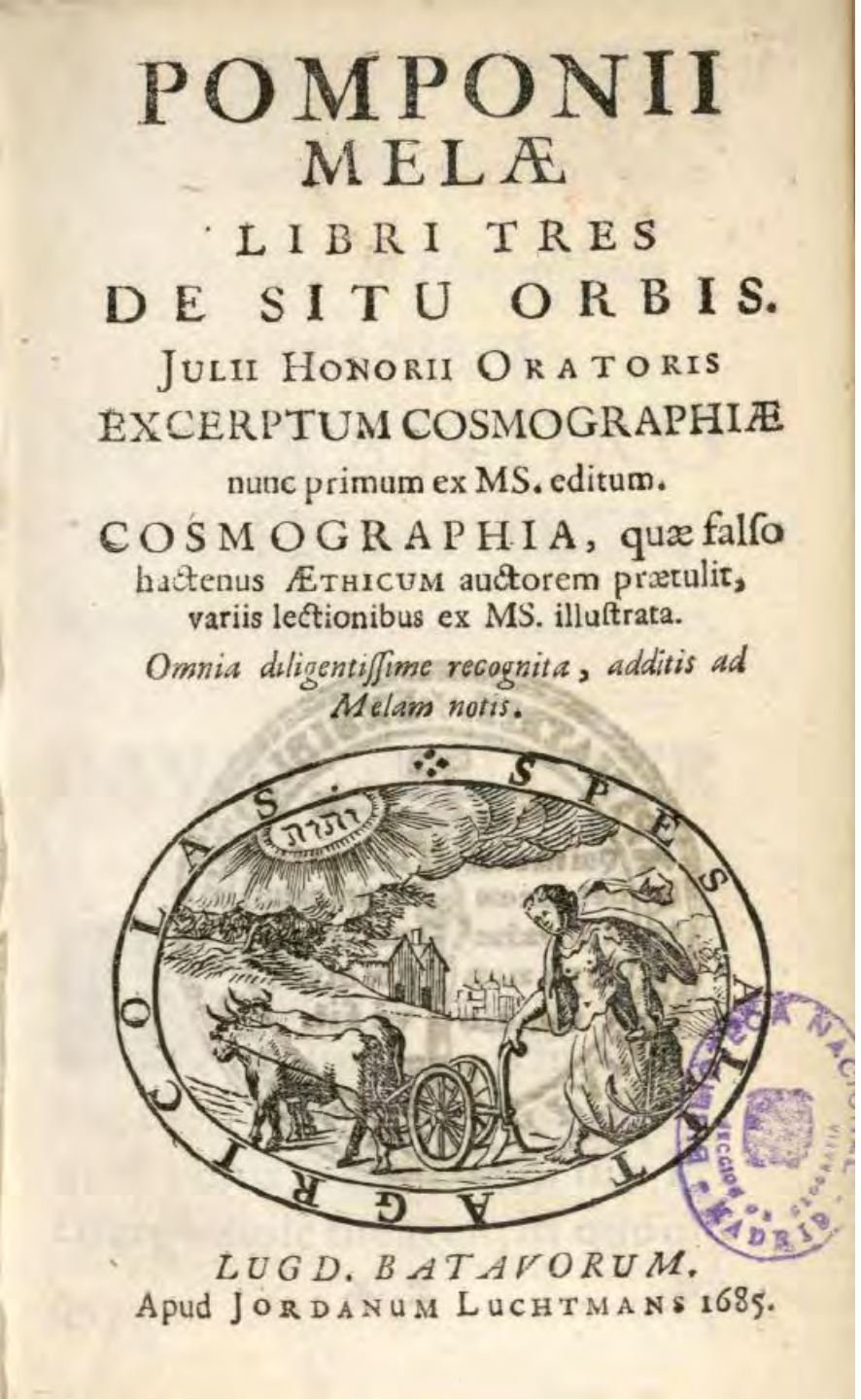
Geógrafo hispanoromano autor de la primera descripción del mundo realizada en el imperio, la cual fue referencia obligada durante más de mil quinientos años, habiendo constancia de su consulta en la época de los grandes descubrimientos.
Pomponio Mela nació en la Betica, concretamente en alguna localidad de la bahía de Algeciras, por los comentarios de su propia obra pudo ser Tingentera o Cingentera, aunque es difícil de fijarla con seguridad. Tampoco se sabe nada de su vida, si bien parece, por otro pasaje de su obra, que destacó en la época del emperador Claudio; más seguro es que debió escribirla después de las campañas de Augusto en Hispania, pues citó a dos ciudades de Cantabria que habían sido bautizadas con el nombre de su conquistador. Se aprecia en su obra la influencia de los grandes autores griegos, como Eratóstenes, aunque P. Mela se aleja del modelo tradicional al afirmar que en la zona templada más meridional había habitantes inaccesibles para los de la parte más septentrional, por la imposibilidad de atravesar la zona tórrida. Otra de las novedades que aportó fue una descripción más fiable de la Europa Occidental y de las islas Británicas, de hecho, fue el

primero en citar a las Islas Orcadas (al norte de Escocia). La notoriedad de Mela se debe posiblemente a que fue Plinio, el viejo, lo refirió en su Historia Natural como autoridad geográfica.

No obstante, todos los textos de Pomponio Mela eran desconocidos hasta que, en el año 1330, Francesco Petrarca descubrió su célebre *De Chrographia* (también referida como *De situ Orbis*) en la ciudad de Avignon. En el texto no figuró ningún mapa, aunque se sospeche que al hacer la descripción del orbe tuviese a la vista el del general Marco Vipsanio Agripa, el cual estuvo expuesto en el Pórtico Vipsania (Campo de Marte), llamado así en honor de su hermana Vipsania Polla; el mapa con forma de clámide, era conocido con el nombre de *chorographia*, fue evocado por Pomponio en el título de su obra. Petrarca quedó tan encantado con el texto de esta que mandó hacer copias para enviárselas a sus conocidos, entre ellos a Giovanni Boccaccio, asegurando así su difusión antes de que se publicase por primera vez en Milán (1471): *Cosmographi Geographia: Prisciani quoque exdionysio Thessalonisensi de situ orbis.* En cualquier caso, Pomponio

El mapa de Agripa según Estrabón

Frontispicio

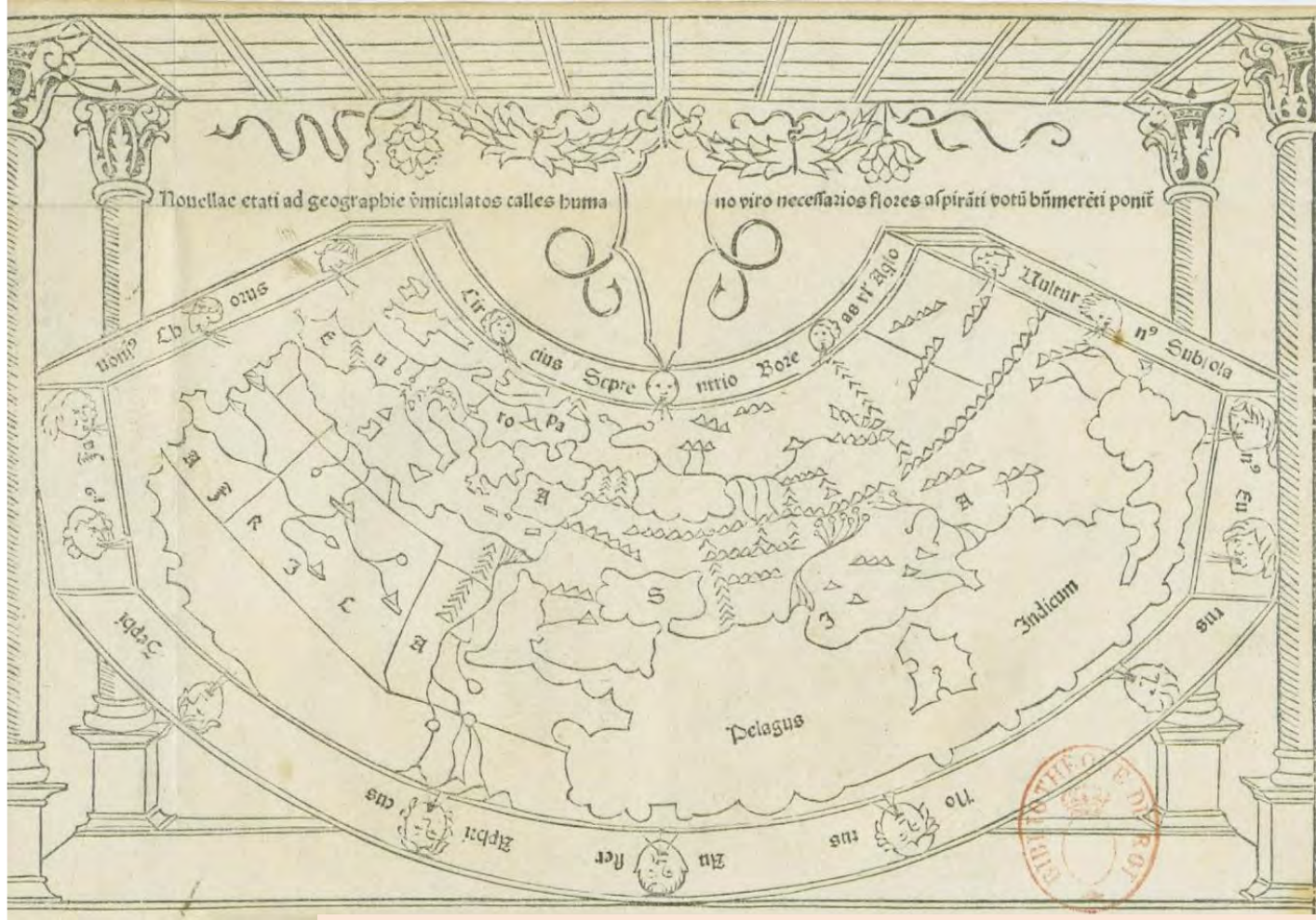

POMPONII
MELÆ
LIBRI TRES
DE SITU ORBIS.
JULII HONORII ORATORIS
EXCERPTUM COSMOGRAPHIÆ
nunc primum ex MS. editum.
COSMOGRAPHIA, quæ falso hactenus ÆTHICUM auctorem prætulit, variis lectionibus ex MS. illustrata.
Omnia diligentissime recognita, additis ad Melam notis.
SPES
AGRICOLA
LUGD. BATAVORUM.
Apud JORDANUM LUCHTMANS 1685.

Mela concibió un mundo rodeado de agua, al igual que hicieron los babilonios, en su mapamundi, con el río amargo; modelo que se repetiría hasta la saciedad durante la Edad Media con los mapas de T en O. En su descripción del mundo se contemplaron cinco zonas climáticas (dos frías, dos templadas y una tórrida), siendo la templada septentrional la única conocida. Asimismo, dividió el mundo en dos mitades, una al este y otra al oeste, a las que llamó hemisferios. El relato comienza y termina en las Columnas de Hércules, una especie de circunnavegación en la fue refiriendo indistintamente los accidentes geográficos, los pueblos, las plantas y los animales: tras recorrer la costa Atlántica de Hispania, llegó a Gran Bretaña, atravesando después el norte de Europa, Asia y China, alcanzando el océano Índico y el mar de Arabia, y rodeando África hasta regresar a Gibraltar. Por el propio texto, se deduce que los tres volúmenes de Pomponio Mela, debieron ser escritos en torno a los años 43 y 44 de nuestra era, es decir bajo el mandato del emperador Claudio (*Tiberius Claudius Caesar*).

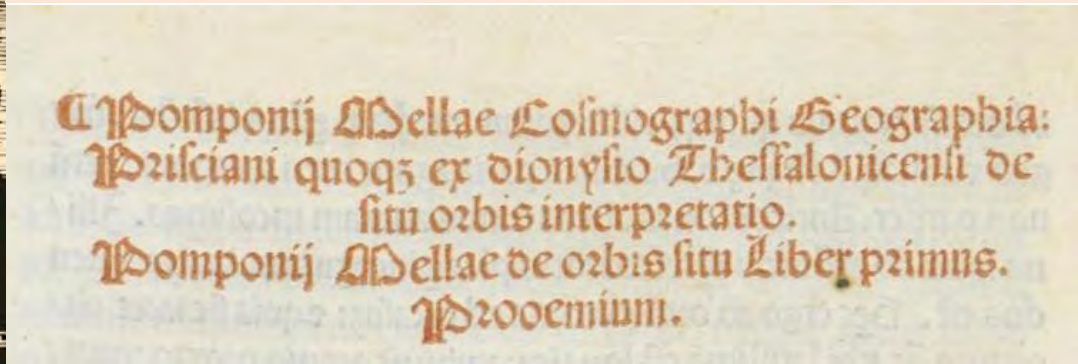
A pesar de que en el primer manuscrito conocido de Pomponius Mela no figurase mapa alguno, en las múltiples ediciones y traducciones que se hicieron del mismo si fueron apareciendo mapas ficticios, producto de la imaginación de sucesivos editores, traductores y autores en general. La serie parece haberse iniciado en Venecia el 18 de julio de 1482, con la

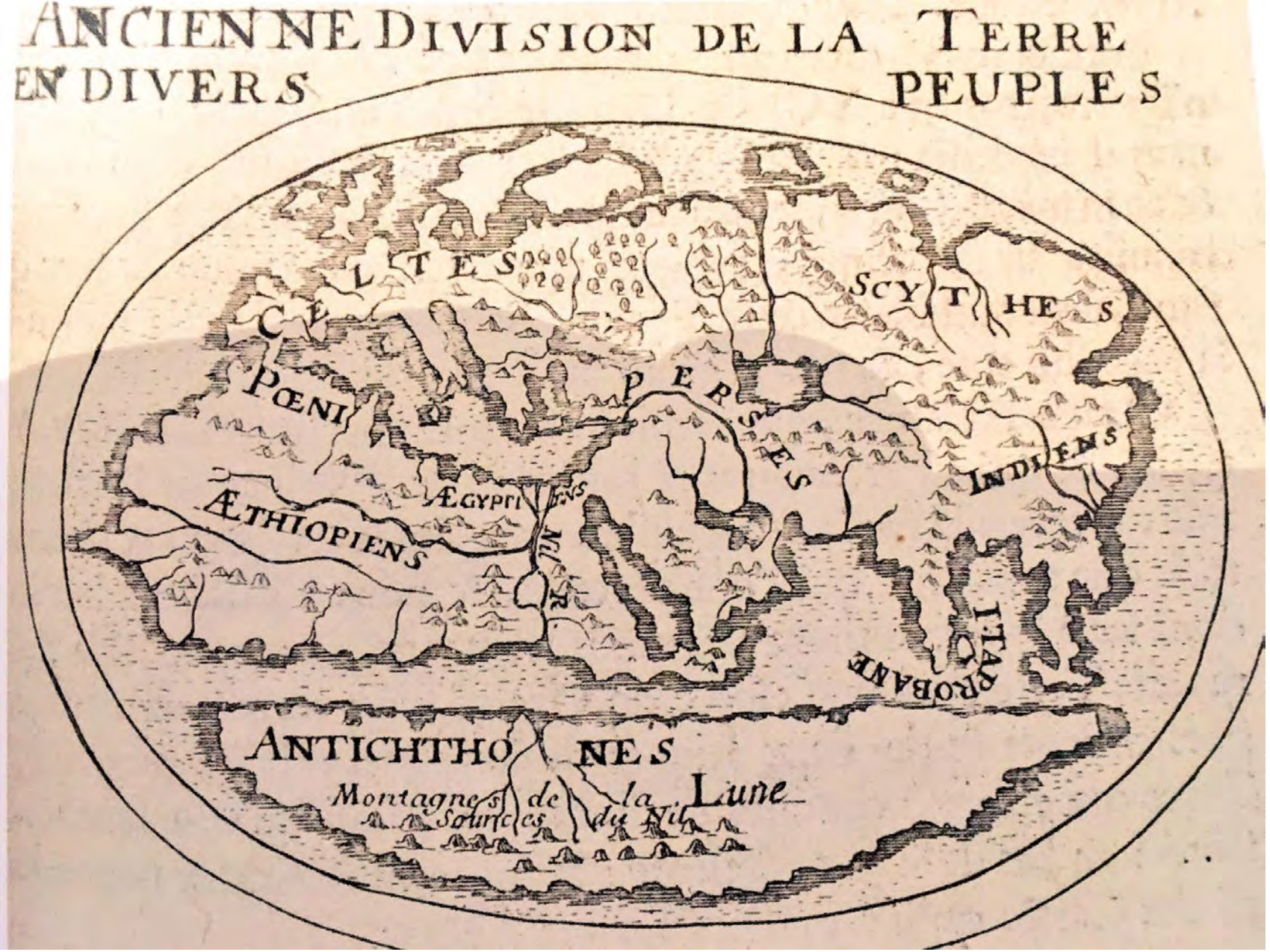
publicación preparada por el prestigioso impresor alemán Erhard Ratdolt; ocupando el mapa el frontispicio de la obra; posiblemente fuese él quien dibujara el mapa, al igual que había hecho en otras ocasiones. La representación presenta la novedad de incluir los primeros descubrimientos de los portugueses por el litoral atlántico de África, que seis años después llevarían a doblar el Cabo de Buena Esperanza (Bartolomé Díaz. 1488); la influencia de los mapas que supuestamente acompañaron a la Geografía de Tolomeo es manifiesta, ya que fue una reducción del mapamundi de Tolomeo compuesta por N. Germanus. Su mayor importancia radica en que fue el primer mapa, distinto de los medievales de T en O, que ilustró un texto geográfico.

