



# PRESENTACIÓN



Mario Ruíz Morales

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

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

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

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

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

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

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

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

C.Tolomeo en la Biblioteca de Alejandría.



Grabado de Louis Figuier.

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

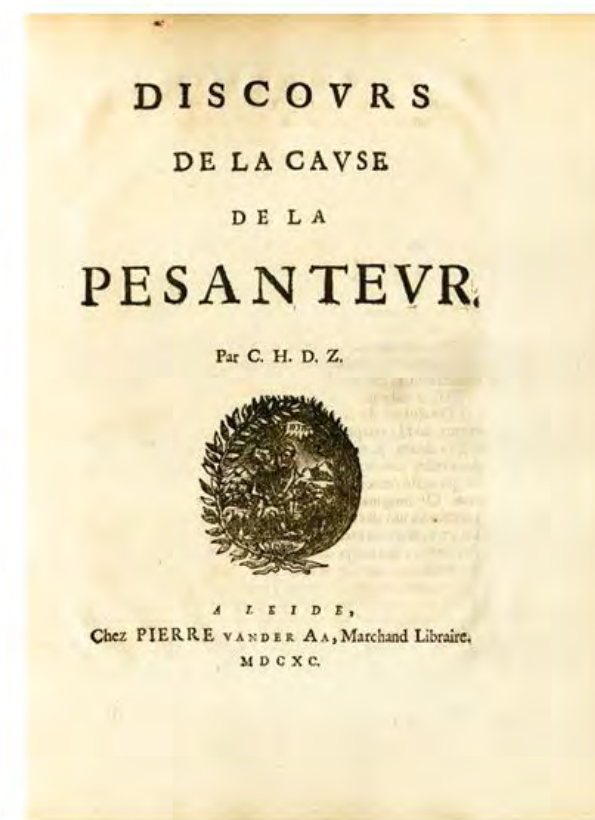
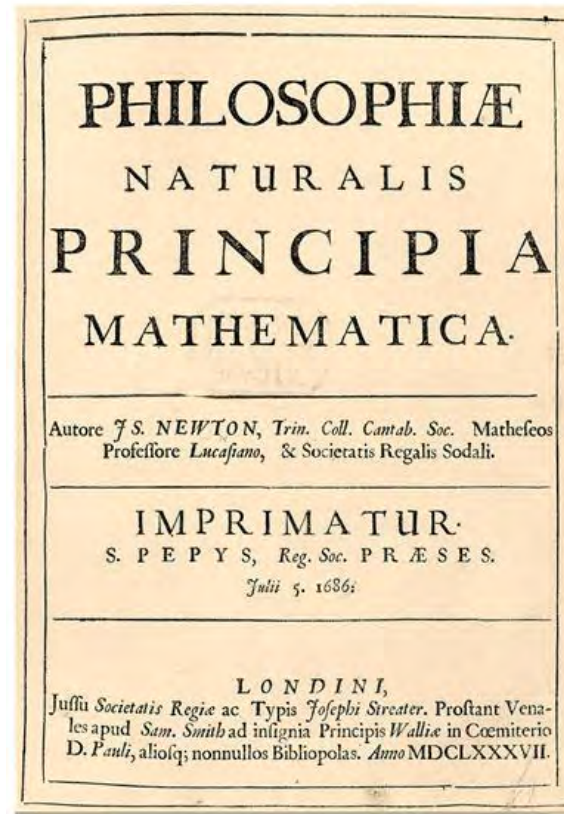
valor que coincidía con la décima parte del desarrollo de un minuto del meridiano terrestre en aquellas latitudes, alrededor de  $27^o 40'$  fue el valor adoptado por el ingeniero francés.

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

Louis Godin



Pierre Maupertuis, achatando la Tierra



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

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

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

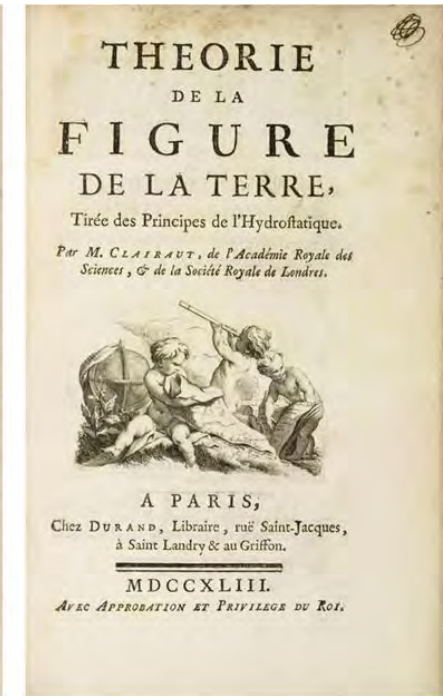
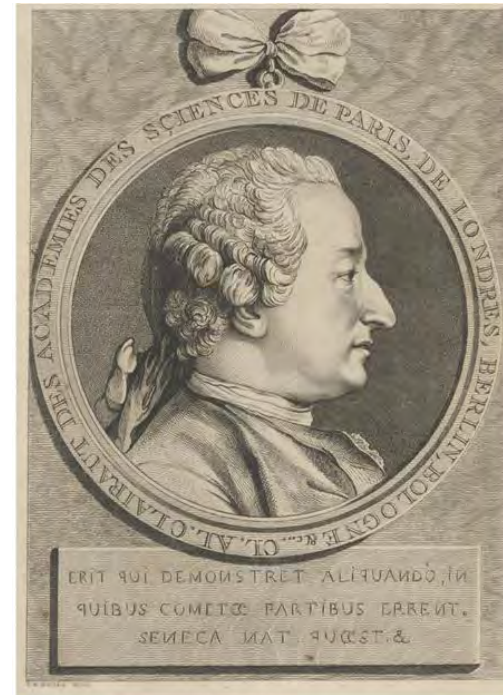
A finales del siglo XVIII, se habían terminado prácticamente todas las medidas de meridiano, incluidas sus verificaciones, así como el cálculo del aplastamiento terrestre; comparando dos a dos los desarrollos correspondientes. Al mismo tiempo se comprobó el crecimiento irregular de los meridianos, una 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 principes 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:

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

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 ( $\beta$ ). 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.

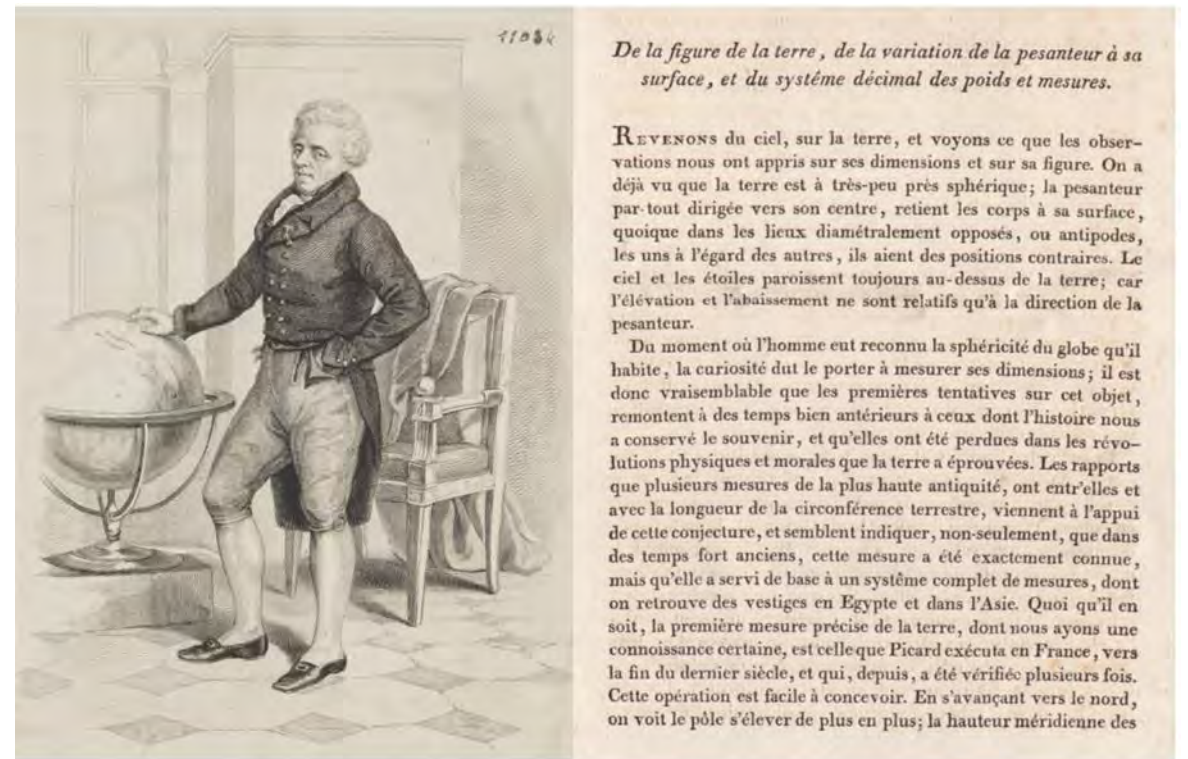


Con Clairaut se produjo un salto cualitativo importante en el estudio de la forma de la Tierra, pues intuyó que con los procedimientos exclusivamente geométricos no se podía avanzar más en la correcta evaluación de su achatamiento; suya fue, en definitiva, la recomendación de introducir en su estudio 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 Systèm du Monde*, en el que desarrolla los tres epígrafes del título.



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

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

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

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



Círculo repetidor de Borda

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

THEORIA  
MOTVS CORPORVM  
COELESTIVM

IN  
SECTIONIBVS CONICIS SOLEM AMBIENTIVM

AVCTORE

CAROLO FRIDERICO GAUSS



HAMBVRO SVNTIBVS FRID. PERTHES ET I. H. BESSER  
1809.

Venditor

PARISIJS ap. Treuttel & Würtz  
STOCKHOLMIAE ap. A. Wiborg  
HAMBVRO ap. Borch  
ANSTADTANI in Italia: Konig- und Indolfer-Comptoir, Sen.



Bestimmung  
des  
Breitenunterschiedes

zwischen den  
Sternwarten von Göttingen und Altona

durch  
Beobachtungen am Ramsdenschens Zenithsector

VON

Carl Friedrich Gauss,

Rektor der Göttingen- und Sternwarte-Ordnung, & Grande, Kaiserlichen Hofrath, Professor der Astronomie und  
Director der Sternwarte in Göttingen, Mitglied der Akademien und Societäten von Berlin, Göttingen,  
Erlangen, Göttingen, London, München, Neapel, Paris, Petersburg, Stockholm, etc.  
Academien, Naturforsch. Gesellschaften, London Astronomical &c.

Göttingen,  
bei Vandenhoeck und Ruprecht.  
1828.

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

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

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

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

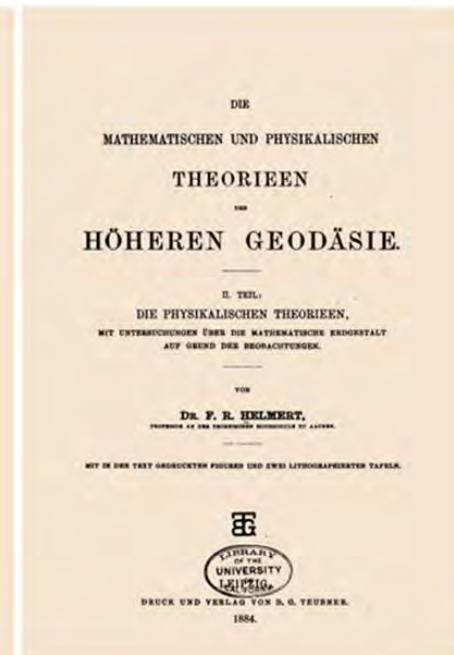
Aunque las medidas anteriores contribuyeran en mayor o menor proporción a la aparición de nuevos elipsoides, no aportaron novedad alguna en relación a los valores de los parámetros previamente fijados: alrededor de 6738 km para el semieje mayor y una magnitud comprendida entre 1/293 y 1/300 para el aplastamiento.

Habida cuenta que los parámetros de los modelos elipsoídicos eran diferentes y las discrepancias no eran achacables a los posibles errores cometidos en las observaciones, se llegó a la conclusión de que la figura de la Tierra solo podía considerarse elipsoídica con un cierto grado de aproximación. Por otra parte se evidenció la necesidad de recurrir a otra metodología para lograr mejores ajustes. Es sabido que con el nuevo procedimiento la zona objeto de estudio no fue ya lineal sino que pasó a tener una cierta extensión, abarcando en ocasiones grandes superficies; de ahí que fuera pronto conocido como método de las áreas (en contraposición con el método de los arcos), consiguiéndose así los primeros elipsoides realmente próximos al 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 del pasado siglo XX, siendo uno de los geodestas más distinguidos de los tiempos modernos. No en vano pasó a la posteridad por los dos volúmenes de su obra más conocida: Die mathematischen und physikalischen Theorien der höheren Geodäsie. En ella consideró a la Geodesia como la ciencia de la medida y representación de la superficie terrestre, una definición muy cierta pero que hoy día conviene complementar: El problema de la Geodesia es determinar la figura y el campo de gravedad externo de la Tierra y de otros cuerpos celestes, en función del tiempo; al igual que, determinar el elipsoide terrestre medio a partir de observaciones realizadas sobre y exteriormente a la superficie de la Tierra (Fischer 1975 a.). A Helmert se debió también la idea de suponer prolongado el 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.



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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

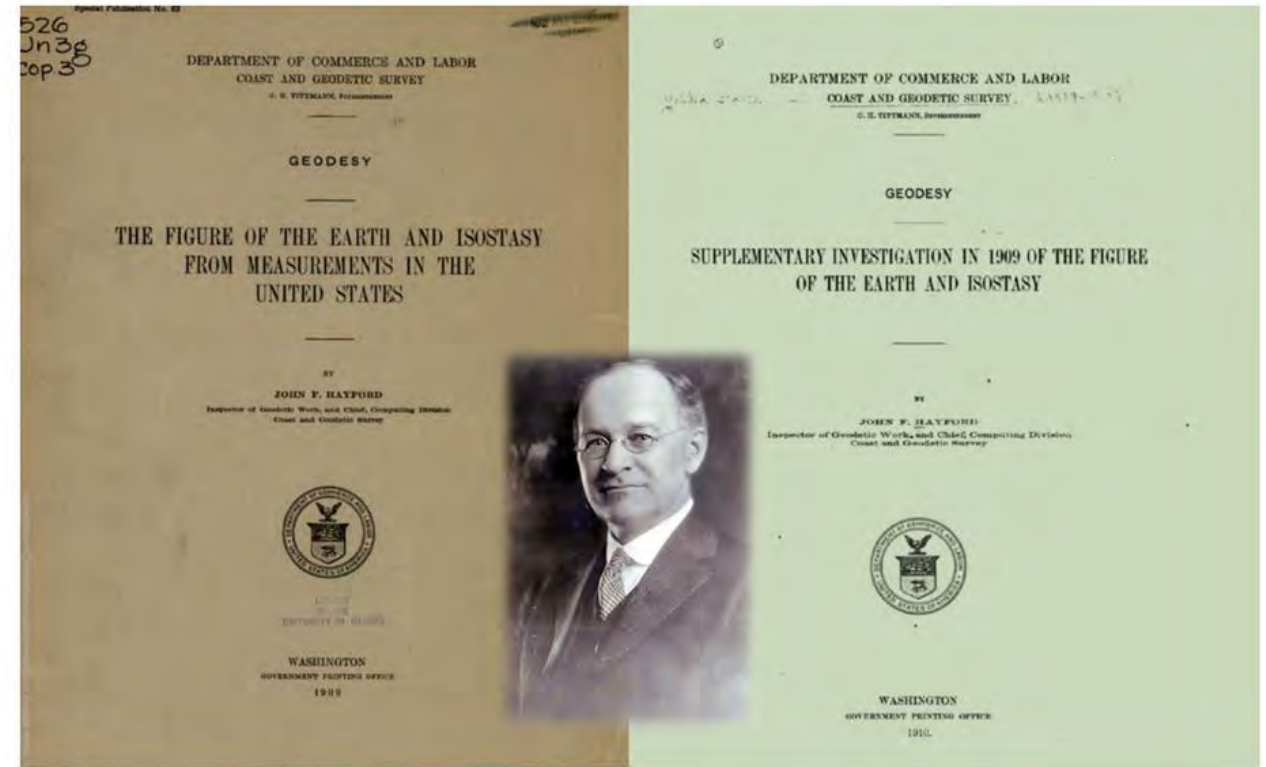
Es lógico que Helmert analizara también el método de los arcos para encontrar los parámetros geométricos del elipsoide, demostrando con sus investigaciones que el semieje encontrado por Bessel parecía demasiado pequeño mientras que el aplastamiento obtenido por Clarke resultaba demasiado grande. Los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

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

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

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

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





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

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

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

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



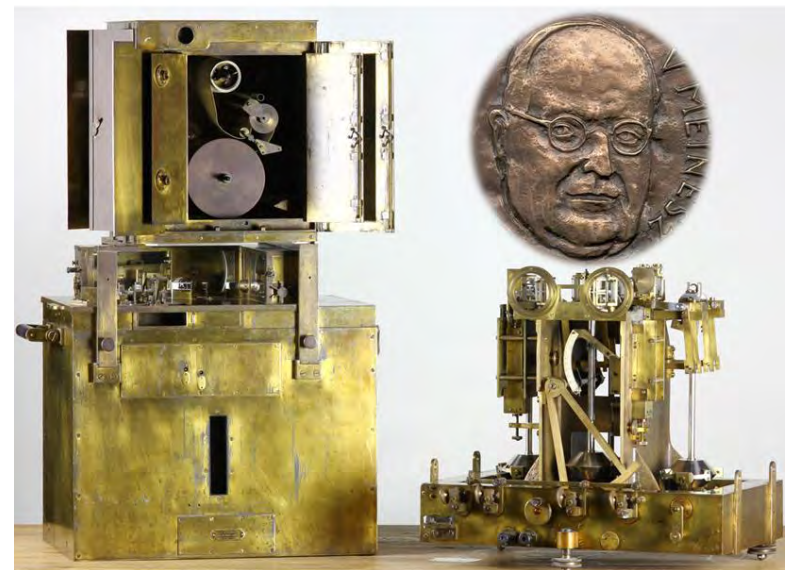
Universidad Estatal de Geodesia y Cartografía (Moscú). Se ha superpuesto la imagen del joven geodesta F. N. Krasovsky

De esa forma, la zona objeto de estudio alcanzó los 20 millones de kilómetros cuadrados aproximadamente. Su triangulación, en gran parte posterior a 1930, se realizó de acuerdo con la nueva normativa internacional, con densidades de bases y estaciones astronómicas cada 100 kilómetros, en las cuales se determinó la desviación de la vertical mediante los datos gravimétricos. Conviene hacer notar que el valor hallado para el aplastamiento coincide con el que se acepta actualmente, una vez analizados los datos gravimétricos más completos (terrestres y marítimos) y los proporcionados por las observaciones relacionadas con los satélites artificiales. Krasovsky fue por lo tanto el principal impulsor de la denominada nivelación astrogravimétrica, 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, hacia 1945, fue puesta a punto por sus discípulos del Instituto Nacional de Geodesia, Fotogrametría y Cartografía de la antigua URSS, culminándose así una obra maestra, que rectificó en fondo y forma todos los conceptos

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

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



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

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

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

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

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



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

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

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

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



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

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

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

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

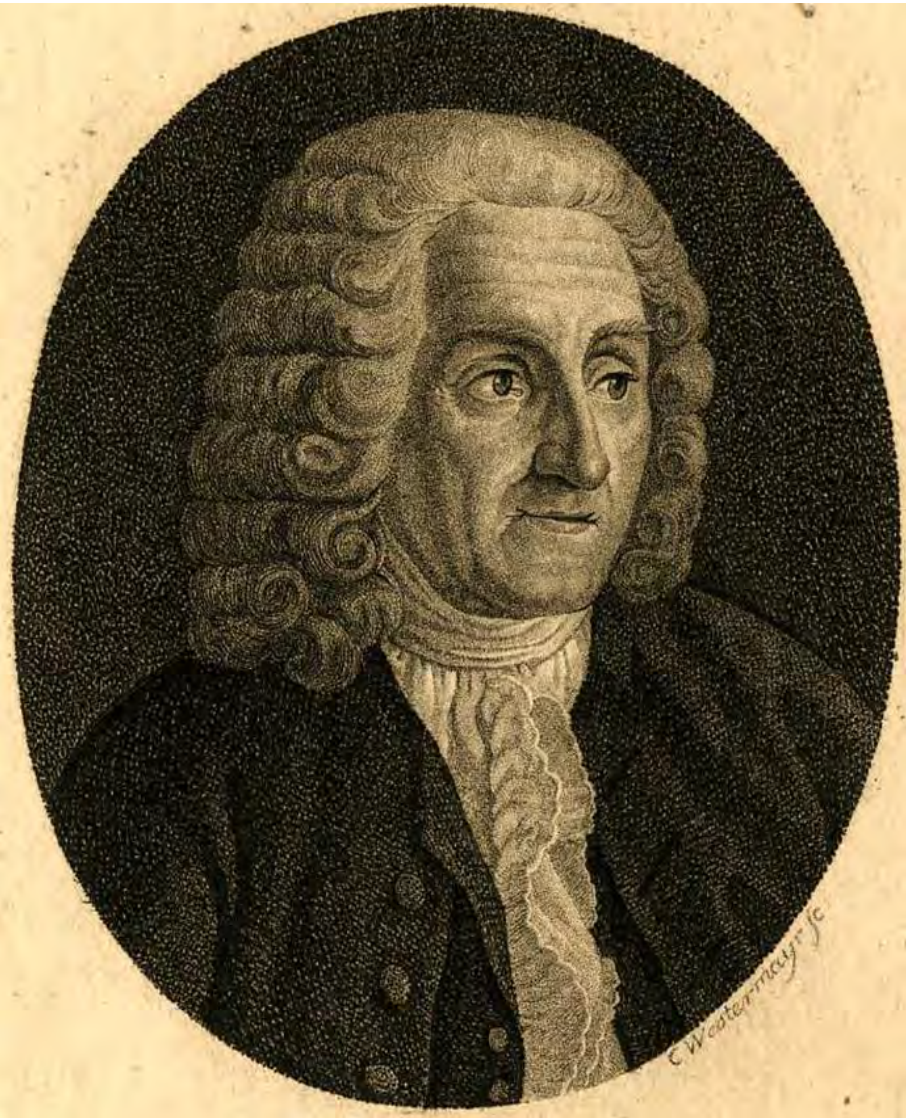
Biblioteca Digital Hispánica, *Europeana*, *Gallica*, *ETH-Bibliothek*, *Search HathiTrust's digital library*, *World Digital Library*, *Bodleian library*, *Cambridge University Library*, *The Dibner Library of the History of Science and Technology*, *Linda Hall Library* e *Internet Archives Digital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

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

Granada septiembre de 2023

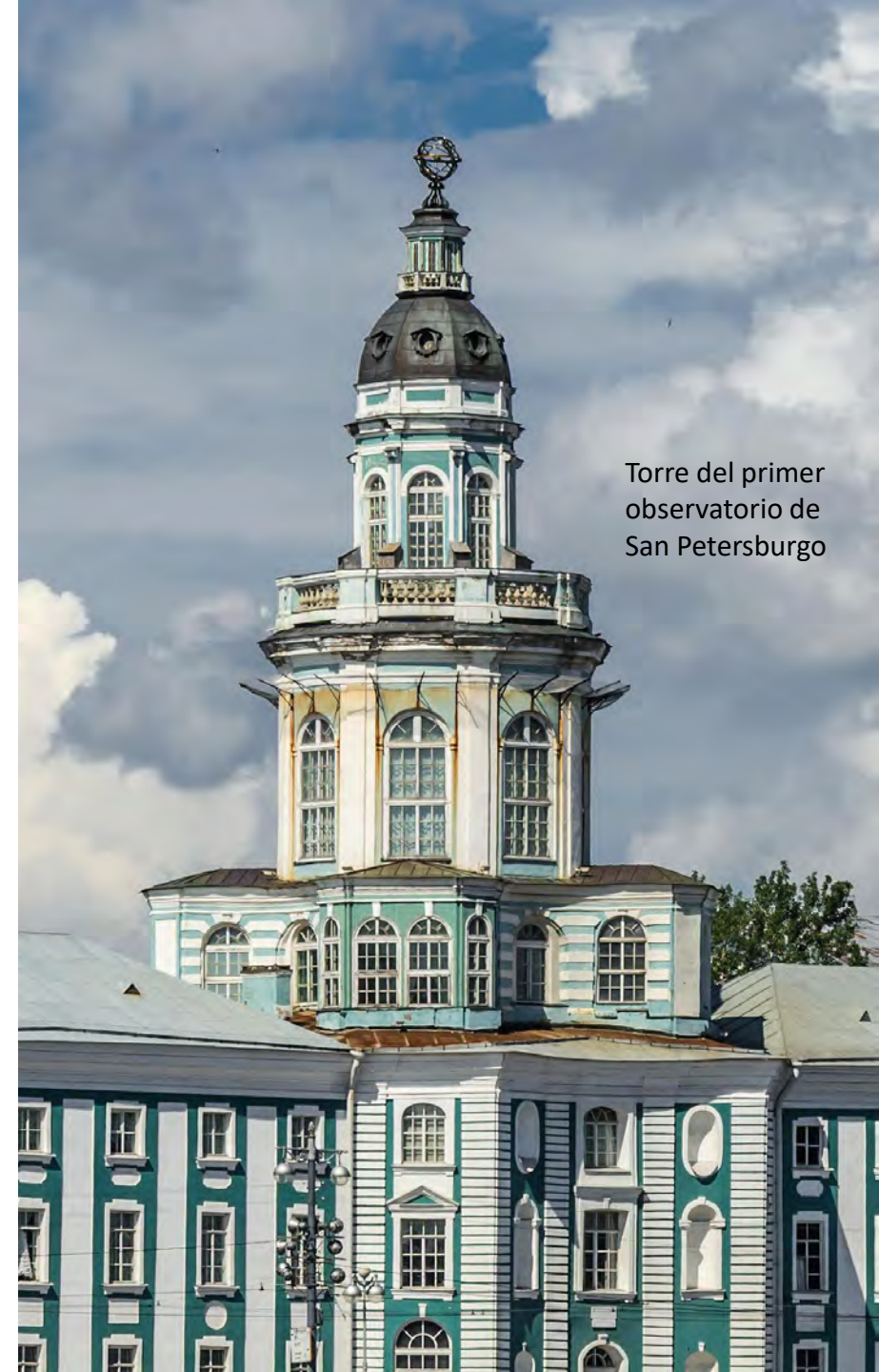
- DELISLE. JOSEPH NICOLAS
- EINSTEIN. ALBERT
- EÖTVÖS. LORAND
- ERATÓSTENES DE CIRENE
- ERTEL. VON TRAUGOTT LEBERECHE
- ESPINOSA TELLO. JOSÉ
- ESQUIVEL. PEDRO DE
- ESTRABÓN
- EUCLIDES
- EUDEMO
- EUDOXO
- EULER. LEONARD
- EVEREST. GEORGE
- FAILLE. JEAN CHARLES DE LA
- FARGHANI. AL
- FAYE. HERVÉ AUGUST
- FEDERICO II. EL GRANDE
- FERMAT. PIERRE DE
- FERNEL. JEAN
- FIBONACCI. LEONARDO
- FIGUIER. LOUIS
- FILOLAO
- FINEO. ORONCIO
- FISHER. IRENE KAMINKA
- FIZEAU. HIPPOLYTE LOUIS
- FLAMSTEED. JOHN
- FLEMING. SANDFORD
- FOUCAULT. JEAN BERNARD LEON
- FRANCOEUR. LOUIS BENJAMIN
- GALBIS. JOSÉ
- GALILEO GALILEI
- GALLE. JOHANN GOTTFRIED
- GAUSS. CARL FRIEDRICH
- GAUTIER DE METZ
- GEMMA FRISIUS. REGNIER
- GERBERTO DE AURILLAC
- GILBERT. WILLIAM
- GODIN. LOUIS
- GORE. JAMES HOWARD
- GOSSELLIN. PASCAL FRANÇOIS JOSEPH
- GRAAFF-HUNTER. JAMES DE
- GREEN. GEORGE
- GUILLAUME. CHARLES EDOUARD
- GUNTER. EDMUND

## Joseph Nicolas Delisle (1688-1768)



Astrónomo y geodesta francés que formó a toda una pléyade de sabios en el siglo XVIII, durante su estancia en la Academia de Ciencias de San Petersburgo San Petersburgo fue profesor de D. Bernoulli y de L. Euler. En el año 1973, Nina Ivanovna Nevskaya (1931-2006) publicó un riguroso trabajo en el que se resumen sus principales aportaciones científicas, que ha servido de base para esta apretada referencia. Sus primeras enseñanzas las recibió de su padre, pasando luego al colegio Mazarin. En el año 1706 se produjo un eclipse de Sol, que marcó el inicio de su carrera como astrónomo; ya que quiso entender la naturaleza del fenómeno para así poder predecirlos. A partir de entonces comenzó a estudiar matemáticas y astronomía, frecuentando el Observatorio de París, donde su director (Cassini I) le asignó trabajos relacionados con las tablas astronómicas. En 1712 comenzó la observación regular del cielo, actividad que continuaría el resto de su vida; siendo elegido el 20 de marzo de 1714 alumno astrónomo de la Academia de Ciencias de París. Su afán de aprender, unido a su excepcional capacidad de trabajo y a sus buenas dotes organizativas, lo hicieron conocido por toda Europa; logrando ingresar en sus principales Academias: París, San Petersburgo, Bolonia, Berlín, Estocolmo, Uppsala, Rouen y la *Royal Society* de Londres.

Sin embargo, al haberse declarado newtoniano encontró dificultades para establecerse en Francia, profundamente cartesiana; lo que le hizo aceptar la oferta del emperador Pedro I el Grande ( 1672-1725) y trasladarse a San Petersburgo en el año 1726, donde llegó a ser el director de su primer Observatorio Astronómico. Delisle fue un estudioso de la historia de la astronomía, pues pensaba que su conocimiento era imprescindible para procurar su progreso; incluso sopesó la idea de escribir un libro sobre el particular, apoyándose en a colección de tratados y manuscritos que había conseguido reunir. No obstante, hacia 1738 fue consciente de su imposibilidad y la conveniencia de ir dando a conocer sus investigaciones de forma puntual. Para el XXV aniversario de su actividad científica, dispuso la edición de un volumen de Memorias en San Petersburgo, con la intención de que sirviera de base para componer en su momento un tratado de astronomía. Fueron múltiples sus actividades durante el periodo en que estuvo al frente del Observatorio anexo a la academia de Ciencias, entre marzo de 1726 y mayo de 1747. A su intento de organizar en Rusia el primer servicio de la hora, se añadió la organización del proyecto para hallar las paralajes del Sol y la Luna, en sitios tan dispares como el cabo de Buena Esperanza, Berlín, Londres y San Petersburgo; cuyos observadores respectivos fueron: N. L. Lacaille, J.J. lalande, J. Bradley y August Nathanael Grischow (1726 -1760).

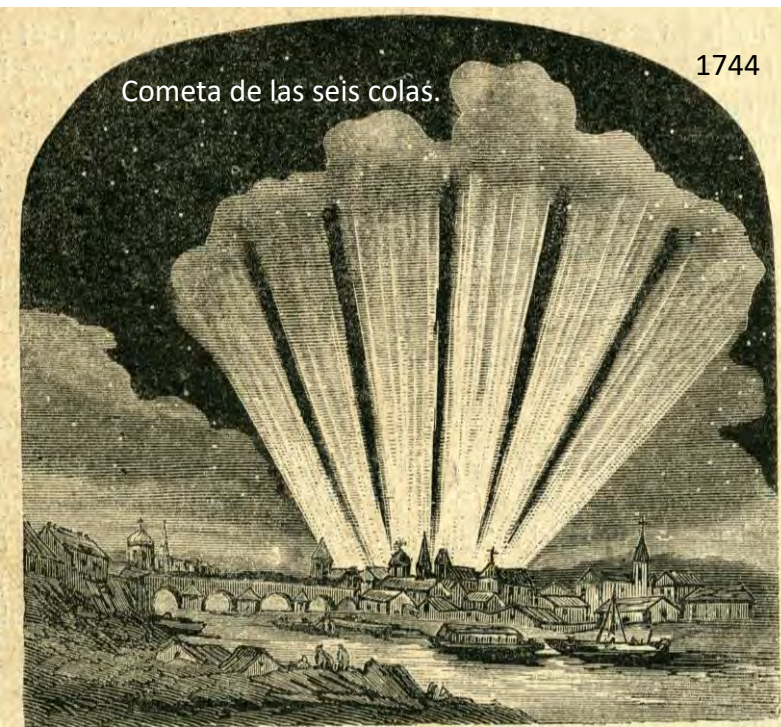


Torre del primer observatorio de San Petersburgo





Monasterio de  
Einsiedeln (Zurich),  
marzo de 1742



Cometa de las seis colas.

1744

Asimismo, fue Delisle quien dirigió el programa previsto para observar los tránsitos de Venus, delante del disco solar, en 1761 y 1769, preparando un mapa en el que indicaban las zonas en que serían visibles. Otra de las actividades en las que participó fue en la determinación de la distancia de la Tierra al Sol, en las de otras notables del sistema solar y en la elaboración de tablas astronómicas. La mecánica celeste fue otra de las materias a las que prestó especial atención, comprobando desde el principio la necesidad de contar con la ayuda de otros investigadores, Euler fue indudablemente el más brillante de todos ellos. Delisle le concedió mucha importancia a la teoría del movimiento lunar, en tanto que podría usarse para una mejor determinación de la diferencia de longitudes; siendo él quien suscitó el interés de Euler por esa cuestión. La aparición de los cometas de 1742 y 1744 llamó la atención de Delisle, el cual dispuso que Gottfried Heinsius (1709-1769), otro miembro de la academia de san Petersburgo, los observara detenidamente para efectuar su estudio. Apoyándose en tales observaciones redactó dos trabajos: *Nouvelles considérations sur la théorie des Comètes*, en el que refirió las teorías de los cometas posteriores a Newton y a Halley, y *Nouvelle manière de considérer les mouvements apparents et réels des Comètes à l'égard du Soleil*, donde expuso el nuevo método de analizar sus órbitas, en los dos criticó abiertamente a Cassini II, por seguir prefiriendo las hipótesis cartesianas de los torbellinos cartesianos a la teoría newtoniana.

Al comprobar Delisle que el cálculo de la órbita del cometa de 1742, aplicando la teoría de Newton, resultaba harto complicado, quiso simplificarlo usando un procedimiento gráfico; para ello pidió la ayuda de Euler, el cual lo resolvió de inmediato el problema planteado. En principio lo hizo a partir de tres observaciones y después a través de cuatro, discutiendo ambos artículos en las sesiones de la Academia de San Petersburgo. La discusión le valió a Heinsius para idear su propio procedimiento y construir un instrumento para el cálculo gráfico aproximado de las órbitas de los cometas, al parecer pudo haber sido el primero que predijo el regreso del cometa Halley en 1759. De ese modo, tanto él como Delisle y

Euler, tuvieron más elementos de juicio cuando apareció el gran cometa de 1744; deduciendo Euler que su órbita era hiperbólica, el éxito de este contribuyó a que Cassini II reconociera la bondad de las tesis newtonianas frente a las cartesianas. La astronomía solar ocupó un lugar predominante en la obra científica de Delisle, siendo determinante su visión de la corona solar durante el eclipse total de 1706. Tras sus primeras observaciones para medir los diámetros del Sol, en los equinoccios y en los solsticios, proyectando su disco sobre el muro de una cámara oscura, pudo por fin disponer de instrumentos en 1712 (instalados en la cúpula del Palacio de Luxemburgo) y realizar otras de ocultaciones de estrellas y planetas por la Luna, así como de los eclipses y manchas solares; midiendo también los diámetros del Sol, la Luna y los planetas. Ese mismo año descubrió casualmente la difracción de la luz al medir la altura del Sol en el instante de su culminación superior (a mediodía).



Palacio de Luxemburgo (París)



En San Petersburgo continuó con sus investigaciones, llegando a publicar en 1738 el artículo titulado *Expériences sur la lumière et les couleurs*, en el que expuso sus resultados sobre la difracción. Delisle se ocupó también de la meteorología y muy especialmente de la refracción atmosférica, ordenando campañas de observaciones sistemáticas, incluyendo las de auroras boreales, y organizando una red de estaciones meteorológicas. Partiendo de dichas observaciones, tanto Euler como el académico Mijail Vasilievich Lomonosov (1711-1765) llegaron a proponer sus propios modelos para la atmósfera terrestre.

Los modelos de ambos sirvieron de base para el posterior estudio de las atmósferas de los planetas, especialmente las de Venus y la Luna. Aunque Delisle pensaba que la densidad de la atmósfera lunar era despreciable, varios de sus contemporáneos estaban convencidos de lo contrario. Con ocasión del eclipse anular de Sol, producido 25 de julio de 1748 y visible en la mayor parte de Europa, ya había publicado Delisle, en el mes de abril, el artículo *Avertissement aux astronomes sur l'éclipse annulaire du Soleil que l'on attend le 25 juillet 1748*; animando a que fuese observado por sus posibles aplicaciones astronómicas, geográficas y físicas. Él mismo así lo hizo desde el observatorio instalado en el Palacio de Luxemburgo, dando cuenta de la operación en la Memoria de la Academia de Ciencias de París: *Observation de l'éclipse du soleil, du 25 julliet 1748, faite à Paris au Palais du Luxembourg*.

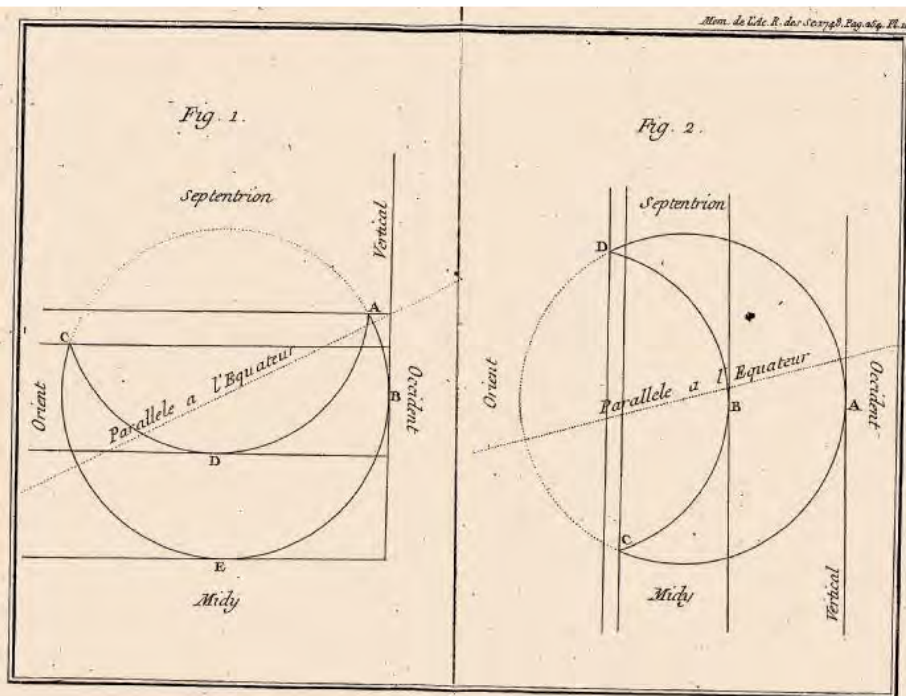
OBSERVATION  
DE L'ECLIPSE DU SOLEIL,

Du 25 Juillet 1748,

Faite à Paris au Palais du Luxembourg.

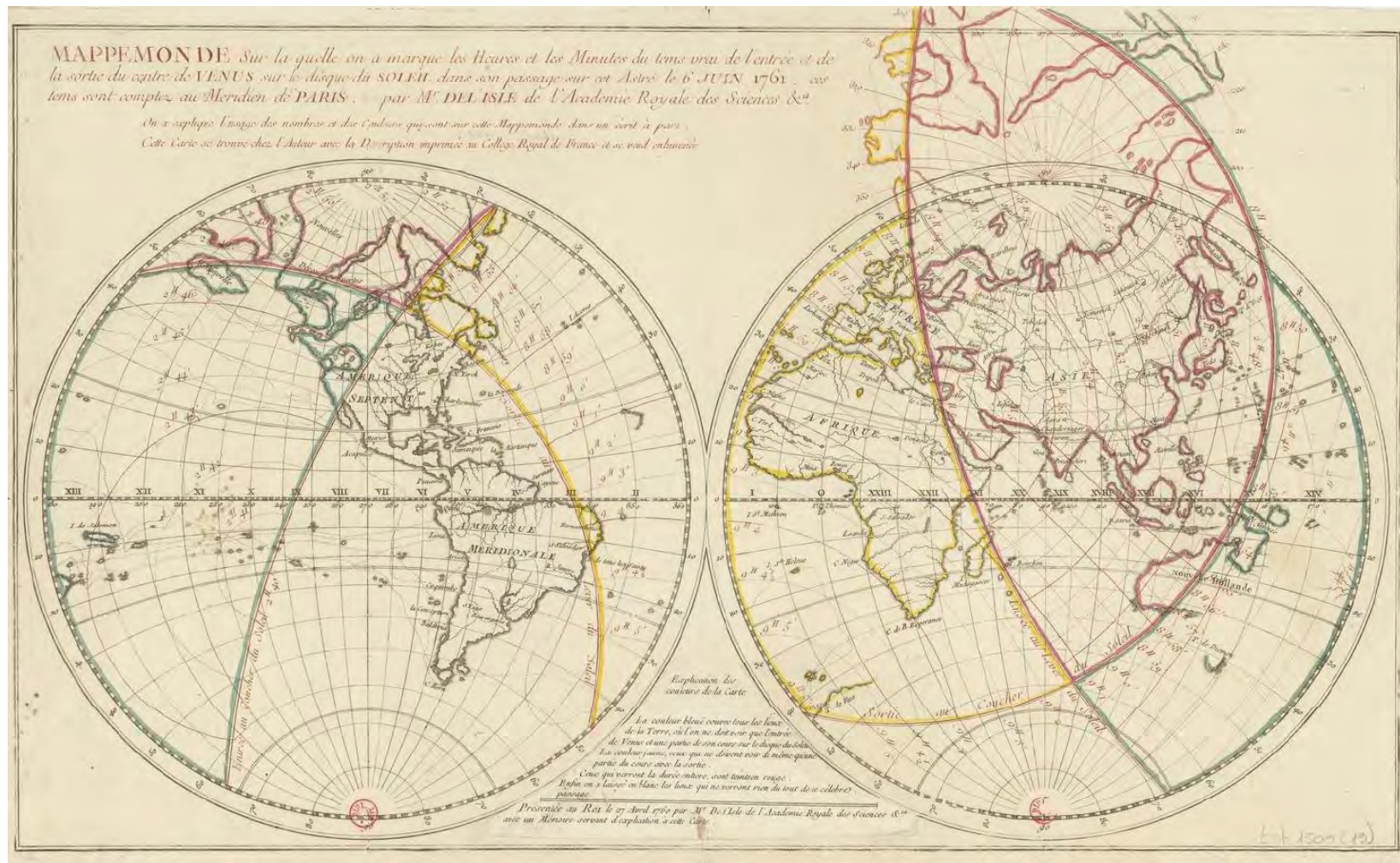
Par M. DELISLE.

LE ciel s'est trouvé si mal disposé à favoriser mes desirs sur cette éclipse, que j'ai desespéré d'en pouvoir rien observer. Le Soleil ayant cependant paru pendant quelques minutes, quoiqu'au travers des nuées qui n'étoient pas trop épailles pour empêcher de l'apercevoir à la vûe simple, mais qui l'étoient assez pour empêcher de prendre des mesures justes avec de longues lunettes, j'ai essayé de déterminer la grandeur de l'éclipse & le diamètre apparent de la Lune par le passage des bords de la Lune, du Soleil & des cornes de l'é-



La recomendación de Delisle fue seguida por muchos astrónomos europeos, entre ellos ha de recordarse necesariamente la observación efectuada por Antonio de Ulloa en Madrid, cuya comunicación fue publicada en las *Philosophical Transactions de la Royal Society* (1749): *Observatio eclipsis solaris Julii 14, et lunæ Julii 28, 1748. Madriti habitæ a domino Antonio de Ulloa*. Tras recibir muchas de las observaciones practicadas, constató Delisle que la Luna carecía de atmósfera, con la salvedad de los observadores que creyeron ver su influencia en un cierto alargamiento del anillo solar, aunque él creyera que se trataba de un efecto indeseado producido por la aberración esférica y cromática asociada al objetivo del telescopio con el que fue observado. Resuelto el problema de la Luna, se abordó la cuestión de la atmósfera de Venus; cuya existencia ya la había parecido evidente a Delisle, cuando observó en 1715 la ocultación del planeta por la Luna. La ocasión de comprobarlo de nuevo se presentó en el año 1761, al pasar Venus delante del Sol. Para su observación se preparó un programa en el que colaboraron las academias de Berlín, París y San Petersburgo. Lomonossov, uno de los observadores, comprobó la existencia de ciertas anomalías en el segundo contacto del tránsito, que achacó a la refracción propia de la atmósfera de Venus.

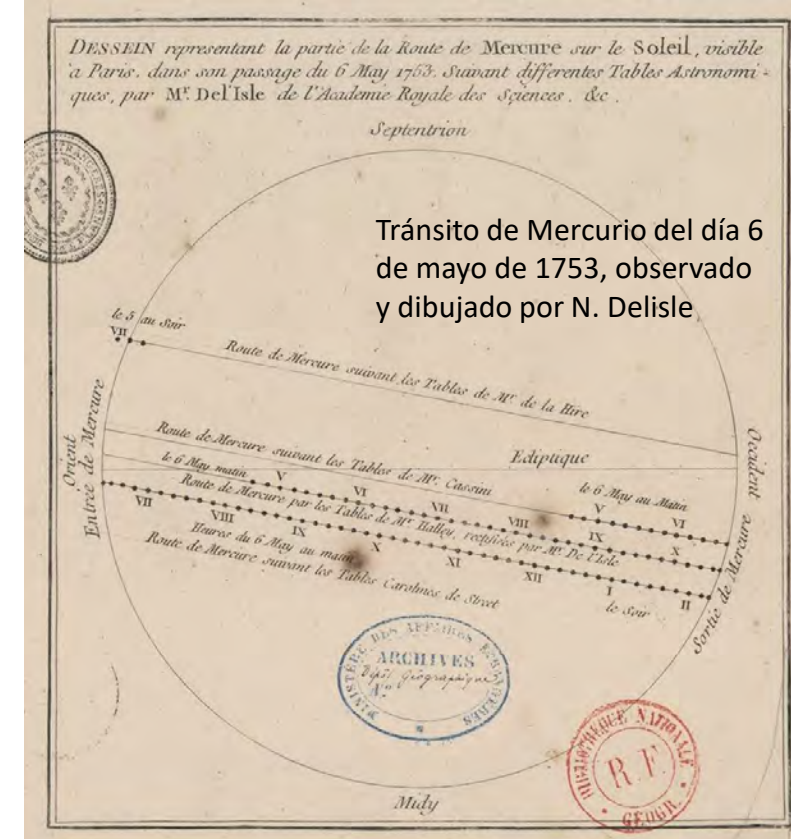
Delisle preparó, para facilitar la observación del tránsito, un mapamundi con los dos hemisferios (oriental y occidental) en el que dibujo las zonas en que sería visible, distinguiéndolas por el color de los arcos que las limitaban: *MAPPEMONDE sur laquelle on a marqué les heures et les minutes du tems vrai de l'entrée et de la sortie du centre de VENUS sur le disque du SOLEIL dans son passage sur cet Astre le 6 juin 1761, ces tems son comptez au meridien de PARIS. par Mr DEL ISLE, de l'Académie royale des sciences (1761).*



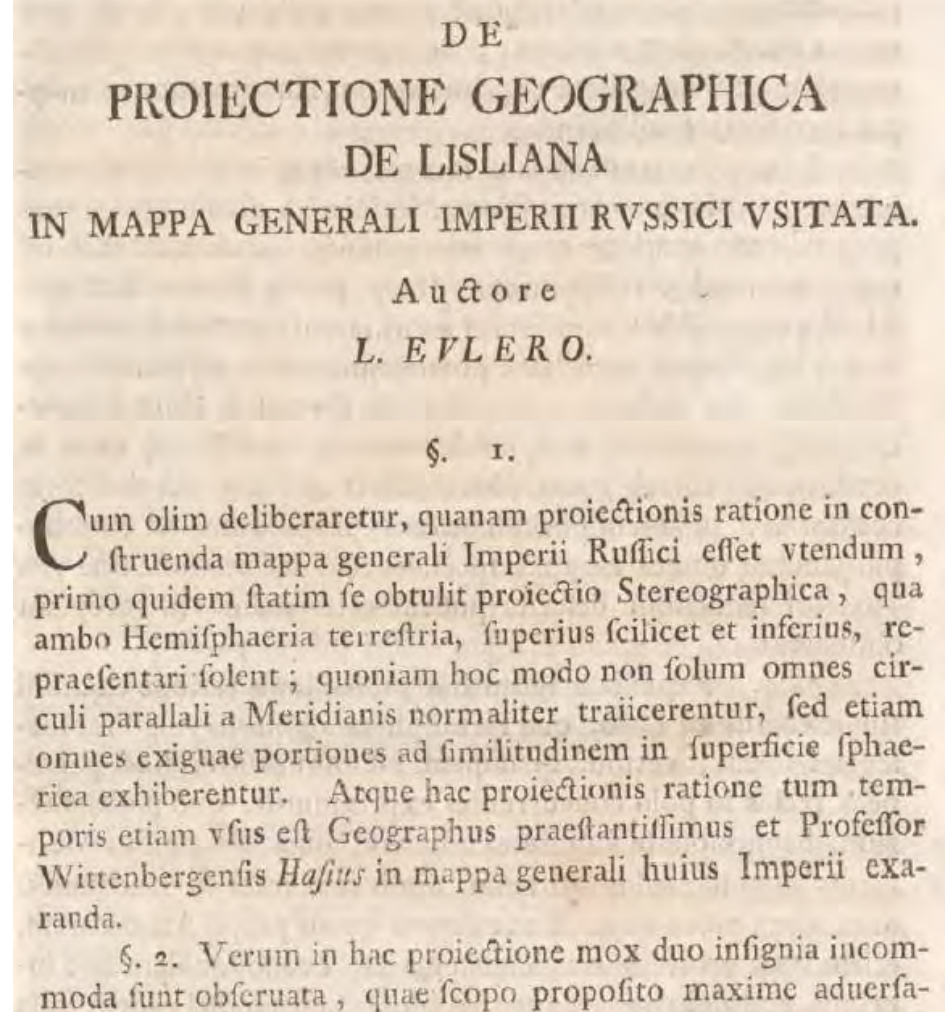
Los arcos de color azul marcan la frontera de los lugares en el que solo se podría ver la entrada de Venus y una parte de su curso a través del disco solar; en los lugares limitados por el color amarillo solo se podría ver parte del curso por el disco del sol y la salida del planeta, en la zona encerrada por el color rojo se encuentran los puntos desde los que podría ser observado la totalidad del fenómeno. Para el resto de la superficie terrestre se trataría de un suceso inobservable. Delisle le presento el mapa al Rey de Francia el 27 de abril de 1760, junto a una memoria que le serviría de explicación.

Delisle pretendió ejecutar en Rusia el plan cartográfico que se había iniciado en Francia, estableciendo por tanto una red geodésica previa en la que deberían apoyarse los levantamientos topográficos posteriores y el dibujo del mapa correspondiente. En el año 1737 propuso medir un gran arco de meridiano dentro del imperio ruso, con una amplitud de  $22^\circ$ , a semejanza de las medidas análogas que se estaban efectuando por entonces tanto en el virreinato de Perú como en Laponia. Con el beneplácito de la emperatriz Ana de Rusia (1693-1740), llegó a medir una base en el golfo helado de Finlandia, entre los castillos de Peterhof (Kronstad) y Doubni (Isla de Retusri), con una longitud aproximada de 13.5 verstas ( $\approx 14.4$  km) y usando perchas de madera. Dos años después la enlazó con algunos vértices de su entorno, midiendo los ángulos con un sector de  $30^\circ$  de amplitud y radio de 15 pies, así como con un cuadrante de 3 pies de lado; pero eso fue todo lo que hizo. Su proyecto cayó en el olvido y nunca se volvió a mencionar ni la medida de la base ni la de los ángulos observados. No se sabe a ciencia cierta a que se debió la suspensión de esos trabajos, aunque W. Struve apuntara a un viaje a Siberia (1740-1741); también parece ser que traslado información al cartógrafo Jean Baptiste Bourguignon d'Anville (1697-1782). Se da la circunstancia de que este trabajo inédito del astrónomo francés fue descubierto en los archivos del Observatorio de París por Otto Wilhelm von Struve (1819 -1905), el cual sucedió a su padre Wilhelm en la dirección del Observatorio de Pulkovo.

Delisle contó en su quehacer cartográfico con la colaboración de su hermano Louis Delisle de la Croyère (1685-1741), que participó en varias de las expediciones geodésicas que se realizaron para reconocer el territorio y



determinar las coordenadas geográficas de puntos singulares del mismo; aunque con éxito desigual a tenor de las palabras de W. Struve: «no es la insuficiencia de medios a la que deben atribuirse sus graves errores, ha de admitirse que la Croyère despreció casi por completo el verdadero objeto de sus viajes». El resultado de esa actividad cartográfica fue el Atlas del Imperio ruso publicado en el año 1745, titulado *Atlas Rossiyskoy, Sostoyashchey iz Devyatnattsati Spetial'Nykh kart*, el cual tuvo tres ediciones: ruso, latín-francés, y alemán. El atlas fue la primera recopilación de mapas elaborados con criterios científicos; apoyado en 62 estaciones astronómicas de las que se determinaron su latitud y longitud. La información geográfica que proporcionó fue novedosa, pues incluía los resultados de las últimas exploraciones geográficas que se habían realizado, como por ejemplo las del danés Vitus Jonassen Bering (1681-1741) en las costas noroccidentales de América. El atlas se basó también en los trabajos previos del topógrafo Ivan Kirillovich Kirilov (1689-1737), de ahí que se le llame a veces atlas de Kirilov. Consta el atlas de 20 mapas: uno general del imperio, 13 de la Rusia europea (1/1470000) y 6 de Siberia (1/3440000). Todos los topónimos se rotularon en ruso, pero con el alfabeto latino; al final del texto que servía de presentación de cada uno de los mapas se incluyó un extenso listado con 48 signos convencionales, que facilitaban la lectura e interpretación de todos ellos.



Rußischer  
**ATLAS,**  
welcher  
in einer  
**General-Charte**  
und  
neunzehn  
**Special-Charten**  
das gesamte  
**Rußische Reich**  
und dessen  
angrängende Länder,  
nach den  
Regeln der Erd-Beschreibung  
und den  
neuesten Observationen  
verfesselt mocht.

Entworfen  
bey der Kayserl. Academie der Wissenschaften.

St. PETERSBURG 1745.



*Atlas ruso, que presenta todo el Imperio Ruso y sus países vecinos en un mapa general y diecinueve mapas especiales, según las reglas de descripción de la Tierra y las últimas observaciones. La amplitud longitudinal del mapa general es de 195° y la latitudinal de 40°, lleva una escala gráfica con pitipiés dividido en millas rusas. Se presentan en esta imagen las cartelas del mapa *Moscoviae Gubernium cum adiacentibus regionibus* y la del *Delineatio Fluvii Volgae a Samara usque ad Tsaricin* (Dibujo del río Volga desde Samara a Tsaritsin). Tsaritsin fue llamada luego Stalingrado, aunque en la actualidad sea conocida como Volgogrado.*





Mapa general del Atlas (1745)

El sistema cartográfico usado por N. Delisle fue estudiado por Euler en su trabajo *De projectione geographica Deslisiana in mappa generali imperii russici usitata* (Acta Academiae Scientarum Imperialis Petropolitinae 1777, 1778, pp. 143-153). La proyección ideada por N. Delisle fue de la familia de las cónicas, siendo las imágenes de los paralelos arcos de circunferencia

concéntricos y las de los meridianos rectas convergentes. El diseño fue tal que los dos paralelos extremos resultaron automecóicos, es decir con la misma escala local en todos sus puntos, en cuanto a su radio, se calculó para tratar de minimizar las inevitables alteraciones presentes entre dichos paralelos. De la actualización del atlas se encargaría en los años venideros Lomonosov.



EXPLICATION  
DE LA CARTE  
DES NOUVELLES DÉCOUVERTES  
Au Nord de la Mer du Sud.

Par M. DE L'ISLE, de l'Académie Royale des Sciences, & Professeur  
de Mathématiques au Collège Royal.

AVERTISSEMENT.



Después de veintidós años en San Petersburgo, N. Delisle partió el 24 de mayo de 1747 con dirección a París, adonde llegó el 15 de septiembre del mismo año. Aunque la Academia de Ciencias había cambiado sustancialmente, fue bien recibido por la mayoría de los astrónomos, ya que muchos de ellos

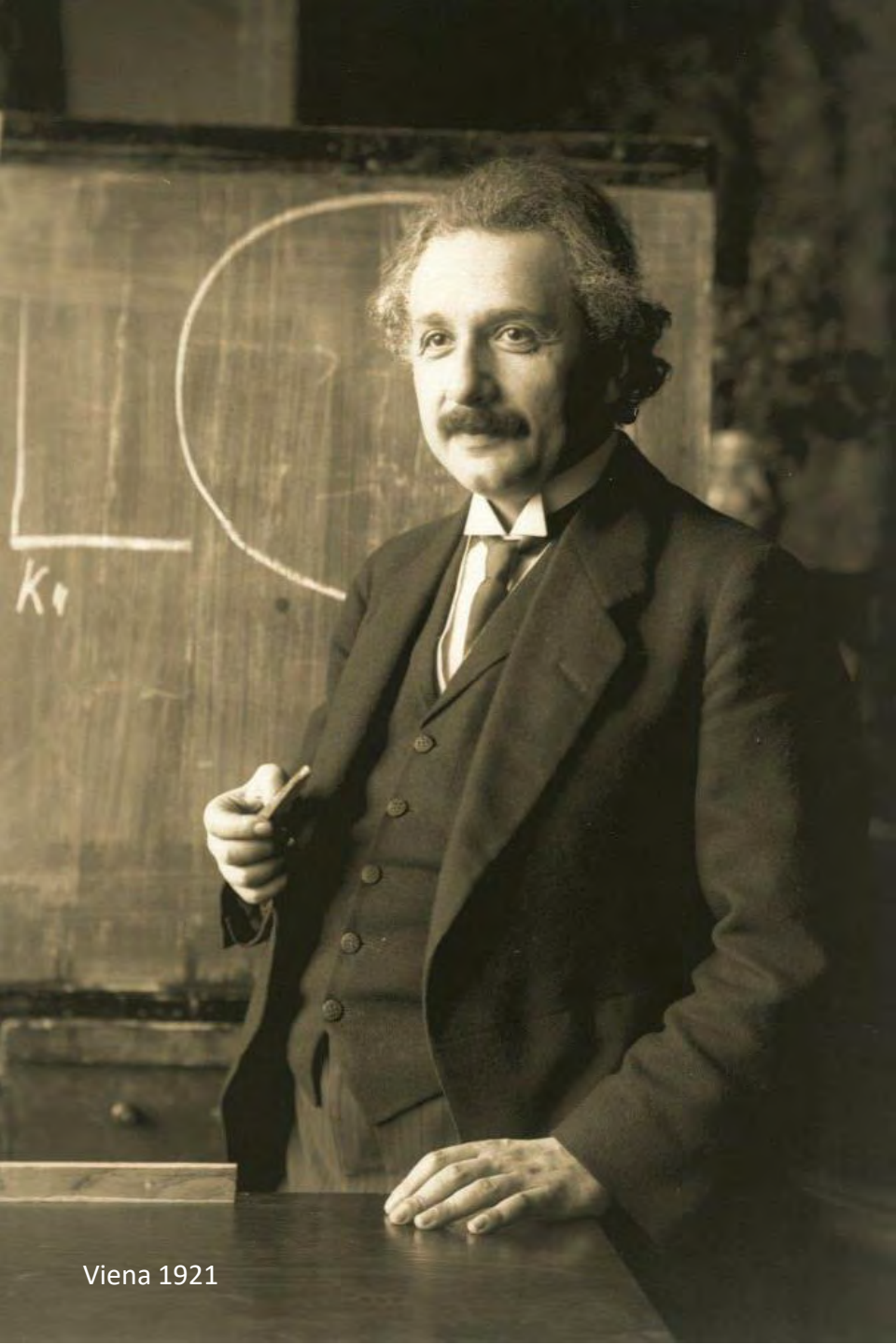
habían sido alumnos suyos o formados por los que lo fueron.

Delisle continuó con su actividad frenética, fruto de la cual

fueron sabias contribuciones ya referidas. De ese periodo proceden asimismo señalados mapas de Tierra Santa u otros relacionados con las últimas exploraciones de españoles y rusos.

## Albert Einstein (1879-1955)

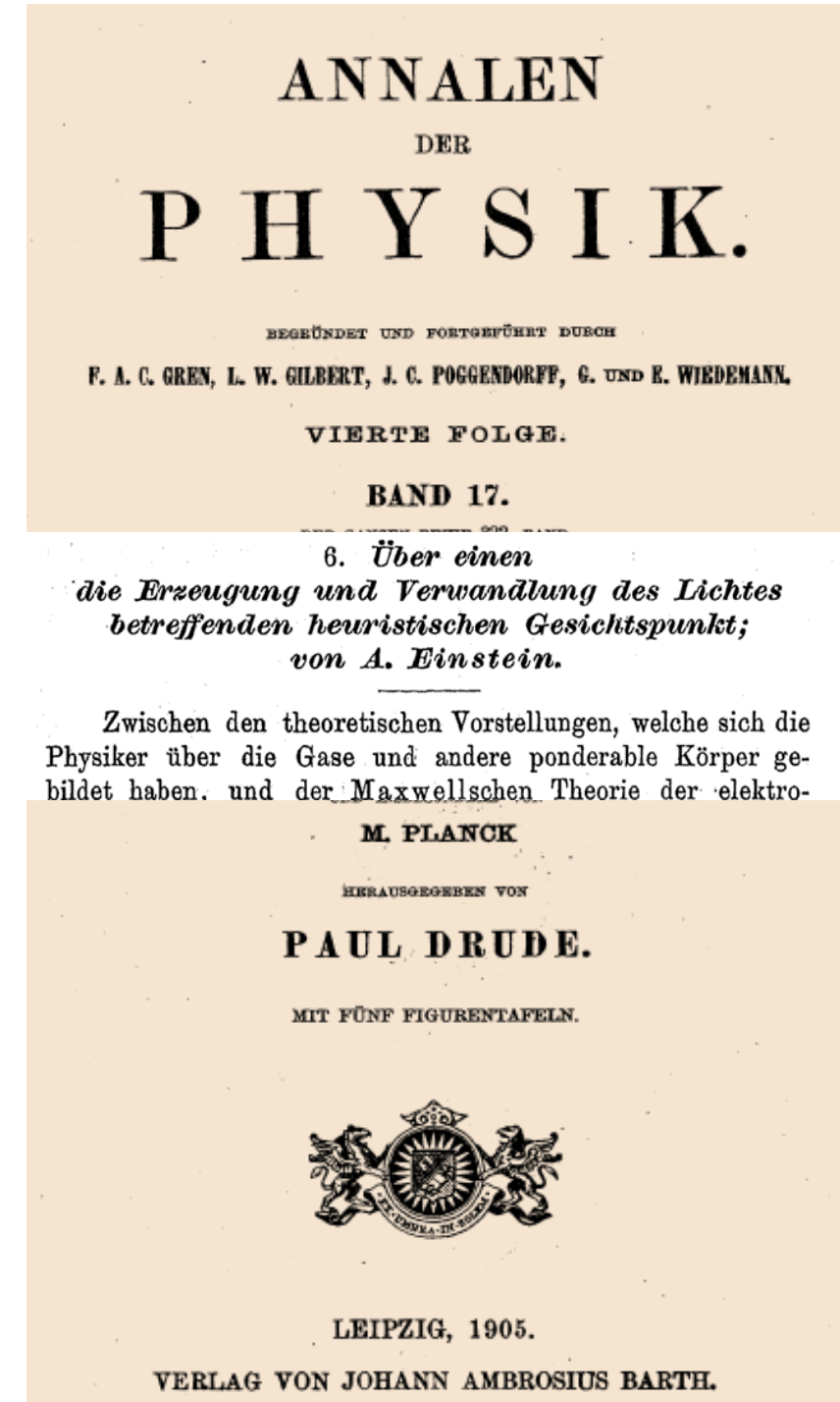
El físico del siglo XX, que con su teoría de la relatividad amplió las fronteras del conocimiento, prediciendo fenómenos astronómicos que ahora son cotidianos (estrellas de neutrones, agujeros negros, ondas gravitacionales); a él se debe la fórmula más famosa del mundo,  $E = mc^2$ , que relaciona la masa con la energía. La curiosidad científica de Einstein fue temprana, comentándose que con solo cinco años, ya pensaba que el movimiento de la aguja magnética era teledirigido; al parecer leyó los Elementos de Euclides, a los que luego se referiría como el libro sagrado de la geometría, cuando era alumno del *Luitpold-Gymnasium* (Munich). En los años siguientes aprendió de forma autodidacta el cálculo diferencial y el integral, aunque en 1895 no consiguiese ingresar en *Eidgenössische Technische Hochschule*, de Zúrich, para graduarse como ingeniero eléctrico. Sin embargo, al año siguiente lo consiguió, tras haberse estado preparando en la ciudad de Aarau; en la Escuela coincidió con el matemático Marcel Grossmann (1878-1936) y con la serbia Mileva Marić (1875-1948), que se convertiría después en su primera esposa. Apenas se graduó quiso encontrar trabajo, pero no lo consiguió hasta que, por medio de su amigo Grossman entró en el Instituto Federal de Propiedad Intelectual (*Eidgenössisches Institut für Geistiges*



*Eigentum*), con sede en Berna, permaneciendo en ella entre 1902 y 1909. Durante ese periodo continuó ampliando sus conocimientos y comenzó a publicar sus primeros trabajos sobre física teórica.

El año 1905 fue especialmente fructífero para Einstein, ya que cuatro de sus artículos fueron publicados en la revista *Annalen der Physik*. En el primero de ellos, *Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt* (Sobre un punto de vista heurístico concerniente a la producción y transformación de la luz), comentó sus investigaciones sobre el origen de las emisiones de partículas, basándose en los trabajos previos de Max Planck. Einstein reinvirtió los resultados de Planck para estudiar el efecto fotoeléctrico y concluyó la luz se comportaba a la vez como una onda y un flujo de partículas, de modo que el efecto fotoeléctrico proporcionó una simple confirmación de la hipótesis de los cuantos (fotones desde 1920) de Max Planck.

Dos meses después, en mayo, Einstein publicó un segundo artículo sobre el movimiento browniano, llamado así en honor del escocés Robert Brown (1773-1858): *Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen* (Sobre el movimiento de pequeñas partículas suspendidas en un líquido estacionario, según lo requerido por la teoría cinética molecular del calor)



# EINE NEUE BESTIMMUNG DER MOLEKÜLDIMENSIONEN

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER PHILOSOPHISCHEN DOKTORWÜRDE

DER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT  
(MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHE SEKTION)

DER

UNIVERSITÄT ZÜRICH

VORGELEGT

VON

ALBERT EINSTEIN

AUS ZÜRICH

Begutachtet von den Herren Prof. Dr. A. KLEINER  
und  
Prof. Dr. H. BURKHARDT



BERN

BUCHDRUCKEREI K. J. WYSS

1905

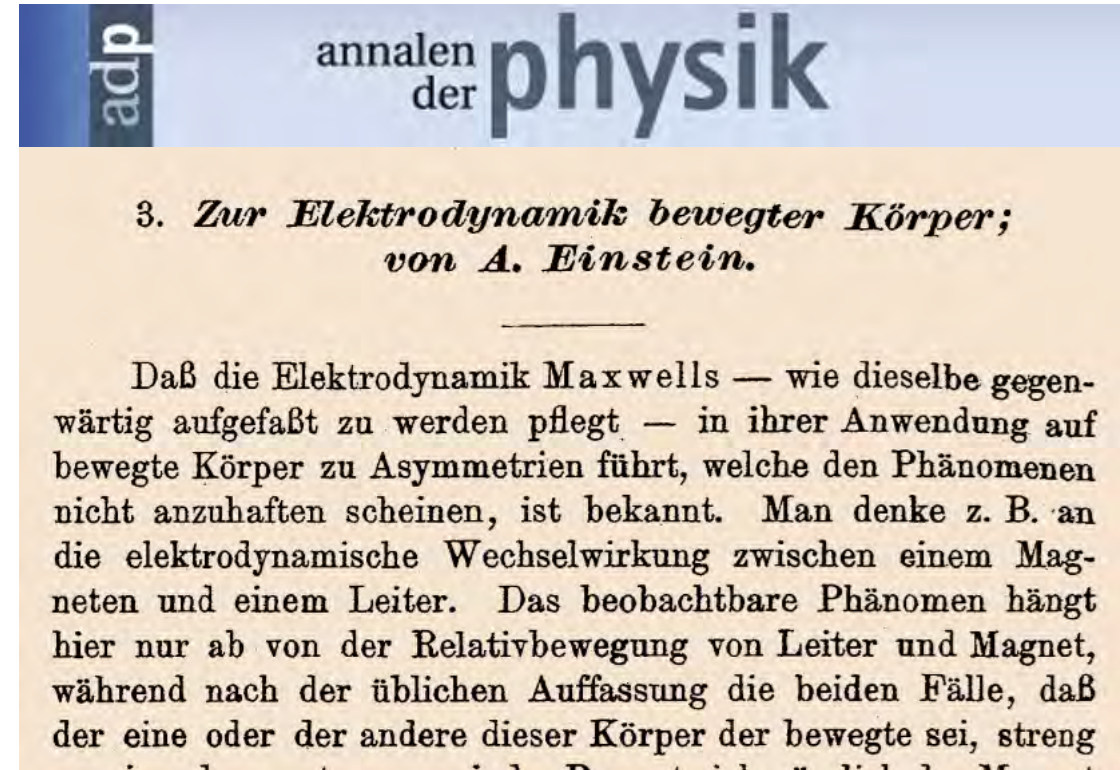
el cual fue desarrollado más adelante en su tesis doctoral *Eine neue Bestimmung der Moleküldimensionen* (Una nueva determinación de las dimensiones moleculares), leída el 15 de enero de 1906, la cual fue dedicada a Grossman. Según Einstein, las moléculas obtenían su energía cinética del calor; con ese segundo artículo se demostró teóricamente de la existencia de átomos y moléculas, verificada experimentalmente por el químico francés Jean Baptiste Perrin (1870-1942) en 1912.

El tercer artículo causó sensación puesto que Einstein rompió con la física newtoniana, siendo recibido el 3 de junio y publicado el 30 de septiembre. En él, *Zur Elektrodynamik bewegter Körper* (Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento), atacó el postulado del espacio y del tiempo absolutos, tal como los suponía Newton, y la existencia del éter, un supuesto medio interestelar inerte que sustentaría la luz del mismo modo que lo hacen el agua o el aire con las ondas sonoras en sus desplazamientos. Einstein logró conciliar las ecuaciones de Maxwell, para la electricidad y el magnetismo, con las leyes de la mecánica, introduciendo una teoría del tiempo, la distancia, la masa y la energía consistentes con el electromagnetismo, pero omitiendo la fuerza de la gravedad. Esa contribución de Einstein sería conocida después como su teoría especial de la relatividad, basada en que las leyes físicas

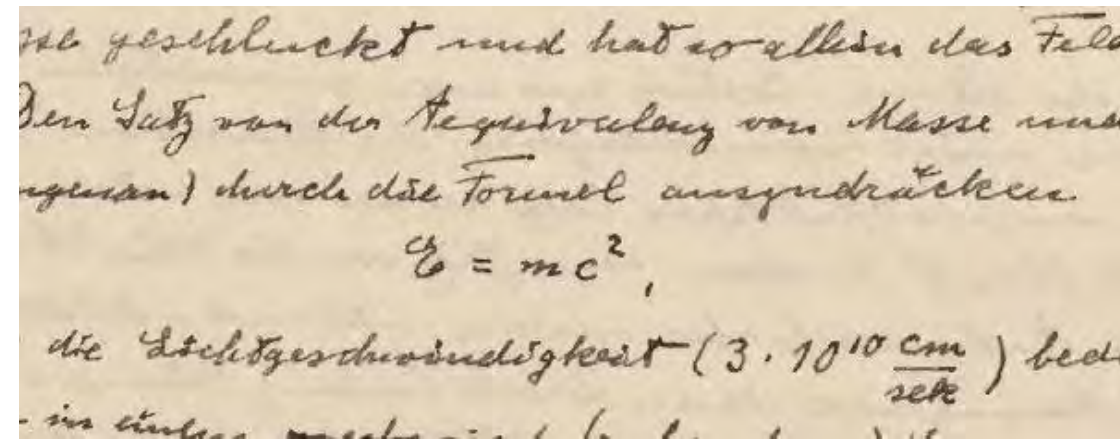
deben tener igual forma con independencia del que sea su marco de referencia.

EL último artículo se publicó en el mes de noviembre, con el título *¿Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?* (¿Depende la inercia de un cuerpo de su contenido energético?). En él dedujo Einstein la celeberrima relación entre masa y energía,  $E = m c^2$ , a la que consideraba realmente importante por demostrar que una partícula másica posee una energía, la energía en reposo, distinta de sus energías cinéticas y potenciales clásicas; un resultado de la novedosa relatividad especial, con un vasto campo de estudios y aplicaciones: la física nuclear, la mecánica celeste y la energía nuclear, por citar tres tan significativos.

Los artículos anteriores le introdujeron de lleno en la comunidad científica de la época, siendo reconocido tanto por M. Planck como por Walther Hermann Nernst Görbitz (1864-1941), quienes en 1909 quisieron invitarlo a la Universidad de Berlín. En julio de ese año fue investido doctor honoris causa por la Universidad de Ginebra y se hizo profesor asociado en la de Zurich.



Fragmento de un manuscrito titulado "E=mc<sup>2</sup>: El problema más urgente de nuestro tiempo", publicado en una edición de 1946 de *Science Illustrated*. El documento es solo uno de los tres documentos manuscritos que contienen la fórmula.



Mileva Marić



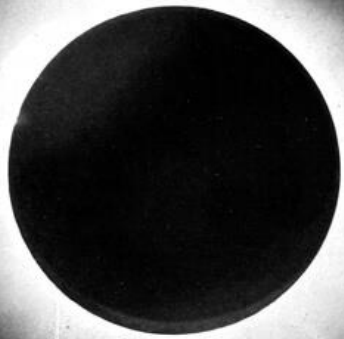
Sin el ánimo de restar importancia alguna a los logros de Einstein, hoy día hay constancia documental suficiente como para afirmar que debería ser mayor el protagonismo de Mileva Marić; ya que fue la autora de alguno de los artículos firmados por él, a la vez que contribuyó con sus mayores conocimientos matemáticos a la formulación de los trabajos publicados durante el periodo en que ambos convivieron.

PRIMERA CONFERENCIA SOLVAY



Sentados (de izquierda a derecha): Walther Nernst, Marcel Brillouin, Ernest Solvay (no estaba presente cuando se tomó la foto de grupo de arriba; su retrato fue toscamente pegado antes de que se publicara la foto), Hendrik Lorentz, Emil Warburg, Jean Baptiste Perrin, Wilhelm Wien, Marie Skłodowska-Curie y Henri Poincaré.  
De pie (de izquierda a derecha): Robert Goldschmidt, Max Planck, Heinrich Rubens, Arnold Sommerfeld, Frederick Lindemann, Maurice de Broglie, Martin Knudsen, Friedrich Hasenöhr, Georges Hostelet, Edouard Herzen, James Hopwood Jeans, Ernest Rutherford, Heike Kamerlingh Onnes, Albert Einstein y Paul Langevin.

Una de las fotografías tomadas del eclipse de 1919 durante la expedición de Eddington



Isla de Príncipe (Golfo de Guinea)

En 1911 ejerció como profesor en la Universidad de Praga, siendo invitado al renombrado primer congreso Solvay celebrado en Bruselas, entre los días 29 de octubre y el 4 de noviembre, donde se reunieron los científicos más conocidos de su tiempo; el nombre del Congreso honra la memoria de Ernest Gaston Joseph Solvay (1838-1922), químico y filántropo belga. En ese año predijo Einstein la existencia de las que luego se llamarían lentes gravitacionales, para explicar cómo se curvarían hacia el Sol los rayos luminosos procedentes de otra estrella lejana; un fenómeno que se comprobó experimentalmente en el año 1919, con ocasión del eclipse solar del 29 de mayo, cuando el físico y astrónomo inglés Sir Arthur Stanley Eddington (1882-1944) observó (desde la isla de Príncipe) cómo se curvaba la trayectoria de la luz proveniente de estrellas muy distantes, con el consiguiente desplazamiento aparente de sus posiciones sobre la esfera celeste.

La observación del eclipse no fue casual, puesto que ese efecto solo puede constatarse durante un eclipse, ya que si no el brillo del Sol impediría la visión de las estrellas. El descubrimiento marcó un hito en la historia de la ciencia, al tratarse de la primera evidencia experimental en favor de la teoría de Einstein.

Un anillo de Einstein, se crea cuando la luz de una galaxia o estrella pasa por un objeto másico camino de la Tierra y se desvía como si proviniese de diferentes lugares. Esta imagen, tomada con el Telescopio Espacial Hubble de la NASA/ESA, muestra a GAL-CLUS-022058s, ubicado en la constelación del Horno en el hemisferio sur. GAL-CLUS-022058s es el anillo de Einstein más grande y uno de los más completos jamás descubiertos en nuestro Universo.





Hacia 1912, Einstein inició una nueva fase de su investigación gravitacional, con la colaboración de M.Grossmann, adoptando para su trabajo la notación propia del cálculo tensorial de Tullio Levi-Civita (1873-1941); denominándolo teoría general de la relatividad. En ese mismo año se mudó de Praga a Zúrich en 1912 para ocupar una cátedra en la *Eidgenössische Technische Hochschule*; ingresando en la academia de Ciencias de Prusia al año siguiente. En 1914 se trasladó a Alemania, al haber aceptado compaginar su investigación en la academia con una cátedra (exenta de docencia) en la Universidad de Berlín. Tras varias tentativas, al final del año 1915 publicó la versión definitiva de su teoría de la gravitación, conocida hoy como relatividad general. El experimento de Eddington (1919) hizo que fuese reclamada la presencia de Einstein en todo el mundo. En noviembre del año 1922 recibió el premio Nobel de Física de 1921, aunque no fuese por la relatividad sino por su descubrimiento del efecto fotoeléctrico; como por entonces se encontraba en Japón, se le entregó el 11 de julio de 1923 en la ciudad de Göteborg, en donde pronunció la conferencia preceptiva.





La medalla del premio Nobel

En 1925 se le concedió la medalla Copley de la *Royal Society* y en 1926 la de oro concedida por la *Royal Astronomical Society*. A comienzos del año 1933 decidió no volver a Alemania, por el ascenso del nazismo, y aceptar la invitación de Abraham Flexner (1866-1959), fundador y director del Instituto de Estudios Avanzados de Princeton, donde empezó a trabajar. Su investigación tuvo como objetivo desarrollar una teoría de campo global, explicando las cuatro interacciones elementales: gravitación, interacción electromagnética, interacción débil e interacción fuerte. En el año 1935 se le concedió la medalla Franklin.



Celebración del 70 cumpleaños de Albert Einstein en el *Institute for Advanced Study*. De izquierda a derecha: H. P. Robertson, E. Wigner, H. Weyl, K. Goedel, I. I. Rabi, A. Einstein, R. Ladenburg, J. R. Oppenheimer, and G. M. Clemence.



## Loránd Eötvös (1848-1919)

Uno de los mayores científicos de Hungría, estudioso de la tensión superficial y de la gravitación, e inventor de la balanza de torsión que lleva su nombre, con la que midió las variaciones del campo gravitatorio. Simultaneó sus estudios de Derecho en la Universidad de Pest (que llevaría su nombre desde 1950) con las clases particulares de matemáticas que le impartió Otto Petzval (1809-1883); finalizados estos en 1867, completó su formación científica en las universidades de Heidelberg y de Königsberg. En la de Heidelberg se doctoró en el año 1870, con una tesis en la que abordó los problemas de Fizeau asociados al movimiento relativo de una fuente luminosa. En 1871 volvió a Hungría, siendo nombrado profesor ayudante en la Universidad de Budapest, aunque al año siguiente ya fuera profesor titular de física teórica. En los años siguientes (1876-1886) continuó investigando sobre la tensión superficial, una cuestión sobre la que venía interesando desde que lo hizo con Franz Ernst Neumann (1798-1895) en Königsberg, al presentar su idea de un instrumento para medirla.

descubriendo que el coeficiente de temperatura de la energía molecular superficial de un líquido es independiente de la naturaleza de los líquidos simples no asociados. No obstante, a partir de 1886 centró su atención en la gravitación, dedicándose a ello el resto de su vida; inventó una balanza (la balanza de Eötvös) con la que logró demostrar la equivalencia entre la masa gravitacional y la masa inercial. Las primeras mediciones de campo con su balanza de torsión se llevaron a cabo, durante el mes de agosto de 1891, en la colina de Ság, cerca de Celldömölk (Transdanubia). La singularidad de la balanza (o péndulo) ideada por Eötvös, con relación a los modelos previos, fue que la altura de las masas (de composición diferente, pero del mismo peso) colocadas en los extremos de la barra era regulable, de modo que la torsión se podría evaluar vertical y horizontalmente. Cuando el instrumento dejaba de oscilar, un índice giraba hasta alcanzar el equilibrio en la dirección de la anomalía gravitatoria. Todo el conjunto está encerrado dentro de una caja con dos o tres paredes aislantes, en función de las partes a proteger, con el objetivo de minimizar los gradientes de temperatura. Asimismo llevaba incorporados termómetros para controlar la constancia de la temperatura en el interior del dispositivo. Un espejo unido a la barra, permite reflejar un rayo de luz y así observar cualquier pequeña desviación con un telescopio. La pericia instrumental de Eötvös fue determinante para alcanzar resultados de elevada exactitud y de tanta aplicación en la prospección geofísica.



Balanza de Eötvös  
(Sághegyi Múzeum)



Observaciones en la colina de Ság,  
para calibrar el dispositivo



Pilar conmemorativo de las mediciones de Eötvös en 1891

# UNTERSUCHUNGEN ÜBER GRAVITATION UND ERDMAGNETISMUS.

(Vorläufige Mittheilung.)

Gelesen in den Sitzung der Akademie vom 20. April 1896

von Dr. ROLAND Baron EÖTVÖS,

O. M. UND Z. Z. PRÄSIDENT DER AKADEMIE, PROFESSOR AN DER UNIVERSITÄT ZU BUDAPEST.

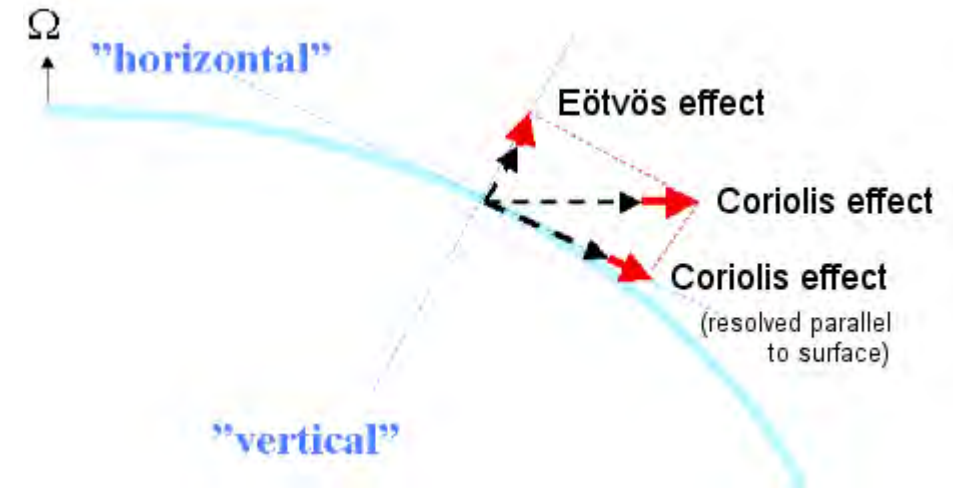
Aus: «Mathematikai és Természettudományi Értesítő» (Mathematischer und Naturwissenschaftlicher Anzeiger der Akademie), Band XIV, pp. 221—266. 1896.

El prototipo inicial, construido en 1890, fue modificado en 1898, ganado con él un premio en la exposición Universal de París (1900). En 1896 publicó Eötvös el artículo titulado *Untersuchungen über Gravitation und Erdmagnetismus* (Estudios en

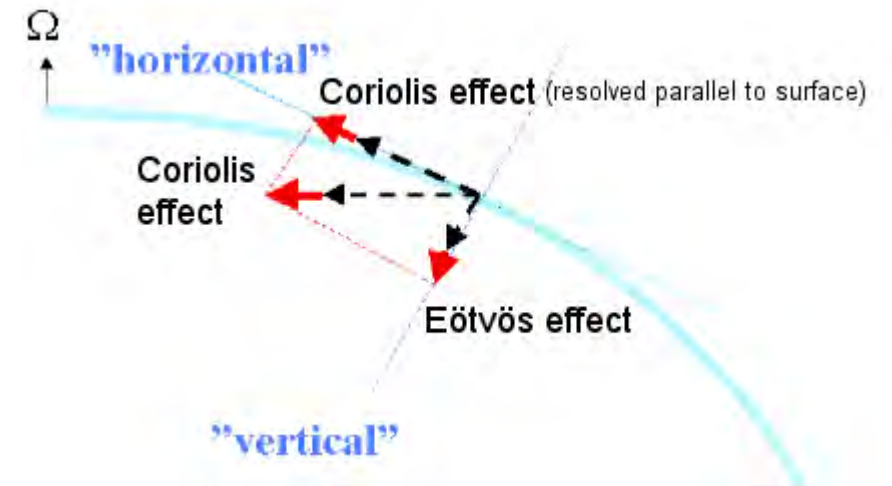
el campo de gravitación y del magnetismo), en el que además de los fundamentos teóricos, resumió los experimentos que había realizado hasta la fecha; entre sus logros más sobresalientes destaca la determinación dinámica de la constante de gravitación. Esta aportación científica de Eötvös fue valorada positivamente por Einstein, el cual la refirió en su artículo sobre la teoría general de la relatividad (1916). Las primeras observaciones reales sobre el terreno, se realizaron durante el invierno de 1901 sobre la superficie del lago helado de Balaton; para evitar así las posibles perturbaciones del relieve del entorno. El trabajo continuó en 1903, en cuarenta estaciones diferentes; concluyendo de su

estudio que discurría junto al lago una falla, siendo esa la primera aplicación geológica del instrumento. En los años siguientes continuaron las observaciones con la balanza en áreas cada vez más amplias, consolidándose el interés mostrado por la comunidad científica desde que fuese presentada en París.