Otro de los mapas que merece ser referido fue el que dibujó en 1628 el cosmógrafo flamenco Pieter de Bert (Petrus Bertius): *Orbis terrarum ex mente Pomponii Melae*, claramente influenciado por el relato que hizo este del continente austral; la idea



Erhard Ratdolt. Autor del primer mapa que ilustró la obra de Pomponio Mela, publicada en Venecia el 18 de julio de 1482.


C Pomponij Mellae Cosmographi Geographia:
Prisciani quoqz ex dionysio Thessalonicensi de
situ orbis interpretatio.
Pomponij Mellae de orbis situ Liber primus.
Prooemium.



de ese hipotético continente ya fue defendida en siglo antes por Crates de Malos, para equilibrar el del hemisferio septentrional. Pomponio Mela consideró que ambos continentes estaban separados por un océano hirviente e infranqueable, por la existencia de la zona tórrida. En algunas versiones de este mapa se llegó a dibujar en el continente meridional (*Antichthones Veterum seu Alter Orbis*), las míticas Montañas de la Luna, donde se suponía que estaba el nacimiento del Nilo. La noción de equilibrio antípoda y de equivalencia entre las masas continentales a uno y otro lado del ecuador siguió vigente hasta el Renacimiento, siendo entonces cuando cartógrafos tan afamados como Mercator y Ortelius la plasmaron en sus mapas como *Australis incognita*; origen evidente del homónimo actual. El interés por las representaciones del mundo descrito por Pomponio Mela continuó en los siglos siguientes, publicándose en el año

ORBIS TERRARUM EX MENTE POMPONII MELÆ DELINEATUS

A P. BERTIO Christianissimi Regis Geographo

DESCRIPTION du MONDE selon le sentiment de POMPONIUS MELA dessinee p.r M.r BERTIUS Geogr. du Roi. &c.

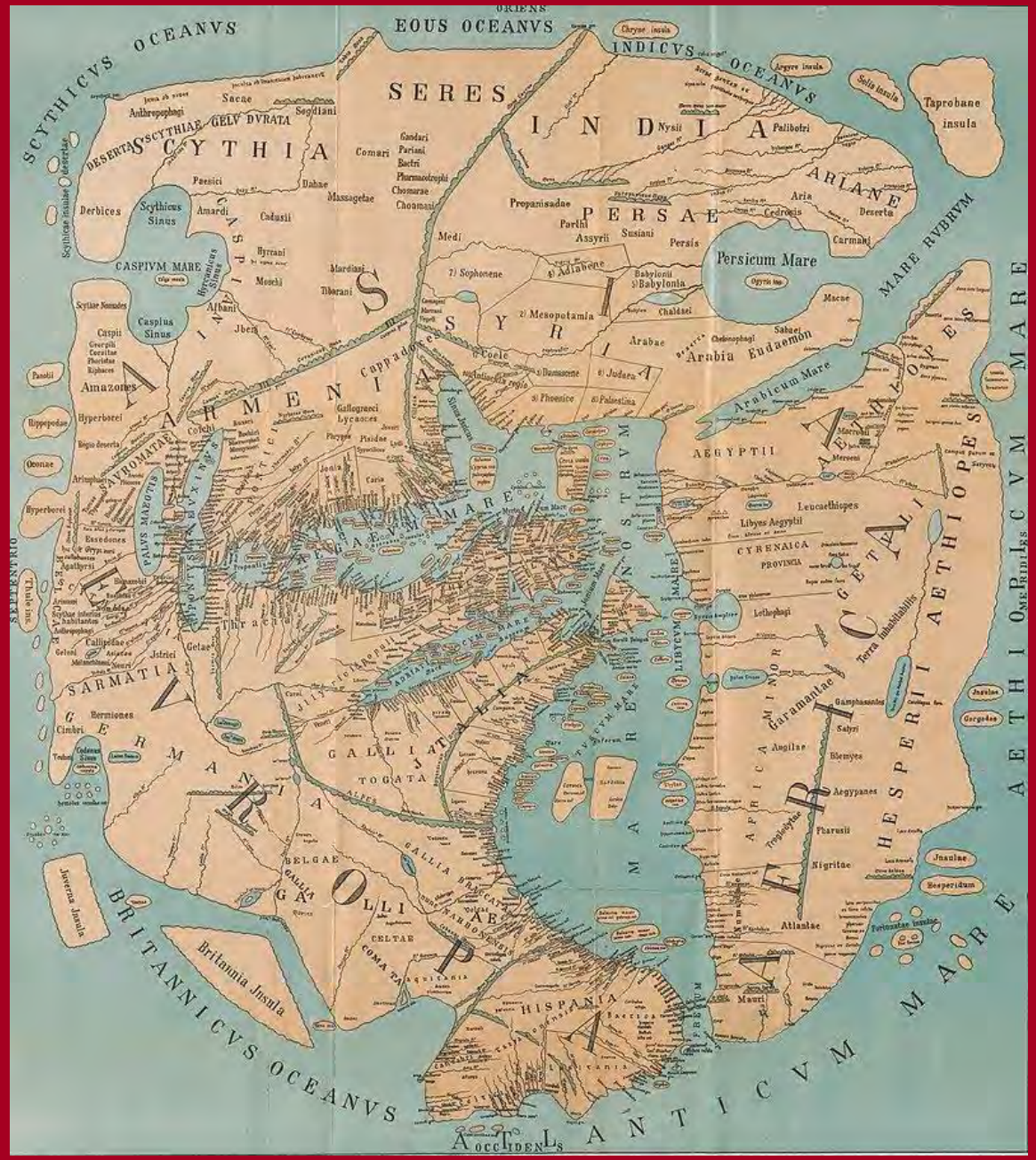
Pomponius Mela ancien Geog florissoit du tems de l'Empereur CLAUDE CÆSAR.

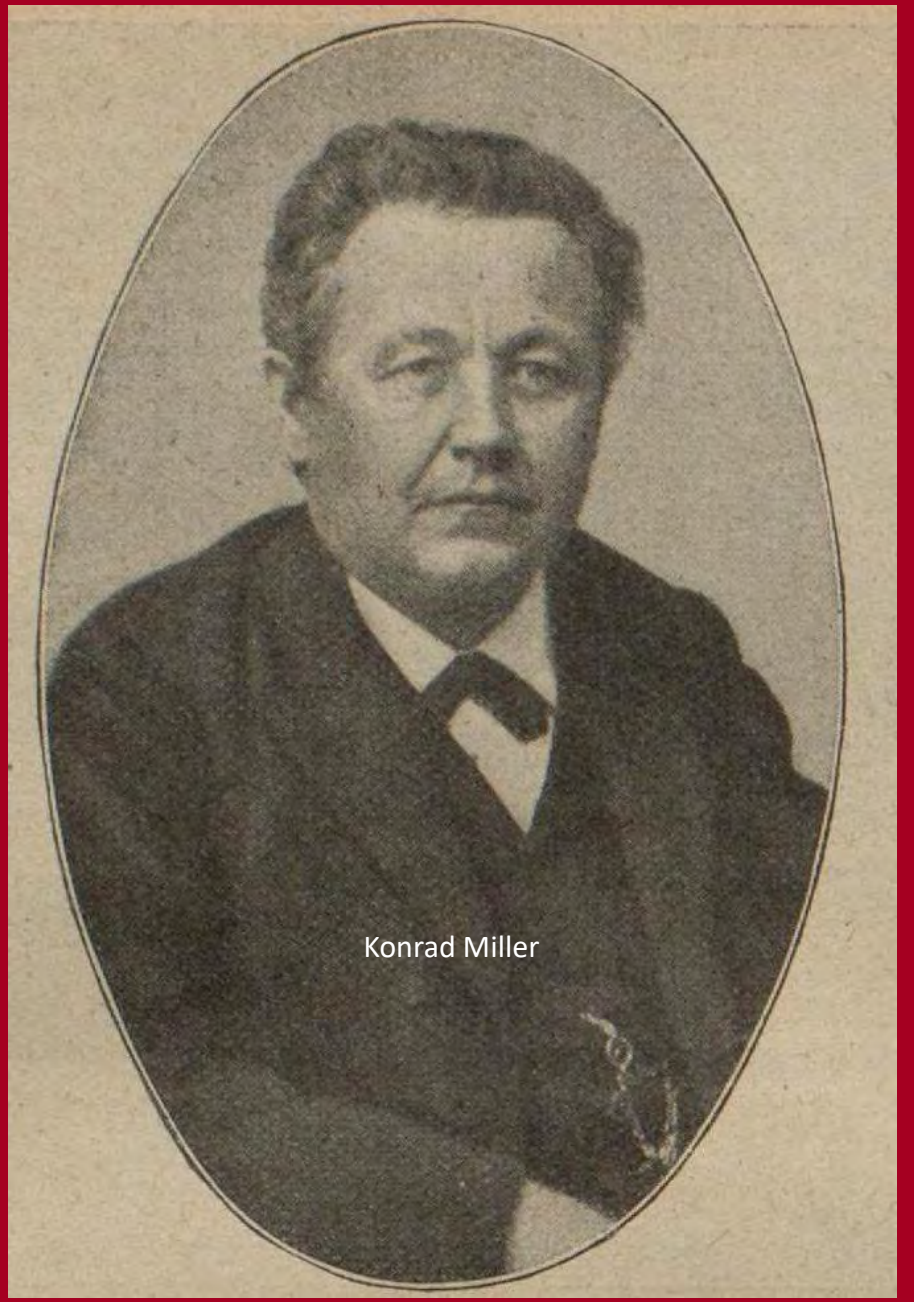
POMPONIUS MELA antiquissimus geographus floruit. Claudii Cæsaris temporibus hoc opus delineabat PETRUS BERTIUS.

A PARIS chez le S.r SANSON Geog. du Roi rue Froimanteau. anno CIↃ IↃ CXXVIII

PETRUS BERTIUS COLLEGII ILLUSTR. ORDINUM REGENS.

De Sito Orbis habitabilis ad mentem Pomponii Melae





1898 un nuevo mapa: *De Sito Orbis habitabilis ad mentem Pomponii Melae*, firmado por el cartógrafo alemán Konrad Miller. La imagen guarda semejanza con los mapas medievales de T en O, sobre todo por la inclusión del océano periférico y los rótulos de los tres continentes: Europa, Asia y África; figurando el Este en el extremo superior del mismo.

LA
GEOGRAPHIA
DE
POMPONIO MELA,
QVE
TRADVXO DE LATIN EN
Castellano el Licenciado Luis Tribaldos de Toledo, Chronista mayor de las Indias por su Magestad, ilustrandola con notas, y nombres modernos de lugares, montes y rios, &c. correspondientes oy á los antiguos.
CON VN INDICE MVY COPIOSO
de los vocables, y cosas notables, que en ella se contienen.
A DON IVAN DE SOLORZANO
y Pereira, Caualliero de la Orden de Santiago, del Consejo de su Magestad, en el Real de Castilla, y de las Indias, &c.
Con Privilegio, En Madrid, Por DIEGO DIAZ DE LA CARRERA, Año de 1642.
A costa de Pedro Lasso Mercader de Libros.
COMPENDIO
GEOGRAPHICO,
I HISTORICO DE EL ORBE ANTIGVO.
I
DESCRIPCION DE EL SITIO DE LA TIERRA,
ESCRIPTA POR POMPONIO MELA,
Español antiguamente en la Republica Romana:
I ahora, con nueva i varia Ilustracion, restituido a la suia Española, de la Libreria de
DON IVSEPE ANTONIO GONZALEZ DE SALAS,
Caballero de la Orden de Calatraba, i Señor de la Casa de los GONZALEZ *de Vadiella.*
EN MADRID
Lo Imprimiò DIEGO DIAZ DE LA CARRERA, Año MDCXLIV.
A costa de Pedro Lasso, Mercader de Libros.

La obra de Pomponio Mela fue traducida por primera vez al español en los primeros años del siglo XVI, cuando lo hizo el maestro portugués Juan Faraz. A ella le siguieron otras dos, publicadas en 1642 y 1644, cuyos autores y títulos respectivos fueron los siguientes: Luis Triblados de Toledo (*La Geographia de Pomponio Mela*) y José Antonio González de Salas (*Compendio Geographico i historico de el Orbe antiguo, i Descripcion de el Sitio de la Tierra Escripta por Pomponio Mela Español antiguamente en la Republica Romana, i ahora con nueva y varia ilustracion, restituido á la suia Española*). La tercera traducción incorpora notas complementarias del intérprete, así como resúmenes de cada capítulo, al final del libro correspondiente. Desde el punto de vista de la geografía matemática, es interesante el se efectuó del capítulo primero del libro I, sobre la Forma y División del Universo: « Muestra ser su forma circular…divídele en cuatro plagas, *Oriental, Occidental, Meridional* i *Septentrional*. Coloca la Tierra en medio…partela en dos porciones, que llama *Hemispherios* o *Mediocircuitos*. Dividela luego en cinco Zonas inhabitadas las tres, las dos habitables, la una de ellas incógnita,…rodeada de el Oceano, de quien ella recibe cuatro *Senos*. Uno por la plaga septentrional, dos por la de el mediodía, el cuarto por la de Occidente».

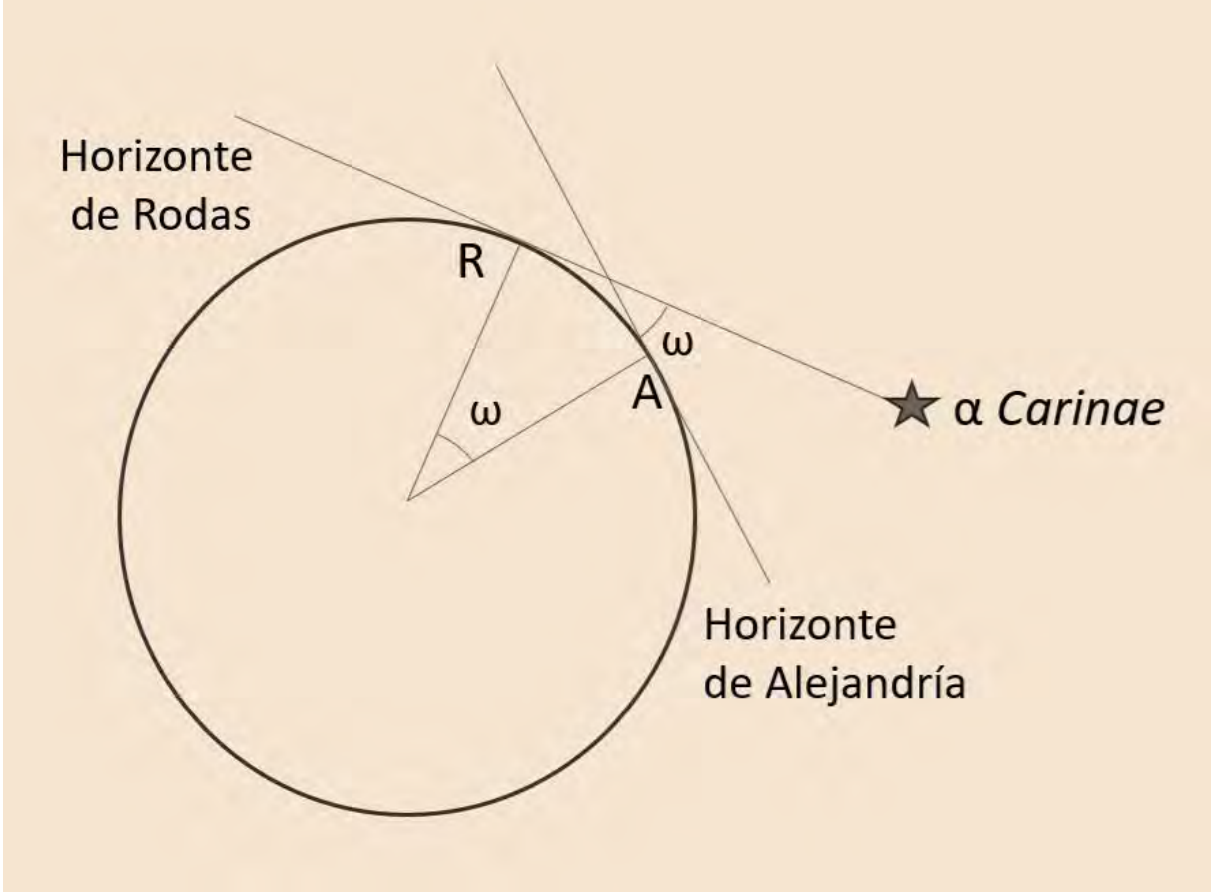
Posidonio de Apamea (135-51 a.C.)

Filósofo sirio, matemático y astrónomo, que además de estimar el tamaño del Sol y la Luna, midió la Tierra; apoyándose para ello en el cálculo de la amplitud angular del arco formado por Rodas y Alejandría, dos de las ciudades más famosas de la antigüedad (la primera por el Coloso y la segunda por su Biblioteca). En el transcurso de sus viajes, visitó Cádiz y estudió en ella la amplitud de las mareas. Apolonio de Rodas, o Apolonio de Apamea, por haber nacido en este último lugar, fue educado siguiendo la tradición griega y completó su formación en Atenas, de mano de Panecio de Rodas, filósofo estoico. En torno al año 100 a.C. se estableció en Rodas y dirigió la escuela estoica de la misma, sus contactos políticos le llevaron a ser embajador en Roma durante los años 87 y 86; coincidiendo allí con su alumno Cicerón y con Pompeyo el Grande, que más tarde lo visitaría en Rodas durante sus campañas militares. No se conserva ninguno de sus escritos, solo fragmentos de los mismos, referidos por autores posteriores. Uno de ellos fue el astrónomo Cleomedes (fl. Siglo I d.C.), el cual escribió los dos libros de la obra *Movimientos de los Cuerpos Celestes*, creyéndose que el primer capítulo del libro II puede ser copia de otro debido a Posidonio.

A él se le atribuyó el cálculo del perímetro terrestre, por haber determinado la

LA MERIDIANA (*CARDO MAXIMUS*) EN LA CIUDAD SIRIA DE APAMEA

diferencia de latitudes entre las ciudades de Rodas y Alejandría; observando que cuando la estrella α *Carinae* (Canopus) estaba sobre el horizonte de Rodas, alcanzaba una altura de 7º 30´(1/48 de la circunferencia) sobre el horizonte de Alejandría. Al ser ese valor idéntico a la diferencia de latitudes entre las dos ciudades, así como a la amplitud del arco de meridiano al que pertenecían, y suponer que la distancia entre ellas era de 5000 estadios, dedujo que la circunferencia de la Tierra tenía un perímetro de 240000 estadios (producto de 48 y 5000). A pesar de que el resultado fuese ajustado, es probable que fuese debido a una curiosa concatenación de errores. Años después Tolomeo trató de corregirlos, señalando que Posidonio usó los 7º 30´en lugar de los correctos 5º 15´, pero que en cambio si había modificado el desarrollo lineal, fijándolo en 3750 estadios y no en 5000, obteniendo finalmente 180000 estadios para el perímetro terrestre. Esta desafortunada reducción alteró sustancialmente las dimensiones relativas de la ecúmene e incluso la propia historia de la geografía, puesto que el error de subestimar el tamaño del globo terráqueo permaneció durante muchos siglos, alcanzando el Renacimiento y propiciando la equivocación de Colón al identificar el nuevo continente.



Según Cleomedes, Posidonio determinó el valor del diámetro solar, apoyándose en el hecho de qué a mediodía del solsticio de verano, cuando se encontraba en el cenit de Siena, «los objetos iluminados por él no proyectaban

Pozo de la región de Siena iluminado por el Sol en el solsticio de verano.

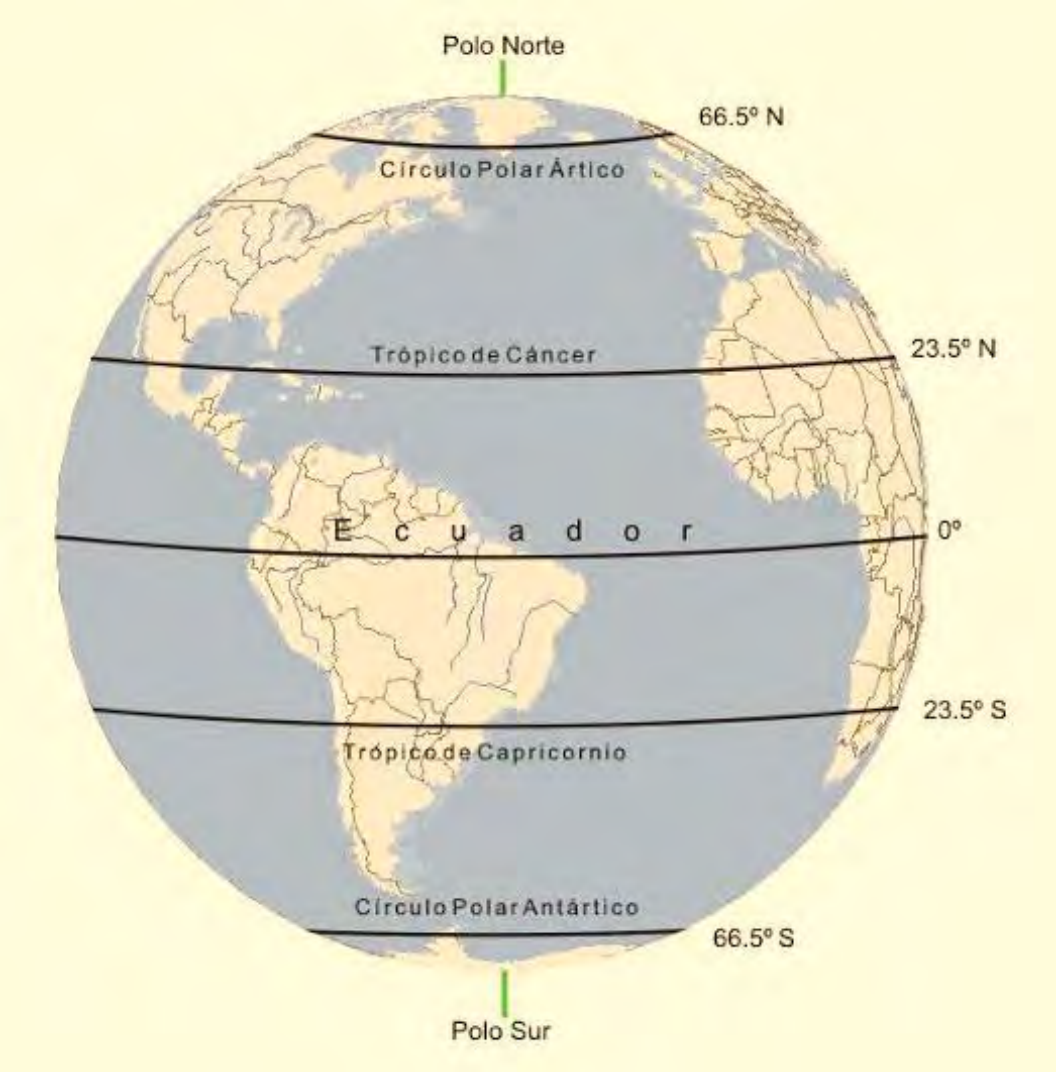
sombra en un área de hasta 300 estadios de diámetro». Estudiando el fenómeno dedujo que la circunferencia del globo solar era 10000 veces mayor que la de la Tierra, de modo qué dando por cierto ese hecho, su diámetro debería de alcanzar los 3000000 de estadios. Los conocimientos astronómicos de Posidonio debieron ser incuestionables, a tenor de lo manifestado también por su discípulo Cicerón, cuando aseguró que este había construido un planetario que mostraba el movimiento del Sol, la Luna y los cinco planetas (Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno). Por otra parte, ha de recordarse también que Plinio, en su Historia Natural, aseguraba que Posidonio había fijado en dos millones de estadios la distancia de la Luna a nuestra atmósfera y que la del Sol tendría que ser de quinientos millones de estadios.

En la primera década del siglo I antes de Cristo, emprendió Posidonio una serie de viajes por el litoral del mediterráneo, durante el cual visitó el sur de Hispania, permaneciendo unos treinta días en los alrededores de Cádiz. Allí tuvo la ocasión de observar que la amplitud de las mareas era mayor que la observada en la región de donde provenía, concluyendo que la Luna era la responsable del fenómeno*: « Cuando la Luna se encuentra a más de 30º sobre el horizonte el mar comienza a hincharse e invadir la costa hasta que la luna alcanza el meridiano. Cuando ésta gira, el mar baja gradualmente y, cuando se encuentra a menos de 30º bajo el horizonte, es bajamar. A partir de entonces, y con un máximo que coincide con el paso de la luna (que ahora es invisible) por el meridiano,

*Al igual que Piteas, Posidonio creía que la marea era causada por la Luna. Sin embargo, Posidonio se equivocaba sobre la causa. Pensando que la Luna era una mezcla de aire y fuego, atribuyó la causa de las mareas al calor lunar, lo suficientemente caliente como para hacer que el agua se hinchara, pero no lo suficiente como para evaporarla.

vuelve la pleamar, y así sucesivamente». En cuanto al ciclo mensual, la marea más acentuada coincide con la conjunción del sol y la luna o luna nueva. Desde la luna nueva hasta el primer cuarto, la marea baja y vuelve a alcanzar su máximo con la luna llena. Entre el tercer cuarto y la conjunción, el nivel sube y en consecuencia se acentúan las corrientes de la marea. Posidonio comentaba que los habitantes de Gadir (Cádiz) le hablaron de las mareas máximas y los reflujos que se producían con el solsticio de verano, y dedujo que la marea muerta correspondía a los equinoccios y la pleamar a los solsticios, siguiendo el ciclo anual; el supuesto recuerdo de los gaditanos no parece verosímil, en tanto que las pleamares máximas no ocurren en los solsticios, sino en los equinoccios.

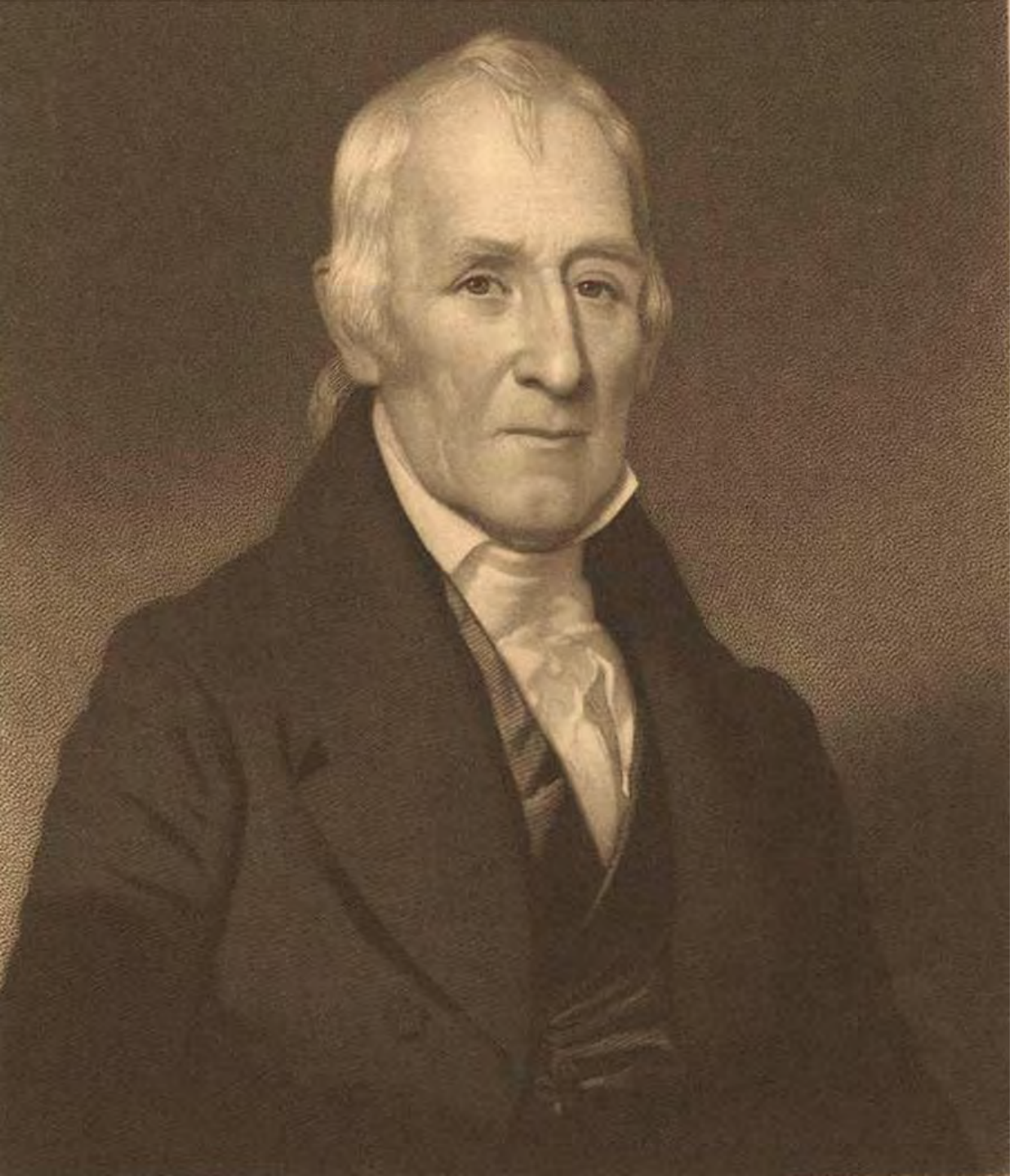
Posidonio escribió un tratado sobre el océano y las áreas adyacentes, inspirado al parecer en otro de Piteas, en el que cuestionó la división de la Tierra en las cinco zonas climáticas clásicas (dos frígidas, dos templadas y la tórrida central) de Parménides, ya que el ancho de la tórrida casi era doble que el real; asimismo criticó a Aristóteles por haber introducido los términos tórrida (para la región entre los trópicos) y templada (para las regiones entre los trópicos y los círculos polares). Posidonio creía que tales círculos no eran visibles para los hombres, ni iguales en todas sus partes, de ahí que propusiera términos basados más en criterios astronómicos que en los de la temperatura o habitabilidad; de ese modo se establecieron sobre el globo terráqueo tanto los trópicos como los círculos polares, atendiendo a la oblicuidad de la eclíptica, denominando a las zonas así delimitadas : *Amphiskian*,



entre los trópicos (una zona), *Heteroskian*, entre cada trópico y cada círculo polar (dos zonas) y *Periskian*, entre cada círculo polar y cada polo (dos zonas). Tal denominación obedeció a la disposición de la sombra (*skia* en griego) arrojada por un gnomon, que en el *Periskian* da una vuelta completa. Esa división del globo resultó determinante para comprender las zonas contempladas en los mapamundis medievales.

Para Posidonio, la imagen del mundo era semejante a la bolsa de una honda: ancha en el centro (de sur a norte) y estrechándose hacia el este y oeste. El paralelo de Rodas jugó un papel esencial, siendo su máxima extensión la comprendida entre el Cabo de San Vicente en Portugal y un promontorio imaginario en la costa oriental de la India; el valor asignado a la misma fue de 70000 estadios, es decir casi la mitad del círculo completo análogo al ancho del océano periférico. En la descripción de Posidonio no figuraron las islas de Tule y Taprobana, puesto que solo refirió como grandes islas las de Irlanda y Gran Bretaña. El límite más septentrional lo marcaron las costas del Mar del Norte, el meridional coincidió con la línea imaginaria que unía la cordillera del Atlas con los rápidos del Nilo, el cuerno de África y la costa del océano Índico. Resulta un tanto sorprendente que Posidonio contemplase la posibilidad de circunnavegar el continente africano y más aún la de alcanzar la India, navegando desde Hispania hacia occidente, aunque no diese más detalles. No es aventurado suponer que Posidonius confeccionara un mapamundi basado en

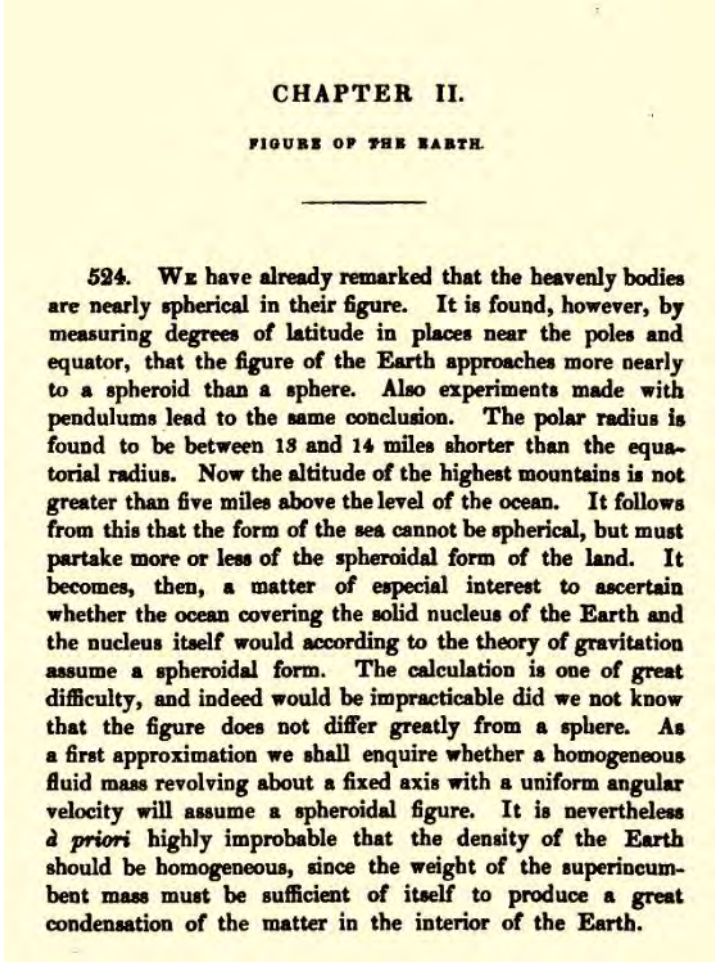
grandes islas las de Irlanda y Gran Bretaña. El límite más septentrional lo marcaron las costas del Mar del Norte, el meridional coincidió con la línea imaginaria que unía la cordillera del Atlas con los rápidos del Nilo, el cuerno de África y la costa del océano Índico. Resulta un tanto sorprendente que Posidonio contemplase la posibilidad de circunnavegar el continente africano y más aún la de alcanzar la India, navegando desde Hispania hacia occidente, aunque no diese más detalles. No es aventurado suponer que Posidonio confeccionara un mapamundi basado en algunas observaciones astronómicas, matemáticas y en relatos de exploradores y viajeros, una representación indefectiblemente unida al estudio tan completo que hizo del Mediterráneo. En torno al año 16717, Petrus Bertius, geógrafo del rey francés Luis XIII, publicó una posible reconstrucción del mismo, apoyándose en referencias antiguas, en la Geografía de Estrabón y en la Historia natural de Plinio el Viejo. La idea de que la imagen del mundo era similar a la bolsa de una honda, fue respetada por el cartógrafo flamenco, ya que llegó incluso a dibujar las dos cuerdas, con asas, ligadas a un instrumento defensivo tan remoto.