A lo largo de su carrera diseñó otros instrumentos de medición, además de los gravimétricos, como por ejemplo los magnéticos que usó durante sus otros trabajos de campo para medir las componentes del campo magnético; con una sensibilidad tal que pudo evaluar efectos magnéticos del pasado, contribuyendo así al desarrollo del paleomagnetismo. Otro de sus aparatos le permitió comprobar los cambios de peso que experimentan los cuerpos en movimiento, fenómeno que se conoce en la actualidad como efecto Eötvös; su descubrimiento se produjo a comienzos de la década de 1900, cuando tuvo acceso a las medidas de la gravedad que había efectuado el Instituto de Geodesia de Potsdam. Las mediciones se efectuaron a bordos de barcos que navegaban por los océanos Atlántico, Indico y Pacífico, comprobando Eötvös que los valores proporcionados eran menores de lo esperado cuando los barcos se movían hacia el Este y mayores cuando lo hacían al Oeste; coligiendo entonces que el hecho no era más que una consecuencia de la rotación diaria de la Tierra. En el año 1908 se repitió el experimento en el Mar Negro, a bordo de dos barcos: uno navegando hacia el Este y otro hacia el Oeste; los resultados se ajustaron fielmente a lo que había deducido el sabio húngaro.



Efecto Eötvös para un objeto que se mueve hacia el Este a lo largo del paralelo 60°. El objeto tiende a alejarse del eje de rotación de la Tierra



Efecto Eötvös para un objeto que se mueve hacia el Oeste a lo largo del paralelo 60° grados de latitud. El objeto tiende a acercarse al eje de rotación de la Tierra

Declinómetro

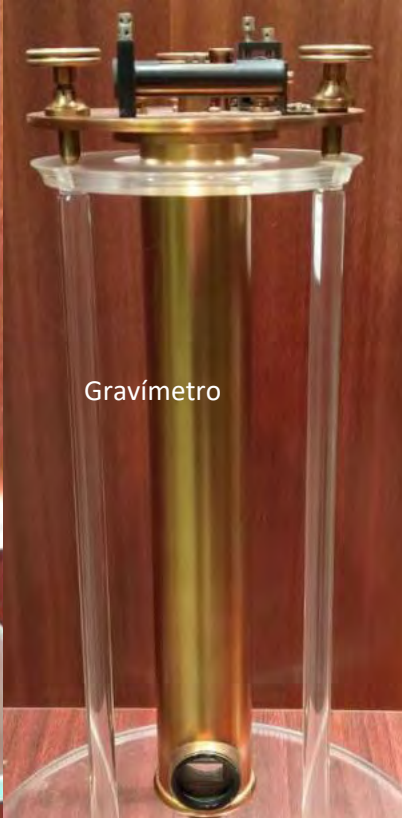


El capítulo de reconocimientos es extenso. En 1873 ingresó en la Academia de Ciencias de Hungría, la cual presidiría desde 1889 a 1905. Eötvös fundó en 1885 la Sociedad Húngara de Matemáticas, transformada luego (1891) en Sociedad Matemática y Física. Entre junio de 1894 y enero de 1895 fue Ministro de Instrucción Pública, aprovechando el periodo para honrar la memoria de su padre con la creación del Colegio Eötvös dedicado a la formación de los profesores de segunda enseñanza; el poco tiempo al frente del ministerio se explica por su deseo de dedicarse de lleno a la enseñanza de la física en la Universidad de Budapest.

Variómetro



Gravímetro





## Eratóstenes de Cirene (276-194 a.C.)

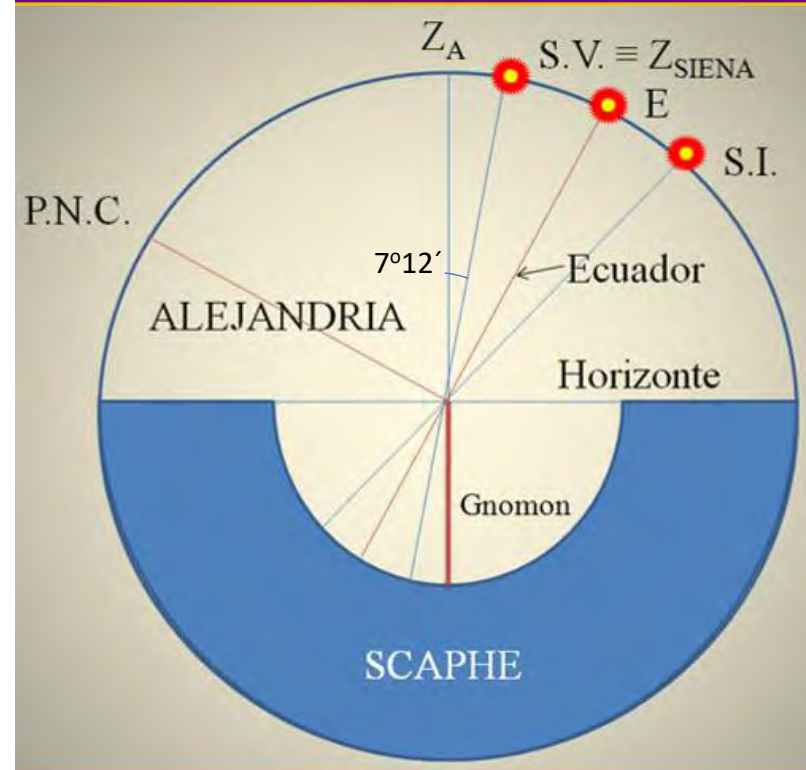


Enseñando astronomía

Llamado por sus contemporáneos el  $\beta$ , por ser el segundo en cualquier disciplina tras el más eminente. Es considerado el padre de la geodesia, por atribuirle con cierta ligereza el haber sido el primero en determinar el perímetro de la Tierra. Estudió en Atenas, con tanto aprovechamiento que fue llamado por el faraón Tolomeo III (Eurgetes) para que dirigiese la Biblioteca de Alejandría y fuera el tutor de su hijo Filopátor, el futuro Tolomeo IV. Se cree que ideó la esfera armilar, cuando tenía 20 años, en la que debió apoyarse para efectuar sus observaciones astronómicas. Cabe destacar la determinación de la oblicuidad de la eclíptica, esto es la distancia angular de cada uno de los trópicos al ecuador; como dedujo que la separación entre ellos era de  $11/83$  de la circunferencia, resultaría un valor de  $23^{\circ} 51' 20''$ . También se le ha atribuido el haber obtenido las distancias de la Tierra a la

Luna y al Sol, aunque la divergencia de los valores referidos por las distintas fuentes, el no poder concretar el tipo de estadio que usaría como unidad, y la imposibilidad de fijar su equivalencia métrica, le resten relevancia.

Eratóstenes es recordado sobre todo por una supuesta medida de la Tierra, empleando una metodología que, con ligeras variantes, continuó usándose sin apenas interrupción hasta comienzos del siglo XX. La base de la operación fue un sencillo enunciado geométrico: el desarrollo lineal de un arco es el producto del radio, con que se ha trazado, y del valor angular correspondiente (expresado en radianes). La ejecución de la medida requiere la combinación de observaciones astronómicas, para calcular la amplitud angular del arco, con otras topográficas, a fin de obtener el desarrollo lineal. Al localizar los extremos del arco en un cierto meridiano, la amplitud del arco considerado coincidiría con la diferencia de las latitudes de los dos puntos extremos, en cuanto al desarrollo lineal, se halló en la mayoría de las ocasiones de forma expedita (de ahí la poca fiabilidad de los resultados obtenidos hasta la



segunda mitad del siglo XVII). Eratóstenes situó los dos extremos del arco a medir, en Alejandría y Siena. La medida debió de efectuarse durante el solsticio de verano, una época en que el Sol pasaba por el cenit de la segunda (se sabía que el Sol iluminaba entonces el fondo de los pozos); dándose la circunstancia de que, en el mismo instante de la culminación anterior, el Sol distaba  $7^{\circ} 12'$  del cenit de Alejandría. Al parecer ese valor lo obtuvo por medio de un reloj de Sol, conocido como *scaphe*, un valor que sería igual a la diferencia de las latitudes de ambas ciudades. El desarrollo lineal, relativo a ese arco, lo estimó en 5000 estadios, aunque se ignore a ciencia cierta como lo obtuvo. La deducción del perímetro terrestre resultó obvia: obtenido el desarrollo correspondiente a un grado, bastaría multiplicarlo por  $360^{\circ}$ . Dado que  $7^{\circ} 12'$  es la cincuentaava parte de la circunferencia, su perímetro ascendería a 250000 estadios, una cifra que se modificaría al fijarla en 252000 estadios para que el desarrollo de un grado fuese de 700 estadios.



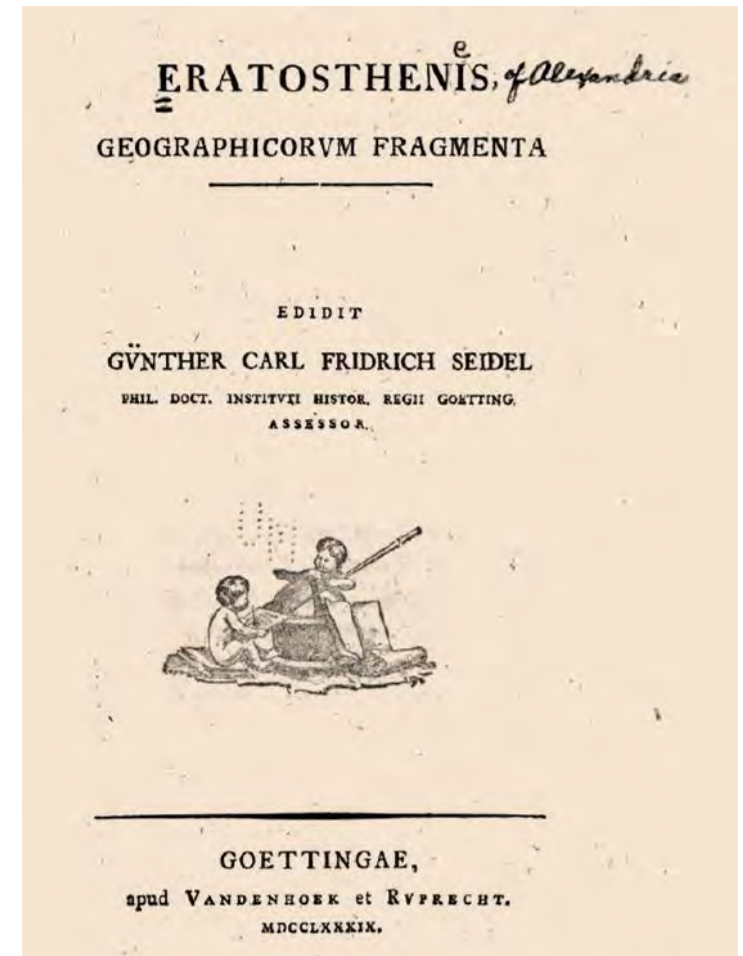
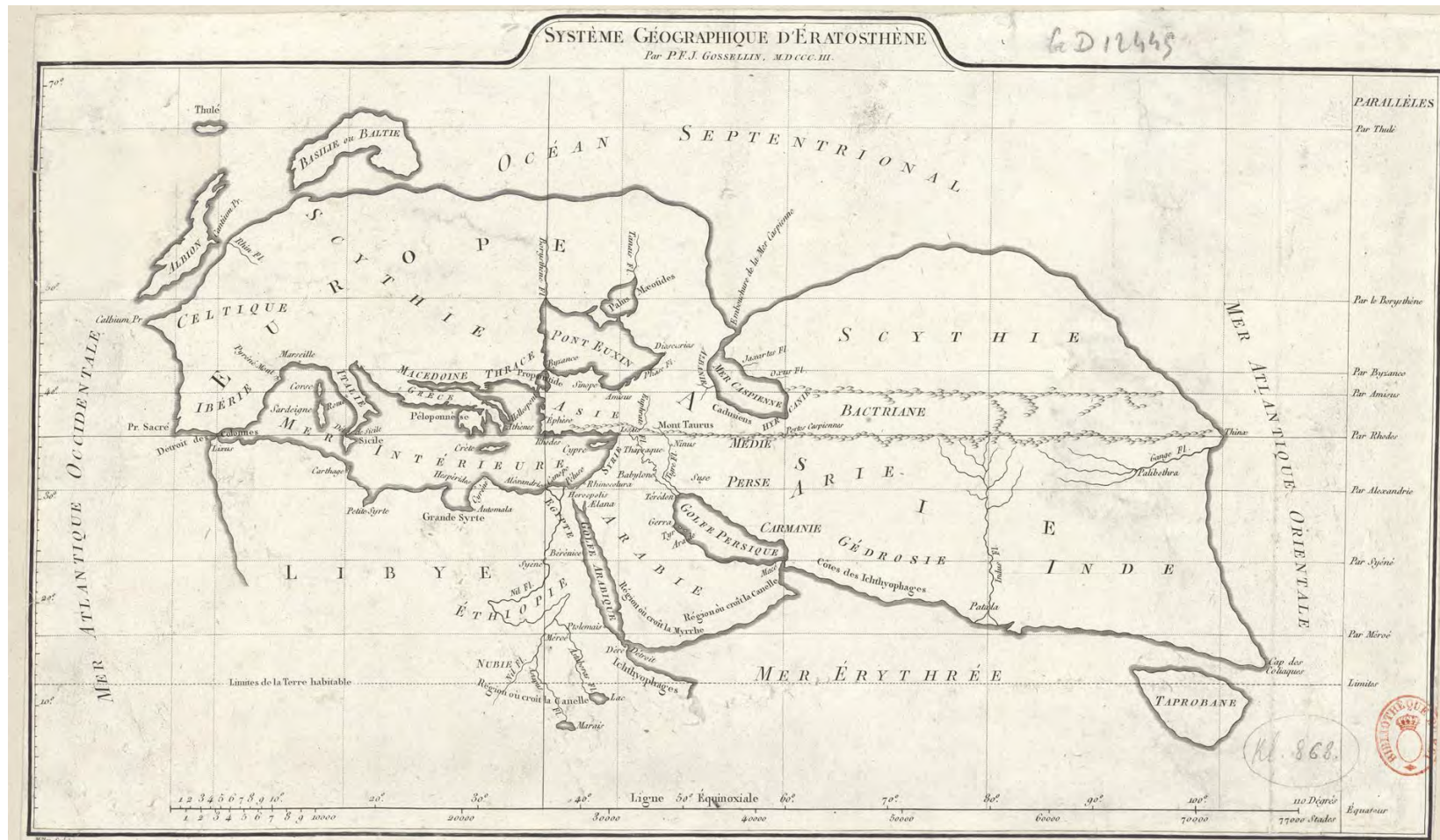
Suele afirmarse con relativa frecuencia que esa medida de Eratóstenes fue un ejemplo de exactitud, cuando no hay datos que soporten esa opinión; lo que si es digno de elogio es la elección del procedimiento elegido. En efecto, son varios los factores que impiden catalogarla de exacta: 1) Alejandría y Siena no se encuentran en el mismo meridiano, de hecho la segunda se encuentra unos 3° al Este de la primera; 2) la distancia estimada entre ambas ciudades es mucho menor de la estimada (aunque se ignore el tipo de estadio que se usó como unidad); 3) la latitud de Siena no coincidía con la oblicuidad de la eclíptica (esto es el máximo valor alcanzado por la declinación del Sol, que marca el instante del solsticio de verano); 4) tampoco es descartable que la medida de la distancia cenital del Sol en Alejandría no fuese del todo fiable.

Eratóstenes escribió dos obras eminentemente geográficas: La Medida de la Tierra, en la que explicó el método seguido para hallar el perímetro de su circunferencia, y la Geographica, en cuyos tres libros dio las instrucciones para construir un mapa de la ecúmene. Ambas obras no se conservan, pero fueron referidas por Estrabón y Cleomedes, que llegó incluso a resumir el contenido de la primera en su De Motu circulari. En el mapa del mundo habitado

se superpuso una retícula de rectas mutuamente perpendiculares, remoto antecedente de los meridianos y paralelos. El alto del mapa, medido sobre el meridiano de Rodas y Alejandría fue de 38000 estadios. El ancho, entre la India y los extremos de Iberia, lo fijó en un principio en 74000 estadios, medidos a lo largo del paralelo de Atenas; aunque acabase añadiéndole 2000 para que resultasen 76000 estadios, y mantener así la tradición que suponía al mundo sensiblemente rectangular, con su lado mayor doble que el menor. La forma del mapa reflejaba claramente que las latitudes eran más fiables que las longitudes, pues estas requerían observaciones astronómicas de difícil ejecución; optando por fijar los valores de las distancias recorridas sobre un paralelo atendiendo a encuestas o deduciéndolas a partir del tiempo empleado por las caravanas. Estrabón indicó que Eratóstenes había detallado en el libro tercero de su Geografía como dibujar el mapa: «Eratóstenes, lo dividió en dos partes con una línea paralela a la ecuatorial y que iba de este a Oeste. Su extremo occidental se hallaba en las Columnas de Heracles y el oriental en los picos más remotos de la cadena de montañas que hay al Norte de la India. La línea pasaba por el Estrecho de Messina, por los cabos del Peloponeso y por Rodas...,y divide a toda Asia en dos partes, una al Norte y otra al Sur».



Es evidente que Eratóstenes adoptó la idea del diafragma propuesta por Dicearco. En otros pasajes de su obra, comentaba Estrabón que también había dibujado el meridiano de Rodas, concretando los lugares por los que iba pasando y las distancias entre ellos; cuya suma coincidía con los 38000 estadios ya citados. Los lugares por los que pasaba la línea este Oeste también fueron señalados, junto a las distancias correspondientes: la existente entre los ríos Éufrates y Nilo fue de 5000 estadios, la del río Nilo a Cartago 15000 estadios y la de Cartago a los Pilares de Heracles 8000 estadios. Otra de las fases del dibujo fue la división de las dos mitades del mapa en secciones, una especie de cuadriláteros irregulares que pretendía simbolizar la forma de cada país.



ERATOSTHENIS  
CATASTERISMI

CVM

INTERPRETATIONE LATINA

ET

COMMENTARIO

CVRAVIT

I. O. CONRAD. SCHAUBACH,  
INSPECTOR LYCEI ILLVSTR. MEININGENSIS.

EPISTOLA C. G. HEYNE  
CVM ANIMADVERSIONIBVS IN ERATOSTHENEM

et cum tabulis aere incisis.

GOTTINGAE,  
apud VANDENHOECK et RUPRECHT,

1795.

La obra astronómica más relevante de Eratóstenes fue la referida a las constelaciones, llamadas por él catasterismos; una especie de manual del cielo nocturno, que articula sabiamente los mitos con las descripciones astronómicas y conserva la profundidad y coherencia que lo caracterizaron. Su primera prueba impresa, publicada en Gottinguen por Johann Konrad Schaubach (1764-1849), en el año 1795, fue editada en griego y latín, incluyendo notas de Christian Gottlob Heyne (1729-1812). Esos fragmentos presentan numerosas diferencias con el texto original, pues no se definen conceptos astronómicos tales como círculos, trópicos, etc. Tampoco se hace referencia a los ortos y ocasos de las constelaciones, ni se tratan cuestiones meteorológicas o de pronósticos. Sin embargo, ofrecen como contrapartida una referencia mitológica para cada constelación. Más relevante fue todavía la información esencialmente astronómica que aportaron, al enumerar las estrellas e integrarlas en las respectivas constelaciones, a la vez que se describieron sus figuras y se localizó la posición de las estrellas en todos los casos. Constan los Catasterismos de 42 capítulos, dedicados a las constelaciones clásicas, más dos referidos uno a los planetas (salvo la Luna y el Sol) y otro a la Vía Láctea; bien entendido que el número total de las constelaciones asciende a 48, puesto que a veces figuraron en un mismo capítulo varias de ellas.



Hesiodo dijo en su Teogonía que la Virgen era hija de Zeus y de Temis, y que se llamaba Díké . Aratos retomó el relato previo, añadiendo que fue inmortal y vivió entre los hombres, pero que cuando estos se enfrascaron en luchas intestinas y guerras, se alejó de ellos horrorizada por tanta injusticia y se fue al cielo. Su figura fue objeto de tradiciones varias: se trataría de acuerdo con ellas, tanto de Deméter, por la espiga que lleva, como de Isis, o de Atárgatis, e incluso Tique, representándola entonces sin cabeza. Tiene una estrella sin brillo sobre la cabeza, una en cada hombro, dos sobre cada ala , una sobre cada codo, una sobre cada mano , en el borde del vestido lleva seis y una sobre cada pie. En total diecinueve.

*Eratóstenes*

Se cuenta que Perseo fue colocado entre las constelaciones por su nacimiento ilustre. Zeus lo engendró cuando, transformado en lluvia dorada, se unió a Dánae. Cuando Perseo fue enviado por Polideuctes a luchar contra las Gorgonas, se pertrechó con el casco y las sandalias aladas que le había regalado Hermes; y de esa forma viajó a través del aire. También recibió de Hefesto un machete de hierro, según contó Esquilo en sus Fórcides. A las Gorgonas las protegían las Greas , tres criaturas que vigilaban con un solo ojo, que se lo iban pasando de una a otra cuando cambiaban el turno de guardia. Perseo esperó el momento del intercambio para arrebatárselo y arrojarlo al lago Tritónide.

Después de ello, mientras dormían, le cortó la cabeza a Medusa y se la dio a Atenea, quien la puso sobre su pecho y llevó a Perseo al cielo, donde se le ve sosteniéndola. Perseo tiene una estrella brillante sobre cada hombro, una brillante sobre la mano derecha, una sobre cada codo, una sobre la mano izquierda, con la que parece sujetar la cabeza de la Gorgona, una sobre ella, otra en el vientre, una brillante sobre su cadera derecha, otra brillante en el muslo derecho, una sobre la rodilla, otras dos en la tibia, otra poco brillante sobre cada pie, una en el muslo izquierdo y tres en la cabellera de la Gorgona. En total diecinueve. Sobre la cabeza y sobre el machete no se ven estrellas, aunque algunos crean haberlas visto a través de una nebulosa.

*Eratóstenes*

La constelación de Perseo en el planisferio de Ignace Gaston (1693)





## Traugott Leberecht von Ertel (1778-1858)

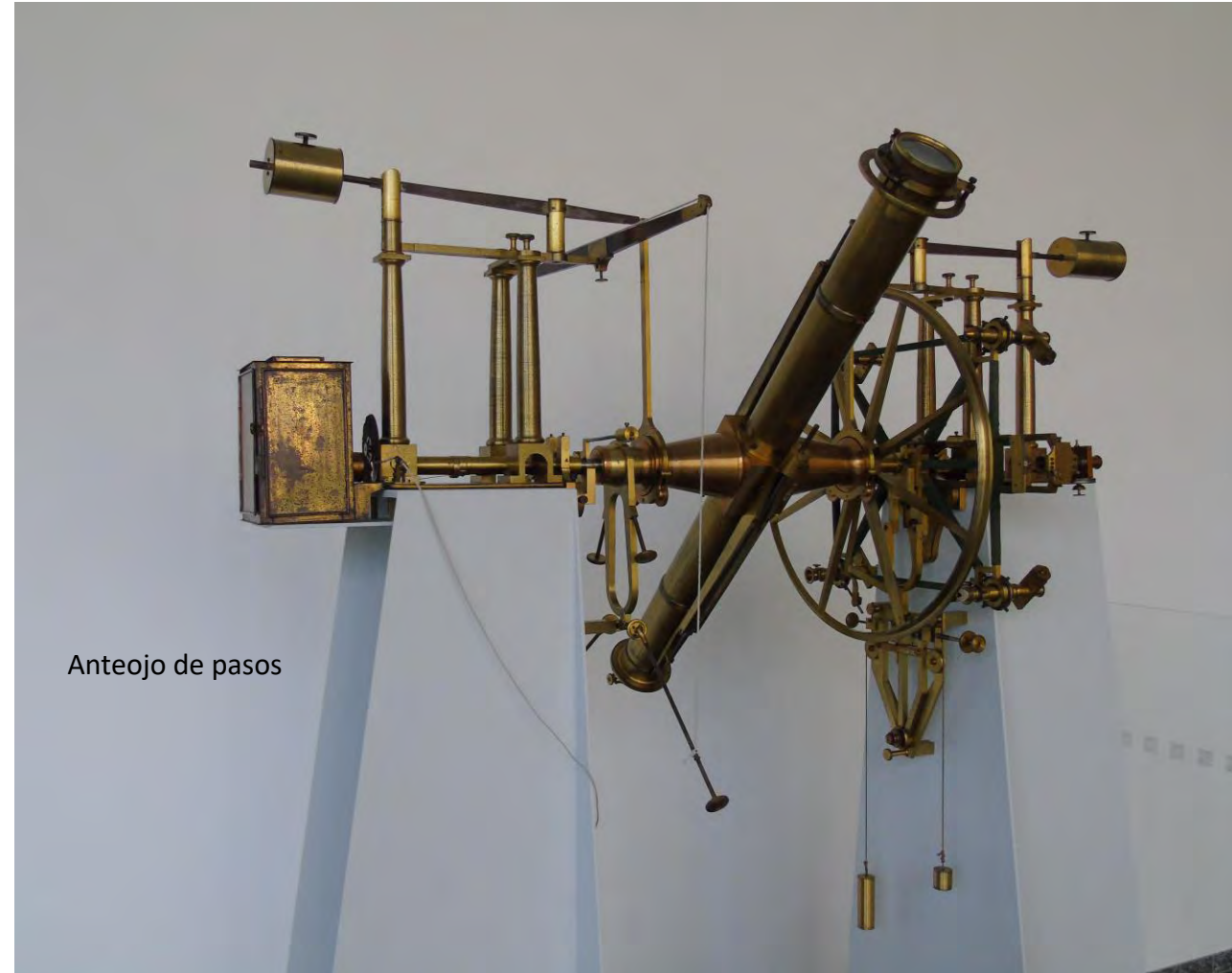
Prestigioso constructor de instrumentos científicos que ejerció como tal en el Instituto Matemático y Mecánico de Reichenbach en Munich. Su temprana formación como herrero le permitió dedicarse a su producción y venta de aparatos quirúrgicos en Viena (1814). Dos años después, siguió los consejos del profesor Johann Arzberger (1778-1835) y se trasladó a Munich para trabajar en el referido Instituto. Allí se esforzó por adquirir los conocimientos de matemáticas necesarios para poder colaborar en la fabricación de instrumentos topográficos. Su progreso fue tan considerable que el propietario lo admitió como socio de la nueva empresa Reichenbach & Ertel, bajo cuya dirección se creó el taller mecánico del Instituto Politécnico de Viena, en donde Ertel se encargó de la construcción de toda clase de instrumentos matemáticos. Sin embargo, las necesidades del taller de Munich hicieron que volviese a esa ciudad en 1820, para hacerse cargo del Instituto; siguiendo el consejo de amigos como Joseph von Fraunhofer (1787-1826).



A partir de entonces diversificó la producción del taller, pues no solo se dedicó a los instrumentos de recisión, sino también a otros tales como máquinas de estampar, bombas, prensas hidráulicas, etc. Las peticiones que recibía fueron tantas que apenas podía atenderlas: Rusia fue una de las naciones que mostró mayores exigencias técnicas para equipar sus observatorios con instrumentos astronómicos, geodésicos y de navegación; aunque otros países, España entre ellos, también solicitaron círculos meridianos, anteojos de pasos, teodolitos, heliotropos etc.



Teodolito geodésico



Anteojos de pasos

München den 8 Junij 1829 <sup>12</sup>  
Ertel an Gauss

Kaiserlich-Königliche  
Geodetische Commission

Sehr geehrter Herr Professor  
27. Mai. Ich habe die Ehre zu vernehmen, dass die  
geodetische Commission seit dem 13. März von  
München abgereist ist, folglich bereits  
an dem Ort (Kalt) angekommen ist.

Die beiden übrigen Instrumente gehen von  
hier, werden aber erst mit dem 1. Juli  
aufgepackt werden, falls July ab.

Ein Labor für die damit abgeordneten  
Geodeten mit 225 Personen  
angeordnet. Mit der Angelegenheit  
Vorfahrt und Nachsicht bei  
Kaiserlich-Königliche  
Geodetische Commission

gegründet von  
T. Ertel

La solvencia de Ertel fue reconocida por los astrónomos y geodestas que vieron satisfechas todas sus exigencias en los instrumentos que le solicitaron, siendo numerosas las cartas que recibió con las correspondientes muestras de agradecimiento; su buen hacer fue continuado con sus hijos, Georg y Gustav.



Sede del Instituto Matemático y Mecánico de Munich

Carta de Ertel a Gauss

## José Espinosa y Tello (1763-1815)



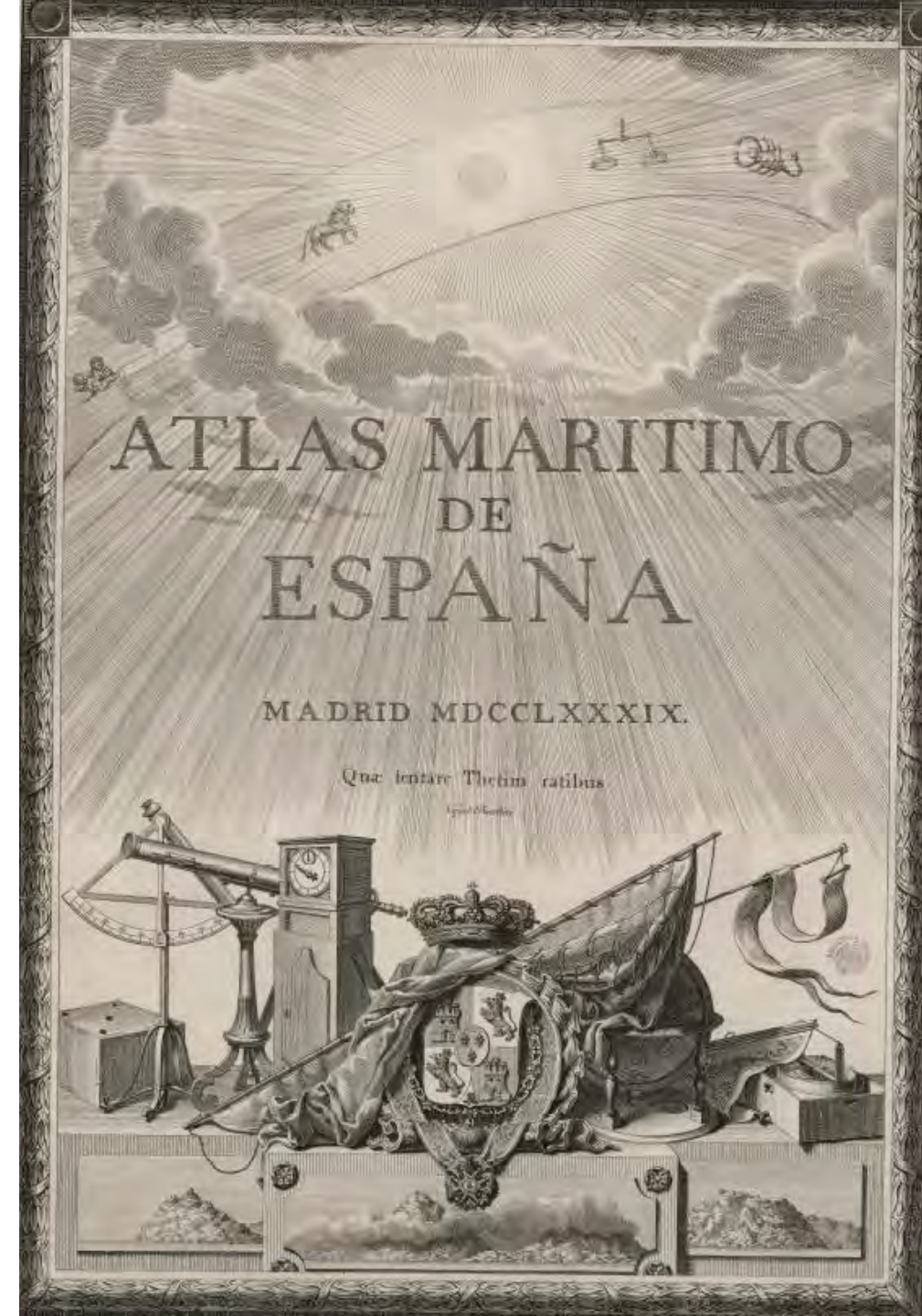
EL EXC.<sup>o</sup> SEÑOR DON JOSÉ ESPINOSA TELLO DE PORTUGAL THE  
NIENTE GENERAL DELA REAL ARMADA, Y PRIMER DIRECTOR  
DEL DEPOSITO DE HIDROGRAFIA, MURIÓ EN MADRID EN 6 DE SEP  
TIEMBRE DE 1815. DE EDAD DE 52. AÑOS DOS MESES, Y QUATRO DIAS.

Prototipo de marino ilustrado, con sólidos conocimientos astronómicos y cartográficos, que llegó a ser Teniente General de la armada y primer directo del Depósito Hidrográfico. Espinosa nació en el seno de una familia sevillana acomodada, que le dio la educación necesaria para que pudiese ingresar en la real Compañía de Guardia marinas del Ferrol (1778), donde «demostró tener predisposición para las ciencias exactas, constante aplicación al estudio y conducta ejemplar» (María Pilar Cuesta Domingo: *José Espinosa y Tello, su aportación a la historia de la hidrografía*. Tesis Doctoral. UCM.2002). Sus conocimientos cartográficos los aplicó por primera vez cuando participó en la conquista de Florida (17819, completando los astronómicos al integrarse en el Observatorio de Cádiz (1783); dirigido por Vicente Tofiño, a quien se le había encomendado el levantamiento de las costas de España. Espinosa fue elegido como uno de los oficiales llamado a colaborar en tan novedoso proyecto científico, destacando de inmediato en las observaciones propias de la astronomía geodésica, y particularmente en la formación de las cartas náuticas del Cantábrico.

Es sabido que el proyecto se sustanció en el año 1789, al publicarse el *Atlas Marítimo de España*; una representación cartográfica rigurosa del litoral español, que permitió calcular por vez primera la superficie limitada por el mismo.

Durante los trabajos de campo, los cuatro oficiales que colaboraron con Tofiño fueron conscientes de la necesidad de formar un Mapa de España, de acuerdo con los principios metodológicos de su tiempo; de hecho, formularon una propuesta al Gobierno en ese sentido, sin que fuesen atendidos. Espinosa insistió en ello, y en el año 1792 presentó su propio plan: determinación astronómica (cálculo de las coordenadas geográficas) de los puntos principales del territorio, con la medida de las distancias itinerarias entre ellos, y obtención de sus altitudes barométricas; como paso previo a la unión de todos los puntos mediante una triangulación extendida por todo el reino. En este caso tampoco tuvo éxito, aunque al parecer se reconoció el mérito de su iniciativa.

Sin embargo, no fue esa la única propuesta de los oficiales, ya que en 1787 presentaron un plan que facilitaría la navegación por las costas septentrionales de América y que fue aprobado (1788); si bien Espinosa solicitó que se aplazara su ejecución, por haber sido





*El fondeadero de las Corbetas Descubierta y Atrevida en las Islas de Vavao visto desde el Observatorio.*

convocado por A. Malaspina para unirse a la ambiciosa travesía transoceánica (1789-1794) que se estaba preparando. Curiosamente se le llamó coloquialmente *Expedición vuelta al mundo*, recordando sin duda la celebrada expedición magallánica del siglo XVI.

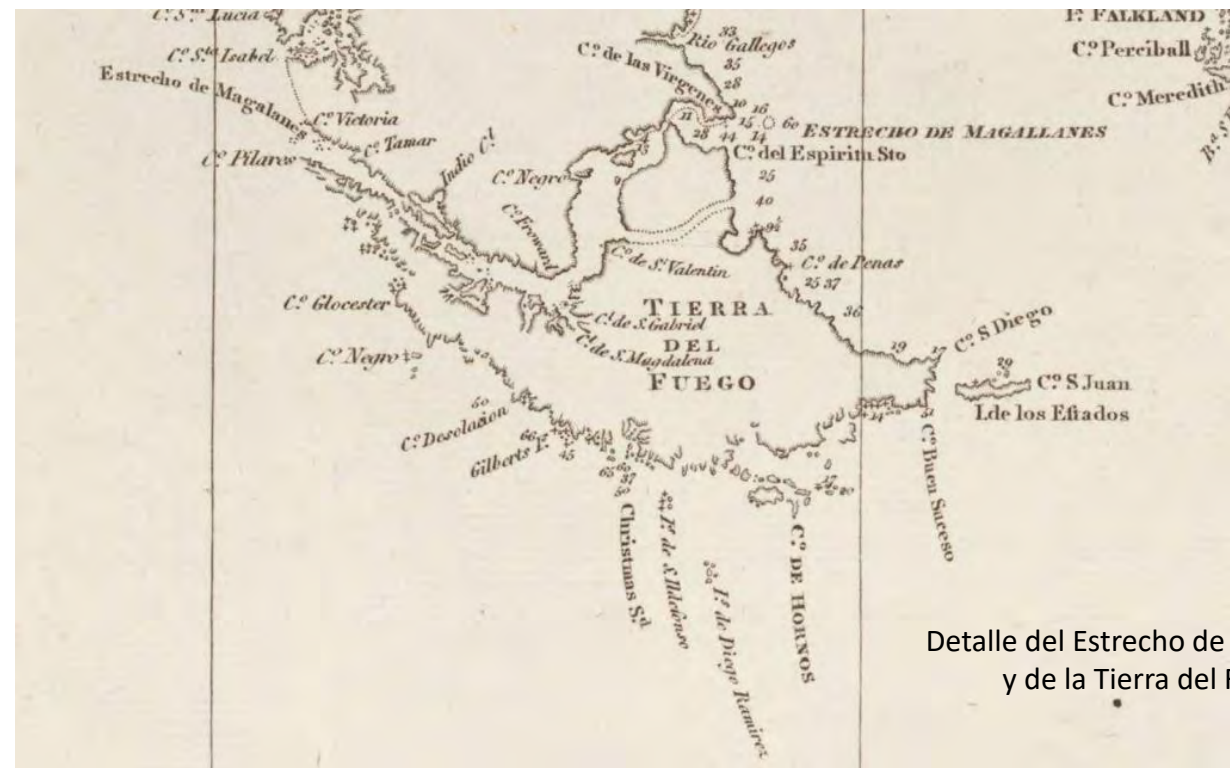
Espinosa no pudo zarpar con el resto de los expedicionarios, por motivos de salud, aunque se uniera a ellos en Acapulco (febrero de 1791); procedente de Veracruz, donde lo había dejado el barco que salió de Cádiz (noviembre de 1790). En el

trayecto por tierra entre las dos ciudades obtuvo las coordenadas geográficas de ellas y de la ciudad de Méjico. Cumpliendo con el objetivo principal previsto por Malaspina, Espinosa recopiló toda la información geográfica necesaria para formar las cartas náuticas de las costas del océano Pacífico, sobresaliendo la observación de eclipses, con el fin de hallar la longitud del lugar. Curiosamente, aprovechó su presencia en Manila para ultimar la redacción de su plan para confeccionar el Mapa de España, que ya ha sido referido. Cuando ya estaban de regreso, tuvo que abandonar la expedición a causa del escorbuto. Para restablecerse desembarcó en el Callao (Perú) junto a Felipe Bauzá y Cañas (1764-1834), enfermo de asma. Una vez recuperados, emprendieron ambos una expedición, complementaria de la anterior, que los llevó a Santiago de Chile y a Buenos Aires, una vez atravesada la cordillera andina. Durante el primer cuatrimestre del año 1794, recorrieron el trayecto y efectuaron las observaciones astronómicas pertinentes para hallar tanto la latitud como la longitud, completándolas con el

cálculo de las altitudes con el barómetro, así como con el estudio de la velocidad del sonido. Apoyándose en los datos anteriores publicaron, en el año 1810, el *Plano de la dirección del Camino principal de la Cordillera que guía de la ciudad de Santiago a la de Mendoza* y la *Carta esférica de una parte de la América Meridional para manifestar el camino que conduce de la ciudad de Valparaíso a la de Buenos Aires*.



La escala gráfica de la *Carta esférica* lleva un pitipié dividido en millas, las longitudes se refirieron al meridiano de Cádiz, el margen oriental está dividido en grados de latitud y el occidental en leguas. La singularidad de la información marginal, estriba en que se indican cuatro signos convencionales para identificar las estaciones en que se calculó la latitud y longitud, señalando asimismo el procedimiento empleado: a) latitud determinada en tierra por observaciones astronómicas, b) longitud por relojes marinos, c) longitud determinada astronómicamente, d) longitud por distancias.



Detalle del Estrecho de Magallanes y de la Tierra del Fuego

La experiencia acumulada por Espinosa durante las expediciones en que participó, fue reconocida de inmediato al nombrarlo primer Director del depósito Hidrográfico, un Centro cartográfico de primer nivel que fue creado el 6 de agosto de 1797. Su labor al frente del mismo resultó crucial para el progreso de la cartografía náutica en España. Durante la invasión francesa se exilió en Londres, aunque siguiera cumpliendo desde allí con su cometido; de hecho, MP. Cuesta Domingo concretó los ejemplos siguientes: «la Carta general del océano Atlántico septentrional, la Carta general del océano Atlántico meridional, la de las Antillas Mayores y del Seno Mexicano, la de las costas de España y del Mediterráneo hasta Sicilia, la del Mediterráneo hasta el mar Negro, la de Baleares y la carta de las navegaciones a la India Oriental; también se ocupó de la impresión del Almanaque náutico español y cumplió con cuanto se le requería desde España».



# 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 PRI-  
MER DIRECTOR DE DICHO ESTABLECIMIENTO.

TOMO I.

DE ORDEN SUPERIOR.

MADRID EN LA IMPRENTA REAL

AÑO DE 1809.

Hasta ahora se ha hecho mayor énfasis en los conocimientos cartográficos de Espinosa, sin que ello signifique que los astronómicos y geodésicos fuesen menores. La prueba más evidente de la solidez de estos últimos se encuentra en su excelente publicación de 1809: *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*, presentada en dos tomos. Se trata de un verdadero diario científico de imprescindible lectura para todos los interesados en estas disciplinas, que requeriría un estudio monográfico. El libro lo encabeza un concienzudo capítulo introductorio, firmado por Luis María de Salazar y Salazar (1758-1838), a la sazón Intendente general de Marina. A todo lo largo del texto se constata un marcado protagonismo de toda la pléyade de marinos ilustres, que lograron situar a España en la cumbre de la ciencia. En él se detallaron las observaciones astronómicas, geodésicas, geográficas y meteorológicas que se efectuaron en diferentes partes del mundo; estructurándolas en las cuatro Memorias 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 y desde Montevideo por el cabo de Hornos hasta los 60° de latitud N; III) De las islas Marianas, Filipinas, Nueva Holanda y Archipiélago de los Amigos; IV) De las costas de la América septentrional y sus islas.

La información proporcionada es tan variada como valiosa, incluyendo los datos técnicos medidos o calculados en cada una de las observaciones. Entre las astronómicas figuran las del Sol en el instante de su paso por el meridiano y la de ciertas estrellas en el instante de su culminación, para determinar así la latitud de diferentes lugares. De igual modo se detallaron las efectuadas para obtener el valor de la longitud. Observación de las emersiones y ocultaciones de los satélites de Júpiter, o la medida de las distancias entre la Luna y las estrellas; con relación a esta cuestión ha de subrayarse la buena relación que mantenían los marinos españoles y otros astrónomos europeos, cuyo concurso resultaba imprescindible por haber realizado observaciones análogas del mismo fenómeno astronómico (la longitud se hallaba como diferencia entre las horas locales). Otra de las observaciones reseñadas fue la del tránsito de Venus (1761), practicadas en Cádiz, por Gerardo Henay (ca. 1730-1768) y Vicente Tofiño, y que permitió fijarla en 34<sup>m</sup> 45<sup>s</sup> al Oeste del meridiano del observatorio de París. Sorprende las numerosas determinaciones de las dos coordenadas geográficas que se realizaron, como certifican las tablas en que se listan todos los lugares con los valores correspondientes.

## MEMORIA PRIMERA.

OBSERVACIONES PRACTICADAS EN LAS COSTAS DE ESPAÑA Y AFRICA, Y EN LAS DEL MAR MEDITERRANEO, ISLAS CANARIAS Y DE LOS AZORES; CON UN APENDICE, DONDE SE DA RAZON DE OTROS TRABAJOS DIRIGIDOS A PERFECCIONAR LA GEOGRAFIA INTERIOR DEL REYNO.

## MEMORIA SEGUNDA.

OBSERVACIONES PRACTICADAS EN LAS COSTAS DEL CONTINENTE DE AMÉRICA Y SUS ISLAS DESDE MONTEVIDEO POR EL CABO DE HORNO, 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.



Peter Dollond  
(1731-1820)

Anteojo acromático  
con montura ecuatorial

En este capítulo astronómico, se aporta pormenorizada relación de los instrumentos usados durante la expedición de Malaspina, concretándolos para sus dos corbetas. *Descubierta*: un cuarto de círculo astronómico de Ramsden, ocho sextantes y un círculo de reflexión, un anteojo ecuatorial de Dollond, dos anteojos acromáticos grandes, uno ídem menor, un péndulo astronómico, un péndulo simple constante, dos teodolitos, el reloj de longitud de Berthoud nº 13, los cronómetros de Arnold números 61 y 72, con su acompañante número 344, un reloj de segundos para comparaciones, una aguja de inclinación de Nairne, dos agujas acimutales, dos barómetros marinos, varios termómetros, varios anteojos para objetos terrestres, un eudiómetro de Fontana, una balanza hidrostática, un microscopio y diferentes utensilios de geodesia e historia natural.

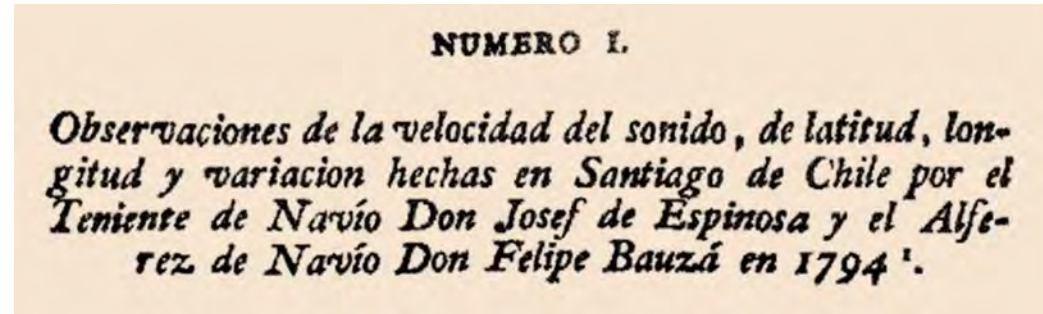


Reloj de longitud

Ferdinand Berthoud (1727-1807)

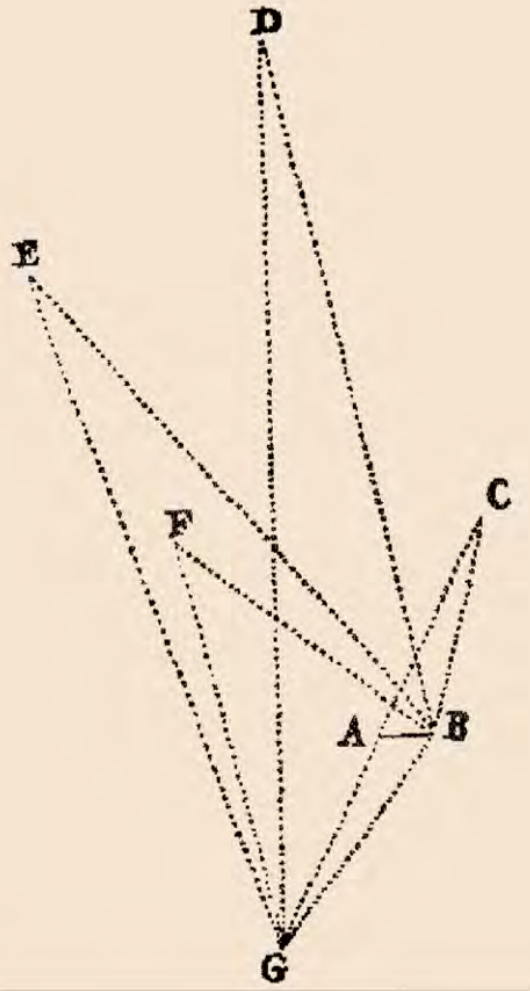
*Atrevida*: un cuarto de círculo astronómico de Sisson, ocho sextantes de reflexión, un anteojo acromático grande, dos medianos, dos teodolitos, el reloj de longitud Berthoud nº 10, el reloj de faltriquera Arnold nº 105, propio del Comandante, el cronómetro de Arnold nº 71, con su acompañante nº 351, una aguja de inclinación de Nairne, dos agujas acimutales, dos barómetros marinos, varios termómetros, varios anteojos para objetos terrestres, un eudiómetro de Fontana y diferentes utensilios de geodesia e historia natural.

En el apéndice de la primera memoria se comentaron las diversas propuestas de los oficiales de la real armada para formar la carta de España, a la vez que se refirieron las observaciones astronómicas hechas en Madrid, acompañándolas con una relación de las latitudes y longitudes que habían observado en otros pueblos de España. Entre las propuestas anteriores figuraba naturalmente la ya citada de Espinosa, con todo lujo de detalles: el instrumental necesario, por ejemplo, «Los instrumentos pedidos a Londres se reducen principalmente al sector de 6 pies de radio por lo menos, a dos cuartos de círculo de 2, y a dos teodolitos de 1. Yo estoy y estaré siempre por los instrumentos de mayor radio para las operaciones prolijas, y creo que para los triángulos de la meridiana serán preferibles los cuartos de círculo».



Espinosa incluyó como anexo I de la segunda memoria las observaciones que realizó, junto a Bauzá en su azaroso viaje desde Callao de Lima hasta Buenos Aires; el texto se inicia con la siguiente advertencia de los autores:

«Las observaciones que Incluye este número las hicimos por mera afición, con motivo de restituirnos de Valparaíso a Buenos Aires por tierra a procurar nuestra incorporación con las corbetas Descubierta y Atrevida, de cuyos buques habíamos desembarcado en Lima muy enfermos. Practicamos asimismo en nuestro viaje muchas operaciones geodésicas, y adquirimos varios planos, descripciones y noticias geográficas, qué corregidos con aquellas latitudes y longitudes observadas, han servido para formar una carta particular de la cordillera y las pampas, la cual se está grabando actualmente en la Dirección hidrográfica».



El procedimiento que siguieron para deducir la velocidad del sonido fue ilustrado con la figura adjunta, en la que AB fue la base de partida y los puntos C, D, E y F, otros suficientemente alejados de los dos primeros; las líneas punteadas simbolizan la inter visibilidad de los extremos. La base fue señalizada con estacas de diez en diez toesas sobre un terreno sensiblemente horizontal, y medida con tres perchas de tres pulgadas de grueso y de nueve pies de largo cada una; resultando tras hacerlo en los dos sentidos 2900 pies franceses ( $\approx 938.63$  m). los ángulos de todos los triángulos se midieron con un teodolito Ramsden, pudiendo así resolverlos y calcular los valores de los lados: BC (13841 pies), BE (43365 pies), BG (9557 pies), BF (29558 pies) y BD (50316 pies). Concluida la operación topográfica, se instaló un cañón en el punto B y se procedió



a determinar las horas, minutos y segundos en que se vio el destello del disparo y se oyó el ruido correspondiente; así se procedió anotando el tiempo, marcado por dos buenos relojes de segundos, en los puntos E, D, F y C, durante las noches de los días 13 y 17 de enero. Conocidas las demoras en todos ellos se pudieron determinar las velocidades, una vez reducidos los pies a toesas, que se indican: 190.2 t/s (E), 193.5 t/s (D), 189.5 t/s (F) y 189.6 t/s (C); en los cuatro casos se acompañaron las tomas de hora con las lecturas barométricas y termométricas.

A continuación, resumieron las observaciones astronómicas efectuadas en Santiago de Chile, en los meses de enero y marzo de 1794. El 11 de marzo observaron las alturas meridianas del Sol, fijando el valor de la latitud en  $33^{\circ}26'5''$  Sur. La relativa a la longitud se consiguió a partir de la inmersión total del primer satélite de Júpiter, resultando  $64^{\circ}34'45''$  al Oeste de Cádiz; aunque también la determinaron apoyándose en un eclipse de Luna ( $64^{\circ}32'30''$  Oeste; que una vez promediado con el anterior quedó en  $64^{\circ}34'$ , «en números redondos». Además de las observaciones anteriores realizaron otras de temperatura, presión y de la declinación magnética. En la última parte del apéndice se recogen las que llevaron a cabo en el trayecto de Santiago de Chile a Mendoza y a Buenos Aires, en marzo y abril de ese mismo año, ilustrándola con las tablas correspondientes, aunque solo se reproduzca aquí, parcialmente, la astronómica y magnética.

| Nombres de los lugares en que se ha observado.               | Días del mes. | Alturas meridianas aparentes. | Latitud S.                 | Variación N. E.         | Longitud O. de Cádiz. |
|--------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Santiago.....                                                | Marzo 11      | ☉ $59^{\circ}43\frac{1}{2}'$  | $33^{\circ}26\frac{1}{2}'$ | $14^{\circ}\frac{1}{2}$ | $64^{\circ}34'$       |
| Los Andes.                                                   | 15            | ☉ $58^{\circ}45\frac{1}{2}'$  | $32^{\circ}49\frac{1}{2}'$ |                         |                       |
| Casa de los Puquios.....                                     | 18            | ☉ $57^{\circ}26'$             | $32^{\circ}57'$            | $15^{\circ}\frac{1}{2}$ |                       |
| Úspallata..                                                  | 19            | α de Leo                      | $32^{\circ}35'$            |                         |                       |
| Mendoza...                                                   | 22            | ☉ $55^{\circ}57'$             | $32^{\circ}52\frac{1}{2}'$ | $14^{\circ}$            |                       |
| Idem.....                                                    | 24            | ☉ $55^{\circ}9\frac{1}{2}'$   | $32^{\circ}53'$            | .....                   | $62^{\circ}46''$      |
| Idem por el Gnomon.....                                      | 26            | * $54^{\circ}41'$             | $32^{\circ}51'$            |                         |                       |
| Desaguadero.....                                             | Abril 2       | * $52^{\circ}22\frac{1}{2}'$  | $32^{\circ}27'$            | $14^{\circ}$            |                       |
| Ciudad de San Luis, por α de Leo.....                        | 3             | $43^{\circ}43\frac{1}{2}'$    | $33^{\circ}18\frac{1}{2}'$ |                         |                       |
| Ciudad de San Luis.....                                      | 4             | ☉ $50^{\circ}29\frac{1}{2}'$  | $33^{\circ}18\frac{1}{2}'$ | .....                   | $59^{\circ}27''$      |
| Tres leguas á Occidente del morro con el Gnomon... Punta del | 6             | * $50^{\circ}11\frac{1}{2}'$  | $33^{\circ}6\frac{1}{2}'$  |                         |                       |

«El tiempo hermoso, la precisión de ver amanecer y de correr todavía algunas horas después de puesto el Sol en las llanuras interminables de las Pampas, y el deseo de sacar algún partido del tiempo, nos movió a observar muchas veces la duración del crepúsculo, y a calcular la depresión del Sol cuando apuntaba o se confundía en el horizonte la luz crepuscular»

### NUMERO III.

*Experiencias sobre la gravedad hechas con un péndulo invariable en los puertos de Europa, América y Asia, mar Pacífico y Nueva Holanda en el viage de las corbetas Descubierta y Atrevida.*

El tercer apéndice de esta segunda Memoria revela que en la expedición de Malaspina se efectuaron observaciones gravimétricas, en las que Espinosa fue protagonista de excepción, las cuales fueron ordenadas por el ministro de marina Antonio Valdés y Fernández Bazán 81744-18169 el 20 de diciembre de 1790. El propio Espinosa indicó como procedieron los tres operadores al hacer las medidas pendulares: «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 más de un medio segundo». No obstante, el procesamiento de los datos observados era tan complejo, que se vieron obligados a solicitar la colaboración de G. Ciscar: «...pero para sacar consecuencias de estas observaciones delicadas se requería que las manejase un matemático profundo. Por esto recurrimos al Brigadier Don Gabriel de Ciscar, quien por un efecto de su amor a las ciencias y de la amistad que nos une, ha tenido la condescendencia de calcular dichas observaciones, y sacar de ellas los resultados que contiene el escrito que ponemos a continuación (*Consecuencias que se deducen de las observaciones hechas con el péndulo invariable. Por Don Gabriel de Ciscar, Brigadier de la Real Armada*)».

## Pedro Esquivel (?-ca.1570)



Nombrado por Felipe II, matemático real, se le atribuye la formación de un mapa de España, el primero en el que se podría haber usado el todavía novedoso método de la triangulación. Poco se sabe de su vida y obra, brillantemente resumida por Victor Navarro Brotons para la Real Academia de la Historia. Se formó en la Universidad de Alcalá de Henares, en la que llegó a ocupar la cátedra de Matemáticas. Fue conocedor de la obra de Gemma Frisius, parte de la cual fue incluida en la *Cosmografía de Apiano*; además de topógrafo experto que colaboró en varios de los proyectos de ingeniería civil más señalados de su tiempo. El gran humanista Ambrosio de Morales (1513-1591), en su conocido libro *Las Antigüedades de las ciudades de España: que van nombradas en la Crónica, con la averiguación de sus sitios, y nombres antiguos* (1575), refirió las mediciones realizadas por Esquivel en Extremadura, una singular contribución a la historia de la metrología. Bajo el epígrafe *De las Antigüedades. Razón de las medidas del pie, paso, milla y legua española, de que se ha de usar muchas veces...*, procedió a definir cada una de esas unidades y a comentar la necesidad de enmendar el desbarajuste



ocasionado por la diversidad de las medidas españolas. Mencionó entonces el fallido intento de Nebrija, que pretendió que la medida de su propio pie fuese usada como patrón, y la intervención del Maestro Esquivel, el cual «quiso suplir este defecto y entender puntualmente el tamaño de nuestro pie español antiguo, para la certificación de todas las medidas».

Para ello se trasladó a Mérida, obviando los intervalos entre miliarios que había usado Nebrija para centrarse en el estudio del acueducto; comprobando que todas sus lumbreras eran equidistantes, «...y que tendrían aquellas distancias algún número cierto de pies que el artífice es daría». Acto seguido midió una de ellas con cordel y «Halló que tenía cincuenta varas justas, y lo mismo tenían todas las demás». Así dedujo que la vara tenía tres pies, «pues más ni menos no los sufre la disconformidad».

Esquivel confirmó la validez de su deducción midiendo después muchas millas del Camino de la Plata, «en más de veinte leguas con cordeles de cincuenta varas»; hallando siempre que la distancia entre dos mármoles (*miliarios*) consecutivos era de treinta y tres cordeles, y tercia de cordel, «sin haber en una más que en otra. Y estos cordeles hacen al justo los cinco mil pies, de que hacen los mil pasos de cada milla».

Evaluada la magnitud del pie, prosiguió con las itinerarias; usando para ello el cordel de cincuenta varas, «...por ser medida conveniente



para todo lo que en las largas distancias se puede medir...». En cuanto a las millas, indicaba como obvio que dos de ellas equivalían a media legua, es decir sesenta y seis cordeles, y dos tercios de cordel, al igual que «cuatro millas, que hacen una legua, ciento treinta y tres cordeles, y tercia de cordel, en que habrá cuatro mil pasos, seis mil y seiscientos, y sesenta y seis varas y dos tercios, y veinte mil pies».



Leguario del siglo XVI, en el Monasterio del Escorial. La distancia a Madrid se indica en leguas y varas.

Todas esas comprobaciones las efectuó Esquivel a lo largo del itinerario del emperador Antonino, «también las verificó con medir muchas leguas de las que son tenidas por grandes en España, y sobró harto espacio, y en las son tenidas por pequeñas, faltó. Sin esto entendió, como concierto bien con las leguas de aquel camino de la Plata; pues donde ponen comúnmente diez leguas, se hallan cuarenta de aquellos espacios señalados con las columnas».

Miliario de Nerón. Año 58. Cápara (Cáceres)



Ambrosio Morales describió a la perfección el patrón de legua que le había indicado el propio Esquivel: «Dixo me, conforme a todo ello, el Maestro Esquivel, que desde el umbral de la puerta de Guadalajara, a la que ahora llaman de los Mártires, aquí en Alcalá de Henares, hasta la pared del mesón del pequeño lugar llamado Canaleja, hay una

legua tan justa de las de cuatro millas: que podría servir de vara de medir para todas las leguas de España. Y por ser todo este espacio llanísimo, sin haber ningún género de barranco, es más cierta la medida».

Goniómetro con  
brújula y alidada  
(1575)



Justo antes de hacer esa descripción de la legua, el cronista mencionó que el proceder de Esquivel en esas mediciones directas de distancias había sido diferente del que seguía en otros trabajos: «estas medidas hacía así para estas averiguaciones, pero para sus descripciones de España, yua los triángulos de Juan de Monte Regio». Sin restarle importancia al hecho de que esquivel usara la trigonometría explicada por Regiomontanus, lo más relevante es que refiriera la Descripción de España, esto es la ímproba tarea que le había encomendado Felipe II en 1566., y en la que participarían también Juan de Lastanosa, Diego y Felipe de Guevara. Esquivel, en palabras de A. de Morales tendría que «hacer una descripción tan entera y tan cumplida, que señalase en ella particularmente los lugares, ríos, arroyos y montañas por pequeños que fuesen». Muchos de los instrumentos empleados en los trabajos de campo fueron diseñados por el propio Esquivel, entre los que habría un goniómetro (círculo con alidada) similar al que aquí figura. El levantamiento topográfico correspondiente debió ser minucioso, a tenor

de lo que comentaba Felipe de Guevara: no había «palmo de tierra de España que no fuese por el autor vista, andada u hollada, asegurándose de la verdad de todo, en cuanto los instrumentos matemáticos dan lugar, de manera que sin encarecimiento se puede afirmar que, después que el mundo es creado, no ha habido provincia en

él descrita con más cuidado, diligencia y verdad». Suele afirmarse que Esquivel usó el método de la triangulación, para localizar puntos inaccesibles, lo cual no es de extrañar pues Lastanosa estaría al tanto de que Deventer ya lo había usado en Holanda, tal como recogería su discípulo G. Frisius en su obra *Libellus de locorum describendorum ratione, & de eorum distantiiis inveniendis* (1533). Durante mucho tiempo se ha asociado a la Descripción de España, el llamado Atlas del Escorial, aunque en la actualidad cobre fuerza la idea de que su autor fuese Alonso de Santa Cruz, tal como defiende el topógrafo Antonio Crespo Sanz en su tesis doctoral sobre tan valioso documento cartográfico. También se ha incorporado al debate una interesante colección de cuadernos de campo manuscritos, que se conserva en la Biblioteca Real de Estocolmo, que si parecen corresponder a la Descripción.



El Atlas del Escorial. Mapa de conjunto con la distribución de hojas.



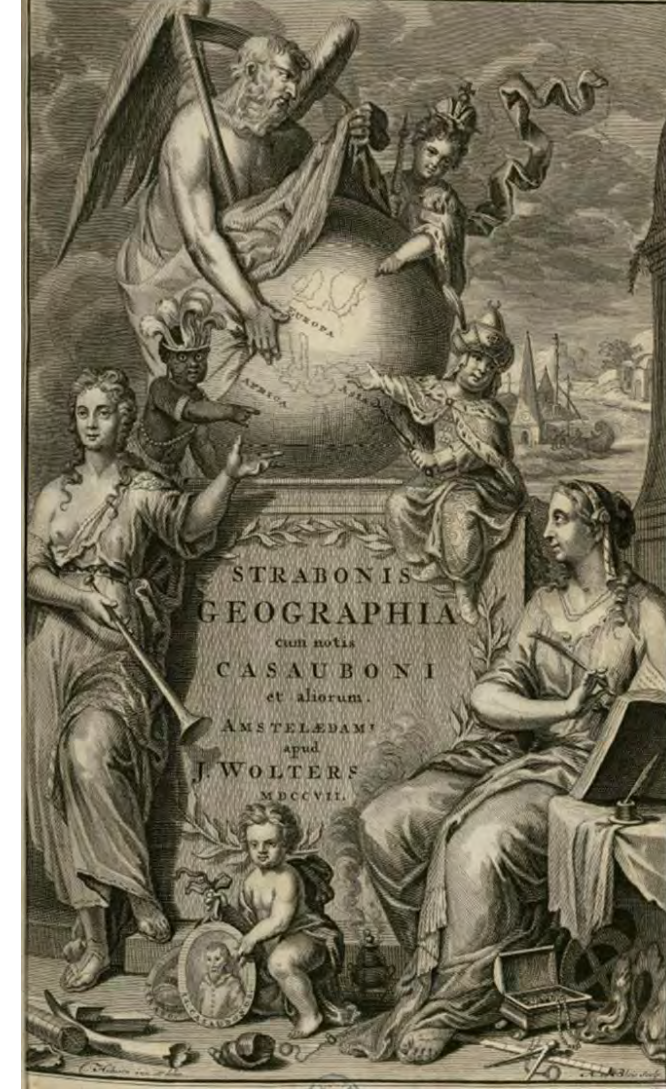
## Estrabón (ca. 64 a.C. – ca. 24 d.C.)

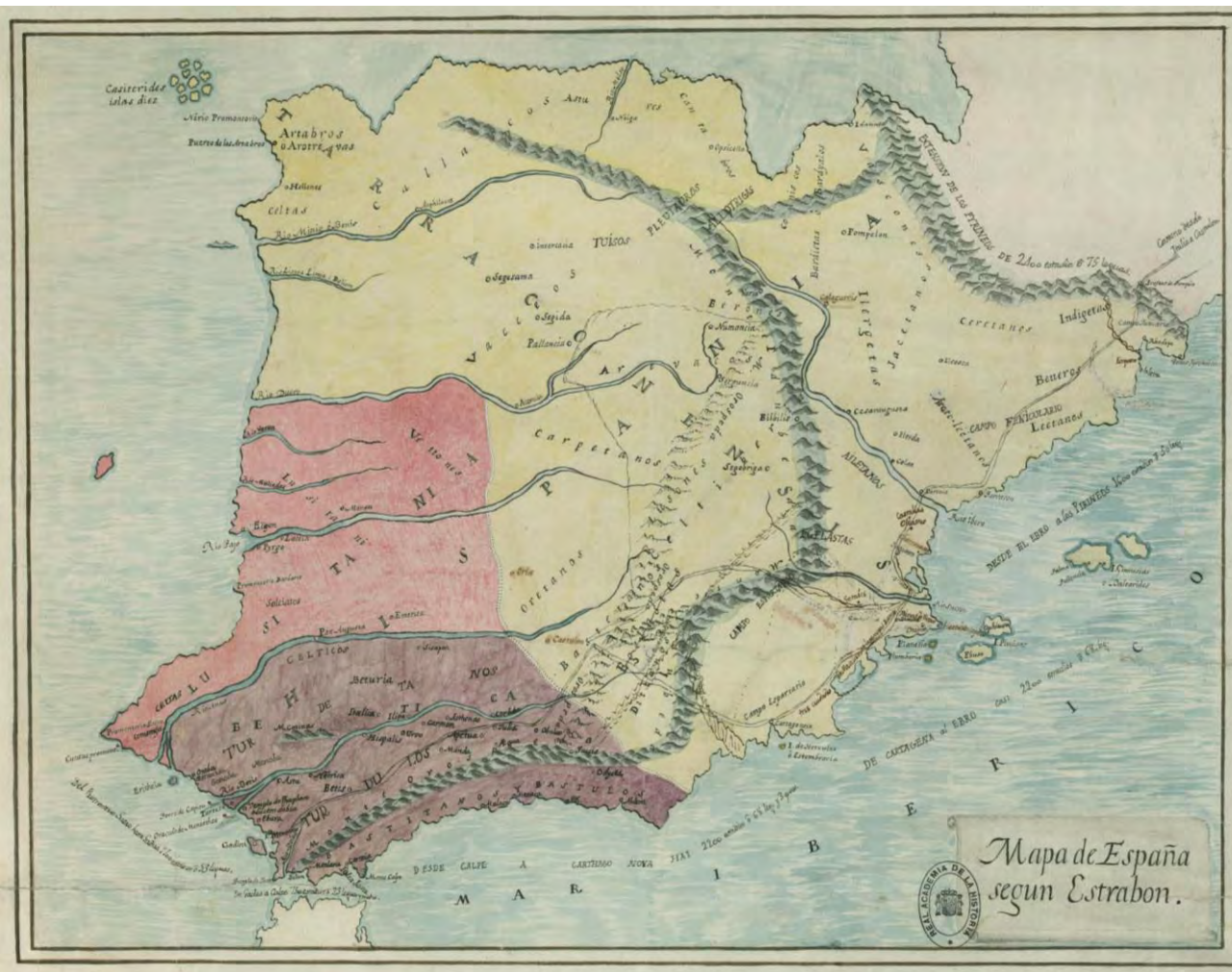
Geógrafo descriptivo y viajero impenitente que recorrió prácticamente la totalidad de la ecúmene y concedía escaso valor a los mapas apoyados en observaciones astronómicas. Todo lo que se sabe de su vida se debe a las noticias autobiográficas, sabiendo que desde su Amaseia (Amasya) natal se trasladó a Roma (en torno al año 44 a.C.) y se unió a Elio Galo, que fue segundo prefecto de Egipto en el año 20 a.C. Estrabón, como amante de la historia quiso continuar la que escribió Polibio (200 -118 a.C.), pero no se conservan rastros de sus *Memorias Históricas* (47 libros). La relación que defendía entre la historia y la geografía, hizo que en los últimos años de su vida decidiera a escribir su obra magna (*Geographica*), compuesta por diecisiete libros; un trabajo enciclopédico, en donde se reunió (quizás por vez primera) las matemáticas con la física y la historia en un solo tratado. Los dos primeros libros fueron de carácter introductorio, incluyéndose en ellos la crítica a Eratóstenes, que según él se equivocó al haber descartado la información geográfica que había referido Homero; ese hecho tuvo un efecto añadido beneficioso, pues fue el único medio en que se dieron a conocer las teorías de aquel sobre la geografía matemática.

En los quince libros restantes se describen los tres continentes: III al X, Europa, dedicando el III a Iberia, aunque Grecia ocupe un lugar privilegiado (VIII-X), tomando a Homero como guía; XI al XIV, Asia menor; XV y XVI, Oriente; Asia (XI-XVI); XVII, XVIII, África (Egipto y Libia). Ciertamente, los libros referidos al mundo griego quedaron anclados a la concepción geográfica de Homero, el cual defendía la existencia del océano que rodeaba al mundo (análogo al río amargo del mapamundi babilónico); sin embargo, en esa misma sección admitió Estrabón que la civilización griega fue en parte resultado de la naturaleza marítima de la Grecia continental. A pesar de ello, insistió al mismo tiempo en que las consideraciones geográficas, por si mismas, no pueden explicar la grandeza de un pueblo y que Grecia debió su poderosa influencia al interés de sus ciudadanos por la política y las artes; en otra parte de su Geografía llega incluso a creer que el conocimiento de la misma contribuiría al desarrollo de los pueblos.

Estrabón deseaba proporcionar a los líderes del Imperio Romano información geográfica con la que pudiesen regir mejor su destino, pero no logró su objetivo puesto que su obra pasó prácticamente desapercibida. Sólo a partir del siglo V d.C.

adquirió cierta popularidad, al ser citada regularmente por Esteban de Bizancio en su *Ἐθνικά* (Ethnika), el diccionario (geográfico-étnico-filológico) que dedicó al emperador Justiniano (482-565). Posteriormente, durante la Edad Media, la popularidad de Estrabón aumentó considerablemente y los escritores llegaron a considerarlo el arquetipo del geógrafo. En el siglo XV, Guarino de Verona (1374-1460) tradujo toda la obra de Estrabón, contribuyendo así a su redescubrimiento.





Curiosamente los pasajes más interesantes desde el punto de vista cartográfico, en la geografía, son aquellos en los que, aunque no contuvieran mapas, se comentó como tendría que ser recopilada la descripción del mundo conocido; cuyas fronteras se habían ampliado gracias a las múltiples campañas de los romanos y los partos. Estrabón, al tratar de actualizar las representaciones previas de la ecúmene, se apoyó en el mapa de Eratóstenes, aunque también tuviese presente el modelo defendido por Crates, al que citó explícitamente; pero sin perder de vista el patrón ya citado de una ecúmene como isla, alrededor de la que se podría navegar a ambos lados (a excepción de algunos tramos intermedios). Sin embargo, a pesar del territorio ganado por las conquistas, resultó que la ecúmene de Estrabón fue menor que la de Eratóstenes; pues este

había fijado su límite septentrional en el paralelo de Tule (con una latitud de  $66^\circ$ ) y Estrabón pensaba que la vida era imposible tan al Norte. El paralelo límite fijado por Estrabón fue el de las isla de Irlanda (a  $54^\circ$  de latitud). En cambio si aceptó la frontera meridional, con una latitud próxima a los  $12^\circ$  N, en la actual Etiopía. Las nuevas dimensiones adoptadas fueron: un desarrollo latitudinal de 30000 estadios, en lugar de los 38000 de Eratóstenes, y uno longitudinal de 70000 estadios, en lugar de los 78000 previos.

Estrabón usó también símiles para describir determinados países, aunque sustituyese las figuras geométricas de Eratóstenes por otras de la vida cotidiana. Así por ejemplo, Iberia sería parecida a la piel del toro, el Peloponeso a la hoja del plátano y la desembocadura del Nilo a la letra griega delta mayúscula; procediendo como si al hacerlo hubiese tenido a la vista una representación gráfica del mundo habitado.

A pesar de la escasa fiabilidad geométrica de la Geografía de Estrabón, su contenido mereció encendidos elogios de historiadores como el francés F.P.J. Gosselin: «Parmi les ouvrages anciens que le temps a respectés, il en est peu qui présentent un intérêt aussi vaste, aussi soutenu, que la GÉOGRAPHIE DE STRABON. Elle renferme presque toute l'histoire de la science depuis Homère jusqu'au siècle d'Auguste: elle traite de l'origine des peuples, de leurs migrations, de la fondation des villes, de l'établissement des empires et des républiques, des personnages les plus célèbres; et l'on y trouve une immense quantité de faits qu'on chercheroit vainement ailleurs».



Dos vistas de la ecúmene según Estrabón.





STRABONIS  
SYSTEMA  
GEOGRAPHICUM

PARALLELI

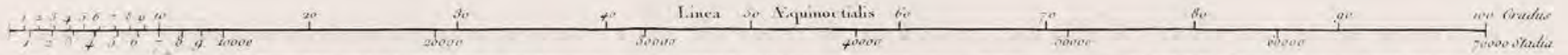
60°  
50°  
40°  
30°  
20°  
10°

OCEANUS SEPTENTRIONALIS  
Limes Terrae habitabilis

Enucleabat GOSSELLIN  
M. DCCLXXXIX.



- Limes
- Per Arven
- Per Borysthenem
- Per medium Britannias
- Per Galliam Septentr.
- Per Byzantium
- Per Massiliam
- Per Rhodam
- Per Alexandriam
- Per intimum Syetis
- Per Syenem
- Per Meroen
- Limes
- Aequator





## Euclides (ca. 325-ca.265)

Considerado el padre de la geometría y el mejor profesor de matemáticas de todos los tiempos; sin embargo, se sabe poco de su vida, excepto que enseñó en Alejandría (a veces se le cita como Euclides de Alejandría). Se cree que era menor que Platón pero mayor que Arquímedes y Eratóstenes, admiró tanto la obra del primero que quiso concluir la propia, más celebrada, con la construcción de las llamadas figuras platónicas. Por otro lado, también se sospecha que pudo ser el director de un equipo de investigación, cuyos componentes contribuyeron a escribir las obras completas que se le atribuyen; no obstante, si la hipótesis fuera correcta, Apolonio, que estudió con los alumnos de Euclides en Alejandría, debió de haberlo sabido y no escribió nada al respecto. La obra más renombrada de Euclides fueron Los Elementos, una especie de recopilación de conocimientos, que se convirtió en el núcleo de la enseñanza de las matemáticas durante 2000 años. Probablemente Euclides no demostró por primera vez ningún resultado en Los Elementos, pero la organización del material y su exposición ciertamente se le deben a él.

De su estudio se desprende que Euclides usó para ello obras de consulta previas, a tenor de la gran cantidad de definiciones, como las de oblongo, rombo y romboide. Los elementos, fueron a juicio de Christianus Wolfius (1679-1754) un legado tan excepcional, de entre cuantos nos han quedado de la antigüedad, que su conservación debería atribuirse a un especial beneficio de la providencia.

Los Elementos se dividieron en trece libros: del I al VI trataron de geometría plana, tratando el I y el II las propiedades básicas de triángulos, paralelos, paralelogramos, rectángulos y cuadrados. El libro III estudió las propiedades del círculo, mientras que el libro IV abordó el problema de sobre círculos, pretendiendo fundamentalmente exponer el trabajo de los pitagóricos. El libro V explicó el trabajo de Eudoxo sobre la proporción, aplicada a magnitudes conmensurables e inconmensurables, un descubrimiento excepcional que sustentó el desarrollo de la geometría ayudó a comprender la teoría de los números reales. El libro VI analizó las aplicaciones de los resultados del libro anterior a la geometría plana. En el VII se presentó de manera independientes la teoría de los números, y particularmente el algoritmo de Euclides para hallar el máximo común divisor de dos números. El libro VIII presenta las series numéricas en proporción continuada y en progresión geométrica, aunque este último concepto no quedara claro.



*Eukleidou Stoicheion* fue la primera versión en griego editada en Europa (1533), traducida al inglés (*Euclid's Elements*) en 1570 por Sir Henry Billingsley (ca. 1538-1606)

**INPS.**  
**ESTADAL**  
**DE AGRICULTURA,**  
**O PRACTICA**  
DEL PRIMER LIBRO DE EUCLIDES;  
preciso para medir, aprear, tassar, y conservar  
las Heredades del Campo.

LE ESCRIVE  
DON MATHÉO SANCHEZ VILLAYOS,  
*Alarife de Madrid, uno de los nombrados por los señores  
del Consejo para las Tassaciones de Casas, Obras, y Re-  
paros, Agrimensor de Terminos, y Heredades, y de Pro-  
pios de dicha Villa, natural de la mui Noble, y  
Leal Villa de Manzanares.*

LE DEDICA  
AL MUI ILUSTRE SEÑOR DON JUAN  
Raymundo de Herrera Chiriboga, &c.

CON PRIVILEGIO.  
EN MADRID: En la Oficina de ANTONIO MARINÉ  
Año de 1744.

*Se ballará dos puertas mas abaxo del Corral de la Cruz.*

✠  
**ELEMENTOS**  
**GEOMETRICOS**  
**DE EUCLIDES,**  
DISPUESTOS EN METHODO BREVE,  
Y FACIL,  
PARA MAYOR COMODIDAD  
de los aficionados, y uso del Real  
Seminario de Nobles de  
Madrid.

SU AUTOR  
EL PADRE GASPAR ALVAREZ,  
*de la Compañia de Jesus, Maestro de Mathematicas  
en el mismo Real Seminario.*

DEDICADOS  
AL GLORIOSISSIMO JESUITA,  
**SAN LUIS GONZAGA,**  
PATRON DE TODOS LOS ESTUDIOS  
DE LA COMPAÑIA.

En Madrid: En la Oficina de la calle Angosta de  
San Bernardo. Año de 1739.

El libro IX fue una especie de miscelánea aritmética, en la que se mostraba la descomposición en factores primos y el hecho de que fuesen innumerables. El libro X trató de los números irracionales y se cree que gran parte del mismo corresponde al trabajo de Teeteto (ca.417-ca. 369 a.C.). Los tres últimos libros se dedicaron a la geometría en el espacio (tridimensional), dándose en el XI las definiciones básicas que afectaban a todos ellos; los teoremas correspondientes siguieron un modelo análogo a los de la geometría plana, presentados en los libros I y IV. Los principales resultados del libro XII son que la razón entre los círculos coincide con la que existe entre los cuadrados de sus

diámetros, mientras que la de las esferas equivale a la que hay entre los cubos de sus diámetros. Los Elementos terminan con el libro XIII, en donde se analizaron las propiedades de los cinco poliedros regulares (sólidos platónicos) y se demuestra que existen precisamente cinco; este libro también parece estar basado, en gran medida, en un tratado de Teeteto.

Los Elementos de Euclides destacan por la claridad con la que se exponen y demuestran los teoremas. Las evidencias sobre el uso de los Elementos son antiguas, como los ostracones y restos de papiros que se conservan con texto y figuras. Thomas Little Heath (1861-1840), que también tradujo los Elementos al inglés en 1908, pensaba que se trataba del mejor libro de texto de matemáticas de todos los tiempos;



los matemáticos griegos ya los valoraron en sus comentarios, llegando a reeditarlos Teón de Alejandría.

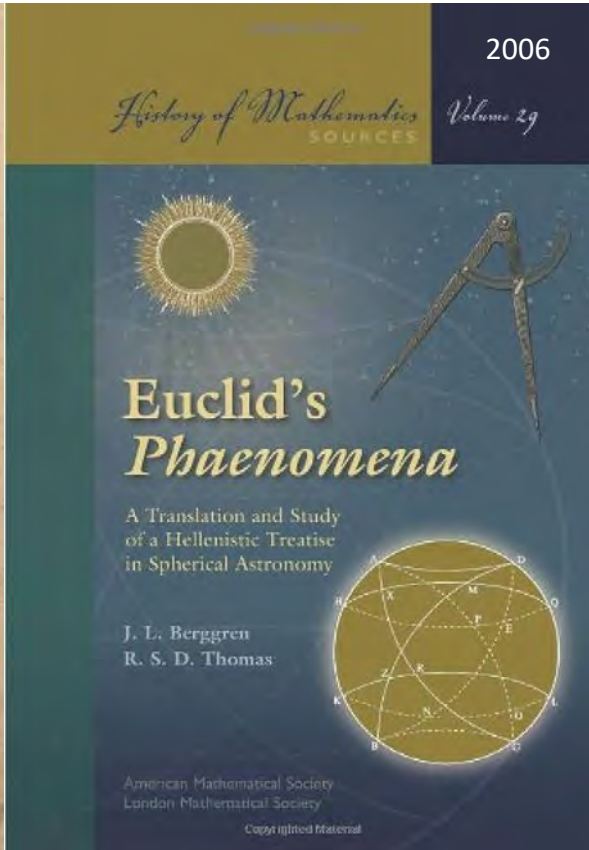
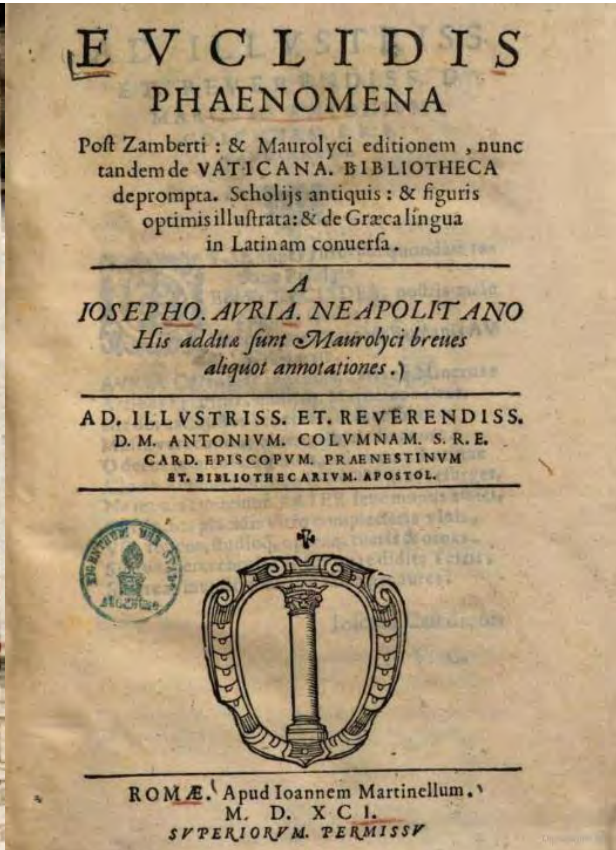
Desde que se imprimieron la primera vez en Venecia, el 25 de mayo del año 1482, se han realizado más de mil ediciones. La influencia de los elementos de Euclides en el desarrollo del conocimiento ha sido incuestionable desde que se escribieron, pues fueron la fuente principal del razonamiento geométrico hasta que en el siglo XIX surgiera la geometría no euclidiana. Ocasionalmente se asegura que, después de la Biblia, fueron los libros más traducidos, publicados y estudiados de todos los producidos en el mundo occidental.



Primera página de Los Elementos de Euclides, edición de 1482. Library of Congress (USA)

Otras de las obras de Euclides que han llegado hasta nosotros son las siguientes: *Datos*, *Divisiones*, *Óptica* y *Fenómenos*. En la primera se analiza cómo pueden deducirse las propiedades de una cierta figura a partir de otras dadas, el dato 39, por ejemplo, si las dimensiones de los tres lados de un triángulo son conocidas, lo es la forma del mismo. En *Divisiones* se estudiaban las construcciones para dividir una figura de modo que resulten otras con determinadas superficies, uno de los ejemplos fue el siguiente: dado un triángulo y un punto de su interior, trazar una recta que lo contenga y divida al triángulo en dos partes iguales. La *Óptica* fue la primera obra griega sobre la perspectiva, en la que se inspiró Durero, considerado como uno de los mejores libros hasta los trabajos de Newton. Los *Fenómenos* (Phaenomena) fueron un tratado de astronomía esférica, en el que se abordaron entre otras cuestiones, los instantes en que salían y ponían las estrellas (ortos y ocasos).

Euclides con la esfera y la dioptra para observar la Luna y las estrellas, junto a él aparece Hermannus Contractus (1013-1054) con un astrolabio. Bernardus Silvester: *Liber fortunae*, also known as *Experimentarius*, finales del siglo XIV.





De entre los múltiples manuscritos medievales de los Elementos de Euclides, se ha seleccionado el que realizó Adelardo de Bath (ca. 1080-ca.1150) a partir de la versión árabe del original griego, decorado con letras capitulares bellamente ornamentadas. El motivo no ha sido otro que la inclusión del retrato del autor dentro de la P mayúscula con la que comienza el texto: un Euclides barbudo vestido de rojo y azul que mide un globo con un compás. Es sorprendente la decisión de representar a Euclides como si fuera Cristo, una evidencia de dos sentimientos encontrados: admiración y hostilidad hacia la literatura pagana, que debieron estar muy presentes en los primeros padres de la iglesia.