John Henry Pratt (1809-1871)

Clérigo, astrónomo y matemático inglés, que contribuyó decisivamente a que la isostasia se consolidara como cuetión científica relevante; valiéndose para ello de las interesantes observaciones que realizó en la gran red trigonométrica de la India, principalmente sobre la atracción ejercida por el sistema de los Himalayas. John Henry Pratt nació en Londres, se educó en la escuela Oakham e ingresó en la Universidad de Cambridge (*Gonville & Caius College*) en el año 1829, allí fue conocido como *Pratt of Caius*, reconociéndose de inmediato su valía; cuatro años después se licenció en Matemáticas con el tercer puesto de Wrangler, siendo elegido *Franklyn fellow* de su Colegio. Ya en 1834 publicó su primer artículo, sobre el paralelogramo de fuerzas (*A Demonstration on the Parallelogram of Forces*), en la revista *Philosophical Transactions* de la *Royal Society*; haciendo lo propio poco después con la obra que lo consagró: *The mathematical principles of mechanical philosophy, and their application to elementary mechanics and architecture, but chiefly to the theory of universal gravitation*, editado por la Universidad de Cambridge en el año 1836. Su contenido se estructuró en los cinco apartados siguientes. *Introducción*, *Estática* (8 capítulos), *Dinámica*(14 capítulos), *Hidrostática* (3 capítulos) e *Hidrodinámica* (3 capítulos). A ellos debe añadirse la

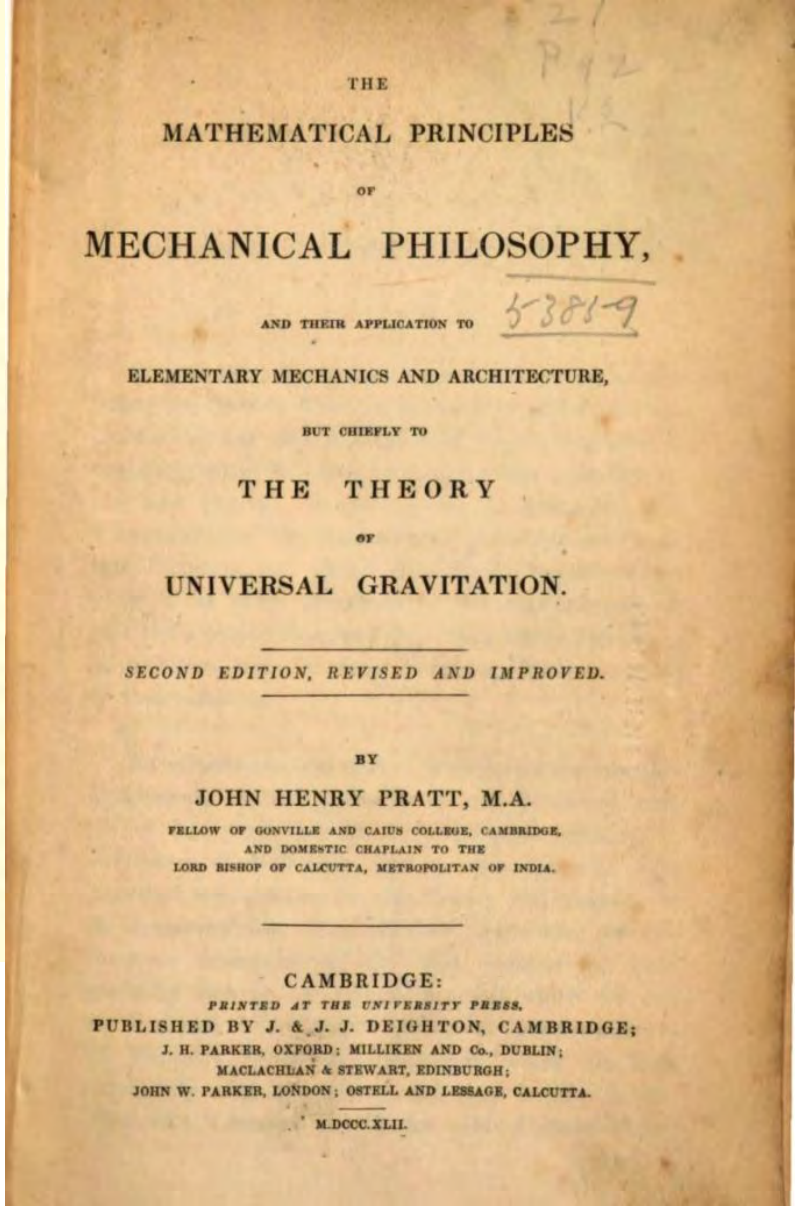
Conclusión, con una serie de argumentos en favor de la gravitación universal, y un *Apéndice*, con diversos problemas, entre los que cabe destacar el dedicado al magnetismo terrestre. En el presente contexto de la geografía matemática, debe subrayar se la importancia del capítulo II de la *Hidróstatica*, por estar dedicado al estudio de la Figura de la Tierra.



CHAPTER II.

FIGURE OF THE EARTH.

524. We have already remarked that the heavenly bodies are nearly spherical in their figure. It is found, however, by measuring degrees of latitude in places near the poles and equator, that the figure of the Earth approaches more nearly to a spheroid than a sphere. Also experiments made with pendulums lead to the same conclusion. The polar radius is found to be between 13 and 14 miles shorter than the equatorial radius. Now the altitude of the highest mountains is not greater than five miles above the level of the ocean. It follows from this that the form of the sea cannot be spherical, but must partake more or less of the spheroidal form of the land. It becomes, then, a matter of especial interest to ascertain whether the ocean covering the solid nucleus of the Earth and the nucleus itself would according to the theory of gravitation assume a spheroidal form. The calculation is one of great difficulty, and indeed would be impracticable did we not know that the figure does not differ greatly from a sphere. As a first approximation we shall enquire whether a homogeneous fluid mass revolving about a fixed axis with a uniform angular velocity will assume a spheroidal figure. It is nevertheless *à priori* highly improbable that the density of the Earth should be homogeneous, since the weight of the superincumbent mass must be sufficient of itself to produce a great condensation of the matter in the interior of the Earth.



THE

MATHEMATICAL PRINCIPLES

OF

MECHANICAL PHILOSOPHY,

AND THEIR APPLICATION TO

ELEMENTARY MECHANICS AND ARCHITECTURE,

BUT CHIEFLY TO

THE THEORY

OF

UNIVERSAL GRAVITATION.

SECOND EDITION, REVISED AND IMPROVED.

BY

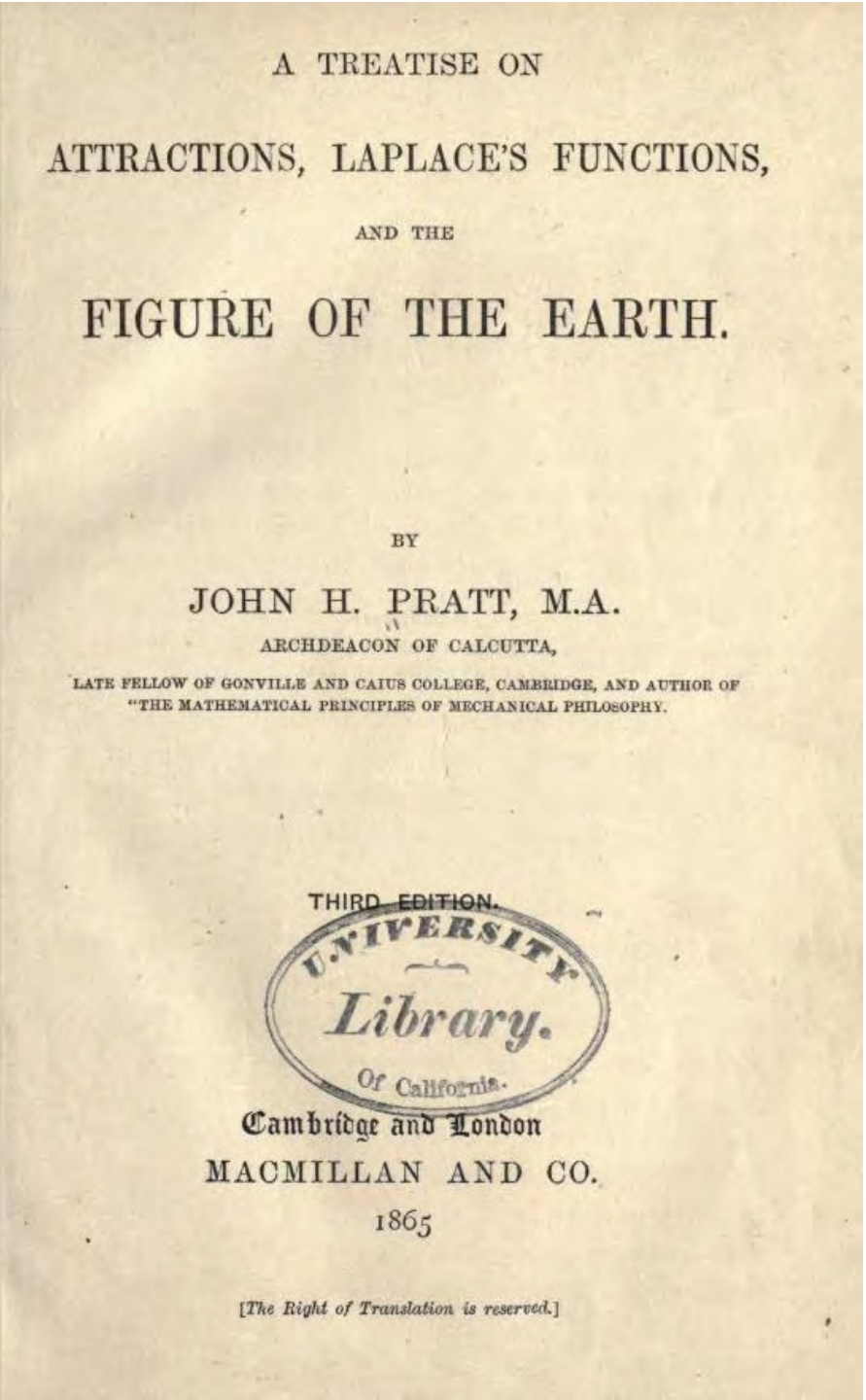
JOHN HENRY PRATT, M.A.

FELLOW OF GONVILLE AND CAIUS COLLEGE, CAMBRIDGE,
AND DOMESTIC CHAPLAIN TO THE
LORD BISHOP OF CALCUTTA, METROPOLITAN OF INDIA.

CAMBRIDGE:
PRINTED AT THE UNIVERSITY PRESS.
PUBLISHED BY J. & J. J. DEIGHTON, CAMBRIDGE;
J. H. PARKER, OXFORD; MILLIKEN AND Co., DUBLIN;
MACLACHLAN & STEWART, EDINBURGH;
JOHN W. PARKER, LONDON; OSTELL AND LEGGAGE, CALCUTTA.

M.DCCC.XLII.

En ese mismo de 1836 fue ordenado diácono, y sacerdote al año siguiente (1837), aunque nunca llegara a ejercer como tal en ninguna parroquia. El año 1838 fue decisivo en la vida de Pratt, pues tuvo que decidir entre permanecer en Cambridge o aceptar la invitación, que le hizo el Obispo de Calcuta para que se trasladase a la India para ejercer como su capellán doméstico. La tesitura era complicada ya que las matemáticas eran su vida, las ciencias exactas su deleite, mientras que la geología y la mineralogía, eran su diversión; pero también sentía el deber moral de hacer frente a los designios de su carrera eclesiástica. Tras varios meses de reflexión, en verano se despidió de la Universidad de Cambridge, para ejercer a partir de enero de 1839 como capellán del obispo; su labor debió ser del agrado de este, ya que a finales de 1849 ascendió para convertirse en archidiácono de Calcuta.


A TREATISE ON

ATTRACTIONS, LAPLACE'S FUNCTIONS,

AND THE

FIGURE OF THE EARTH.

BY

JOHN H. PRATT, M.A.

ARCHDEACON OF CALCUTTA,

LATE FELLOW OF GONVILLE AND CAIUS COLLEGE, CAMBRIDGE, AND AUTHOR OF "THE MATHEMATICAL PRINCIPLES OF MECHANICAL PHILOSOPHY.

THIRD EDITION.

UNIVERSITY Library. Of California.

Cambridge and London

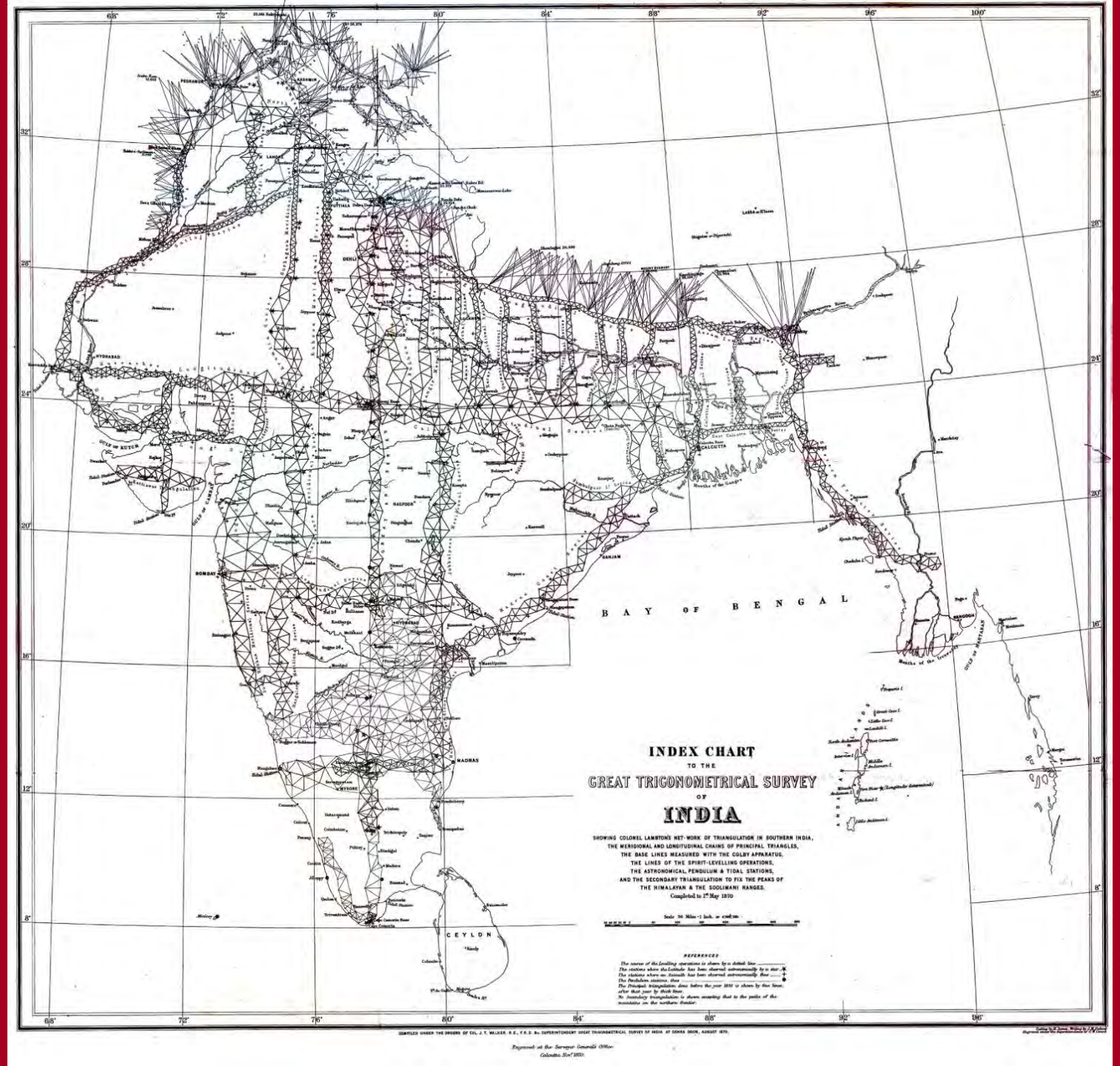
MACMILLAN AND CO.

1865

[The Right of Translation is reserved.]

La tarea pastoral de Pratt no le impidió seguir ocupándose de las investigaciones científicas, fruto de las mismas fue el complemento de la obra ya citada (publicada en 1836), que ahora tituló *On Attractions, lapllace´s Functions and the Figure of the Earth* (1860, 1861, y 1865). El libro lo dividió en dos apartados, tomando como punto de partida en el primero la ley de gravitación de Newton, dedicándose el segundo al cálculo de la figura de la Tierra, suponiéndola en principio fluida, para recurrir después a los fundamentos geodésicos. Los parámetros medios del elipsoide, determinados por Pratt, teniendo en cuenta la atracción de la cordillera, fueron: a = 20926189 pies, b = 20855316 pies, α = 1/295.3.

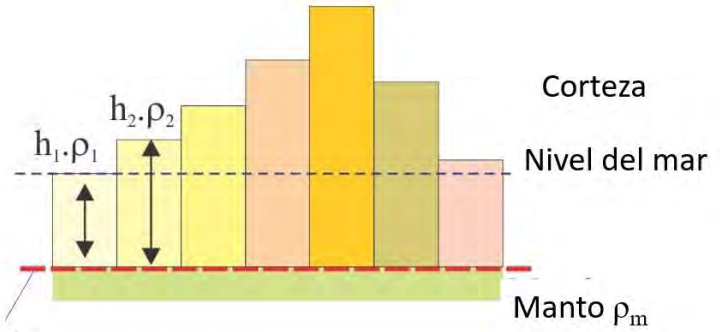
Siendo tan notables sus aportaciones matemáticas y físicas, aún tuvieron por mayor repercusión científica los que efectuó al analizar detalladamente la red geodésica de la India (*The Great Trigonometrical Survey of India*), pues de ese modo pudo establecer uno de los primeros modelos isostáticos que explicaba la interconexión de la corteza y el manto de la Tierra. Ya en 1855 sugirió que la densidad variable de las rocas en diferentes lugares, especialmente bajo las regiones montañosas, explicaba las anomalías de la gravedad; para él las montañas tenían una especie de raíces con menor densidad, que apoyadas sobre el manto equilibraban la masa superior. La intervención de Pratt en tales tareas se debió al requerimiento que le hizo Andrew Scott Waugh, Topógrafo



In conclusion, then, let us remember, that while we hold firm our grasp upon this truth, that the Scriptures are the infallible Word of God, true in every statement they contain, there is no ground whatever for ceasing to pursue Science, in all its branches, with an ardent and fearless mind. God's word and works never have and never will contradict each other, though some have thought so. Some would decry the pursuit of Science as endangering Revelation; some tremble for the result as new discoveries are announced, and reason publishes its triumphs. But these are shortsighted and ill-placed apprehensions. The progress of Science is inevitable.

—John Henry Pratt

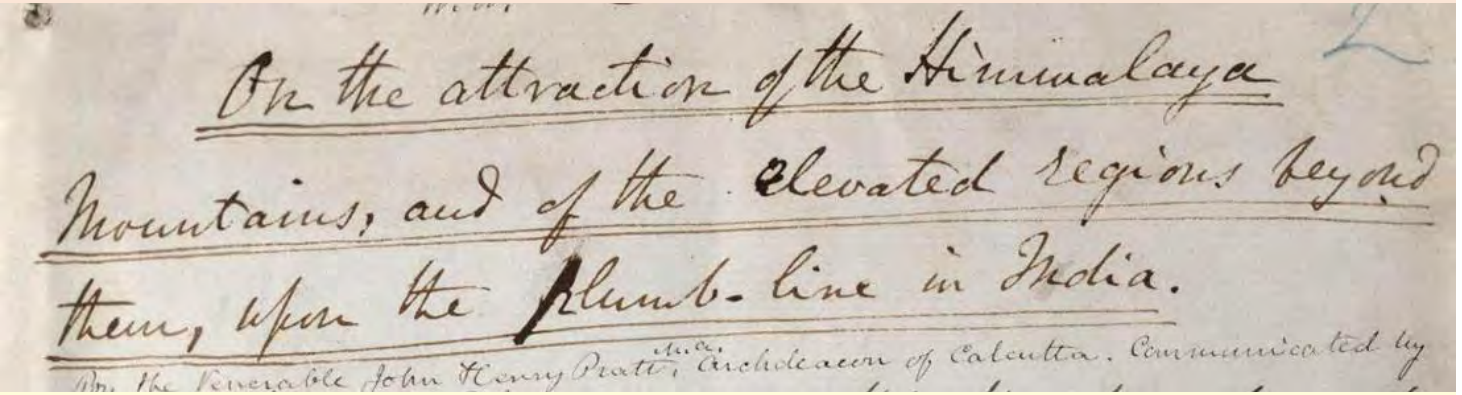
MODELO ISOSTÁTICO DE PRATT



$$\mathbf{P} = (h_1.\rho_1.g) = h_2.\rho_2.g) = \ldots$$

General de la India desde 1843, sucesor de G. Everest, el cual dio el apellido de este al pico de mayor altitud. El topógrafo le encargó que estudiara la anomalía gravitacional causada por el Himalaya en la línea de la plomada, con los consiguientes errores que afectaban a la red geodésica que venían observando. Los resultados obtenidos por Pratt, una vez estudiado el fenómeno, fueron publicados en *Philosophical Transactions* (Vol 145. 31 diciembre de 1855, pp: 50-100) con el título *On the attraction of the Himalaya Mountains, and of the elevated regions beyond them, upon the plumb-line in India*; usando como estaciones principales las situadas en Kaliana (A), Kalianpur (B) y Damargida (C). El trabajo, firmado en la Ciudad del Cabo 12 de julio de 1854, fue recibido en la *Royal Society* el 23 de octubre y leído, en la sesión celebrada el 7 de diciembre, por el Reverendo James Challis (director del Observatorio de Cambridge). Cuatro años después publicó, en la misma revista (Vol. 149. 31 diciembre 1859, pp: 745-778), otro artículo (continuación del anterior) con un título más detallado: *On the deflection of the plumb-line in India, caused by the attraction of the Himmalaya mountains and of the elevated regions beyond; and its modification by the compensating effect of a deficiency of matter below the mountain mass*. El trabajo fue recibido en la *Royal Society* el 25 de octubre de 1858 y leído por G. Stokes en la sesión celebrada el 25 de noviembre de 1858. Poco después dicha Sociedad le pidió a J.H. Pratt que preparase un comentario referido a dos segmentos del arco del meridiano de la India, concretamente los limitados por Kaliana (29º 30´48´´) y Kalianpur

Cabecera del artículo, de igual nombre, cuyo manuscrito se conserva en la *Royal Society*.


On the attraction of the Himmalaya
Mountains, and of the elevated regions beyond
them, upon the plumb-line in India.
By the Venerable John Henry Pratt, M.A. Archdeacon of Calcutta. Communicated by

XXIV. *On the Indian Arc of Meridian.* *By the Venerable* J. H. Pratt, *M.A., Archdeacon of Calcutta.* *Communicated by Professor* Stokes, *Sec. R.S.*

Received September 3,—Read November 22, 1860.

It is with pleasure that I request the attention of the Royal Society to the present communication, in continuation and completion of my former papers, because I think that the anomalies which the Indian Arc has appeared to present are here traced to the true causes.

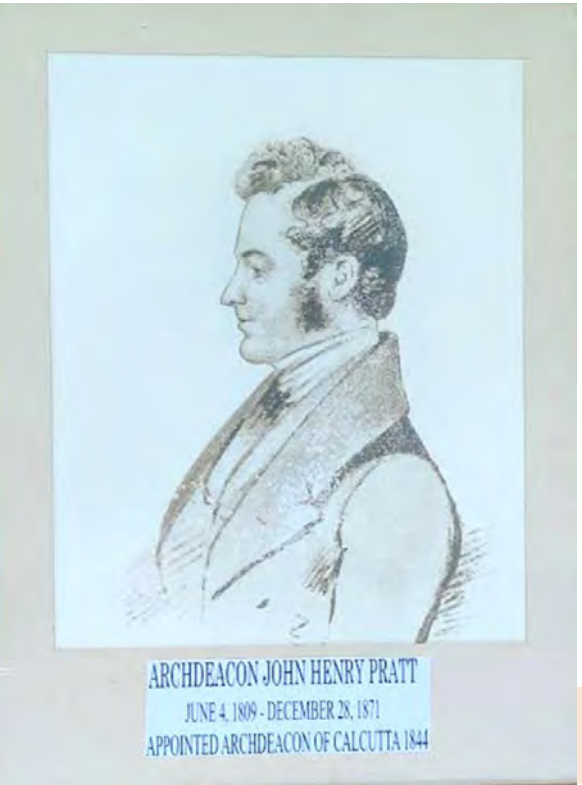
(24º 7´11´´) y el formado por esta última y Damargida (18º 3´15´´). El trabajo fue recibido en la *Royal Society* el 8 de septiembre de 1860 y leído por G. Stokes (entonces Secretario General) el 20 de noviembre. Finalmente, fue publicado en el volumen 151 (31 de diciembre de 1861, pp : 579-594) de las *Philosophical Transactions* con el título *On the Indian Arc of Meridian*.

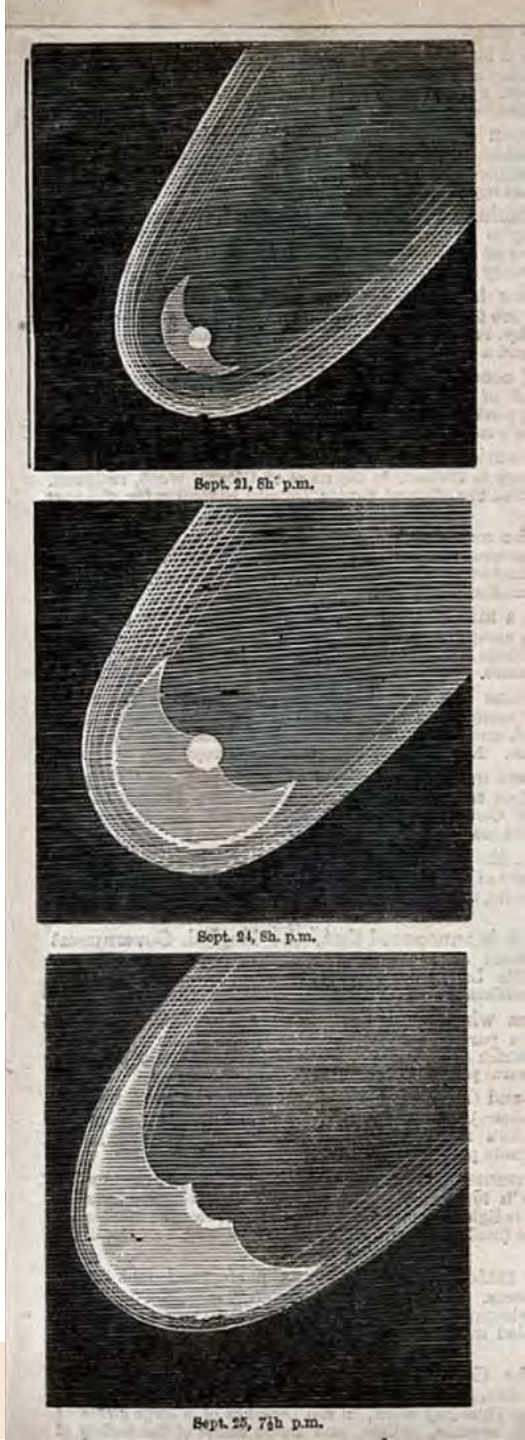
Pratt escribió otros artículos relacionados de una u otra forma con la misma cuestión: *On the Influence of the Ocean on the Plumb-Line in India* (*Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, Vol. 149. 1859), pp. 779-796); *On the Thickness of the Crust of the Earth* (*Philosophical Magazine*. 1859. Series 4. 18 (120): 259–262); *Is the Problem, "How far is the mass of the earth solid and how far fluid?" excludes from the domain of positive Science?* (*Philosophical Magazine*. 1860, pp: 274-277); *On the constitution of the solid crust of the Earth* (*Philosophical Transactions*. Vol. 161. 31 diciembre de 1871, pp: 335-357). John Henry Pratt fue elegido miembro de la Royal Society en el año 1866. Cuando falleció se publicaron en The Times (1 de enero de 1872) los siguientes comentarios: *…one of the ablest theologians and most devoted divines ... that England ever sent to India ... a quiet earnest worker, solitary in his habits ... a wise counsellor ... and an ardent, though undemonstrative contraversialist.*

PRATT MEMORIAL SCHOOL (Calcuta), creada en 1876.En el centro del patio hay un busto de John Henry Pratt.

EPÍLOGO: John Henry Pratt y el cometa de 1858

En la tarde del 2 de junio de 1858, el astrónomo Giambattista Donati divisó, desde el observatorio de Florencia, una mancha nebulosa entre las constelaciones León y Cáncer, que resultó ser el segundo cometa más espectacular del siglo XIX, después del visto en 1811. El cometa, luego bautizado con el apellido del astrónomo, pudo contemplarse a simple vista durante 112 días, siendo el primero en ser fotografiado: por W. Usherwood en Inglaterra (27 de septiembre) y por G. Bond en los Estados Unidos (28 de septiembre). Entre los muchos lugares desde los que fue observado, figura Calcuta y otros de la India. Uno de los observadores que lo examinó desde dicha ciudad fue precisamente J.H. Pratt; según consta en la revista *Journal of the Asiatic Society of Bengal* (Vol. XXVII. Nos. I al V. pp: 373-374. 1858). Concretamente, durante la sesión celebrada en el mes de noviembre, su Secretario leyó un resumen de la nota que le había enviado el Archidiácono Pratt, en la que este recordaba como en un primer momento se pensó en que podría tratarse del cometa de 1556 asociado al emperador Carlos V; a continuación, dio fe de que el cometa aparecía cerca de la estrella Arturo, para hacerlo después junto al planeta Venus, en los días 17 y 18 de octubre. La reseña de Pratt fue reproducida también en el periódico de Calcuta *Friends of India* (11 de noviembre de 1858).





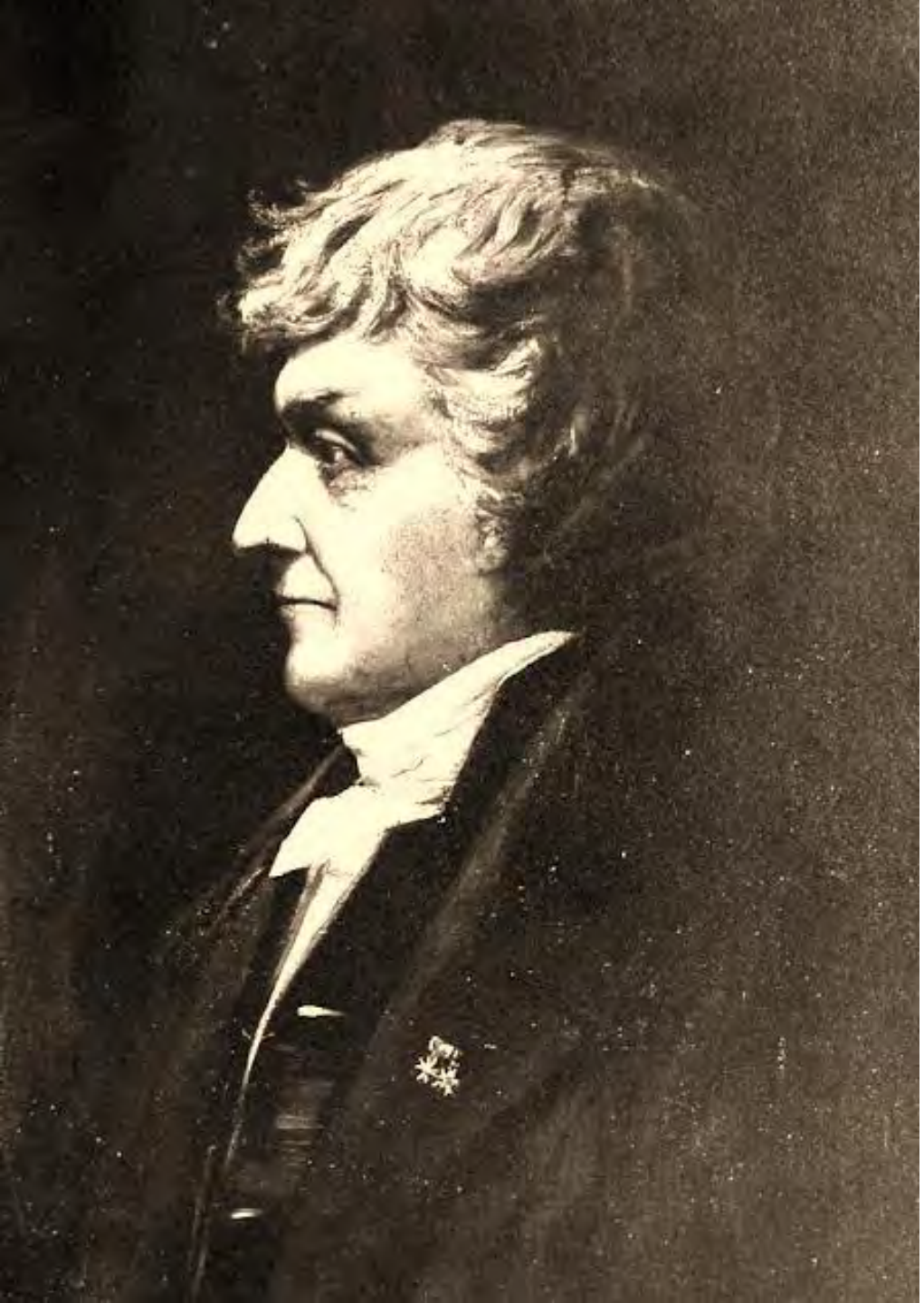
Apariencias telescópicas del cometa Donati, vistas desde el Observatorio de Cambridge, los días 21, 24 y 25 de septiembre de 1858

"This comet is the same as that seen by Dr. Donati at Florence in June last. Mr. Hind has published one or two letters in the *Times* giving the results of his observations upon it. It is not, as was at first hoped, the 1556 or Charles Vth comet, which may yet come. From 1858 to 1861 is the range which Mr. Hind has given it.

Regarding this, or Donati's comet, Mr. Hind shews, in his letter dated September 13th, that on the 5th and 6th of October it would be near Arcturus—which you may remember we observed—and that it would pass its descending node near Venus—which also we saw here plainly enough on the 17th or 18th of October. The motion of the comet is retrograde; for Venus is come to this side of the sun from the opposite side by the left, whereas the comet is come round by the right. The motion round the sun is consequently opposite to that of Venus and the other planets. This is fatal to its being Charles V.'s comet, if, as I believe is the case, that comet's motion was direct. No perturbations from the Planets could account for such a change."