Escuela de Atenas



Eudemo

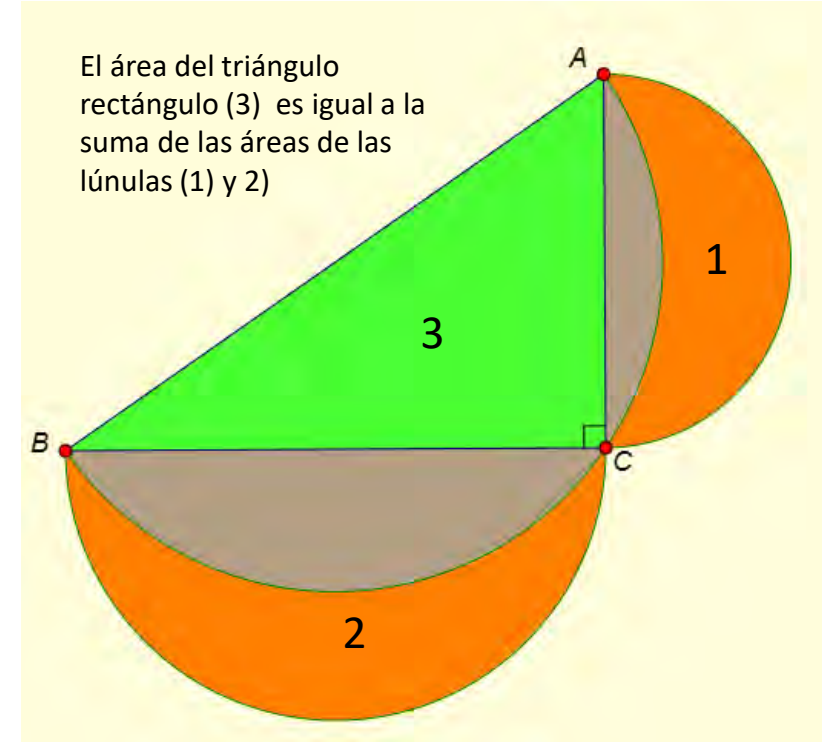
## Eudemo de Rodas (ca. 370- ca.300 a.C.)

Considerado el primer historiador de las matemáticas, fue uno de los alumnos más distinguidos de Aristóteles y editor de muchas de sus obras. Tal era la estima que sentía Aristóteles a hacia Eudemo y Teofrasto, que les llamaba compañeros, cuando se formaban en Atenas. Al fallecer Aristóteles, Eudemo se trasladó a su Rodas natal para fundar allí su propia escuela. Aunque fuese el autor de algún trabajo sobre el ángulo, parece que fueron de importancia menor, si se comparan con los que realizó sobre la historia de las matemáticas; animado precisamente por su profesor. Hay constancia de dos o más libros, sobre la historia de cada una de las materias siguientes: Aritmética, Geometría y Astronomía. La Historia de la

Aritmética la conocemos sólo por una referencia a ella en los escritos del filósofo sirio Porfirio (ca. 232-304), en la que se comenta que el primer libro trataba de la idea pitagórica sobre el número y sus interrelaciones con la música. La Historia de la Geometría es la más importante de las tres historias matemáticas de Eudemo, aunque no se haya conservado si hay pruebas de que fue usada por los autores posteriores. Aunque la obra no ha sobrevivido, estuvo disponible para muchos escritores posteriores que la utilizaron intensamente. Gracias a estos libros se tuvo una idea del desarrollo de las matemáticas griegas antes de Euclides, buen ejemplo de ello es el trabajo de Hipócrates de Quios (470 - ca. 410 a.C.) sobre la cuadratura de las lúnulas, que le llevó a pensar en la posibilidad de lograrlo con todo el círculo; esta historia de Eudemo sirvió de guía a otras escritas por los autores posteriores.



Eso mismo ocurrió con su Historia de la astronomía y en concreto con la predicción del eclipse tan ligada a la figura de Tales, citada por Eudemo, y con el sistema de las esferas concéntricas de Eudoxo, también descrito por él y luego transmitido por medio de los escritos de Simplicio de Ciclicia (c.480 - c.560). Otras de las cuestiones que se comentan en este libro fueron: el año platónico, o año mayor, después del cual todos los cuerpos celestes se encontrarían en la misma posición relativa del principio; la tesis de Anaximandro (ca. 610 - ca. 546 a.C.), según la cual la Tierra era un cuerpo celeste que se movía por el centro del universo; el descubrimiento de Anaxímenes de Mileto (ca. 590 - ca. 525 a.C.) de que la Luna reflejaba la luz del Sol y la explicación de los eclipses; la desigualdad entre los días de los solsticios y de los equinoccios.



No obstante, Eudemo de Rodas fue más conocido por la concienzuda divulgación que hizo de los trabajos de Aristóteles, gracias a la cual fue transmitida hasta nuestros días. La contribución de Eudemo resultó esencial por haber tenido acceso directo a las obras de su profesor y a sus propios apuntes, y mejorar de esa forma la edición de las mismas. Suyo fue además un trabajo adicional sobre Física, dividido en cuatro libros, claramente influenciada por la del mismo título que hizo su maestro. También escribió sobre Lógica y sobre el Discurso.

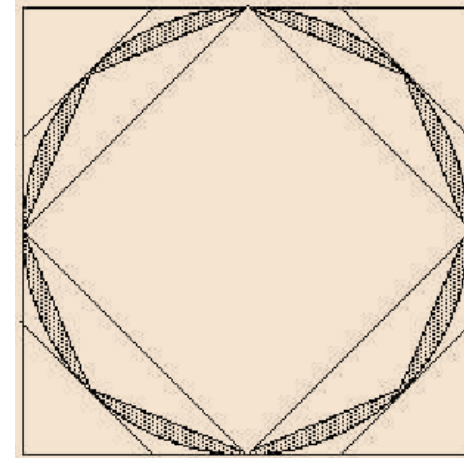
## Eudoxo de Cnido (400 - 347 a.C.)



Como buen pitagórico creyó que las matemáticas eran la clave de la astronomía, suya fue la primera explicación sistemática de los movimientos planetarios, iniciándose con él la necesaria interacción de la observación con la teoría. En su ciudad natal recibió buena formación en matemáticas y medicina, con tan buen aprovechamiento que un vecino adinerado pagó su viaje a Atenas para unirse a la Academia recientemente creada por Platón. Finalizada su estancia en la misma viajó a Egipto, instalándose en Heliópolis para estudiar la astronomía que dominaban sus sacerdotes. Allí escribió su primera obra importante, *Octaëteris*, un tratado sobre el calendario, durante este tiempo; después trabajó como profesor en las cercanías del Mar de Mármara, antes de volver a Atenas. Eudoxo contribuyó como pocos al progreso de la astronomía y de las matemáticas, siendo reconocido por Euclides, el cual se apoyó en gran parte de su trabajo al escribir algunos libros de sus elementos.

Las principales aportaciones de Eudoxo a las matemáticas es su método de exhaución, su teoría de la proporción y la introducción de números irracionales; él demostró que cualquier número irracional podría aproximarse con cualquier grado de precisión mediante números racionales. A esta importante contribución a la teoría de números, tratada en detalle en el libro V de los Elementos de Euclides, la llamó teoría de la proporción.

En cuanto al método de exhaución, descrito también en el libro VII, fue el usado al abordar el cálculo de áreas y volúmenes mediante aproximaciones sucesivas: la de un círculo, por ejemplo, se puede aproximar mediante la de una serie de polígonos regulares, con lados cada vez más pequeños. Eudoxo combinó así su teoría de la proporción con la idea de la longitud infinitamente pequeña, la base del cálculo integral desarrollado por Leibniz y otros matemáticos del siglo XVII.

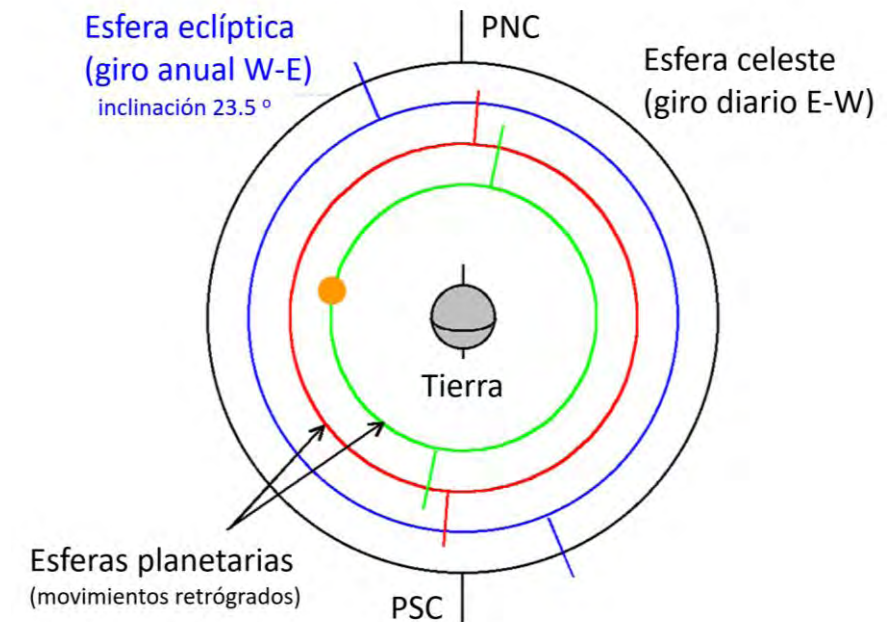


Papiro del siglo II a. C., descubierto en el Serapeum de Menfis, en el que figuran restos de un tratado astronómico de Eudoxo, convenientemente ilustrado

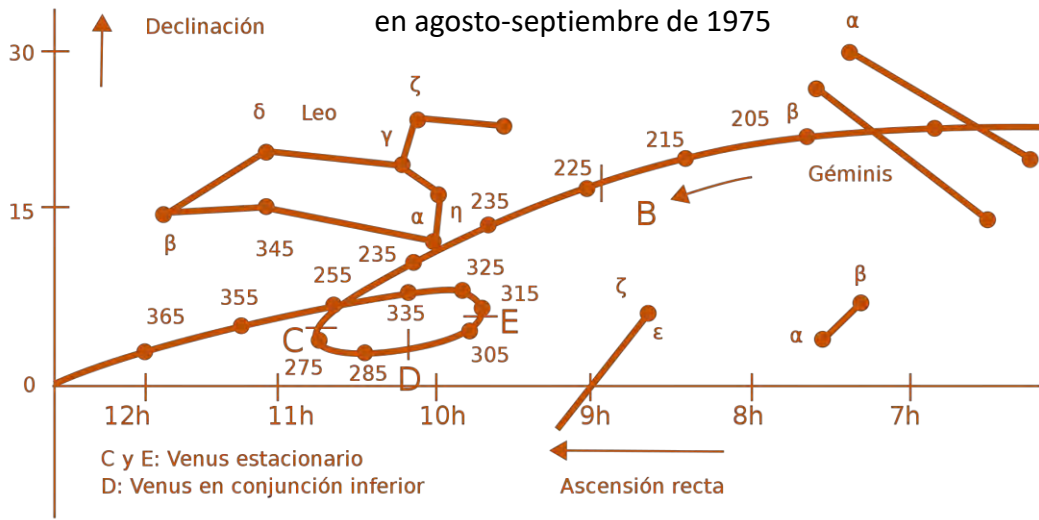
La contribución astronómica de Eudoxo también fue determinante, al explicar el universo mediante una serie de esferas concéntricas animadas de movimiento. Las estrellas estaban situadas en la más exterior (la esfera de las fijas), teniendo los astros errantes (los planetas) las que le eran propias, pero con rotación diferente. El sistema elegido para justificar el movimiento de los siete planetas era admirable desde el punto de vista matemático, aunque no resultase del todo satisfactorio para Venus y del todo inadecuado para Marte. En todo caso el sistema de esferas concéntricas sobrevivió durante más de dos milenios, siendo ajustado por Tolomeo en el siglo II y superado por las leyes enunciadas por Kepler entre los años 1609 y 1619.

La teoría planetaria de Eudoxo la publicó en su libro *Sobre velocidades*, ahora desaparecido, influenciado sin duda por los pitagóricos, a través de su profesor Arquitas de Tarento (ca. 430- ca. 360 a.C.), los cuales creían que la forma de la esfera era el símbolo de la perfección. Las esferas homotéticas, propuestas por Eudoxo, giraban alrededor de un eje que pasaba por el centro de la Tierra, pero que no era fijo en el espacio. En el movimiento de los planetas se involucraban cuatro esferas para cada uno de ellos, salvo para el Sol y la Luna en la que solo eran necesarias tres: la primera sería la esfera de las fijas, la segunda se desplazaba a lo largo del círculo zodiacal y la tercera sobre un círculo inclinado a lo ancho del zodiaco. Las dos primeras esferas de los

planetas coincidían con las del Sol y la Luna, ya que la de las fijas es la que mueve a todas las demás. Los polos de la tercera esfera planetaria se encuentran en el círculo que divide el zodiaco, siendo diferentes para cada uno de los planetas, salvo en el caso de Venus y Mercurio que eran iguales. Resultaban por tanto un total de 27 esferas.



Movimiento aparente de Venus en agosto-septiembre de 1975



La explicación de la retrogradación aparente de los planetas, dada por Eudoxo, fue reflejo de su prodigioso ingenio; pocos podrán imaginar tres esferas homocéntricas organizadas de manera que el planeta asociado a una de ellas viajase alrededor del centro común, efectuando movimientos retrógrados de carácter periódico. Ese movimiento imaginario del planeta es el resultado de proyectarlo, desde la Tierra, sobre la esfera de las fijas.

Altura de Atlas  
≈ 1.91 m



Eudoxo escribió la obra Fenómenos, centrada en las constelaciones, aunque solo sea conocida a partir de la versión poética que hizo de la misma Arato, luego representadas en el Atlas de Farnese; una de las imágenes globulares más remota que coincide sensiblemente con la descripción del cielo hecha por aquél. También escribió Eudoxo sobre geografía, concretamente el libro titulado la Vuelta de la Tierra, referenciado en diversas fuentes documentales. Constó de siete libros, en los que se comentaron los sistemas políticos e históricos de los pueblos de la Tierra, prestando especial atención a Egipto.

← El titán Atlas al que Zeus condenó a sujetar el peso del mundo sobre su espalda durante toda la eternidad. Museo Arqueológico de Nápoles

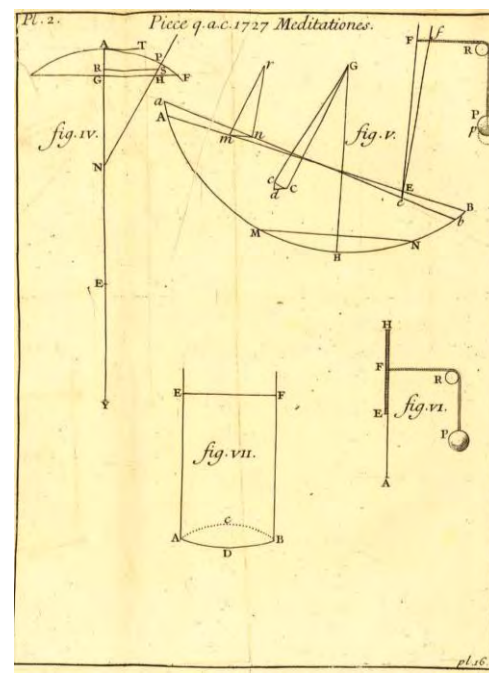
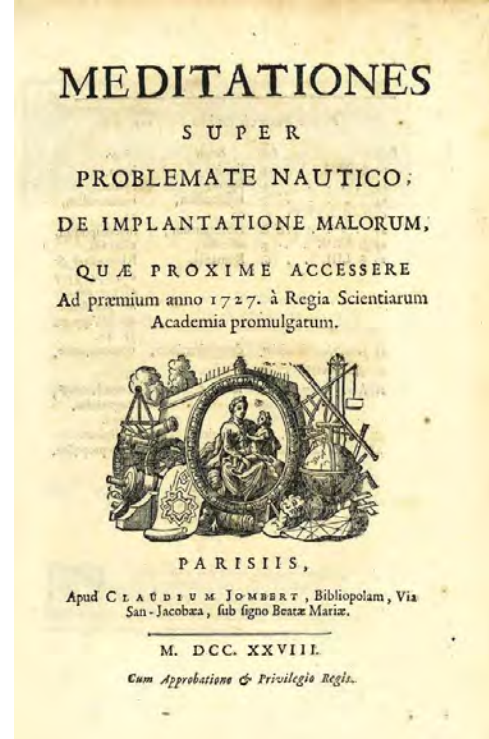
## Leonhard Paul Euler (1707 – 1783)

Matemático y físico suizo con una capacidad de cálculo insuperable, que simplificó la notación introduciendo nueva simbología:  $f(x)$  para indicar la función, el número  $e$  como base de los logaritmos naturales (cuyo valor es de 2,71828 aproximadamente), la letra  $i$  como unidad imaginaria (la raíz cuadrada de  $-1$ ), por citar solo tres ejemplos significativos. Euler recibió de su padre las primeras lecciones de matemáticas, antes de cursar sus primeros estudios escolares en Basilea. Aunque no recibiese la formación esperada, continuó interesado en las enseñanzas que había recibido de su padre. Por iniciativa de este, que era pastor protestante, ingresó en la universidad de Basilea en el año 1720; recibiendo al mismo tiempo el asesoramiento de Johann Bernoulli, amigo de su padre. El propio Euler reconocería después que las ocupaciones de Bernoulli le impidieron darle clases particulares, «... pero me dio consejos mucho más valiosos para empezar a leer libros de matemáticas más difíciles por mi cuenta y estudiarlos con la mayor diligencia posible; si me encontraba con algún obstáculo o dificultad, me daba permiso para visitarlo libremente todos los domingos por la tarde y él amablemente me explicaba todo lo que no podía



entender...». En 1723 completó su grado en filosofía y comenzó sus estudios de teología, atendiendo los deseos de su padre; aunque al final consiguió que este aprobase su deseo de dedicarse en exclusiva al estudio de las matemáticas, probablemente inducido por su tutor Bernoulli.

Euler finalizó sus estudios universitarios en Basilea tres años después, habiendo leído hasta entonces todas las obras que le había recomendado Bernouilli. En ese mismo año 1726 publicó varios artículos, aunque sobresaliera el trabajo *Meditationes super problemate nautico, de implantatione malorum* (Meditaciones sobre el problema náutico, la implantación de los mástiles); que presentó al concurso convocado en 1727 por la Academia de Ciencias de París (lema: *de la Mâtire Des Vaisseaux*), el premio lo ganó P. Bouguer, pero a Euler se le concedió el accésit (no pudo tener mejor carta de presentación, ante la sociedad científica, que su valiosa aportación a la arquitectura náutica). Por esa época, los hijos de Bernoulli (amigos de Euler) se habían integrado en la reciente Academia de Ciencias de San Petersburgo y le ofrecieron trasladarse a esa ciudad imperial; un puesto que acabaría aceptando tras ver rechazada su petición para ocupar una plaza de profesor de Física en la universidad de Basilea. El 5 de abril de 1727 abandonó esa ciudad camino de San Petersburgo, adonde llegó el 17 de mayo, incorporándose de inmediato a la Academia (adjunto en la Sección de Física y Matemáticas); allí encontró un entorno amigable, en el que además de Daniel Bernoulli (Nicolás había fallecido el 31 de julio de 1726), trabajaban el matemático Jakob Hermann (1678-1733) y el eminente geógrafo J.N. Delisle.



La antigua sede de la Academia Imperial de las Ciencias de San Petersburgo, a orillas del río Nevá



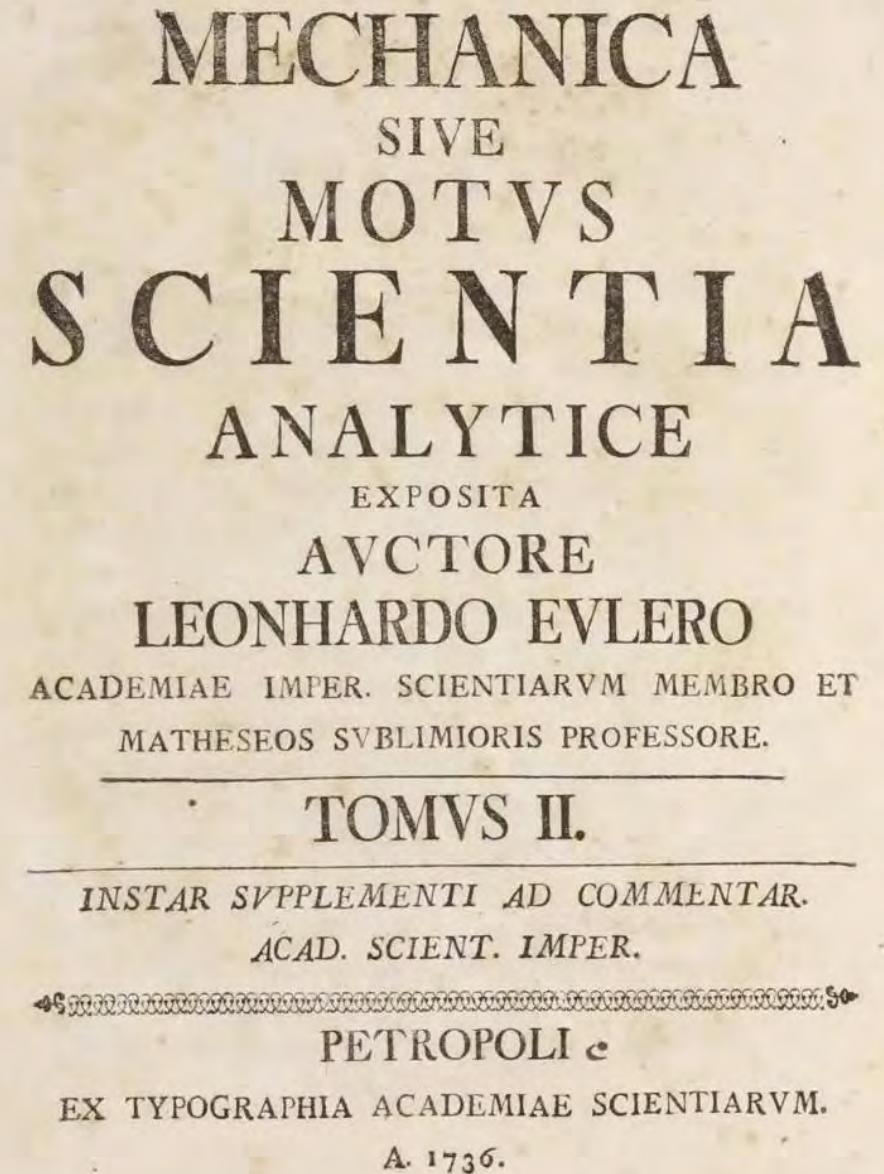
Hasta el año 1730 sirvió como teniente médico en la marina rusa, ocupando después una plaza de profesor de Física en la Academia, convirtiéndose así en miembro de pleno derecho. Cuando D. Bernoulli decidió volver a Basilea, quedó vacante la cátedra superior de matemáticas que venía ocupando; siendo Euler el elegido para suceder a su amigo. La mejoría de su situación económica le permitió casarse y tener 13 hijos, aunque 5 de ellos fallecieron prematuramente; más adelante comentaba este que sus mayores descubrimientos los hizo mientras tenía en brazos a alguno de sus hijos y los otros jugaban junto a él.

Su plan de trabajos incluyó la teoría de números, las ecuaciones diferenciales, el cálculo de variaciones y la mecánica racional; cuestiones interconectadas: los estudios de la teoría de números fueron básicos para los fundamentos del cálculo, mientras que las ecuaciones diferenciales fueron esenciales para la mecánica racional. Las irregularidades en los movimientos de los cuerpos celestes y sobre todo la complicación asociada a las fuerzas que influyen sobre la Luna, fueron también cuestiones en las que centró su atención. De esa época (1736-1737) data su memorable Tratado de Mecánica, en el que abordó la dinámica newtoniana haciendo uso del análisis matemático. Newton había introducido el concepto poco preciso de cuerpo material y Euler lo concretó en el punto material, añadiendo que ciertas proposiciones de aquel solo tendrían sentido si toda masa estuviese concentrada en un punto, que se vuelve material. También fue Euler el primero en considerar la aceleración como una magnitud cinemática y representarla, al igual que la velocidad y otras cantidades físicas, como cantidades geométricas, esto



es, con una determinada longitud y orientación; un claro antecedente de los vectores. La obra, titulada *Mechanica sive motus scientia analytice exposita* ( La mecánica, o ciencia del movimiento expuesta analíticamente) fue publicada en San Petersburgo y constó de los seis capítulos siguientes: 1) *De motu in genere*, 2) *De effectu potentiarum in punctum liberum agentium*, 3) *De motu rectilineo puncti liberi a potentiis absolutis sollicitati*, 4) *Motu rectilineo puncti liberi in medio resistente*, 5) *De motu puncti curvilineo libero a quibusdam potentiis absolutis sollicitati*, 6) *De motu puncti curvilineo libero in medio resistente*; ocupando un total de 480 páginas y un anexo con las correspondientes ilustraciones. Euler continuó acaparando premios y publicando sus trabajos en las Academias de Berlín, París y San Petersburgo, así como en la *Royal Society* de Londres.

En el año 1738 comenzaron sus problemas de visión, achacándolos el propio Euler a la incesante actividad cartográfica desplegada en el Departamento de Geografía, dirigido por Delisle, desde que le fuese asignada esa tarea en 1735; concluyéndola con *Le Atlas Russicus: contenant une carte générale et dix neuf cartes particulières de tout l'empire de Russie et des Pays Limitrophes*, publicado en 1745, la primera colección de mapas elaborados con criterios científicos.



En esos años, ya gozaba Euler de muy buena reputación, no en vano había ganado en 1738 y 1740 los premios convocados por la Academia de Ciencias de París: *De la nature et de la propagation du feu* (1738) y *Sur le flux et le reflux de la mer* (1740), aunque en las dos ocasiones fuesen compartidos. En 1741 aceptó la invitación que le formuló Federico el Grande (1712-1786) para que se incorporase como profesor a la *Königliche Akademie der Wissenschaften* (Real Academia de Ciencias); llegando a Berlín a finales de julio. Euler se mostró orgullosos por la llamada recibida: «Puedo hacer exactamente lo que deseo (en mi investigación)... El rey me llama su profesor...creo que soy el hombre más feliz del mundo».

Aunque residiese a partir de entonces en Berlín, la Academia de San Petersburgo continuó abonándole el sueldo; aprovechándolo Euler para comprar libros e instrumentos para la misma, sin dejar de enviarle artículos para sus memorias. Allí coincidió con Maupertuis, entablándose entre ellos una gran amistad; cuando se refundó la Academia, en 1744, y

INQUISITIO PHYSICA  
IN CAUSAM  
FLUXUS AC REFLUXUS MARIS.

A. D. D. EULER, MATHEMATICARUM PROFESSORE, E SOCIETATE  
ACADEMIÆ IMPERIALIS SANCTI-PETERSBURGENSIS.



Grabado de Johann David Schleuen (1711-1770)

Real Academia de Ciencias (Berlín)

Prospect des vor einigen Jahren abgebrannten, und nunmehr gantz neu aufgeführten Fordergebäudes des grossen Königl. Stalls, auf der Dorotheen-Stadt zu Berlin. Welches überaus ansehnliche Gebäude für die Königl. Academie der Wissenschaften und freien Künste, und für die Academie der Kunst- und mechanischen Wissenschaften bestimmt ist. Schleuen von Berlin.

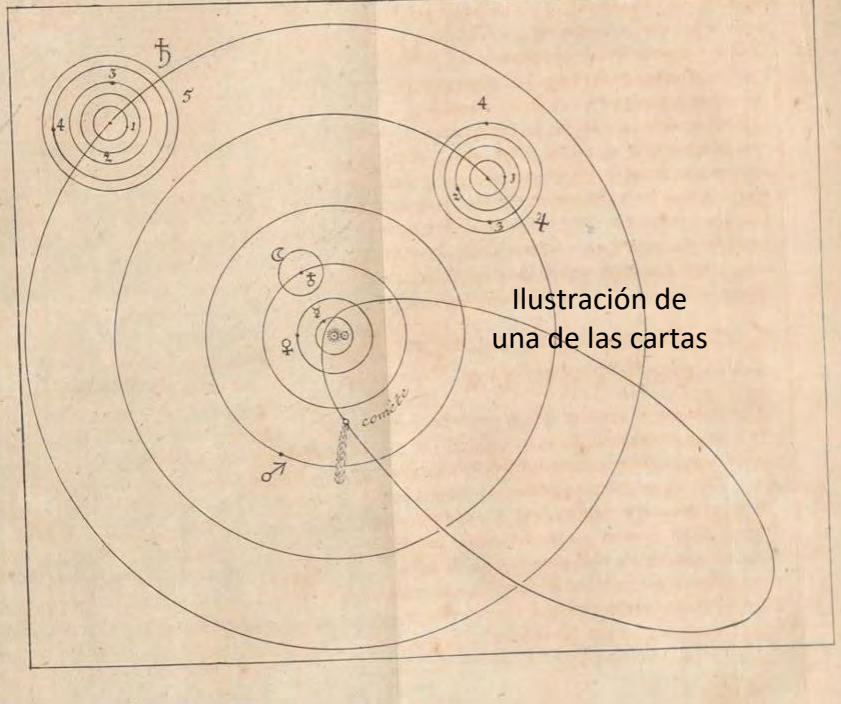


Ilustración de una de las cartas

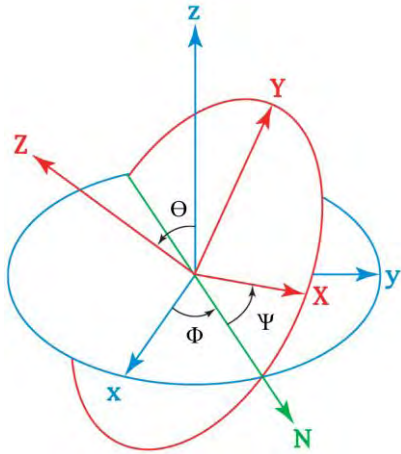
nombrado director y Euler responsable de la Sección de Matemáticas. Además de los trabajos puntuales que le encargaba el gobierno, colaboró activamente en la gestión de la Academia; durante el tiempo que permaneció en Berlín, publicó alrededor de 380 artículos y escribió libros sobre cálculo de variaciones, cálculo de órbitas planetarias, artillería y balística, análisis, construcción naval y navegación, y sobre el movimiento de la Luna. Asimismo, dio conferencias en las que explicaba el cálculo diferencial y fue el artífice de una



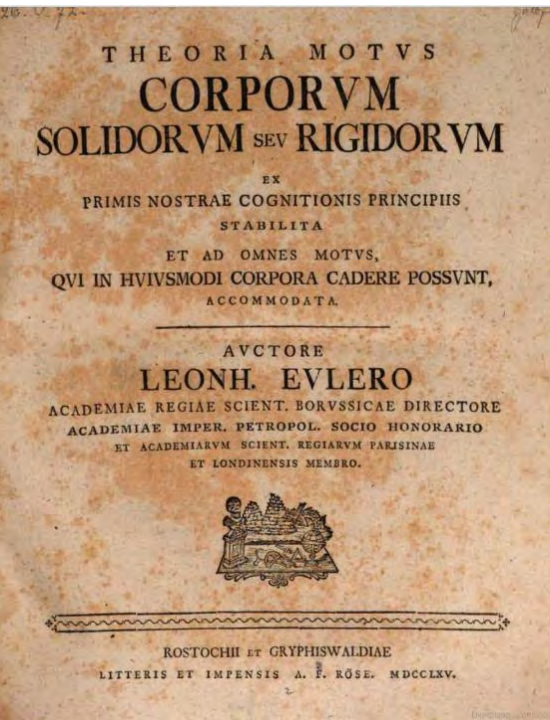
publicación de divulgación científica: recopilación de las cartas enviadas a Frédérique Charlotte de Brandebourg-Schwedt (1745-1808), sobrina del rey, titulada *Lettres à une princesse d'Allemagne sur divers sujets de physique et de philosophie*.

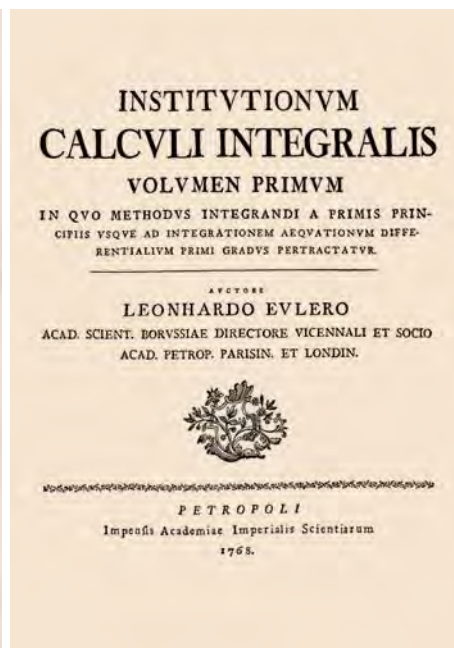
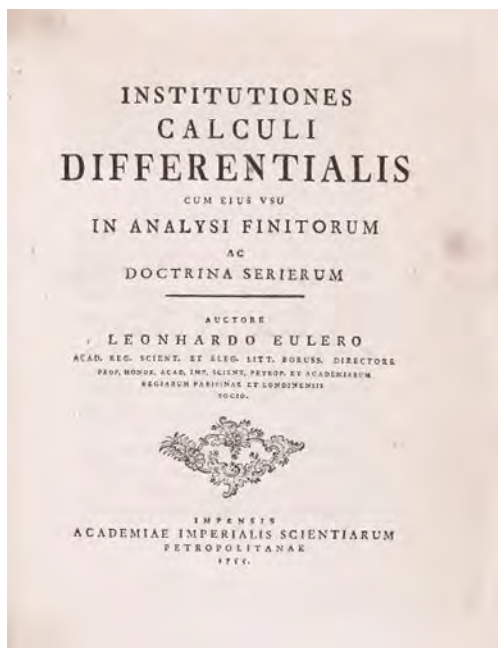
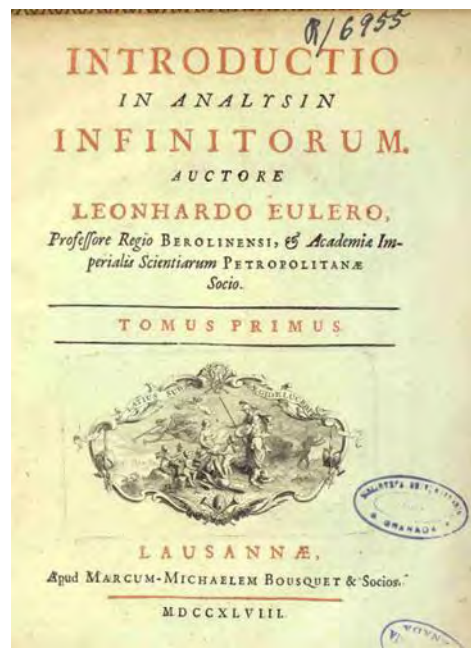
Cuando en 1759 falleció Maupertuis, fue Euler quien asumió la dirección de la Academia, aunque no la presidencia. Las relaciones con el Rey ya no eran como al principio, hasta el extremo de que, en el año 1763, la presidencia le fue ofrecida a J. d'Alembert, con quien Euler mantenía ciertas diferencias. En esa época de tribulación publicó otra de sus aportaciones imprescindibles para los estudiosos de la física: *Theoria Motus Corporum Solidorum seu Rigidorum, ex primis nostrae cognitionis principiis stabilita et ad omnes motus qui in huiusmodi corpora cadere possunt accomodata* (1765). En ella no solo publicó las ecuaciones del movimiento, sino que eligió unas variables

que simplificaron notablemente la expresión final de las mismas, tales variables son angulares y conocidas en la actualidad como ángulos de Euler; la denominación adoptada fue la propia de la astronomía: : precesión, nutación y rotación propia (generalmente identificados respectivamente por las letras  $\Phi$ ,  $\Psi$  y  $\Theta$ ).

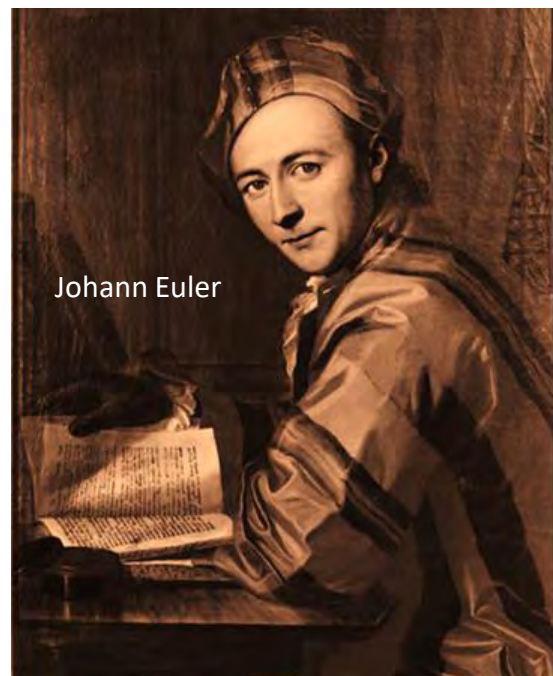


Aunque el sabio francés renunciara a establecerse en Berlín, Euler creyó que había llegado el momento de volver a San Petersburgo, y así lo hizo en 1766. En el año 1768 publicó Euler el primer volumen de la obra *Institutiones calculi integralis*, apareciendo los dos restantes en 1769 y 1770; una especie de libro de texto que escribió durante la segunda y última estancia en San Petersburgo. Con él se completó una especie de trilogía sobre el análisis matemático que se inició en 1748 con la aparición de los dos volúmenes de *Introductio in analysin infinitorum*, en donde sentó las bases del mismo (tratando en el primer capítulo de los conceptos de variables y funciones). En ese mismo también vio la luz sus *Institutiones Calculi Differentialis*, fundamento del cálculo diferencial en un solo volumen, con dos libros y 27 capítulos 89 en el 1º y 18 en el 2º). Todo indica por tanto que el proyecto de escribir estas obras cuando aún era un matemático principiante, durante su primera estancia en San Petersburgo (1727-1741). Estos volúmenes constituyen un vasto curso de análisis que fue utilizado por los más grandes matemáticos de los siglos XVIII y XIX, de acuerdo con los testimonios de Gauss, Laplace y muchos otros. A partir del año 1770 se acentúan sus problemas de visión y tiene que ser operado de cataratas, sin que consigan solucionarlos; quedando ciego en 1771.





Resulta sorprendente que en tales circunstancias consiguiera ultimar, prácticamente, la mitad de sus publicaciones. No obstante, ha de reseñarse que Euler contó con ayuda de dos de sus hijos, especialmente de Johann Albrecht (1734-1800); el cual ya había sido nombrado catedrático de Física en la Academia de San Petersburgo. Otro ayudante excepcional fue el joven matemático suizo Nicolas Fuus (1755-1826), que se casó con una de las nietas de Euler y le acompañó, desde



1777, hasta el final de sus días. Contó además con la colaboración expresa de los astrónomos Wolfgang Ludwig Krafft (1743-1814) y Johannis Andreae Lexell (1740-1784). Estos colaboradores de Euler fueron parte esencial de sus últimos trabajos, pues discutían con él los pormenores de las obras, confeccionaron tablas e incluyeron ejemplos en alguna que otra ocasión. Todos vieron reconocida su labor al figurar como coautores en los trabajos correspondientes, uno de los primeros ejemplos fue el publicado en 1772: *Theoria motuum lunae, nova methodo pertractata ...* con el que se concluyó el estudio que ya había iniciado en el año 1725.

# THEORIA MOTVVM LVNAE,

NOVA METHODO PERTRACTATA

VNA CVM

## TABVLIS ASTRONOMICIS,

VNDE

AD QVODVIS TEMPVS

## LOCA LVNAE

EXPEDITE COMPVTARI POSSVNT,

INCREDIBILI STUDIO ATQVE INDEFESSO LABORE TRIVM ACADEMICORVM:

JOHANNIS ALBERTI EVLER,  
WOLFFGANGI LVDOVICI KRAFFT,  
JOHANNIS ANDRAE LEXELL.



OPVS DIRIGENTE

LEONHARDO EVLERO.

ACAD. SCIEN. TORVSSICAE DIRECTORE VICENNALI ET SOCIO  
ACAD. PETROP. PARISIN. ET LOND.

PETROPOLI,

TYPIS ACADEMI IMPERIALIS SCIENTIARVM.

1772.

Para tener una idea más cabal de su ingente tarea de investigación, baste decir que tras su fallecimiento, la academia de Ciencias de San Petersburgo continuó publicando trabajos de Euler durante cincuenta años.

Aunque se haya hecho más énfasis en sus estudios físico matemáticos, Euler hizo aportaciones sobresalientes en otras áreas de conocimiento, tales como astronomía, geodesia, cartografía y geofísica. Las investigaciones astronómicas de Euler pueden estructurarse en los apartados siguientes: I) los movimientos del Sol y la Luna, II) las perturbaciones astronómicas, III) el movimiento de los planetas y cometas, IV) la precesión y la nutación, V) los eclipses y la paralaje. Del primero caben seleccionarse las tablas que publicó en 1738, con las que se podía calcular la posición de la Luna, las que confeccionó para el Sol y la Luna (1745) y los dos libros de que constó su *Theoria motuum lunae*, escritos en 1768 pero publicados en 1772. Al segundo apartado pertenecerían *Recherches sur le mouvement des corps célestes en général* (1749) y *Recherches sur la question des inégalités du mouvement de Saturne et de Jupiter*, con este segundo trabajo, escrito en 1747, obtuvo el premio de la Real Academia de Ciencias de París (1748); no en vano había resuelto el problema de los tres cuerpos, focalizando su atención en el sistema Júpiter Saturno Sol. a las que cabría añadir *De perturbatione motus planetarum ab eorum figura non sphaerica oriunda*, un artículo que escribió en 1749. En el apartado tercero destaca el artículo que escribió en 1735, *De motu planetarum et orbitarum determinatione*, así como el que anunciaba la posible visión de un cometa, *Determinatio orbitae cometae qui mense*

# PIECE QUI A REMPORTÉ LE PRIX

DE L'ACADÉMIE ROYALE  
DES SCIENCES.

EN M. DCC. XLVIII.

Sur les Inégalités du Mouvement de Saturne & de  
Jupiter.

Selon la fondation faite par feu M. ROUILLE' DE  
MESLAY, ancien Conseiller au Parlement.

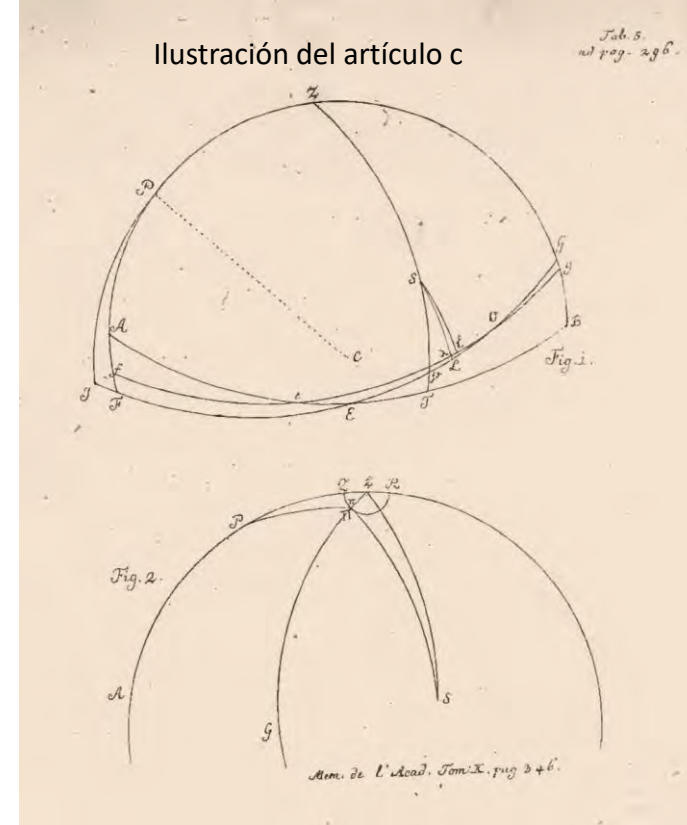


A PARIS, rue S. Jacques.

Chez GABR. MARTIN, J. B. COIGNARD,  
& H. L. GUERIN, Libraires.

M. DCC. XLIX.

*Martio huius anni 1742 potissimum fuit observatus*; aunque fuera más completo el libro *Theoria motuum planetarum et cometarum* (1744), el primero que escribió de astronomía y en el que introdujo nuevos métodos con los que estudiar las perturbaciones planetarias. El apartado cuarto es de gran interés, por abordarse en él cuestiones de difícil comprensión. Tres son los artículos en los que se tratan con más detalle: a) *Recherches sur la precession des equinoxes st sur la nutation de l'axe de la Terre* (1751), b) *Avertissement au sujet des Recherches sur la Précession des Équinoxes* (1752) y c) *De la variation de la latitude des étoiles fixes et de l'obliquité de l'écliptique* (1756). En el segundo trabajo, Euler reconoció a d'Alembert el mérito de haber sido el primero que resolvió el problema de la precesión de los equinoccios y la nutación del eje de la Tierra. El apartado dedicado a los eclipses y a la paralaje es el que se recopilan más publicaciones. El artículo más antiguo fue el problema que planteó en 1732, en el que se pretendía hallar el valor de la latitud de un cierto lugar y la declinación de una estrella, supuestas conocidas, las alturas y ángulos horarios de tres estrellas dadas. En 1741, expuso un método para calcular la ecuación de un meridiano. La cuestión de las longitudes la abordó en el artículo *Method de determiner la longitude des lieux par l'observation d'occultations des etoiles fixes par la Lune*, publicado en 1749; Euler ya había propuesto unas fórmulas que utilizó T. Mayer para confeccionar sus tablas lunares (usadas para el cálculo de la longitud), por lo que recibieron ambos el premio otorgado por el Parlamento Británico (3000 libras para Mayer y 300 para Euler). Al año siguiente apareció *Methodus viri celeberrimi Leonhardi Euleri determinandi gradus meridiani pariter ac paralleli telluris, secundum mensuram a celeb. de Maupertuis cum sociis institutam*, en el cual explicó el procedimiento seguido para obtener el desarrollo de un grado de meridiano y de paralelo, a partir de las medidas efectuadas por Maupertuis y sus compañeros.



Del año 1770 data una de las contribuciones de mayor peso: *Expositio methodorum, cum pro determinanda parallaxi solis ex observato transitu Veneris per solem, tum pro inveniendis longitudinibus locorum super terra, ex observationibus eclipsium solis, una cum calculis et conclusionibus inde deductis*; se trató en realidad de una colección de cuatro tratados. El primero dedicado a la determinación de la paralaje solar apoyándose en el tránsito de Venus por el disco solar; el segundo pretendía determinar con precisión, a partir del eclipse solar observado en varios lugares, los elementos del movimiento de la luna y, por tanto, la longitud de diferentes lugares de la Tierra; el tercero estudió el cálculo del eclipse solar y sus posibles aplicaciones para la determinación de las longitudes geográficas; el cuarto analizó el proceso seguido durante la observación del tránsito de Venus por el disco solar.

EXPOSITIO  
METHODORVM,

CVM

PRO DETERMINANDA PARALLAXI  
SOLIS

EX

OBSERVATO TRANSITV VENE-  
RIS PER SOLEM,

TVM

PRO INVENIENDIS LONGITVDINIBVS LO-  
CORVM SVPER TERRA, EX OBSERVA-  
TIONIBVS ECLIPSIVM SOLIS,

VNA CVM CALCVLIS

ET

CONCLVSIONIBVS INDE DEDVCTIS.



En ese mismo año se publicó en la memoria de la Academia Imperial de las Ciencias de San Petersburgo el trabajo de Euler y Lexell , titulado *Recherches et calculs sur la vraie orbite elliptique de le comète de l'an 1769 et son tems périodique*; en el que dedujeron que su periodo de retorno debería estar comprendido entre 449 y 519 años, el cometa fue visible desde agosto a diciembre.



Es probable que las primeras lecciones de geodesia las recibiera Euler durante sus tutorías con J. Bernoulli, pues en 1720 se desató la polémica entre newtonianos y cartesianos acerca de la verdadera figura de la Tierra: Cassini II concluyó, con sus medidas del grado en el meridiano de París, que la Tierra se aplastaba en el ecuador, cuando Newton sostenía (apoyándose en las observaciones pendulares de Richer en Cayena) que donde realmente se aplastaba era en los polos. Cuando Euler se trasladó a San Petersburgo volvería a interesarse por la geodesia, a raíz de que Delisle le comentara que era necesaria para obtener una representación fiable del territorio ruso, y que incluso estudiara o ya estuviese al tanto de sus principios. Sus aportaciones concretas a la geodesia coinciden con todas las astronómicas relativas al cálculo de la latitud y de la longitud, así como las referidas a los desarrollos de los arcos de meridiano y paralelo.



En cuanto a la polémica, Euler tomó rápidamente partido por las ideas de Newton, en su trabajo *Von der Gestalt der Erden* (Sobre la Forma de la Tierra) dándolas a conocer en una serie de artículos que publicó en el periódico local *Anmerckungen uber die Zeitungen*, en el año 1738; concretamente en el mes de abril (días 3, 6, 10, 13, 17 y 20) y en el de diciembre (día 25). En ellos resumió todas las justificaciones geométricas y físicas necesarias que obligaban a desechar la figura de limón en favor de la que tenía una naranja de Sevilla (curiosa elección que figuró en el artículo del día 3). Años después volvería a insistir sobre este particular en las Cartas a una Princesa de Alemania, en las cartas XLV- XLIX; titulando la XLVIII: *Réponse à quelques objections contre la figura de la Terre tirées de la pesanteur* (28.VIII.1760).

Entremedias, en 1753, Euler había especificado los elementos geométricos de su propio elipsoide de revolución, como información marginal de la *Carte des differents operations faites pour determiner la figure de la Terre*, uno de los 51 mapas de que constaba el *Atlas geographicus omnes orbis terrarum regiones*, que publicó durante su estancia en Berlín. En ese mismo mapa figuraban los esquemas de las triangulaciones geodésicas efectuadas en Francia, Laponia, Perú y Ciudad del Cabo. Apoyándose en los datos aportados por las mismas, dedujo Euler los desarrollos del grado a diferentes latitudes y el valor del aplastamiento elipsoidal  $\approx 1/230$ ; una fracción que cuantifica la relación  $(a-b)/a$ : siendo  $a$ , el semieje ecuatorial y  $b$  el semieje polar.

*Cette Carte represente à la fois quatre mesures des degrés du meridi-  
dieu, qui ont été faites par ordres de S.M. très Chretienne pour en ti-  
rer une plus juste connoissance tant de la grandeur, que de la figure de la terre.  
Ces mesures donnent les grandeurs suivantes des degrés du meridiem exprimées  
en Toises de 6 pieds de Paris, dont 36 pouces  $\frac{7}{100}$  lignes ont été trouvés pour la lon-  
gueur du pendule à secondes sous l'équateur au niveau de la Mer reduite au  
vuide, ou bien la Toise est à ce pendule comme 1 à 0,508345*

|                                      |                           | <i>Degré du meridiem</i> |                                                                                     |
|--------------------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Depuis la latitude de 0°</i>      | <i>à celle de 1°</i>      | <i>56753</i>             |  |
| <i>Depuis la latitude de 32° 48'</i> | <i>à celle de 33° 48'</i> | <i>57037</i>             |                                                                                     |
| <i>Depuis la latitude de 48° 55'</i> | <i>à celle de 49° 48'</i> | <i>57074</i>             |                                                                                     |
| <i>Depuis la latitude de 65° 50'</i> | <i>à celle de 66° 50'</i> | <i>57422</i>             |                                                                                     |

*D'où l'on voit, que les degrés de latitude croissent de l'équateur vers les Poles, et que  
par consequent la figure de la Terre n'est pas spherique, mais un peu applatie.  
Cependant malgré un assez grand accord, qui se trouve entre ces quatre mesures, on ne pour-  
roit pas en conclure avec la derniere precision la quantité de l'applatissement de la  
terre; et l'on n'en fera pas surpris, si l'on considere les erreurs imperceptibles, aux  
quelles sont assujetties les meilleures observations Astronomiques. Ayant fait quel-  
ques petites corrections à ces mesures pour les mettre parfaitement d'accord, on trouveroit  
le diametre de l'équateur à l'axe de la Terre comme 230. à 229. et pour la grandeur absolue  
l'axe de la Terre d'un pole à l'autre de 6533784 } Toises  
et le diametre de l'équateur de 6562336 }*

*le diametre de l'équateur surpassant l'axe de la Terre de 2852 Toises, ce qui fait envi-  
ron 7½ Miles d'Allemagne. On peut voir sur cette matiere les Mem. de Acad. Vol. IX. p. 265.  
des par. S.C.R.*

El atlas presenta también otro mapa de gran interés para la historia de la geodesia, el cual evidencia el interés de Euler por la gravimetría. El título *Mappa Mundi Generalis*, no responde a la valiosa información que figura a ambos lados de su cartela. En el occidental se relacionan en una tabla los valores crecientes de la gravedad al irse desplazando desde el ecuador hacia el Polo, proporcionados por Newton, Bradley y Maupertuis. La tabla oriental lista las observaciones de la longitud del péndulo, incluyendo en sus cuatro columnas: el año de la observación, la latitud de la estación, los nombres de los observadores y la longitud geográfica de la misma.

**OBSERVATIONES  
LONGITUDINIS PENDULI**  
*secundum Ordinem Latitudinum a Septentrione ad Meridiem.*  
*Anni, Latitud. Loca et Nomina Observatorum cum Longitudinibus*  
*Obserra Septen. Penduli in digitis, lineis et Partibus pedis Gallici.*  
*tionum, trion.*

|                  |                                                                        |              |
|------------------|------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 1737. 66. 48. 0  | Pello m.m. de Maupertuis,<br>Clairaut, Camus,<br>et le Monnier. ....   | 36. 9. 17    |
| 1728. 64. 34. 0  | Archangel. m. Delisle,<br>de la Croycere. ....                         | 36. 8. 17/20 |
| 1672. 55. 40. 45 | Uranibourg m.m. Piccard<br>Erasme Bartholin, Spole,<br>et Roemer. .... | 36. 8. 1/2   |
| 1670. 52. 4. 0   | Haag. ....                                                             | 36. 8. 1/2   |

**TABVLA INCREMENTORVM GRAVITATIS AB ÆQUATORE  
POLOS VERSUS**

| <i>Secundum M.M. NEWTON</i> |                     |                    |                 | <i>BRADLEY</i>          |                         | <i>DE MAUPER TUIS</i>                      |                                         |
|-----------------------------|---------------------|--------------------|-----------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------|
| <i>Latitudo</i>             | <i>Longitudo</i>    | <i>Pen. Valor</i>  | <i>Gradu</i>    | <i>Differentia</i>      | <i>Pen. Acceleratio</i> | <i>Pen. Acceleratio</i>                    | <i>Pen. Allongatio</i>                  |
| <i>Quil. in.</i>            | <i>Quil. in.</i>    | <i>Latitud. in</i> | <i>um</i>       | <i>Puli in Partibus</i> | <i>in Secund.</i>       | <i>intra unam re. ti in lineis. et per</i> | <i>rotation. fixar. tibus linearum.</i> |
| <i>Ped. Lia. Par.</i>       | <i>Pertic. Par.</i> | <i>in</i>          | <i>Partibus</i> | <i>Anglici</i>          | <i>cujusque diei</i>    |                                            |                                         |
| 0                           | 3                   | 7                  | 468             | 56637                   |                         |                                            | 0"                                      |
| 5                           | 3                   | 7                  | 482             | 56642                   | 0. 0026                 | 1". 7                                      | 2. 6                                    |
| 10                          | 3                   | 7                  | 526             | 56659                   | 0. 0062                 | 6. 9                                       | 6. 4                                    |
| 15                          | 3                   | 7                  | 596             | 56687                   | 0. 0138                 | 25. 3                                      | 24. 3                                   |
| 20                          | 3                   | 7                  | 692             | 56722                   | 0. 0246                 | 26. 7                                      | 24. 0                                   |



*Charta Imperii Russici & ista regionum Asiam inter & Americam septentrionalem sitarum elevationes poli 60° & 45° in hunc finem commodissime eliguntur; tum vero omnes meridiani in unum quidem punctum convergunt, quod autem non in polum, sed in locum 7° ultra polum remotum cadit, ex quo tanquam centro omnes circuli paralleli paribus inter se intervallis describuntur. Quodsi jam in tale rete omnes regiones ab elevatione poli quasi 37° ad 68° inscribantur, earum situs a veritate tam parum discrepabit, ut error vix percipi queat: sin autem regiones vel polo vel æquatori viciniores ad idem rete referrentur, error utique enormis existeret; ex quo talium regionum representatio penitus omitti debet, uti etiam in Charta illa Delishiana est factum.*

*Nemo igitur huic chartæ vitio vertere debet, quod centrum, in quo meridiani concurrunt, tam enormiter a polo discrepet, quippe qui in hac projectione plane non exprimi potest. Æque parum hoc absurdum videri debet, quod paralleli ad totum semicirculum in hac charta producti non 180°, sed usque ad 250° secundum longitudinem cupiant; unde talis charta etiam secundum longitudinem non nimis magnam extensionem patitur. Dabam Berolini d. 13. Maji 1753.*

L. EULER.



Russe, & dans celle-cy qui représente les regions situées entre l'Asie & l'Amerique Septentrionale, on a choisi les elevations du Pole de 60 degré & de 45, qui étoient les plus propres à ce dessein. Tous les Méridiens se réunissent à la verité dans un point, mais ce point n'est pas le Pole, il se trouve à 7 degré au de là du Pole, & de ce point comme Centre tous les Cercles paralleles sont décrits à égales distances entr'eux. Si maintenant dans un pareil chassis on marque toutes les régions comprises depuis l'elevation du Pole de 37. degré jusqu'à celle de 68, leurs situations différent si peu des véritables, qu'à peine pourra-t-on apercevoir l'erreur. Mais si l'on vouloit placer sur ce chassis des regions plus voisines du Pole ou de l'equateur, l'erreur seroit enorme; d'où l'on voit, qu'il faut exclure entièrement la représentation de ces regions, comme M. de l'Isle a fait dans sa Carte.

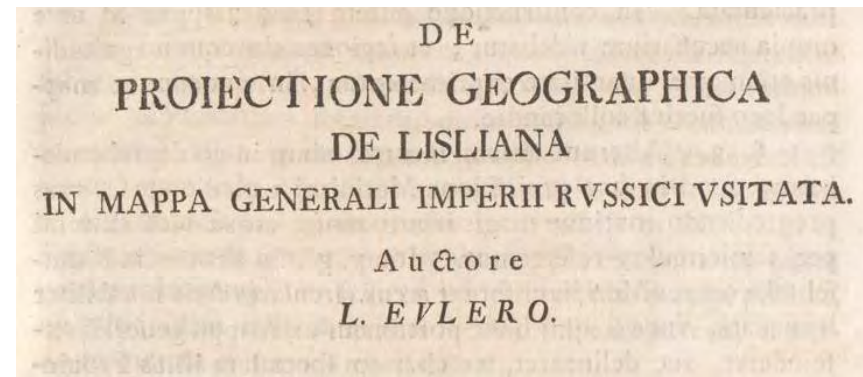
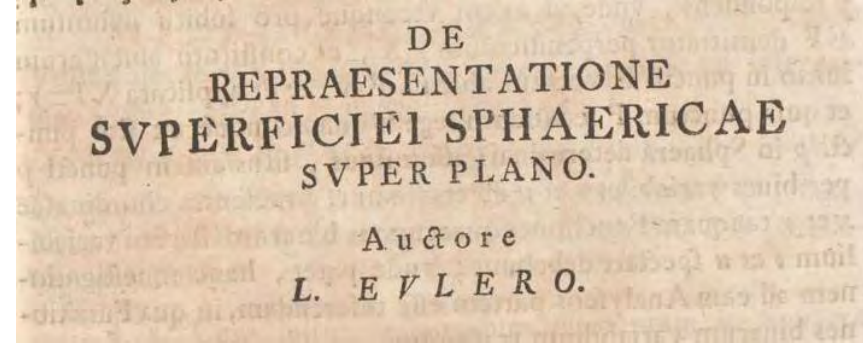
Qu'on ne regarde donc pas comme un defaut de cette Carte, que le Centre dans lequel tous les Méridiens concourent, soit si éloigné du Pole, puisque selon cette methode il ne scauroit être marqué. L'on ne doit pas plus s'étonner, si sur cette Carte les paralleles, qui forment le demy Cercle, n'occupent pas 180 degrés en Longitude, mais beaucoup plus, même jusqu'à 250. degrés; D'où l'on voit que cette Carte ne souffre pas aussi une trop grande étendue en Longitude. Berlin ce 13. May 1753.

L. EULER.



El primer contacto con la cartografía lo tuvo Euler bajo la tutela de J.N. Delisle, al que sustituyó al frente del Departamento de Geografía, integrado en la Academia de San Petersburgo; aunque colaboró para que el gran atlas del imperio ruso llegase a buen término, cuando se publicó en 1745 ya se había trasladado a Berlín. El atlas se compuso de un mapa general y de diecinueve regionales, todos de bella factura y con cartelas muy elaboradas; cuyo texto que presentaba a cada uno de ellos se hizo a doble columna (una en latín y otra en francés). La gestación del atlas anterior debió de servirle a Euler para supervisar otro proyecto análogo, publicado en Berlín ocho años después: *Atlas géographique representant en XLI cartes toutes les regions de la terre : gravé par ordre de l'Académie royale des sciences et belles lettres de Prusse d'après les meilleurs exemplaires qui ayent paru jusqu'icy a l'usage principalement des ecoles*. El atlas fue prologado por Euler a doble columna, como en el caso anterior. Uno de sus mapas fue el de la Península Ibérica, que incluyó la imagen del Reino de Granada y una escala gráfica cuádruple, con pitipiés de leguas comunes hispánicas, leguas marinas hispánicas, leguas francesas comunes y millas germánicas de 15 en un grado).

Las otras tres contribuciones escritas de Euler fueron mucho más tardías, ya que no se publicaron hasta veinticinco años después del atlas berlinés, integrándolas en la Memoria de la Academia de Ciencias de San Petersburgo. La primera se tituló *De repraesentatione superficiei sphaericae super plano* (Acta Academiae Scientarum Imperialis Petropolitinae 1777, 1778, pp. 107-132), la segunda *De proiectione geographica superficiei sphaericae* (Acta Academiae Scientarum Imperialis Petropolitinae 1777, 1778, pp. 133-142) y finalmente la tercera, dedicada a la proyección ideada por Delisle, *De proiectione geographica Deslisiana in mappa generali imperii russici usitata* (Acta Academiae Scientarum Imperialis Petropolitinae 1777, 1778, pp. 143-153). Las dos primeras son una introducción a la cartografía matemática, mientras que la tercera describe el sistema ideado por el astrónomo y geógrafo francés, cuyas propiedades fundamentales fueron las siguientes: 1) las imágenes de los meridianos son rectas, 2) la escala se conserva a lo largo de tales imágenes, 3) la imagen de los paralelos y las de los meridianos son perpendiculares y 4) en un punto dado, la relación entre el grado de paralelo y el grado de meridiano ha de ser idéntica a la existente en la esfera.



Sello de la URSS en 1957. A la izquierda la torre de la Academia de Ciencias de san Petersburgo, coronada por una esfera armilar



Placa colocada en la casa de Berlín donde vivió



Euler también estudió el campo magnético terrestre. En el año 1744 presentó a la Academia de Ciencias de París el trabajo *Dissertatio de magnete*, el cual fue galardonado con el premio de la Institución. En sus 47 páginas se dejó influir por las ideas cartesianas, achacando el magnetismo a la acción de una materia muy fina y delgada (*materia subtilis*) y explicando la variación magnética como resultado de la rotación diaria de la Tierra. Entre los temas tratados, figuró la magnetización y desmagnetización artificial del hierro; acompañando sus explicaciones con las figuras correspondientes. Otra de sus aportaciones magnéticas la incluyó en uno de los mapas del Atlas publicado en Berlín, ya referido. En él se representaron los dos hemisferios y sobre ellos se dibujaron las curvas isógonas, es decir las de igual declinación magnética, para el año 1744. Euler se enorgullecía en su presentación de la novedad del mapa, pues fue la primera vez en que se ofrecieron tales curvas para la totalidad del globo terráqueo.





## Sir George Everest (1790-1866)

Coronel, geodesta y Topógrafo General de la India, con cuyo apellido fue bautizada la montaña de mayor altitud ( $\approx 8849$  m) de los Himalayas. Su vocación militar fue temprana, de manera que finalizados sus primeros estudios ingresó en la Academia militar de Woolwich, destacando pronto por su talento matemático y sobre todo por su interés en la trigonometría. Una vez graduado (1806) fue destinado a la *East India Company*, en donde participó en los reconocimientos topográficos de la isla de Java y en el establecimiento de la línea telegráfica entre Calcuta y Benares, hasta que en torno a 1820 se convirtió en asistente del coronel W. Lambton; el cual ya venía trabajando durante varios años en el magno proyecto de efectuar el levantamiento geodésico de la India, parte sustancial del proyecto fue la medida de un arco de meridiano de unos  $22^\circ$  desde el cabo Comorin hasta el Himalaya. A Everest se le asignó la triangulación a lo largo del arco de meridiano entre los ríos Kistna y Godovari, en la que invirtió más tiempo del proyectado por las obligadas interrupciones impuestas por la malaria y por su desplazamiento hasta la ciudad del Cabo (1820). Allí analizó los trabajos previos que había efectuado

Lacaille, descubriendo, a la vista del diario que recibió de Francia, que la desviación de la vertical había sesgado los resultados obtenidos en su momento por el astrónomo francés; de modo tal que una vez tenidos en cuenta permitieron fijar el valor del achatamiento polar de la Tierra en  $1/300$ .

Everest volvió a la India a finales del año 1821, incorporándose de inmediato a sus tareas geodésicas. En esta ocasión debió establecer una cadena triangular desde el meridiano central hacia Poona y Bombay, con el fin último de enlazar los observatorios de Madras y Bombay. Aunque contara con la colaboración amistosa de los habitantes de la región, tuvo que superar los temibles

Efectos asociados a las nieblas y a la refracción; con la dificultad añadida tener que realizar observaciones nocturnas desde torres de varios metros de altura, levantada al efecto. A mediados de la campaña se enteró Everest del fallecimiento de Lambton (20 de enero de 1823), viéndose obligado a suspender los trabajos y a trasladarse hasta Hyderabad para hacerse cargo del GTS (*Great Trigonometrical Survey*); aunque ya hubiese sido nombrado Superintendente en el año anterior. Everest decidió continuar los trabajos geodésicos desde el mismo lugar en que los había suspendido aquel, con el impedimento de haber caído pronto enfermo y tener que ser ayudado para realizar observaciones con el sector cenital y con el gran teodolito.





Teodolito de 36 pulgadas



A pesar de todas sus dolencias, a lo largo del año 1824, pudo calcular el acimut y la distancia cenital de 372 estrellas, coincidiendo con la medida de la base de Takarkhera ( $\approx 37900$  pies). En el año 1825 materializó la alineación de la base geodésica de Sironj ( $\approx 38413$  pies) y la midió en los dos sentidos, con la misma cadena metálica que usó en la otra base. Al final Everest tuvo que regresar a Inglaterra para recuperarse de todas sus afecciones, permaneciendo allí cinco años, un periodo que aprovechó para examinar los nuevos instrumentos que iban apareciendo y que podrían ser empleados en la India. También concluyó, por entonces, que las cadenas no eran adecuadas para la medida de las bases, a la vista de las excelentes prestaciones de la regla recientemente construida por el coronel Colby, del *Ordnance Survey*. Asimismo, encargó la construcción de un nuevo teodolito, con un limbo horizontal de 36 pulgadas de diámetro, además de otros instrumentos.

Everest también aprovechó su estancia en Inglaterra para deducir los parámetros de su propio elipsoide de revolución, fijando un semieje mayor de 20922932 pies y un aplastamiento polar de  $1/300.8$ ; que en unidades métricas equivaldrían a un semieje ecuatorial de 6377276.3 m y a uno polar de 6356075.4 m. En el año 1830 se embarcó para la colonia, al haber sido nombrado Topógrafo General de la India, un nuevo cargo que compatibilizó con el de Superintendente durante los trece años siguientes. En 1831 usó por primera vez la regla de Colby para medir la base de Calcuta, que resultó tener unos 34000 pies ( $\approx 10363$  m); la operación fue tan satisfactoria que ya no volvieron a medirse más bases con la cadena de agrimensor.

Recreación de la medida de la base de Calcuta. Frontispicio de la memoria de Everest, sobre el Arco Meridional de la India (1847)

Torre de observación



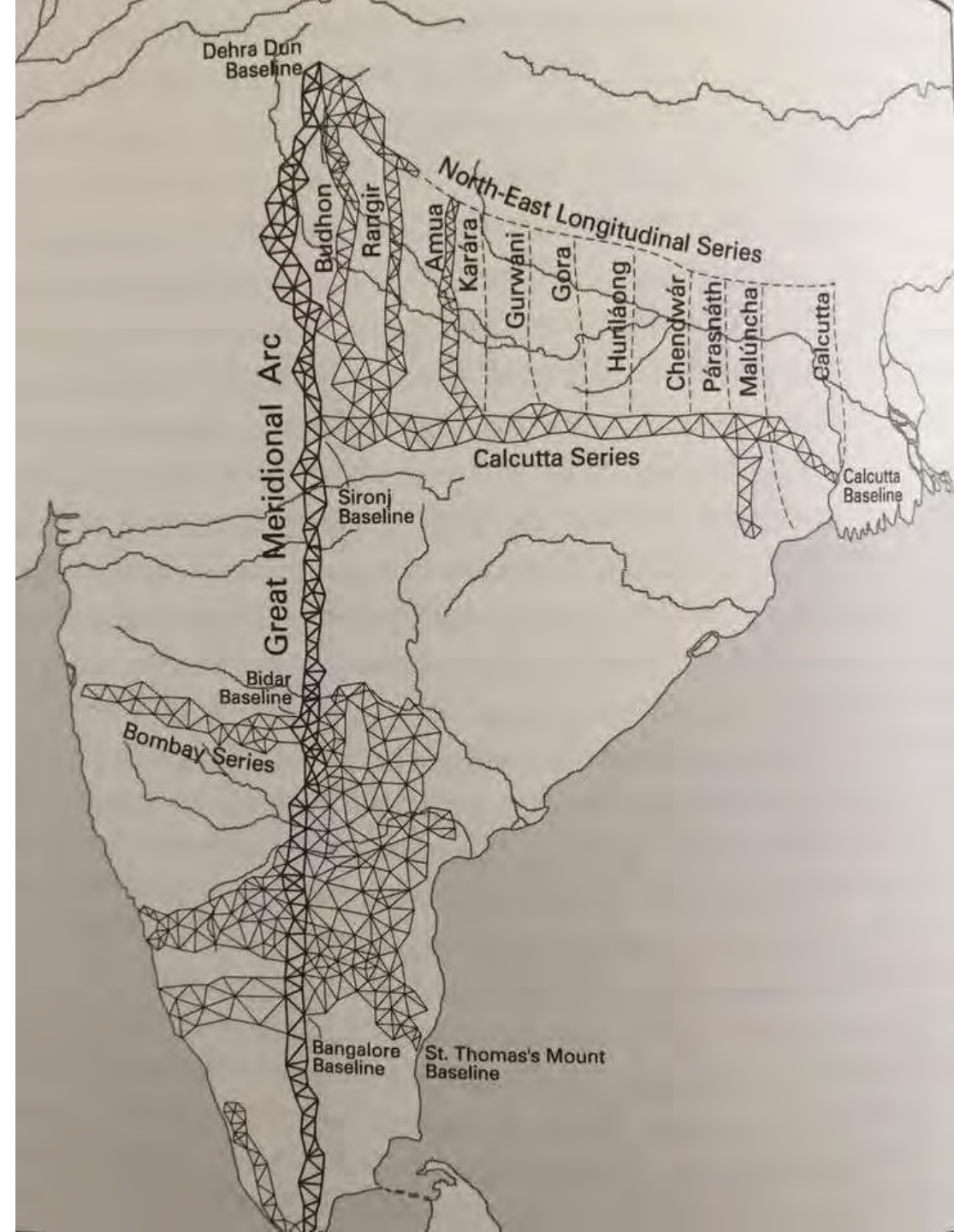


Cuando quiso reemprender los trabajos de campo, comprobó que carecía de personal competente y tuvo que preparar antes un programa de formación. Al alcanzar la triangulación las llanuras del Ganjes se plantearon los lógicos problemas de inter visibilidad, que se solucionaron al monumentalizar los vértices de los triángulos mediante 14 torres de mampostería, que alcanzaron los 60 pies de altura; efectuando las observaciones angulares desde la plataforma superior, con los consiguientes riesgos planteados al subir unos instrumentos tan delicados y pesados.

Everest introdujo una novedad con relación al método observacional seguido bajo el mandato de Lambton, cuando las observaciones de las redes triangulares se efectuaban solo en épocas en que la reverberación era escasa, ya que decidió emplear heliostatos y efectuarlas también durante la noche. Otra decisión trascendente fue la contratación del instrumentista Henry Barrow (1780-1870), pues llegó a construir todos los instrumentos matemáticos necesarios para las observaciones de campo entre 1830 y 1839 (encargándose a su vez de los desajustes producidos por el uso). En el año 1832, pudo reanudarse por fin la observación del arco mayor, tras un paréntesis de siete años; que concluyó con la medición de la base de Bedar en 1841.

A finales del año 1832 Everest se vio en la necesidad de abandonar su residencia de Calcuta y mudarse a la región montañosa de Mussoorie, a unas 800 millas, pero localizada más cerca del Gran Arco de Meridiano y con mucho mejor clima. Aunque pretendió instalarse en una finca que acababa de comprar, el gobierno no aceptó su propuesta y tuvo que ubicar las oficinas correspondientes en Dehradun; allí se midió otra base geodésica (entre 1834 y 1835) de 39183.783 pies, con una regla debidamente contrastada. Mientras observaba la cadena triangular que discurría en sentido latitudinal, desde la base medida en Dehradun hasta la de Sironj, comentó Everest la dificultad que entrañaba y su preocupación al respecto:

«It was unquestionably the most harassing duty I had to perform, and I had to bear nearly the whole burden of the arduous task myself, for there was at that time no person at my disposal to whom I could depute any portion of the work, except under my own immediate supervision and control. Day and night at all hours from the 13th December... till 4th May – I was perpetually in a state of excitement and anxiety».

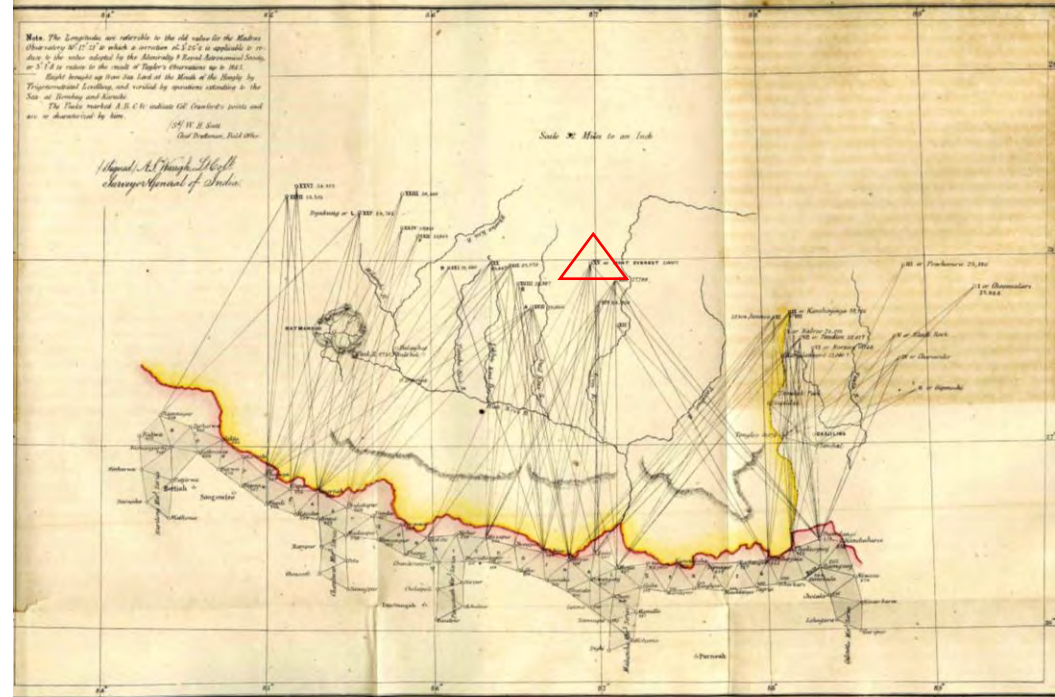




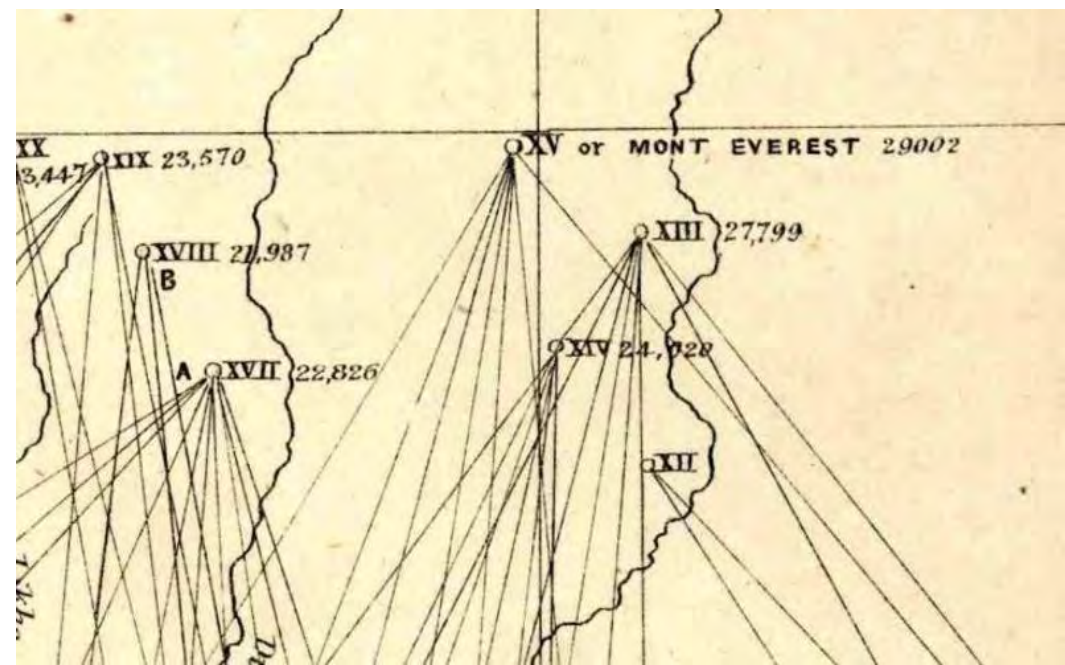
Sir Andrew Scott Waugh

Everest continuó a su vuelta con su quebrantada salud, teniendo que permanecer en cama durante el periodo comprendido entre los meses de mayo y octubre de 1835; obligando a la Compañía (E / C) a nombrar provisionalmente a Thomas Best Jervis (1796-1857) como Topógrafo General. Jervis no aceptó gustosamente la provisionalidad, llegando a cuestionar ante la *Royal Society* la validez de los levantamientos efectuados por Everest; la reacción de este fue virulenta, denunciando con varias cartas dirigidas al príncipe August Federick ( 1773-1849), duque de Sussex y presidente de la misma, las posibles injerencias. Las razones de Everest causaron el efecto deseado, pues el nombramiento de Jervis fue revocado en favor de Andrew Scott Waugh (1810-1878), que acabaría sustituyéndolo como Topógrafo General en 1843. En el año 1841 se dieron por finalizados los trabajos de campo del Gran Arco de meridiano, con la medida de la base de Bedar ( $\approx 41578.563$  pies) y las observaciones astronómicas en Kalianpur; siendo esas las últimas operaciones en las que participó Everest, que vio así cumplido su deseo de medir un arco de una amplitud angular tan considerable. En los años siguientes, redactaría la Memoria de todos los trabajos y efectuaría los cálculos correspondientes.

En septiembre del año 1843 regresó Everest definitivamente a Inglaterra, con el reconocimiento de la Compañía y de la Royal Society, cuyo presidente ponderó la importancia de sus trabajos para la historia de la ciencia y el hecho de que ningún hombre tuvo un monumento tan sublime como el gran arco meridional de la India. A partir de entonces jugó un papel muy activo en las sociedades científicas inglesas: *The Royal Society*, *The Royal Geographical Society*, *The Royal Astronomical Society* y *the Royal Institution*. Cuando fue galardonado por la astronómica, dijo Sir John Herschel: «The Great Meridional Arc of India is a trophy of which any nation, or any government of the world would have reason to be proud, and will be one of the most enduring monuments of their power and enlightened regard for the progress of human knowledge». No obstante, Everest pasó a la posteridad cuando se determinaron trigonométricamente las altitudes de las cumbres más prominentes de los Himalayas, al iniciarse la segunda mitad del siglo XIX. Una vez identificado el pico de mayor altitud (XV  $\approx$  29002 pies), A. Scott Waugh propuso que fuese llamado Everest «after my illustrious predecessor», y así lo anunció Sir Henry Edward Landor Thuillier (1813 -1906) en 1856 ante la Asiatic Society of Bengal.



Nivelación trigonométrica de las cumbres de los Himalayas





AN  
A C C O U N T  
OF THE  
MEASUREMENT  
OF AN  
**A R C O F T H E M E R I D I A N**  
BETWEEN THE  
PARALLELS OF  $18^{\circ} 3'$  AND  $24^{\circ} 7'$ ,  
BEING A CONTINUATION OF  
THE GRAND MERIDIONAL ARC OF INDIA,  
AS DETAILED BY  
THE LATE LIEUT.-COL. LAMBTON,  
IN THE  
VOLUMES OF THE ASIATIC SOCIETY OF CALCUTTA.  
BY  
CAPTAIN GEORGE EVEREST,  
OF THE BENGAL ARTILLERY,  
F.R.S. &c.  
LONDON:  
PARBURY, ALLEN, AND CO., LEADENHALL STREET.  
1830.

Todos los detalles técnicos de los trabajos geodésicos de la India, ejecutados por los equipos dirigidos por Everest, fueron hechos públicos por él en las Memorias correspondientes. La primera de ellas, presentada en el año 1830, la tituló *An account of the measurement of an arc of the meridian between the parallels of  $18^{\circ} 3'$  and  $24^{\circ} 7'$  : being a continuation of the grand meridional arc of India as detailed by the late Lieut.-Col. Lambton in the volumes of the Asiatic Society of Calcutta*. Fue una especie de manual de geodesia práctica en la que se entremezclaron los conceptos teóricos con el desarrollo específico de cada una de las tareas de campo. Tras la dedicatoria a los miembros de la Compañía, incluyó un prólogo reconociendo expresamente la labor de su predecesor. Entre los epígrafes desarrollados sobresalieron los siguientes: Instrumentos, destacando el gran teodolito de tres pies fabricado por William Cary (1759-1825); Exceso esférico y ajuste de los ángulos observados; Desarrollo lineal del arco de meridiano; Cálculo del acimut de los lados; Amplitud angular del arco de meridiano; Altitudes sobre el nivel del mar; Determinación de las latitudes y longitudes; Contrastación de las cadenas de agrimensor; Medida de las bases; Triángulos principales y secundarios; Las distancias cenitales de las estrellas, observadas por Lambton y Everest.



La segunda memoria se publicó en el año 1847: *An Account of the Measurement of two Sections of the Meridional Arc of India, bounded by the parallels of 18° 3' 15", 24° 7' 11" and 29° 30' 48" Conducted under the Orders of the Honourable East-India Company. Londres, 1847*; al igual que en la otra, figuraron junto al nombre de Everest las iniciales F.R.S. (*Fellow Royal Society*). Se trata de una obra de referencia para la historia de la geodesia, con dos partes bien diferenciadas: una amplia introducción (187 pp) con los fundamentos teóricos de la operación y la exposición de los resultados; presentando en la segunda tanto los datos medidos en el campo como los obtenidos tras el proceso de cálculo, dentro de los apartados que se indican a continuación: 1) Ángulos observados en la sección Kalianpur Damargida. Series B y C; 2) Triángulos principales en la sección Kalianpur Damargida. Series B y C; 3) Descripción de los vértices (estaciones) principales. Series B y C; 4) Altitudes de los vértices principales en la cadena triangular comprendida entre las bases de Sironj y Beder; 5) Detalles de la base geodésica medida con el aparato de Colby en el valle de Manjra, cerca de la ciudad de Beder, en el Dekan, durante los meses de octubre y diciembre, por el capitán Waugh y los asistentes del Topógrafo General de la India;

AN ACCOUNT  
OF THE  
MEASUREMENT OF TWO SECTIONS  
OF  
THE MERIDIONAL ARC OF INDIA,  
BOUNDED BY THE  
PARALLELS OF 18° 3' 15"; 24° 7' 11"; & 29° 30' 48".  
CONDUCTED  
*Under the Orders of the Honourable East-India Company.*  
BY  
LIEUT.-COLONEL <sup>1847</sup> EVEREST, F.R.S. &c.  
LATE SURVEYOR-GENERAL OF INDIA,  
AND HIS ASSISTANTS.  

---

  
LONDON:  
PRINTED BY ORDER OF THE COURT OF DIRECTORS  
OF THE HON. EAST-INDIA COMPANY,  
BY J. & H. COX, 74-S, GREAT QUEEN STREET.  
1847.