Fragmento de la nota de J.H. Pratt que leyó el Secretario de la Asiatic Society of Bengal, durante la sesión celebrada en novimebre de 1858

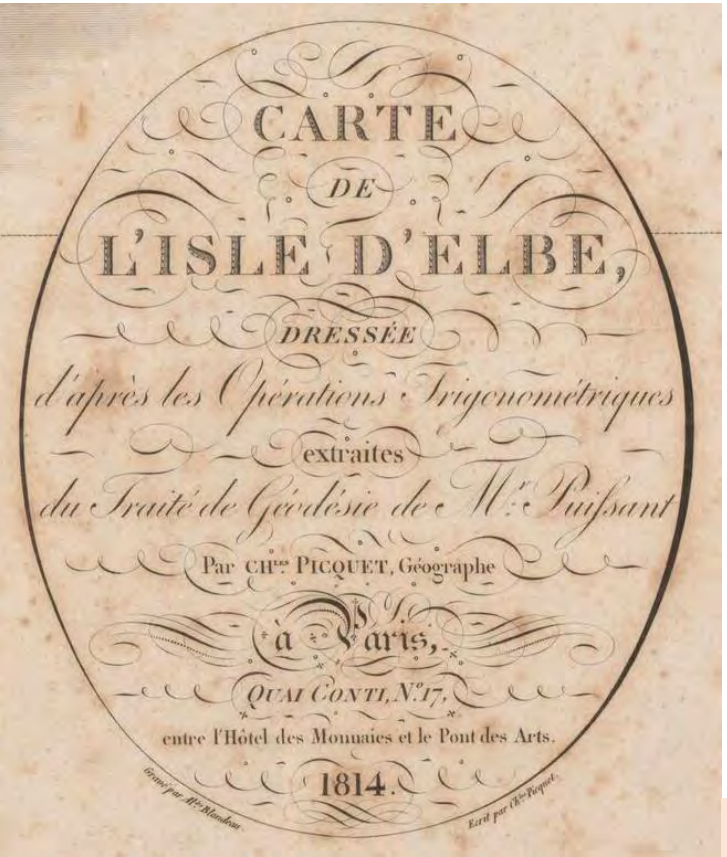
Grabado del Cometa Donati

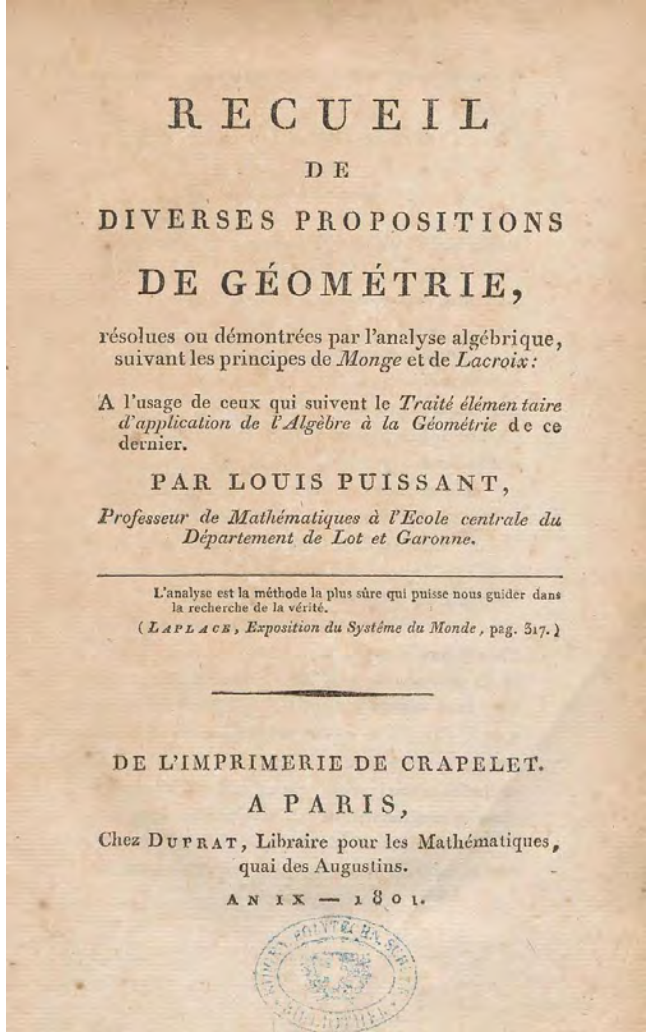


Louis Puissant (1769-1843)

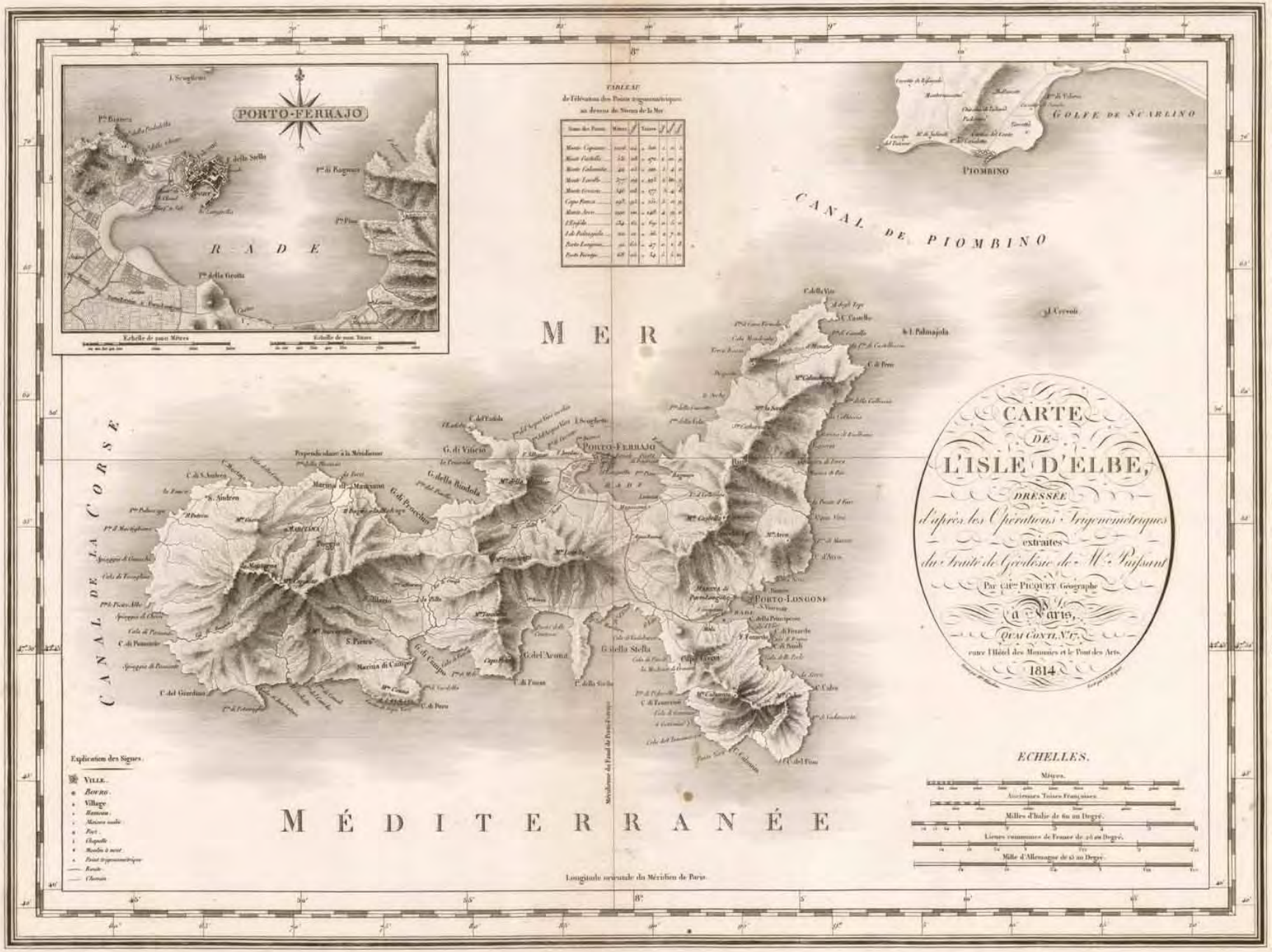
Topógrafo e Ingeniero Geógrafo, digno sucesor de los grandes geodestas franceses y máximo exponente de esa ciencia geodésica en el primer tercio del siglo XIX. Luis Puissant nació en el seno de una familia humilde de agricultores, que vivía en Seine et Marne, y fue adoptado por el matrimonio Fournier cuando quedó huérfano. Sus primeros estudios los hizo en un internado der Château -Tierre (Aisne), aunque a los 13 años ya se colocó con un noatrio que también ejercía como agrimensor de la comarca; con él aprendió las primeras nociones de topografía, mientras que su madre adoptiva le enseñaba música y dibujo. Para Puissant resultó crucial conocer a Antoine-Françoit Lomet, un ingeniero de caminos (*Ponts et Chaussées*) sobrino de su familia de acogida, que se convirtió en su protector; fue él quien, mientras trabajaba en Agen, le confió el levantamiento de los planos topográficos, en cuanto descubrió sus aptitudes. En septiembre de 1790, Puissant se une provisionalmente al Depósito General de Guerra, con sede en Versalles, en donde se custodiaba la documentación cartográfica y ejercían sus funciones los ingenieros geógrafos. Tres años después es admitido definitivamente en dicho organismo, entonces llamado *Dépôt Général de la Guerre et de la Geographié*, como ingeniero geógrafo.

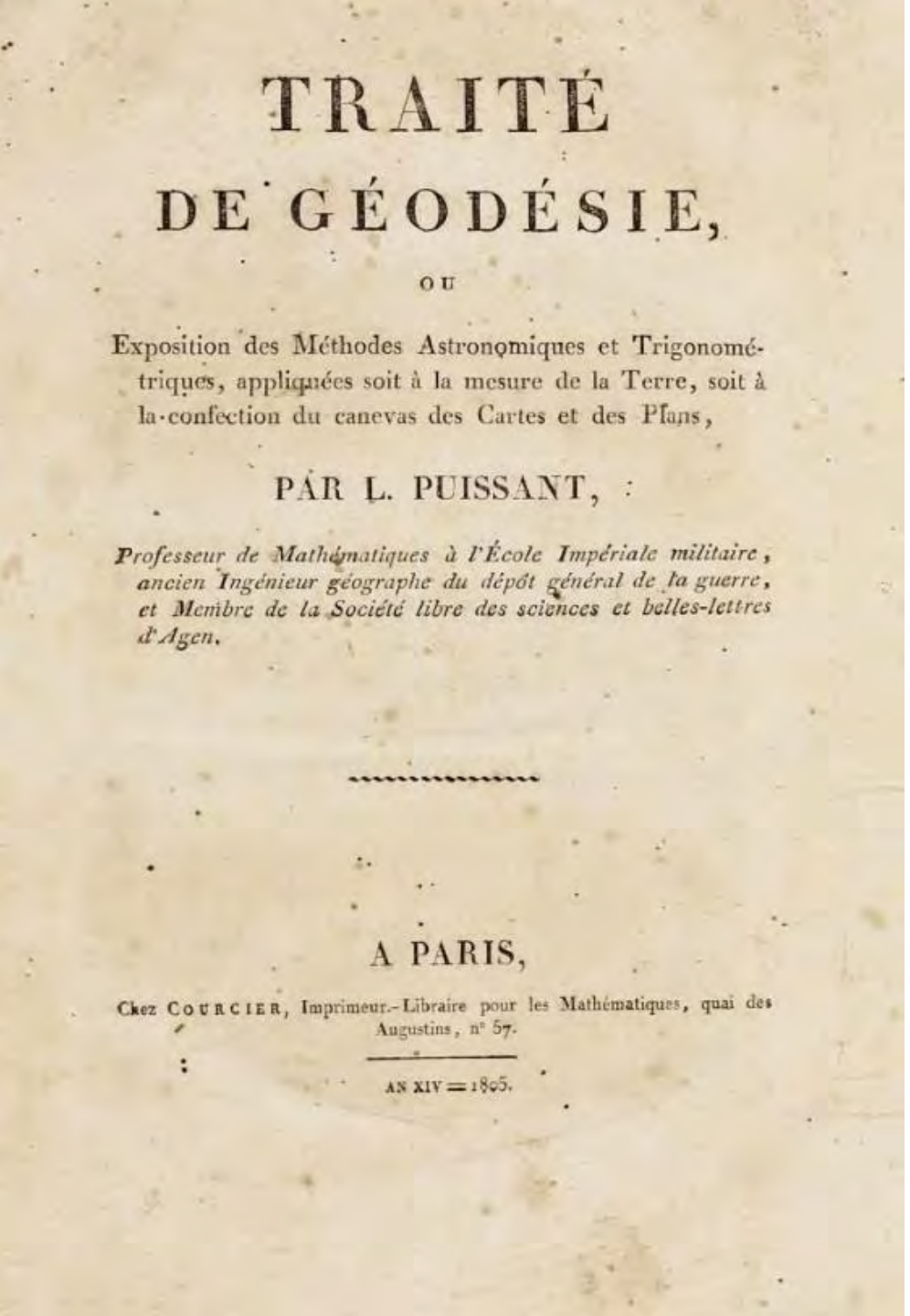
Una de sus primeras misiones la llevó a cabo en los Pirineos, como ayudante de Lamet, con ocasión de la guerra contra España, hasta que se firmó el Tratado de Basilea en 1795. A continuación, regresó a París, donde fue alumno de Lagrange y Laplace en la célebre *École Normal*, que había sido fundada por la Convención Nacional en 1794. En mayo de 1796 Puissant consiguió la plaza de profesor de matemáticas en la escuela Central de Agen, tras abandonar el Depósito. Allí escribió su primera obra: *Recueil de diverses propositions de géométrie résolues ou démontrées par l'analyse algébrique, suivant les principes de Monge et de Lacroix*, editada en París (1801), luego ampliada y reeditada en los años 1809 y 1824. Al suprimirse en 1802 las Escuelas centrales y ser sustituidas por los Institutos, Puissant regresó a París y se incorporó de nuevo al Depósito como geógrafo de primera clase, con el grado de capitán de Artillería; siendo enviado a la Isla de Elba, recientemente anexionada a Francia, para realizar su levantamiento topográfico. Tras haberse creado la Escuela Militar de Fontainebleau (1803), Puissant renuncia a su puesto en el Depósito para incorporarse a la misma como profesor de matemáticas. Junto a otros tres compañeros, y a instancias de su Director, publicó en 1813 el volumen titulado *Cours de mathématiques à l´usage des Écoles Militaires*, también revisado y aumentado en dos ocasiones: 1831 y 1843.


CARTE
DE
L'ISLE D'ELBE,
DRESSÉE
d'après les Opérations Trigonométriques
extraites
du Traité de Géodésie de Mr. Puissant
Par Chr. PICQUET, Géographe
A Paris,
QUAI CONTI, N.° 17,
entre l'Hôtel des Monnaies et le Pont des Arts.
1814.


RECUEIL
DE
DIVERSES PROPOSITIONS
DE GÉOMÉTRIE,
résolues ou démontrées par l'analyse algébrique, suivant les principes de *Monge* et de *Lacroix*:
A l'usage de ceux qui suivent le *Traité élémentaire d'application de l'Algèbre à la Géométrie* de ce dernier.
PAR LOUIS PUISSANT,
Professeur de Mathématiques à l'Ecole centrale du Département de Lot et Garonne.
L'analyse est la méthode la plus sûre qui puisse nous guider dans la recherche de la vérité.
(LAPLACE, *Exposition du Système du Monde*, pag. 317.)
DE L'IMPRIMERIE DE CRAPELET.
A PARIS,
Chez DUPRAT, Libraire pour les Mathématiques, quai des Augustins.
AN IX — 1801.

Cartela del mapa de la isla de Elba (1814), incluido en el Tratado de Geodesia de L. Puissant


PORTO-FERRAJO
R A D E
Echelle de 2000 Mètres
Echelle de 6000 Toises
TABLEAU
de l'Elévation des Points trigonométriques
au dessus du Niveau de la Mer
GOLFE DE SCARLINO
PIOMBINO
CANAL DE PIOMBINO
M E R
CANAL DE LA CORSE
M É D I T E R R A N É E
PORTO-FERRAJO
PORTO-LONGONE
CARTE
DE
L'ISLE D'ELBE,
DRESSÉE
d'après les Opérations Trigonométriques
extraites
du Traité de Géodésie de M.r Puissant
Par Cl.de PICQUET, Géographe
Et
A Paris,
QUAI CONTI N.o 7,
entre l'Hôtel des Monnoies et le Pont des Arts.
1814
Explication des Signes.
ECHELLES.
Mètres.
Anciennes Toises Françaises.
Milles d'Italie de 60 au Degré.
Lieues communes de France de 25 au Degré.
Mille d'Allemagne de 15 au Degré.
Longitude orientale du Méridien de Paris.



TRAITÉ

DE GÉODÉSIE,

OU

Exposition des Méthodes Astronomiques et Trigonométriques, appliquées soit à la mesure de la Terre, soit à la confection du canevas des Cartes et des Plans,

PAR L. PUISSANT,

Professeur de Mathématiques à l'École Impériale militaire, ancien Ingénieur géographe du dépôt général de la guerre, et Membre de la Société libre des sciences et belles-lettres d'Agen.

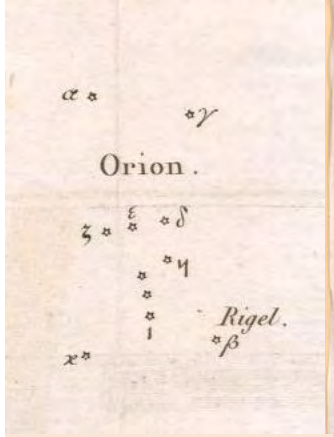
A PARIS,

Chez COURCIER, Imprimeur-Libraire pour les Mathématiques, quai des Augustins, n° 57.

AN XIV = 1805.