INDICE DEL MAPA DEL GRAN LEVANTAMIENTO TRIGONOMETRICO DE LA INDIA, mostrando la nueva triangulación del Coronel Lambton al Sureste, las cadenas de triángulos principales meridionales y longitudinales, las bases medidas con el aparato Colby, las líneas de nivelación geométrica, las estaciones astronómicas, pendulares y de mareas; así como la triangulación secundaria para fijar los picos de los Himalayas y de la zona paquistaní

- 6) Resultados de las observaciones de estrellas circumpolares en la sección Kalianpur Damargida. Serie B;
- 7) Sinopsis de los acimutes observados en la sección Kalianpur Damargida. Serie B;
- 8) Sinopsis de las latitudes, longitudes y acimutes de las estaciones principales del gran arco meridional. Sección Kalianpur Damargida. Serie B;
- 9) Resultado de las observaciones relacionadas con la amplitud angular. Sección Kalianpur Damargida. Serie B;
- 10) Ángulos observados en la Sección Kalianpur Kaliana. Serie A;
- 11) Triángulos principales de la Sección Kalianpur Kaliana. Serie A;
- 12) Descripción de las estaciones principales de la Serie A;
- 13) Altitudes de los vértices principales de la serie de triángulos extendidos entre las bases de Sironj y Dehra Dun;
- 14) Detalles de la base medida con el aparato de Colby en la llanura de Seronj, durante los meses de diciembre de 1837 y enero de 1838, por el teniente coronel G. Everest, Topógrafo General de la india,

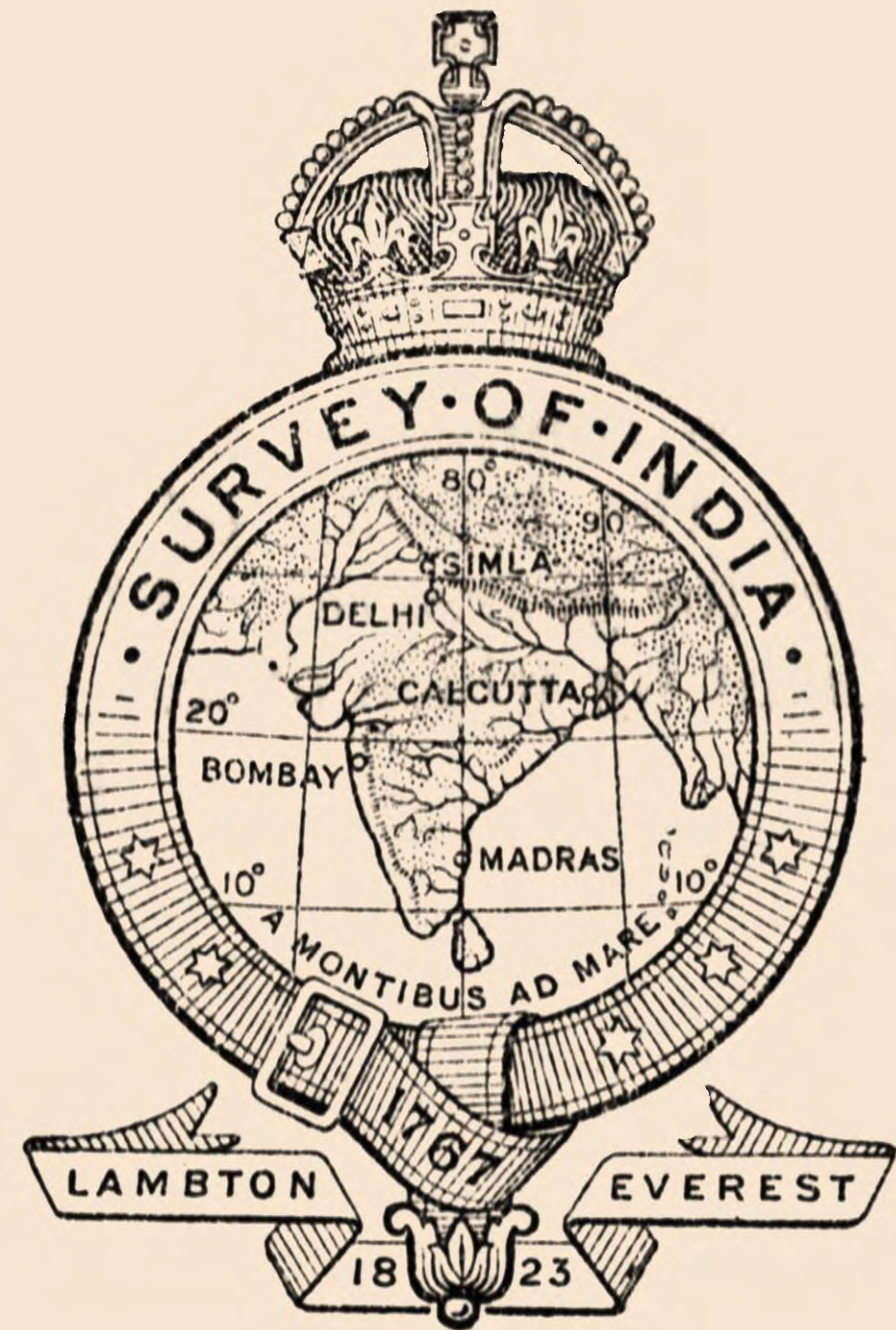
y sus asistentes; 15) Detalles de la base medida con el aparato de Colby en el valle denominado Dehra Dun, durante los meses de diciembre de 1834 y enero de 1835, por el teniente coronel G. Everest, Topógrafo General de la india, y sus asistentes; 16) Resultados de las observaciones a estrellas circumpolares en la Sección Kalianpur kaliana. Serie A; 17) Sinopsis de los acimutes observados en la sección Kalianpur Kaliana; 18) Sinopsis de las latitudes, longitudes y acimutes de los vértices principales pertenecientes a las series triangulares del gran arco meridional. Sección Kalianpur Kaliana. Serie A; 19)

Resultados de las observaciones relacionadas con la amplitud angular. Sección Kalianpur Kaliana. Serie A; 20) Aplicación de los resultados anteriores para la deducción de la figura y dimensiones de la Tierra; 21)

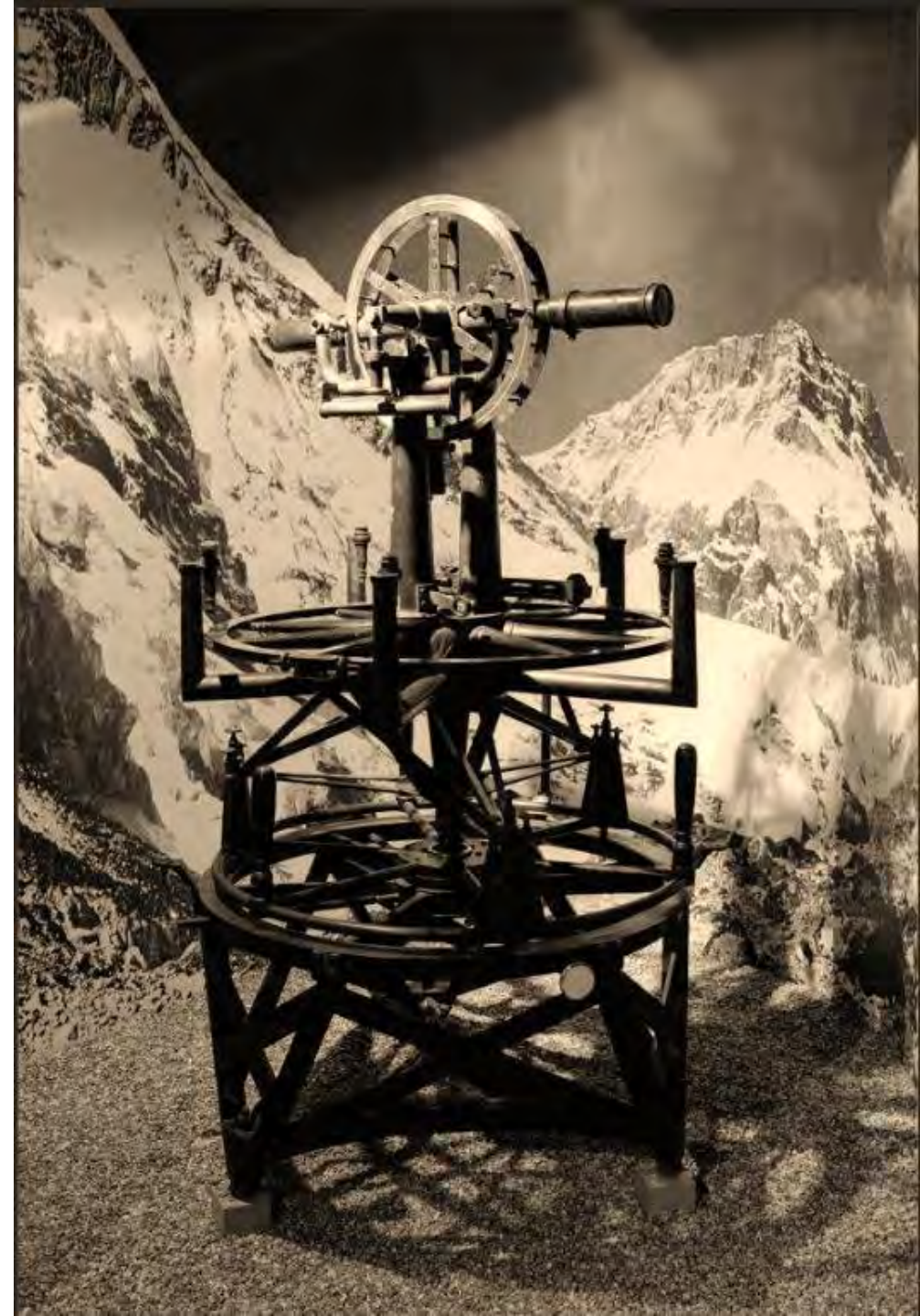
Apéndice metrológico. El cuadro superior muestra los arcos elegidos por Everest para calcular los parámetros del elipsoide de revolución y el inferior los resultados obtenidos en uno de los casos.

- The selection which I have made is as follows :
- 1st. The Arc Kalianpur to Kaliana ..... } Colonel Everest.
  - 2nd. „ Damargida to Kalianpur ..... }
  - 3rd. The whole Arc Damargida to Kaliana..... }
  - 4th. „ „ Damargida to Punnæ ..... Colonel Lambton.
  - 5th. The Arc Punnæ to Kaliana ..... Colonels Lambton and Everest.
  - 6th. „ Formentera to Dunkirk ..... { MM. De Lambre, Mechain, D'Arrago, & Biot.
  - 7th. The whole Arc Jacobstadt to Hochland ..... Professor Strüve.
  - 8th. „ „ Tarqui to Cotchesqui ..... MM. Bouguer & De la Condamine.
  - 9th. „ „ Dunnose to Clifton ..... General Mudge.
  - 10th. „ „ Pahtavara to Mallorn ..... { MM. Ofverbom, Svanberg, Holmquist, & Palander.
  - 11th. Partial Arc Jacobstadt to Dorpat ..... } Professor Strüve.
  - 12th. „ „ Dorpat to Hochland ..... }

| c es la diferencia entre el eje ecuatorial (a) y el polar |  | <b>No. 6.—ARC FORMENTERA to DUNKIRK Compared with</b> |                         |                         |                         | c/a es el achatamiento polar |
|-----------------------------------------------------------|--|-------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------|
|                                                           |  | Jacobstadt to Hochland.                               | Tarqui to Cotchesqui.   | Dunnose to Clifton.     | Pahtavara to Mallorn.   |                              |
| $e^2$ .....                                               |  | 0·006647214                                           | 0·006374859             | 0·006175552             | 0·006453454             |                              |
| $\frac{c}{a}$ { .....                                     |  | 0·003329148                                           | 0·003192526             | 0·003092558             | 0·003231950             |                              |
|                                                           |  | $\frac{1}{300\cdot377}$                               | $\frac{1}{313\cdot232}$ | $\frac{1}{323\cdot357}$ | $\frac{1}{309\cdot411}$ |                              |
| a.....                                                    |  | 3486972·452                                           | 3486727·522             | 3486548·398             | 3486798·185             |                              |
| c.....                                                    |  | 11608·648                                             | 11131·467               | 10782·354               | 11269·157               |                              |
| Mer <sup>l</sup> Quad <sup>t</sup> .....                  |  | 5468209·91                                            | 5468199·64              | 5468192·25              | 5468202·59              |                              |



El gran teodolito de tres pies construido por Cary para las observaciones angulares de las triangulaciones geodésicas en la India. Fue usado tanto por Lambton como por Everest. Su peso aproximado era de media tonelada y se requerían más de diez hombres para su traslado.





## Jean Charles de la Faille (1597-1652)

Sacerdote belga que fue catedrático de matemáticas en el Colegio Imperial de Madrid y cosmógrafo de Felipe IV (1605-1665), el rey Planeta. Estudió con los jesuitas en Amberes e ingresó en la orden el 12 de septiembre de 1613. En 1620 se trasladó a Dôle (Francia) para graduarse en teología, a la vez que enseñaba matemáticas. Entre los años 1626 y 1628 fue profesor en el Colegio de los jesuitas de Lovaina. El 23 de marzo de 1629 se trasladó a Madrid, para ocupar una de las cátedras de Matemáticas del Colegio Imperial. Su actividad docente en el Colegio, la compaginó con las clases particulares que daba a los miembros de la nobleza y con las de consejero real en cuestiones relativas a la defensa y a la ingeniería militar; siendo nombrado en 1638 Cosmógrafo mayor del Consejo de Indias. Ocho años después, el Rey lo hizo preceptor de su hijo Juan José de Austria (1629-1679), aunque más adelante llegase a ser su inseparable consejero. Cuando en 1640 se produjo la independencia de Portugal, De la Faille aconsejó al monarca acerca de las fortificaciones fronterizas (1641-1644).

De esa época (1642) data una carta dirigida por este a un compañero de Holanda en la que se quejaba de la penuria cartográfica: «¿Es posible encontrar en Flandes algún mapa de Portugal o Cataluña? Le agradecería mucho que me lo dijera para poder traerlo aquí, porque aquí sabemos muy poco de este país. Puedo ver que los mapas de Ortelius son muy erróneos sobre Portugal y sus fronteras, por lo que no me sorprende que nuestros enemigos, con fuerzas más pequeñas, nos estén superando». Se da la circunstancia de que De la Faille acompañó a Juan José de Austria cuando sofocó la rebelión de Cataluña: el ejército sitió Barcelona y la ciudad se rindió en octubre de 1652.

Su primera obra debió ser *Theses mechanicae* (1625), aunque se ignore su paradero. No obstante, fue muy celebrado su *Theoremata de centro gravitatis partium circuli et ellipsis* (1632), en la que determinó por primera vez el centroide de sectores parabólicos y circulares; en su contenido se aprecia el rigor geométrico y la influencia de Arquímedes, cualidades que apreció Huygens.

Uno de los amigos más cercanos que tuvo de La Faille fue Michael Florentius van Langren (1600-1675), también cosmógrafo real destinado en Bruselas, el cual participó en el concurso promovido por el Rey de España para solucionar el problema de la longitud; su propuesta se basó en la observación de las fases de la Luna, en lugar de los eclipses o las distancias lunares, ambos defendieron sin éxito la bondad del nuevo procedimiento.



IOANNIS  
DELLA FAILLE  
ANTVERPIENSIS  
E SOCIETATE IESV

In Academia Matritensi Collegij Imperialis  
Regij Mathefeos Professoris

THEOREMATA  
DE CENTRO GRAVITATIS  
PARTIVM CIRCULI ET ELLIPSIS.



ANTVERPIÆ,  
EX OFFICINA TYPOGRAPHICA  
IOANNIS MEVRSI.  
ANNO M. DC. XXXII.

Las cartas, escritas en el periodo (1634-1645), se conservan en la Sección de manuscritos de la Biblioteca Real Albert I de Bruselas, en el volumen 19837-19838. Todas ellas se identificaron con el siguiente texto manuscrito: Noventa cartas, del reverendísimo y doctísimo padre Juan Carlos de la Faille , sacerdote de la Compañía de Jesús, profesor de Matemáticas en el Colegio Imperial y cosmógrafo mayor de su Majestad, escritas a Miguel Florencio Van Langren, cosmógrafo y matemático de su Majestad.

Víctor Navarro Brotons, en la referencia que preparó para la Real Academia de la Historia, apuntó lo siguiente: «La Faille se interesó también por las cuestiones de cartografía náutica y, al parecer, diseñó una carta náutica con un método propio para resolver el *problema de los rumbos*, cuya naturaleza exacta se ignora. No obstante, cabe señalar que conocía bien la proyección de Mercator y sus ventajas para la navegación. En este sentido, cabe destacar que los jesuitas del Colegio Imperial colaboraron en la introducción en España de esta proyección en las cartas náuticas, pues entre las obras impresas y manuscritas de los cosmógrafos españoles anteriores, Céspedes, Cedillo, etc., no se ha hallado ninguna referencia a dicha proyección».



Monumento en su ciudad natal

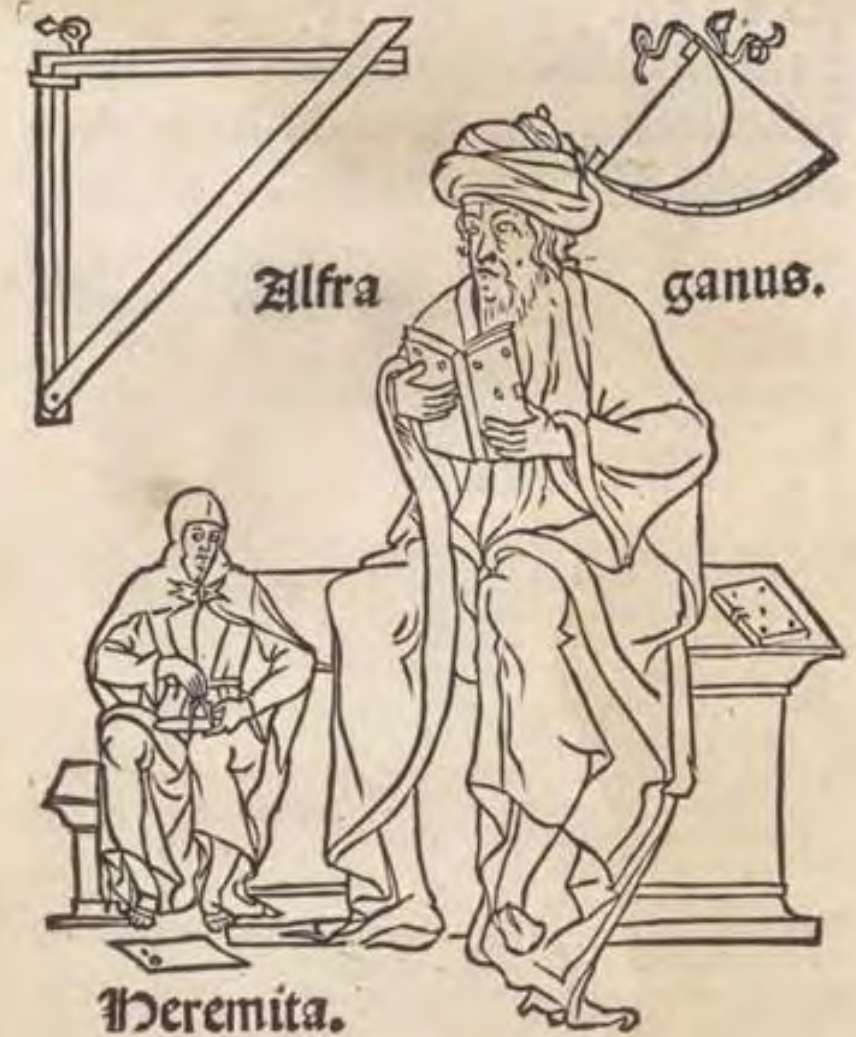
## Al-Farghani (805-880)

Astrónomo, nacido en Ferghana (Uzbekistán), que diseñó el nilómetro de la isla de Roda (El Cairo). Su nombre completo fue Abū al-‘Abbās Aḥmad ibn Muḥammad ibn Kathīr al-Farghānī, aunque fuese conocido en occidente por Alfraganus. Su obra más conocida fue *Kitāb fī Jawāmi‘ ‘Ilm al-Nujūmi* (Compendio de la ciencia de las estrellas), una versión revisada del Almagesto de Tolomeo; una de las novedades que introdujo figuran un nuevo cálculo de la circunferencia de la Tierra. Fue traducida al latín en varias ocasiones, llegando a ser muy popular en Europa hasta el siglo XV; creyendo que ejerció cierta influencia en el universo descrito por Dante Alighieri (1265-1321) en su Divina Comedia. También fue traducida al hebreo por Jacob Anatoli (ca. 1194 – 1256), incluyendo en ella un apartado dedicado a las 48 constelaciones de Tolomeo (probablemente escrito por al-Farghani); aunque no figura en otras traducciones de la obra. Otra de las versiones se publicó en Ámsterdam en el año 1669, con el título *Elementa Astronómica, Arabicé & Latiné*, cuyo autor fue el matemático y orientalista Jacob van Gool (1596-1667), más conocido como Jacob Golius.



En una de sus numerosas versiones, destaca el frontispicio que representa al autor (identificado con su nombre latino) enseñando a un monje; una representación alegórica sublime del papel fundamental que desempeñaron los sabios musulmanes en la transmisión del conocimiento astronómico a Occidente. *Brevis ac perutilis co[m]pilatio Alfragani ... totu[m] id continens quod ad rudimenta astronomica est opportunum* (1493).

Los Elementos de al-Farghani se estructuraron en treinta capítulos, abordándose cuestiones tales como las que se indican a continuación: los años sirios, romanos, persas y egipcios, dando los nombres de los meses, días y las diferencias entre sus calendarios; los movimientos diarios y anuales de los cielos; los siete climas (capítulo VIII); las esferas planetarias y sus distancias a la Tierra; los movimientos del Sol, la Luna y las estrellas fijas en longitud; el movimiento retrógrado de los planetas, la revolución de los planetas en su órbita; el movimiento de la Luna y los planetas en latitud; las mansiones lunares, distancias de los planetas a la Tierra, el tamaño de los planetas comparado con el de la Tierra; las fases de la Luna; la paralaje; los eclipses lunares y solares; y del intervalo entre ellos.



كتاب

محمد بن كثير القزويني

في الحركات السماوية وجوامع علم النجوم  
بمفسر الشيخ الفاضل

يعقوب عوليسوس

MUHAMMEDIS FIL. KETIRI  
FERGANENSIS,

Qui vulgo

ALFRAGANVS

dicitur,

ELEMENTA ASTRONOMICA,

Arabicè & Latinè.

*Cum Notis ad res exoticas sive Orientales, quæ  
in iis occurrunt.*

Opera

JACOBI GOLII



AMSTELODAMI,

Apud JOHANNEM JANSONIVM à WAASBERGE,  
& Viduam ELIZEI WEYERSTRAET, 1669.

Princeton University

Al Farghani fue uno de los primeros en referir la equivalencia entre la amplitud angular de un grado y su desarrollo lineal, recogién dose en el capítulo VIII de la obra anterior el comentario siguiente: «Hemos hallado así que un grado celeste corresponde en la superficie terrestre a 56 2/3 millas, de las que cada una contiene 4000 codos, llamados negros. Según la determinación hecha en tiempos del califa al Ma'mun, de gloriosa memoria, por varios eruditos que colaboraron en esa medida». Posiblemente al Farghani fue uno de los eruditos que trabajó en la casa de Sabiduría de Bagdad y participó en la expedición (832-833) que midió un arco de meridiano entre Tadmor y ar-Raqqah. Se cree que esa obra fue consultada por Cristóbal Colón, aunque confundiera las millas árabes (4000 codos) con las romanas (mil pasos) y minusvalorara el valor del perímetro terrestre.

Al Farghani parece que debió influir asimismo en la confección del mapamundi que se le atribuye al califa anterior, pues este se confeccionó de acuerdo con la descripción de los climas que él había efectuado. En el listado de los climas incluyó el astrónomo la duración de los días más largos en horas y fracciones de hora, así como la longitud de la sombra arrojada por el gnomon.

Duración de los días más largos en los siete climas, según al Farghani, al Battani y al Biruni

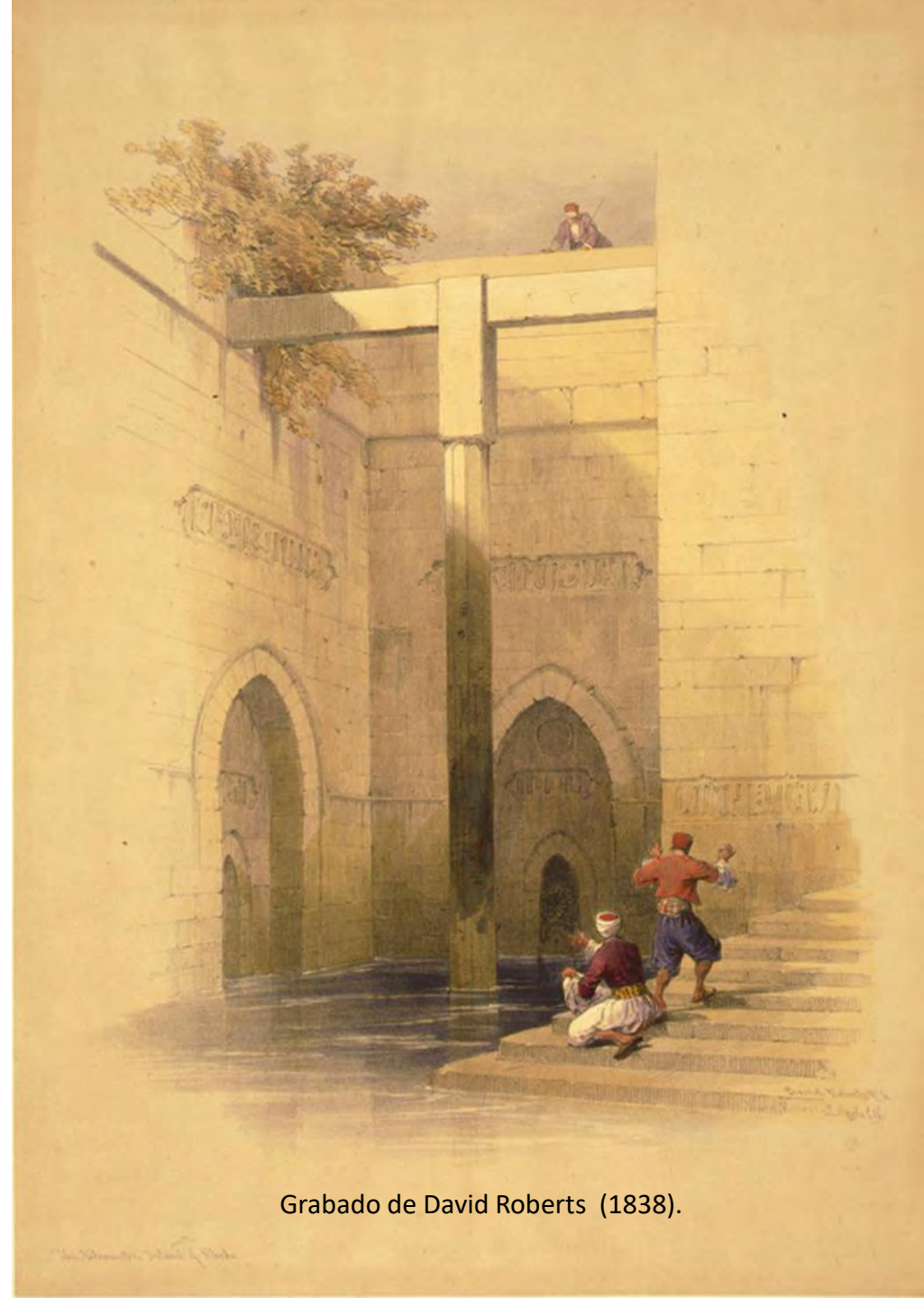
| Climata                         | THE GREEK SYSTEM |                                | THE ARAB SYSTEM |            |           |
|---------------------------------|------------------|--------------------------------|-----------------|------------|-----------|
|                                 |                  | Number of hours in longest day | al-Farghānī     | al-Battānī | al-Bīrūnī |
|                                 |                  | 16.25                          | 50° 30'         | missing    | 50° 25'   |
| VII Borysthenes (Dnieper River) |                  | 16                             | 48° 55'         | 48° 53'    | 48° 52'   |
|                                 | 48° 30'          | 15.75                          | 47° 15'         | 47° 12'    | 47° 11'   |
| VI Hellespont (Dardanelles)     |                  | 15.5                           | 45° 24'         | 45° 22'    | 45° 22'   |
|                                 | 43° 05'          | 15.25                          | 43° 30'         | 43° 25'    | 43° 23'   |
| V Rome                          |                  | 15                             | 41° 20'         | 41° 15'    | 41° 14'   |
|                                 | 38° 35'          | 14.75                          | 39°             | 38° 54'    | 38° 54'   |
| IV Rhodes                       |                  | 14.5                           | 36° 24'         | 36° 22'    | 36° 21'   |
|                                 | 33° 20'          | 14.25                          | 33° 40'         | 33° 37'    | 33° 37'   |
| III Alexandria                  |                  | 14                             | 30° 42'         | 30° 40'    | 30° 39'   |
|                                 | 27° 10'          | 13.75                          | 27° 30'         | 27° 28'    | 27° 28'   |
| II Syene (Aswan)                |                  | 13.5                           | 24° 06'         | 24° 05'    | 24° 04'   |
|                                 | 20° 15'          | 13.25                          | 20° 30'         | 20° 28'    | 20° 27'   |
| I Meroë                         |                  | 13                             | 16° 40'         | 16° 39'    | 16° 39'   |
|                                 | 12° 30'          | 12.75                          | missing         | missing    | 12° 39'   |

Al-Farghani escribió también otros textos de contenido astronómico, atribuyéndosele uno sobre la construcción de relojes de Sol (*Kitab 'Amal al-Rukhamat*). De entre todos ellos sobresalió su tratado sobre el astrolabio: *al-Kitab al-Kamil fi Sana'at al-Asturlab al-Shimali wa-l-Janubi wa - 'Ilaliha bi-l-Handasa wal-Hisab*. En sus siete capítulos expuso la base matemática que sustentaba su construcción. En el capítulo 1º explicó los fundamentos geométricos de la proyección estereográfica de la esfera sobre el polo Norte, usando como vértice de los rayos proyectivos el polo opuesto. Los dos siguientes capítulos trataron de los procedimientos geométricos. El 4º presentaba las tablas con los datos relativos a la construcción y cálculos. El 5º y el 6º describieron como debería construirse el instrumento para cada uno de los dos hemisferios. El último capítulo analizó el posible empleo de otras proyecciones, aunque terminase por desecharlas en favor de la estereográfica. Esa obra la escribió en el Cairo, alrededor del año 856, ya que se trasladó allí tras su participación en la medida del grado del meridiano.



Tratado sobre el astrolabio. Manuscrito del siglo XII

Poco tiempo después, el califa al-Mutawakkil (821-861) le encargó a Al-Farghani la renovación de un nilómetro existente en la isla de Roda, próxima al núcleo urbano del Cairo. La obra de remodelación se inauguró en el año 861, con la particularidad de que la unidad de medida usada para evaluar las crecidas no fue el codo negro de al-Ma'mun ( $\approx 49.3$  cm), sino otro tolemaico un poco mayor ( $\approx 53$  cm). El palacio del monumento metrológico y la fortaleza que lo alberga, fueron levantados a partir del año 1240 (638 de la hégira). Es sabido que el elemento fundamental de la instalación es una columna de mármol blanco que se eleva desde el centro de un pozo de base cuadrada y de unos 9.5 metros de profundidad, al que se desciende por unas escaleras. Al fondo del mismo llegaban las aguas del Nilo a través de varias galerías situadas a niveles diferentes, las cuales desembocaban en su lado oriental bajo arcos ojivales, que se sostienen mediante pequeñas columnas ornamentales. En los lados Norte y Este de la parte superior del pozo hay textos cúficos, los más antiguos hallados en Egipto. Los sabios franceses que acompañaron al ejército napoleónico, constataron la diferente longitud de los intervalos marcados en la columna nilométrica: los diez superiores estaban subdivididos en seis palmas de cuatro dedos, mientras que los seis inferiores no se subdividieron;



Grabado de David Roberts (1838).

los franceses midieron a conciencia todos ellos, con un compás de verga, y comprobaron que sus longitudes oscilaban entre los 535 mm y los 550 mm.



Columna nilométrica



Nilómetro de la Isla de Roda (El Cairo)



## Hervé Auguste Étienne Albans Faye (1814-1902)

Astrónomo y geodesta, profesor de la Escuela Politécnica de París. Tras una breve estancia en dicha escuela (1832-1833), se trasladó a Holanda para trabajar en diferentes empresas de ingeniería. Cuando regresó a Francia, en 1836, Arago lo admitió como astrónomo alumno en el Observatorio de París. En el año 1843 fue nombrado astrónomo, descubriendo en su mes de noviembre un cometa periódico (bautizado después con su apellido, *4P Faye*) en la constelación de Orión, del que halló su órbita elíptica y calculó sus parámetros siguiendo la metodología expuesta por Gauss en su *Theoria motus*. Por ello fue galardonado con el premio Lalande de la Academia de Ciencias de París. Tanto Arago como Humboldt lo recomendarían luego, en 1847, para que se le adjudicara una cátedra en la citada Academia; en la que ya había ingresado el 18 de enero de ese mismo año. El prestigio de que gozaba le permitió ser profesor de Astronomía y Geodesia en la Escuela Politécnica (1848-1854), cargo que abandonaría al ser nombrado en un primer momento rector de la Academia de Nancy y en

Primera reunión de la Carata del Cielo, París (1887). A Faye se le identificó con el número 9

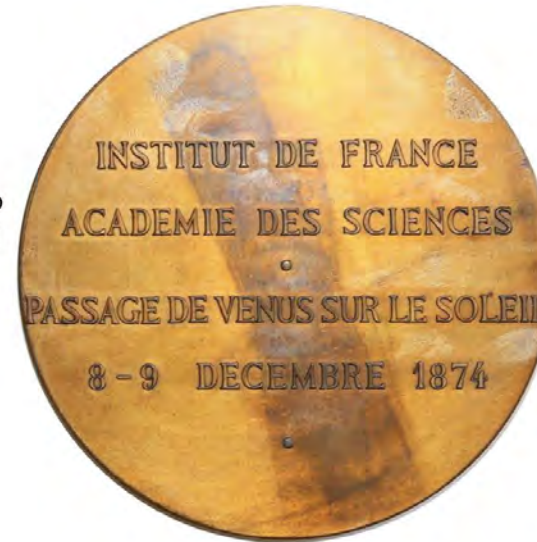


segundo lugar profesor de Astronomía y Matemáticas, cuando se creó la facultad de Ciencias. El 31 de mayo de 1855 se convirtió en miembro efectivo de la Academia de Ciencias, versando su discurso de ingreso *Sur la différence de longitude entre Paris et Londres*. En 1857, Faye se trasladó a París y logró consolidar su condición de hombre de ciencia: en 1872 es elegido Presidente de la Academia de Ciencias, en 1874 volvió a su puesto de profesor de Astronomía y Geodesia en la Escuela Politécnica, en 1876 fue nombrado Presidente del *Bureau des Longitudes*,

entre 1889 y 1894 presidió la Sociedad Astronómica de Francia y en 1897 recibió la Gran Cruz de la Legión de honor, como reconocimiento a sus numerosos servicios al gobierno; hasta fue Ministro de Educación Pública, asuntos religiosos y Bellas Artes durante los meses de noviembre y diciembre de 1877.



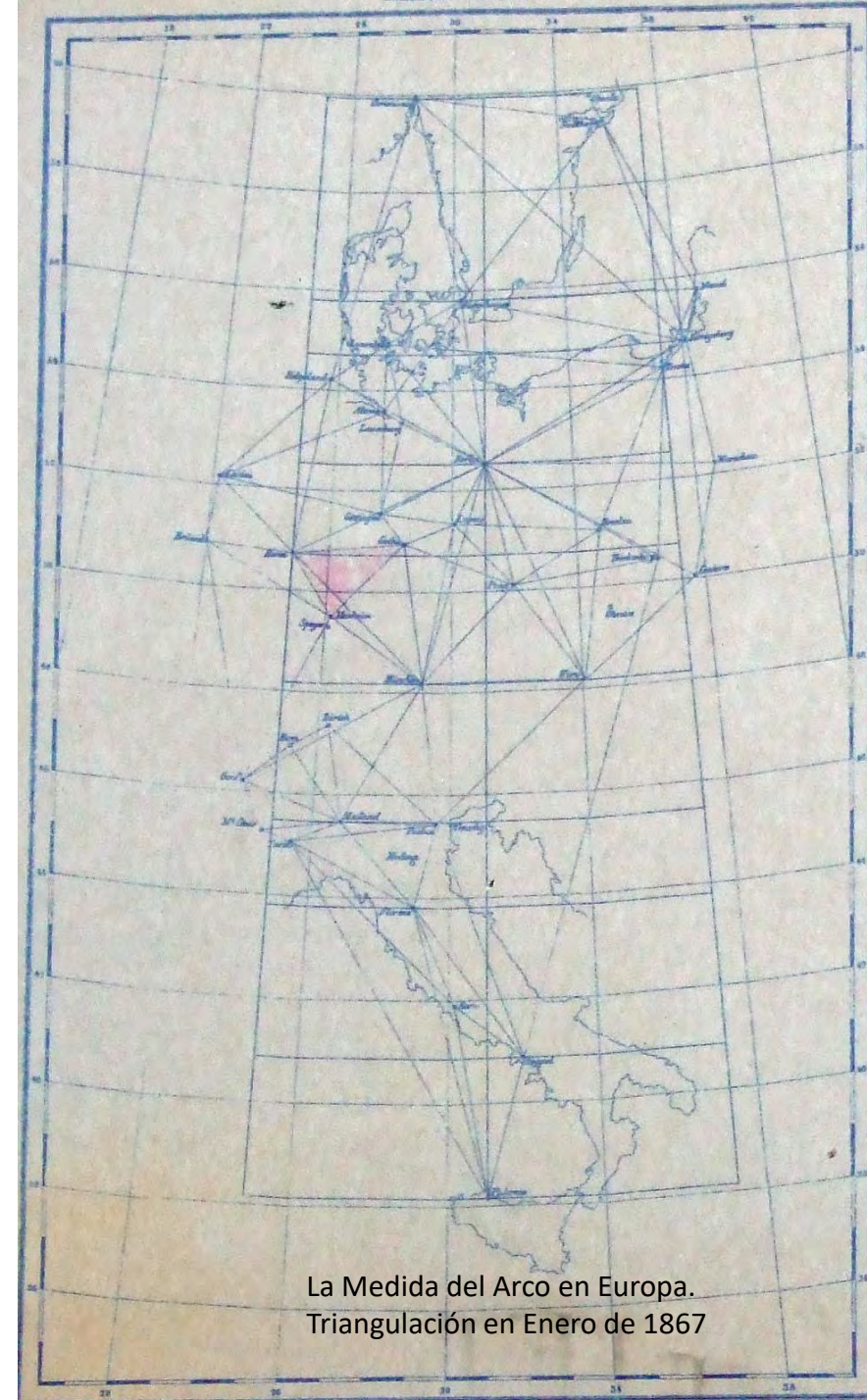
Medalla acuñada por el Instituto de Francia, para conmemorar el tránsito de Venus por el Sol



La carrera científica de Faye fue particularmente rica y multidisciplinar, aunque no dejara de prestar atención al desarrollo de las técnicas astronómicas, fomentando por ejemplo el empleo de la fotografía para observar el tránsito de Venus de 1874. Sus investigaciones fueron más teóricas que prácticas, así han de entenderse sus estudios sobre la formación de las colas de los cometas, o sobre la constitución física del Sol: creyendo que se trataba de una esfera gaseosa impulsada por importantes movimientos de convección y que las manchas solares eran agujeros impulsados por movimientos ciclónicos internos. También analizó diferentes fenómenos meteorológicos, tales como tempestades, tormentas eléctricas, formación de granizo, ciclones y aguaceros.



Sin embargo, en el presente contexto debe hacerse mayor énfasis en sus contribuciones a la geodesia, interesándole en particular las investigaciones sobre la desviación de la vertical que se estaban llevando a cabo en Inglaterra ( Airy y Pratt), en Alemania (Gauss y Bessel) y en Rusia (Struve); por tratarse de una cuestión esencial para un mayor conocimiento de la estructura interna de la Tierra. Ciertamente, si fuese homogénea la plomada debería desvirarse en las proximidades de una montaña, aunque se constatará la existencia de anomalías atribuidas a la estructura geológica de la misma; durante su etapa al frente del Bureau des Longitudes, Faye animó a sus miembros para que las tuviesen en cuenta al efectuar las nivelaciones geodésicas. Por su iniciativa se acometió la corrección del arco de meridiano medido en Francia y su reciente prolongación hasta el litoral argelino. A él se debió también la integración de Francia en la *Mitteleuropäische Gradmessung* (que más tarde se convirtió en la Asociación Internacional de Geodesia), que lideraría el desarrollo geodésico y metrológico durante el siglo XX. Asimismo, ha de recordarse su aportación a la gravimetría con la denominada corrección de Faye, aplicada al valor observado de la gravedad, la cual es independiente de la densidad de las capas subyacentes (de ahí que también se le llame corrección al aire libre) y directamente proporcional a la altitud de la estación.

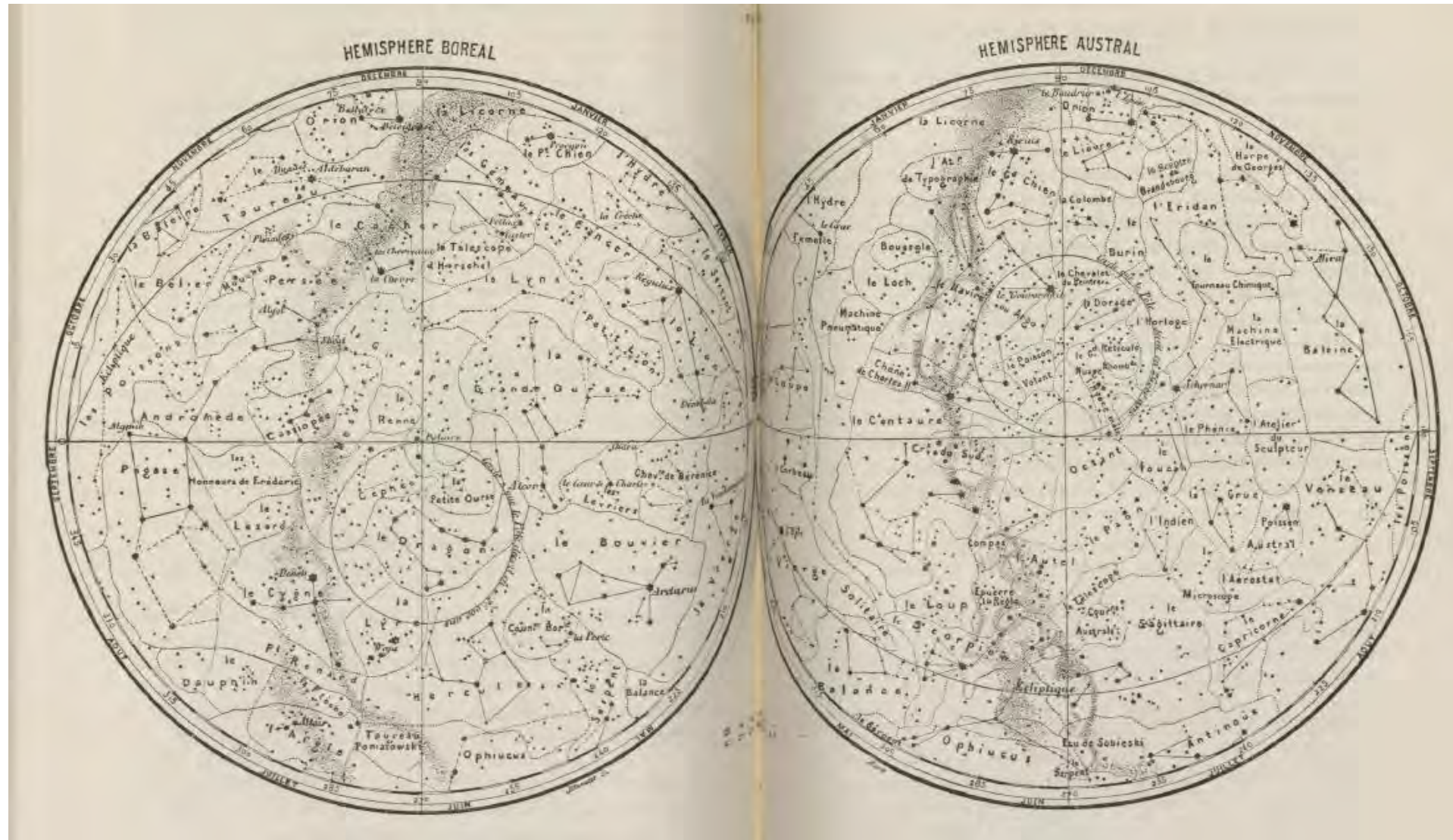


La Medida del Arco en Europa.  
Triangulación en Enero de 1867



Faye publicó a lo largo de su carrera más de 200 artículos en las Memorias de las instituciones científicas de referencia. Tradujo al francés el Cosmos de Humboldt, siendo editado entre 1855 y 1859. En la Biblioteca Nacional se conservan los manuscritos de sus Lecciones de Astronomía y Geodesia impartidas en la Escuela Politécnica (1876-1878), así como el de su Curso de Astronomía (1873-1875). Este último fue publicado en el año 1881 (Volumen I) y en 1883 (Volumen II), con el título *Cours d'Astronomie de l'École Polytechnique*. Faye aclaró en el preámbulo el contenido de los mismos, con marcado chovinismo: «el primer Volumen contiene la astronomía esférica, es decir el estudio del movimiento diurno de la Tierra, la descripción de los instrumentos y de los observatorios, la teoría de errores, cuyos métodos tan útiles no son muy conocidos, la Geodesia, una ciencia completamente francesa que todos los pueblos civilizados se empeñan hoy día en desarrollar; en fin, la Geografía matemática. El segundo Volumen trata de la Astronomía solar, de los planetas, cometas, de la Luna y de las aplicaciones a la Navegación». Otras de sus obras fueron su *Cours d'astronomie nautique* (1880) y *Sur l'origine du monde : théories cosmogoniques des anciens et des modernes* (1884), en la que desarrolló y mejoró la teoría cosmológica de Laplace, que se reeditó en cuatro ocasiones.

Faye presidió el *Bureau des Longitudes* casi durante 20 años (1874-1893). Fue Presidente de la Academia de Ciencias en 1872 y desempeñó un papel decisivo en el Consejo del Observatorio de París. También presidió la Asociación Geodésica Internacional desde el año 1891 hasta su fallecimiento. Fue miembro de la *Royal Society*, de la Academia Real de Ciencias, Letras y Bellas Artes de Bélgica, de la Academia de los Linceos de Roma, de la Academia Imperial de las Ciencias de Berlín, de la Academia imperial de las Ciencias de Rusia y de la Academia americana de las artes y las ciencias de Cambridge (Massachusetts).





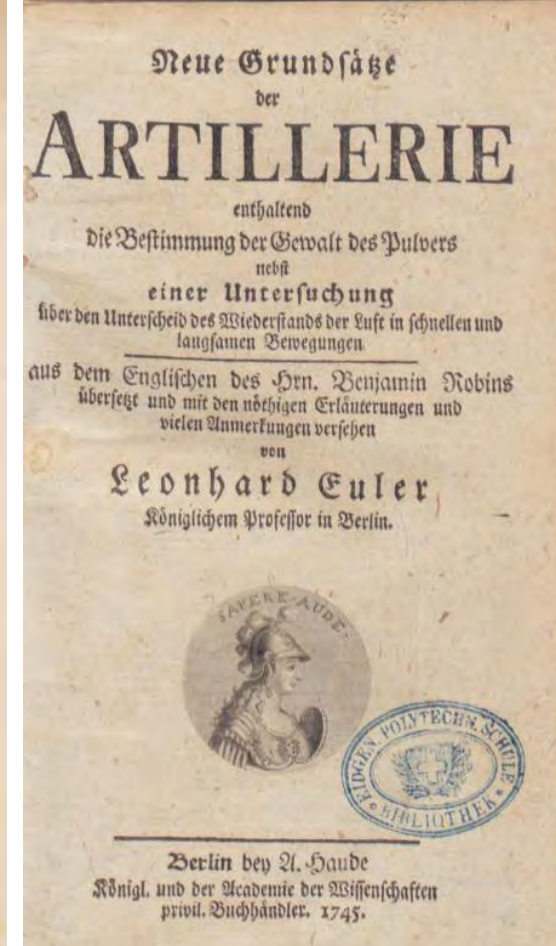
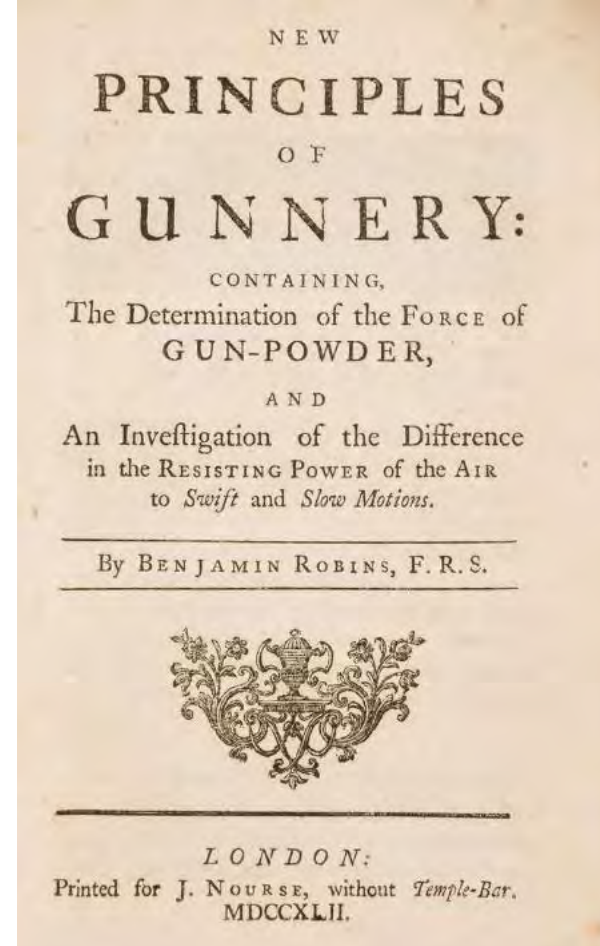
## Federico el Grande (1712-1786)

Prototipo de monarca ilustrado, con un prolongado reinado (1740-1786), refundador de la nueva Real Academia de las Ciencias (Königliche Akademie der Wissenschaften), conocida también como Academia de Berlín. Gracias a su madre, recibió una esmerada formación por parte de sus tutores; que le obligaron a estudiar a los clásicos grecorromanos. Cuando alcanzó la mayoría de edad, su padre le obligó a ingresar en el ejército y cursar las materias propias de las ciencias militares. Federico II de Prusia, o Federico el Grande, procuró que ingresasen en su flamante Academia los sabios más relevantes de su época, destacando Maupertuis sobre todos ellos. Otra de sus iniciativas sociales más sobresalientes, fue la disposición que obligaba a los futuros funcionarios civiles o eclesiásticos a haber cursado al menos dos años de estudios universitarios, antes de acceder al puesto. El Rey no mostraba especial interés por las matemáticas, a pesar de haber mantenido correspondencia con sus principales figuras; en una de las cartas que le dirigió d'Alembert le comentaba: «es destino de su majestad estar siempre en guerra: en verano con los austriacos y en invierno con los matemáticos».

En otra ocasión, fue el propio Rey el que, después de leer un trabajo del mismo autor, le decía: «he leído esa parte de trabajo, en la que te dignas colocar a la ciencia de la geometría sublime al nivel de mi ignorancia».

Aunque el Rey no dejase de hacer comentarios irónicos sobre el álgebra, la geometría y los propios matemáticos, siempre quiso que se incorporasen a la Academia de Berlín, los más prestigiosos del momento. Fue el caso de Euler, ya que enterado de sus éxitos en San Petersburgo, antes incluso de acceder al trono, quiso que se trasladase a Berlín; recurriendo para ello a su amigo Ulrich Friedrich von Suhm (1691-1740), el cual tuvo éxito en su gestión pues Euler

aceptó el ofrecimiento y en julio de 1741 se instaló en Berlin. Entonces tomó la iniciativa de estructurar la Academia como una sociedad científica estructurada en cuatro Clases: Física, Matemáticas, Filosofía especulativa y Filología; reservándose para él la Clase de Matemáticas, un puesto en el que permanecería hasta el año 1766 (cuando volvió a Rusia). Sabiendo Euler que Federico II estaba interesado en un buen tratado de artillería, le tradujo el que había escrito el matemático e ingeniero militar inglés Benjamin Robins (1707-1751) en 1742: *New Principles of Gunnery*. Aunque el rey le agradeciera la traducción, no valoraba las aportaciones matemáticas de Euler y así lo daba a entender en algunos de sus comentarios sarcásticos, como el que le hizo a Voltaire; refiriéndose a él como

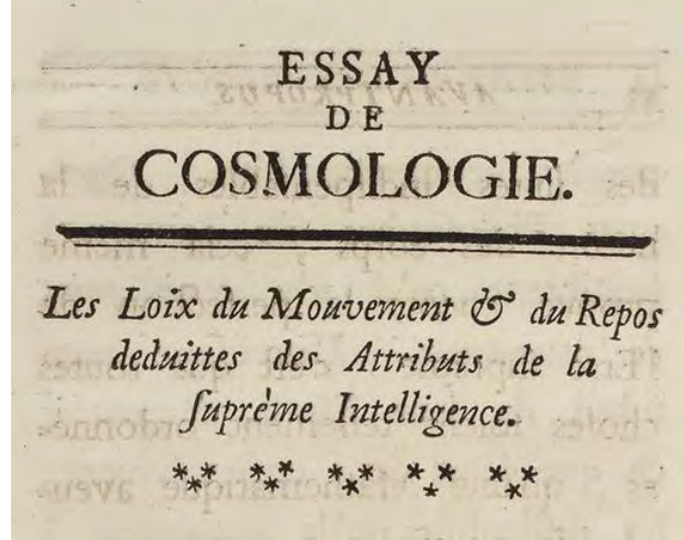


«enorme cíclope de las matemáticas». También criticaba sus carencias en el arte de la conversación y en el de la correspondencia, al compararlo con sus colegas franceses: Voltaire, d'Alembert y Maupertuis. Las desavenencias entre Euler y el rey se acentuaron cuando Maupertuis dejó Berlín, y la presidencia de la Academia quedó en manos del monarca, máxime cuando luego se la ofreció a d'Alembert y este se negó a trasladarse a Berlín, aunque de hecho ejerciera de facto la presidencia desde París. Cuando Euler decidió volver a San Petersburgo, el rey lo criticó abiertamente y trató de ridiculizarlo: al señalar que estaba locamente enamorados de la Osa Mayor y de la Menor, y que viajaba con la  $xz$  e  $yy$ , además de con documentación suficiente como para formar seis volúmenes de memorias; no obstante, en el ocaso de su vida se mostró más condescendiente.

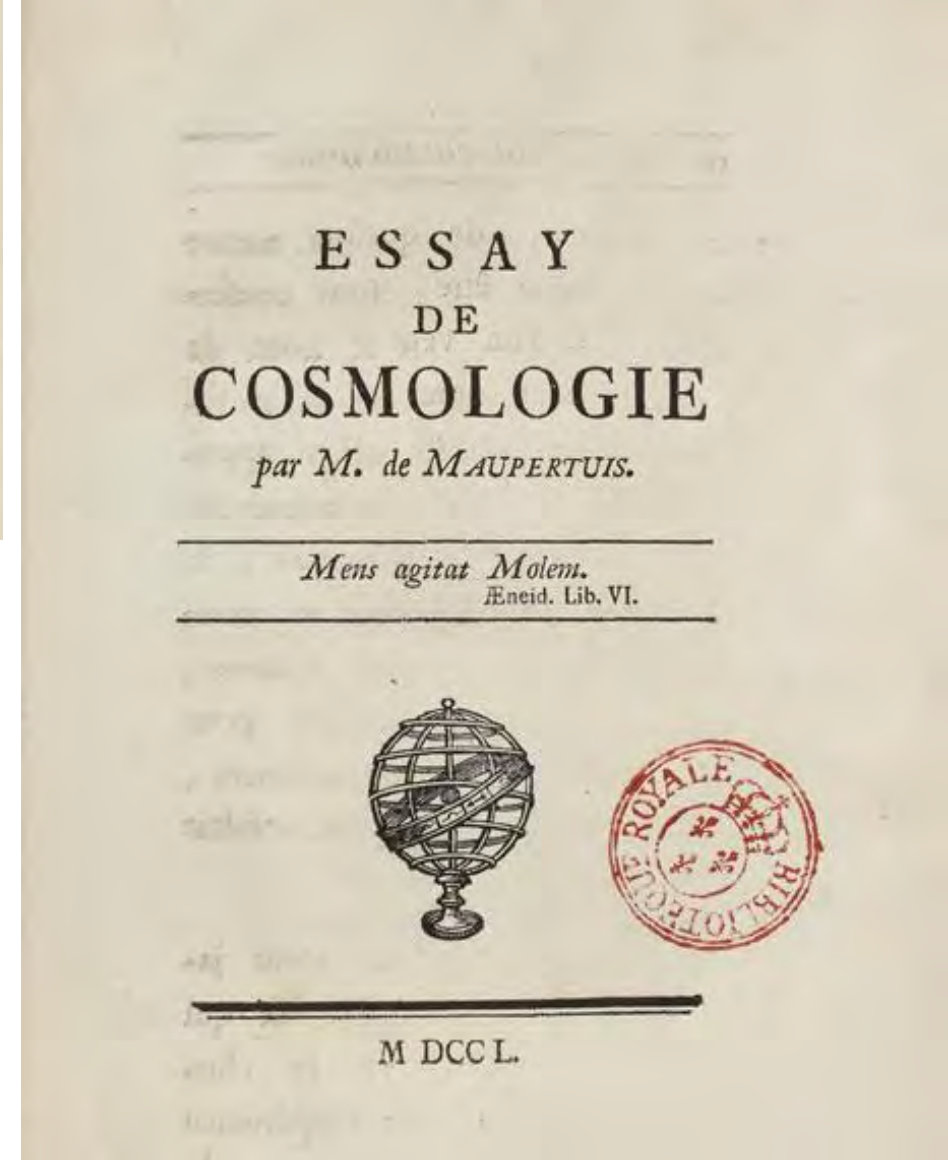


La relación de Federico el Grande con Maupertuis se inició a raíz de que este le enviase, cuando aún era príncipe, un ejemplar de su libro *La Figure de la Terre* (1738); en el cual confirmaba el aplastamiento polar de la Tierra, que había deducido durante la operación geodésica que comandó en Laponia. El futuro rey se lo agradeció, comunicándole que lo leería con gusto, aunque para su comprensión se necesitase un conocimiento profundo de las «matemáticas y de la astronomía especulativa»; reservándose el derecho de pedirle explicaciones sobre las cuestiones que no entendiera. Cuando ascendió al trono quiso incorporarlo enseguida a la Academia de Berlín, y así se lo hizo saber en una carta harto elocuente: «...Tú has mostrado a la humanidad la figura de la Tierra; muestra también a un Rey lo agradable que sería contar con un hombre como tú». En 1746, Maupertuis asumió la presidencia de la

Academia de Berlín en 1746, dándole un impulso considerable. En 1750, Maupertuis presentó dos artículos sobre el principio de mínima acción, desarrollado enseguida en su libro *Essay de Cosmologie*. Los artículos fueron rápidamente cuestionados por el matemático suizo Johann Samuel König (1712-1757), el cual afirmaba que la idea ya había sido propuesta tiempo atrás por Leibniz de forma más apropiada. Surgió entonces una polémica cuadrangular entre Maupertuis, König, Voltaire y Federico II, con unos comentarios tan satíricos como brillantes.



Otro de los matemáticos que tuvo relación con Federico el Grande fue Johann Heinrich Lambert, que acabaría estableciéndose en Berlín. Johann Georg Sulzer (1720-1779) se lo presentó al rey, el cual lo encontró tosco y un tanto engreído: al preguntarle este, qué ciencias estaba estudiando, le respondió que todas, después contestó afirmativamente a la pregunta de si era un hábil matemático; cuando el rey le preguntó quién le había enseñado matemáticas, dijo que él mismo y al comentarle si se consideraba un segundo Pascal, contestó con un «sí su Majestad». La conversación fue tan poco satisfactoria que el rey no aceptó que ingresara en la Academia hasta el



Astronomisches  
**J a h r b u c h**  
oder  
**E p h e m e r i d e n**  
für das Jahr 1776  
nebst einer Sammlung  
der neuesten  
in die astronomischen Wissenschaften einschla-  
genden Beobachtungen, Nachrichten, Bemerkungen und Abhandlungen.

---

Unter Aufsicht und mit Genehmigung  
der Königl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin  
verfertigt und zum Drucke befördert.

---

Mit 6 Kupferblatten.

---

Berlin,  
im Verlag der Haude und Spenerischen Buchhandlung  
1774.

el año siguiente (1764), justo cuando se enteró de que quería ficharlo la de San Petersburgo. Residiendo en Berlín publicó en 1768 un artículo en el que probó la irracionalidad del número  $\pi$ , editando seis años después el almanaque astronómico *Astronomisches Jahrbuch Oder Ephemeriden*; culminando así su formación autodidacta de astrónomo, usando para ello una instrumentación diseñada y construida por él mismo. Euler consideraba relevantes las contribuciones matemáticas de Lambert, aunque d'Alembert no les atribuyera el mismo valor.

Cuando Euler abandonó Berlín, fue d'Alembert el que sugirió al rey que el sustituto debería ser Lagrange. Este debió aceptar la propuesta, puesto que en una de las cartas que escribió a Federico el Grande (19 de mayo de 1766) le manifestaba que Lagrange había aceptado la invitación con igual respeto que gratitud. La respuesta del rey (26 de julio de 1766) seguía criticando con acritud a Euler, ya que se pronunciaba así: «...te debo el haber sustituido a un matemático medio ciego por otro con ambos ojos, lo que agradará a los miembros de mi Academia». D'Alembert le sugirió al rey que Lagrange convendría que dirigiera la Clase de Matemáticas. Aunque Lagrange fuese mejor considerado por el rey que su antecesor, nunca mostró interés por las investigaciones en que estaba inmerso. Los matemáticos de la academia eran para él



ornamentos obligados a los que no lograba comprender, es sumamente elocuente su reflexión a propósito de su celebrado amigo: «deben pasar siglos antes de que la naturaleza vea otro Voltaire»; cuando nunca hizo nada parecido con figuras de la talla de Euler, Lambert o Lagrange. Al fallecer el rey, la situación de Lagrange se hizo tan insostenible que en 1787 decidió trasladarse a París, tras haber permanecido en Berlín un tiempo similar al que estuvo Euler.

Giovanni Francesco Melchior Salvemini (1708-1791), más conocido como Johann de Castillon, fue el último matemático que va a ser referido en relación con Federico II de Prusia, el cual lo invitó en 1763 para que diese clases en la Escuela de Artillería de Berlín. En ese mismo año fue elegido miembro de la Academia de Ciencias (Sección de Matemáticas) y en 1766 Astrónomo Real del Observatorio de Berlín, recientemente acondicionado. El segundo nombramiento lo efectuó el rey siguiendo la recomendación que le hizo d'Alembert (26 de mayo de 1766): «Su Majestad desea tener un astrónomo y creo que el señor de Castillon es una persona adecuada; especialmente porque puede educar a su hijo en los mismos estudios y permitirle ser su sucesor, en caso de ser necesario».

Estatua de Atenea en el Palacio de Sanssouci, residencia de verano de Federico el Grande





Concierto de flauta por Federico el Grande

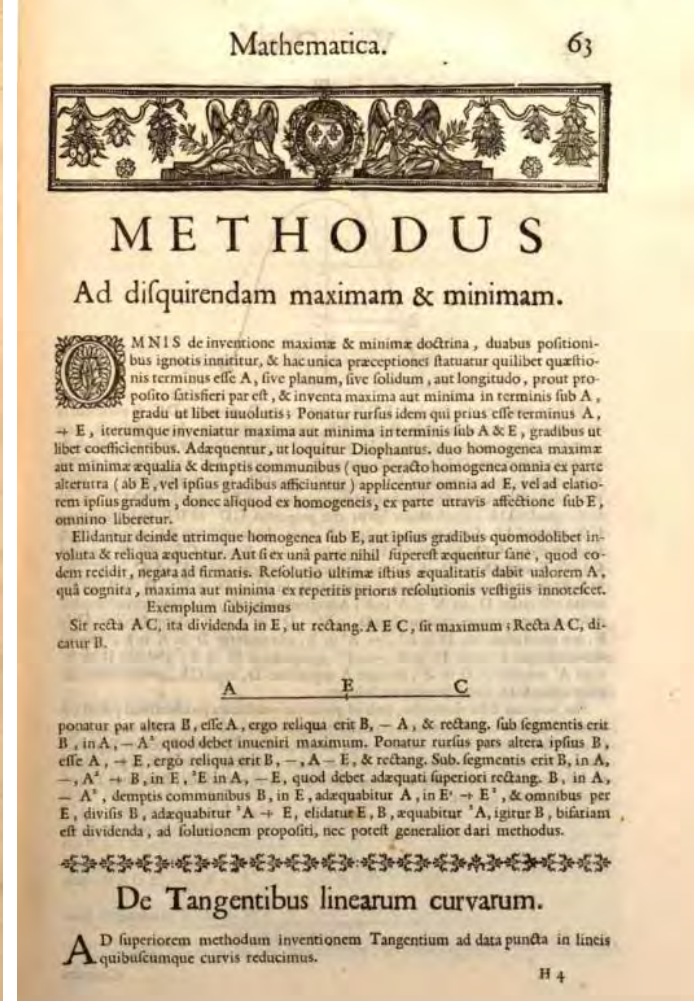
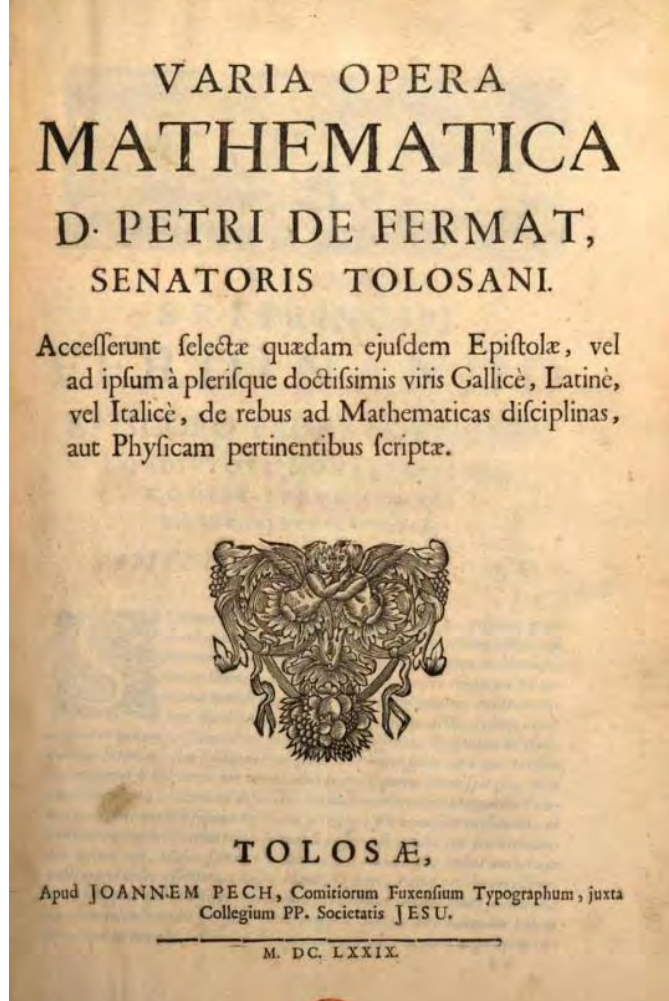
Resulta paradójico que todo el interés que tenía el rey por la poesía y por la filosofía, no tuviese un reflejo significativo en su academia. Todo lo contrario, sucedería con las matemáticas, por las que sentía un profundo rechazo. Afortunadamente siguió los permanentes consejos que recibía tanto de Voltaire como de d'Alembert, resultando favorecidas las ciencias en detrimento de las letras; con la sorprendente exclusión de figuras tan ilustres como Immanuel Kant (1724-1804) o Johann Wolfgang von Goethe (1749-1832). En su haber ha de señalarse la reforma del ejército y del gobierno, el establecimiento de la tolerancia religiosa y de la libertad de prensa; así como el reforzamiento del sistema legal, promulgando el primer código de derecho alemán.



## Pierre de Fermat (1601-1665)

Autodidacta por excelencia, que siendo jurista se convirtió en uno de los matemáticos más notables de todos los tiempos; suyo fue el enunciado del teorema que no pudo ser demostrado hasta finales del siglo XX: *No existen tres números enteros  $a$ ,  $b$  y  $c$  que satisfagan la ecuación  $a^n + b^n = c^n$ , para  $n > 2$* . El problema fue resuelto por el matemático británico, nacido en Cambridge (1953), Sir Andrew John Wiles, en el artículo *Modular Elliptic Curves and Fermat's last theorem*. *Annals of Mathematics* 141: 3 (1995), pp. 443-551. Estudió en la universidad de Toulouse y en la de Burdeos, comenzando en esa segunda ciudad sus investigaciones matemáticas. De Burdeos se trasladó a Orleans, en cuya universidad obtuvo la licenciatura de derecho, obteniendo a continuación (1631) el puesto de concejal en el Ayuntamiento de Toulouse. A partir del año 1636 se iniciaron los intercambios epistolares de Fermat con matemáticos como Pierre de Carcavi (1600-1684) y Marin Mersenne (1588-1648), acerca de la caída libre de los cuerpos, las espirales y los lugares geométricos de Apolonio. Siguiendo el consejo del segundo, envió a otros matemáticos de París el manuscrito de su trabajo

*Methodus ad disquirendam maximam et minimam et de tangentibus linearum curvarum* (publicado a título póstumo en 1679); uno de los primeros textos de geometría analítica en los que desarrolló un método para hallar los máximos, mínimos y tangentes a varias curvas, que podría encuadrarse en el calculo diferencial. En esas investigaciones descubrió una técnica para hallar los centros de gravedad de varias figuras en el plano y en el espacio, que continuaron con otros trabajos sobre la cuadratura. Mersenne le hizo llegar a Fermat una copia de *La Dioptrique*, que había publicado Descartes en 1637, y le pidió que expresara su opinión al respecto. Fermat pensaba que la geometría no era la herramienta más adecuada para explicar la física, y comentó que Descartes no había deducido correctamente su ley de refracción. La reacción de este fue atacar el método de Fermat de máximos, mínimos y tangentes; aunque finalmente acabase dándole la razón: «... Viendo el último método que usas para encontrar tangentes a las líneas curvas, no puedo responderte de otra manera que diciendo que es muy bueno y que, si lo hubieras explicado de esta manera al principio, no lo habría contradicho en absoluto».



Ayuntamiento de  
Toulouse

Fermat y su musa (1898)

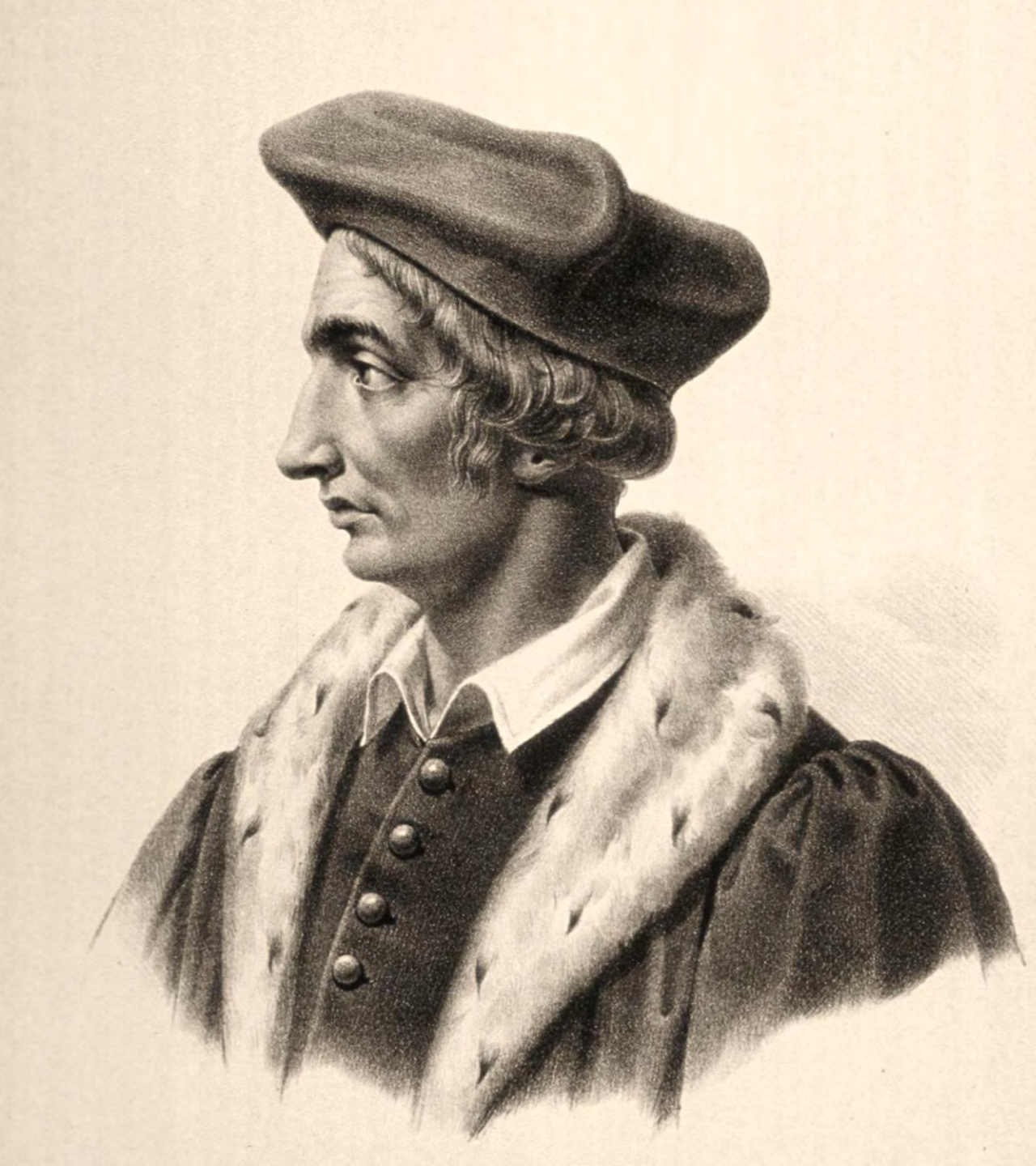


FERMAT inventeur du calcul différentiel.

Théophile Barrau (1848-1913)

En los años siguientes se abre un paréntesis en el que Fermat no hizo públicas sus aportaciones, si bien continuó estudiando su teoría de números. De esa época data el llamado último teorema de Fermat, cuya expresión analítica escribió al margen de una traducción de la Aritmética de Diofanto (ca.200-ca.284) efectuada por Claude Gaspar Bachet; la información fue proporcionada por un hijo de Fermat en el año 1670. La correspondencia con los matemáticos se reanudó en el año 1654 por iniciativa de Pascal, el cual le pidió la confirmación de sus ideas sobre la probabilidad; una petición que agradeció y atendió Fermat, animándolo a que completase lo que le pareciera demasiado conciso. De nuevo abordaría la cuestión de la probabilidad en 1656, cuando se escribió con Huygens.





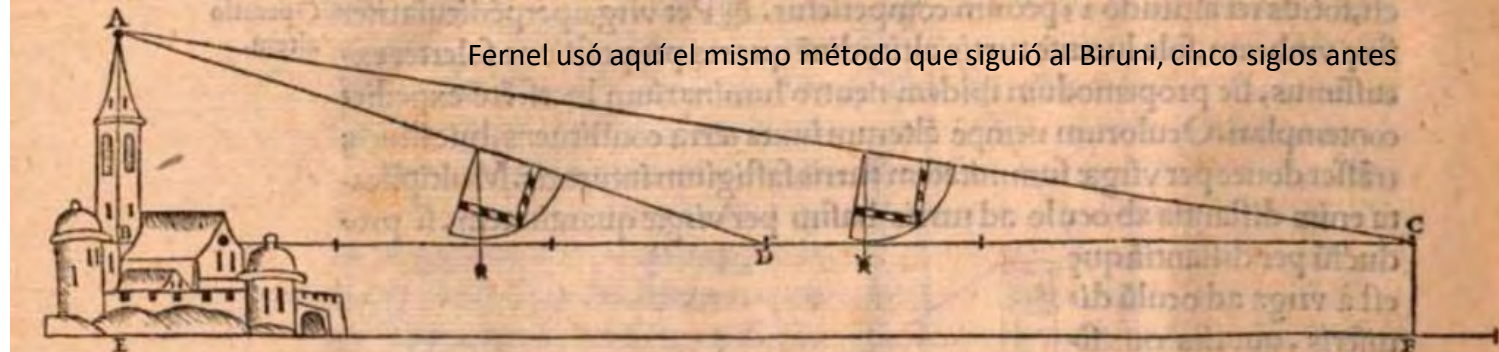
## Jean Fernel (1497-1558)

Galeno real y astrónomo, que fue el primero en medir el desarrollo de un grado en el meridiano de Francia. Hizo sus primeros estudios en Clermont de l'Oise, pasando luego al Colegio Saint-Barbe de París. Tras recuperarse de una enfermedad en Montdidier (Amiens), su ciudad natal, volvió a la capital, esta vez como profesor, para enseñar filosofía y matemáticas en el colegio anterior. Después de abandonar su cátedra de filosofía, se consagró por completo al estudio de la medicina, obteniendo el título de doctor en la Facultad de París (1530) y el de profesor de la misma en 1534. La buena reputación de la que comenzó a gozar, hizo que el rey Enrique II (1519-1559) lo nombrase su médico de cabecera, aunque Fernel tuviese que extender sus cuidados tanto a la esposa, Catalina de Médicis (1519-1589), como a la favorita, Diana de Poitiers (1499-1566). Amigo de Michel de Nôtre Dame (1503-1566), más conocido como Nostradamus, con el que compartió algunas profecías.

Fernel fue también inventor y explorador; algunos de sus instrumentos fueron útiles para disciplinas científicas como la astronomía, la geografía y la óptica. En el año 1526 ya había dado pruebas de sus conocimientos astronómicos, al presentar un estudio sobre los relojes de Sol. A partir de entonces, se publicaron sus obras astronómicas, en los dos años siguientes, a saber: *De Proportionibus Liber*, *Monalosphaerium* y *Cosmotheoria*. *De Proportionibus Liber* fue una obra de matemáticas en la que se abordó especialmente una descripción de la teoría de las fracciones, solo por esta fue considerado como el matemático francés más distinguido del siglo XVI. El *Monalosphaerium*, esencialmente práctico, se dividió en cuatro partes. La primera trató del astrolabio y de su empleo para determinar la hora y la medida del tiempo; en la segunda se explicó el número áureo, las mansiones lunares y otras cuestiones astronómicas, como la discusión de los días y divisiones del año; la tercera fue una lección de astronomía de posición, en la que se indicó el modo de hallar la latitud del lugar, los ortos y ocasos del Sol, así como el análisis astrológico de los signos del zodiaco, con vistas a la construcción de horóscopos que concretaban la influencia de los astros sobre la salud.



La cuarta parte se dedicó exclusivamente a solucionar diversos supuestos de geometría práctica, usando un cuadrante; fijando su atención en la medida de distancias a puntos inaccesibles y al cálculo de la altura de los mismos.



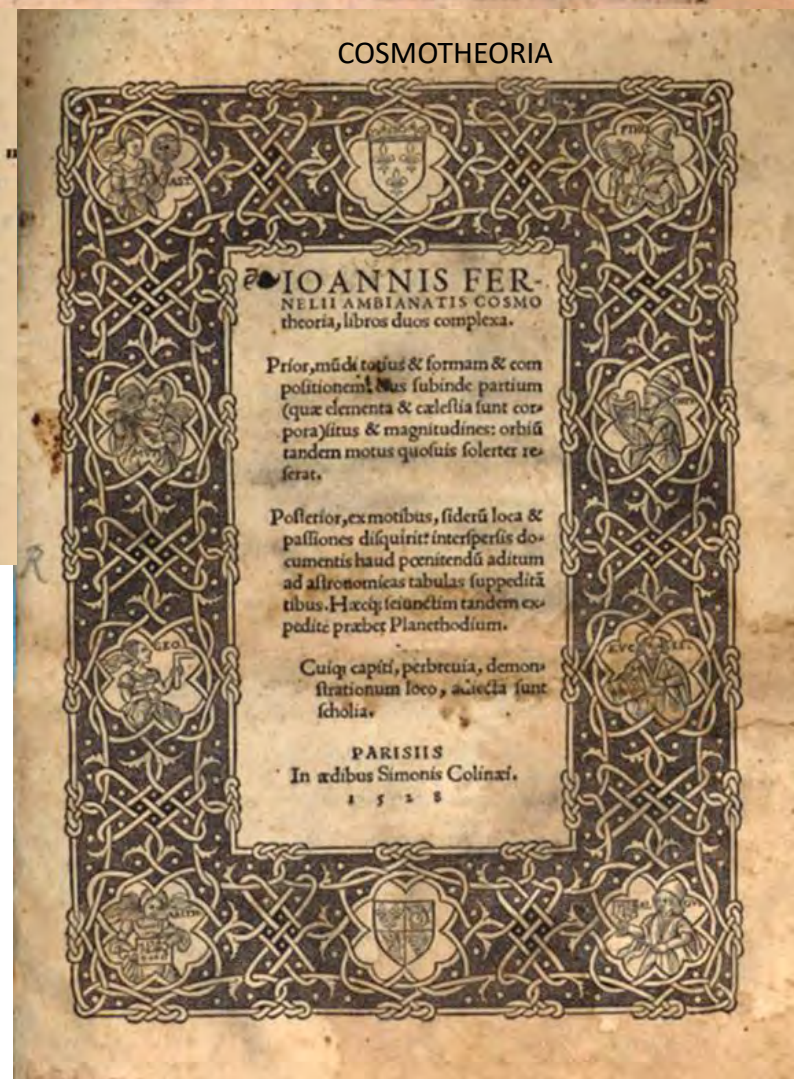
Fernel usó aquí el mismo método que siguió al Biruni, cinco siglos antes

La Cosmotheoria fue dividida por Fernel en dos libros, constando cada uno de ellos de doce capítulos. En primer lugar, llama la atención que encabezase la obra con un saluda al rey Juan III de Portugal (1502-1557), *Praepotenti ac Serenissimo Lusitaniae Regi Ioanni Tertio, Ioannes Fernelius Ambianus, Salutem*; un probable reconocimiento a su carácter piadoso y al impulso que dio a las exploraciones del imperio Portugués. El primer capítulo de la obra trata de la descripción de la Tierra, incluyendo en ella las unidades lineales más empedas hasta la fecha y añadiendo un cuadro de incuestionable interés, en el que se detallan sus equivalencias y las dimensiones de la Tierra: 68 millas para el desarrollo de un grado, un diámetro de 7800 millas y un perímetro de 24514 millas (aunque el producto de 68 y 360 sea 24480). El resto de capítulos de este libro primero se dedicó al estudio de los otros

|                                       | milliaria | passus            |
|---------------------------------------|-----------|-------------------|
| Cuius gradus ambitus terræ            | 68        | 95 $\frac{1}{2}$  |
| Totus terræ & maris ambitus           | 24,514    | 285 $\frac{2}{3}$ |
| Terræ diameter                        | 7800      | 00                |
| Eiusdem semidiameter, sequentiū basis | 3900      | 00                |

¶ Quo facile sit cuius arithmetices officio, cunctas quantitates milliarijs & passibus expressas, in cæteras mensuras resolvere, tabellâ suppositimus mensurarum varietate refertam.

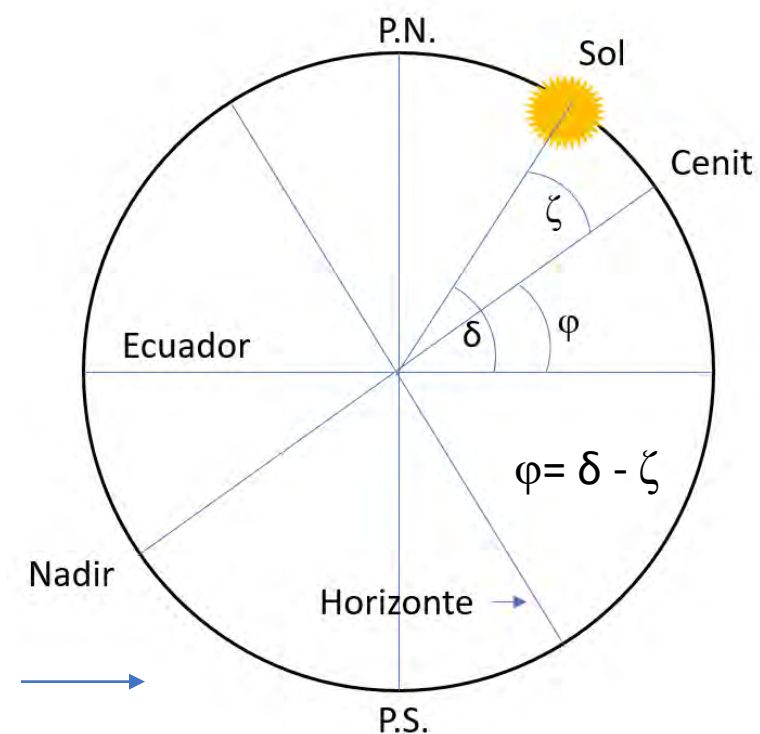
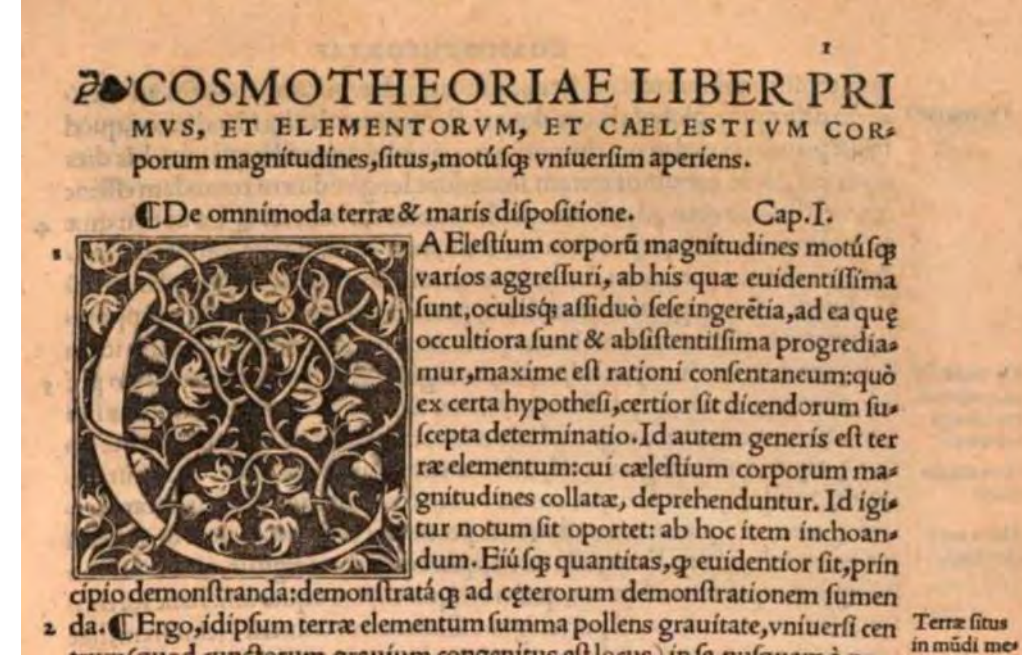
|                                         |      |
|-----------------------------------------|------|
| Granum hordei mensurarum omnium minima. |      |
| Digitus grana habet                     | 4    |
| Palmas digitis constat                  | 4    |
| Pes palmos habet                        | 4    |
| Cubitus sesquipies est palmos habens    | 6    |
| Passus simplex palmos habet             | 10   |
| Passus geometricus pedes habet          | 5    |
| Pertica est pedum                       | 10   |
| Stadium Italicum passus habet           | 125  |
| Milliarium Italicum stadia habet        | 8    |
| seu passus                              | 1000 |
| Milliarium Germanicum habet passus      | 4000 |
| Milliarium Sueuicum habet passus        | 5000 |





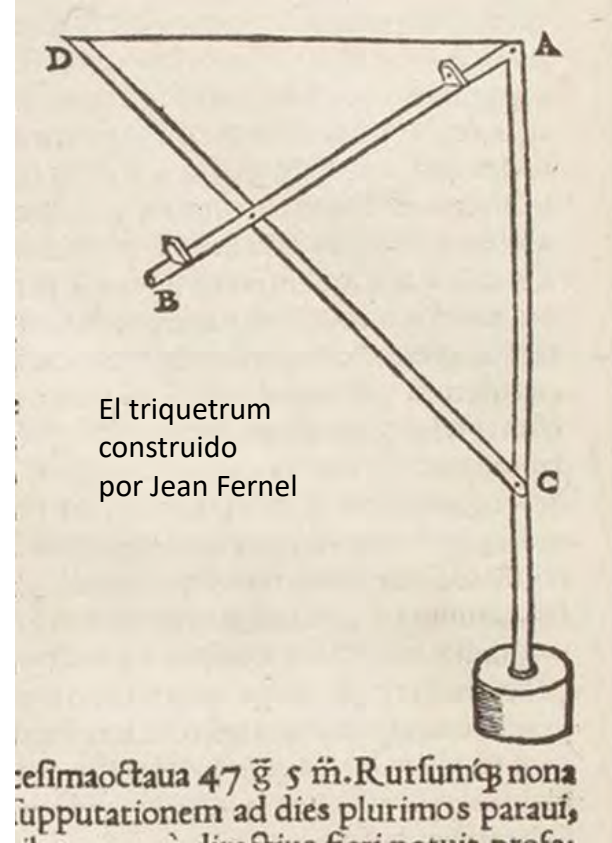
globos planetarios, incluidos el Sol y la Luna; indicando además las dimensiones aparente correspondientes. En cuanto al libro segundo, se abordó en sus diferentes capítulos los movimientos de todos ellos, de acuerdo con los modelos tolemaicos; acompañando el texto con tablas aclaratorias.