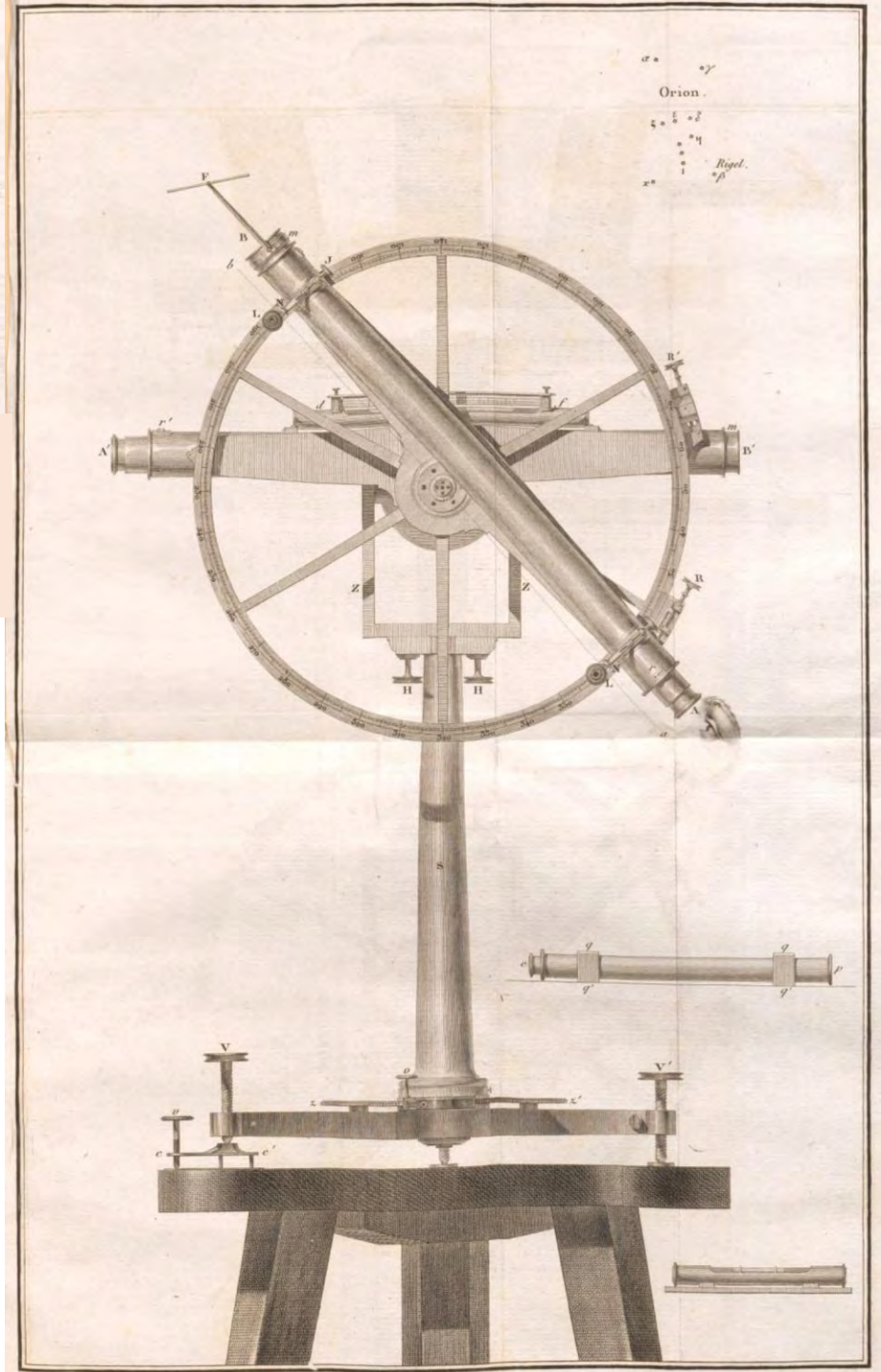
Durante el periodo que estuvo en Elba redactó una de sus obras más sobresalientes: *Traité de géodésie, ou Exposition des Méthodes Trigonométriques et Astronomiques applicables soit à la mesure de la Terre, soit à la confection des canevas des Cartes et des Plans topographiques*; el cual acabaría publicándose en el año 1805, contribuyendo definitivamente al progreso de la geodesia, como vino a reconocer el también geodesta J.B. Biot. Su primera edición, de 390 páginas, fue seguida de una segunda edición de 800 páginas, presentada en dos volúmenes (1819) y por otra con más de 1000, publicada en 1842, que fue muy celebrada por D. F. Arago; Secretario perpetuo de la Academia de Ciencias, adscrita al Instituto de Francia. El Tratado de Geodesia constó de cinco libros, cuyo contenido fue resumido por el autor en el extenso prólogo con que lo presentó. En el primero, con cuatro capítulos, se dieron las nociones de la geometría esférica y del movimiento de los cuerpos celestes; indispensables para aproximarse al conocimiento de la astronomía de posición. El segundo, con cuatro capítulos, estuvo dedicado a la trigonometría plana y esférica, aunque lo terminó con una interesante digresión sobre la proyección estereográfica de los círculos de la esfera. El tercer libro es el fundamental y constó de diecisiete capítulos, consagrados a la exposición de las operaciones geodésicas: medidas angulares, medida de bases, cálculo de los lados de los triángulos, de

las longitudes, latitudes y acimutes de los puntos fundamentales del mapa. El cuarto libro explicó, en sus cuatro capítulos, varios problemas de astronomía, cuyas soluciones se empleaban frecuentemente de nos grandes levantamientos topográficos. El quinto y último libro, con cinco capítulos, trató de los aspectos teórico prácticos relativos a las observaciones astronómicas de mayor utilidad en geodesia. Se cierra el tratado con un Apéndice , en el que se describió con detalle el círculo repetidor.



Detalle de la constelación de Orion. El círculo repetidor en el Tratado de Geodesia.

El tratado anterior fue seguido por otro de Topografía, publicado en 1807, con el título siguiente: *Traité de topographie, d'arpentage et de nivellement*; el cual fue dedicado al Príncipe Alejandro (Louis-Alexandre Berthier), recientemente nombrado vice condestable del imperio francés, el cual unía a su condición de ingeniero geógrafo el título de Mariscal de Campo y Jefe del Estado Mayor del Ejército. La obra se dividió en los cinco libros, de acuerdo con la secuencia que se detalla a continuación. En el libro primero se estudiaron diversos ejemplos de cálculos geodésicos, expuestos en nueve capítulos, debiendo subrayar al tercero de ellos, dedicado a la determinación de la Figura de la Tierra, mediante observaciones pendulares. El libro segundo fue en realidad un compendio cartográfico, explicado en tres capítulos: 1) Sobre las



TRAITÉ
DE TOPOGRAPHIE,
D'ARPENTAGE
ET DE NIVELLEMENT;

PAR L. PUISSANT,

Professeur de Mathématiques à l'École Impériale militaire, ancien Ingénieur-Géographe du Dépôt général de la guerre, et Membre de la Société libre des sciences et belles-lettres d'Agen.

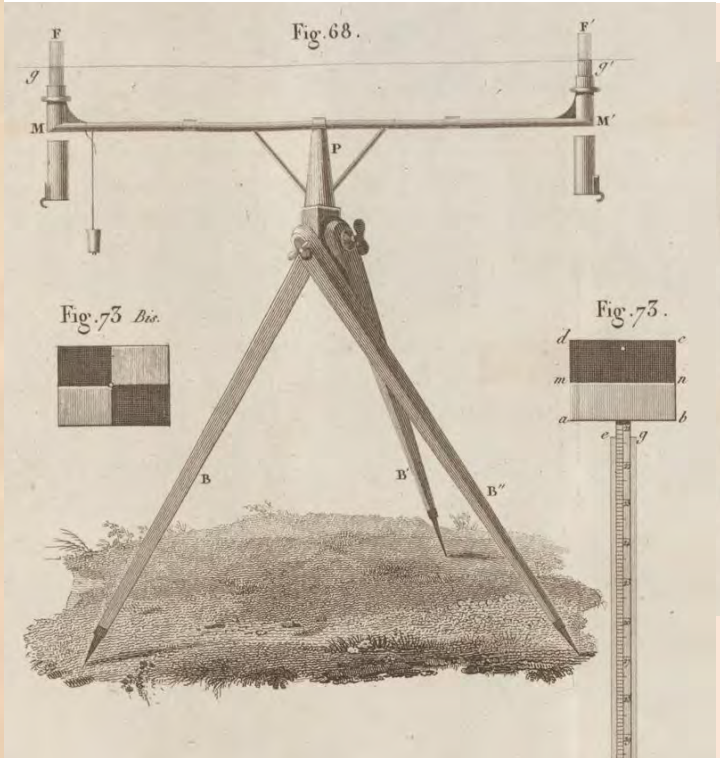
BIBLIOTHEK POLYTECHN. SCHULE

A PARIS,

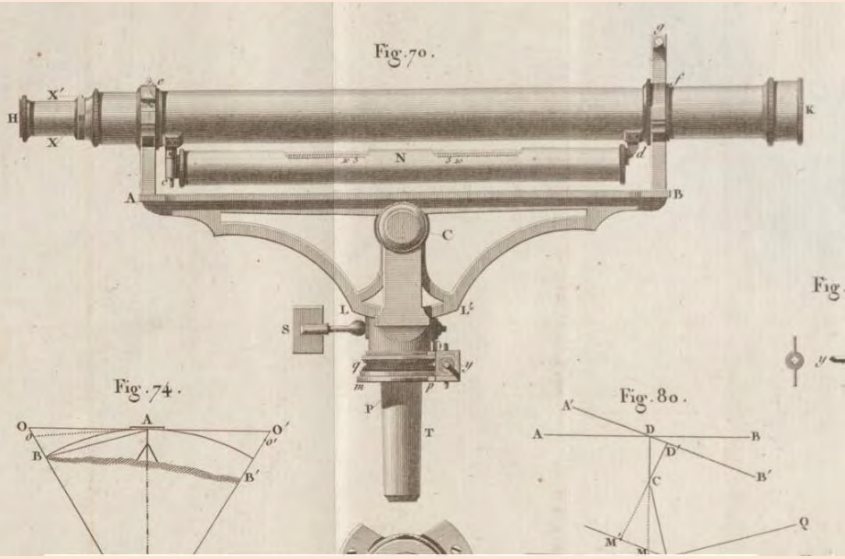
Chez COURCIER, Imprimeur-Libraire pour les Mathématiques, quai des Augustins, n° 57.

1807.

propiedades de las proyecciones estereográfica y ortográfica de los círculos de la esfera, 2) Aplicaciones de la teoría precedente al trazado de mapamundis y 3) Proyecciones basadas en desarrollos. El tercer libro lo dedicó Puissant a las operaciones geodésicas de detalle y a las cuestiones propias de la topografía, dividiéndolo en tres capítulos esencialmente planimétricos. El libro número cuatro trató de la Teoría y Práctica de la Nivelación; el cual fue dividido en cuatro capítulos; La obra concluyó con el libre quinto, en cuyos tres capítulos analizó la reducción y dibujo de mapas y planos; así como lo relacionado con la confección de memorias descriptivas.



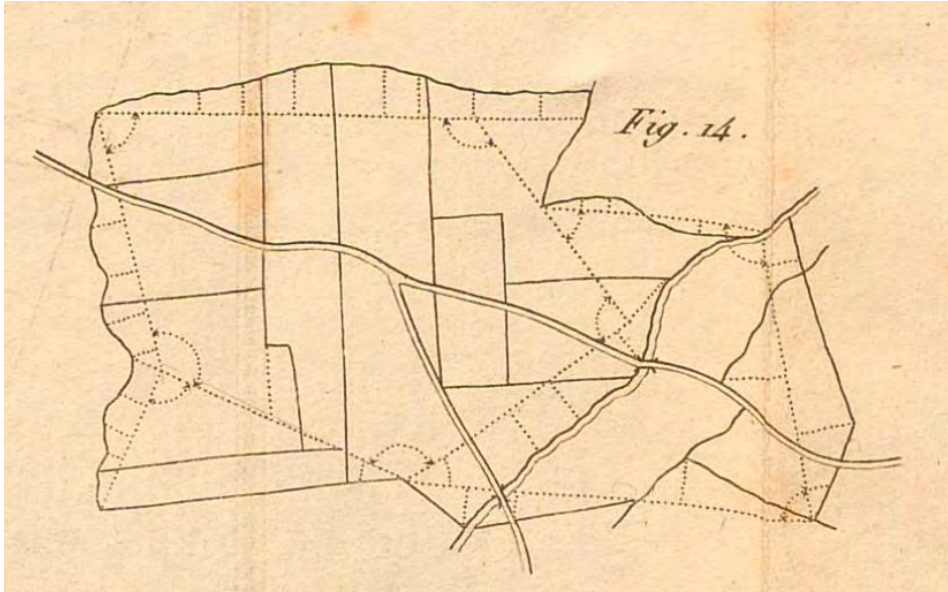
Nivel de agua y tablillas de nivelación (niveletas).

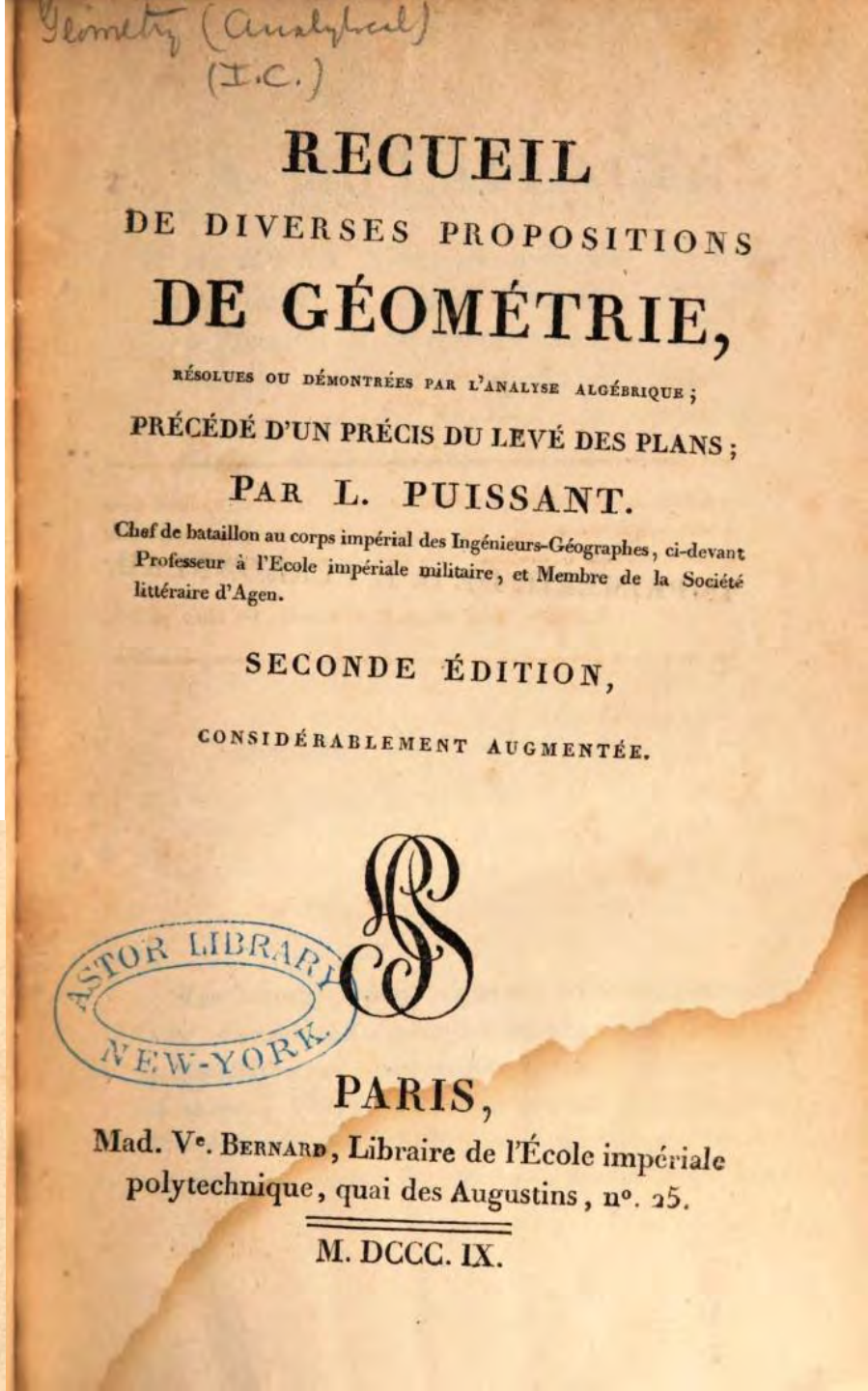


Nivel de anteojo, con esquema aclaratorio de lo que significa la corrección por esfericidad

ILUSTRACIONES DEL TRATADO DE TOPOGRAFÍA

En el año 1809 de nuevo publicó Puissant otro libro en el que la topografía ocupó un lugar destacado, como introducción a la reedición del trabajo que apareció por primera vez en 1801, el título elegido en esta ocasión fue: *Recueil de diverses propositions de géométrie, résolues ou démontrées par l'analyse algébrique; précédé d'un précis du levé des plans*. La obra se dividió en cuatro secciones, subdivididas en capítulos. En la primera de ellas se desarrollaron las aplicaciones de la trigonometría al levantamiento de planos, con siete capítulos; la segunda trató de la geometría plana, con cuatro capítulos; la tercera abordó el estudio de la geometría del espacio, en sete capítulos; dándose en la cuarta nociones sobre la aplicación del análisis trascendente a la geometría, a lo largo de tres capítulos. El libro incluyó una extensa, sentida y respetuosa dedicatoria de Puissant a P. Laplace, su profesor en la Escuela Normal, en la que se apuntaba: «Les encouragemens que reçoivent de vous ceux qui professent ou cultivent les sciences, et la bienveillance particulière dont vous m´avez honoré, sont les motifs qui m´engagent à vous offrir cette faible marque de ma vive reconnaissance».




Geometry (Analytical)
(I.C.)

RECUEIL

DE DIVERSES PROPOSITIONS

DE GÉOMÉTRIE,

RÉSOLUES OU DÉMONTRÉES PAR L'ANALYSE ALGÉBRIQUE;

PRÉCÉDÉ D'UN PRÉCIS DU LEVÉ DES PLANS;

PAR L. PUISSANT.