Desde el punto de vista geodésico, lo más subrayable de la obra astronómica de Fernel fue su medición del desarrollo de un grado de meridiano, una operación que describió en el capítulo primero de la *Cosmotheoria* (libro I), titulado *De omnimoda terrae & maris dispositione*. Se trataba en resumen de medir sobre el terreno una distancia tal que la diferencia de las latitudes de sus extremos fuese justamente de un grado, ya que tal diferencia sería la amplitud angular del mismo. La distancia se mediría a pasos y las latitudes se determinarían observando el Sol en el instante de su culminación superior, es decir cuando alcanza su máxima altura sobre el plano del horizonte (la elección del instante no es casual, pues entonces la declinación del Sol, su altura sobre el horizonte y la latitud son combinación lineal). El instrumento empleado para las observaciones astronómicas el llamado *triquetrum*, un aparato ya descrito por Tolomeo en el *almagesto* y representado por Fernel en la descripción que se transcribe a continuación.



Sección meridional de la esfera celeste

«Comencé a preparar las reglas móviles en forma de triángulo rectángulo, tal como recomendó Tolomeo, después permanecí tres días en París haciendo los cálculos precisos para hallar la altura del Sol al mediodía. Se trataba de caminar cada día siguiendo la meridiana en todo momento. Partí el 25 de agosto y avancé a pie lo más recto posible hacia el Norte. A mi paso ordinario, 1000 equivalen a 400 codos, anduve cuatro días y llegué cerca de Bruteil, a 25 leguas de París, cuando deduje que la latitud había aumentado un grado y que su desarrollo sería de 25 leguas». Faltaba verificar su determinación de la distancia, para lo cual volvió a París en su carruaje, con la precaución de ir anotando durante todo el trayecto el número de vueltas de una de sus ruedas; resultando ser de 17024 aproximadamente. Como el diámetro de la misma era de seis pies y un poco más de seis pulgadas, obtuvo para su circunferencia un valor de 20 pies o cuatro pasos. «Multiplicando por cuatro el número de revoluciones, hallé 68096 pasos, equivalentes a 68 millas italianas más 96 pasos que debido a convertir en 95 1/4 para que el diámetro de la Tierra fuese un número entero». De ese modo dedujo que el diámetro sería de 7800 millas, resultado de multiplicar el número de millas por 360 y dividir por el número  $\pi$ . La fiabilidad del resultado hallado por Fernel no es trivial, pues las equivalencias metrológicas no son del todo fiables. En el supuesto de que se fijara en 56746 toesas y 4 pies de París, resultaría un desarrollo del grado próximo a los 110.6 km y un perímetro para la circunferencia terrestre de 39815 km. Partiendo del perímetro fijado por Fernel (24514 millas) se obtendrían otros resultados, dependiendo del valor métrico asignado a la milla: 45400 km si se usa la milla náutica (1852 m), 36305 km si se usa la romana (1481 m) y 40987 km si se usa la milla de 1672m.





## Leonardo Fibonacci (ca. 1170- 1240)

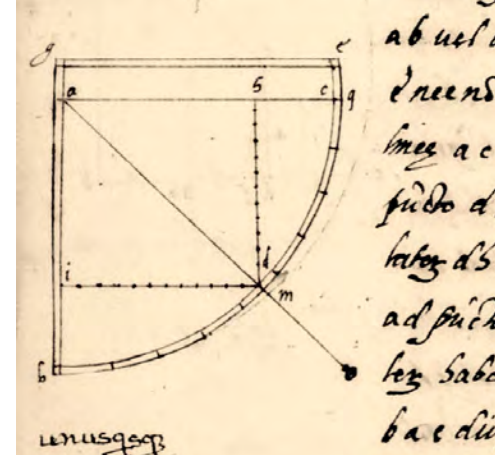
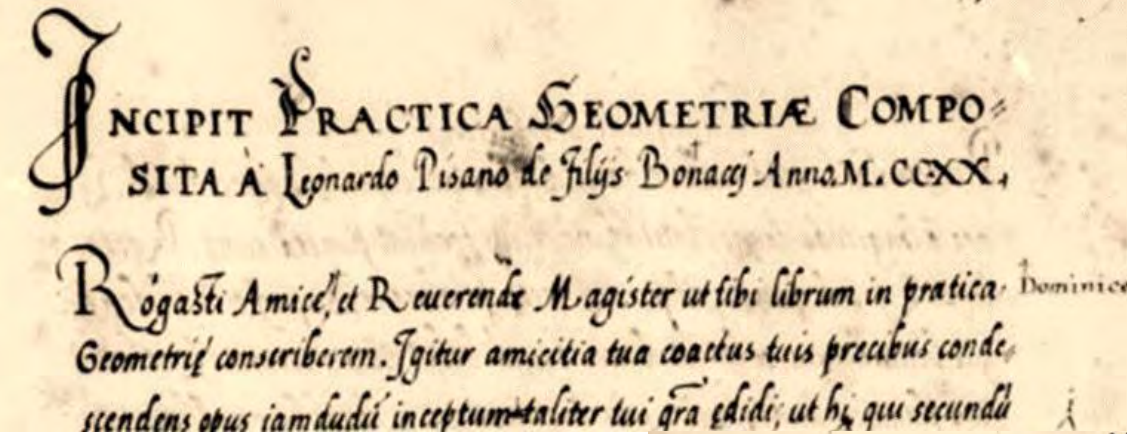
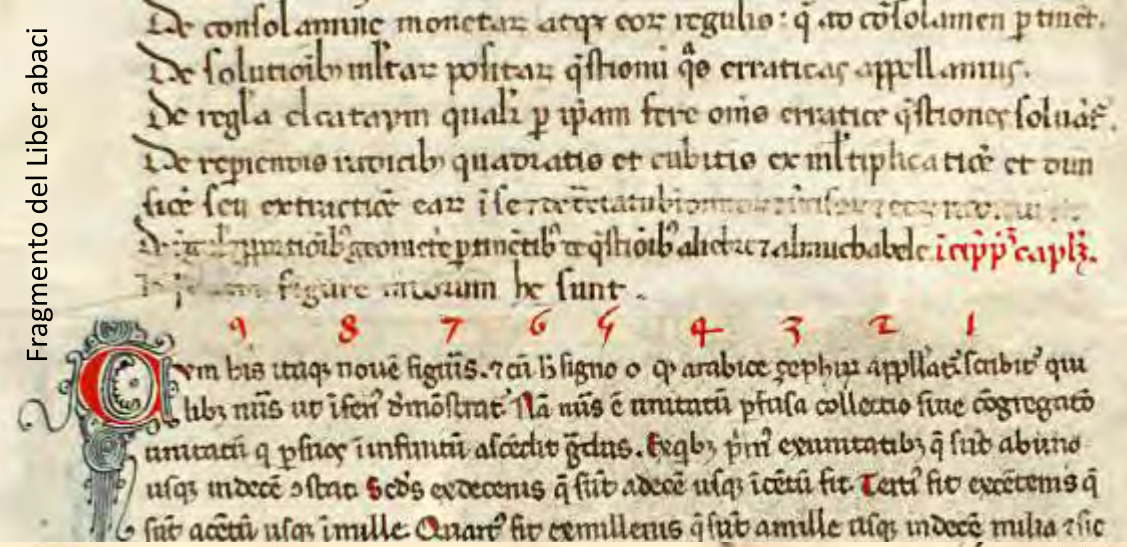
Matemático italiano que difundió en el occidente cristiano el sistema de numeración indo-arábigo, del que tuvo noticias por los numerosos viajes que realizó junto a su padre. Gran parte de los conocimientos adquiridos los vació en su libro *Liber abaci* (1202), en el que aclaraba que no tardaron en gustarle los nueve símbolos de los indios, que eran empleados en Egipto, Siria, Grecia, Sicilia y Provenza, con todas sus variantes. Su producción bibliográfica la comenzó cuando terminó sus viajes y volvió a Pisa en el año 1200, conservándose ejemplares manuscritos del libro anterior y de los siguientes: *Practica geometriae* (1220), *Flos* (1225) y *Liber quadratorum* (1225); aunque haya constancia que se perdieron otros, como su comentario al Libro X de los Elementos de Euclides. Sin restarle valor a sus aportaciones teóricas, fueron más valoradas las aplicaciones prácticas de sus obras. Su fama fue reconocida por Santo Domingo de Guzmán (1170-1221), el cual sugirió al emperador Federico II de Hohenstaufen (1194-1250), recientemente coronado en Roma, que debería conocerlo. Juan de Palermo (fl.1221-1240), miembro de su corte, llegó a proponerle a Fibonacci la resolución de varios problemas, cuya solución fue incluida en el *Flos* y remitida al propio emperador.

Su relación con otros miembros de la corte de Federico II se evidencia igualmente, al haberle dedicado a su astrólogo, el escocés Michael Scotus (1175-ca.1152), el *Liber abaci*, ya citado; una obra muy copiada e imitada en la que no solo se estudian los números arábigos sino otros problemas, como las ecuaciones lineales.

Otra de las publicaciones más conocidas de Fibonacci fue *Practica geometricae*, uno de los primeros libros de topografía (de hecho, fue llamada también geometría práctica hasta bien entrado el siglo XIX), que fue dedicada a su querido amigo Domenico (Santo Domingo de Guzmán). Su texto, claramente influenciado por los *Elementos* de Euclides y la *Métrica* de Herón de Alejandría, lo dividió en ocho capítulos, que parecían servir de complemento al *Liber*

*abaci*. Las aplicaciones topográficas son evidentes, llegando a explicar cuidadosamente a los agrimensores cómo describir, medir y dividir las parcelas de tierra en Pisa y sus alrededores; uno de los ejercicios planteados fue el cálculo de la superficie de un solar rectangular cuya altura era de 17 varas y tres pies y su base de 28 varas y 4 pies. Al final de la obra trató del empleo del sector circular, con posibles usos para determinar la altura de edificios o la inclinación de laderas. En el último capítulo expuso Fibonacci lo que llamó sutilezas geométricas: cálculo de los lados de un pentágono y de un decágono a partir del

Fragmento del Liber abaci



diámetro de los círculos inscritos o circunscritos, al igual que el de los lados a partir de las superficies encerradas por los polígonos regulares.

En el año 1225 escribió su obra: *Flos super solutionibus quarumdam questionum ad numerum et ad geometricam pertinentium*, que podría ser traducido como Conjunto de soluciones relacionadas con los números y la geometría. En ella se plantearon una serie de problemas, indicando tanto su enunciado como la solución a cada uno de ellos, todos fueron propuestos por Juan de Palermo, como ya se dijo, durante un concurso de matemáticas que él organizó para el emperador y que solo supo resolver Fibonacci.

En ese mismo año presentó también el *Liber Quadratorum*, un libro de álgebra que dedicó a Federico II, Emperador del Sacro Imperio Romano Germánico. Probablemente fue el libro más personal y logrado de Fibonacci, en el que incluyó sus investigaciones aritméticas, la noción de congruencia y halló las ternas pitagóricas. Desde Diofanto hasta Fermat nadie avanzó tanto en la teoría de números como Fibonacci.



Alegoría de la Aritmética. Ilustración de 1504 realizada por Gregor Reisch (1467-1525) para el libro *Margarita Philosophica*, sobre la disputa entre abacistas (derecha) y algoristas (izquierda).

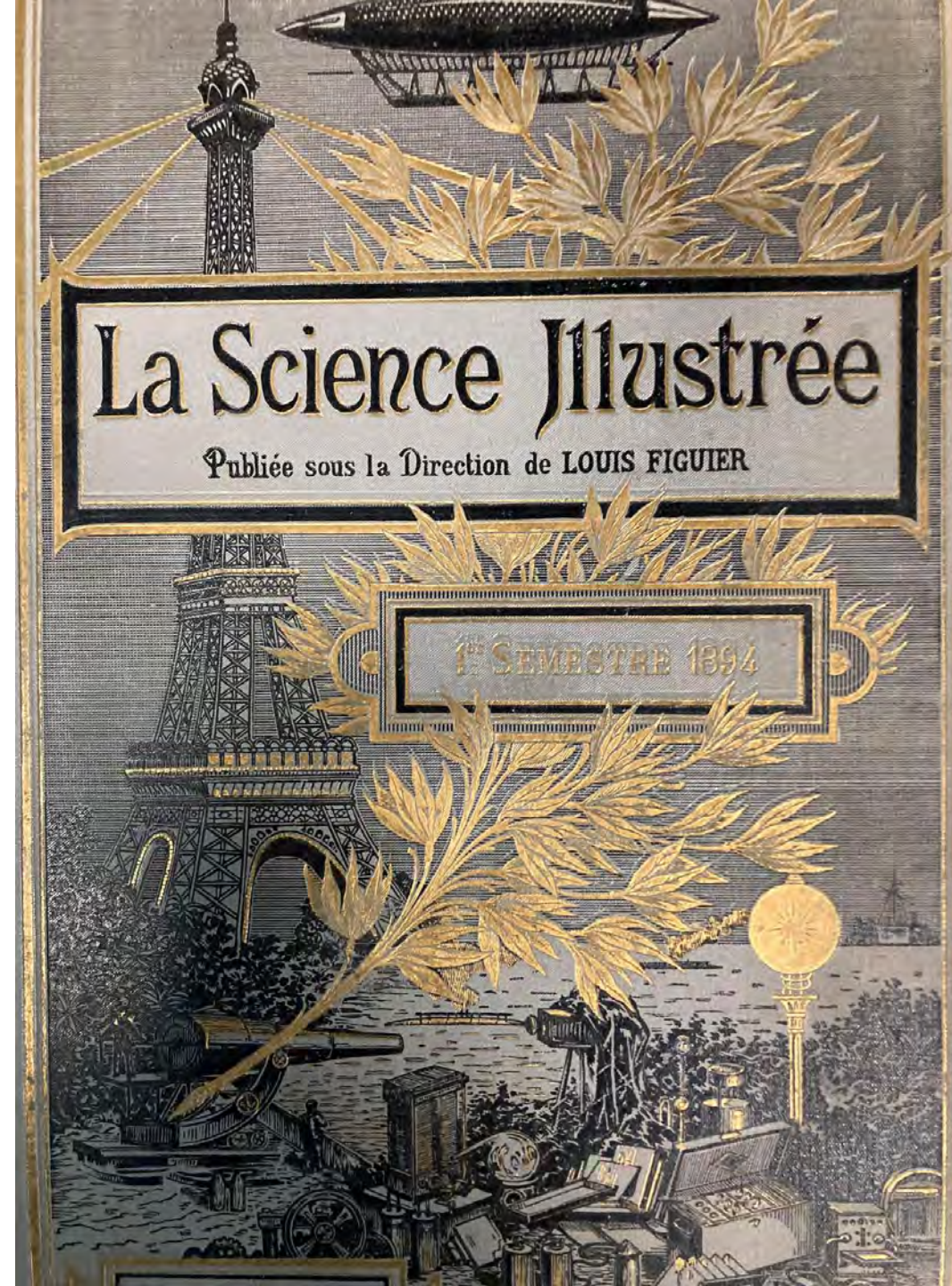


## Louis Figuier (1819-1894)

El mejor divulgador científico más prolífico del siglo XIX. Diplomado en farmacia y doctor en medicina. En 1844 empezó a trabajar en el laboratorio de química de la Sorbona, hasta que se enfrentó con su director. En el año 1846 fue nombrado profesor adjunto en la Escuela de Farmacia de Montpellier, su ciudad natal, en donde defendió una tesis de química (sobre el bromo). En 1850 se doctoró en Físicas en la Universidad de Toulouse (sobre la acción de la luz sobre algunas sustancias). En 1853 se trasladó a la Escuela de Farmacia en París, como profesor de química; una actividad que abandonó, aconsejado por Arago, para dedicarse exclusivamente a la vulgarización científica. A esa actividad ya se venía dedicando desde el año 1847, publicando artículos en diversas revistas (destacando los dedicados a la exposición e historia de los principales descubrimientos científicos); llegando a ser el redactor de las páginas científicas del periódico *La Presse* entre 1855 y 1878. También fue el redactor jefe de *La Science Illustrée*, revista semanal de divulgación científica creada por Adolphe Bitard (1826-1888) y en la que también participaron Julio Verne (1828-1905), y Camille Flammarion (1848-1925).

En el año 1856 creó *L'année scientifique et industrielle, ou, Exposé annuel des travaux scientifiques, des inventions et des principales applications de la science à l'industrie et aux arts, qui ont attiré l'attention publique en France et à l'étranger*; justificando su aparición en los términos siguientes: «Me parecía, que aplicando la idea de estos resúmenes anuales al conjunto de las ciencias prestaría un gran servicio al público, generalmente desprovisto de conocimientos científicos, haciéndole partícipe de los nuevos inventos». En su afán divulgador, llegó a crear un género nuevo: el teatro científico, una serie de representaciones en las que los personajes eran los grandes sabios o inventores (Kepler entre ellos); el objetivo pretendido fue convertir al teatro en un poderoso instrumento didáctico de moralización y progreso.

Entre sus obras cabe destacar *La Terre avant le déluge* (1863); *La Vie des savants illustres, depuis l'antiquité jusqu'au dix-neuvième siècle*: 5 tomos dedicados a la Antigüedad (1866), Edad Media (1867), Renacimiento (1868), Siglo XVII (1869) y Siglo XVIII (1870); *La Terre et les Mers, ou description phisique*



*du globe* (1872); así como las colecciones sobre *Les Merveilles de la science*, *Les Mystères de la science*, *Les Merveilles de l'industrie*. Otra de sus publicaciones exitosas fue *L'homme primitif*, bellamente ilustrada por Émile Bayard (1837-1891, en la que mostró a la sociedad francesa estereotipos inmemoriales del hombre y la mujer de la prehistoria.

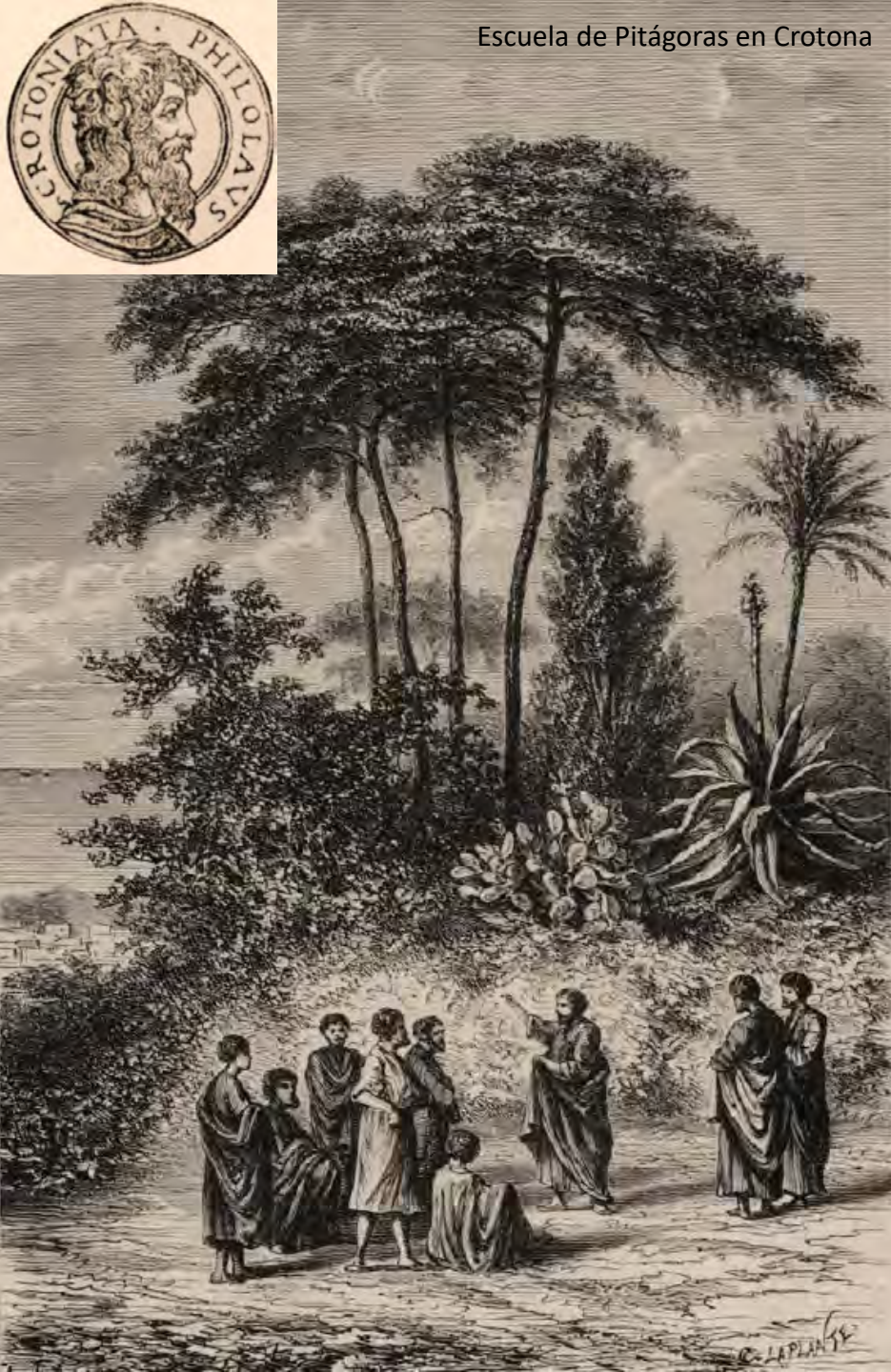
LA CAZA DEL RENO



LA CAZA DEL MAMUT







## Filolao de Crotona (ca.470-390 a.C.)

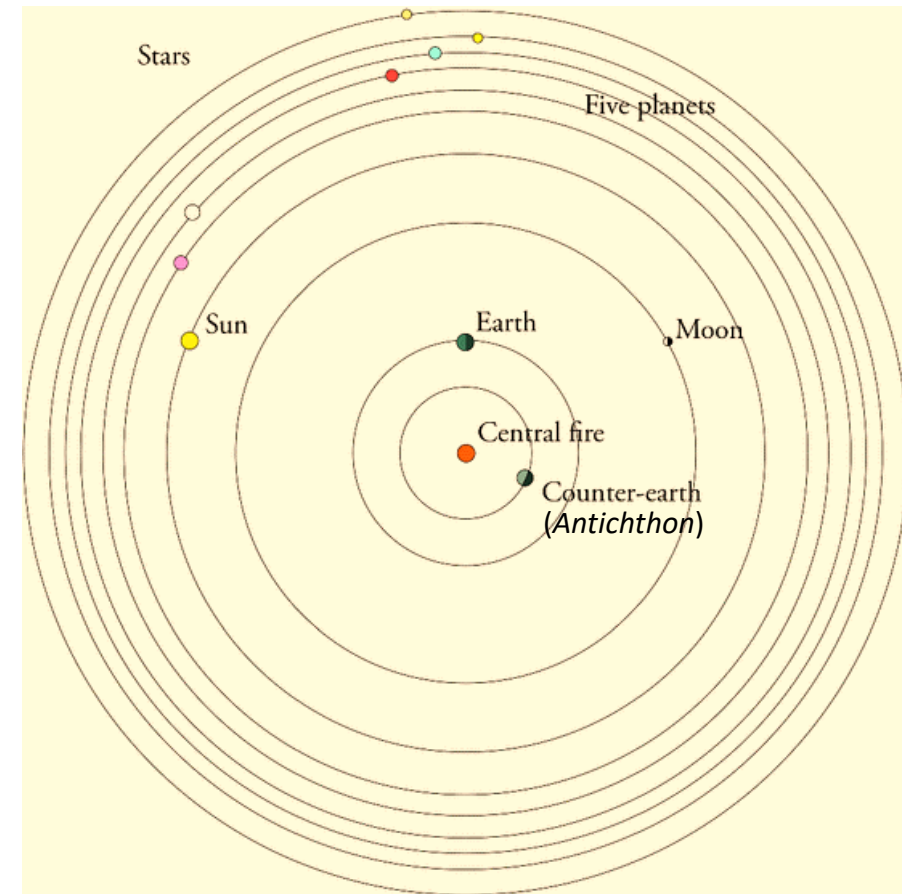
Una de las tres figuras más destacadas de la tradición pitagórica, junto a Pitágoras y a Arquitas de Tarento (ca.430- ca. 360 a.C.), que defendía un modelo de cosmos compuesto por dos tipos básicos de cosas: limitadoras e ilimitadas. Los ilimitados son continuas y sin estructura, incluyendo los elementos materiales presocráticos: como la tierra, el aire, el fuego y el agua, pero también el espacio y el tiempo. Los limitadores establecen límites en las anteriores e incluyen formas y otros principios estructurales. Tanto unas como otras no se combinaban al azar, sino que están sujetas a una armonía, que podía ser descrita matemáticamente. Según su doctrina, el cosmos surge cuando el fuego ilimitado se combina con el centro de la esfera cósmica (un limitador) para convertirse en el fuego central; en ese sentido no fue geocéntrico, pues consideró a la Tierra como un planeta que, como el Sol, giraba en torno a un fuego central. Se ignora casi toda su biografía, aunque parece que contemporáneo de Sócrates y nació en Crotona, si bien acabó instalándose al final de sus días en Tarento, donde fue profesor de Arquitas (ca.430-ca.360 a.C.); el otro miembro de la terna, junto a Pitágoras. Filolao debió estar influenciado no sólo por la tradición pitagórica sino también tanto o más por la tradición

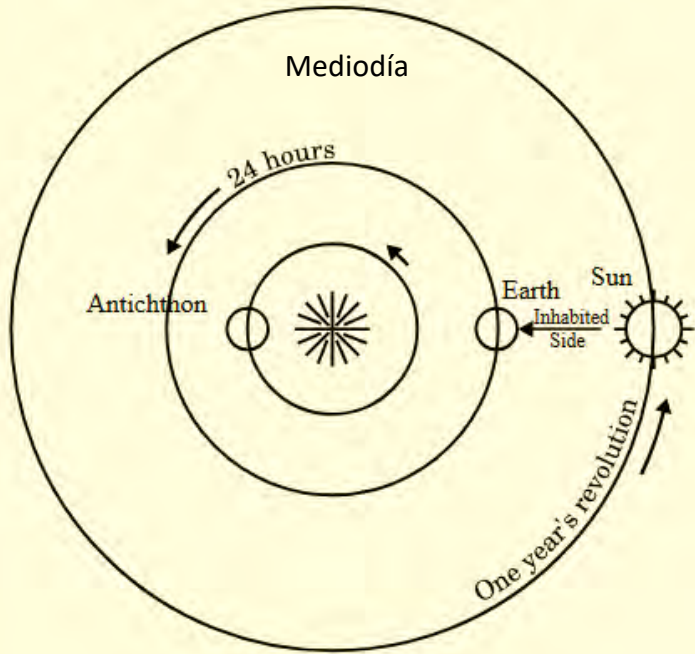
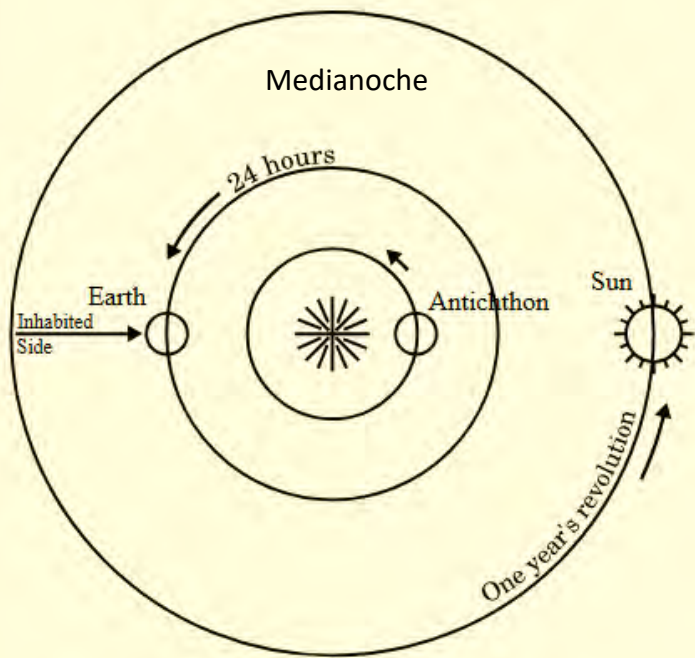
más amplia de la filosofía presocrática. Aunque no fuese estudioso de las matemáticas, su filosofía respondió en cierto modo a los desarrollos efectuados por matemáticos como Hipócrates de Quíos.

Solo se conocen fragmentos de las obras supuestamente escritas por Filolao, deduciéndose de algunos de ellos que había diseñado su propio sistema astronómico. El núcleo del nuevo modelo es el hogar o fuego central, alrededor del que giran todas las esferas planetarias. Como en la mayoría de las cosmologías presocráticas, el cosmos está rodeado por una extensión ilimitada, y el fuego central de Filolao extrae tiempo, aliento y vacío de esa extensión. Cada uno de estos tres es en sí mismo un continuo ilimitado, que aún no está limitado en modo alguno.

Posiblemente se separasen fragmentos del fuego central para formar el Sol, las estrellas y los planetas. El tiempo proporciona el continuo

temporal en el que el cosmos puede desarrollarse y según el cual se pueden medir los períodos de los planetas. Los cuerpos celestes están dispuestos en diez esferas concéntricas alrededor del fuego central. La más externa es la de las estrellas fijas, a la que siguen las de los cinco planetas, el Sol, la Luna, la Tierra y la del misterioso *Antichthon*, una especie de Anti Tierra localizada entre la Tierra y el fuego central. Las estrellas fijas sirven de telón de fondo sobre el que se mueven los demás cuerpos celestes. Todos los cuerpos tienen un solo movimiento circular alrededor del fuego central, de Oeste a Este. La Luna completa su órbita en aproximadamente un mes, el Sol en un año; teniendo cada uno de los otros planetas su propio periodo de revolución, los más alejados del fuego central se movían más despacio y las estrellas parecían permanecer en reposo.





En el modelo pitagórico de Filolao no se explicó el movimiento retrógrado de los planetas, en su recorrido por la banda zodiacal, el cual fue explicado un siglo después por Eudoxo. La rotación de la Tierra en torno al fuego central duraba 24 horas y explicaba el movimiento diario y aparente del Sol a través del cielo, y por tanto la sucesión del día y de la noche. El giro de la Tierra se produce de forma tal que desde el hemisferio habitado (la ecúmene) nunca se ve el fuego central ni el *Antichthon*; de manera que el día tiene lugar cuando la Tierra mira hacia el Sol y la noche cuando se aleja de él. Se desprende del modelo anterior que Filolao estaba al tanto de los últimos descubrimientos astronómicos, ya que fue el primero en localizar los planetas en el orden correcto. No obstante, Aristóteles señalaba que la inclusión del planeta *Antichthon* fue un tanto artificiosa, buscando aumentar el número de planetas hasta diez, considerado por los pitagóricos el número perfecto; aunque también comentase que se había hecho para explicar mejor los eclipses lunares.

En el sistema astronómico anterior no se menciona la forma de la Tierra, lo que ha permitido que algunos autores la supusieran plana. Sin embargo, la analogía con el cosmos sugiere que debió considerarla esférica. Filolao parece haber creído que también habría fuego en la periferia de la esfera de las fijas y que el Sol era un cuerpo parecido al vidrio que transmitía la luz y el calor de este fuego a la Tierra.



## Oronce Finé (1494-1555)

Astrónomo y cartógrafo, restaurador de las matemáticas en la Francia del Renacimiento; su apellido recuerda la región en la que nació: la antigua provincia de Dauphiné con capital en Grenoble. Se crio en Briançon y estudió en la Universidad de París, obteniendo el título de médico en el Colegio de Navarra (1522). No obstante, su carrera empezó como corrector en una imprenta, concretamente en la obra de Georg Peurbach *Theoricae novae planetarum, id est septem errantium syderum* (1515), un puesto que simultaneó con el de profesor de matemáticas, primero en el colegio anterior y después en el del Maître Gervais. Su primera obra fue *Aequatorium planetarum unico instrumente comprehensum* (1526), un tratado astronómico sobre los *ecuadores*, instrumentos basados en el sistema de Ptolomeo que permiten conocer las posiciones de los planetas apoyándose en un modelo geométrico; se cree que dos años antes construyó un reloj de Sol de marfil, que todavía se conserva. Su celebridad comienza en 1531, cuando decidió escribir un poema (*Epistre exhortative touchant la perfection et commodite des ars liberaulx*

*mathematiques*) al rey Francisco I (1494-1547) con la intención de potenciar el estudio de las matemáticas, más allá de las universidades; el cual creó una cátedra al efecto en el Collège de France, de la que Finé fue nombrado lector real y en la que continuó enseñando el resto de su vida. El mismo año concluyó su obra más importante, la *Protomathesis*, una síntesis enciclopédica del saber que constó de cuatro tratados ricamente ilustrados sobre aritmética, cosmografía, geometría y gnomónica. En la aritmética trató particularmente de números enteros, fracciones comunes y fracciones sexagesimales; una cuestión relevante para la parte astronómica. La geometría se dividió en dos volúmenes, si bien la estableció de forma axiomática similar a los Elementos de Euclides, luego abordó los aspectos más prácticos sobre la medición de longitud, altura, áreas y volúmenes (en este tratado usó la fracción  $22/7$  como aproximación del número  $\pi$ ). Los tratados restantes se dedicaron al estudio de la astronomía y de los instrumentos astronómicos, desde un punto de vista divulgativo; incluyendo en el último la descripción de numerosos relojes de Sol y cuadrantes.



COMPOSITION ET USAGE DU CARRÉ GÉOMÉTRIQUE (1538)

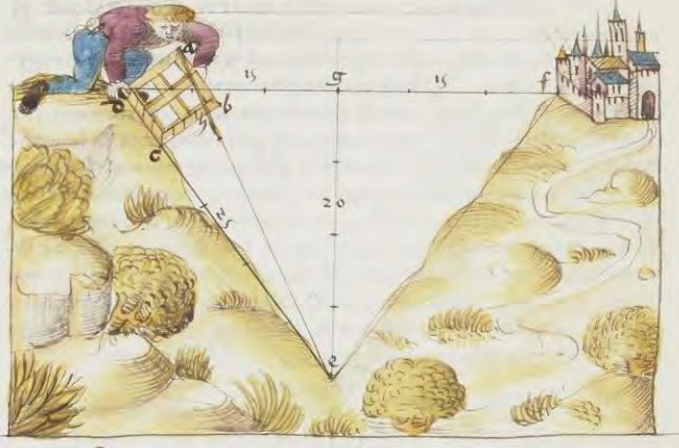
que ont lesd<sup>s</sup> parties a b. telle aura lad<sup>e</sup> largenz a telle p<sup>r</sup>fundite rompreuse de p<sup>r</sup>me le point a / jusques au fond.

**M**ultipliez doncques ladicte largenz par b. et d<sup>i</sup>viséz ce qui en viendra par lesd<sup>s</sup> parties. et vous aurez lad<sup>e</sup> p<sup>r</sup>fundite de laquelle comment offer la longieur du coste dnd<sup>e</sup> quatre.

**E**xemple.  
**S**ort propose le p<sup>r</sup>me quadrangulaire d e f g / Duquel l'on veulle avoir la profundite d g / Et lesd<sup>s</sup> quatre en telle maniere dresse / que le coste a d / soit au long p<sup>r</sup>droit de la muraille d g / et le coste c d / sur le bord d e. **S**uppose doncques que la largenz d e / laquelle est e galle g f / soit de xij. pieds / Et que la ligne visuelle venant d<sup>r</sup>oict au point f / d<sup>i</sup>visé le coste c d / sur le point h / tellement que entre d / h / soient vingt parties des lx. dnd<sup>e</sup> coste c d. **S**edis q<sup>e</sup> selon la raison que ont lesd<sup>s</sup> xx. parties a b. ladicte largenz d e / ou f g / est proportionnelle ala longieur ou profundite a g. **M**ultipliez doncques xij. par b. et vous aurez vij. et xx. quil fault par h<sup>r</sup> par vingt / et il en viendront treze six. **A**utant de pieds contendra la longieur a g. **D**e laquelle si vous offer le coste a d / (le q<sup>l</sup> soit de v. pieds) il restera la profundite d g / contenant xxxi. pied.



moitie d g / sera de xii. pieds. **M**ultipliez doncques xx. par vij. et il en viendront vij. xx. **E**t p<sup>r</sup>me xii. par vij. et vous aurez vij. xx. que vous offerrez de vij. xx. et il restera iiii. **D**ont la racine quarrée est vingt. **C**oncluez doncques que la ligne et profundite g e / est de vingt pieds. **E**t ce suffise quant a present touchant le principal usage et comode d<sup>i</sup>dict quatre geometrique.



**E**t pour entendre la pratique qui se fait par arithmetique des choses devant proposees En fin vous seront exposees raisons par art mathematiq<sup>s</sup>

**T**outes et chascunes les operations dessusdictes ne sont pas este baillees sans art et bonne raison. **C**at si vous consideres bien la facon et la maniere de proceder et suiver des observations et mesures devant dictes vous trouverez quil se font tousionz demp

parties / telles que le coste d<sup>i</sup>dict quatre est de lx. **E**t dis tout ainsi que xxx. contiennent xv. deux fois / pareille ment la longieur a e / contiendra deux fois la haulte. e f. **M**ultipliez doncques xij. toises par xv. parties / et il en viendront cent et lxxx. quil fault d<sup>i</sup>viser par xxx. et vous aurez six. **A**utant de toises contient ladicte haulte. e f. **R**aison de laquelle operation sera demonstree avec les autres / au derrenier chapitre de ce present livre.

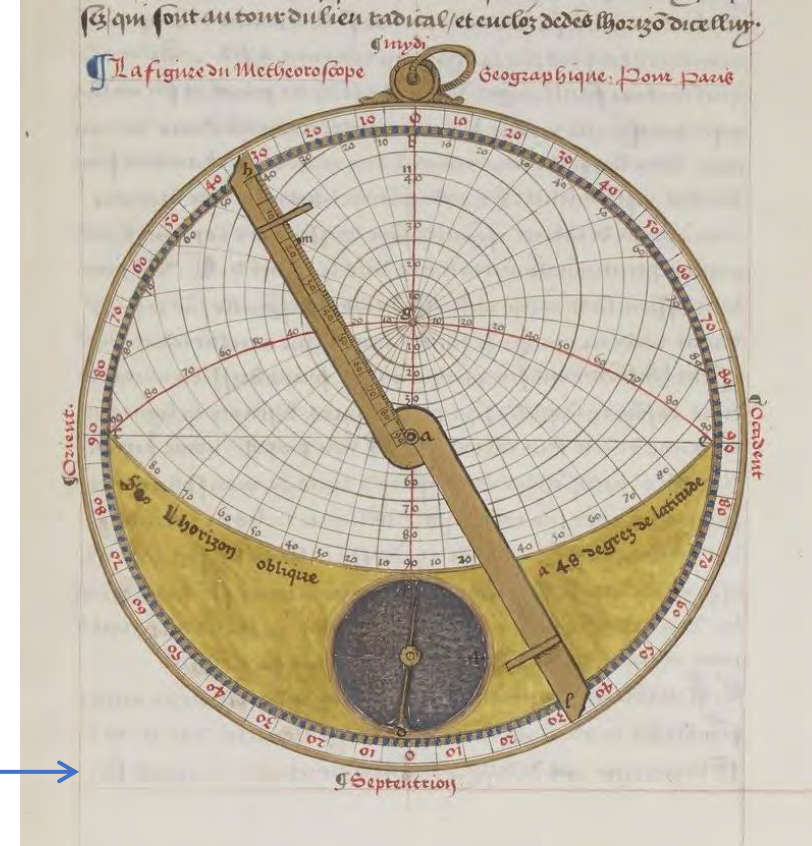
**S**econde Difference



**E**t si ainsi estoit que la montagne fut si roide et difficile que l'on ne peust mesurer le doz et petite dicelle / vous ferez ainsi come se font **P**renez du bas de lad<sup>e</sup> montagne et environne plain ne champaigne la haulte de la montagne jusques ala

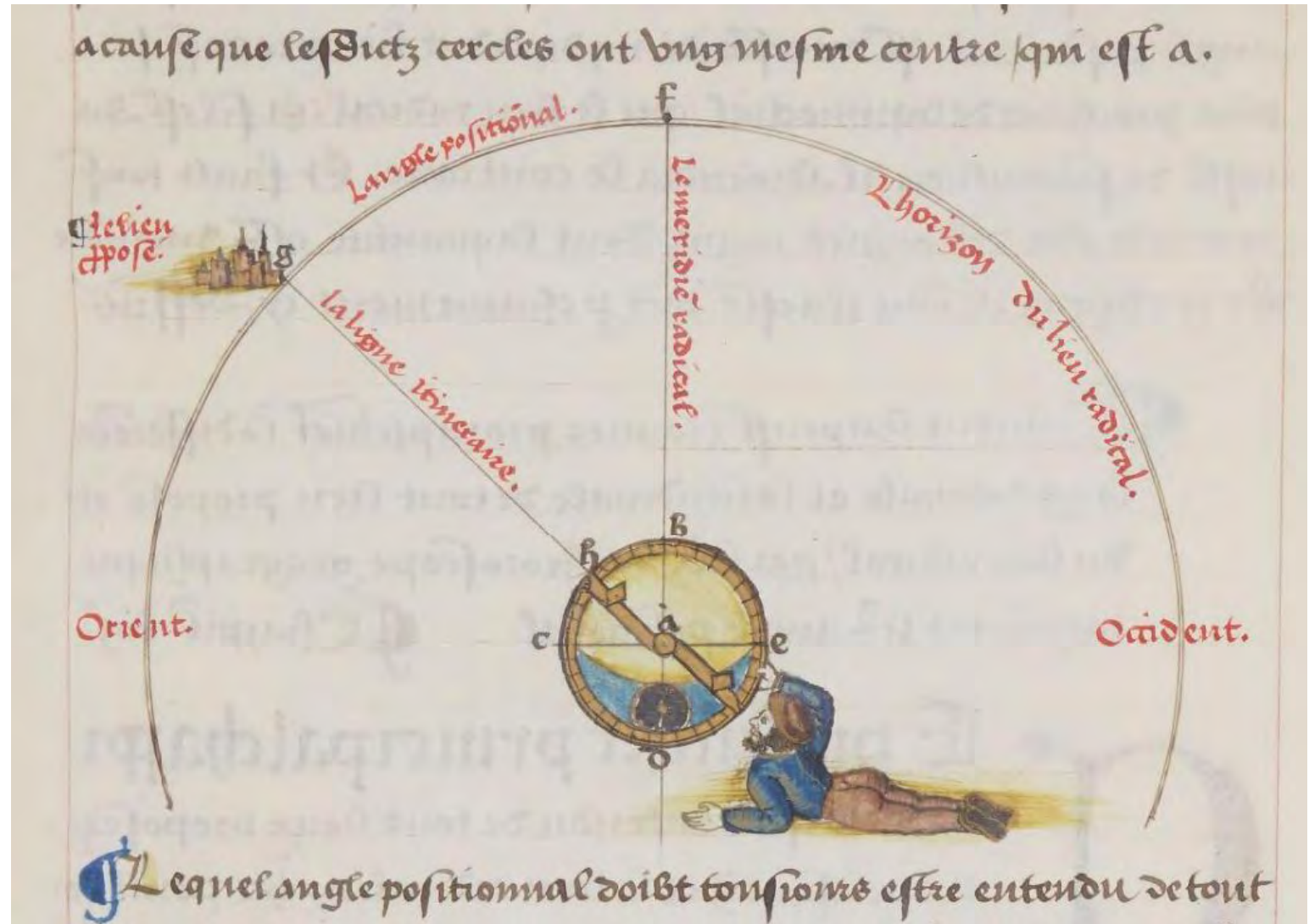


También participó en la construcción del reloj astronómico y planetario que se conserva en la Biblioteca de Santa Genoveva, con varios diales que marcan la hora e indican las posiciones planetarias, un globo celeste en su arte superior, a unos 2.15 m del suelo; al parecer es el más antiguo en su género. Finé fue asimismo el autor de una obra geodésica singular: *L'art et manière de trouver certainement la longitude de tous lieux sur la Terre par le cours et mouvement de la Lune et la composition et usage d'un singulier méthéoroscope géographique*, contando para ello con un instrumento peculiar, al que llamó *méthéoroscope Geographique*, un compendio astronómico compuesto de astrolabio y brújula, con el que también podía determinarse el valor de la latitud y hallar el rumbo magnético. El trabajo fue dedicado al rey Francisco I, indicándole que el problema de la longitud era una preocupación constante de los geógrafos y navegantes, ya que sin su conocimiento no podrían saber el lugar en que se encontraban. El método astronómico que recomendó para solucionar el problema fue el de la observación simultánea de los eclipses de Luna, desde los dos puntos involucrados; un procedimiento que se venía usando desde tiempo inmemorial. En la obra se incluye una bella reproducción del *triquetrum*, un instrumento astronómico con el que se media la altura de las luminarias sobre el horizonte.



El Triquetrum de Tolomeo

Operador usando el meteoroscopio geográfico





Finé vivió en una época en la que las exploraciones eran permanentes, de modo que pronto se interesó por aplicar sus conocimientos matemáticos a la confección de mapas, que tanto importaban a las potencias europeas. En 1525, presentó su primera edición del mapa de Francia, con topónimos en latín y en francés (*Nova totius Galliae descriptio*); del que se conservan cinco ediciones impresas, la última del año 1557. En el año 1531 publicó un mapamundi bicordiforme, *Nova et integra universi orbis descriptio*, seguido pocos años después del *Recens et integra orbis descriptio*, inspirado en los nuevos descubrimientos; aunque aún pesara el sentimiento del equilibrio geográfico, con la inclusión de una vasta *Terra australis*. Los mapas de Finé muestran un significativo progreso con relación a las representaciones previas, dando una imagen cartográfica relativamente fiable.





## Irene Kaminka Fischer (1907-2009)

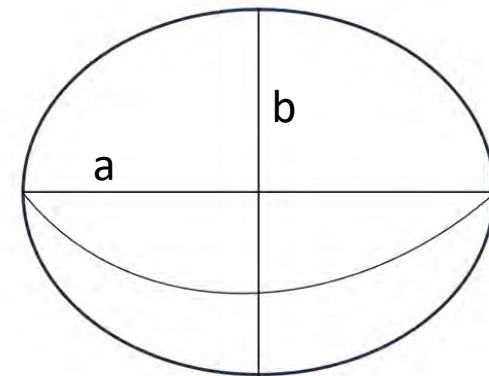
Una matemática y geodesta de pro, nacida en Viena, formada en su Universidad y afincada en EE.UU. tras huir de su país en 1939, a causa de la ocupación nazi del mismo. En Massachusetts colaboró con algunos profesores del MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) y enseñó matemáticas en escuelas preparatorias de Cambridge; tarea que continuaría después en Washington DC en *Sidwell Friends School*. En torno al 1952 ingresó como investigadora en el *Army Map Service* (AMS), concretamente en su División de Geodesia, para encargarse de la definición del geoide. Su entrada se produjo justamente en la época en que comenzó a desarrollarse la carrera espacial, contribuyendo al progreso de la geodesia por satélites. Allí coincidió con el astrónomo John Aloysius O'Keefe (1916-2000), pionero de esa rama geodésica, que ejerció como tutor de la misma. I. Fisher fue una de las pocas mujeres que tuvo la oportunidad de dedicarse a ese tipo de tareas;

consiguiendo implantar el Sistema Geodésico Mundial de 1960 dependiente del departamento de defensa de los Estados Unidos (DOD). Los elipsoides definidos por I. Fisher fueron utilizados por la NASA en su programa Mercury (cuyo primer lanzamiento tripulado se realizó en 1961), de ahí que ese datum sea conocido también como *Mercury Datum*. Dos fueron los factores principales que contribuyeron a la consecución de sus objetivos: en primer lugar, el avance en el proceso de datos propiciado por los primeros ordenadores, el UNIVAC I (**UNIV**ersal **A**utomatic **C**omputer I) fue adquirido por el AMS; y en segundo término el hecho de que los programas geodésicos fuesen esenciales para la seguridad nacional.

Su actividad científica no le impidió divulgar el contenido de su trabajo, publicando numerosos artículos y libros; colaborando por ejemplo con la prestigiosa revista *The Mathematics Teacher*; asimismo se interesó por la historia de la geodesia, como prueba su trabajo *At the Dawn of Geodesy*, publicado en el *Journal of Geodesy* (junio de 1981). Como representante de su Agencia participó en la mayoría de las asambleas que organizó la Unión Geodésica Internacional (IAG), entablando amistad con geodestas



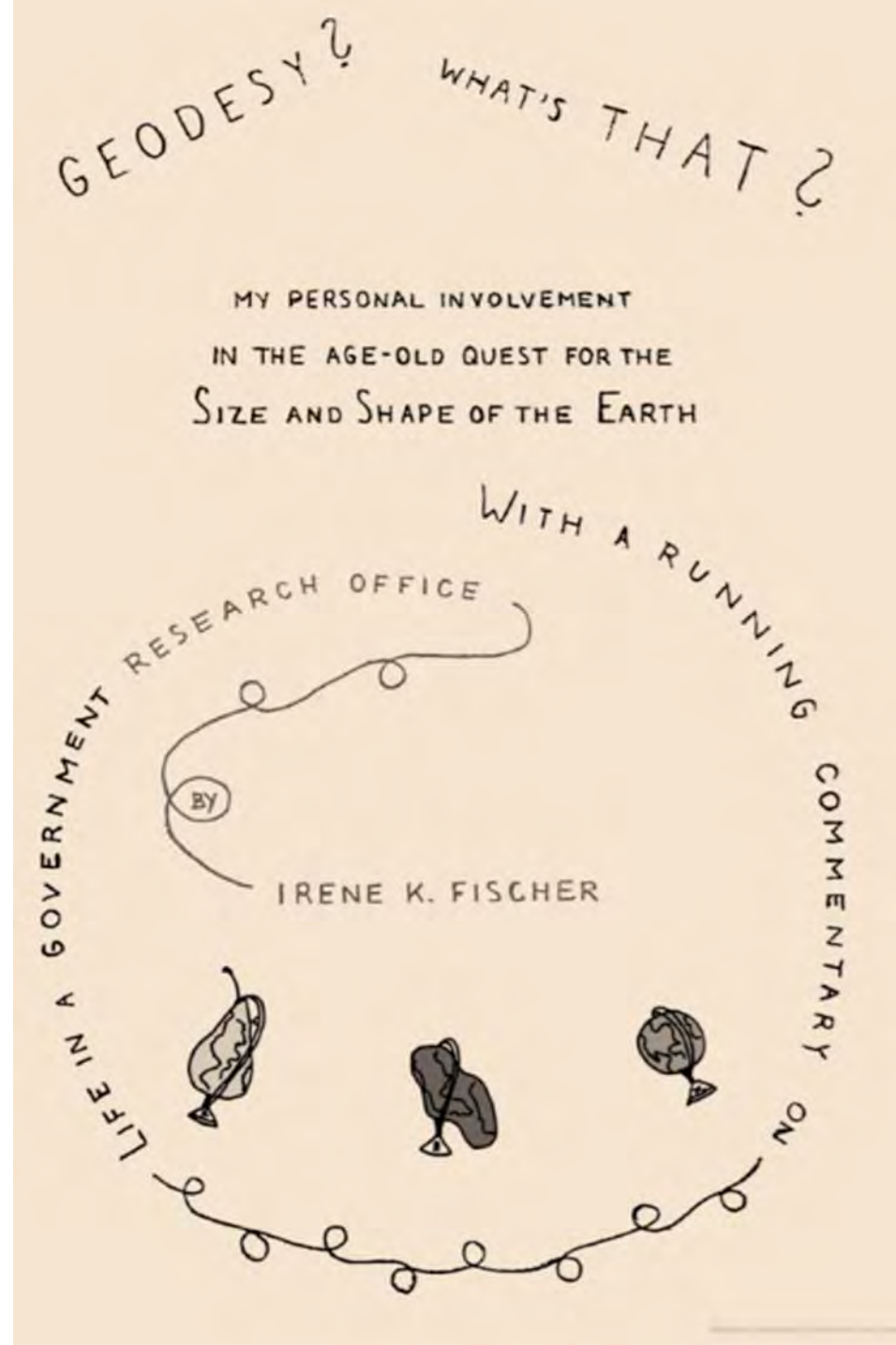
Elipsoide de Irene Fisher



Semieje mayor,  $a = 6378155.0$  m; Semieje menor,  $b = 6356773.32$  m  
Aplastamiento,  $\alpha = (a-b)/a = 0.003352329944944847$   
Aplastamiento inverso,  $1/\alpha = 298.2999932652668$   
Primera excentricidad,  $e = ((a^2-b^2)/a^2)^{1/2} = 0.08181333493893231$

tan señalados como Guy Bomford. A partir de la celebrada en Toronto (1957) comenzó a dirigir grupos de investigación de la IAG, siendo elegida Secretaria de Sección en la asamblea celebrada en Berkeley (1963). La intransigencia de su Agencia le impidió asistir a la asamblea celebrada en Moscú (1971), en la que estaba nominada para ocupar la presidencia de una Sección, aunque si pudiese hacerlo en las posteriores de Grenoble (1975) y Canberra (1979); a las que asistió junto a su marido el geógrafo austriaco Eric Fisher (1898-1985).

Uno de los mayores legados de I. Fisher fue su libro: *Geodesy, What's That? My Personal Involvement in the Age-Old Quest for the Size and Shape of the Earth*; publicado en el año 2005, veinte años después de su jubilación. La obra constó de 15 capítulos (376 pp), un epílogo y un listado con los trabajos publicados por la autora. Dejando de lado el contenido científico de la misma, puede considerarse como una especie de testamento laboral, en el que se describen con franqueza las obstrucciones burocráticas que padeció en el ambiente esencialmente masculino de la década de 1950; no obstante, lo aprovechó también para rendir homenaje « a las muchas almas amigas de todos los niveles que hicieron de mi servicio gubernamental una experiencia tan interesante y satisfactoria».



Digamos a modo de epílogo, que Irene Fisher viajó con su familia a España, junto a la Congregación Hebrea de Washington, en el año 1992; aprovechando la celebración del 50 aniversario de la expulsión de los judíos. Visitaron Toledo y otros lugares históricos, como Granada, asistiendo al pregón conmemorativo de su conquista por los reyes cristianos: Isabel y Fernando.

Antigua Sinagoga Mayor de Toledo, Santa María la Blanca es uno de los monumentos más bellos de la judería de Toledo.







## Armand Hippolyte Louis Fizeau (1819 -1896)

Astrónomo y físico, célebre por haber sido el primero en fotografiar el Sol y en determinar la velocidad de la luz por un procedimiento óptico mecánico. Estudió en el Colegio Stanislas de París, uno de los más prestigiosos de Francia, en la misma clase que Leon Foucault. Ambos asistieron, en 1839, a una de las demostraciones dadas por Luis Jacques Daguerre (1787-1851) sobre las novedosas técnicas fotográficas y comprobaron con asombro como obtuvo una placa tras 30 minutos de exposición; una duración que reduciría después Fizeau a tan solo 20 segundos. Aunque comenzara a estudiar medicina, acabó por dedicarse a la física; asistiendo a las conferencias de Arago en el Observatorio de París y a los cursos de óptica impartidos por el químico Henri Victor Regnault (1810-1878) en el Colegio de Francia. Sabiendo Arago que tanto Fizeau como Foucault estaban interesados en la fotografía, les sugirió, en 1845, la posibilidad de tomar una del Sol a través del telescopio. La imagen que obtuvieron llamó poderosamente la atención, pues se distinguieron con toda claridad dos grupos de manchas solares; con ella abrieron la puerta a una nueva rama de la astronomía.

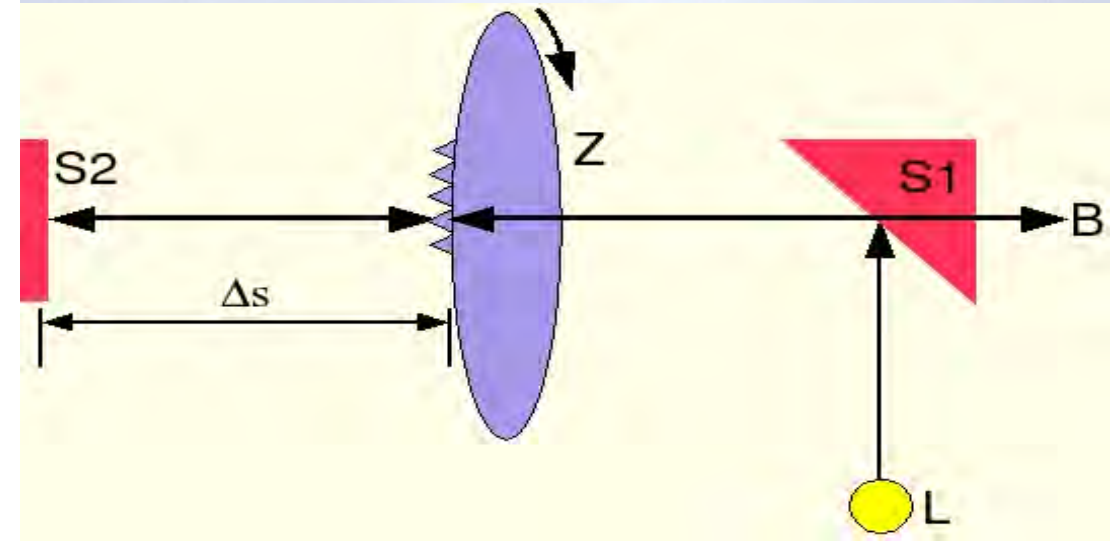


Fizeau contribuyó decisivamente a la investigación astronómica, al haber explicado en 1848 el cambio en la longitud de onda en el rayo luminoso procedente de una Estrella, desconociendo el trabajo previo de Doppler; llegando a predecir que los desplazamientos observados en los espectros estelares permitirían calcular velocidades radiales mucho más pequeñas que las sugeridas por el matemático austriaco.

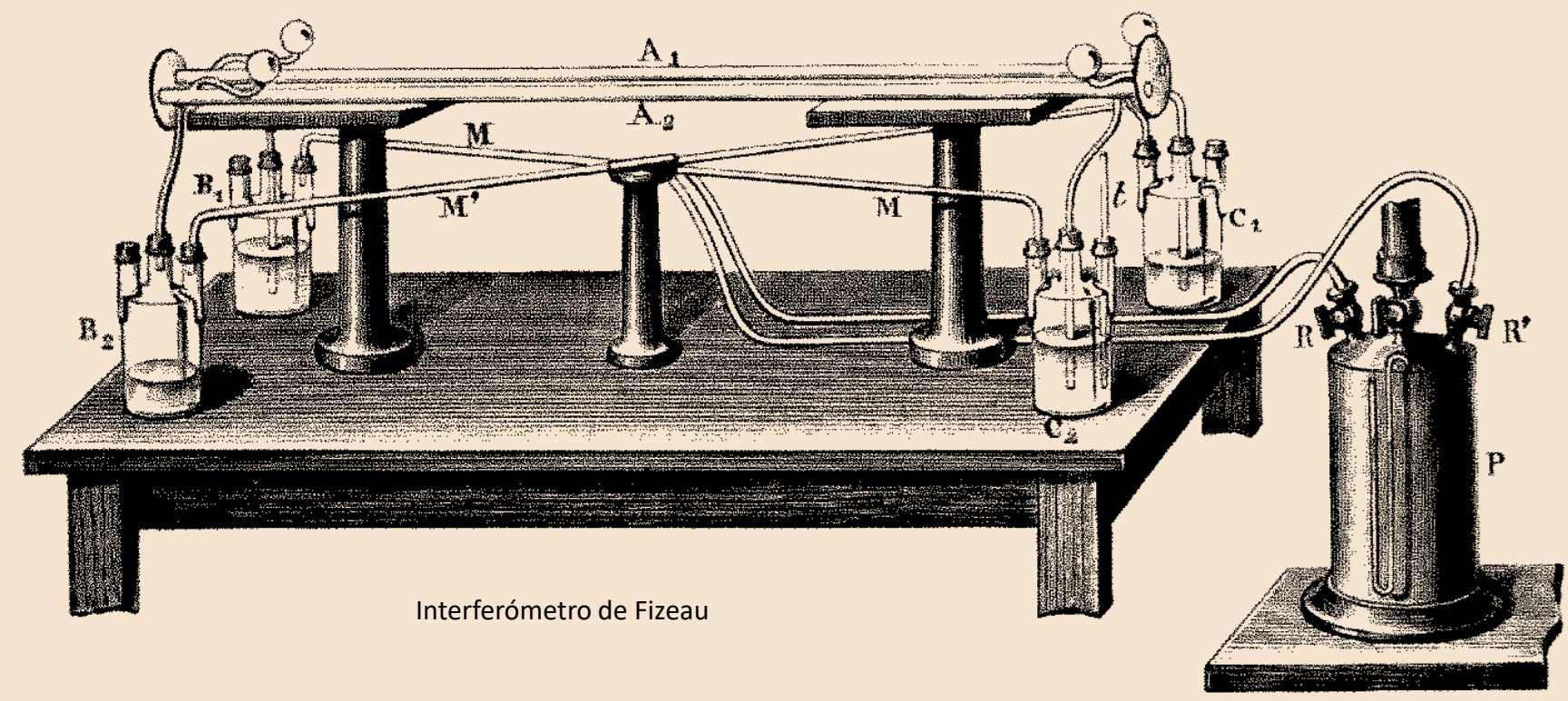
En otra de las aportaciones sobresalientes de Fizeau también se constata la influencia de Arago, ya que, al haber comprobado su éxito al fotografiar el Sol, les sugirió a los dos amigos que podrían calcular la velocidad de la luz, apoyándose en un experimento terrestre (ya había sido medida por Römer usando los satélites de Júpiter). Aunque en un principio Fizeau y Foucault intentasen medirla juntos, al final optaron por hacerlo de forma independiente. En julio de 1849, Fizeau colocó dos espejos, uno en Suresnes y otro en la colina de Montmatre, separados una distancia de 8633 m. Entre ellos instaló una rueda dentada que giraba rápidamente y determinó la velocidad de rotación necesaria para que fuesen idénticos el tiempo invertido por la luz en recorrer la distancia anterior y el que tardaba la rueda en girar un diente. El valor que halló para la velocidad de



APARATO DE FIZEAU.  
Anteojos de lectura 83 cm,  
Anteojos colimador 70.5 cm







Interferómetro de Fizeau

la luz fue de unos 315364 km/s, el de hoy día se fija en 299792.458 km/s. Arago también estaba interesado en comparar la velocidad de la luz en el aire y en el agua, para pronunciarse con más elementos de juicio sobre la naturaleza de la luz (corpúscular u ondulatoria). Fizeau procedió en consecuencia y en 1850 logró demostrar que la luz se propagaba en el agua a menor velocidad que

en el aire, confirmándolo poco después con un instrumento que había diseñado al efecto. Con él dedujo que la velocidad de la luz a través del agua en movimiento, respondía a la fórmula siguiente:  $c' = (c/n) + v(1 - 1/n^2)$ , siendo  $n$  el índice de refracción del agua y  $v$  su velocidad. El resultado mostraba que se producía un ligero fenómeno de arrastre (se suponía en su época que la luz que se propagaba en un medio en movimiento sería arrastrada por el mismo), pero mucho menor de lo esperado, el cual solo pudo ser explicado satisfactoriamente años después con la relatividad especial de Einstein. De esa misma época data un trabajo sobre el modo de hallar el diámetro aparente de las estrellas (*Sur un moyen de déduire les diamètres des étoiles de certains phénomènes d'interférence*): dividiendo con dos diafragmas, colocados delante del objetivo del telescopio, la luz procedente de la estrella y haciendo que interfirieran los dos rayos luminosos; no obstante, esa idea no fue publicada hasta el año 1868. De todos esos trabajos quedó constancia en las *Comptes rendus de l'Académie de Sciences*.

San Sulpicio, ca. 1841



Hôtel de Ville de París, ca 1843



Entretanto, no olvidó sus investigaciones en el campo de la fotografía, después de haber logrado la estabilidad de las placas con la introducción del virado al oro y el uso del bromo (acelerador de la sensibilidad), consiguiendo mejorar también el contraste y nitidez de las imágenes, a la vez que se daba al daguerrotipo un tono más cálido. Ya en el año 1849 fue nombrado Caballero de la Legión de Honor. Como reconocimiento a todos sus trabajos, Fizeau recibió en 1856 el gran premio de 1000 francos concedido por el Instituto de Francia. El 2 de enero de 1860 ingresó en la Academia de Ciencias, de la que fue elegido presidente en 1878; el mismo año en que fue elegido miembro del *Bureau des Longitudes*. También perteneció a la *Accademia Nazionale dei Lincei* y a la *Royal Society*.



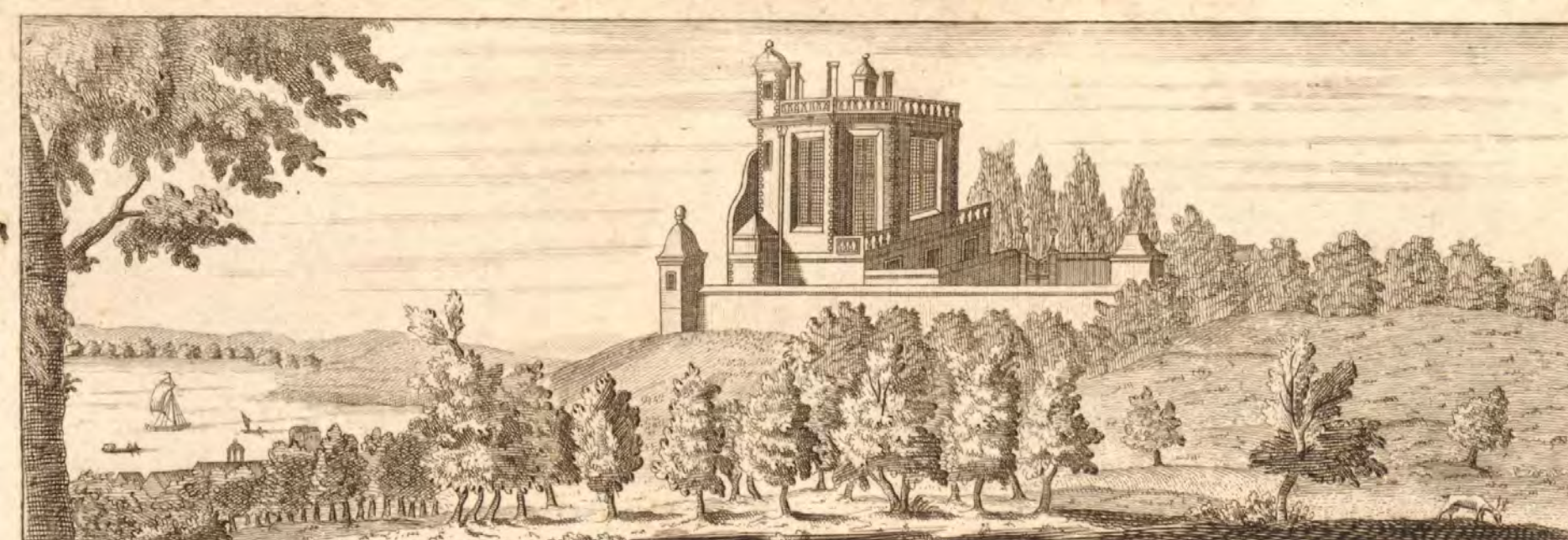
## John Flamsteed (1646-1719)

Primer astrónomo real y primer director del Observatorio de Greenwich. Con una infancia difícil, por la prematura muerte de su madre, solo pudo cursar estudios elementales en la escuela de Derby (su lugar de nacimiento), negándose su padre a que los continuase en la universidad. Contrariado por la decisión paterna, en el periodo 1662-1669, estudió astronomía sin contar con la ayuda de profesores, lo que hizo que tuviese que superar más dificultades de las debidas; llegando incluso a efectuar sus primeras observaciones en el año 1671. Durante la visita que hizo a la *Royal Society*, en 1670, le presentaron al matemático y topógrafo Sir Jonas Moore (1617-1679); el cual se convirtió en su principal mentor, persuadiendo al rey Carlos II (1630-1685) para que lo autorizara a ingresar en el *Jesus College* de Cambridge, donde consiguió graduarse en 1674. En los años previos adquirió una sólida formación, derivada de sus muchas lecturas y observaciones: La Esfera de Sacrobosco (1662); el eclipse solar del 12 de septiembre de ese mismo año; varios tratados sobre relojes de Sol; la *Astronomía Carolina* de Thomas Street (1621-1689); así como las tablas astronómicas de Jeremiah Horrocks (1618 -1641), entre otras.

En febrero de 1675, Flamsteed se trasladó a Londres con la intención de trabajar junto a Moore. Este aprovechó su presencia allí, para presentárselo al rey, el cual estaba interesado en la construcción de un observatorio astronómico; en la visita Flamsteed le regaló el termómetro y el barómetro que había construido el año anterior. La gestión de Moore fue tan eficaz que el 4 de marzo el rey nombró a Flamsteed astrónomo real, con un salario de 100 libras al año; con la condición de que pagase con él los instrumentos que fuesen necesarios. En la orden de su nombramiento se indicaba su principal misión: « rectifieing the Tables of the motions of the Heavens, and the places of the fixed stars, so as to find out the so much desired Longitude of places for Perfecteing the Art of Navigation». En junio de 1675, otra real orden creó el Real Observatorio de Greenwich, colocándose la primera piedra el 10 de agosto, comenzando las observaciones al año siguiente. El mes de febrero de ese año fue admitido como miembro de la *Royal Society*, trasladándose a vivir al observatorio en el mes de julio; permaneciendo allí hasta el final de sus días. La dirección del observatorio la compaginó con la de rector de la parroquia de Burstow, ya que había sido ordenado sacerdote en 1675.

Obra póstuma de Sir Jonas Moore, en la que participó John Flamsteed





*A View of the Observatory in Greenwich Park, belonging to the Kings Professor of Astronomy*

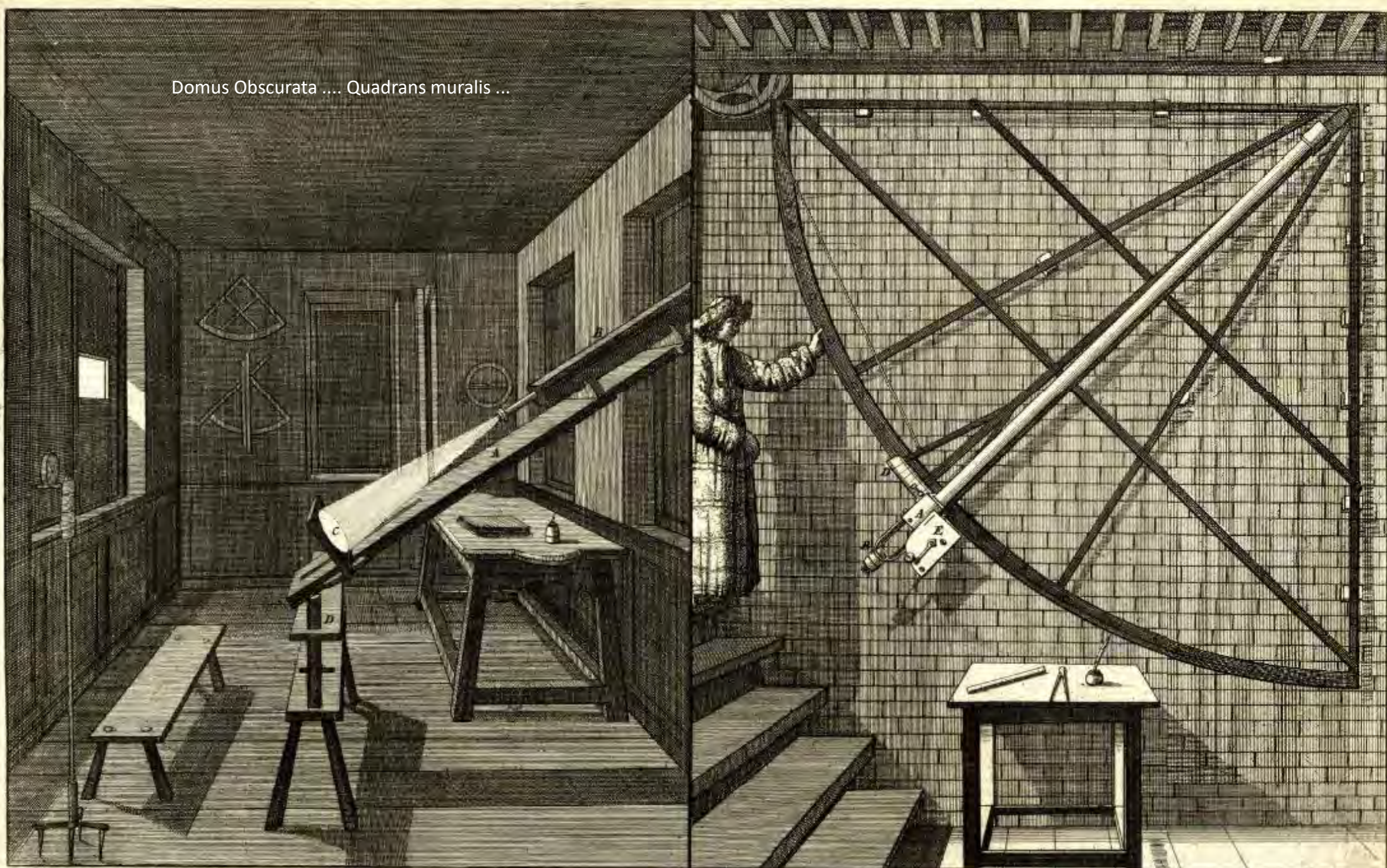


*A View of Greenwich, Deptford, and London, taken from Flamsteeds Hill in Greenwich Park.*

Dos vistas del Observatorio. La primera lo muestra desde atrás, con el río Támesis a la izquierda. La segunda es una panorámica del Parque de Greenwich, con Greenwich Park, el *Old Royal Naval College* a la derecha y la ciudad de Londres a lo lejos; el observatorio en primer plano a la izquierda. (1723-4)

Domus Obscurata .... Quadrans muralis ...

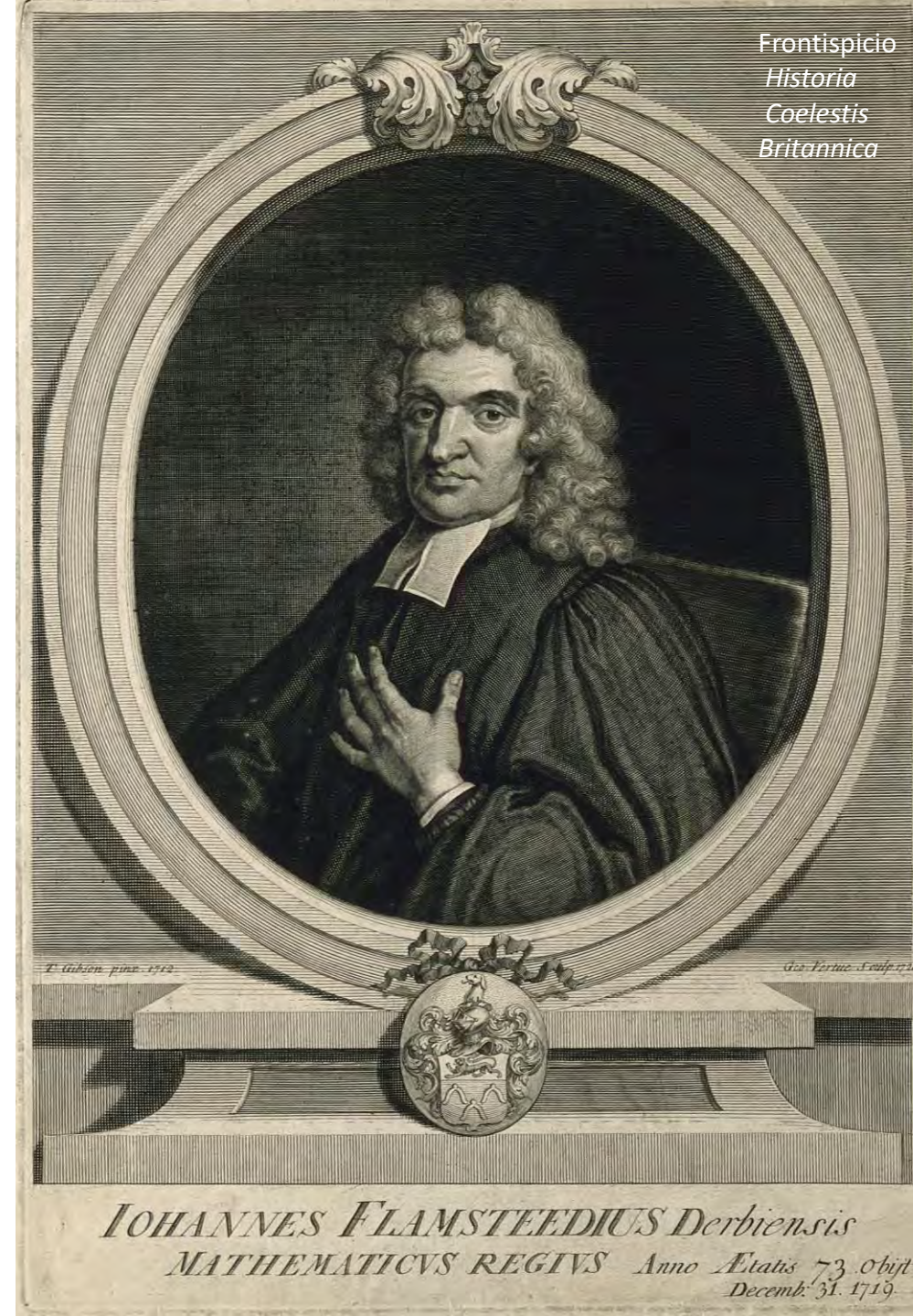
Dos vistas del Observatorio de Greenwich en 1676: la Sala oscura, desde la que se realizaban las observaciones del Sol y el gran cuadrante mural.



*Domus Obscurata, ad maculas, Eclipsesque Solares Excipiendas, peropportuna.*

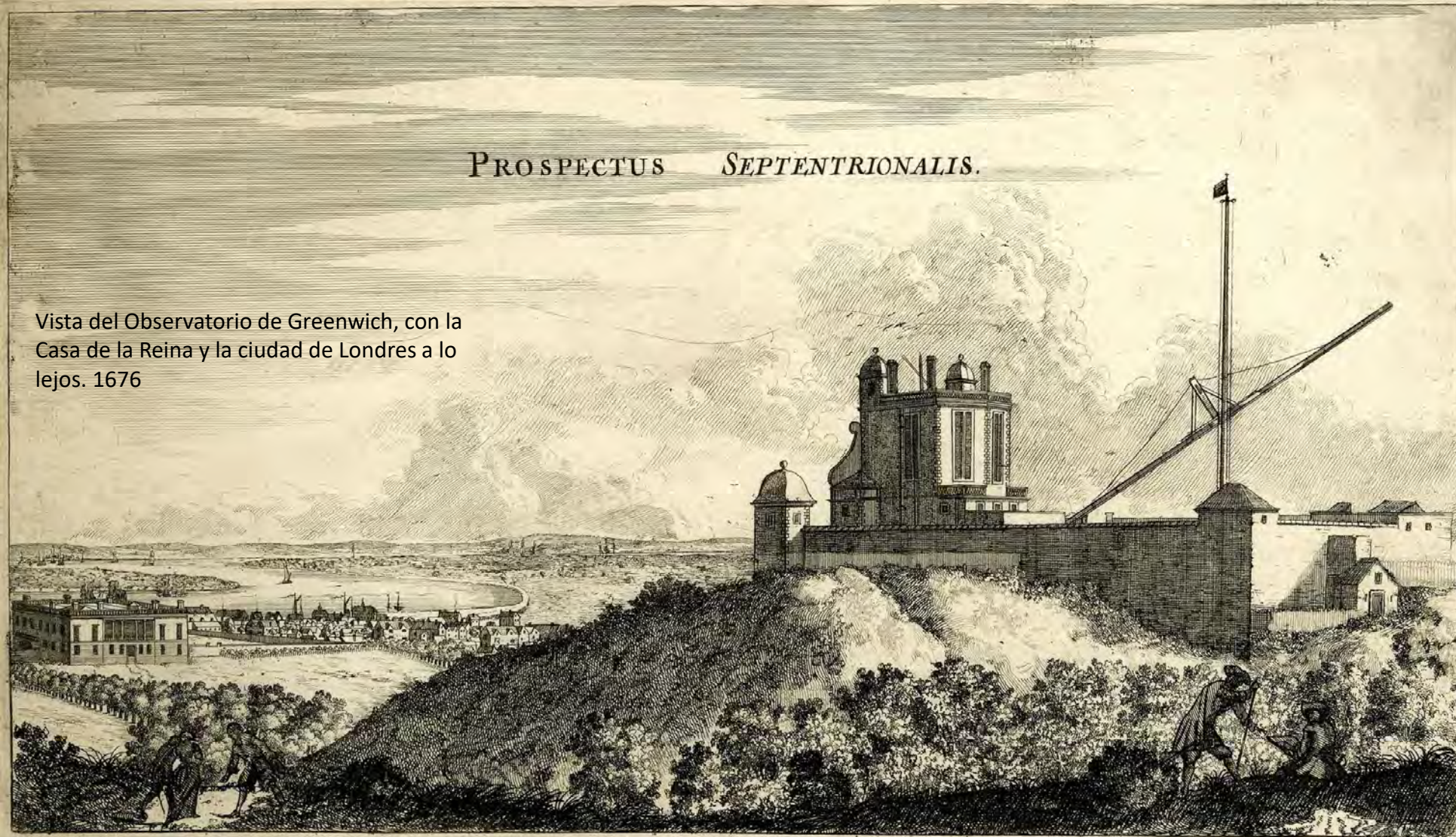
*Quadrans Muralis Merid: 10 pedum Rad:.*

La producción científica de Flamsteed comenzó con el cálculo de los eclipses solares de 1666 y 1668, también fue uno de los primeros en observar el planeta Urano (1690); aunque lo catalogase en principio como una estrella de la constelación de Tauro. En octubre de 1672 logró medir la paralaje diurna de Marte, pudiendo estimar así su distancia a la Tierra. El 16 de agosto de 1680 catalogó una nueva estrella (3 Cassiopeiae), cuya existencia no pudieron corroborar los astrónomos posteriores; aunque en un principio se pensó que podría haber sido una supernova, parece ser que cometió un error al localizarla. En 1681 manifestó que los cometas observados en noviembre y diciembre de 1680 se trataban en realidad del mismo cometa, que primero se acercaba al Sol y luego se alejaba de él. Newton, que un principio no estaba de acuerdo con Flamsteed, señaló después que los cometas como los planetas se movían también alrededor del Sol en grandes órbitas elípticas; la información se la proporcionó E. Halley, asistente del astrónomo, sin que el físico lo hiciera saber. Toda la información estelar que fue recopilando durante los cuarenta años de observación, fue vaciada en su famoso catálogo *Historia Coelestis Britannica*, publicado a título póstumo, en tres volúmenes, por su viuda Margaret Cooke (ca. 1670-1730) en el año 1725; localizándose sus más de 2900 estrellas con una exactitud nunca vista.



PROSPECTUS SEPTENTRIONALIS.

Vista del Observatorio de Greenwich, con la Casa de la Reina y la ciudad de Londres a lo lejos. 1676



Se da la circunstancia de que Flamsteed temía que mal usaran sus observaciones y guardaba bajo llave todos sus registros, sin embargo, no lo consiguió: Newton, presidente de la *Royal Society* en 1712, tuvo acceso a los mismos a través de Halley, y publicaron el catálogo correspondiente; la reacción de Flamsteed fue comprar trescientos de los cuatrocientos

ejemplares impresos y quemarlos. Más tarde le comentaría a su asistente Abraham Sharp (1653-1742), que procediendo así les había hecho un gran favor a los dos, aunque no fuesen conscientes de ello.

Complemento indispensable del catálogo fue el *Atlas Coelestis* de 1729, el mayor y más exacto jamás publicado, incluyéndose en él dos planisferios celestes formados precisamente por el matemático y astrónomo A. Sharp;



amén de 25 mapas con las imágenes de las constelaciones, las cuales fueron dibujadas por el pintor James Thornhill (1675/76-1734). Una de sus innovaciones más destacable fue el cambio de punto de vista elegido para representar la constelación, con el fin de que fuese contemplada de frente y no de espaldas como sucedía en los atlas previos, volviendo al criterio clásico de Tolomeo. De más calado fue el sistema cartográfico elegido, una proyección sinusoidal con el meridiano central rectilíneo, como las imágenes de los paralelos, y los demás presentando la concavidad hacia él; así se minimizaron las distorsiones observadas en las imágenes de las constelaciones obtenidas con el sistema trapezoidal empleado por Bayer, Heweliusz y otros. Independientemente de las críticas recibidas por los dibujos de las constelaciones, el atlas influyó positivamente en la producción cartográfica posterior, y así continuó haciéndolo durante más de un siglo.



# ATLAS COELESTIS.

By the late Reverend  
Mr. JOHN FLAMSTEED,  
REGIUS PROFESSOR of ASTRONOMY at Greenwich.



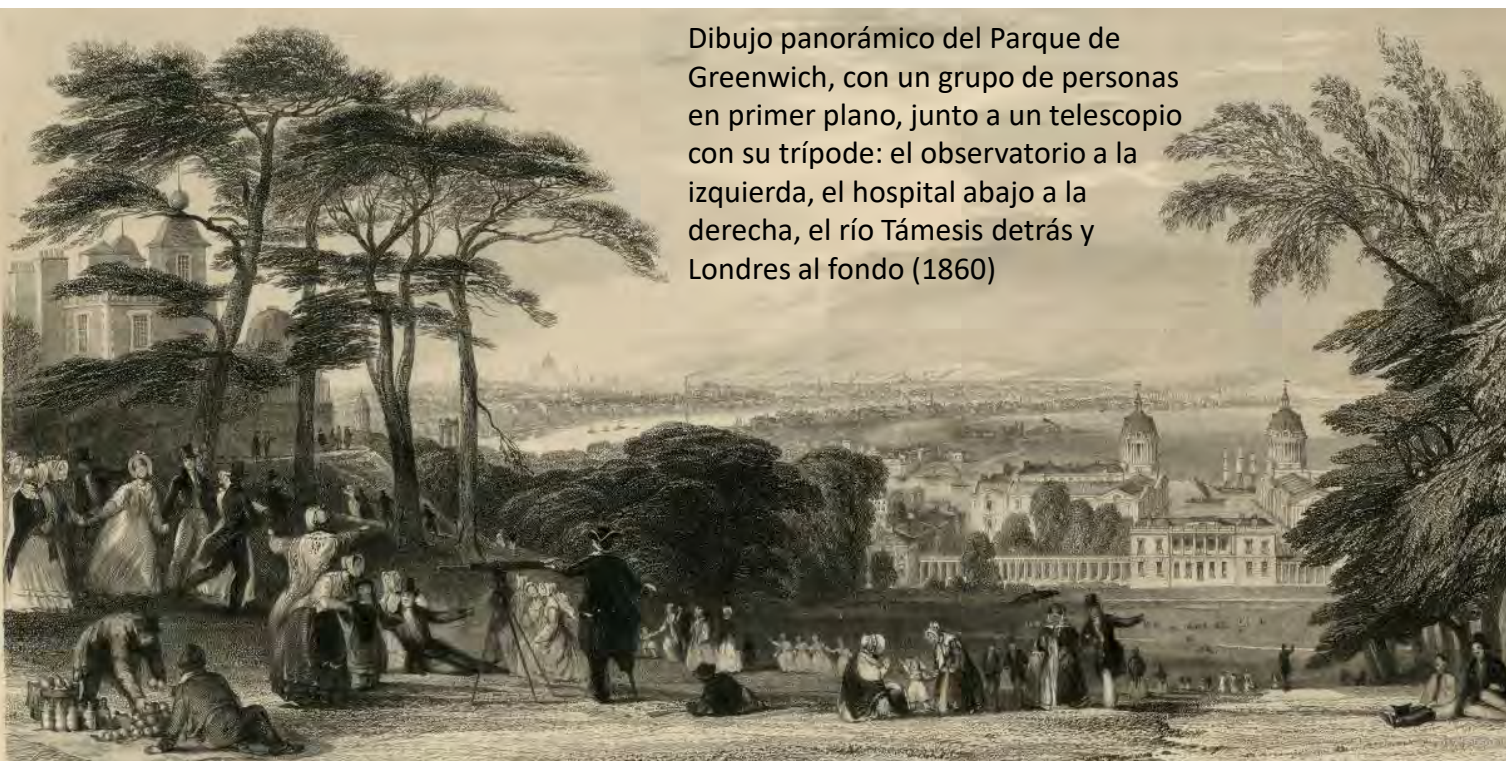
L O N D O N, Printed in the Year M.DCC.XXIX.

Rev. Godd

143

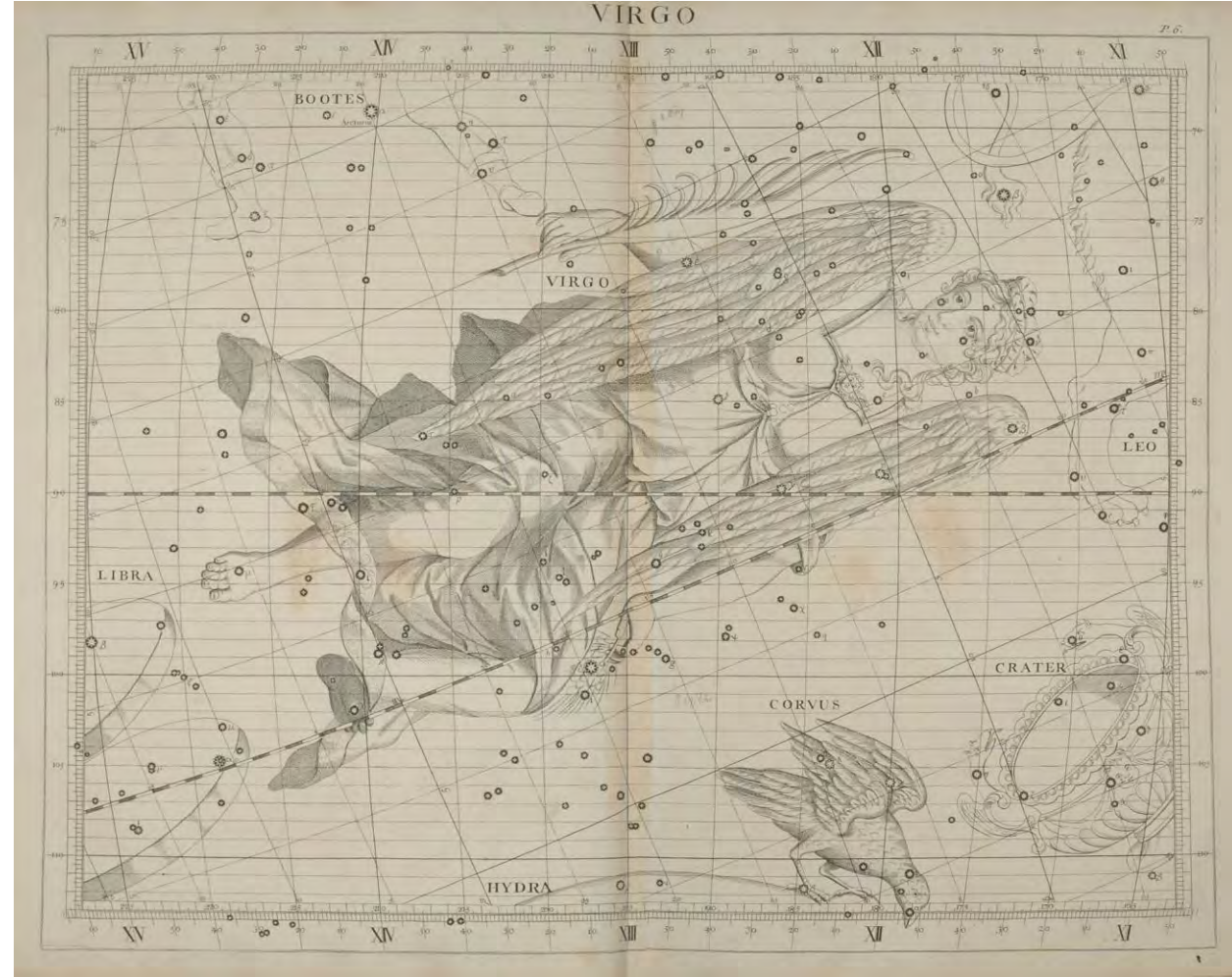
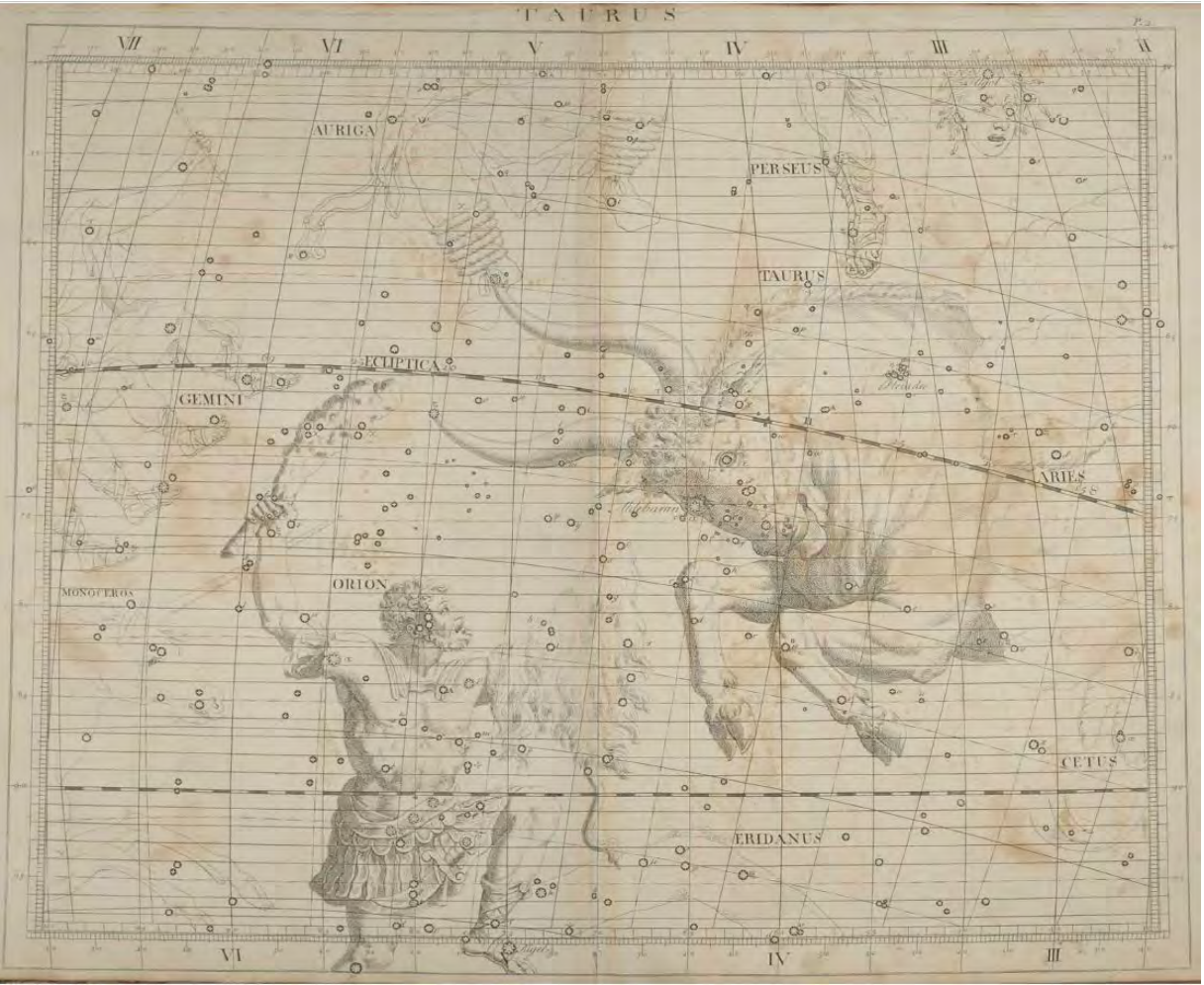


Las dos ilustraciones de la introducción del atlas celeste



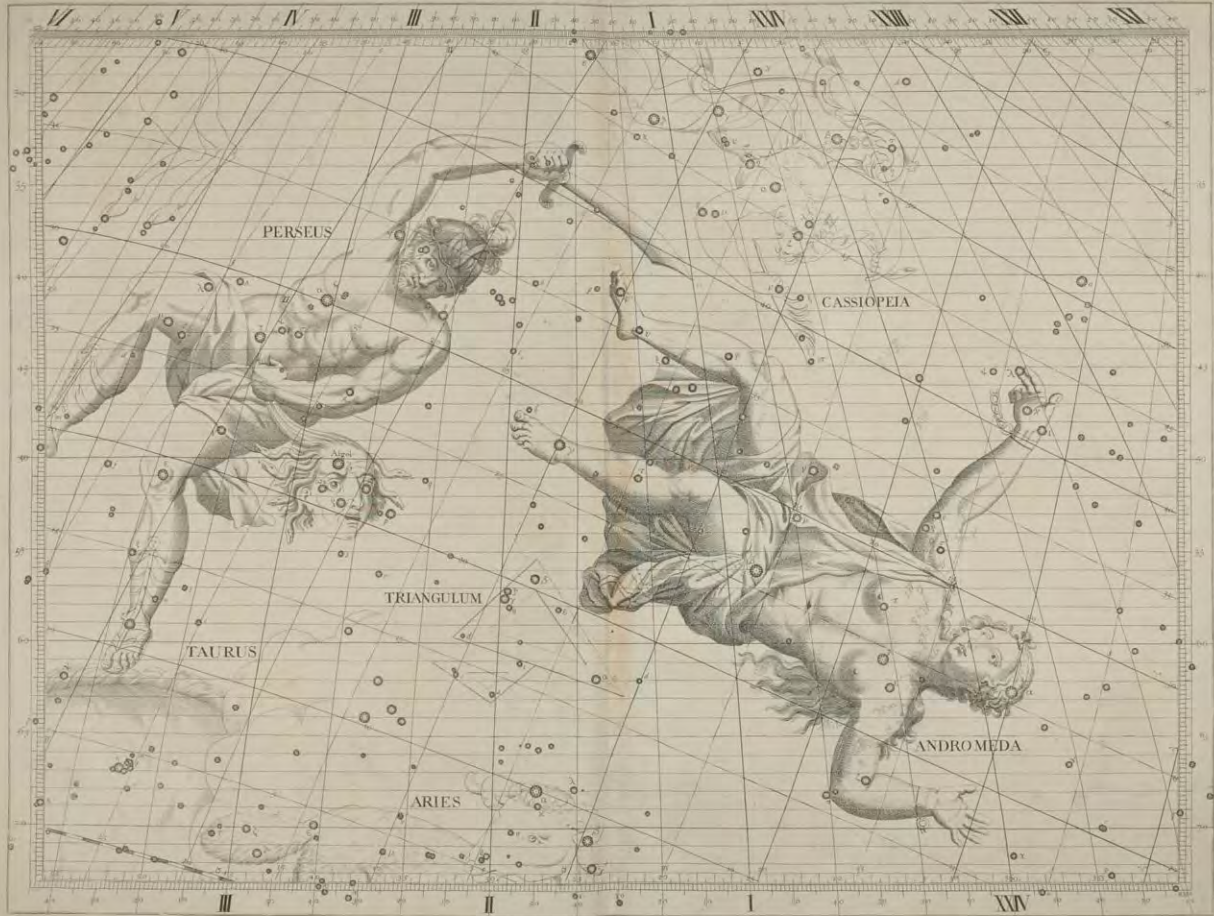
Dibujo panorámico del Parque de Greenwich, con un grupo de personas en primer plano, junto a un telescopio con su trípode: el observatorio a la izquierda, el hospital abajo a la derecha, el río Támesis detrás y Londres al fondo (1860)





ANDROMEDA PERSEUS TRIANGULUM

726



COME BERENICES BOOTES CANES VENATICI

727

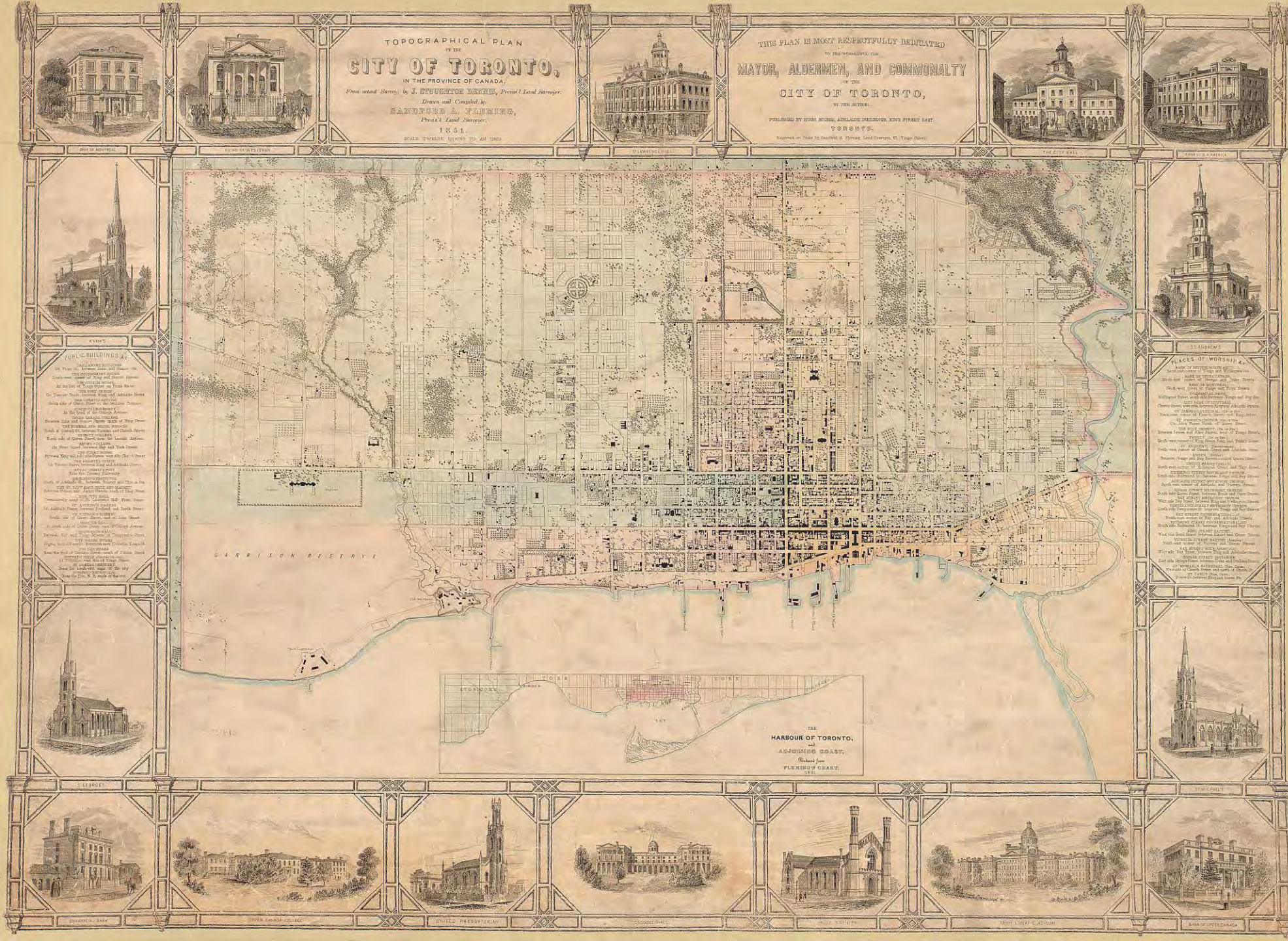




## Sir Sandford Fleming (1827-1915)

Topógrafo e ingeniero escocés, afincado en Canadá, que diseñó el sistema de Husos Horarios y fue pionero de las comunicaciones transoceánicas. Tras sus primeros estudios, se convirtió en ayudante del ingeniero civil John Sang (1809-1887); con él permaneció tres años, adquiriendo valiosa experiencia en la ejecución de variadas obras lineales. En el año 1845 zarpó de Escocia, con destino a Canadá, invirtiendo en la travesía unas seis semanas. En el mes de junio se instaló como topógrafo en Peterborough, consiguiendo la licencia de Agrimensor provincial adjunto cuatro años después. En ese periodo levantó el primer plano de la ciudad, así como los de Newcastle y Cobourg; posteriormente haría otro de Toronto, además de levantamientos a orillas de los lagos Ontario y Huron (dos de los cinco grandes lagos de América del Norte). En esa fecha propuso usar una imagen del castor para la edición del primer sello postal de Canadá (23 de abril de 1851), y así se hizo con la emisión del de tres peniques.

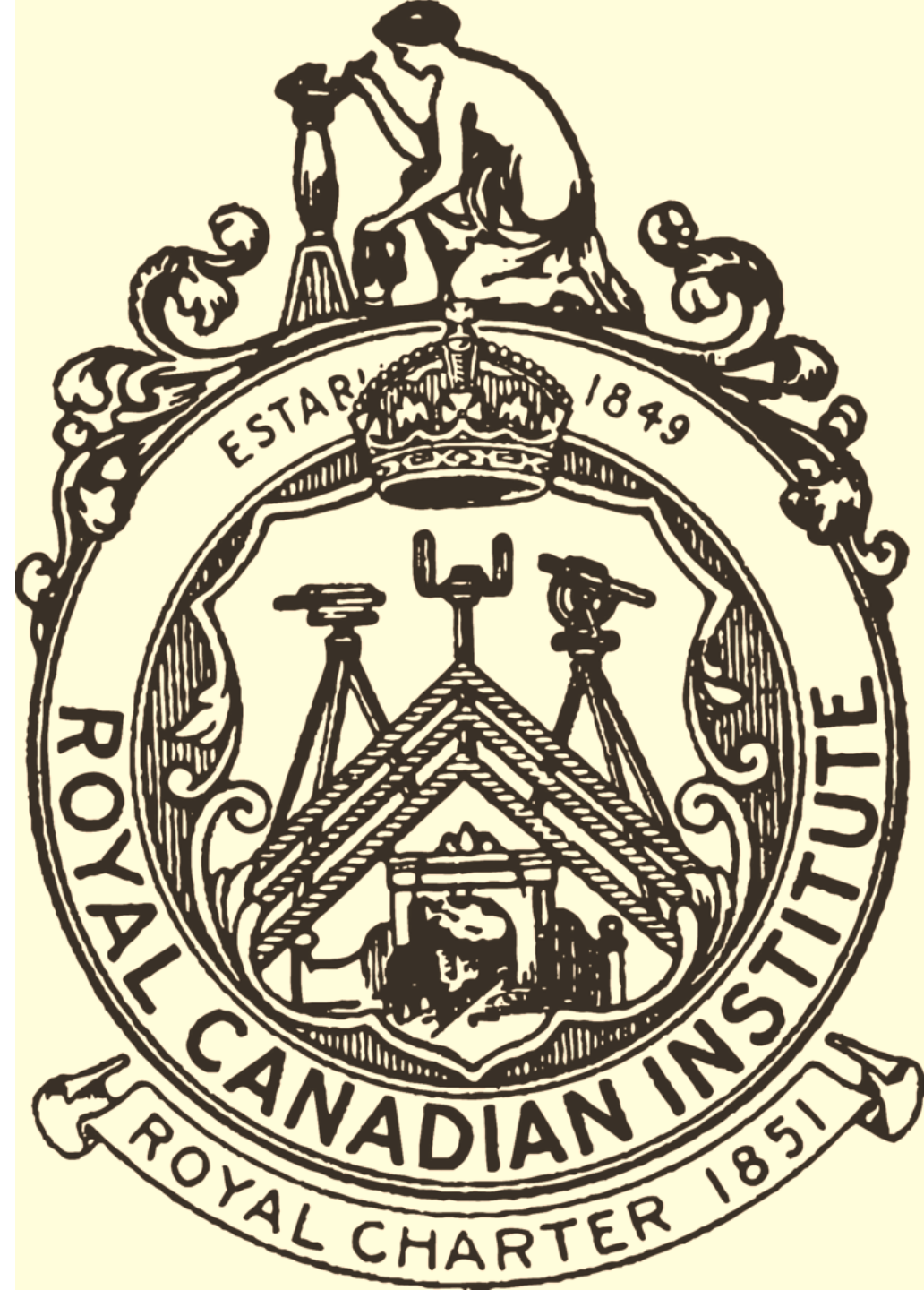




C-001164

En este plano de la ciudad de Toronto, levantado por S. Fleming en 1851, se expusieron como información marginal perspectivas de sus principales edificios, entre Princess Street y Bay Street. Figuran en su cabecera la siguiente cartela: TOPOGRAPHICAL PLAN OF THE CITY OF TORONTO, IN THE PROVINCE OF CANADA, From actual Survey, by J. STOUGHTON DENNIS, Provin'l. Land Surveyor. Drawn and Compiled by SANDFORD A. FLEMING, Provin'l. Land Surveyor. 1851. La escala la marca la equivalencia entre una pulgada y dos cadenas

En ese mismo año se incorporó S. Fleming al Servicio de ferrocarriles, concretamente a la línea que unía Toronto con Collingwood, que con una longitud de 100 millas fue la primera que se construyó en Ontario. Comenzó entonces una carrera que lo llevaría a ingeniero jefe del Ferrocarril Intercolonial (1865), un proyecto que se completó en 1876. Una de sus contribuciones de mayor proyección fue el plan para construir un ferrocarril hasta el océano Pacífico (1871), directamente relacionado con su nombramiento como responsable de la primera carretera transcontinental de América del Norte. Las preocupaciones de Fleming por el desarrollo científico de Canadá, le llevaron a impulsar la creación del *Canadian Institute* (1849), cuyo cometido figuraba en el acta fundacional: « for the encouragement and general advancement of the Physical Sciences, the Arts and the Manufactures in this part of our dominions». Otra de sus inquietudes fue el establecimiento de un sistema estatal de cables submarinos y telégrafos terrestres que permitieran interconectar todos los territorios del Imperio Británico, aunque no pudo verlo completado, si tuvo la satisfacción de haber asistido a la instalación del cable submarino del Pacífico (1902), tendido desde la Isla de Vancouver hasta Nueva Zelanda y Australia.



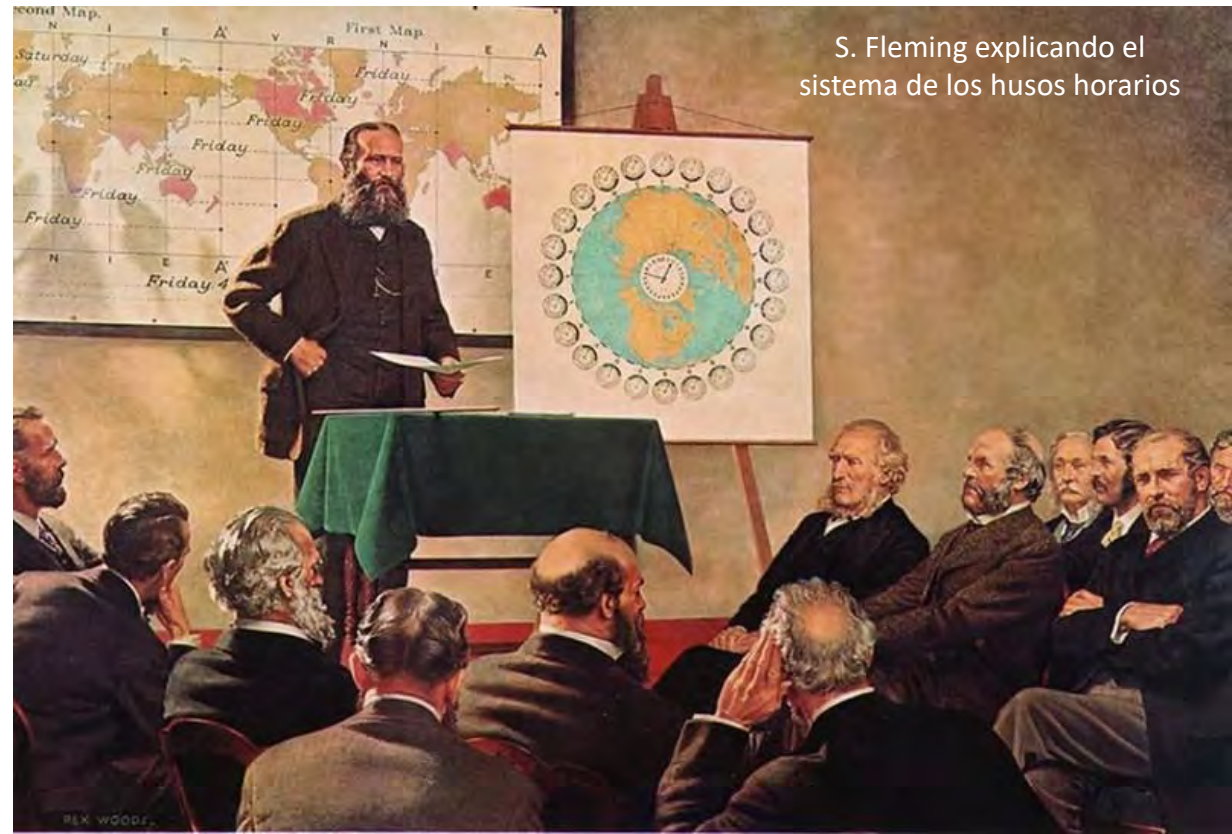
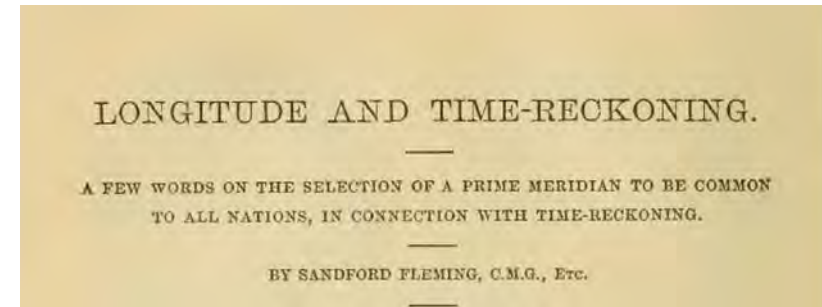
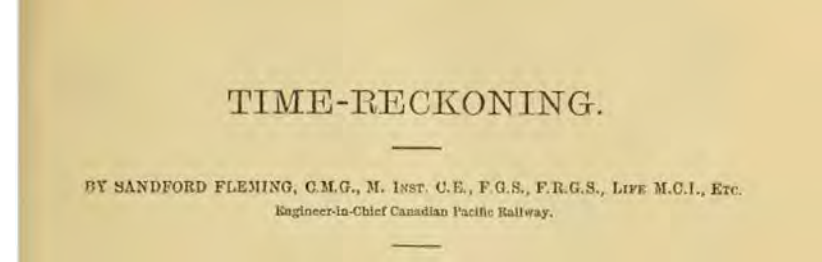


Durante la gestión ferroviaria de Fleming, constató estos serios inconvenientes derivados de la variabilidad de la hora local, una para cada una de las estaciones que iban recorriendo las líneas. Fruto de sus investigaciones, para paliar en lo posible esa dificultad, fue el diseño de un sistema horario peculiar de carácter universal que tardó en implementarse, aunque hoy día es de uso cotidiano. En él juegan un papel esencial los husos esféricos del globo terráqueo, centrados en los meridianos. Fleming proyectó 24 husos, con una amplitud angular de  $15^\circ$ , identificando a cada uno de ellos con las 24 letras mayúsculas del abecedario (sin contar con la J y la Z, y cambiando la V por la W); incluso llegó a proponer la confección de un reloj en el que tales letras ocupaban el lugar de los dígitos horarios. La simplificación fue tan original como decisiva: todos los puntos localizados dentro de un mismo huso tendrían la misma hora local que el meridiano central del mismo. El origen de dicho cómputo sería el antimeridiano de Greenwich, el cual presentaba la ventaja de discurrir por una zona muy poco poblada del océano Pacífico, con la particularidad añadida de ser la línea de cambio de fecha. Con tal sistema, la diferencia entre las horas locales de dos puntos dados sería siempre un número entero de horas; exactamente igual a la diferencia de las longitudes de los meridianos centrales asociados a los respectivos husos. La rotación diurna de la Tierra en torno a su eje, imponía el aumento de las horas si el desplazamiento era de Oeste a Este y la disminución en caso contrario.





Los detalles de la propuesta de S. Fleming fueron publicados por primera vez en los artículos: *Time-Reckoning* y *Longitude and Time-Reckoning, a few words on the selection of a prime meridian to be common to all nations, in connections with time-reckoning*; dentro de los *Proceedings of the Canadian Institute*. Vol . I Part 1. Toronto. 1879. El gobierno de la metrópoli difundió de inmediato el novedoso sistema y llegó a implantarlo en Inglaterra, Escocia y Gales. En esa misma época, y de manera independiente, Cleveland Abbe (1838-1916) había dividido el territorio de los EE. UU. en cuatro zonas horarias, siguiendo una metodología similar a la de Fleming; ambos autores se unieron en la defensa de esa nueva forma de fijar el tiempo legal, y de manera especial en la Conferencia Internacional del Meridiano, celebrada en Washington durante el mes de octubre de 1884. En dicha conferencia se pretendía elegir un solo meridiano internacional que sirviera de origen para la medida de las longitudes geográficas y evitara los equívocos que se venían produciendo hasta entonces (En España se venían usando los meridianos de Hierro y de Cádiz). En la sesión del 13 de octubre, intervino S. Fleming para defender la necesidad de elegir un meridiano completamente nuevo y de carácter neutral, independiente de los que habían sido empleados hasta entonces (citó a doce de ellos). Al optar por el



S. Fleming explicando el sistema de los husos horarios

CAN  
PAM  
F

Fleming, Sandford.

THE INTERNATIONAL  
PRIME MERIDIAN CONFERENCE

WASHINGTON.

OCTOBER, 1884.

RECOMMENDATIONS SUGGESTED

BY

SANDFORD FLEMING.

RESPECTFULLY SUBMITTED.

1884

antimeridiano de Greenwich, como el origen común que también serviría de cero para el cómputo del tiempo, refirió algunas de las ventajas expuestas en el folleto que había entregado a los congresistas: *Recommendations Suggested by Sandford Fleming* (Respectfully Submitted. October, 1884); cuyo texto lo dividió en los tres apartados siguientes: la regularización del tiempo, la determinación de la longitud y la adopción del primer meridiano.

La delegación española estuvo compuesta por el ministro plenipotenciario Juan Valera y Alcalá Galiano (1824-1905), embajador en Wasingthon, el agregado naval Emilio Ruiz del Árbol y el teniente de navío Juan Pastorín y Vicher. Este último escribió en 1885 la *Memoria sobre el Congreso de Washington*, en la que comentaba el contenido de cada una de sus sesiones. Como buen conocedor de la cuestión, apuntaba en ella que el Congreso había sido una iniciativa de S. Fleming, a la vez que se refería a sus recomendaciones en los siguientes términos: «condensa en proposiciones correlativas el resumen de su valiosísima opinión y el inmenso caudal de conocimientos y estudios que sobre la materia posee. Permítaseme decir —guardando los respetos debidos,— que, por estar ligadas íntimamente las

cuestiones de Longitud con las de Hora y Fecha cosmopolitas, una proposición, como la de Sandford Fleming, donde no se trata ninguna aisladamente, habría á mi entender dado a las deliberaciones del Congreso dirección más adecuada y sintética que la muy respetable del señor Rutherford, preferida por la mayoría de la Asamblea». Se refería Pastorín a la propuesta del astrónomo norteamericano Lewis Morris Rutherford (1816-1892): el meridiano magistral de longitudes debería ser el que pasaba por el centro del instrumento meridiano de Greenwich.



- 1. J. Varela
- 2. J. Pastorin
- 3. L.M. Rutherford
- 4. Clevelan Abbe

Ruiz del Arbol y Stanford Fleming  
no posaron

THE INTERNATIONAL MERIDIAN CONFERENCE. Washington, 1884



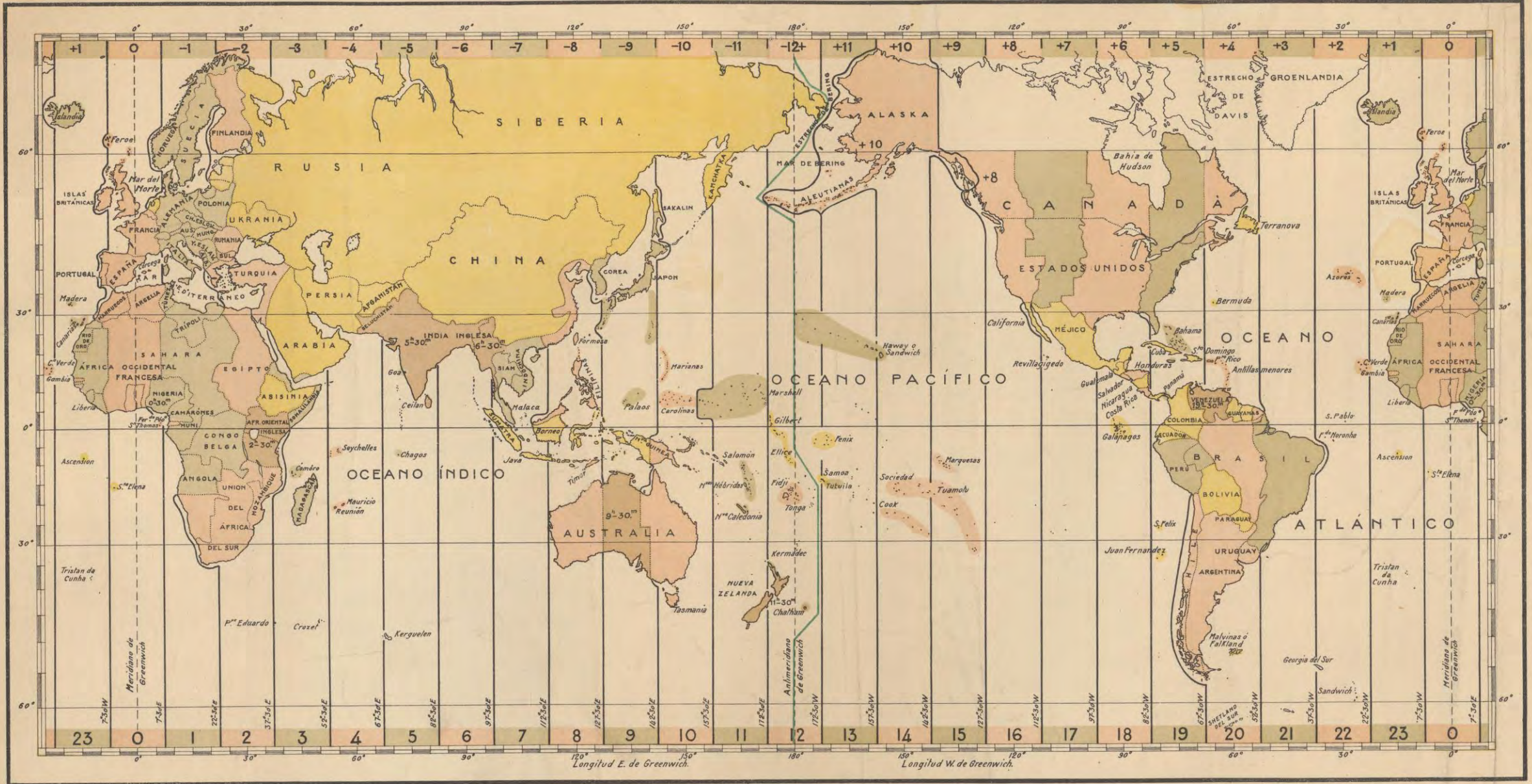
Aunque S. Fleming no viese satisfechas todas sus expectativas, con la Conferencia Internacional de Washington se sentaron las bases para computar el tiempo a partir del meridiano de Greenwich, apoyándose en el nuevo sistema de husos horarios; cual acabaría siendo aceptado por todos los países del mundo en 1929, con la salvedad de que ocasionalmente se modificasen las trazas de los meridianos extremos para que todos los puntos de un país tuviesen la misma hora legal. En España el Real Decreto de la Presidencia del Consejo de Ministros del 26 de julio de 1900 estableció en el territorio de la Península y en las islas Baleares la hora oficial del huso número 0. Y en otro decreto de dicha Presidencia del 11 de febrero de 1922 se estableció en el archipiélago de las Canarias la hora oficial del huso número 23.

# PLANISFERIO DE LOS HUSOS HORARIOS

MINISTERIO DE MARINA

Dirección General de Navegación y Pesca Marítima

SECCIÓN DE HIDROGRAFÍA



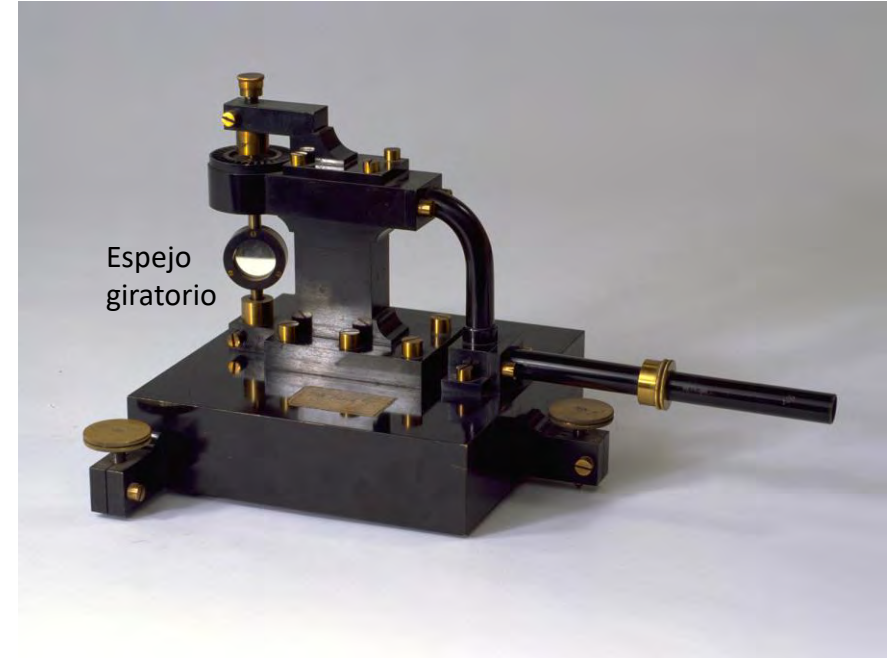


## Jean Bernard Léon Foucault (1819-1868)

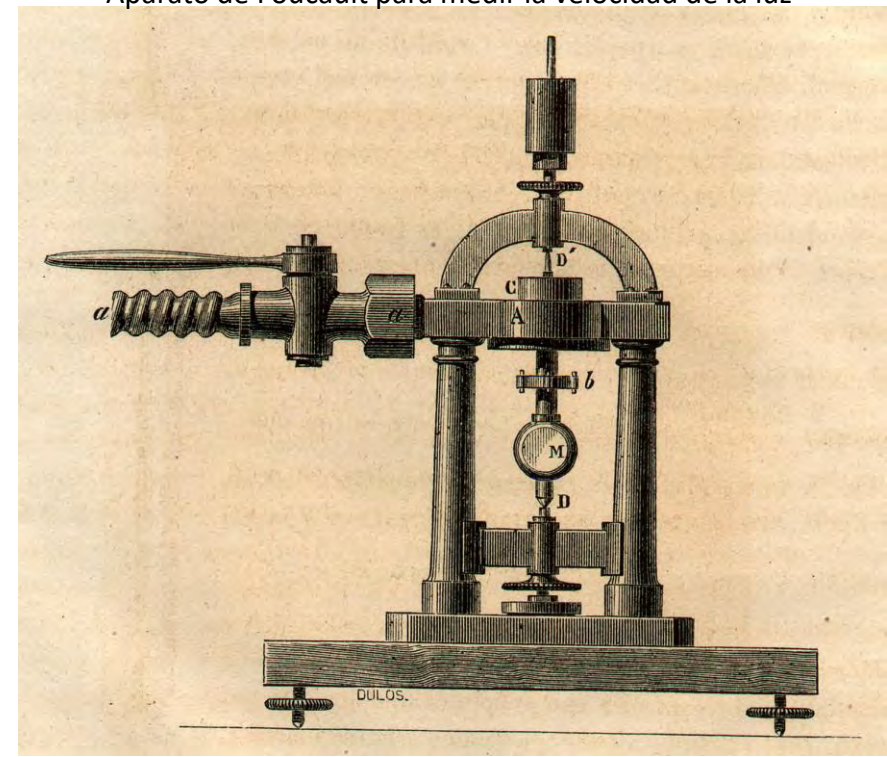
Astrónomo y físico que midió con exactitud la velocidad de la luz y comprobó experimentalmente la rotación diaria de la Tierra en torno a su eje, apoyándose en la oscilación de un péndulo. Sus primeros estudios los hizo en el Collège Stanislas de París, coincidiendo allí con el que sería su gran amigo H. Fizeau. Durante un breve periodo estudió medicina, convirtiéndose en colaborador de su profesor Alfred François Donné (1801-1878). Al mismo tiempo asistió a las explicaciones de Daguerre sobre sus métodos fotográficos, consiguiendo mejorar junto a Fizeau el proceso de impresión e idear un método para fotografiar las vistas microscópicas; muchas de las cuales figuraron en el atlas que acompañó al trabajo *Cours de Microscopie*, publicado en el año 1845. Curiosamente, en ese mismo año dejó Donné la edición científica del *Journal des Débats* en manos de Foucault, una tarea divulgativa en la que debió tener éxito; así parece desprenderse del comentario que incluyó el matemático Joseph Louis François Bertrand (1822-1900) en el elogio histórico sobre su figura (1882): «... de faire connaître les

travaux des savants et de juger leurs découvertes. Il montra, dès le début, beaucoup de sens, beaucoup de finesse et une liberté de jugement tempérée par plus de prudence qu'on n'en attendait d'un esprit mordant et sévère. Ses premiers articles furent remarqués, ils étaient spirituels; mais le jeune folliculaire, c'est ainsi que l'appelaient...».

Cuando Arago leyó el trabajo anterior contactó con Foucault y Fizeau, para que intentasen hacer una fotografía del Sol. El resultado de la experiencia no pudo ser mejor, al apreciarse con nitidez las manchas solares; hasta el punto de que el astrónomo los animó a realizar otros experimentos para la Academia de Ciencias, de la que era Secretario perpetuo. El siguiente encargo de Arago fue la medición de la velocidad de la luz en el agua, ya que él no podía llevarlo a cabo por sus problemas de visión; al no ponerse acuerdo Foucault y Fizeau, siguieron vías independientes. Foucault ideó su propio método, construyendo una máquina de vapor que impulsaba un espejo giratorio; logrando probar en 1850 que la luz se transmitía por el agua a menor velocidad que en el aire, de acuerdo con lo que predecía la teoría ondulatoria de la luz. Foucault escribió entonces lo siguiente: «Yo no inventé el espejo giratorio, ni la lente acromática, ni la red, ni el micrómetro pero he tenido la suerte de poder juntar estos instrumentos, ideados por otros científicos, de tal manera que he resuelto un problema que se planteó hace doce años».



Aparato de Foucault para medir la velocidad de la luz



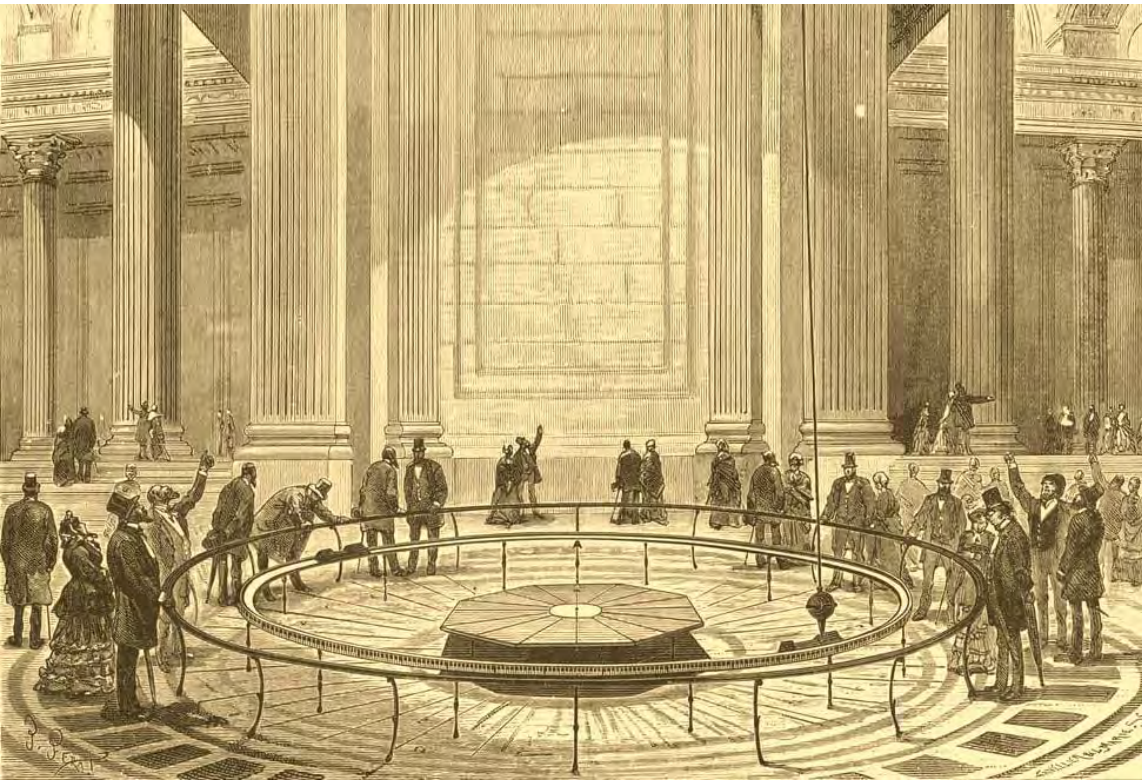
» Cette définition, ou plutôt ce théorème, conduit à toutes les propriétés du déterminant comme à des corollaires évidents. »

PHYSIQUE. — *Démonstration physique du mouvement de rotation de la terre au moyen du pendule; par M. L. FOUCAULT.*

(Commissaires, MM. Arago, Pouillet, Binet.)

« Les observations si nombreuses et si importantes dont le pendule a été jusqu'ici l'objet, sont surtout relatives à la durée des oscillations: celles

L'expérience du pendule de Léon Foucault sous la coupole du Pantheon, en 1851



La siguiente idea de Foucault fue probar experimentalmente la rotación diaria de la Tierra: una vez instalado un péndulo de modo tal que oscilara libremente sin resistencia alguna, mantendría su plano de oscilación mientras la Tierra giraba debajo de él. En enero de 1851 colocó uno en el sótano de su casa y comprobó con éxito el giro esperado. Comunicado su resultado a Arago, le pidió este que repitiera su demostración en el Observatorio de París, y así lo hizo el 3 de febrero ante una amplia representación de la comunidad científica; que recibieron la invitación siguiente: «*Vous êtes invités à venir voir tourner la Terre dans la salle méridienne de l'Observatoire de Paris*». Foucault escribió entonces el artículo:

*Démonstration physique du mouvement de rotation de la terre au moyen du pendule* (Comptes rendus. Tome 32, pp.135-138, 1851), el cual fue leído por Arago ante la Academia de Ciencias el mismo día en que se hizo el experimento. En el artículo mencionó, Foucault la ley que relaciona el periodo de oscilación con la latitud del lugar:  $T = 24^h \operatorname{sen} \varphi$ ; es decir que en los polos el péndulo tardaría 24 horas en volver a su posición original, mientras que el periodo iría disminuyendo al

acercarse al ecuador. Ni que decir tiene que el experimento resultó histórico, pues a partir de entonces pudo asegurarse que la rotación de la Tierra había sido demostrada en lugar de deducida. Foucault, con la ayuda del



mecánico Paul Gustave Froment (1815-1865), que se instalara en el Panteón un péndulo con una longitud próxima a los 64 m y una masa en su extremo de 28 kg; constatando así que su plano de oscilación giraba hacia la derecha (efecto Coriolis) a razón de  $11^\circ$  por hora, y que recorría la totalidad de la circunferencia en 32.7 horas.

No obstante Foucault no estaba del todo satisfecho, pues pensaba que el resultado podía no parecer concluyente al variar según la latitud, de modo que dispuso completar el experimento con otro que si lo fuera. Fue entonces, en 1852, cuando inventó el giroscopio, un instrumento de poca utilidad en ese momento pero que a la postre sería imprescindible para la navegación espacial. El instrumento constaba de un toroide con un sistema de suspensión libre, que le permitía girar en todas direcciones, a la vez que un elemento auxiliar le proporcionaba una velocidad de 150 a 200 revoluciones por segundo. La rotación de la Tierra provocaría el movimiento de un índice unido al toroide, con el que se mediría la lenta rotación del cardán instalado alrededor de este. Froment construyó el instrumento, bajo la dirección de Foucault, comprobando que tras adquirir una velocidad inicial de 12000 revoluciones por minuto, el giro persistió durante 10 minutos, tiempo suficiente para observar la precesión inducida por la rotación de la Tierra mediante el índice anterior. Foucault recibió en 1855, por la invención del giroscopio y por la demostración que tuvo lugar en el Panteón, la medalla Copley de la *Royal Society*.

Giróscopo de Léon Foucault  
(1852)



# THÈSE

PRÉSENTÉE

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES,

PAR M. LÉON FOUCAULT.

THÈSE DE PHYSIQUE. SUR LES VITESSES RELATIVES DE LA LUMIÈRE DANS L'AIR  
ET DANS L'EAU.

PROPOSITIONS DE CHIMIE DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenue le 25 avril 1853 devant la Commission d'examen.

MM. DUMAS, *Président.*

DESPRETZ, }  
BALARD, } *Examineurs.*

PARIS,

BACHELIER, IMPRIMEUR-LIBRAIRE  
de l'École Polytechnique et du Bureau des Longitudes,

Rue du Jardinet, 12.

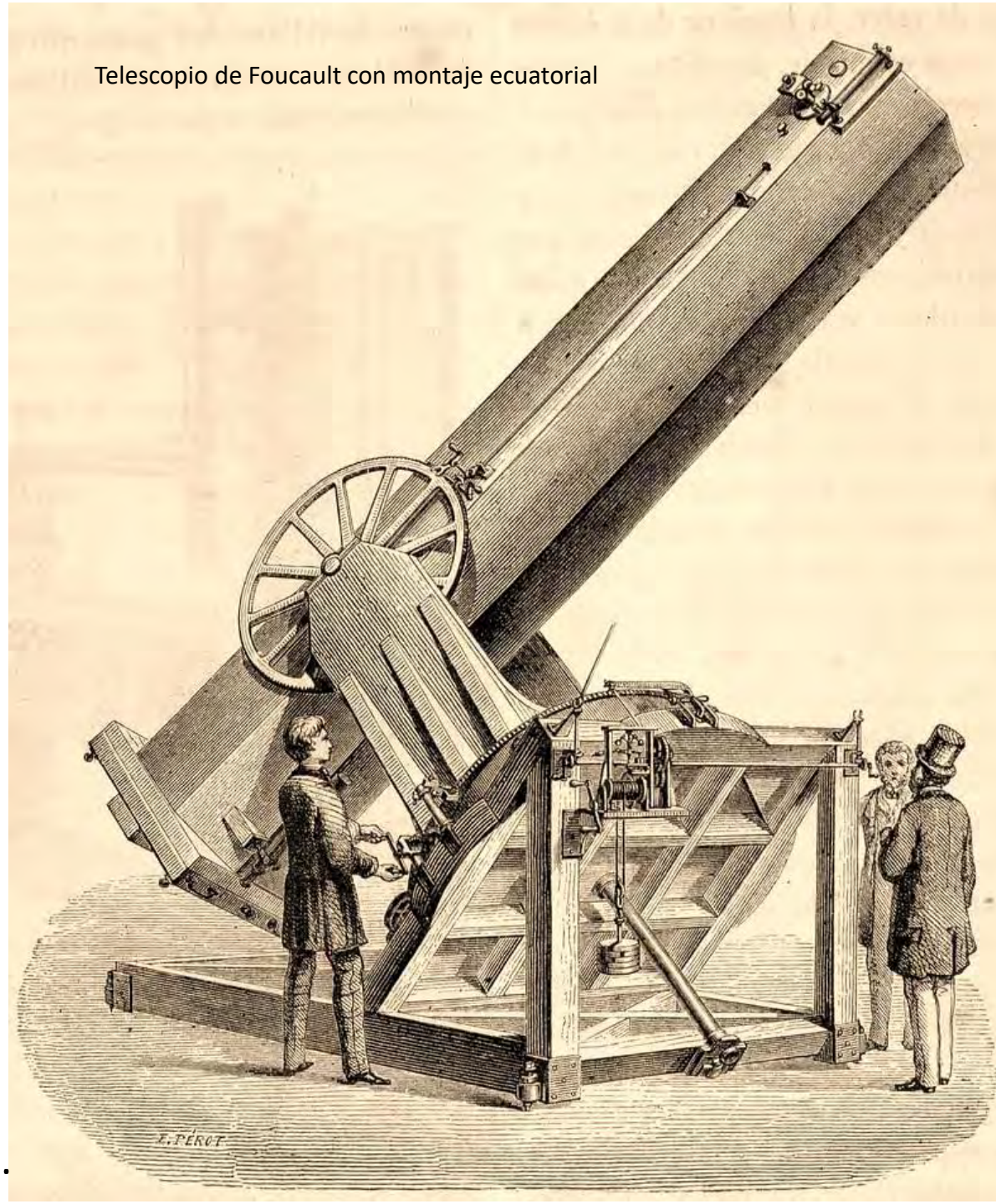
1853.

La llegada al poder de Napoleón III, Luis Napoleón Bonaparte (1808-1873), supuso una mejora sustancial para el estatus de Foucault, poco reconocido por la comunidad científica francesa (al carecer de formación universitaria); ya que por su iniciativa se creó para él la plaza de Físico adjunto en el Observatorio de París (1851). Como tal introdujo sustanciales mejoras en el instrumental del Centro, una de las más notables fue atender la petición de Urbain Jean Joseph Le Verrier (1811-1877), su director, el cual quería que repitiese la medición de la velocidad de la luz, que había efectuado en el año 1850. Medición que sería años después el núcleo de la tesis Doctoral que defendió Foucault el 25 de abril de 1853: *Sur les vitesses relatives de la lumière dans l'air et dans l'eau*. La petición obedecía a que el valor de la Unidad Astronómica (distancia de la Tierra al Sol) parecía haber sido sobrestimado. Para obtener resultados más fiables, introdujo con relación a su primer experimento modificaciones instrumentales de carácter óptico, mecánico y cronométrico. El resultado obtenido confirmó que en la primera determinación de la velocidad de la luz se cometió un error por exceso, ya que el obtenido en 1862 se estimó en 298000 km/s. Foucault publicó en las memorias de la Academia de Ciencias dos artículos, en los que explicó el nuevo experimento: *Détermination expérimentale de la vitesse de la lumière ; parallaxe du Soleil* (C.R. Acad. Sci., 55 , 501-503) y

*Détermination expérimentale de la vitesse de la lumière; description des appareils* (C.R. Acad. Sci., 55 , 792-796) .

Otra de las actividades que también ha de reseñarse es su participación, junto a Le Verrier en la expedición astronómica al Norte de España , para observar el eclipse total de Sol que tuvo lugar el 18 de julio de 1860. Foucault fotografió el Sol eclipsado desde la cumbre del Mocayo (en las proximidades de Tarazona), como bien detalló el astrónomo español Eduardo Novella Contreras (1818-1865) en su Informe de lo ocurrido en la expedición que fue al Moncayo a observar el eclipse de Sol del 18 de julio último, presentado al Comisario Regio del Observatorio de Madrid. En el año 1878 se publicó, gracias a la colaboración de la madre de Foucault, el libro titulado *Recueil des travaux scientifiques de Léon Foucault* (584 páginas convenientemente ilustradas). El libro se complementó con una interesante colección de planchas, prologada por una noticia histórica sobre la vida y obra del autor, escrita por Jules Antoine Lissajous (1822-1880); reseñando las modificaciones introducidas por Foucault en el instrumental del Observatorio de París, así como las características de algunos de los telescopios que construyó. Foucault vería recompensada su brillante trayectoria con la Legión de Honor (1862); con su pertenencia al *Bureau des Longitudes* (1862) y a la Academia de Ciencias de París (1865).

Telescopio de Foucault con montaje ecuatorial





## Louis Benjamin Francoeur (1773-1849)

Alumno destacado de Monge, en la Escuela Central de Trabajos Públicos (denominada luego Politécnica) y uno de los primeros profesores que tuvo la Escuela de Ingenieros Geógrafos, así como autor del Tratado de Geodesia que fue impreso simultáneamente en París y en San Petersburgo. Sus primeras enseñanzas las recibió en el Colegio Harcourt de París (Instituto de San Luis, desde 1820). Luego fue escribiente en una notaría y cajero en la compañía de opera fundada por su padre (1792); Francoeur, como otros miembros de su familia tenía un talento musical excepcional. Durante la revolución su padre fue encarcelado y él se vio obligado a enrolarse en el ejército, sirviendo como sargente mayor en un regimiento al Norte de Francia; aunque más adelante ascendiese a coronel. Al tener noticias de que se estaban buscando estudiantes para la nueva *École Centrale des Travaux Publics*, se trasladó a París. Superado el examen de ingreso, recibió con provecho las clases de matemáticas impartidas por Monge, finalizó sus estudios en el año 1797. Cuando fue destinado a la Escuela de Ingenieros Geógrafos, compatibilizó su enseñanza con las clases particulares a estudiantes singulares, como el hermano menor de Napoleón Bonaparte. Su labor como profesor fue pronto reconocida, proponiéndole el

matemático Gaspard de Prony (1755-1839), profesor de Mecánica en la Escuela Politécnica, que fuese su ayudante en la Escuela. Francoeur aceptó (1798) y publicó tres años después el libro *Traité de mécanique élémentaire*, con la intención de que sirviera de complemento a los alumnos de la misma, el cual fue varias veces reeditado. En los años siguientes ejerció como profesor de matemáticas en diferentes centros: Escuela Politécnica (1804), Instituto Carlomagno (1805) y Facultad de Ciencias de París (1808-1845). Tal era su reputación que su obra *Cours de Mathématiques pures*, en dos volúmenes (1809), fue traducida al ruso y prescrita en las Escuelas Imperiales, siendo reeditada en varias ocasiones.

En el año 1811 apareció un cometa en el mes de septiembre, si bien cuando alcanzó su mayor brillo fue en octubre, convirtiéndose en el objeto más brillante del cielo nocturno. A raíz de ello se despertó en Francoeur el interés por la astronomía, hasta el extremo de enseñarla en el Ateneo de París. Tras la caída de Napoleón en 1814 y la consiguiente restauración Borbónica, Francoeur tuvo que abandonar sus puestos en la escuela Politécnica y el Instituto Carlomagno. En 1816 creó la *Société pour l'enseignement élémentaire*, con el fin de ir fomentando el aprendizaje en las escuelas; de esa época data su libro *Le dessin linéaire d'après la méthode de l'enseignement mutuel* (1819), que popularizó en Francia la enseñanza del dibujo lineal.



Corps des Ingénieurs Géographes militaires.  
Officier.  
1785.



Grabado del cometa de 1811

# GÉODÉSIE,

OU

TRAITÉ

## DE LA FIGURE DE LA TERRE

ET DE SES PARTIES;

COMPRENANT

LA TOPOGRAPHIE,

L'ARPEMENT, LE NIVELLEMENT;

LA GÉOMORPHIE TERRESTRE ET ASTRONOMIQUE,

LA CONSTRUCTION DES CARTES;

LA NAVIGATION.

Leçons données à la Faculté des Sciences de Paris,

PAR L.-B. FRANCOEUR,

Professeur à la Faculté des Sciences de Paris, Membre des Sociétés Philomatique, d'Encouragement pour l'Industrie, et de plusieurs autres Associations françaises et étrangères; Membre honoraire des Académies de Pétersbourg, Edimbourg, etc.

*J. B. Bachelier*



PARIS,

BACHELIER, IMPRIMEUR-LIBRAIRE,

POUR LES MATHÉMATIQUES;