Chef de bataillon au corps impérial des Ingénieurs-Géographes, ci-devant Professeur à l'Ecole impériale militaire, et Membre de la Société littéraire d'Agen.

SECONDE ÉDITION,

CONSIDÉRABLEMENT AUGMENTÉE.

ASTOR LIBRARY
NEW-YORK.

PARIS,

Mad. Ve. BERNARD, Libraire de l'École impériale polytechnique, quai des Augustins, nº. 25.

M. DCCC. IX.

SUPPLÉMENT

AU SECOND LIVRE

DU TRAITÉ DE TOPOGRAPHIE,

CONTENANT

LA THÉORIE DES PROJECTIONS DES CARTES;

PAR L. PUISSANT,

Chef de Bataillon au Corps Impérial des Ingénieurs-Géographes,
Membre de la Société Philomatique de Paris, etc.

PARIS,

Chez COURCIER, Imprimeur-Libraire pour les Mathématiques,
quai des Augustins, n° 57.

1810.

NAPOLI

Al año siguiente, en 1810, se publicó un suplemento al Tratado de Topografía de 1807, con un contenido esencialmente cartográfico: *Supplément au second livre du Traité de topographie, contenant la théorie des projections des cartes*. Una verdadera lección de cartografía, desarrollada de acuerdo con los cinco capítulos siguientes: I) Trazado de la proyección modificada de Flamsteed, II) teoría analítica de la proyección precedente, III) soluciones numéricas de diversos problemas relativo a la proyección precedente, IV) Fórmulas para determinar la posición geográfica de los vértices geodésicos de primer orden, V) Construcción de las cartas reducidas, a la vista del aplastamiento de la Tierra.

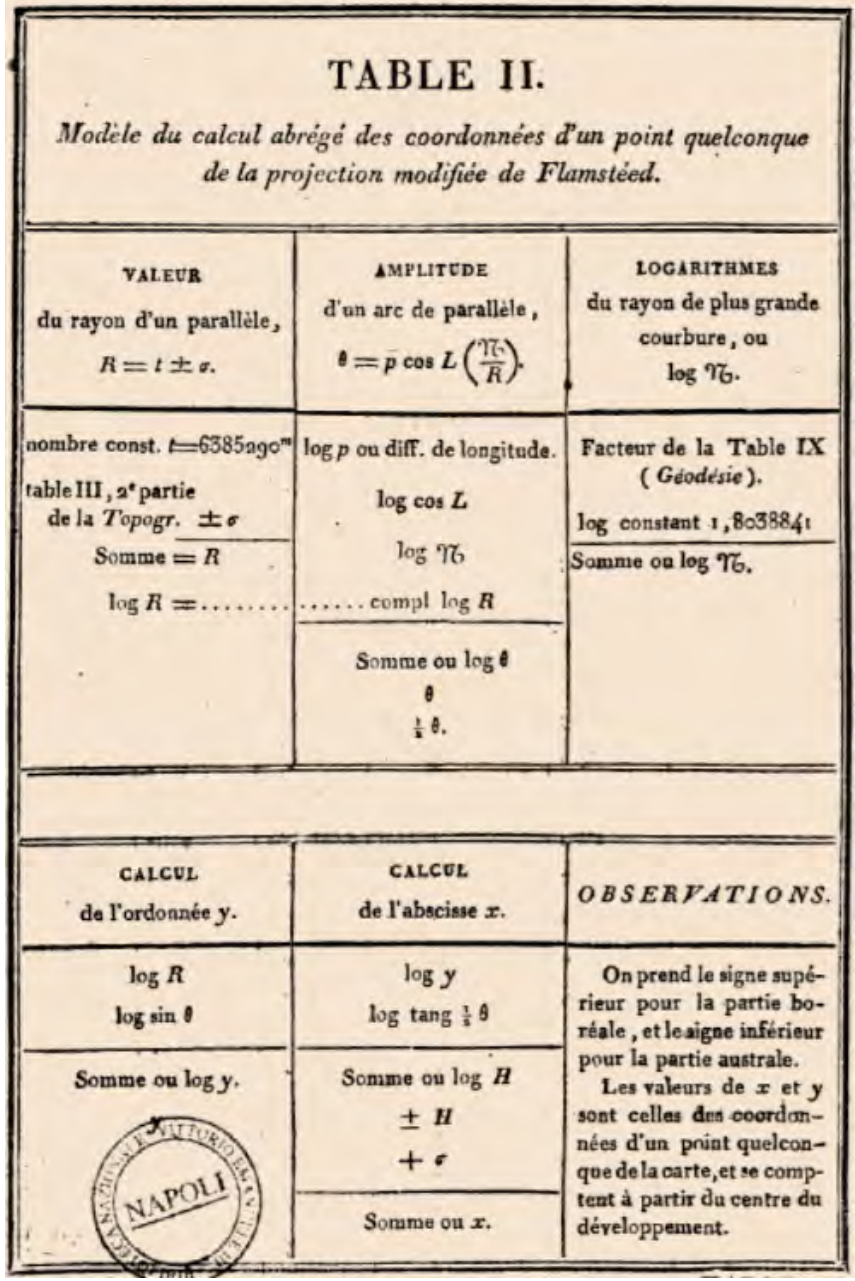


TABLE II.

Modèle du calcul abrégé des coordonnées d'un point quelconque de la projection modifiée de Flamstéed.

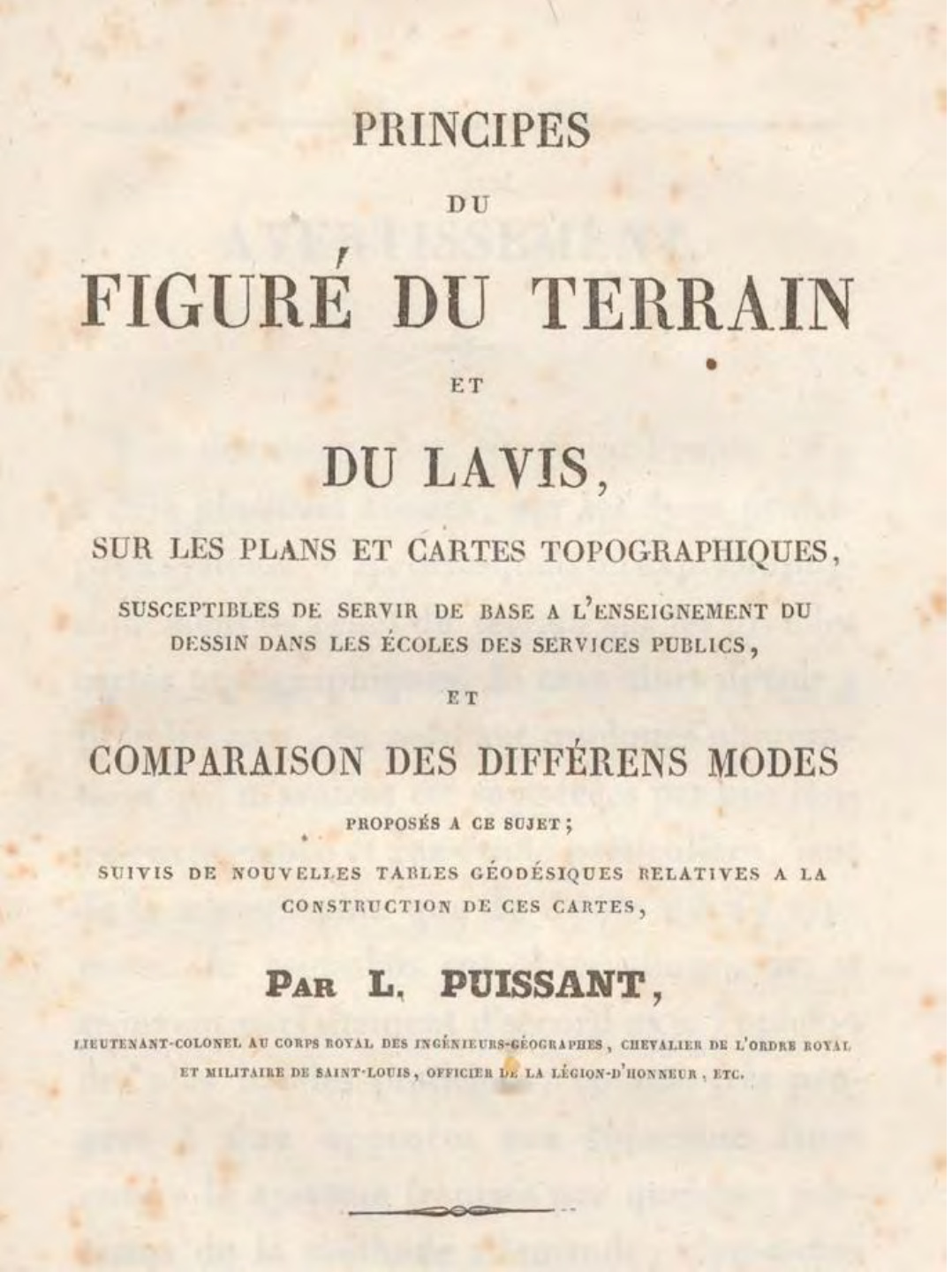
VALEUR du rayon d'un parallèle, $R = t \pm \sigma$.	AMPLITUDE d'un arc de parallèle, $\theta = p \cos L \left(\frac{\mathfrak{N}}{R}\right)$.	LOGARITHMES du rayon de plus grande courbure, ou $\log \mathfrak{N}$.
nombre const. t=6385290^m	$\log p$ ou diff. de longitude.	Facteur de la Table IX (*Géodésie*).
table III, 2^e partie de la *Topogr.* $\pm \sigma$	$\log \cos L$	log constant 1,8038841
Somme $= R$	$\log \mathfrak{N}$	Somme ou $\log \mathfrak{N}$.
$\log R =$	..... compl $\log R$	
	Somme ou $\log \theta$	
	θ	
	$\frac{1}{2}\theta$.	

CALCUL de l'ordonnée y.	CALCUL de l'abscisse x.	*OBSERVATIONS.*
$\log R$	$\log y$	On prend le signe supérieur pour la partie boréale, et le signe inférieur pour la partie australe.
$\log \sin \theta$	$\log \tang \frac{1}{2}\theta$	Les valeurs de x et y sont celles des coordonnées d'un point quelconque de la carte, et se comptent à partir du centre du développement.
Somme ou $\log y$.	Somme ou $\log H$	
	$\pm H$	
	$+ \sigma$	
	Somme ou x.	

NAPOLI

Puissant continuó divulgando sus conocimientos cartográficos, geodésicos y topográficos en años sucesivos, con tantas publicaciones que resulta imposible y poco procedente comentar cada una de ellas, de ahí que se haya optado por hacer una selección un tanto sesgada de las mismas: 1) *Mémoire sur la projection de Cassini, pour servir de supplément a sa théorie des projections des cartes géographiques* (1812); 2) *Instruction sur l'usage des tables de projection adoptées pour la construction du canevas de la nouvelle carte topographique de la France* (1821); 3) *Principes du figuré du terrain et du lavis, sur les plans et cartes topographiques, susceptibles de servir de base à l'enseignement du dessin dans les écoles des services publics, et comparaison des différents modes proposés à ce sujet ; suivis de nouvelles tables géodésiques relatives à la construction de ces cartes* (1827); 4) *Mémoire sur la détermination de la figure de la terre, par les mesures géodésiques et astronomiques*. La llamada proyección de Cassini fue un desarrollo cilíndrico transverso, en el que el cilindro era tangente al meridiano de parís, cuya imagen se transforrmó en el eje de ordenadas, al igual que la del primer vertical fue el eje de abscisas. En la memoria, Puissant desarrolló las fórmulas que relacionan las coordenadas geográficas con las cartesianas, proporcionando las ecuaciones exactas y aproximadas de las representaciones de meridianos y paralelos; suponiendo dos modelos matemáticos para la Tierra: esfera y elipsoide de revolución. En la instrucción correspondiente, se ofrecieron una serie de tablas que facilitaban el uso de la proyección, y se expuso un método simple y directo para formar el canevás de las operaciones topográficas.

La imagen del mundo usando la Proyección de Cassini



PRINCIPES

DU

FIGURÉ DU TERRAIN

ET

DU LAVIS,

SUR LES PLANS ET CARTES TOPOGRAPHIQUES,

SUSCEPTIBLES DE SERVIR DE BASE A L'ENSEIGNEMENT DU DESSIN DANS LES ÉCOLES DES SERVICES PUBLICS,

ET

COMPARAISON DES DIFFÉRENS MODES

PROPOSÉS A CE SUJET;

SUIVIS DE NOUVELLES TABLES GÉODÉSIQUES RELATIVES A LA CONSTRUCTION DE CES CARTES,

PAR L. PUISSANT,

LIEUTENANT-COLONEL AU CORPS ROYAL DES INGÉNIEURS-GÉOGRAPHES, CHEVALIER DE L'ORDRE ROYAL ET MILITAIRE DE SAINT-LOUIS, OFFICIER DE LA LÉGION-D'HONNEUR, ETC.

Puissant realizó un estudio concienzudo de las formas del terreno y de la representación gráfica de las mismas, prestando especial a los diferentes procedimientos de simular el relieve terrestre: el sistema de normales y el de las curvas de nivel. Tres fueron las partes en que dividió su exposición: I) *Principes du Figuré du Terrain sur les plans et cartes topographiques*, II) *Principes du dessin et du Lavis des plans et cartes topographiques*, III) *Explication de nouvelles tables propres a abréger divers calculs dont les résultats sont útiles en topographie*. En la primera se desarrollaron los capítulos siguientes: I) estado de la topografía en Francia, tentativas hechas para cambiar la manera de representar el relieve del terreno en los mapas topográficos, II) Figuras geométricas del terreno según el principio de las curvas de nivel equidistantes, o de las líneas de máxima pendiente comprendidas entre tales curvas, III) Expresión física del relieve terrestre, tras iluminarlo oblicuamente y de acuerdo con las reglas de la perspectiva aérea, preferible a la que resulta del sistema de luz cenital usado por los topógrafos alemanes, IV) Otras pruebas de las ventajas del sistema francés sobre el alemán, V) Algunas reflexiones críticas sobre varios sistemas propuestos para sustituir al del depósito de la Guerra, nuevos argumentos en favor de este último. Los capítulos de que constó la segunda parte fueron:

VI) Papeles apropiados para el calco y el lavado, VII) Sobre el trazado a lápiz y dibujo a tinta, VIII) Sobre la aplicación y degradación de las tintas, IX) Sobre el empleo de tintas de diferentes colores, para las minutas topográficas. La tercera parte se expuso en los tres capítulos restantes: X) Tabla para reducir al horizonte las distancias indicadas, XI) Cálculo de los desniveles, XII)Cálculo de las posiciones geográficas de los vértices de los triángulos de una red de primer orden, con la ayuda de nuevas tablas, y el sistema cartográfico adoptado para el nuevo mapa de Francia.

El sistema de normales en el libro de L. Puissant (1827)

Puissant realizó una brillante memoria sobre la Figura de la Tierra, deducida a partir de las observaciones geodésicas y astronómicas realizadas hasta la fecha en que la escribió. Cuatro fueron los apartados en que fue dividida, a saber: I) Exposición sumaria de las operaciones geodésicas relativas a la nueva carta Geográfica de Francia, y susceptibles de ser aplicadas al estudio de la figura de la Tierra; II) Métodos simples para calcular el desarrollo de un arco de paralelo, controlado por la medida de dos bases; III) Aplicación del método más ventajoso para la determinación del aplastamiento del elipsoide osculador, en un punto cualquiera de la superficie de la Tierra, por la combinación de un arco de meridiano con un arco de paralelo; IV) determinación de las longitudes terrestres por observaciones acimutales.

MÉMOIRE

SUR

LA DÉTERMINATION

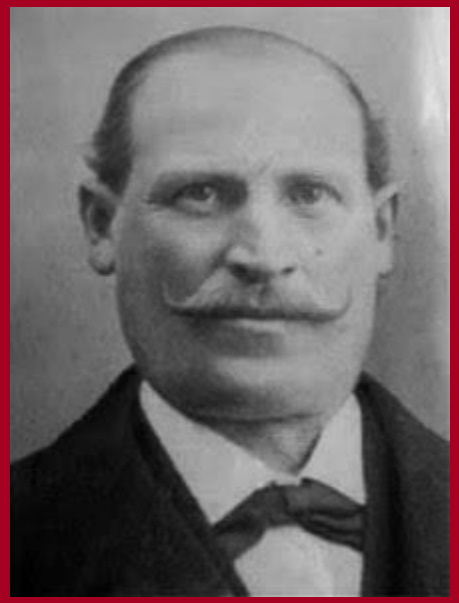
DE LA FIGURE DE LA TERRE,

PAR LES MESURES GÉODÉSIQUES ET ASTRONOMIQUES.

Par M. Puissant.

OTHEQUE RO

DIMENSIONS DU GLOBE TERRESTRE, Déduites des mesures de France et de celles de l'Inde.		DIMENSIONS De l'ellipsoïde osculateur en France, à la latitude de 45° 43′ 12″.	
Aplatissement.	Demi-axes.	Aplatissement.	Demi-axes.
$\frac{1}{305,65}$	$a = 6376920^m$ $\log a = 6,8046082$ $b = 6356076^m$ $\log b = 6,8031850$ Quart du méridien, ou $Q = 10000401^m$	$\frac{1}{292}$	$a = 6377402^m$ $\log a = 6,8046438$ $b = 6355546^m$ $\log b = 6,8031529$ Quart du méridien, ou $Q = 10000454^m$



El 3 de noviembre de 1828, Puissant fue elegido miembro de la Academia de Ciencias para cubrir la vacante causada por la muerte de Laplace, el año anterior.