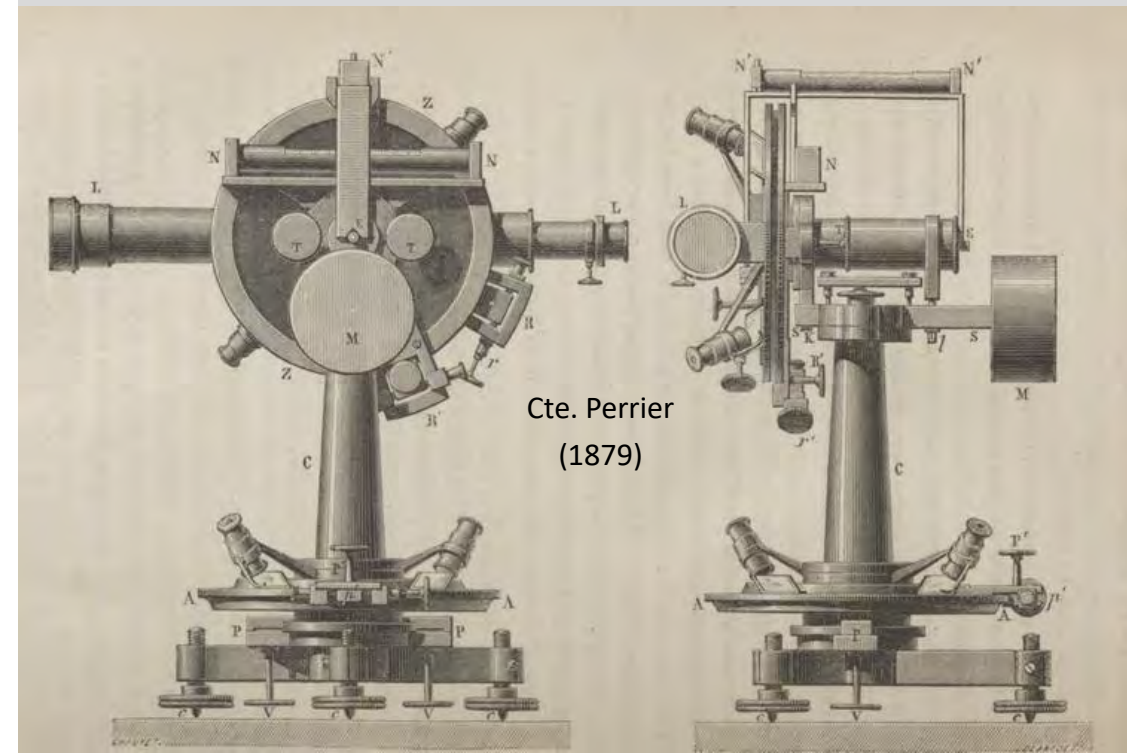
QUAI DES AUGUSTINS, N° 55.

~~~~~

1835

Francoeur fue un autor prolífico, a sus libros de astronomía: *l'Uranographie, ou Traité élémentaire d'astronomie, à l'usage des personnes peu versées dans les mathématiques, accompagné de planisphères* (1812) y *Astronomie pratique, use et composition de la Connaissance des temps* (1830); unió los siguientes: *Éléments de Statique* (1810), *La goniométrie* (1820), *L'enseignement du dessin linéaire* (1827), y *Elements de technologie* (1833), *Géodésie, ou Traité de la figure de la Terre et de ses parties, comprenant la topographie, l'arpentage, le nivellement, la géomorphie terrestre et astronomique, la construction des cartes, la navigation* (1835), basado en las clases impartidas en la Facultad de Ciencias de París. El tratado fue publicado a la vez en Francia y en Rusia, datando su séptima edición del año 1880. Se compuso este de tres libros: I) Topografía, II) Geomorfía y III) Navegación. El primero constó de cuatro capítulos, dedicados al levantamiento de planos, a la trigonometría rectilínea, a la nivelación topográfica y a la agrimensura. El segundo constó de siete capítulos, dedicados a la trigonometría esférica, al círculo repetidor, a la geomorfía terrestre (triangulaciones, elipsoide de revolución, cálculo de acimutes, longitudes y latitudes, a la nivelación geodésica, al péndulo de segundos, a los mapas geográficos ya la astronomía de posición. Finalmente, el tercer libro solo tuvo dos capítulos: velocidad y dirección del navío y astronomía náutica.

La geodesia de Francoeur fue muchas veces reeditada, conteniendo en las últimas versiones dos anexos: uno sobre *La Medida de Bases*, debido a Paul Michel Hossard (1797-1862), profesor de Astronomía y Geodesia en la Escuela Politécnica de París, y otro sobre *El Método e instrumentos de observación empleados en las grandes operaciones geodésicas, teniendo por objeto la medida de los arcos de meridiano y de paralelo terrestres*, que fue escrito por el comandante Perrier; el segundo anexo fue ilustrado con los dibujos de los principales instrumentos, usando un rayado cilíndrico que proporcionaba una plasticidad difícil de igualar.

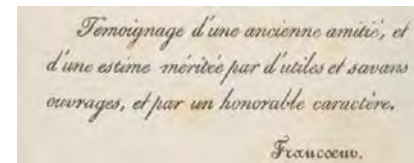


Cte. Perrier  
(1879)

Francoeur dedicó muchas de sus obras a matemáticos famosos de su tiempo: *La Estática* a Laplace, *la Geodesia* a Puissant, *La Uranografía* a Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796-1832) y a F. Arago, al primero la cuarta edición de 1828 y al segundo la quinta de 1837, son prueba de ello. Entre sus honores destacan su pertenencia a las siguientes Academias de Ciencias: París (1842), San Petersburgo, Lisboa, Edimburgo, Rouen, Lyon y Toulouse. En 1866, su hijo Isidore (1803-1873) escribió un artículo sobre la vida y obra de Francoeur, que lo finalizaba así: «*Quel homme bon, simple, plein de justice et d'honneur, Ah! je croyais le connaître en le voyant vivre; depuis qu'il n'est plus, j'apprends tous les jours que je ne le connaissais guère, et combien les hommes qui lui ressemblent sont rares!*»»



Dedicatoria del  
libro de Geodesia



## José Galbis Rodríguez (1868-1952)



General e Ingeniero Geógrafo, autor del primer Catálogo Sísmico de España, creador del Cuerpo de Meteorólogos y principal responsable de que se celebrase en Madrid la Asamblea de la Asociación Internacional de Geodesia en el año 1924. Heredó la vocación militar de su padre, Capitán General de Burgos y Valladolid y fundador de la Academia Militar de Zaragoza, obtuvo el grado de teniente de artillería con el número uno de su promoción; tras ocupar varios destinos, se trasladó a Madrid. Participó en la guerra de Cuba, como capitán en 1897, de vuelta en España ingresó como geodesta en el Instituto Geográfico y Estadístico; aunque tres años después se incorporase al Cuerpo de Ingenieros Geógrafos, que había sido creado en 1900. Rebeca Álvarez Alonso y Alejandro Roa Alonso publicaron en 2016 el artículo El Ingeniero Geógrafo José Galbis, con un interesante resumen sobre su *curriculum vitae*, en el que se apoyarán gran parte de los comentarios que siguen.

Es digna de mención una de las virtudes que marcaría toda su actividad profesional, la lealtad con la que él aseguraba que

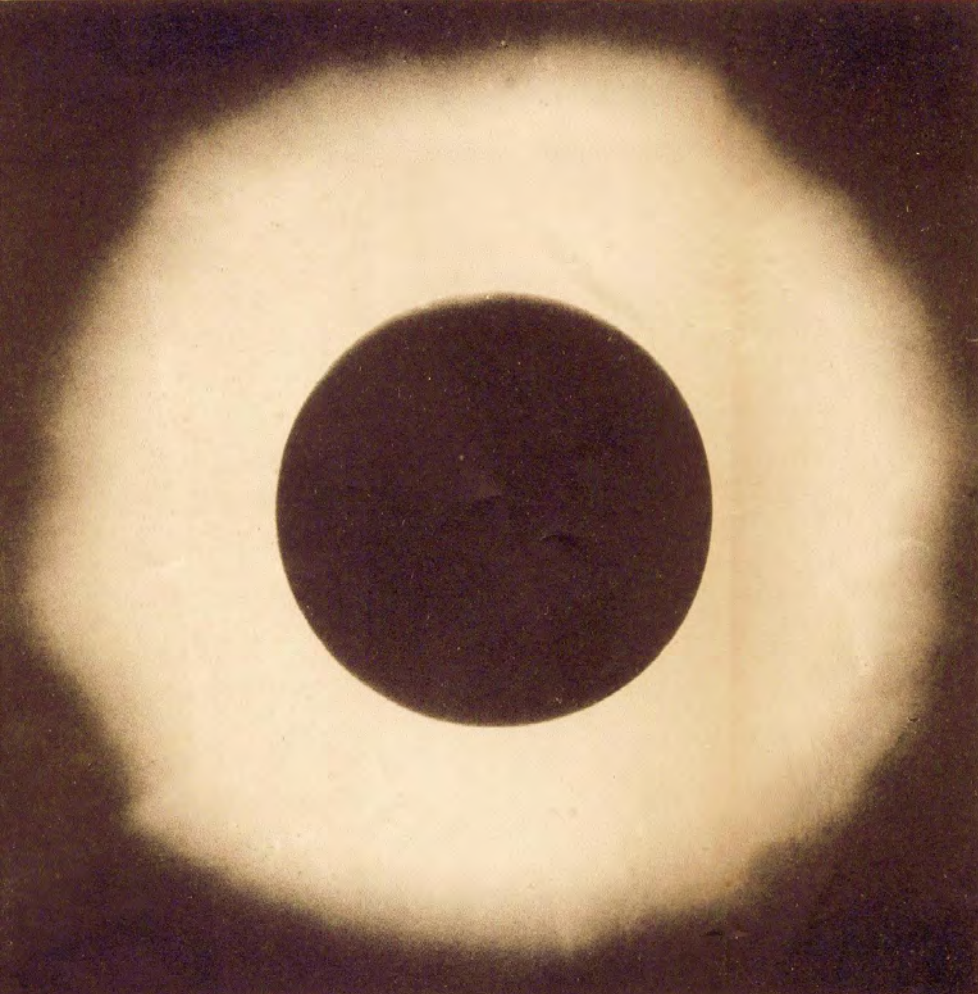


sirvió y que le enseñaron en el Cuerpo de Estado Mayor. Ciertamente, en su valioso testamento laboral, demostró además su probada valentía, atreviéndose a escribir en plena dictadura del general Franco lo siguiente «Mi amistad, desde la juventud con el General Primo de Rivera, era entrañable, en términos de que él me llamaba familiarmente Pepón, y yo a él Miguelito. Pero yo, fiel a las enseñanzas de mi padre, que condenaba todo acto militar subversivo contra el Gobierno constituido, cuando se sublevó, yo no le felicité, pero asistí al banquete con el que sus compañeros de la Academia General Militar, festejamos su triunfo, y en el momento de levantarse el General para agradecer el homenaje, por lo visto, se acordó de las recomendaciones de mi padre, y mirándome fijamente dijo: Estoy seguro de que si hoy viviera el Gral. Galbis aprobaría, mi conducta».

El primer epígrafe que desarrolla en su testamento está dedicado a la astronomía, siendo su aportación más sobresaliente el conjunto de fotografías que tomó del eclipse de Sol ocurrido el día 30 de agosto de 1905. Para ello se desplazó a Lilaila (Burgos) por ser el lugar ideal para la observación del



Detalle ampliado del mapa asociado al *Reconocimiento practicado en la zona de cultivo de Puerto Príncipe* (Cuba), por varios oficiales, entre los que se encontraba el Teniente Coronel José Galbis. El mapa centrado en el núcleo urbano de Puerto Príncipe (antigua denominación de Camagüey) fue presentado el 19 de abril de 1873, siendo su escala de 1/40000; aunque lleves dos pitipiés: uno en kilómetros y otro en leguas de 5000 pasos.



Fotografía, con 30<sup>s</sup> de exposición, obtenida por J. Galbis 1<sup>m</sup> 38<sup>s</sup> después de comenzar el eclipse total

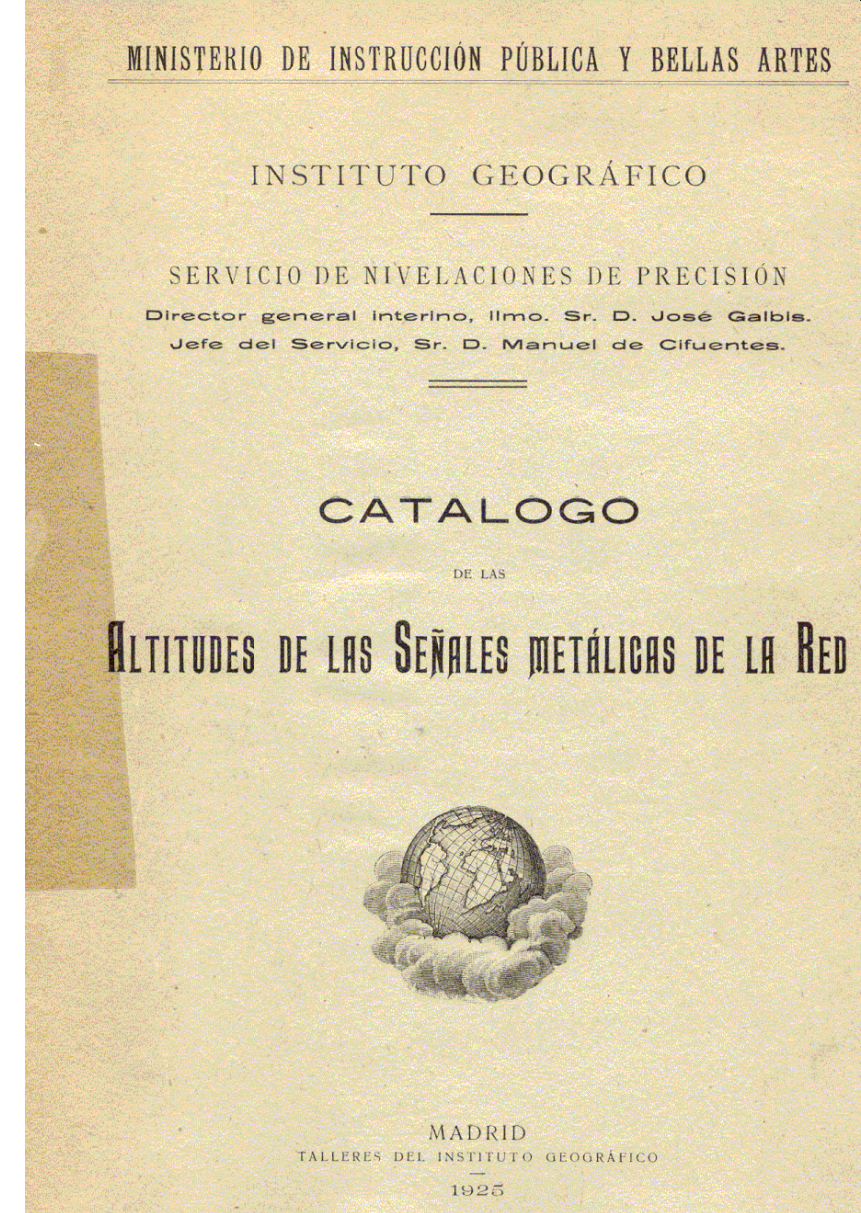
fenómeno, el cual despertó gran curiosidad y fue origen de numerosos festejos que contaron incluso con la presencia de los reyes. Sus fotografías fueron las más nítidas de todas las que se realizaron, motivo por el que fue felicitado mediante una Real Orden, tan solo un mes después de la operación. En el apartado de la astronomía geodésica demuestra su solvencia al recomendar la reanudación de las observaciones propias de los puntos de Laplace y al suponer que se efectuarían «estudios tan interesantes como las Desviaciones de la vertical. Estabilidad continental. Refracción terrestre. Todo lo cual tal vez pueda explicar alguna de las imprecisiones en la observación de los triángulos».

Los comentarios que dedica Galbis a la geodesia son tan extensos como sustanciales, sirvan de ejemplo los siguientes: Por iniciativa se adquirieron por primera vez los hilos invar, que serían usados después para medir las bases de la red geodésica de las Islas Canarias; asimismo dio cuenta de la fundación de la Asociación Geodésica

Internacional, en la reunión celebrada en Berlín durante los días 15 al 22 de octubre de 1864. Años después se presentaría ante ella nuestra red geodésica, por parte del general Ibáñez, el primer Director y principal artífice del Instituto Geográfico, con tanto éxito que fue elegido Presidente de la misma. Finalizadas sus disquisiciones geodésicas, se refiere más sucintamente a las nivelaciones de alta precisión, señalando con acierto la escasa fiabilidad de las altitudes ortométricas y dinámicas, las primeras por la incertidumbre en la determinación del nivel

medio del mar y las segundas por la falta de coordinación entre los Servicios de Nivelación y Gravimetría. Sin embargo, se olvidó mencionar que por iniciativa suya, cuando en el año 1925 era Director General interino, se publicó el primer *Catálogo de Altitudes*, tal como reconoce su autor, el Ingeniero Geógrafo Manuel de Cifuentes Rodríguez.

Las recomendaciones de Galbis, a propósito de la toponimia del Mapa Topográfico de España, a escala 1/5000, fueron muy acertadas: al considerarla deficiente y recomendar como subsanar tal defecto; « Debe realizarse un cuidadoso estudio de toda la toponimia, estableciendo a esos efectos juntas provinciales formadas por personas nacidas en el territorio correspondiente, y para dar unidad al trabajo, asesoradas por sendos Ingenieros Geógrafos, que a ser posible hayan tomado parte en el levantamiento, sometiéndose las dudas a la resolución de la Sociedad Geográfica que deberá dictaminar con toda urgencia». Igual de razonables fueron tres de sus consejos: en primer lugar, la conveniencia de emplear técnicas fotográficas en el proceso de edición definitiva, en segundo que la fotogrametría aérea mejoraría la representación del relieve y finalmente la necesidad de que el Instituto Geográfico diversificara su producción cartográfica, contemplando su compatibilidad con ediciones ajenas al Centro, pero siempre supervisadas por el Consejo Superior Geográfico.



Leopoldo Saro Marín  
(1878-1936)



Sus referencias catastrales son asimismo limitadas, aunque señale con acierto al responsable de las primeras normas del Catastro Topográfico Parcelario en el Instituto, el Ingeniero Geógrafo Eduardo Torallas Tondo. Sin embargo, su comentario de más calado, en este aspecto catastral, es la anécdota que cita y que por su indudable interés histórico se reproduce íntegramente: «La tarde anterior al levantamiento militar que realizó el General Primo de Rivera acompañado de otros Generales, uno de estos Don Leopoldo Saro, con el que yo tenía amistad creada en Cuba, según he dicho en las primeras hojas de este escrito, me visitó y me dijo. “Voy a sorprender a Vd. con la noticia de que esta noche me sublevo con otros Generales, y entre nuestros proyectos, para el caso de triunfo, figura una reducción muy importante en la oficialidad del Ejército. Pero como no queremos ocasionar a ese personal militar grandes daños económicos, hemos decidido emplearlo en el Catastro, y como Vd. conoce bien ese asunto, necesito qué con urgencia, me prepare un proyecto que realice nuestros deseos”. No podía negarme a ello, por mi amistad y el motivo de dicho deseo, y fui, por otra parte, acuciado en tales términos, que dos días después, ya me pidió el proyecto, y al ver que no lo había hecho, se sentó en mi despacho con el propósito de que lo hiciera inmediatamente delante de él, y al demostrarle que el asunto exigía algún estudio, me dio un plazo de tres días, que cumplí ».

No obstante, el proyecto de Galbis encomendaba a los Ingenieros Geógrafos la dirección de los Centros Provinciales, las enseñanzas correspondientes, así como las bases de su ejecución. El interés catastral de la dictadura se vio reflejado en el Real Decreto ley del Catastro Parcelario Jurídico (3 de abril de 1925) que tan decisivamente incidió sobre el Instituto, ya que llegó incluso a cambiar su denominación: pasó a ser Instituto Geográfico y Catastral en lugar de Instituto Geográfico y Estadístico.

Es especialmente relevante el capítulo que dedica Galbis a la fotogrametría y a sus inmediatas aplicaciones topográficas, reflejándose sus iniciativas en la memoria que presentó, a la Dirección General del Instituto (septiembre de 1900) defendiendo la utilidad de la fotogrametría en los levantamientos topográficos. Aceptada su sugerencia, ideó la

fotobréjula, compuesta por la brújula topográfica y una cámara fotográfica rudimentaria; para ser usada mientras llegaba de Londres el fototeodolito construido por John Bridges-Lee (1867-1917). A comienzos del mes de marzo de 1901 ya dispuso del instrumento inglés, probándolo al mes siguiente en un levantamiento dentro del Término Municipal de Otero de Herreros. Los resultados de tales trabajos, finalizados en el mes de octubre, los publicó Galbis en el año 1908 : *Ensayo de los Métodos Fotogramétricos en el Término Municipal de Otero de Herreros* (Provincia de Segovia); incluyendo los fundamentos de la fotogrametría y a su reciente historia.

Fotobréjula de Galbis

Fototeodolito de Bridges-Lee





El siguiente capítulo en el documento de Galbis es el dedicado a la Geofísica, cuyo amplio contenido se explica en función de las áreas que comenta: Gravimetría, Sismología, Magnetismo terrestre, Electricidad terrestre y atmosférica, así como otra centrada en el Mapa Geofísico de España. A comienzos del año 1901 adquirió Galbis sus primeros conocimientos gravimétricos, gracias a las enseñanzas de su compañero Príamo Cebrián Yuste; quien, junto a otros Ingenieros Geógrafos, había determinado el valor absoluto de la gravedad en diferentes ciudades de España. A finales de ese mismo año asistió al alemán Oskar Ernst August Hecker (1864 -1938), el cual estaba midiendo la gravedad, por observaciones relativas, en el mismo pilar del Observatorio del Retiro en que lo había hecho antes, de manera absoluta, el geodesta Joaquín Barraquer Rovira. Finalizada la operación, propuso Galbis la adquisición de un equipo pendular, idéntico al que ya había manejado,

construido en el Instituto Geodésico de Potsdam. Los instrumentos llegaron en el año 1903 y rápidamente se formó la brigada necesaria para emprender la primera campaña de relativas realizada en España, sirviendo de estación de referencia el ya citado pilar del Observatorio del Retiro.

Los trabajos se iniciaron en noviembre de ese mismo año y se ultimaron en febrero del 1904. Los lugares elegidos fueron el Observatorio de San Fernando (Cádiz), el vértice de primer orden Duque (Marbella), el Colegio de los Escolapios en Granada y Baños (Berja), otro vértice geodésico de primer orden situado en la costa almeriense. La elección no fue casual, puesto que Galbis pretendía así seguir las recomendaciones internacionales de buscar emplazamientos en las inmediaciones del litoral. Las campañas sucesivas (1905, 1907) se efectuaron de acuerdo con

el plan previamente establecido por Galbis, quien ya contaba con otro equipo de péndulos debidamente contrastados en Postdam, de acuerdo con las propuestas formuladas a Helmert. Galbis fue liberado de estas responsabilidades gravimétricas en el año 1908, cuando ya se habían sentado las bases del Servicio correspondiente, asentadas luego por Manuel Barandica Ampuero y perfeccionadas años después por Guillermo Sans Huelin, otro Ingeniero Geógrafo particularmente ensalzado por Galbis. Los resultados de las campañas gravimétricas efectuadas por este último, con sus preceptivos estudios previos figuran en las memorias del Instituto Geográfico y Estadístico, aparecidas en los años 1907 y 1918.



Estación gravimétrica de Granada en el año 1905, a la derecha se encuentra el equipo de péndulos

Las actividades sismológicas de Galbis son inmediata continuación de las gravimétricas, las cuales dejó por iniciativa de su tutor Mier Miura, quien acababa de adquirir varios sismógrafos con objeto de que el Instituto Geográfico abordase la investigación sismológica. Tanto Galbis como el Ingeniero Geógrafo Fernando Uriel Dutíes fueron comisionados para buscar emplazamientos de posibles observatorios en las provincias de Toledo, Navarra, Huesca, Alicante, Murcia, Almería y Málaga; procurando que los edificios fuesen cedidos por particulares o por alguna entidad de la administración local, ya que el Instituto no contaba con la correspondiente partida presupuestaria. Sus gestiones fueron tan brillantes como eficaces, ya que, en la Memoria redactada al efecto, en el año 1908, se recoge la siguiente propuesta: : 1º) Establecer una estación central en Toledo en los sótanos del

Station Sismologique  
et  
Météorologique.



Jardin de la Station  
et installations  
de Météorologie.



Sismographe «Bosch-Omori»  
(Deux composantes.)



Sismographe «Vicentini»

del Palacio, en construcción, para la Diputación provincial que tenía un corralillo inmediato; y estaba situado en un borde de la población, alejado del ferrocarril y de las principales carreteras y calles de tránsito. 2º) Otra estación en Alicante, en edificio apropiado que construiría La Junta de Obras del Puerto, a cambio de permitirle trasladar el mareógrafo, que teníamos instalado en los muelles, y les estorbaba. El emplazamiento elegido para la estación sismológica, fue un paseo de la población, con un pequeño jardín próximo. 3º) Otra estación debía instalarse en Almería, a uno o dos kilómetros del casco urbano, en unas alturas, construyendo y cediendo el edificio correspondiente, así como un pequeño terreno alrededor, el Ayuntamiento. 4º) Otra estación se establecería en las alturas al Este de la población de Málaga zona llamada El Limonar, en edificio también construido y cedido al Instituto por el Ayuntamiento, con jardín alrededor.

Galbis participó, junto a Mier, en la compra de los sismógrafos Agamenone, Wiechert y Rebeur-Ehlert, que unidos a los Milne, Vicentini y Bosch, adquiridos antes por Mier, convirtieron a la estación sísmica de Toledo en el Observatorio con la mejor instrumentación del mundo. La proverbial modestia de Galbis explica que mencione, sin apenas darle importancia, la recopilación de datos sísmicos que efectuó y presentó en dos volúmenes: el primero con más de 800 páginas y el segundo con



casi 300. Su catálogo sísmico, sin límite temporal inferior, abarcaba hasta el año 1933 incluido y lo confeccionó en los tres años que duró la guerra civil, apareciendo publicado en el año 1940. Esta crucial aportación de Galbis, el primer catálogo sísmico realizado en España, es una fuente inagotable de información, trascendente e imprescindible para abordar de manera rigurosa los estudios de sismicidad histórica en nuestro país.

Suya fue la idea de crear un «Observatorio Geofísico Central de España que abarcase no solo las observaciones sísmicas y las magnéticas, sino que permitiese iniciar las observaciones de electricidad». Igualmente destacable era su intención de montar allí una Unidad petrológica encargada de la contrastación del instrumental empleado en Geodesia y Topografía. El proyecto de Galbis tuvo tan buena acogida, que llegó a felicitarlo por ello el Director General del Instituto en febrero del año 1933. El inicio de las obras fue tan inmediato que a comienzos del año 1936 estaban prácticamente ultimados los edificios y demás instalaciones. Asimismo conviene añadir que por indicación suya dispuso el referido director que se realizasen las siempre interesantes observaciones ecuatoriales. La estación elegida en el año 1930 fue la montaña Moka en la isla de Fernando Poo, a unos 1800 metros de altitud. Galbis consideraba las electricidades terrestre y atmosférica como otras de las actividades geofísicas que deberían realizarse en su proyectado Observatorio Central. No obstante, la especial incidencia de las segundas en el estudio de las tormentas atmosféricas, le movieron a solicitar la compra de dos registradores Bendorf y un colector de radio, durante su etapa de Director del Centro Meteorológico de Madrid, adscrito en aquella época al Instituto Geográfico. A él se debe asimismo el proyecto de instalación del

CATÁLOGO SÍSMICO

DE LA ZONA COMPRENDIDA  
ENTRE LOS MERIDIANOS 5° E. Y 20° W. DE GREENWICH  
Y LOS PARALELOS 45° Y 25° N.

TOMO I

FORMADO POR  
JOSÉ GALBIS RODRÍGUEZ  
Inspector general de Ingenieros geográficos.  
Coronel de Estado Mayor.



MADRID  
IMPUNTA DE RAMONA VELAZCO, TIENDA DE FRENCO FÉREZ  
Librería, 21.—Teléfono 11181.  
1932

INSTITUTO GEOGRÁFICO Y CATASTRAL

CATÁLOGO SÍSMICO

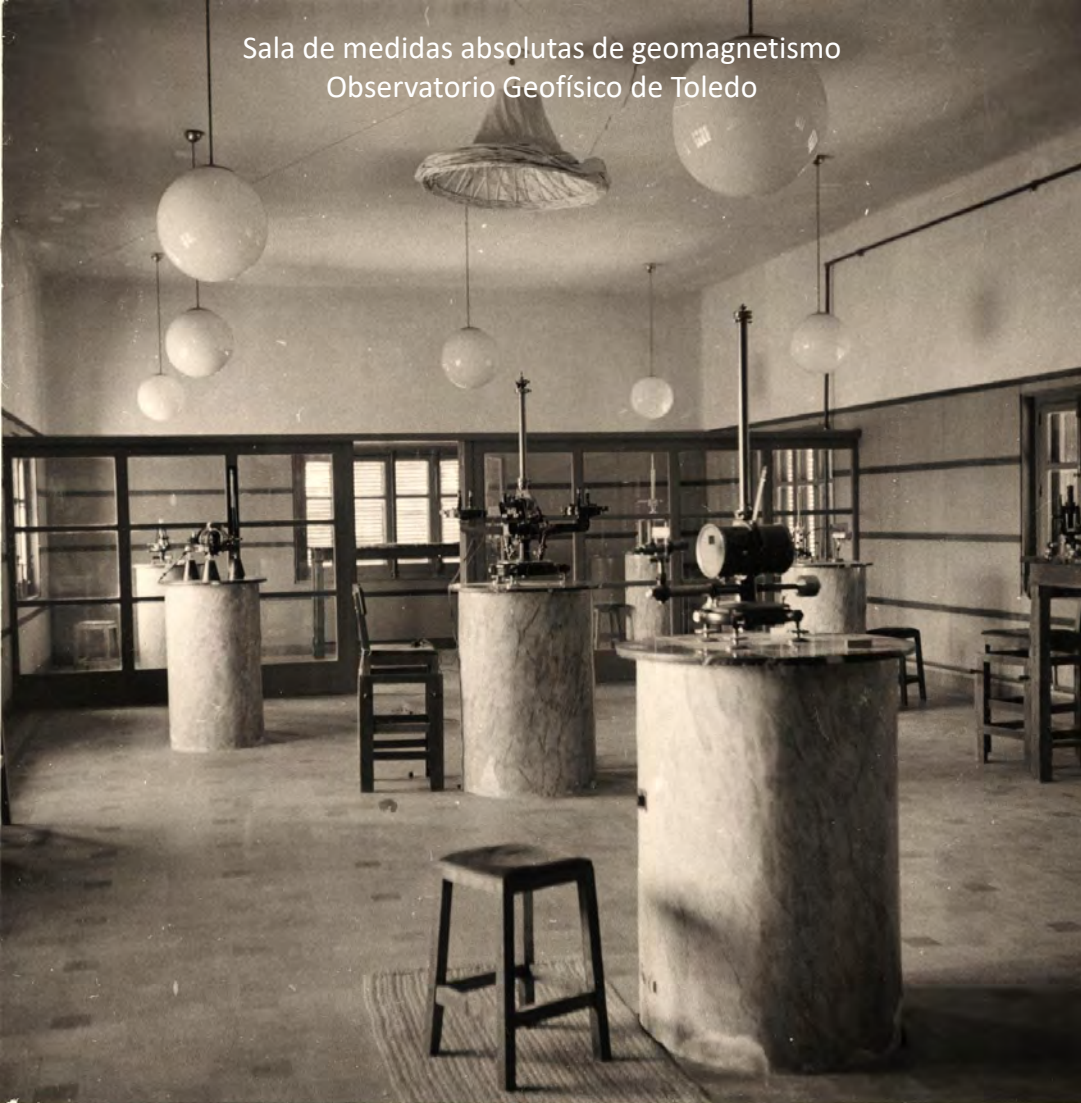
DE LA ZONA COMPRENDIDA  
ENTRE LOS MERIDIANOS 5° E. Y 20° W. DE GREENWICH  
Y LOS PARALELOS 45° Y 25° N.

TOMO II

FORMADO POR  
JOSÉ GALBIS RODRÍGUEZ  
General de Brigada honorario del Cuerpo de Estado Mayor.  
Inspector general de Ingenieros Geográficos.



Sala de medidas absolutas de geomagnetismo  
Observatorio Geofísico de Toledo



cable para el registro de las corrientes telúricas en el, luego llamado, Observatorio de Buenavista. Más adelante se refiere Galbis a la necesidad de contar con un Mapa Geofísico de España, que por supuesto debería de ser formado por el Instituto Geográfico. Es de gran interés la observación que hace al respecto: «....que nunca puede realizar el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas....y sin la creación de nuevos Institutos bajo su dependencia que, en muchas ocasiones, invaden atribuciones de otros ya existentes, con la consiguiente merma de los medios que estos últimos puedan necesitar para la prosperidad de su investigación».

En el citado mapa se expondrían: los resultados de las numerosas observaciones gravimétricas; la situación de los Observatorios sismológicos y la de las zonas sísmicas (incluyendo la posición de los focos correspondientes); las curvas magnéticas de declinación, inclinación y componente horizontal correspondientes a la época

en que se realizaron los trabajos del Mapa provisional; informaciones precisas que definan las fallas activas; las curvas de límites medios de mareas altas y bajas; los registros de los mareógrafos; las altitudes de todos aquellos puntos considerados de interés, etc. Las sabias recomendaciones de Galbis no se verían cumplidas hasta que varios años después se publicaron los capítulos dedicados a la geofísica, dentro de las sucesivas ediciones del Atlas Nacional de España, uno de los productos emblemáticos del Instituto Geográfico Nacional.

El apartado dedicado a la Meteorología es el más completo del testamento laboral, no en vano Galbis tuvo la máxima responsabilidad en esa materia entre los años 1910 y 1921. En él dio las claves de su incorporación a esta disciplina científica: Mier le comunica que le gustaría que fuese un Ingeniero Geógrafo el que cubriera la vacante producida por el fallecimiento de Arcimis, hasta entonces Director del Instituto Central Meteorológico, y él se ofrece sobre la marcha, al ser consciente de la importancia que se le daba a la Meteorología en el extranjero. Su primer nombramiento como Director provisional se produce el 27 de abril del año 1910 y el de Jefe de Servicio definitivo el 1 de enero de 1911, más tarde, el 22 de abril de 1913 fue nombrado por R.O. Jefe del Servicio Meteorológico Español. Durante el mandato de Galbis se sentaron las bases del desarrollo de la Meteorología en

España, baste decir que fue entonces cuando se crearon los Cuerpos de Meteorólogos y de Auxiliares de Meteorología y que cuando se hizo cargo de la misma había tan solo 57 estaciones completas, dejándola en cambio con cerca de 900 de diferentes clases, además de varios observatorios, entre ellos el de Izaña en la isla de Tenerife. Galbis relata con todo lujo de detalles la visita que hizo a la isla a finales del año 1911, en compañía de los Ingenieros Geógrafos Rafael Alvarez Sereix y J. Pedro Mathet Rodríguez, y como tras ella informaron sobre la conveniencia de construir el observatorio de altura en la cumbre Izaña y el de costa en la loma de Ofra, a unos cuatro kilómetros al oeste de Santa Cruz.





# UNIÓN GEODÉSICA Y GEOFÍSICA INTERNACIONAL



25.ª ASAMBLEA  
BO. QVEJO. DE E. PAÑA

MADRID  
OCTVBRE 1924

De entre todas las Asambleas y Congresos a los que asistió, merece seleccionarse la reunión del año 1922, celebrada en Roma por la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica, pues en ella propuso Galbis que la siguiente debía tener lugar en Madrid hacia Octubre de 1924. La idea fue aprobada unánimemente y el Director del Instituto Geográfico nombró a Galbis Presidente de la Comisión organizadora. Unos días antes de la fecha prevista, el 24 de septiembre de 1924, se reunió en Madrid el Comité Ejecutivo de la Sección de Geodesia, integrado en la Unión, resolviendo declarar internacional el elipsoide de Hayford y recomendando su adopción a todos los países miembros, una decisión que resultaría trascendental para la historia de la cartografía topográfica. Las sesiones de la Asamblea, propiamente dichas, tuvieron lugar, entre los días 1 y 8 de octubre, en el Salón del Congreso de los Diputados, cedido por el Gobierno ante la petición de Galbis. El acto de apertura lo presidió el rey Alfonso XII, pronunciando la conferencia inaugural el Director General del Instituto, Luis Cubillo Muro, amigo personal de Galbis y pariente del dictador Primo de Rivera. El día 7 se votó la cuestión planteada por el Comité Ejecutivo, presidido por Bowie, siendo aprobada por mayoría. En honor a la verdad se debe señalar que la Sección española se había decantado, durante las deliberaciones previas, por un elipsoide con el mismo semieje ecuatorial que el de Hayford pero con un aplastamiento ligeramente diferente, igual al deducido por Helmert en el año 1915.

A Galbis le ocurrió lo que a los prohombres, que con demasiada frecuencia tienen ocasión de comprobar como su prestigio internacional es claramente superior al nacional. Prueba evidente de ello es la carta que recibió en el año 1945, procedente de Estados Unidos, firmada por más de veinte científicos americanos (incluidos cinco Premios Nobel). En ella le pedían los nombres de los españoles a los que pudiesen interesar las cuestiones de física nuclear, puesto que pretendían dirigirse a ellos para que abogasen por una política de paz tan necesaria en unos tiempos «en que los avances considerables que se van obteniendo en la construcción de la bomba atómica, aumentan enormemente su potencia, y hacen esperar que las próximas guerras serán horriblemente desastrosas para la humanidad».

El último párrafo del testamento es verdaderamente emotivo: *Creo que este escrito acredita, que he cumplido el deber laboral con el que Dios me trajo a este mundo, pero me inquieta pensar, que no supe orientar mis actividades para hacer dinero, en beneficio del bienestar de mis hijos, a quienes solo dejo un nombre honrado.* El documento original lleva la fecha, 30 de mayo de 1950, y la firma decidida de José Galbis.



Medalla del Cuerpo de  
Ingenieros Geógrafos

## Galileo Galilei (1564-1642)

El sabio del Renacimiento que superó el universo aristotélico, propició el progreso tanto de la física como de la astronomía, y fue el primero en proponer que la observación simultánea de las emersiones e inmersiones de los satélites de Júpiter, desde dos lugares dados, podrían ser usada para determinar con mayor exactitud la diferencia de sus longitudes geográficas. Pasó sus primeros años en Pisa, después se trasladó a Florencia en donde recibiría enseñanza religiosa. Por deseo de su padre, regresó a Pisa en 1581 para que estudiase medicina; aunque Galileo le prestase poca atención a esa carrera en favor de las matemáticas y la filosofía natural, materias en las que lo inició Filippo Fantoni (ca.1530-1591). En el curso 1582-83, Galileo asistió a las clases que dio el matemático Ostilio Ricci en la Universidad de Pisa; dándose la circunstancia de que ambos volverían a coincidir durante ese verano en Florencia. Como Galileo pretendía dejar de lado la medicina, consiguió que Ricci persuadiera a su padre para que lo permitiera; el cual terminó por admitir que estudiase las obras de Euclides y



Arquímedes, que habían sido traducidas por Nicolò Fontana (ca. 1499-1557) (más conocido por Tartaglia), y que abandonara la carrera de medicina en 1585.

En esa época comenzó Galileo a dar clases de matemáticas en Florencia y en Siena, publicando en 1586 su primer trabajo: *La Bilancetta*, en el que refirió sus investigaciones sobre la balanza hidrostática, capaz de obtener los pesos específicos. La base del instrumento son los dos principios de Arquímedes: el hidrostático y el de la palanca. Al año siguiente viajó a roma, para visitar a Clavius, profesor de matemáticas en el celebrado *Collegio Romano* de los jesuitas; al que le comentó algunos de los resultados que había obtenido sobre los centros de gravedad. A continuación, mantuvieron correspondencia sobre esa cuestión, concretándola para el caso de los sólidos (cuyos apuntes había dejado en Roma) y sobre la documentación que probablemente le habría entregado Clavius; el intercambio epistolar, iniciado en torno a 1588, prosiguió durante mucho tiempo. En 1589 ocupó en la Universidad de Pisa la cátedra que había dejado vacante Fontani, permaneciendo en ella tres años. Durante su estancia escribió *De Motu Antiquiora*, una serie de reflexiones sobre la teoría del movimiento que no fueron publicadas hasta el año 1890; rechazando claramente el pensamiento de Aristóteles al ese respecto. La obra es de interés histórico por contener la primera referencia de Galileo a la teoría del péndulo, observando que los cuerpos más pesados continúan oscilando más tiempo que los livianos.



LA BILANCETTA<sup>37</sup>  
DEL SIGNORE  
GALILEO GALILEI  
Nella quale, ad imitatione d'Archimede nel Problema della Corona, s'infegna à trouare la proportione del mito di due Metalli insieme, e la fabrica dell'istesso strumento.

**S** come è assai noto à chi di leggere gli antichi scrittori cura si prende hauer Archimede ritrouato il furto dell'Orfice, nella corona di Hierone, così parmi sinhor a ignoto il modo, che si giand'huomo Usar douesse in tal ritrouamento; atteso che il credere, che procedesse col metter tal corona dentro l'acqua hauendou

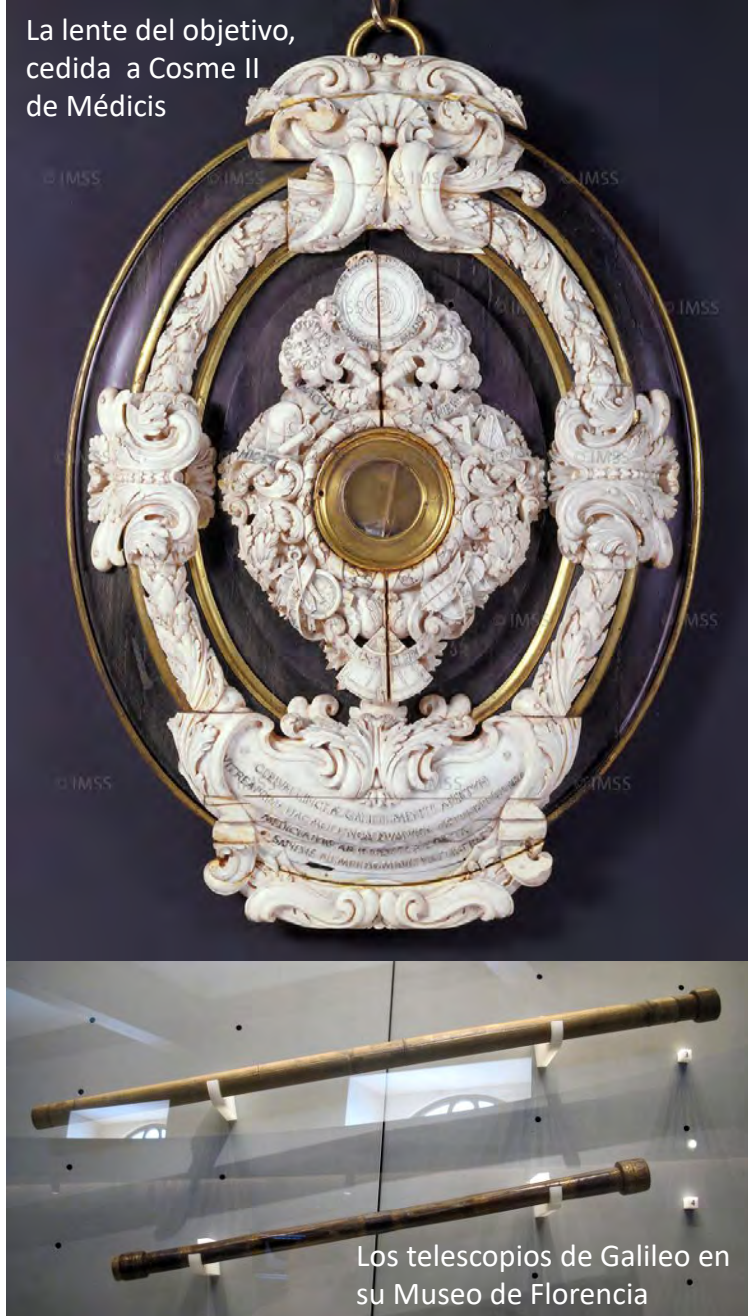


Galileo Galilei y Paolo Sarpi

En 1591 falleció el padre de Galileo y tuvo que buscar otro puesto de trabajo que le permitiera sostener al resto de la familia, pues el de Pisa no estaba bien remunerado. Con la ayuda del matemático Guidobaldo Del Monte (1545 -1607), consiguió una plaza de profesor de matemáticas en la Universidad de Padua (1592), con un sueldo triple del que recibía en Pisa; en ella permaneció dieciocho años , que él mismo calificó como los mejores de su vida. Sus enseñanzas se centraban principalmente en la geometría euclidiana y en la astronomía clásica, aunque la aparición de la supernova del año 1604 (la llamada estrella de Kepler) le sirvió de apoyo para criticar las tesis aristotélicas (todos los cambios en los cielos ocurrían en la región lunar próxima a la Tierra) sobre la inmutabilidad de la esfera de las fijas; Galileo demostró que dicha estrella no podía estar cerca de la Tierra, usando argumentos paralácticos. En el mes de mayo de 1609, recibió Galileo una carta de su amigo Paolo Sarpi (1556-1623), un fraile de la orden de los servitas con gran predicamento en la corte de Venecia, en la que le habló de un anteojo que le había mostrado un holandés. La noticia le interesó sobremanera, a tenor de como se refirió a ella en su obra *Sidereus Nuncius*, recordando además que el francés Jacques Badovere (ca1575-ca.1620) también le había comentado algo a ese respecto, y que a raíz de entonces iba a intentar construir un instrumento similar.



Así procedió, y tras varios intentos consiguió pulir sus propias lentes y en agosto de 1609 ya dispuso de un telescopio de casi 10 aumentos, al que llamó *perspicillum*; Sarpi, que estaba al tanto de todos los avances de Galileo, organizó una reunión con los senadores venecianos para que este les mostrase las posibles aplicaciones del instrumento. La demostración fue tan efectiva, que Galileo cedió todos los derechos al Senado de Venecia para la fabricación de su telescopio, percibiendo a cambio un sustancioso aumento de sueldo. A finales de ese año ya había realizado las observaciones que abrieron las puertas del universo y cuyos resultados fueron publicados en el año 1610 en su obra *Sidereus Nuncius* ya citada. En ella afirmaba que había visto montañas en la Luna, que la Vía Láctea estaba formada por numerosas estrellas y que había visto cuatro nuevos astros girando en torno a Júpiter, a los que bautizó como *Medicea Sidera* o *Pianeti Medicei*; como homenaje a los hermanos Medici (Cosimo, Francesco, Carlo y Lorenzo). En la actualidad son conocidos con los nombres de *Io*, *Europa*, *Ganimedes* y *Calisto*; una denominación propuesta en su momento por el astrónomo alemán Simon Marius (1573-1624). Cosimo, o Cosme, quedó tan impresionado que nombró a Galileo Director de Matemáticas en la Universidad de Pisa y Matemático Filósofo de su corte, al mes de haberse publicado el libro anterior. En 1611 viajó a Roma, gozando ya del prestigio suficiente como para ser invitado en el *Collegio Romano*, para celebrar sus descubrimientos. El 25 de diciembre de ese mismo año ingresó en la *Accademia dei Lincei*, un honor que mostraba con legítimo orgullo, al firmar como *Galileo Galilei Linceo*.



La lente del objetivo,  
cedida a Cosme II  
de Médicis

Los telescopios de Galileo en  
su Museo de Florencia

# SIDEREVS NUNCIVS

MAGNA, LONGEQVE ADMIRABILIA  
Spectacula pandens, suspiciendaque proponens  
vnicuique, præsertim verò

PHILOSOPHIS, atq; ASTRONOMIS, qua à  
GALILEO GALILEO  
PATRITIO FLORENTINO

Patauini Gymnasij Publico Mathematico

PERSPICILLI

Nuper à se reperti beneficio sunt observata in LUNÆ FACIE, FIXIS IN  
NUMERIS, LACTEO CIRCVLO, STELLIS NEBVLOSIS,

Apprime verò in

QVATVOR PLANETIS

Circa IOVIS Stellam disparibus intervallis, atque periodis, celeri-  
tate mirabili circumuolutis; quos, nemini in hanc vsque  
diem cognitos, nouissimè Author depræ-  
hendit primus; atque

## MEDICEA SIDERA

NVNCVPANDOS DECREVIT.



VENETIIS, Apud Thomam Baglionum. M D C X.

Superiorum Permissu, & Privilegio.

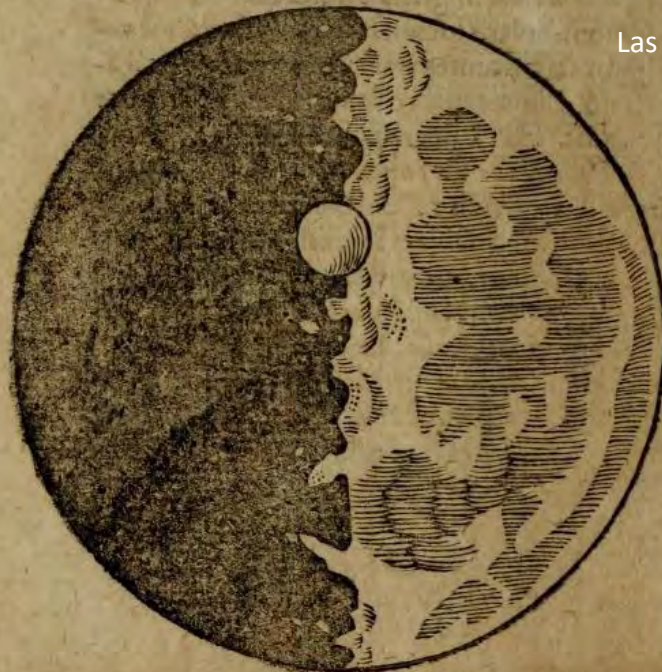
M VIII. 22. 1A.

### 16 OBSERVAT. SIDEREÆ

scatēt: adeo vt si quis veterē Pythagoreorū sentē-  
tiam exsuscitare velit, Lunam scilicet esse quasi Tellurem  
alterā, eius pars lucidior terre: a superficiē, obscurior vero a-  
que a magis congrue representet: mihi aut̄ dubiū fuit nunquā  
Terrestri globi a lōge conspēti, atq; a radiis Solarib. perfusi,  
terreā superficiē clariorē, obscuriorē vero aqueam se se in con-  
spēctū datū. Depressiores insuper in Lunacernun-  
tur magnæ maculæ, quam clariores plagæ: in illa  
enim tam crescente, quam decrescēte semper in  
lucis tenebrarumq; confinio, prominente hinc  
inde circa ipsas magnas maculas contermini lu-  
cidioris, veluti in describendis figuris obseruau-  
imus, neq; depressio est tantū modo sunt dictarum  
macularū termini, sed æquabiliores, nec rugis, aut  
asperitatib. interrupti. Lucidior verò pars maxime  
ppe maculas eminet, adeo vt & ante quadraturā  
primā, & in ipsa ferme secunda circa maculā quā-  
dā, superiorē, borealē nēpe Lunæ plagā, occupatē  
valde attollantur tā supra illā, q̄ infra ingētes quā-  
dam eminētia, veluti appositæ pferūt delineationes.



Las Montañas de la Luna



# ISTORIA E DIMOSTRAZIONI

INTORNO ALLE MACCHIE SOLARI  
E LORO ACCIDENTI

COMPRESSE IN TRE LETTERE SCRITTE  
ALL' ILLVSTRISSIMO SIGNOR

MARCO VELSERI LINCEO

D. V. M. VIRO D. AVGVSTA

CONSIGLIERO DI SVA MAESTA CESAREA

DAL SIGNOR

GALILEO GALILEI LINCEO

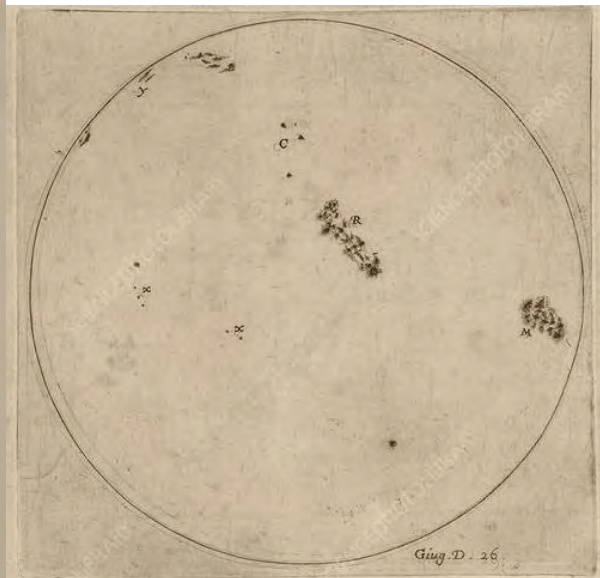
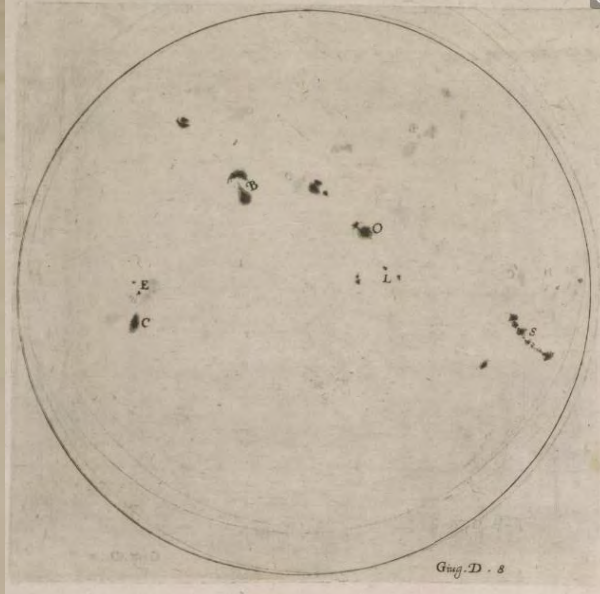
Nobil Fiorentino, Filosofo, e Matematico Primario del Serenissi.

D. COSIMO II. GRAN DVCA DI TOSCANA.



IN ROMA, Appresso Giacomo Mascardi. MDCXIII.

CON LICENZA DE' SVPERIORI.



Tanto en Roma, como luego en Florencia, continuó realizando observaciones astronómicas que le permitirían corregir, en 1612, los periodos de rotación de los satélites de Júpiter alrededor del planeta; llegando a tener en cuenta los efectos derivados de la traslación de la Tierra alrededor del Sol. Además, observó también el planeta Saturno, el 25 de julio de 1610, notando ciertas protuberancias a ambos lados del disco del planeta; un fenómeno que llegó a desconcertarlo, pues cambiaban de forma y llegaban a desaparecer (téngase en cuenta que al observar con un telescopio de tan pocos aumentos no pudo distinguir el sistema de anillos). También comprobó que el planeta Venus, como la Luna, mostraba fases; deduciendo que debería girar en torno al Sol y no alrededor de la Tierra. Otras observaciones les permitieron comprobar la existencia de las manchas solares, a las que se refirió en su libro *Istoria e dimostrazioni intorno alle*

*macchie solari e loro accidenti comprese in tre lettere* (1613); desechando pronto la idea de que fuesen una ilusión óptica o planetas girando en torno al Sol, ya que la forma de las mismas era variable.

Los primeros informes sobre Galileo a la Inquisición se produjeron a raíz de una pequeña controversia que tuvo con el monje Benedetto Castelli (1577-1643), que había sido alumno suyo y que luego lo sustituiría como profesor de matemáticas en la universidad de Pisa. Castelli, defensor del modelo de Copérnico como su maestro, explicó a los Medici (diciembre de 1613) las aparentes contradicciones entre dicho modelo y la biblia, informando después a Galileo de lo bien que le había ido. No obstante, este le contestó comentándole que las sagradas escrituras deberían interpretarse a la luz de la ciencia; la carta de Galileo no tardó en ser enviada a la inquisición de Roma, por alguno de sus enemigos florentinos, sin que el tribunal encontrase culpa alguna en su contenido. En esa época, el cardenal jesuita Roberto Belarmino (1542-1621), como inquisidor responsable de la posible controversia, pensaba que la teoría propuesta por Copérnico era una propuesta matemática que no amenazaba al modelo cristiano del universo. No obstante, en el año 1616, Galileo escribió una carta a Cristina de Lorena, *Lettera a Madama Cristina di Lorena granduchessa di Toscanaen*, la que se pronunciaba sobre la conveniencia de no interpretar literalmente los textos sagrados, cuando entraran en contradicción con los hechos demostrados por las ciencias matemáticas. Galileo fue taxativo, para él la teoría de Copérnico no era una mera posibilidad sino una realidad física: « sostengo que el



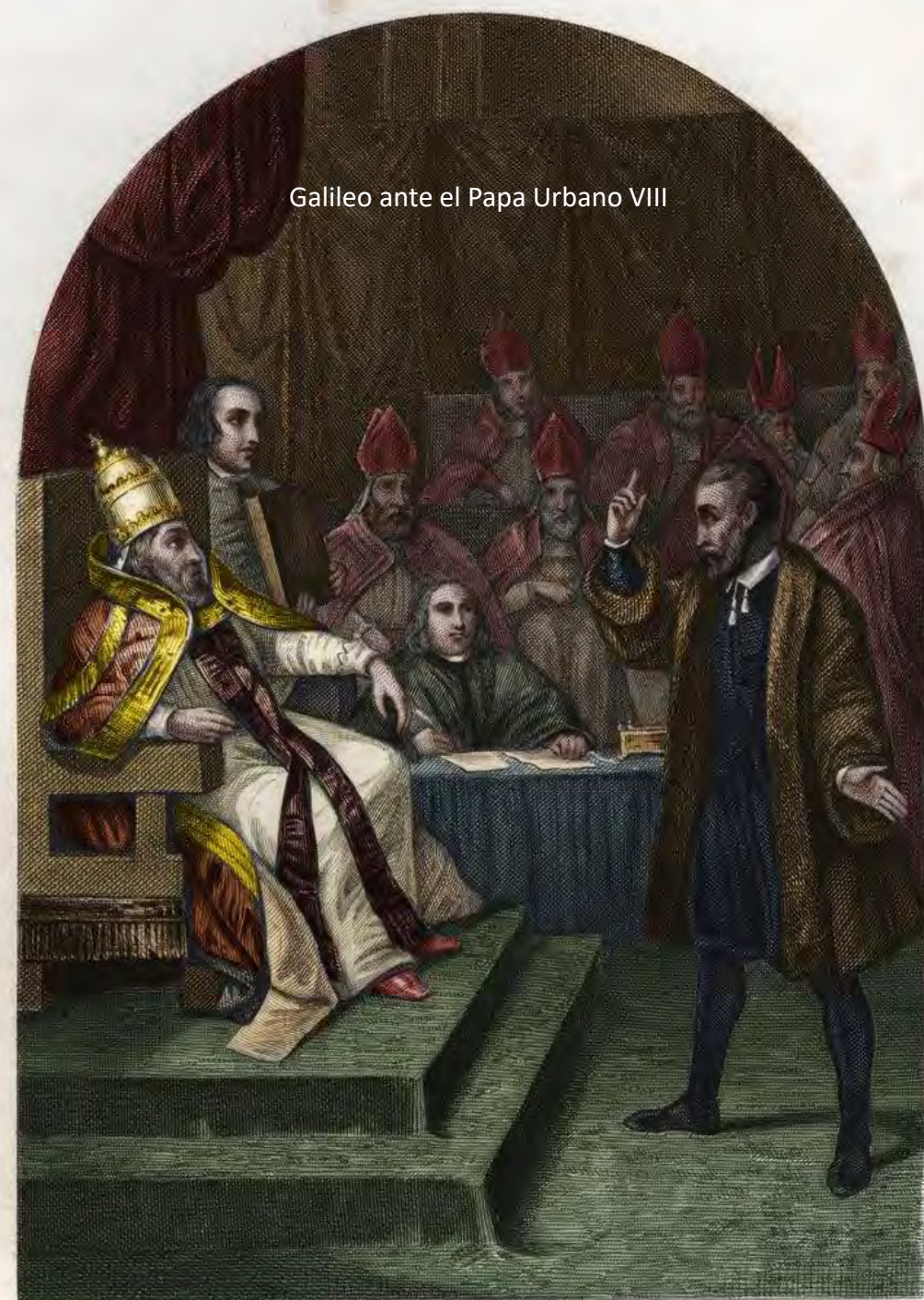
Cristina de Lorena  
(1565-1637)



Sol está situado en el centro de las revoluciones de los orbes celestes y no cambia de lugar, y que la Tierra gira sobre sí misma y se mueve alrededor de él. Además... confirmo esta opinión no sólo refutando los argumentos de Ptolomeo y Aristóteles, sino también presentando otros muchos, especialmente algunos relacionados con efectos físicos,... y otros descubrimientos astronómicos, que refutan claramente el sistema ptolemaico y concuerdan admirablemente con esta otra posición y la confirman». La reacción del papa Pablo V (1552-1621) no se hizo esperar, pues ordenó a Belarmino que la Inquisición se pronunciara con igual claridad sobre el nuevo modelo heliocéntrico del universo. Contando con el asesoramiento de varios teólogos, condenaron las propuestas de Copérnico y se le hicieron saber a Galileo, a fin de que dejase de defenderlas; aunque es probable que su preocupación fuese menor a raíz del nombramiento del papa Urbano VIII, en el año 1621. En efecto Matteo Barberini (1568-1644), que así se llamaba el nuevo papa, era admirador de la obra de Galileo, correspondiéndole este con la dedicatoria de su libro *Il Saggiatore*, publicado por la *Accademia dei Lincei* en 1623. En él se describía el nuevo método científico de Galileo, a la vez que

Se hacía una seria advertencia: el abierto a nuestra comprensión, pero puede resultar incomprensible si no se entiende antes el lenguaje matemático con el que está escrito y que no es otro que el de las matemáticas, compuesto por caracteres como triángulos, círculos y otras figuras geométricas; sin él es como si uno se encontrase perdido dentro de un oscuro laberinto.

El papa recibió a Galileo en varias ocasiones, haciéndole creer que la Iglesia no se opondría al modelo heliocéntrico de Copérnico, siempre que lo presentase como hipótesis y no como una verdad fehaciente. Con esa confianza comenzó a escribir su *Dialogo*, una tarea que le llevó seis años; aunque solicitó el permiso de Roma para su publicación, al final recibió el de Florencia en el año 1632. En un principio, Galileo quiso titularlo Diálogo sobre la bajamar y el flujo de los mares, al pensar que ese era el origen del movimiento de la Tierra; aunque se le ordenó suprimir cualquier mención a las mareas, que tratase de explicarlo bajo el prisma de la física. Al final, el título fue un tanto farragoso, *Diálogo di Galileo Galilei Linceo, matematico sopraordinario dello studio di Pisa...* seguido de un largo subtítulo, uno de cuyos párrafos fue incluido en el nombre por el que ahora es conocido: *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo Tolemaico, e Copernicano*. Es sabido, que en el diálogo intervienen tres personajes: Salviati (el propio Galileo), Sagredo (que analiza ingenuamente la astronomía) y Simplicio (tradicionalista ingenuo e incapaz de aceptar la realidad); aunque alcanzó una gran difusión, desató una gran polémica, máxime cuando al terminar el libro, Simplicio hizo una afirmación que venía a coincidir con la recomendación papal.



# DIALOGO

DI  
GALILEO GALILEI LINCEO

MATEMATICO SOPRAORDINARIO

DELLO STUDIO DI PISA.

*E Filosofo, e Matematico primario del*

SERENISSIMO

GR. DVCA DI TOSCANA.

Doue ne i congressi di quattro giornate si discorre  
sopra i due

MASSIMI SISTEMI DEL MONDO  
TOLEMAICO, E COPERNICANO;

*Proponendo indeterminatamente le ragioni Filosofiche, e Naturali  
tanto per l'vna, quanto per l'altra parte.*

CON PRI



VILEGI.



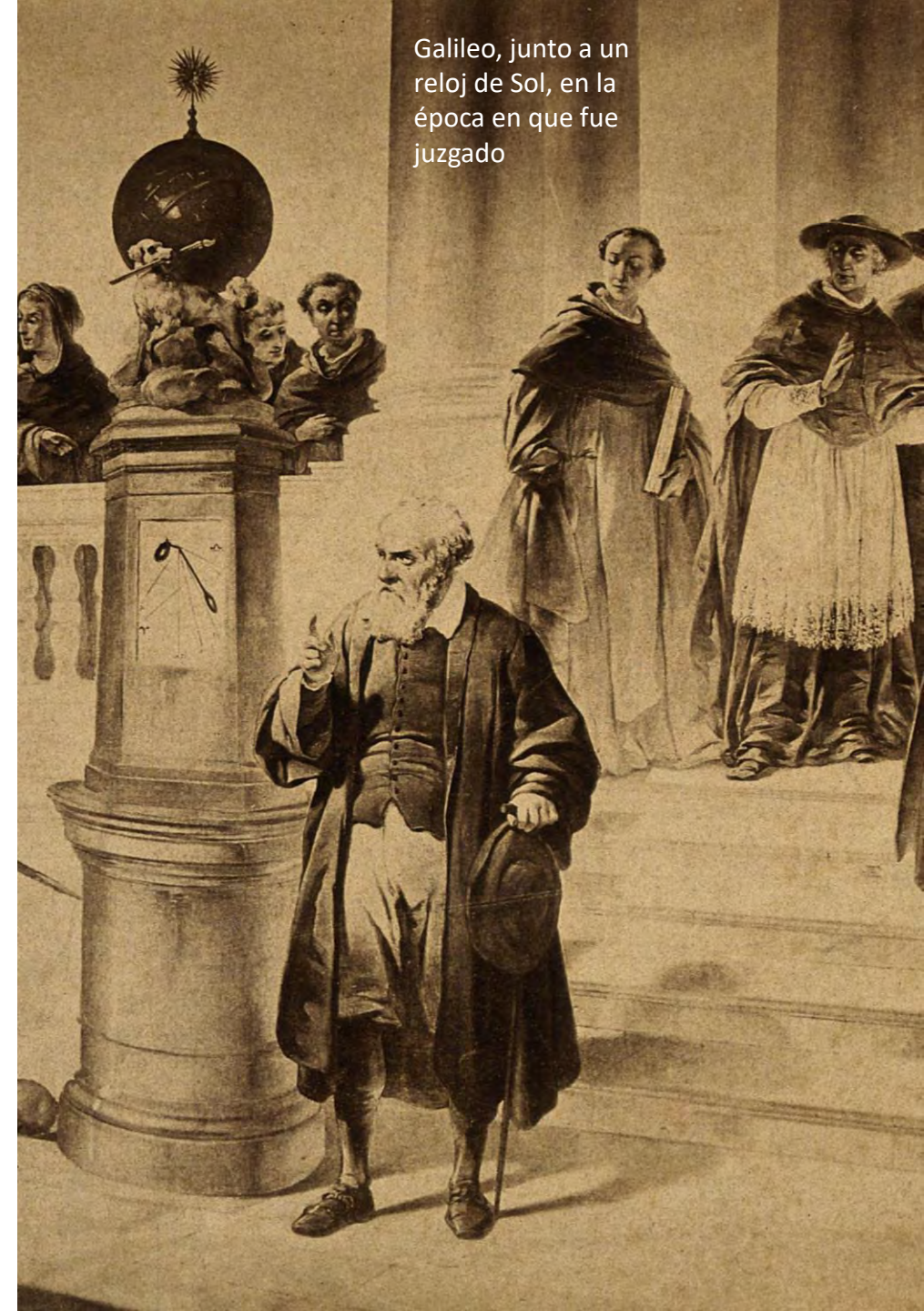
IN FIORENZA, Per Gio:Batista Landini MDCXXXII.

CON LICENZA DE' SUPERIORI.



Frontispicio →

La reacción de la Inquisición fue prohibir la venta de la obra y enjuiciar a Galileo. Después de varias dilaciones por su delicado estado de salud, el día 12 de abril de 1633 se presentó ante el tribunal y negó que, en el *Dialogo*, defendiera el copernicanismo. El proceso continuó, con interrupciones en los meses siguientes, hasta que el 22 de junio le fue leída la sentencia firmada por siete de los diez cardenales del Santo Oficio; siendo entonces cuando se vio obligado a abjurar de su opinión sobre el movimiento de la Tierra. Tan lamentable experiencia debió ser para él lo más desagradable de todo el proceso, porque se pretendió humillarlo cuando estaba próximo a cumplir los 70 años. A pesar de ello fue condenado a un arresto domiciliario perpetuo, una injusticia que pesó sobre la jerarquía eclesiástica hasta que el 31 de octubre de 1992, día en que el Papa Juan Pablo II reconoció el error cometido y reivindicó la figura científica de Galileo. El análisis de tan triste suceso, después de tantos años, no puede ser ajeno a los condicionamientos impuestos por una época complicada, en la que los jesuitas llegaron a señalar que el reconocimiento de la hipótesis heliocéntrica podría acarrear para la doctrina de la Iglesia consecuencias tan graves como las causadas por Lutero y Calvino.



Galileo, junto a un reloj de Sol, en la época en que fue juzgado



Galileo ante la Inquisición



68.3.D.17  
DISCORSI  
E  
DIMOSTRAZIONI  
MATEMATICHE,  
*intorno à due nuoue scienze*  
Attenenti alla  
MECANICA & i MOVIMENTI LOCALI,  
*del Signor*  
GALILEO GALILEI LINCEO,  
Filosofo e Matematico primario del Serenissimo  
Grand Duca di Toscana.  
*Con una Appendice del centro di gravità à alcuni Solidi.*



IN LEIDA,  
Appresso gli Elsevirii. M. D. C. XXXVIII.

*Dedicatoria*

*Allo Illustrissimo Signore,*  
IL SIGNORE

CONTE DI NOAILLES:

Configlier di S. M<sup>te</sup> Christianissima : Cavalier dell'Ordine di S<sup>o</sup> Spirito : Mariscalco de' fuoi Campi & Efferciti : Siniscalco & Gouvernatore di Roerga, & Luogotenente per S. M<sup>te</sup> in Ouergna: Mio Signore & Padrone Colendissimo.

*Illustrissimo Signore,*

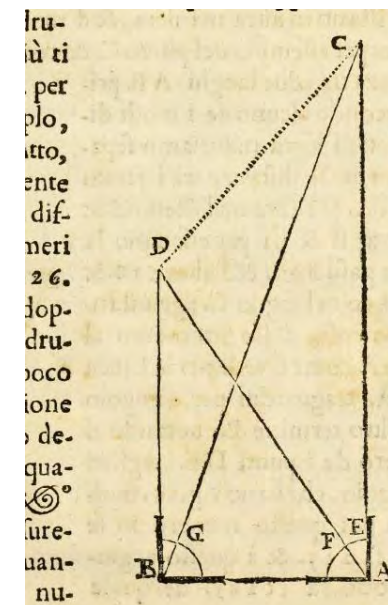
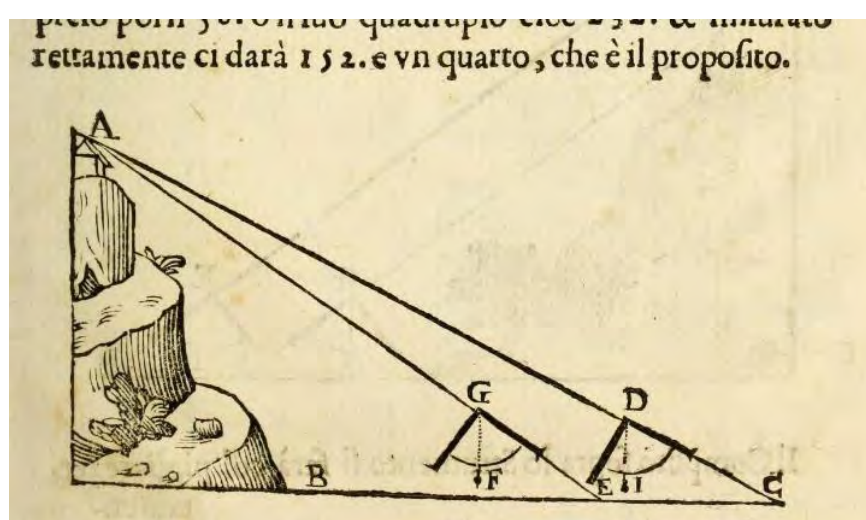
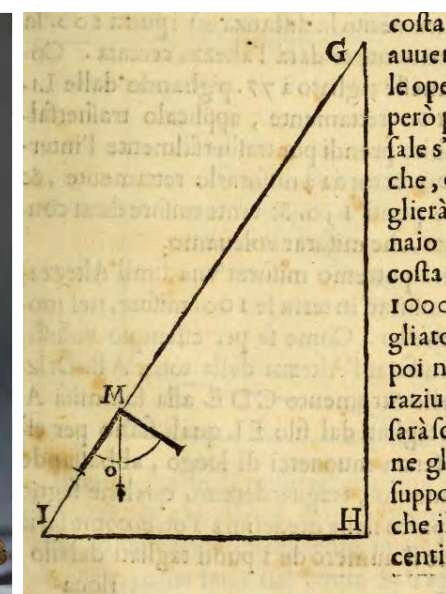
**R**iconosco per vno effetto della Magnanimità di V. S. Illustrissima, quanto gli è piaciuto disporre di questa Opera mia; non ostante che (come ella sà) confuso & sfigorrito da i mal fortunati successi di altre mie Opere, hauendo meco medesimo determinato, di non esporre in publico, mai più, alcuna delle mie fatiche, mà solo, acciò del tutto non restassero sepolte, essendomi persuaso di lasciar-

Galileo vivió el resto de su vida en una casa (Villa Il Gioiello) de Arcetri, un pueblo al Sur de Florencia. Afortunadamente sus guardianes le permitieron enseñar a sus alumnos, proseguir sus estudios y recibir visitas, destacando la que le hizo el gran poeta inglés John Milton (1608-1674) en 1638. La situación de Galileo junto al prestigio que había ido acumulando, lo convirtió en una especie de mártir científico, cuyas obras continuaron difundándose por Europa. Allí escribió su último libro, *Discorsi e dimostrazioni*



*matematiche intorno a due nuoue scienze attenenti alla meccanica e i movimenti local*, en el que se resumieron las aportaciones físicas de los treinta años previos; haciendo que la mecánica sustituyera por fin a la doctrina aristotélica. Aunque no se pudo publicar en Italia, si logró que lo hiciera en Leiden (1638), la editorial de la familia Elzevir. Una vez más, Salviati, Sagredo y Simplicio conversaron y debatieron, pero parecían mayores, más tranquilos, menos conflictivos... y Simplicio parecía haber aprendido más matemáticas. El libro fue dedicado al conde François de Noailles (1584-1645), que había sido alumno de Galileo en la Universidad de Padua, embajador de Francia en Roma; el cual sería luego uno sus mayores protectores, logrando que la editorial holandesa publicase la que sería una de las obras fundamentales del sabio pisano.

Otra de las facetas de Galileo que conviene recordar es la de constructor de instrumentos matemáticos. En el año 1597 ya había diseñado su famoso compás de proporción, presentado en el libro *Le Operazione del Compasso Geometrico et Militare* (1606), varias veces reeditado. El instrumento se componía de dos tiras rectangulares unidas articuladas mediante un pivote circular, cuyas caras (anterior y posterior) llevaban grabadas diversas escalas, a ellas se unía un cuadrante circular graduado, también con varias escañas. Una de las tiras llevaba en su extremo una abrazadera que aseguraba la verticalidad del instrumento. Del pivote central colgaba una plomada que servía de índice para efectuar las lecturas correspondientes sobre el sector circular. Las aplicaciones del instrumento eran múltiples, ya que además de ser antecedente directo de la *regla de cálculo*, también podía emplearse en variados problemas topográficos; algunos de ellos resueltos e ilustrados con las figuras correspondientes en la última parte del libro (tras el epígrafe *Diversi modi per misurar con la Vista*): medida de alturas, pendientes y hasta distancias entre dos puntos inaccesibles (realizando una doble intersección directa).

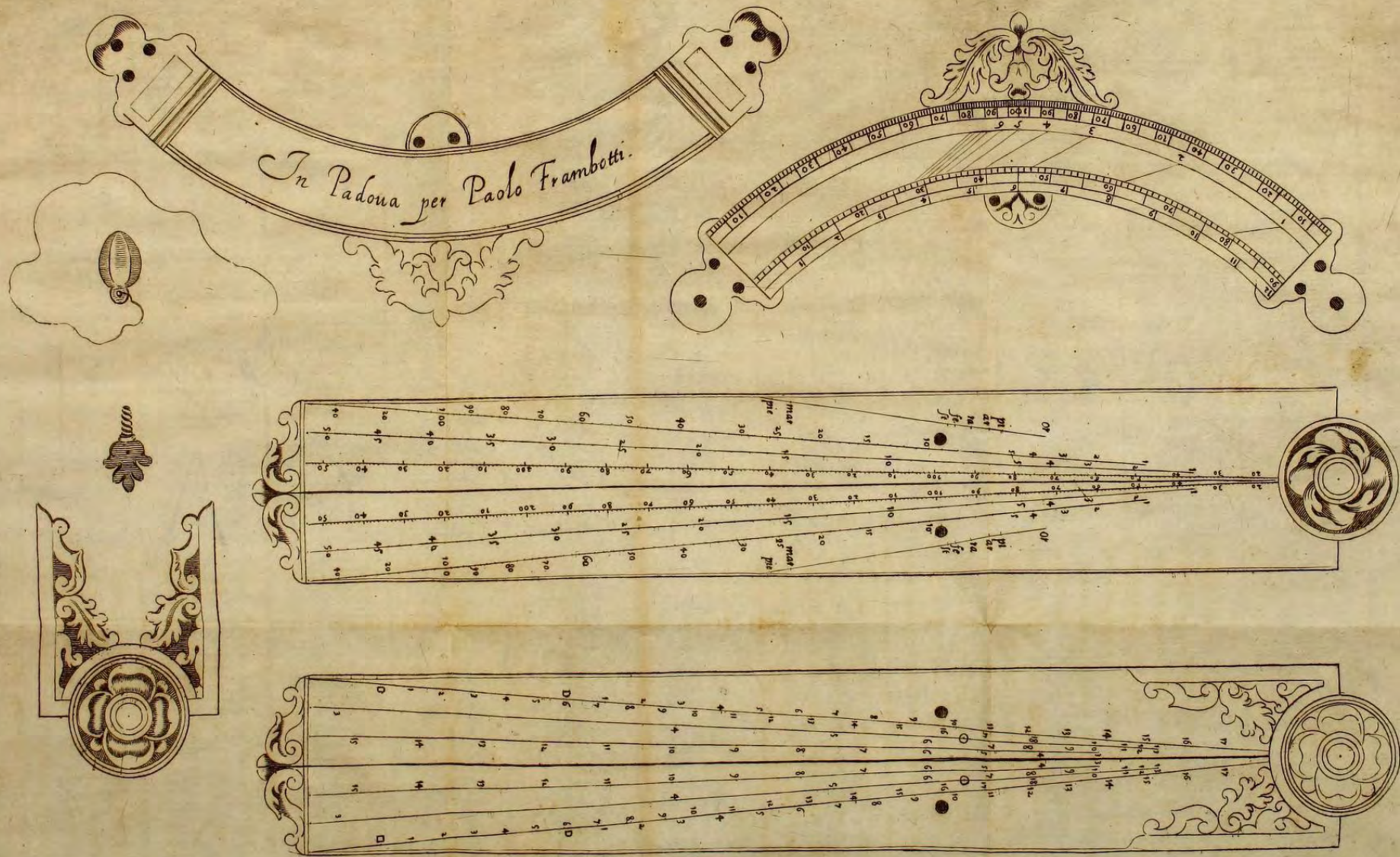


... colta  
auuer  
le ope  
però p  
fale s  
che, c  
glierà  
naio  
costa  
1000  
gliato  
poi n  
raziur  
farà fe  
ne gl  
suppo  
che il  
centi

... tru-  
... à ti  
... per  
... plo,  
... tto,  
... ente  
... dif-  
... neri  
... 26.  
... dop-  
... dru-  
... oco  
... one  
... de-  
... qua-  
... 0°  
... ure-  
... uan-  
... nu-

... pto pom y ... quadruplo ... & ...  
rettamente ci darà 152. e vn quarto, che è il proposito.

... Diversi modi per misurar  
con la Vista): misura de alturas, pendientes y hasta distancias entre dos puntos inaccesibles (realizando una doble  
intersección directa).



LAS COMPONENTES DEL COMPÁS DE GALILEO (1606)



Otro de los instrumentos ideados por Galileo, menos conocido que el anterior, fue el *celatone*: una especie de casco metálico, con un antejo incorporado, proyectado para observar los eclipses de los satélites de Júpiter (la inmersión del comienzo o la emersión del final). Con su empleo pretendió solucionar el problema secular del cálculo de la longitud: ya que observando el fenómeno astronómico en un instante dado y de manera simultánea desde dos puntos dados, la diferencia de longitudes entre ambos coincidiría con la diferencia de las horas locales respectivas. Es probable que lo diseñara para participar en el concurso convocado por el rey de España en 1616 para dotar al *descubridor de la longitud* con una pensión indefinida de 8000 ducados. En su participación incluyó la descripción del *celatone*, a través del antejo, el operador veía con uno de sus ojos al satélite y con el otro al planeta. La

propuesta de Galileo fue rechazada por considerarla poco operativa para la navegación. Todo lo contrario, ocurrió en tierra firme, donde la observación simultánea de los eclipses de tales satélites permitió comprobar de inmediato la falsedad de algunos mapas considerados hasta entonces como paradigmáticos. El impacto fue tan importante que, a partir del año 1650, el método recomendado por Galileo era reconocido universalmente como el que lograba mejores resultados en las aplicaciones cartográficas terrestres; a él se debe, en cierto modo, el empuje necesario para que se produjera el posterior desarrollo de esa disciplina.

Júpiter y los cuatro satélites galileanos



Registro de las observaciones de Júpiter y sus satélites, efectuadas por Galileo entre enero y febrero de 1610

30

Adi 7. di Gennaio 1610 Giove si vedeva in C. Carbone & 3. stelle fisse con \* \* \* \* \* delle quali restò il comune miuno si vedeva. <sup>ori: \*</sup> a d. d. appariva con \* \* \* \* \* era dug diretto et no retrogrado come s'opona i calculatori.

Adi 9. si rugolo. a d. i. si vedeva con \* \* \* \* \* cio è d. giuto d. la più occidentale si che si occultava signato si può credere.

Adi 11. era in questa guisa \* \* \* \* \* et la stella più vicina a Giove era l'ultima minore dell'alba, et vicinissima all'altra come che le altre pare erano le dette stelle apparse tutte tre di equal grandezza et tra di loro equalm. lontane; dal che appare intorno a Giove esser 3. altre stelle errati invariabili ad ogni uno sino a questo tempo.

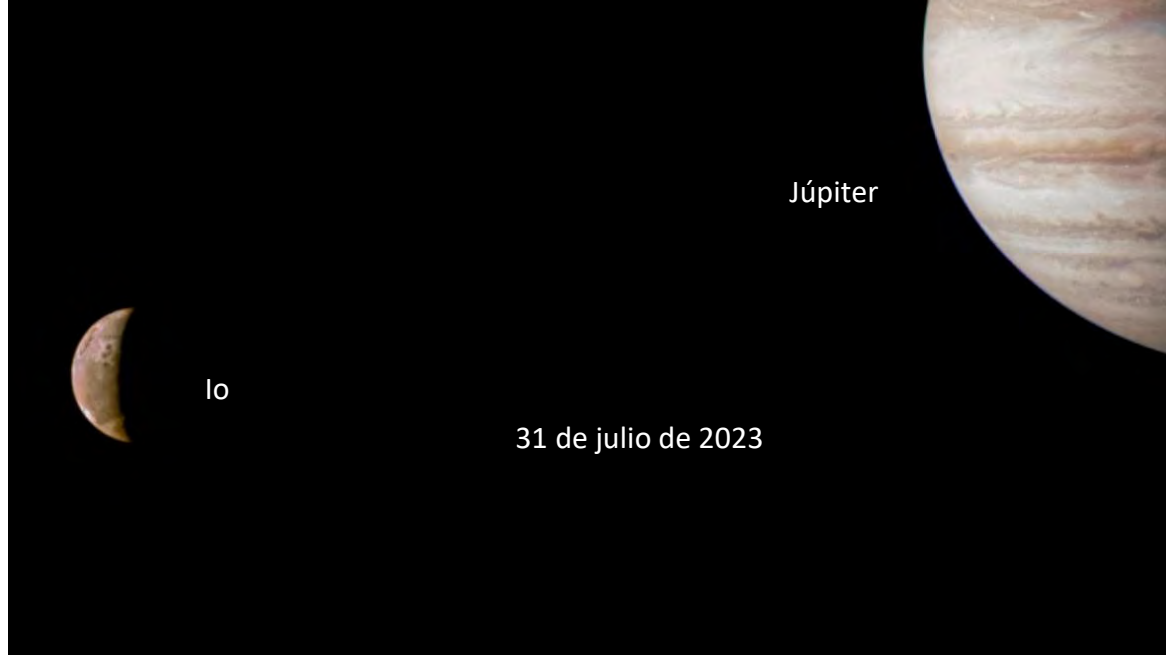
Adi 11. si vedde in tale costituzione <sup>ori: \*</sup> \* \* \* \* \* era la stella occidentale poco minor della orientale, et giove era il mezzo lontano tra l'una et dall'altra quasi il suo diametro & arred: et forse era una stella fucida et vicinissima a 7. verso oriente; anzi pur in era veramp. haverso io la più di questa osservato, et molto più imbrunita la notte.

Adi 13. havendo beniss. formato lo strumento si vedono vicinissimi a Giove 4. stelle in questa costituzione \* \* \* \* \* o meglio così \* \* \* \* \* a tutte appaiono della medesima grandezza, lo spazio delle 2. occidentali no era maggiore del diametro di 7. et erano tra di loro notabilm. più vicine che le altre sere; ne erano in linea retta equidistanti come si avia ma la media delle 3. occidentali era un poco elevata, o vero più occidentale alquanto depressa; sono queste stelle tutte molto lucide et fucidissime et altre, fise et appaiono della medesima grandezza no sono con splendore.

Adi 14. si rugolo. Adi 15. era con \* \* \* \* \* la pross. a 24. era la minore et le altre di mano è meno maggiori: gli interstitij tra 24. et la 3. seguenti erano, quasi il diametro di 7. ma la 4. era di tante dalla 3. il doppio circa; no facevano iteram. linea retta ma come mostra l'esempio, erano al solito lucidissime che più le, et niente sembravano come due fucide.

Me: 2. 30  
1. 17  
1. 17

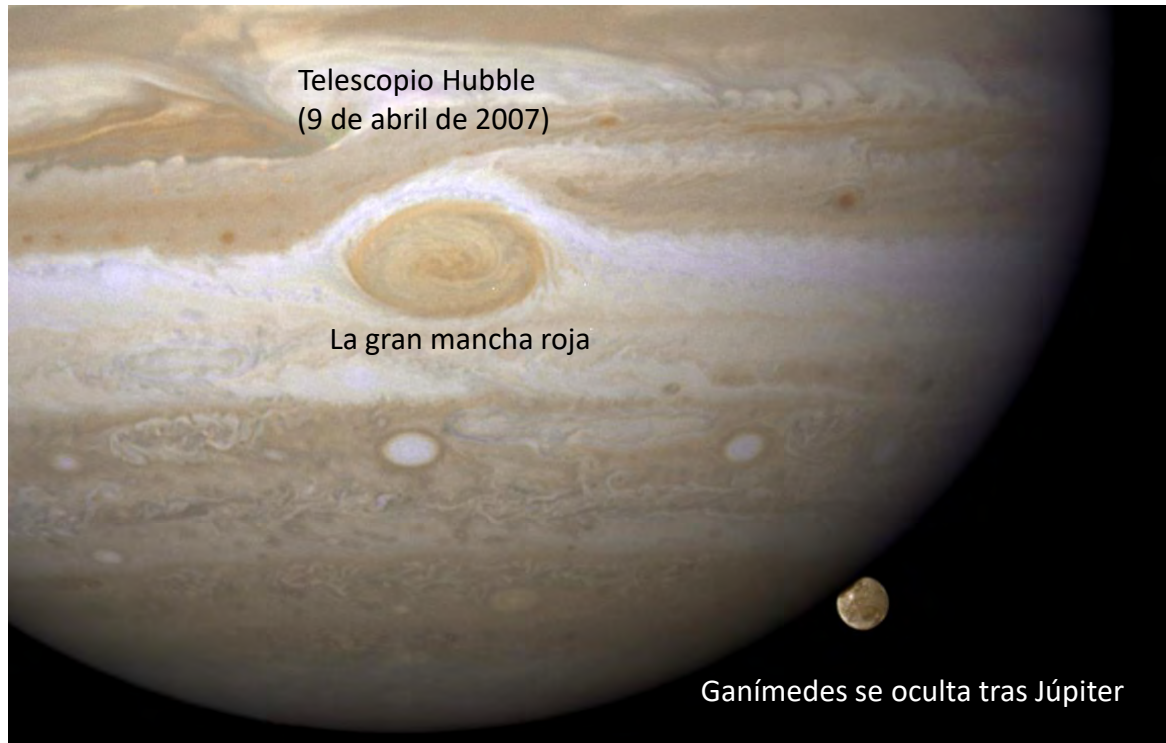
Long. 71. 38. Lat. 1. 13.



Júpiter

Io

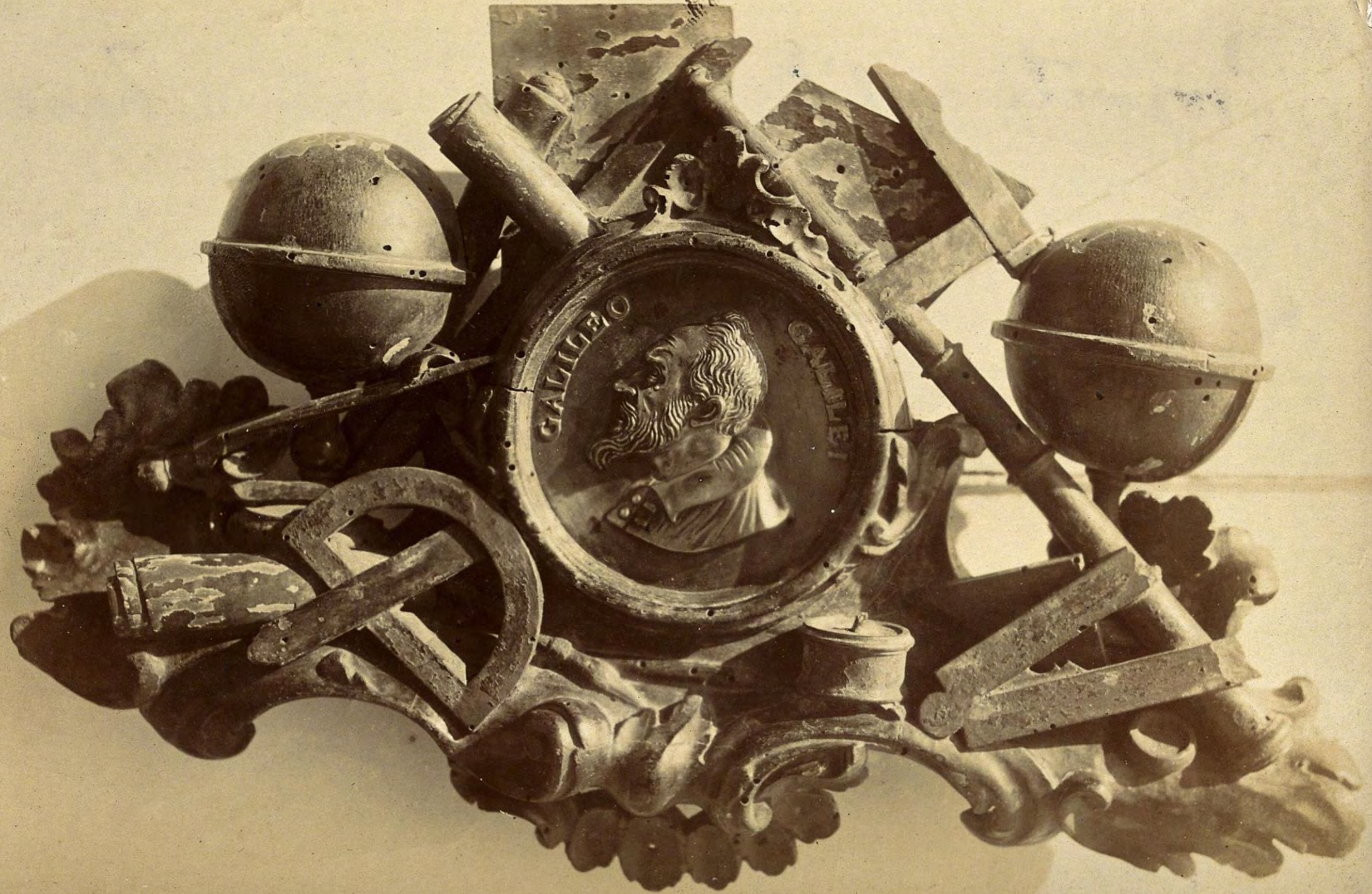
31 de julio de 2023



Telescopio Hubble  
(9 de abril de 2007)

La gran mancha roja

Ganímedes se oculta tras Júpiter





## Johann Gottfried Galle (1812-1910)

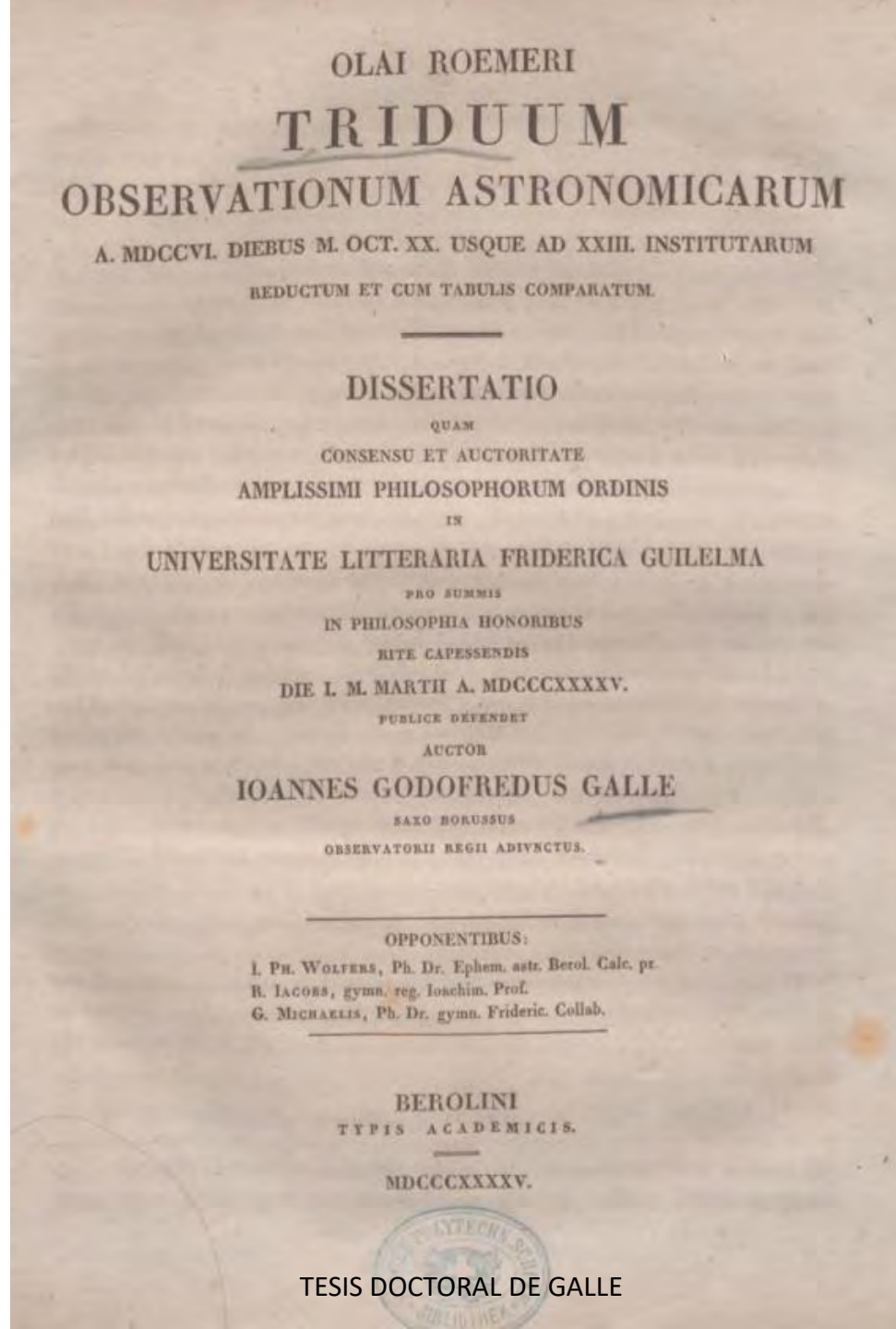
Astrónomo alemán que descubrió el planeta Neptuno el 23 de septiembre de 1846, apoyándose en los estudios previos del matemático francés Urbain Le Verrier (1811-1877). Tras realizar sus primeros estudios en Wittenberg, en 1830 se trasladó a Berlín para estudiar junto a científicos de renombre, como Alexander von Humboldt y Johann Franz Encke (1791-1865), contratándolo este último como asistente en el nuevo Observatorio de Berlín. Allí permaneció 16 años, realizando observaciones astronómicas, meteorológicas y magnéticas. Estudiando las órbitas de los cometas, observó con interés el regreso del cometa Halley en 1835, descubriendo otros en 1839 y 1840. En el año 1845 leyó su tesis doctoral, un análisis crítico de las observaciones de los tránsitos

meridianos de estrellas y planetas, que había hecho Ole Christensen Rømer en octubre de 1706. Sus investigaciones sobre los cometas, le permitieron publicar en 1847 un listado con los elementos de 178 cometas, descubiertos entre los años 371 a.C. y 1847. Años después, en 1894, presentó otra relación revisada de 414 cometas, contando para ello con la ayuda de su hijo Andreas Galle (1858-1943), miembro del Instituto Geodésico de Potsdam y profesor de geodesia en la Escuela Técnica de Charlottenburg (distrito berlinés). Sin embargo, lo más relevante de su carrera astronómica fue el protagonismo que tuvo en el descubrimiento de Neptuno. Poco después de que se descubriese Urano en 1781, se constató que los elementos orbitales observados no coincidían

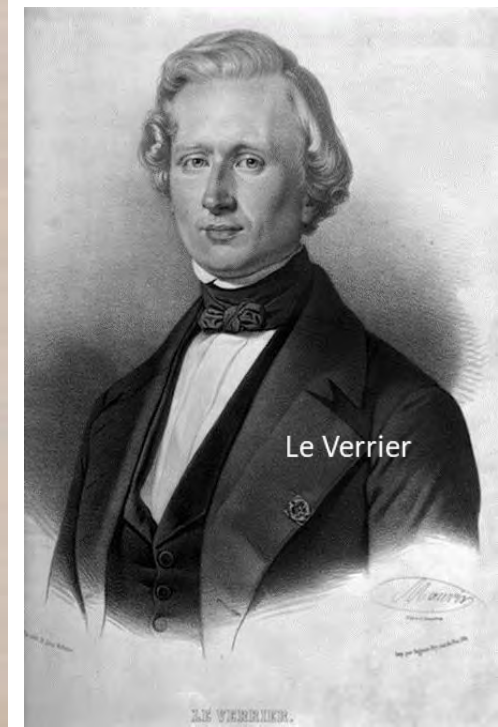


con los calculados, achacándose las discrepancias a las perturbaciones ocasionadas por otro planeta más alejado. John Couch Adams (1819-1892) en Inglaterra y Le Verrier en Francia, dos de los grandes matemáticos del siglo XIX, lograron determinar la posición del astro perturbador; Adams comunicó sus resultados al observatorio de Greenwich, sin que se le prestase atención, y unos meses después Le Verrier publicó los suyos, casi idénticos a los anteriores.

Le Verrier, que ya conocía a Galle por haber recibido su tesis, esperó a agradecerle su envío hasta que halló la posición esperada del nuevo planeta. La carta, fechada en París el 18 de septiembre de 1846, concretaba detalles de la órbita prevista, de sus coordenadas e incluso de su diámetro aparente (más de  $3''$ ); después rogaba a Galle que observase la región del cielo en donde debería encontrarse.



Adams



Le Verrier

LE VERRIER.

Telescopio Fraunhofer con el que  
J. Galle descubrió Neptuno en 1846



Carta remitida por J. Galle a Le Verrier

Berlin, le 25 Sept. 1846

Monsieur,

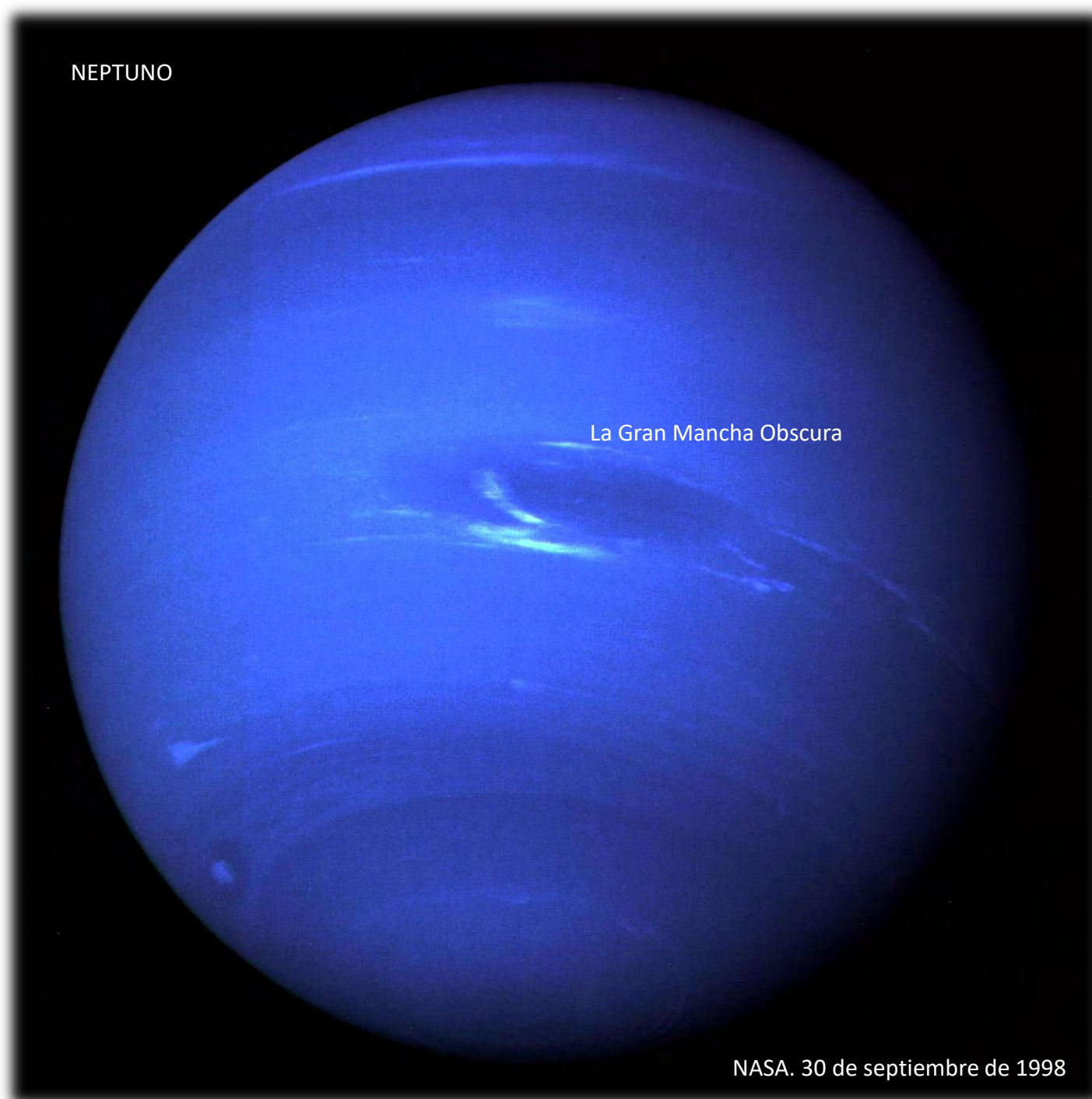
La planète, dont vous avez signalé la position, réellement existe.  
Le même jour, où j'ai reçu votre lettre, je trouvais une étoile de 8<sup>me</sup> grandeur,  
qui n'était pas inscrite dans l'excellente carte Bora XXI (destinée par M<sup>r</sup>  
le D<sup>r</sup> Bremker) de la collection de cartes célestes publiée par l'Académie  
Roy. de Berlin. L'observateur du jour suivant devint que c'était la planète cherchée.  
Nous l'avons comparée, M<sup>r</sup> Encke en moi, par la grande lunette de Fraunhofer  
avec une étoile de 9<sup>me</sup> grandeur ( $\alpha$ ) Bessel zone 119.  $21^{\text{h}} 50^{\text{m}} 31^{\text{s}} 00 - 13^{\circ} 30' 9'' 19$   
et nous avons trouvé :

Temps moy. de Berlin  
Sept. 23.  $12^{\text{h}} 0^{\text{m}} 14^{\text{s}} 6$

Plan. = ( $\alpha$ ) +  $21' 21'' 5$  en AR  
= ( $\alpha$ ) +  $1. 36, 8$  en Declin.

J. Galle no recibió la carta hasta el día 23 de septiembre, y esa misma noche fue observado con su telescopio reflector de 9.5 pulgadas. Las demás observaciones efectuadas en las dos noches siguientes confirmaron el descubrimiento y evidenciaron que se trataba de un nuevo planeta, más allá de cualquier duda razonable (tenía movimiento propio). Galle informó a Le Verrier del resultado de sus observaciones, en una carta escrita en Berlín el 25 de septiembre, señalándole que la había identificado como una estrella de octava magnitud, de la que proporcionó los valores de sus dos coordenadas ecuatoriales (ascensión recta y declinación). Le Verrier comunicó tales resultados a la Academia de Ciencias de Paris, en la sesión celebrada el 5 de octubre de 1846.

La asignación del nombre al octavo planeta se efectuó de inmediato, tras haberlo denominado en principio El Planeta exterior a Urano o El Planeta Verrier. Galle fue el primero en proponer el nombre propio, en la carta donde comentó la observación, eligiendo Janus, como homenaje a la diosa romana de doble cara o de los comienzos y los finales. James Challis (1803-1882), director del Observatorio de Cambridge, propuso el de Océano, uno de los titanes hijo de Urano y Gea. Le Verrier propuso rápidamente el de Neptuno, señalando falsamente que había sido una decisión del Bureau des Longitudes. Más adelante quiso darle su propio nombre, con el beneplácito de Arago, director del Observatorio de París. Incluso se llegaron a modificar los almanaques franceses: cambiando el nombre de Urano por Herschel y el de Neptuno por Le Verrier; pero la fuerte resistencia encontrada fuera de Francia impidió que prosperase la idea. Al parecer fue determinante el pronunciamiento en favor de





Neptuno, efectuado por el director del Observatorio de Pulkovo, Wilhem Struve, en la Academia de Ciencias de San Petersburgo (29.XI.1846). Poco después se internacionalizó su empleo, quizás porque el nombre era más acorde con los mitológicos de los demás planetas.

Después del descubrimiento, Galle continuó estudiando la órbita del planeta, siendo presentados sus resultados a la Academia de Berlín por Encke, como director del mismo. En 1847 fue nombrado sucesor de Bessel al frente del Observatorio de Königsberg, aunque a comienzos de 1848 renunció al mismo; movido por los comentarios en su contra realizados por el matemático prusiano Carl Gustav Jacob Jacobi (1804-1851). Tres años después se trasladó a Breslau (hoy Wrocław) para dirigir su Observatorio astronómico, sito en la llamada Torre matemática; que siguiendo el modelo de la Torre clementina de Praga, coronaba el edificio principal de la universidad, a cuyos pies se había materializado la línea meridiana. Dicho cargo lo simultaneó, a partir de 1856, con el puesto de profesor de astronomía en dicha universidad, de la que sería elegido rector en 1875. La actividad astronómica de Galle se mantuvo hasta su jubilación en 1897, dedicando gran parte de ella a la observación y cálculo de la órbita de cometas,



Cartel anunciando el cincuenta aniversario del profesor Galle.



Esfera armilar localizada en la parte superior de la Torre matemática.

asteroides, planetas y meteoros; así como a la confección de cartas del cielo, estudio de auroras boreales y otros fenómenos del campo magnético terrestre. También es digno de mención el hecho de haber sido uno de los pocos astrónomos que señaló una posible conexión entre el cometa Beila, descubierto en 1826 por Wilhelm von Biela (1782-1856), y la lluvia espectacular de las Biélidas o Andromédidas; observada en 1872, cuando la Tierra atravesó la cola del referido planeta y aparecieron miles de meteoros por hora. En ese mismo año sugirió que algunos de los asteroides podrían ser usados para determinar la paralaje del Sol, obteniendo un valor de  $8''.87$  a partir de las observaciones de Flora efectuadas, en 1873, desde doce observatorios repartidos en los dos hemisferios.



Lluvia de estrellas fugaces en 1872 (litografía de 1877)



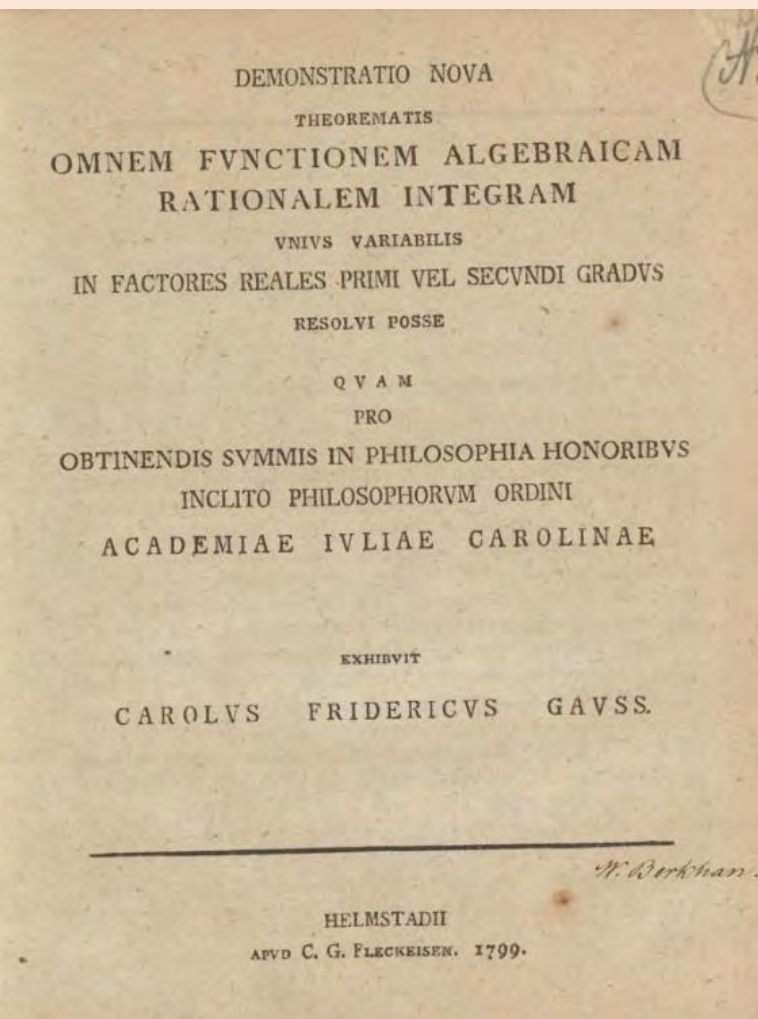
Fragmento de la línea meridiana en la Universidad de Wroclaw, construida en 1701 por el profesor Longinus Anton Jungnitz (1764-1831)



*C. Gauss*

## Carl Friedrich Gauss (1777-1855)

Genio alemán que contribuyó decisivamente al progreso del conocimiento en materias como matemáticas, física, óptica, astronomía, geodesia, geofísica y cartografía. Gauss fue un niño prodigio como prueba una anécdota recogida por sus biógrafos y que al parecer refirió este cuando ya era anciano: uno de sus profesores mandó a los alumnos de su clase qué sumasen los cien primeros números y, para su sorpresa, recibió la respuesta (5050) transcurridos unos instantes; acompañada de una explicación tan sencilla como brillante, como los números que equidistan del centro de la serie suman siempre 101 y se pueden formar 50 parejas, la cantidad pedida sería el producto de ambas cifras. En 1788 comenzó sus estudios secundarios en el Gymnasium de su ciudad natal (Brunswick), continuándolos luego (1792) en el Colegio Carolino, gracias a la beca que le concedió el Duque Charles William Ferdinand (1735-1805). Los estudios universitarios los inició en Göttingen (1795), siendo su profesor de matemáticas Abraham Gotthelf Kästner (1719-1800), al cual caricaturizaba a menudo; allí tuvo de compañero de estudios a Farkas Bolyai (1775-1856), un matemático húngaro con el que mantuvo correspondencia en los años siguientes.



Gauss abandonó Göttingen sin haberse graduado (1798), aunque ya había conseguido construir con regla y compás el heptadecágono (polígono regular de 17 lados), un problema pendiente de resolver desde que se planteara en la Grecia clásica; un trabajo que fue publicado en sus célebres VII de la famosa obra de Gauss, *Disquisitiones Arithmeticae* (Sección VII: *De*



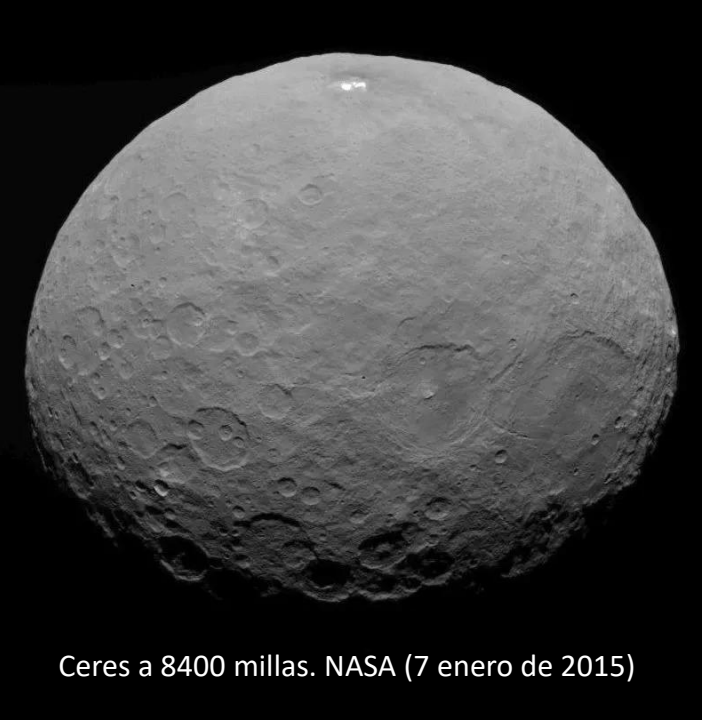
*aequationibus circuli sectiones definientibus*). En 1799 obtuvo su licenciatura en Brunswick, animándolo el Duque, su mentor, a que leyera la tesis doctoral en la Universidad de Helmstedt. Ese mismo año la defendió, siendo su tema central el teorema central del álgebra, *Demonstratio Nova Theorematis Omnem Functionem Algebraicam Rationalem Integram Unius Variabilis In Factores Reales Primi Vel Secundi Gradus Resolvi Posse*; contando para ello con el asesoramiento del

matemático Johann Friedrich Pfaff (1765-1825). Gracias al soporte económico del Duque pudo dedicarse exclusivamente a la investigación, publicando en el año 1801 las *Disquisitiones* anteriores. En el mes de junio de ese año fijó el astrónomo alemán K.X. von Zach la posición esperada del asteroide Ceres, en función de varias previsiones, entre las que se hallaba la hecha por Gauss, sensiblemente diferente de las demás. El asteroide había sido descubierto por Giuseppe Piazzi (1746-1826) el día 1 de mes de enero; aunque solo lo pudo observar



recorriendo un pequeño arco de su órbita. Ceres fue observado de nuevo el 7 de diciembre por F.X. von Zach, basándose en las previsiones anteriores; pero comprobando que la posición coincidía prácticamente con la que había fijado Gauss, aplicando el método de los mínimos cuadrados.

Gauss coincidió con H. Olbers en 1802, después de que este hubiera descubierto a Pallas en marzo de ese año, siendo él quien lo recomendó como director del observatorio que se pensaba construir en Göttingen; construido entre los años 1803 y 1816. Gauss fue en efecto su primer director, viviendo en él desde 1815 hasta el final de sus días. Antes de incorporarse a su nuevo destino ya había publicado en 1809 su segundo *libro* *Theoria motus corporum coelestium in sectionibus conicis Solem ambientium*, un importante tratado en dos volúmenes sobre el movimiento de los cuerpos celestes. En el primer volumen abordó el estudio de las ecuaciones diferenciales, secciones cónicas y órbitas elípticas, mientras que en el segundo volumen, la parte principal del trabajo, se desarrolló de forma sistemática el método del cálculo orbital, a partir de tres observaciones, el cual ya había usado a propósito de Ceres, el primer asteroide descubierto en 1801. Paradójicamente, las contribuciones astronómicas de Gauss disminuyeron al instalarse en el Observatorio de Göttingen, aunque continuase observando el cielo hasta el año 1847, sin dejar de impartir clases de Astronomía. Los trabajos relacionados con su construcción no le impidieron publicar libros tan relevantes como los que se citan a continuación. *Disquisitiones generales circa seriem infinitam*, un tratamiento riguroso de las series y una introducción a la función hipergeométrica, *Methodus nova integralium valores per approximationem inveniendi*, un ensayo práctico sobre integración aproximada, *Bestimmung der*

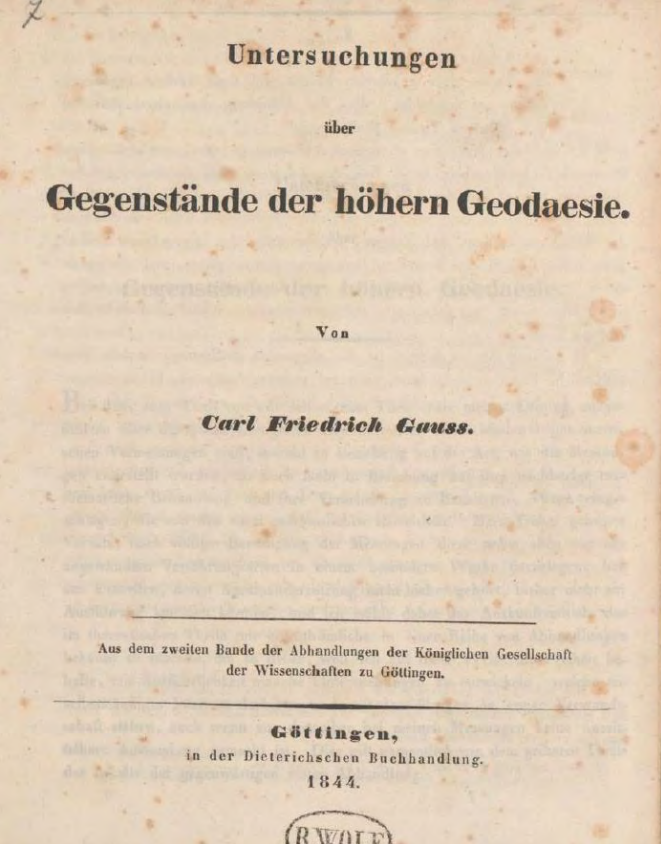


Ceres a 8400 millas. NASA (7 enero de 2015)

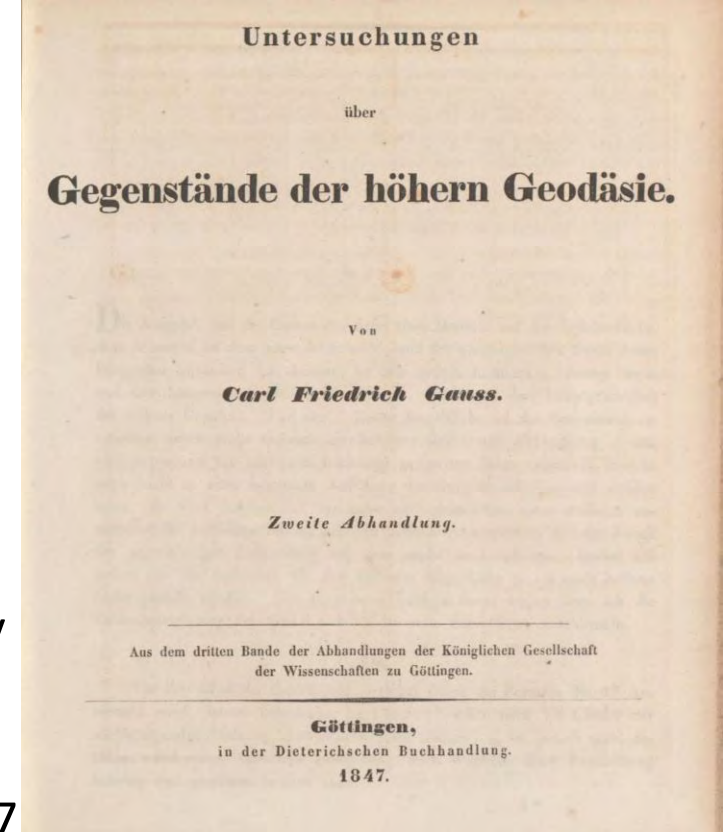
*Genauigkeit der Beobachtungen*, una discusión sobre estimadores estadísticos. De la misma época (1613) data la obra *Theoria attractionis corporum sphaeroidicorum ellipticorum homogeneorum Methodus nova tractata*, en la que se interesó por primera vez por la geodesia y analizase la teoría del potencial; la geodesia sería la disciplina en la que centró más su atención a partir del año 1820. La mayoría de las aportaciones geodésicas de Carl Friedrich Gauss aparecen reflejadas en sus famosas Memorias de Göttingen, publicadas a menudo con el título de Investigaciones sobre Temas de Geodesia Superior (*Untersuchungen über Gegenstände der höheren Geodäsie*).



El OBSERVATORIO DE GÖTTINGUEN y Carl Friedrich Gauss, su primer director

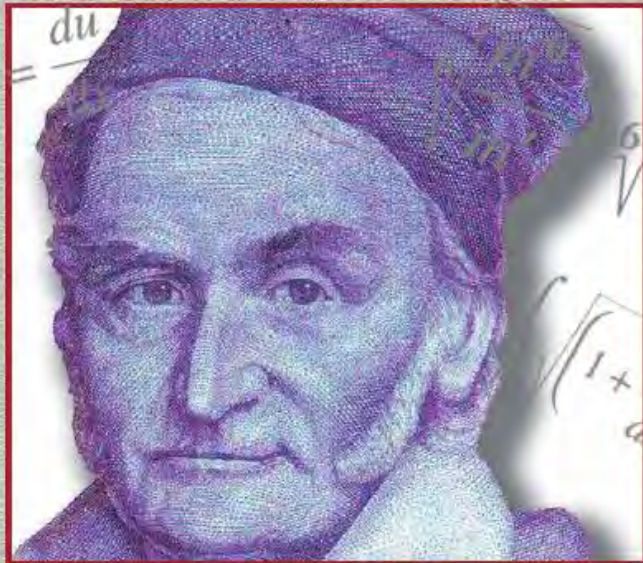


Naturalmente resulta difícil y quizás hasta inadecuado elegir entre ellas por el elevado nivel científico de todas, no obstante, cabría reseñar en relación con el estudio geométrico del elipsoide de revolución, las que presentó ante la Real Academia de Ciencias de Göttingen, en los años 1844 y 1847. La primera de ellas la estructuró en diecisiete artículos, con una introducción en la que reconoce su participación en los trabajos geodésicos de la red Hannover, que él mismo dirigió, entre 1821 y 1824, y que le permitieron fijar en 57127 toesas el valor medio del grado de meridiano comprendido entre Göttingen y Altona (Hamburgo). La Memoria de 1847



se dividió también en diecisiete artículos, continuación de los diecisiete anteriores. En el preámbulo del número 18 formula Gauss muy claramente el propósito de la misma al afirmar: « El problema de calcular el acimut en el extremo del lado de un triángulo sobre la superficie terrestre, su latitud y el incremento de longitud, a partir de la dimensión del lado, del acimut y la latitud del otro extremo, es una de las tareas principales de la Geodesia Superior. Para el caso de la superficie esférica, la relación entre esas seis magnitudes ha sido establecida al final de la primera memoria de la forma más simple y apropiada al cálculo de máxima precisión.... Se suscita así el deseo de disponer de un procedimiento análogo, válido directamente para el elipsoide y ese es el objeto de la presente memoria». En el apartado 33 de esta memoria, Gauss parece tomar partido por el todavía incipiente Sistema Métrico, cuando calcula el semieje ecuatorial del elipsoide terrestre apoyándose solo en su excentricidad y

## Investigaciones sobre Temas de Geodesia Superior y Método de los Mínimos Cuadrados



Publicación Técnica núm. 37



DIRECCIÓN GENERAL  
DEL INSTITUTO  
GEOGRÁFICO  
NACIONAL

partiendo de que el desarrollo de medio meridiano es de 20.000.000. De ese modo, usando el aplastamiento de Bessel obtuvo para el semieje mayor del elipsoide el valor de 6376851.447, expresado en «metros legales franceses», por emplear la misma terminología usada por él. Ambas Memorias fueron traducidas al español y comentadas en la Publicación Técnica nº 37 del Ministerio de Fomento (Dirección General del Instituto Geográfico Nacional) editada en el año 2002, con el título Investigaciones Sobre Temas de Geodesia Superior y Método de los Mínimos Cuadrados, de la que fueron autores los ingenieros geógrafos Mónica Ruiz Bustos, José Ibargüen Soler y Mario Ruiz Morales.

Aunque las primeras observaciones geodésicas de Gauss datan de comienzos del siglo XIX, las más reseñables son aquellas en que colaboró con su antiguo alumno H.C. Schumaker, cuando este era profesor de astronomía en la universidad de Copenhague y un destacado geodesta; de hecho, ya había realizado una triangulación en la península de Jutlandia, para medir un grado de meridiano. Fue entonces cuando le propuso a Gauss prolongar hacia el sur la red triangular, siguiendo sensiblemente el meridiano de Altona,



La cadena triangular entre Hamburgo y Göttingen

Fortsetzung des Deutschen Grad-Messung  
 über die obigen Länder etc.  
 den 9<sup>ten</sup> May 1820.  
 - n. 591. Nr. 15 77

**Georg** der Fürste, von Sachsen-König des  
 vereinigten Großherzogthums und Landes, auf König von Hannover,  
 Herzog zu Lüneburg und Lüneburg, & Meissen, wolgemeinten und  
 gnädigsten Willen zuver, Beschly absoner, Ertheilte, hielfe mit teils Gebote:  
 Da Wir Uns für die wichtigste Arbeit einer Fortsetzung des Deutschen Grad-  
 Messung über dieses obigen Lande besondert interessireten, welche inder  
 Aufsicht des Hofrathes und Fortsetzer Gauss zu beauftragt haben, so ist  
 und wobei er uns mit dem Fortd. unterrichten wüste, so sind  
 die dazu erforderlichen Kosten zu bestreuen sohn micht, so haben Wir  
 Uns gnädigst entschlossen, solche auf Unserer Gebot zu übernehmen,  
 welche Wir uns für nöthig zu sein und die Messung zu vollenden haben,  
 und wobei Wir vornehmlich, daß die Kosten in Aufhebung der Kosten-  
 Belastung mit der Regierung werden versehen werden, die sich mit Ge-  
 richtung der vorliegenden Summe vereinbaren läßt. Wir wollen  
 uns mit wolgemeinten und gnädigsten Willen stets begeben.  
 Karlton House den 9<sup>ten</sup> May 1820

*Georg*

Der  
 des Meissen  
 zu Hannover.

9.

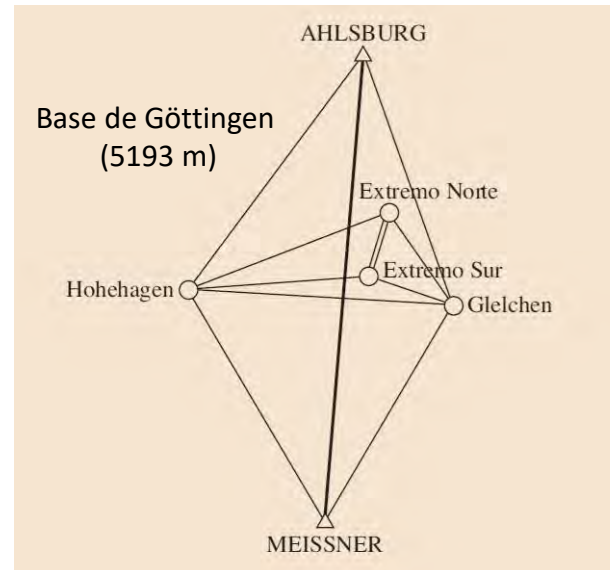
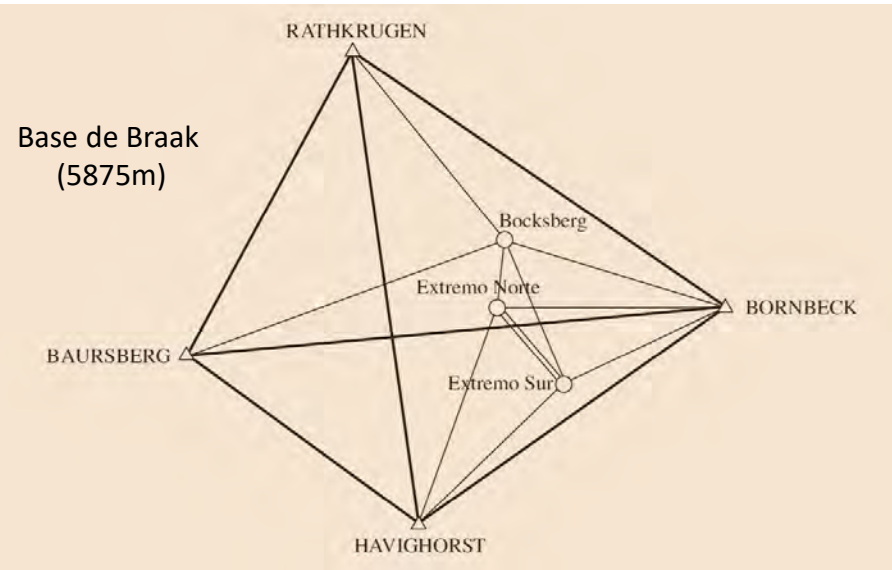
La orden del Rey para medir el grado de meridiano

El sextante de Gauss, un modelo similar al convencional pero con espejo incorporado



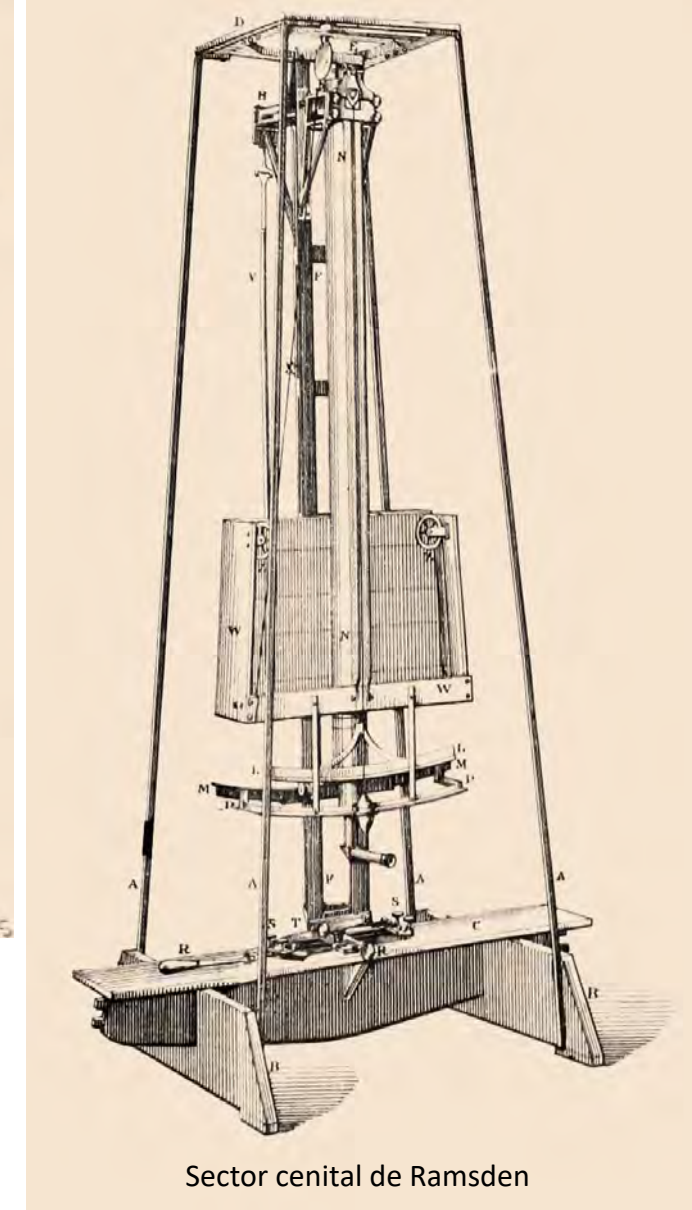
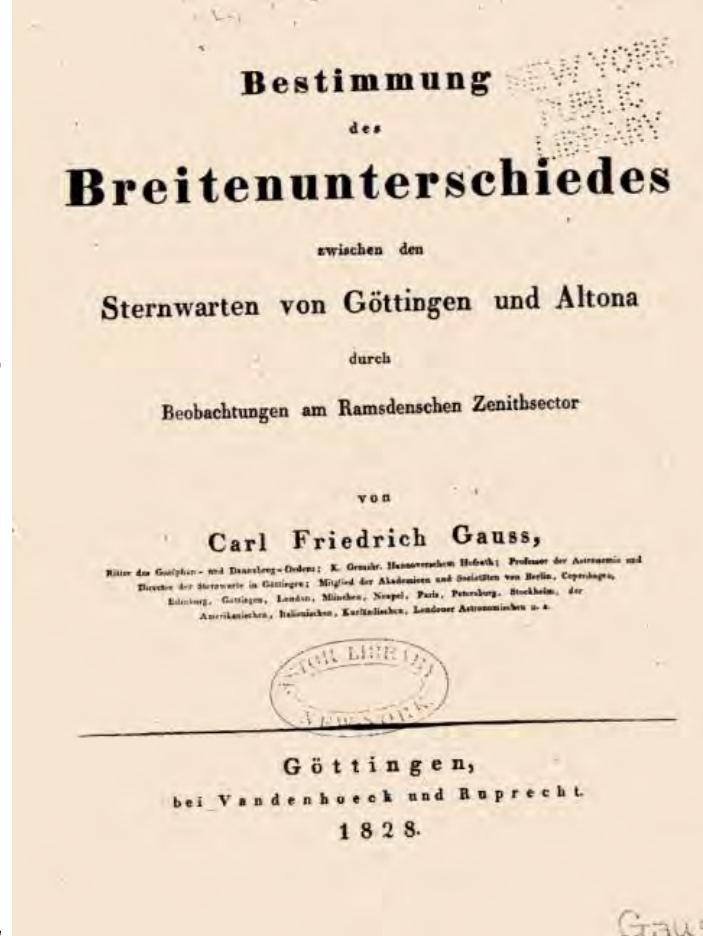
1821

una tarea que acabaría proponiéndole George IV (1762-1830), rey de Inglaterra y de Hannover, en el año 1820. El enlace entre las dos redes se efectuó mediante los triángulos localizados en las proximidades de Hamburgo, junto a la base geodésica de Braak; cuya medición fue realizada conjuntamente por profesor y alumno. Gauss fue el responsable de la cadena meridional de triángulos comprendidos entre la base anterior y la montaña de Inselsberg, una de las mayores de Turingia, al Sur de la base de Göttingen. Para evaluar el valor del grado medio entre Altona y Göttingen se determinaron las latitudes de ambos con un sector cenital de Ramsden, instalado en cada uno de ambos extremos. La casuística de la operación fue variada, debiendo recurrir en ocasiones a la construcción de torres lo bastante elevadas como para asegurar la visibilidad entre vértices; a ese respecto debe destacarse la



invención del heliotropo, por parte de Gauss, un instrumento imprescindible que fue ampliamente usado en muchas campañas geodésicas, para facilitar la visualización del vértice en que se estacionaba. Gauss decidió extender la red geodésica hacia el Oeste, para cubrir así el territorio de todo el reino de Hannover; contando para ello con la colaboración de oficiales del ejército y con su propio hijo Carl Joseph Gauss (1806-1873).

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 de 1828: *Bestimmung des Breitenunterschiedes zwischen den Sternwarten von Göttingen und Altona durch Beobachtungen am Ramsdenschen Zenithsector*



Sector cenital de Ramsden

*durch Beobachtungen am Ramsdenschen Zenithsector* (Determinación de la diferencia de latitud entre los Observatorios de Göttingen y Altona, por medio del sector cenital de Ramsden) 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 más clara y sucinta definición del geoide, un vocablo que acuñaría años después (1873) su alumno Johann Benedikt Listing, cuando era profesor de Física en la Universidad de Göttingen.

INTENSITAS  
VIS  
MAGNETICAE TERRESTRIS  
AD  
MENSURAM ABSOLUTAM  
REVOCATA

AUCTORE  
CAROLO FRIDERICO GAUSS

GOTTINGAE,  
SUMTIBUS DIETERICHIANIS  
MDCCCXXXIII

El geomagnetismo fue otra de las disciplinas científicas cuyas bases fueron sentadas por Gauss, a raíz de que el físico Wilhem Eduard Weber (1804-1891) fuera nombrado profesor en Göttingen (1831), siguiendo su recomendación; Gauss ya había publicado también varios trabajos sobre mecánica de fluidos, basados en su teoría del potencial. Alexander von Humboldt fue otro de los protagonistas en este campo, el cual le pidió a Gauss su apoyo para crear una red mundial de observatorios magnéticos, consiguiendo así que tanto él como Weber comenzaran a interesarse por la cuestión. Inmediatamente después (1832) ya había escrito publicado



Gauss el libro *Intensitas vis magneticae terrestis ad mensuram absolutam revocata*, que formó terna con los dos siguientes: *Allgemeine Theorie des Erdmagnetismus* (1839) y *Allgemeine Lehrsätze in Beziehung auf die im verkehrten Verhältnisse des Quadrats, der Entfernung wirkenden Anziehungs und Abstossungskräfte* (1840); en 1832 se fundó igualmente el Observatorio Geomagnético de Göttingen. Aplicando el método de los mínimos cuadrados a las observaciones allí realizadas, obtuvo los valores más probables de las magnitudes observadas; pudiendo confeccionar así los primeros mapas magnéticos con una relativa fiabilidad.



A T L A S  
D E S  
**ERDMAGNETISMUS**

NACH DEN ELEMENTEN DER THEORIE ENTWORFEN.

SUPPLEMENT

Z U D E N

RESULTATEN AUS DEN BEOBACHTUNGEN DES MAGNETISCHEN VEREINS

UNTER MITWIRKUNG VON C. W. B. GOLDSCHMIDT

HERAUSGEGEBEN

V O N

**CARL FRIEDRICH GAUSS**

U N D

**WILHELM WEBER.**

L E I P Z I G,

WEIDMANN'SCHE BUCHHANDLUNG.

LONDON: BLACK AND ARMSTRONG.— PARIS: BROCKHAUS ET AVENARIUS.— STOCKHOLM: FRITZE UND BAGGE.—  
MILAND: TENDLER UND SCHAEFER.— ST. PETERSBURG: W. GRAEFF.

1 8 4 0.

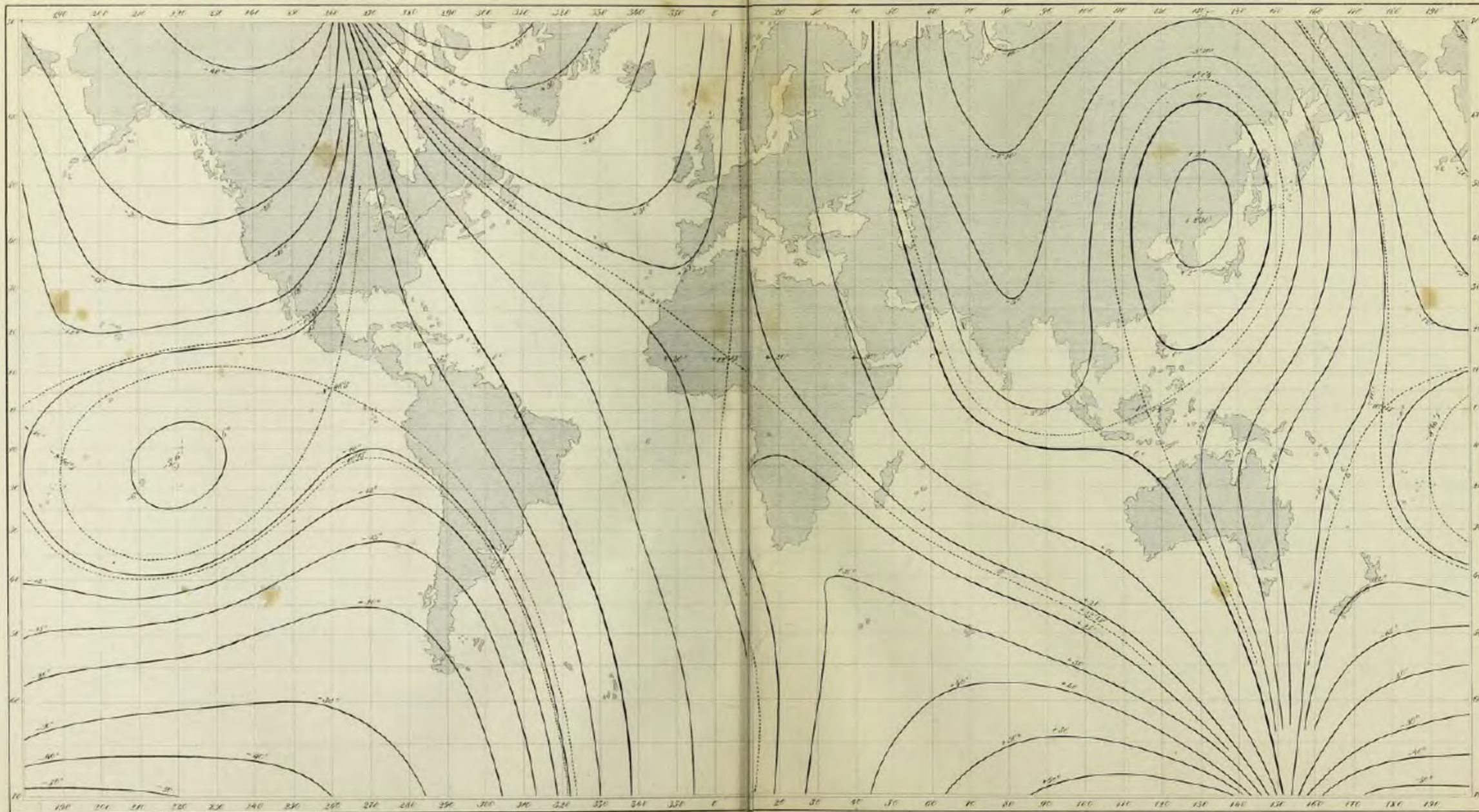
Gauss fundó el *Magnetoverein* el primer foro en el que se discutía científicamente del magnetismo. En 1838 mejoró los estudios de W. Gilbert sobre la magnetización uniforme de la esfera, aplicando el análisis armónico esférico, con su obra *Allgemeine Theorie des Erdmagnetismus* que puede considerarse como el primer estudio realmente científico sobre la materia. La colaboración entre Gauss y Weber culminó con la confección del *Atlas des Erdmagnetismus, nach den Elementen der Theorie entworfen*, publicado en Leipzig (1840); prologado por el primero de ellos. En el título se refiere el suplemento cartográfico, que contó con la participación del astrónomo asistente de Gauss, Carl Wolfgang Benjamin Goldschmidt (1807-1851), también citado en la portada del libro. Los autores mencionaron la existencia de dos polos magnéticos, uno en el Norte y otro en el Sur, cuyas posiciones calcularon aplicando la teoría geomagnética de Gauss. El suplemento constó de 18 mapas, en dos de los cuales se representaron por primera vez las líneas equipotenciales del campo magnético global.

ISÓGONAS

Polo

*Karte für die berechneten Werthe der Declination*

*Erste Abtheilung*

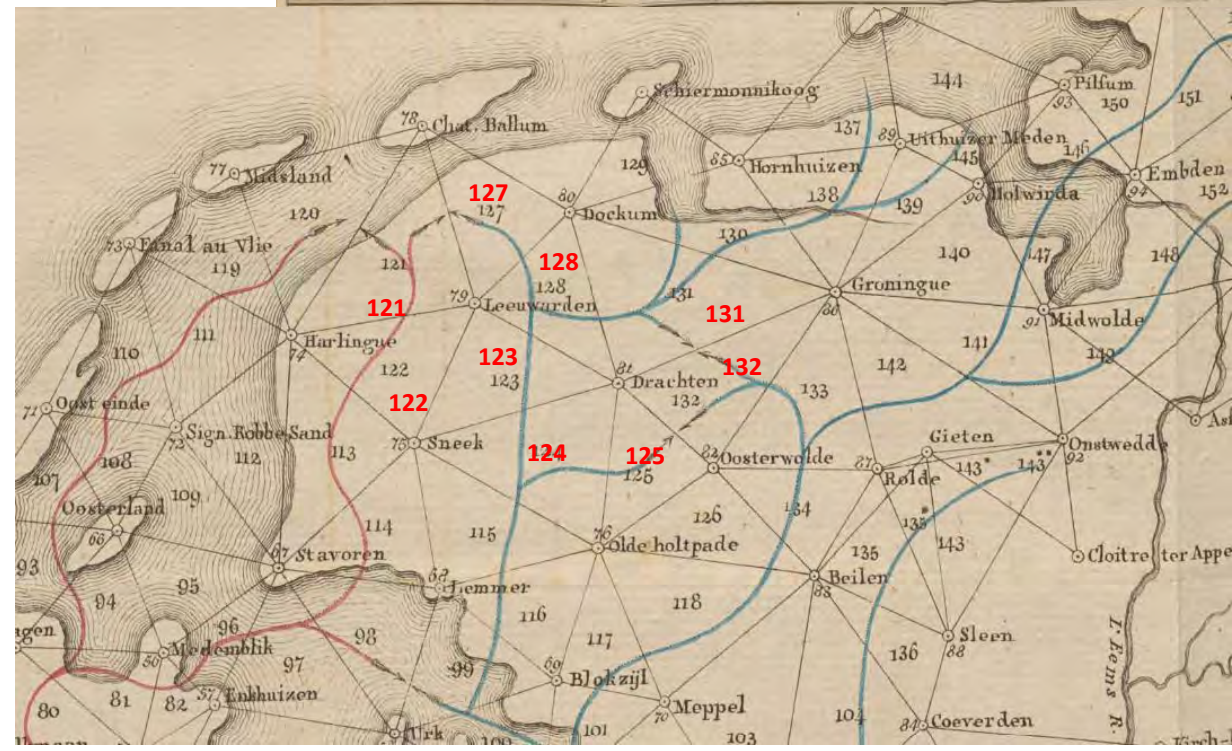


Polo

En varias ocasiones se ha mencionado el método de los mínimos cuadrados y ahora se hace de nuevo para recordar que Gauss lo publicó por vez primera en el trabajo *Astronomische Untersuchungen und Rechnungen vornehmlich über die Ceres Ferdinandea* (1802); manifestando treinta años después que su teoría del potencial y el método anterior mostraban vínculos vitales entre la ciencia y la naturaleza. Solo se añadirá ahora que también lo aplicó para analizar con espíritu crítico la triangulación de Holanda, que había realizado entre 1802 y 1811 el general y cartógrafo Cornelis Rudolphus Theodorus Krayenhoff (1758-1840); siendo publicados sus detalles en



1815 (*Précis historique des opérations géodésiques et astronomiques faites en Hollande*). Los triángulos examinados y compensados por Gauss fueron los nueve siguientes: 121, 122, 123, 124, 125, 127, 128, 131 y 132, localizados junto al mar de Frisia; finalizados los cálculos de las correcciones, presentó los resultados ante la Real Sociedad de Göttingen el 16 de septiembre de 1826. En la publicación del Ministerio de Fomento, ya mencionada, se reproduce la secuencia de todos ellos.



# DISQUISITIONES GENERALES

CIRCA

## SUPERFICIES CURVAS

AUCTORE

CAROLO FRIDERICO GAUSS.

SOCIETATI REGIAE OBLATAE D. 8. OCTOB. 1827.

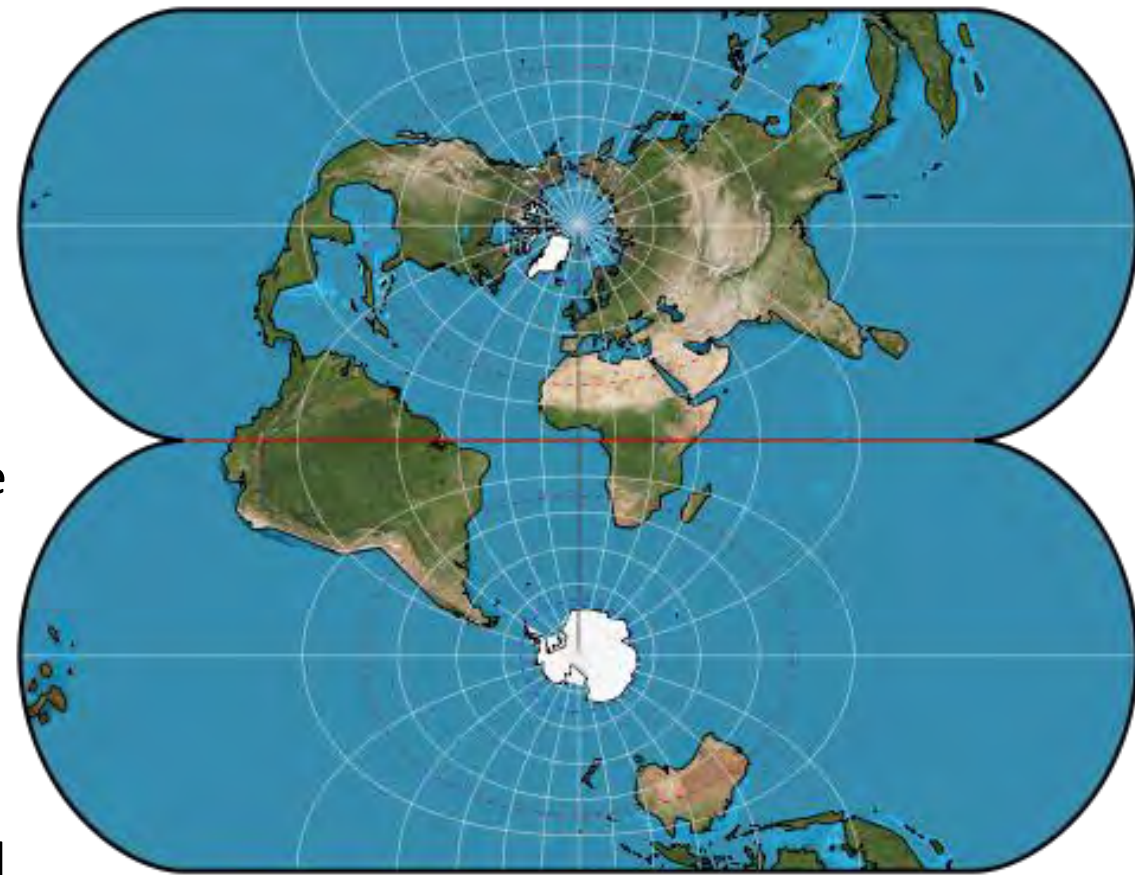
1.

Disquisitiones, in quibus de directionibus variarum rectarum in spatio agitur, plerumque ad maius perspicuitatis et simplicis fa-

La contribución de Gauss a la geodesia fue realmente trascendente, pues gracias a ella surgió la geometría diferencial como nueva rama de las matemáticas. Él fue quien generalizó el problema de representar el elipsoide terrestre sobre un plano (el del mapa), al que se plantearía al considerar dos superficies genéricas; quedando reflejado su pensamiento al respecto en la obra *Disquisitiones circa generales superficies curvas* (1827). En ella introduce las coordenadas geodésicas sobre una superficie  $(u, v)$  en claro paralelismo con las geográficas  $(\varphi, \lambda)$ . Asimismo, expresa un elemento diferencial de línea por medio de la primera forma fundamental:  $ds^2 = E du^2 + 2F du dv + G dv^2$ , siendo  $E$ ,  $F$  y  $G$  las constantes de Gauss, funciones de  $u$  y  $v$ . Con la ayuda de la representación esférica demuestra en particular que

la curvatura total o gaussiana en un punto,  $1/R_1 R_2$ , depende únicamente de tales constantes y de sus derivadas ( $R_1$  y  $R_2$  son los dos radios de curvatura principales, máximo y mínimo). De esa forma la línea geodésica de una superficie puede definirse no sólo como la de la mínima distancia sino también como aquella tal que en todos sus puntos la curvatura tangencial o de Gauss es nula, ello equivale a decir que la proyección de la geodésica sobre el plano tangente es rectilínea (de ahí que los meridianos sean geodésicas al contrario de lo que sucede con los paralelos). El método renovaba por lo tanto el estudio geométrico de las superficies y muy particularmente el de las geodésicas, además de la resolución de los triángulos geodésicos sobre el elipsoide de revolución. Esta aplicación geodésica la publicó Gauss en sucesivas etapas dentro de las Memorias ya referidas (*Untersuchungen über Gegenstände der höheren Geodäsie*), compendio del saber geodésico de la época.

En ellas se indica por ejemplo que en las triangulaciones de primer orden los triángulos sobre el elipsoide pueden resolverse como esféricos, situados sobre una esfera de radio igual a la media geométrica de los radios de curvatura principales y correspondientes a la latitud media del triángulo en cuestión. Paralelamente desarrolló durante esa etapa los fundamentos del desarrollo cilíndrico transverso, considerando un cilindro elíptico, en lugar de circular, tangente a un cierto meridiano; aplicándolo en sus trabajos, calculó las coordenadas cartesianas de los vértices pertenecientes a las redes triangulares que observó. Lamentablemente no se conserva la deducción de las fórmulas empleadas, aunque sí la expresión de las mismas en sus lecciones de Geodesia Superior. Esa es la circunstancia que explica el hecho de que el sistema UTM (Universal Transverse Mercator) sea también referida ocasionalmente como proyección de Gauss. Sin embargo, no fue ésta la única proyección desarrollada por él, ya que, en 1822, dentro de sus estudios sobre la conformidad, analizó con sumo detalle un sistema cartográfico cónico y conforme; basado en los trabajos previos del astrónomo Karl Ludwig Harding (1765-1834), colaborador de Gauss en el observatorio de Göttingen. Ese sistema fue usado por Nikolay Vladimirovich Khanykov (1819-1878) en el mapa de Rusia, a escala 1/1680000 y dividido en 12 hojas, editado en 1862 por la *Société Impériale Géographique de Russie*, con sede en San Petersburgo.



Gauss perteneció a la mayoría de las Academias de Ciencias de su época. La primera en la que ingresó fue en la Imperial de San Petersburgo (1802), después lo hizo en la de Göttingen (1802), París (1804), *Royal Society* de Londres (1804), Berlín (1810), Edimburgo (1820), Copenhague (1821), Upsala (1843), Dublín (1843), Viena (1848) y Madrid (1850). Entre los premios que recibió, merece ser recordado el de Lalande, que le concedió la Academia de Ciencias de París en 1809, por sus investigaciones en el campo de las matemáticas aplicadas; se da la circunstancia de que Gauss renunció a la recompensa económica como protesta por la invasión napoleónica de su país, aunque si aceptó el reloj astronómico que había elegido para él la matemática Sophie Germain (1776-1831). Otros dos igualmente relevantes fueron el que le otorgó la Academia danesa de las Ciencias (1823), por sus estudios sobre los sistemas cartográficos conformes y la Medalla Copley de la *Royal Society* (1838), en atención a sus inventos e investigaciones matemáticas en magnetismo.



## Gautier de Metz (S. XIII)

Monje y poeta francés autor de uno de los relatos medievales que describieron la creación del mundo. También llamado Gossuin de Metz, vivió en la región de la Lorraine en el siglo XIII. Tanto su nombre como las fechas en que nació y falleció son desconocidas, solo se sabe que hacia el año 1245 escribió *Le Image du Monde*. La obra es la primera enciclopedia francesa escrita en lengua vernácula, usando versos octosilábicos, en la que se trata de múltiples materias, incluyendo teología, filosofía, historia, astronomía, física, geografía y zoología. En su primera versión, se dividió en tres partes, cada una de las cuales contó con numerosos apartados, cuyo contenido podría ser resumido así: I) El poder de Dios, las siete artes liberales, la naturaleza del mundo y su creación, etc., II) Geografía, sobre la Tierra y partes en que está habitada; III) Cosmología y Astronomía. La obra se basó en la *Imago Mundi* de Honorio de Autun (ca.1080-ca.1180).





La primera parte comienza describiendo el poder de Dios: «Todo viene de Él, todo vuelve a Él. No puede haber maldad en Él, de lo contrario sería mortal como nosotros. El bien sube hasta Él, el mal descende como heces en el vino. Él es inmutable e inmóvil; sin embargo, todo movimiento proviene de Él. El tiempo no existe para Él, ni para los elegidos. Incluso antes de crear el mundo, Dios sabía todo lo que iba a suceder en él». Es subrayable la tesis del Dios inmóvil: simple para Platón, para quien descansaba después de crear, dejando que la naturaleza siguiera su curso, y más compleja para Aristóteles, aunque fuese también inmóvil, todo movimiento depende de él, tal como explicaba Gautier.

Más adelante, en el apartado quinto refería la diferencia entre su época y la de siglos pasados: «En la antigüedad los hombres querían encontrar la razón de las cosas. Buscaban descubrir los secretos del firmamento, y no pensaban sólo en la comida, como lo hacen hoy. Se esforzaron por aprender las ciencias que les darían el conocimiento de Dios. Para lograrlo, estudiaron Sus obras, porque por sus obras se conoce al trabajador. Sufrieron todas las persecuciones por amor a la verdad, como los santos sufrieron el martirio por amor a Jesús». En el apartado octavo concretó la secuencia de la creación del mundo y la divina omnipotencia,



« Dios creó primero la naturaleza. Éste mueve las estrellas, las hace brillar y da nacimiento y vida a lo que quiere. Sin la naturaleza nada puede nacer y a través de ella todo vive. Actúa en la mano de Dios como el hacha del carpintero: el hacha sólo corta, y quien la sostiene la guía hacia donde quiere». En los apartados siguientes, Gautier defiende con toda claridad la esfericidad de la Tierra, exponiendo la clásica distribución de los cuatro elementos, y la existencia de los antípodas: « El mundo es redondo como una pelota. El cielo rodea tanto al mundo como al éter, el aire puro del que toman forma los ángeles. Este éter es tan claro y tan brillante que el pecador no puede soportar su brillo. Por eso el hombre se queda dormido al ver un ángel. El éter rodea los cuatro elementos que están colocados en el siguiente orden: tierra, agua, aire y fuego. En medio del mundo se encuentra el elemento más pesado: la Tierra. El hombre puede rodearla como una mosca rodea una manzana. Si dos hombres se separaran, uno hacia el este y el otro hacia el oeste, se encontrarían en las antípodas». Más adelante insiste sobre la forma esférica de la Tierra: «Si pudiéramos elevarnos lo suficiente, las montañas y los valles desaparecerían y la forma redonda de la Tierra sería evidente. Los grandes ríos parecerían como un pelo en el dedo de un hombre». Para Gautier «La forma redonda es la más favorable para el movimiento. Pero todo es movimiento en este mundo. Por eso Dios hizo la Tierra redonda». Resultan llamativas las ilustraciones de la Imagen del mundo que muestran como las piedras que se arrojaran al centro de la Tierra no podrían ir más lejos, añadiendo que si sus pesos fuesen diferentes, la más pesada llegaría al centro antes que las demás.

Modelo geocéntrico del universo, en cuya parte central figura la bestia, en contraposición visual con el imperio de Dios, que acompañado de serafines y querubines, se encuentra en la esfera que envuelve a las que ocupan las estrellas y los planetas.





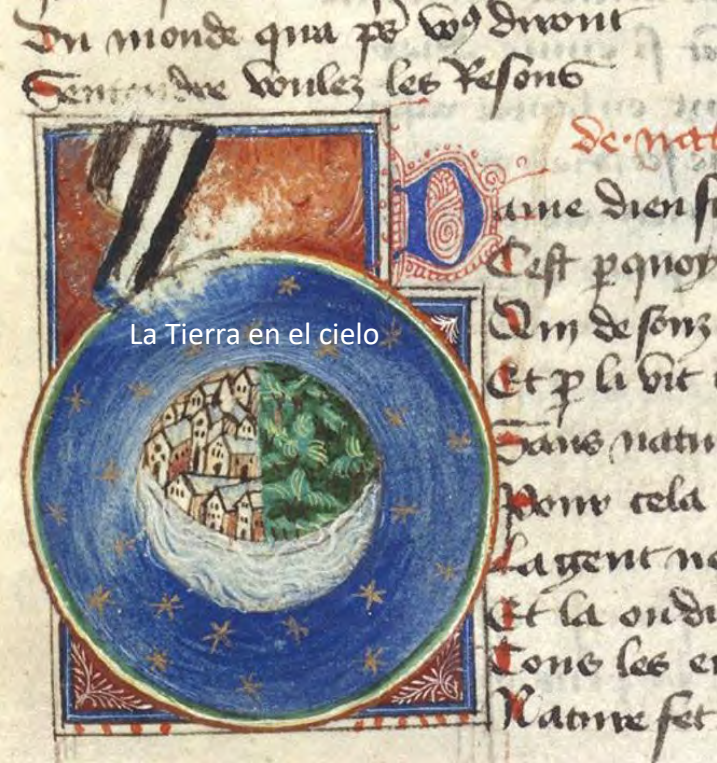
**B**os pour la chose  
meuz entendre & pl'  
decrement pouez vous  
prendre. & autre essam  
ple. Se la terre estoit par  
tice pmi le milieu droit.  
Si que len vult pmi le

La esfericidad de la Tierra  
y el recorrido hacia las  
antípodas

En la segunda parte de la obra, se consideró a la Tierra dividida en cuatro partes, una para cada punto cardinal, dando mayor relevancia a la línea Norte Sur, que divide a la que une el Este con el Oeste; «al final de esta línea está la ciudad de Aarón, que es redonda y está en medio del mundo». Dicha ciudad imaginaria ya había sido representada en mapas previos, como en el atribuido al judío oscense Pedro Alfonso (fl. S.XII), aunque la llamase Arim. Según la tradición árabe, se trataba de una ciudad refugio de demonios, en donde habitaría la bestia ya referida. Acto seguido, dio Gautier los nombres de los tres continentes, incluyendo su etimología. El segundo apartado se dividió en ocho partes, en las que se describió Asia con todo lujo de detalles. En la primera región situó el Paraíso Terrenal, donde nacían los cuatro grandes ríos: Ganges, Nilo, Tigris y Éufrates. Tras el paraíso, se centró en la India, situando en ella al Monte Capien, donde Alejandro encerró la nación de Goz y Magoz, cuyas gentes comían las carnes crudas de hombres y animales. Gautier refirió después los monstruos, mitad bestias mitad hombres, en clara alusión a los centauros, así como el pueblo en el que sus habitantes tenían un solo pie, tan grande que con su sombra de protegían del Sol, y otro en el que sus hombres tenían un solo ojo brillante en el centro de la frente (los cíclopes).



Los tres continentes



En la descripción de Europa se constata la comisión de numerosos errores al nombrar sus países, achacados generalmente a descuidos de los copistas. Sus límites se fijaron de manera arbitraria, suponiendo que todo el litoral mediterráneo era africano; de hecho, Italia, Grecia, España y Palestina fueron situadas en África. Lo más reseñable de esta segunda parte fueron las referencias que se hicieron a propósito de la distancia de la Luna a la Tierra. En varios de los manuscritos se aseguró que la distancia entre ambas era 15 veces la circunferencia de la Tierra; no obstante, los valores asignados en otros son muy variables, fijándola normalmente entre 12 y 15 veces el perímetro terrestre. En otros casos llegó



a calcularse en función del diámetro de la Tierra (suponiéndolo próximo a las 6500 millas), resultando  $161958 \frac{1}{3}$  millas (una vez multiplicado el diámetro  $24 \frac{11}{12}$ ); adoptando finalmente el valor de  $226958 \frac{1}{3}$ , tras elegir como factor  $34 \frac{11}{12}$ , es decir casi 12 veces la circunferencia de la Tierra. Es digno de mención el que considerase las manchas lunares como simples reflexiones de la Tierra, o bien que comentase la creencia de que la Luna había perdido su esplendor por el Pecado de Adán: «*Merito enim praevaricationis primorum parentum, omnium planetarum et stellarum fulgor dispendium claritatis sustinuit. Luna vero, quae citima terris est, et aspectibus humanis familiaris occurens, maculam in se retinuit*». Otra de las afirmaciones de Gautier es sumamente curiosa, por creer que el movimiento de los cielos producía una dulce armonía que percibían los niños pequeños, siendo esa la causa de que sonrieran mientras dormían.

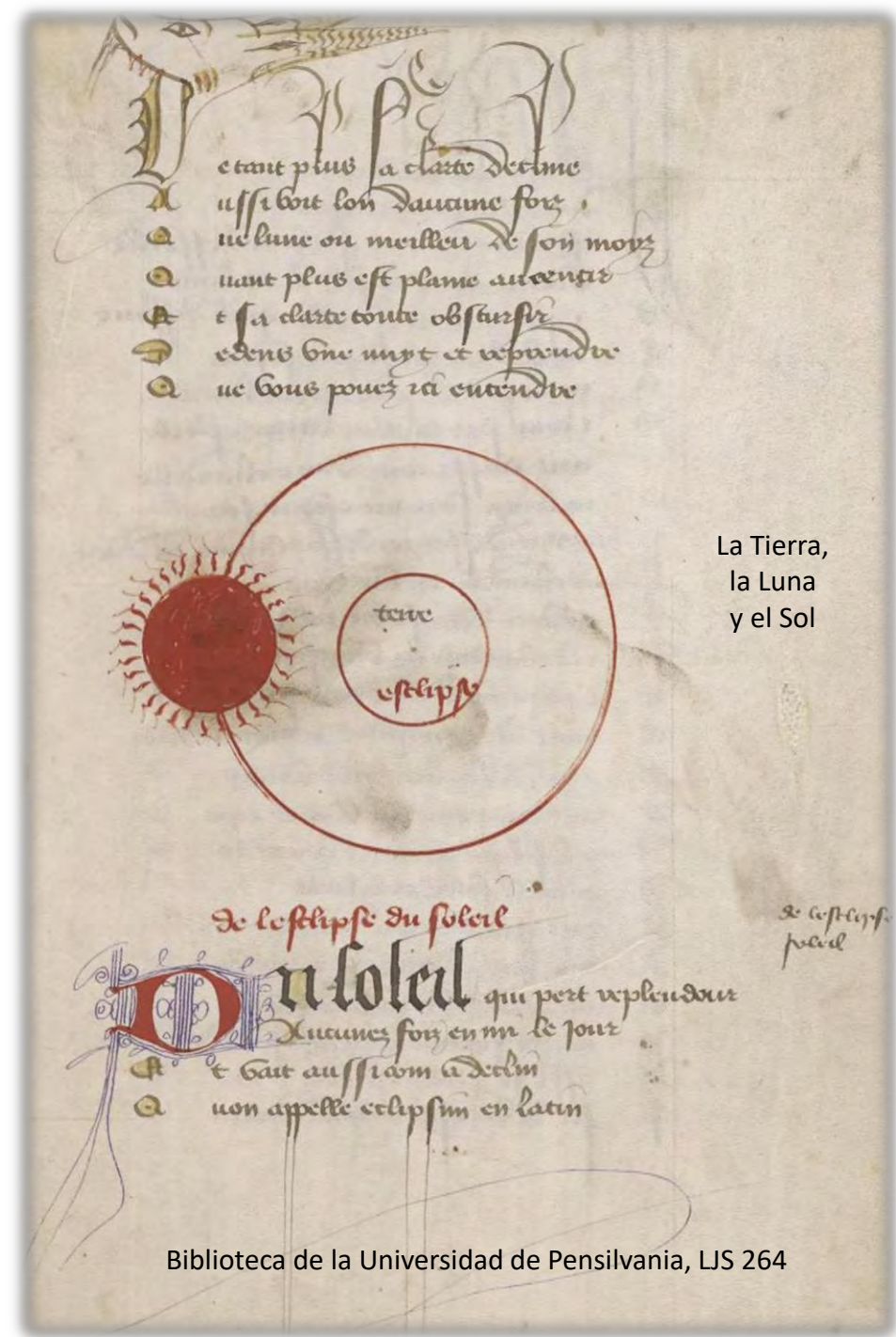


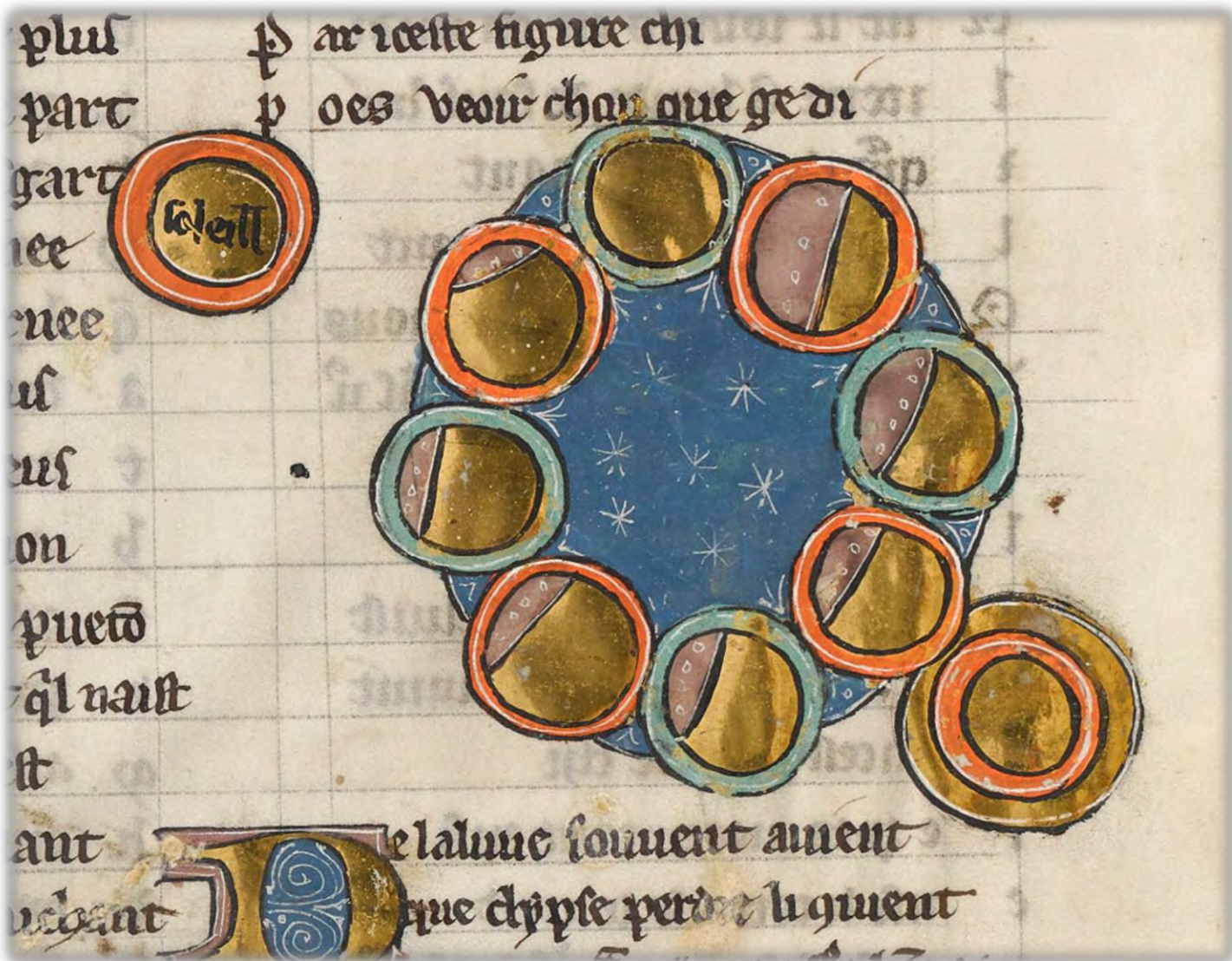
Tolomeo como Rey

La tercera parte es la dedicada a la astronomía, aunque proliferen las leyendas recogidas en los relatos de autores previos. Una de ellas fue la protagonizada por San Dionisio, antes de que fuese convertido por el apóstol San Pablo, según la cual observó el eclipse de sol que tuvo lugar a la muerte de Jesucristo; magníficamente representada en uno de los frescos que adornan la biblioteca del Monasterio del Escorial. Las informaciones astronómicas que se ofrecen en la Imagen del Mundo coinciden sensiblemente con las que figuran en el Almagesto, a una de cuyas traducciones debió tener acceso Gautier de Metz; no obstante, confundió a su autor con el faraón Tolomeo I, influido quizás por San Isidoro que también hizo rey al astrónomo Claudio Tolomeo. Los resultados de los cálculos que se ofrecen son variables, dependiendo del manuscrito consultado; un defecto atribuido más a los copistas que a Gautier de Metz, cuyos conocimientos matemáticos no eran despreciables. Solo se referirán en este contexto los que efectuó acerca de las dimensiones de la Tierra, cuya circunferencia tenía a su juicio un perímetro de 20428 millas; siendo esa la cifra que más se repite en las copias manuscritas de su obra. Cada una de las millas tenía 100 pasos, cada paso 5 pies y cada pie 14 pulgadas (el error es obvio, pues son 12 en lugar de 14). El diámetro asignado a la Tierra fue de 6500 millas, como ya quedó dicho. Hoy día resulta sorprendente que llegase a concretar la distancia del firmamento a la Tierra: 10066 veces su diámetro, esto es 65429000 millas. En cuanto a la distancia de la Tierra al Sol, fue fijada en 585

veces el diámetro terrestre («como lo prueba Tolomeo»), aunque en el *Almagesto* se indicara que era igual a 1210 veces el radio de la Tierra; asimismo hay una ligera discrepancia al concretar las dimensiones del Sol: 166  $\frac{3}{20}$  veces mayor que la Tierra, según Gautier, y 170 veces de acuerdo con Tolomeo.

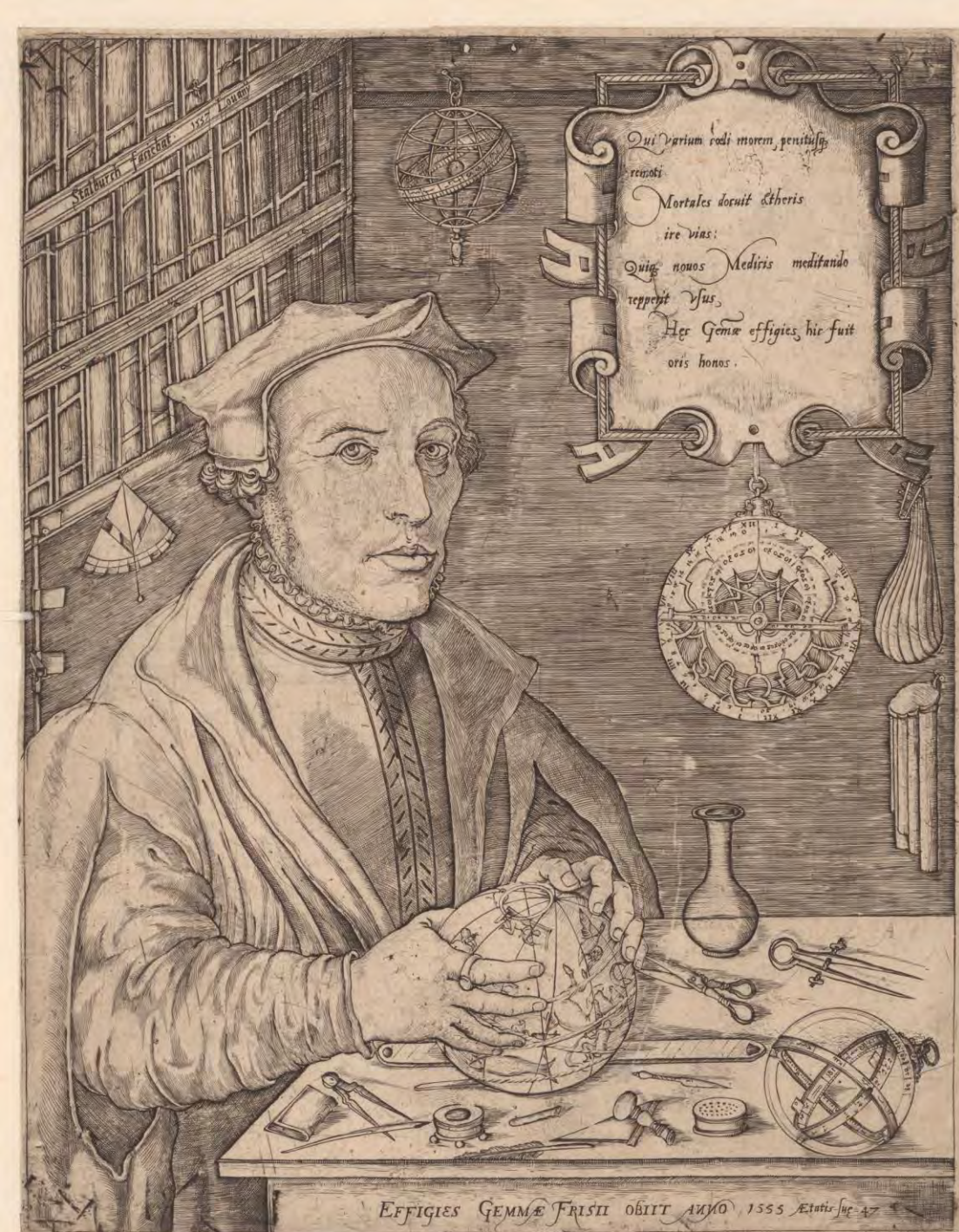
La *Imagen del Mundo* tuvo gran éxito, sobre todo en su primera versión (dedicada al hermano del rey), de la que se conservan más de 65 copias manuscritas, 44 más que las de la segunda versión; posteriormente fue escrito en prosa y traducido al hebreo y al inglés, siendo impreso en varias ocasiones en los siglos XV y XVI.





## Gemma Frisius (1508-1555)

Médico y cosmógrafo flamenco, amigo del emperador Carlos V y director de un taller en el que se construyeron numerosos globos, celestes y terrestres, además de otros instrumentos matemáticos; en él contó con la colaboración de Mercator. Aunque su primer nombre fuese Regnier Gemma, pronto decidió latinizarlo al añadirle Frisius, recordando así la región holandesa en que nació. Recibió sus primeras enseñanzas en la ciudad de Gröningen, ingresando en 1526 en la Universidad de Lovaina; donde estudió medicina, matemáticas y astronomía, materias que acabaría enseñando en dicha universidad. Muy pronto aplicó sus conocimientos a la cosmografía, cooperando con Gaspard Van der Heyden (1496-1549) en la construcción de instrumentos y en la formación de mapas. Su primera publicación apareció en el año 1529, una versión corregida de la Cosmografía de Apiano (1524), cuyo título fue *Cosmographicus liber Petri Apiani mathematici, studiose correctus, ac erroribus vindicatus per Gemmam Phrysiū*; las novedades aportadas fueron los mapas de América, presentándolos como dos continentes separados (curiosamente el topónimo América solo figuró en el que estaba por debajo del ecuador).



Este libro se reeditó 30 veces, entre 1529 y 1609, 18 en latín, 8 en alemán, 5 en francés y 1 en español .

... ut auctores in templa... **Petri Apiani libellum** suscipito a situ vindicatum,  
 qui inter multos Cosmographos præcipuam meruisse laudem censebitur,  
 cum tam multa scitu dignissima, tam breui copia: tum etiam adeo  
 dilucide uariis figuris κατὰ Νικόστρατον tractauerit  
 ut nihil iam ad Claudii Ptho. Cosmographiam  
 desyderes, & nostrum laborem quantulūcūq;  
 cunq; boni consulito, Vale. Iphis  
 Idibus Februariis. Anno  
 M. D. XXIX.





# GEMMA PHRY:

SIVS DE PRINCIPIIS ASTRONOMIAE & Cosmographia, Decq; vfu Globi ab eodem editi. Item de Orbis diuisione, & Infulis, rebusq; nuper inuentis.



Veneunt cum Globis Louanij apud Seruatium Zassenum, & Antuerpie apud Gregorium Bontium sub scuto Basiliensi.

El siguiente proyecto en que se involucró fue en la construcción de un doble globo (terrestre y celeste), grabado por G. van der Heyden en 1530. G. Frisius escribió como complemento del mismo el libro *De Principiis Astronomiae Cosmographiae*, un título que al que se añadió (en latín) instrucciones para el uso de globos, con información sobre el mundo, las islas y otros lugares descubiertos recientemente; en la dedicatoria ya había señalado que en el celeste aparecían las estrellas más importantes de las ocho esferas celestes. La obra se dividió en tres partes bien diferenciadas, exponiéndose en la primera conceptos tales como latitud, longitud, meridiano, polos, eclipses, signos del zodiaco, etc; en la segunda se explicó el uso del globo y en la tercera se le comentaba al lector como eran los pueblos, animales y plantas de países lejanos. El capítulo XIX del libro se dedicó exclusivamente al problema de la longitud, centrándose en el empleo simultáneo de observaciones astronómicas con el astrolabio, combinadas con relojes que permitían fijar la hora en que se efectuaban aquellas; supuesta idéntica la diferencia entre las horas locales y las longitudes geográficas de los lugares respectivos. G. Frisius estaba convencido de la bondad del procedimiento: «De esta manera podría encontrar la longitud de los lugares, incluso si me arrastraran sin darme cuenta a lo largo de mil millas»; aunque era consciente de las dificultades para fijar exactamente la hora: «... debe ser un reloj muy fino que no varía con el cambio de aire».

El globo celeste de 1537

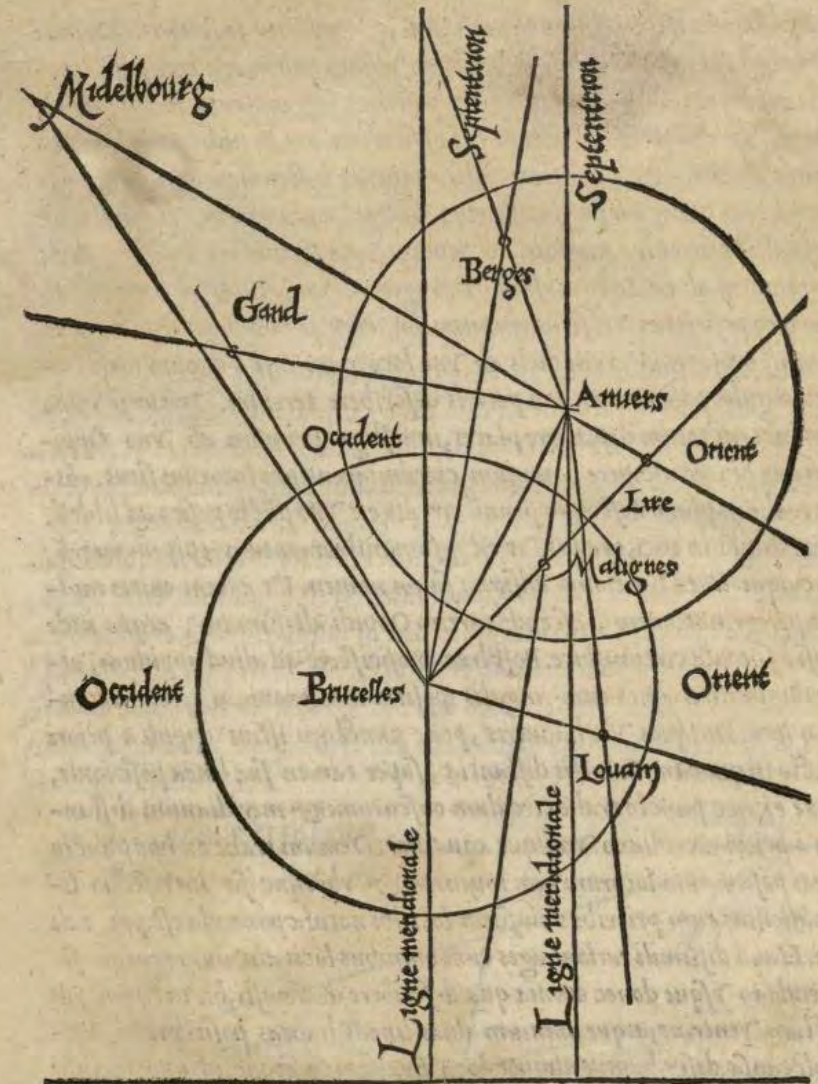


La acogida del libro y de los dos globos debió ser buena, puesto que en 1531 obtuvo un privilegio imperial de diez años para la construcción de globos, renovándolo en 1536 con vistas a otro terrestre de 37 cm de diámetro; cumpliéndose en cierto modo lo que apuntó en 1830: «el globo... es el único de todos los instrumentos cuyo uso frecuente deleita a los astrónomos, dirige a los geógrafos, confirma a los historiadores, enriquece y mejora a los juristas, es admirado por los gramáticos, guía a los pilotos, en resumen, además de su belleza, su forma es indescriptiblemente útil y necesaria para todos». Esta obra de Gemma Frisius se reeditó once veces, incluyendo en la de 1533 el celebrado apéndice *Libellus de locorum*, en el que se refirió el novedoso método de la triangulación, que tanto había usado su profesor J. Deventer durante sus levantamientos topográficos; un procedimiento indirecto para calcular distancias y localizar puntos singulares de la superficie terrestre. Una de sus ilustraciones más señaladas fue el clásico triángulo Bruselas-Amberes-Middelburg (capital de la provincia de Zelanda) tantas veces reproducido en la historia de la geodesia. El prestigio de G. Frisius fue tal que el embajador de Polonia en Bruselas, lo invitó a reunirse con él en la corte; allí acudió y recibió la propuesta de trasladarse a Polonia para colaborar con Copérnico, pero al final declinó la oferta y regresó a Lovaina.

Fo. 5r.

# Libellus de locorum descri-

bendorum ratione, Et de eorum distan-  
tiji inueniendis, nunq̄ antehac visus,  
Per Gemmam Frisium.





En el año 1534 dio a conocer un nuevo instrumento (el anillo astronómico) que se había construido bajo su dirección en el taller de G. van der Heyden, cuyo funcionamiento explicaría años después en su libro: *Usus Annuli astronomici*; aunque se incluyera después como anexo en otras de sus obras. El aparato consistía en un conjunto ensamblado de tres aros graduados y mutuamente perpendiculares, unido a una anilla que sujetaba el operador al efectuar la observación correspondiente; los aros representaban al ecuador celeste, al círculo horario y al meridiano del lugar. Aunque su apariencia fuera simple, se trataba de un instrumento astronómico versátil, con el que se podía averiguar la hora y las cuatro direcciones cardinales; la Norte Sur se podía materializar cuando las sombras de los mismos estuviesen en conjunción. En los 20 capítulos de que constó la obra se explicaban todas sus posibles aplicaciones: astronómicas (medida de alturas del Sol y demás estrellas) y topográficas (cálculo de alturas de edificios o profundidad de pozos).

GONTENTA LIBELLI.

- Declaratio partium. Cap. I.
- De Usu annuli & signi inuentione quod sol quous die occupet. Cap. II.
- Eleuatio poli quomodo inueniatur. Cap. III.
- Horæ inuentio interdiu. Cap. IIII.
- An sit ante meridiem an post. Cap. V.
- Horæ nocturnæ inuestigatio. Cap. VI.
- Qua ratione horæ nocturnæ facilius inueniantur. Cap. VII.
- De ortu solis & quantitate diei. Cap. VIII.
- De horis inæqualibus siue planetarum. Cap. IX.
- Quota sit hora ab ortu solis vel occasu. Cap. X.
- Plagas mundi quomodo inuenias. Cap. XI.
- De altitudine solis & stellarum. Cap. XII.
- Altitudinum dimensio per umbras. Cap. XIII.
- De altitudine per solum visum. Cap. XIIIII.
- De altitudinibus rerum inaccessibilium. Cap. XV.
- Facilius idem. Caput XVI.
- De longitudine rerum in ædito sitarū. Cap. XVII.
- Aliter idem & facillimè. Cap. XVIII.
- Distantiæ dimensio. Cap. XIX.
- De profunditatis mensuratione. Cap. XX.

V S V S  
Annuli Astro-  
NOMICI GEMMA  
FRISIO MATHEMATICO  
Autore.



ANTVERPIÆ,  
In ædibus Ioannis Steelfii.  
M. D. XLVIII.

120.

# GEMMAE FRISII

## MEDICI ET MATHEMATICI,

De Radio Astronomico & Geometrico liber. In quo multa quæ ad Geographiã, Opticam, Geometriam & Astronomiam utilis. sunt, demonstrantur. Illustris. Comiti de Feria dicatus.

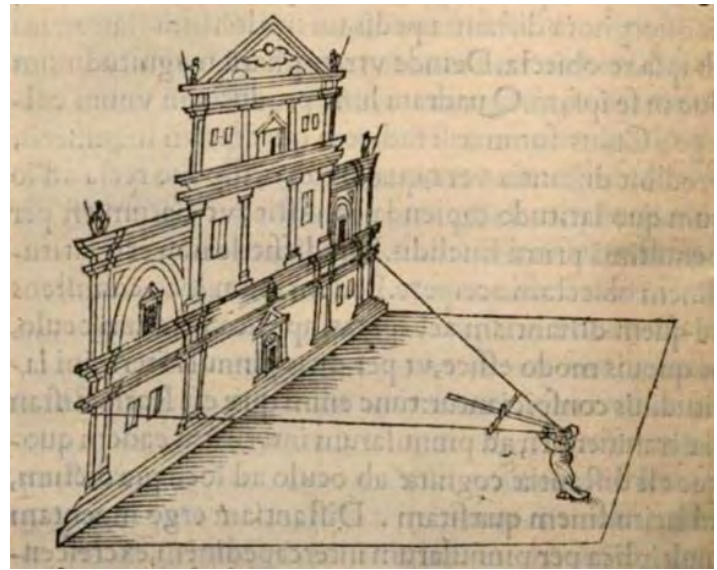
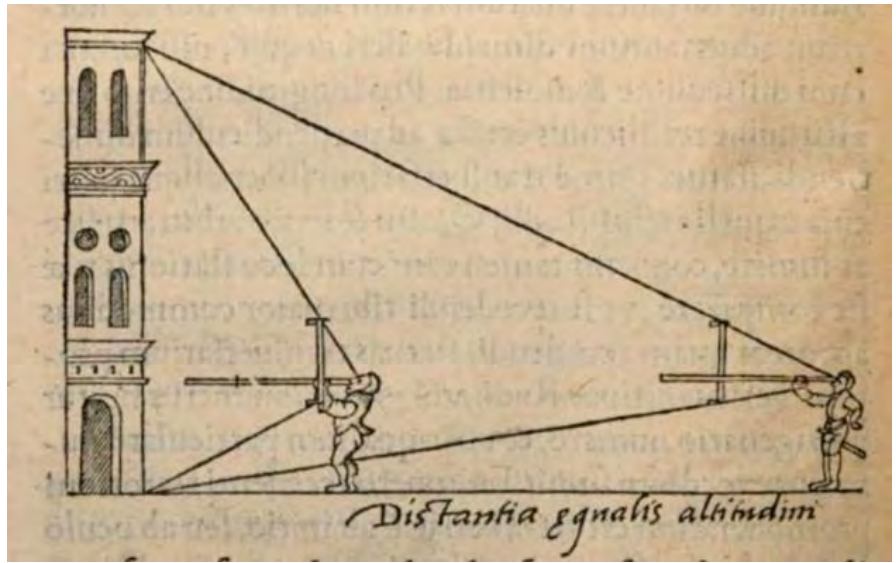


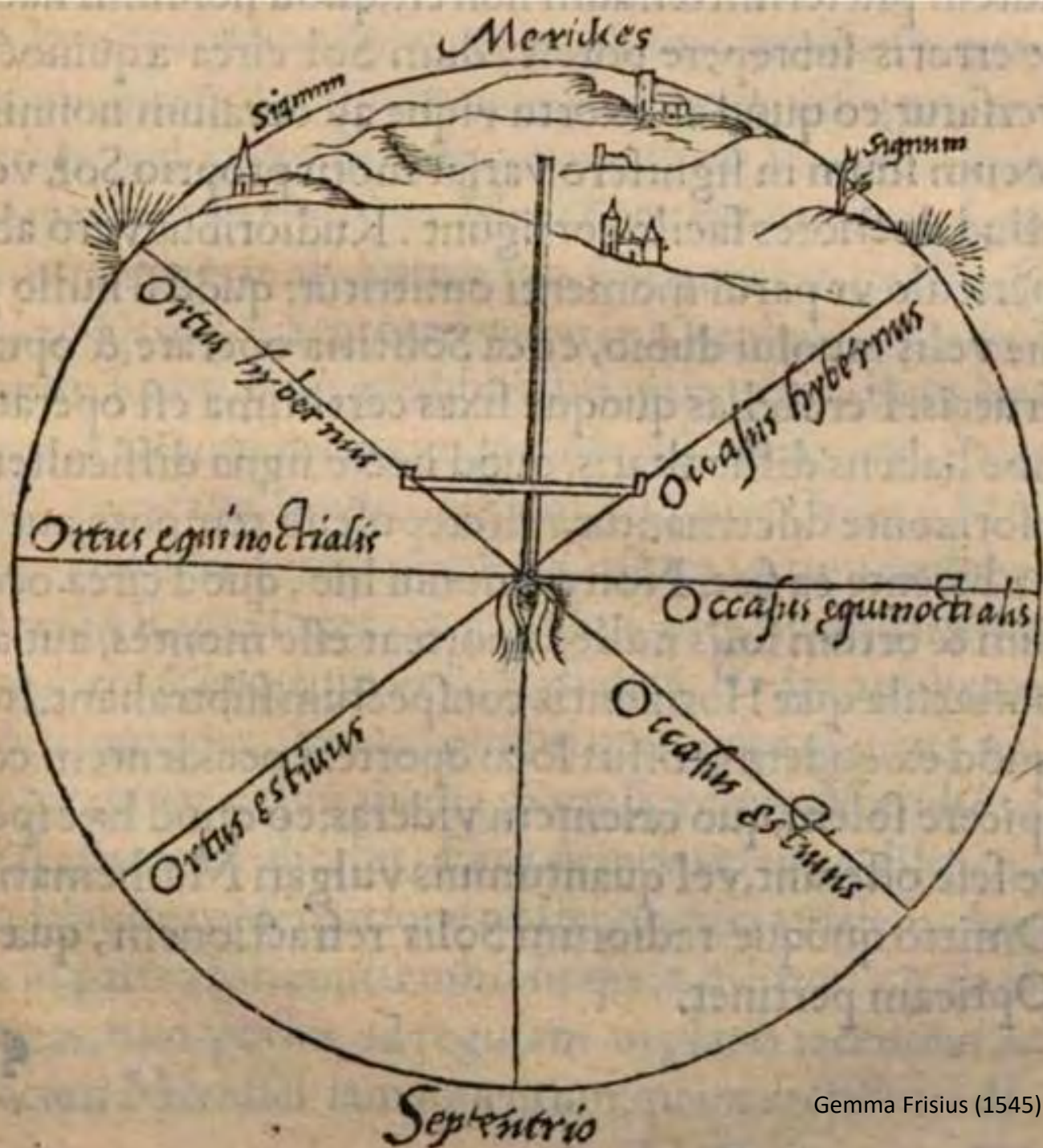
Titanis radios firmato lumine perfert  
(Symbolum habes cuius) fulua Tonantis auis,  
Tu comes, est Aquilæ cui par cum lumine pectus,  
Ingenij radios hoc acuas Radio,  
Hoc Radio terras, cœlum, cœliq; micanteis  
Cognosces radios, sydereasq; faces.

.CVM PRIVILEGIO AD SEXENNIVM.

Antwerpia apud Greg. Bontiu sub scuto Basilien.  
& Louanii apud Petrum Phalesium.

En ese mismo año 1534 se incorporó Mercator al taller de G. van der Heyden, colaborando con G. Frisius en la construcción del globo terrestre de 1536 y del celeste de 1537, ya referido. Además de los globos, construyó otros instrumentos matemáticos como la ballesta (o escala de Jacob) de 1.5 metro de largo y un brazo transversal deslizable de 0.75 metros; cuyo posible uso detalló en los 33 capítulos de que constó el libro *De Radio Astronomico & Geometrico* (1545), dedicado a Pedro Fernández de Córdoba y Figueroa (1518-1552), IV Duque de Feria. Ejemplo de sus muchas aplicaciones fueron las siguientes: la medida de la altura y anchura de edificios, y otras de índole astronómico de mayor relevancia, como la constatación de que los ortos y ocasos del Sol varían con el lugar de la observación y la época del año en que se realizaran; así como la gnomónica.





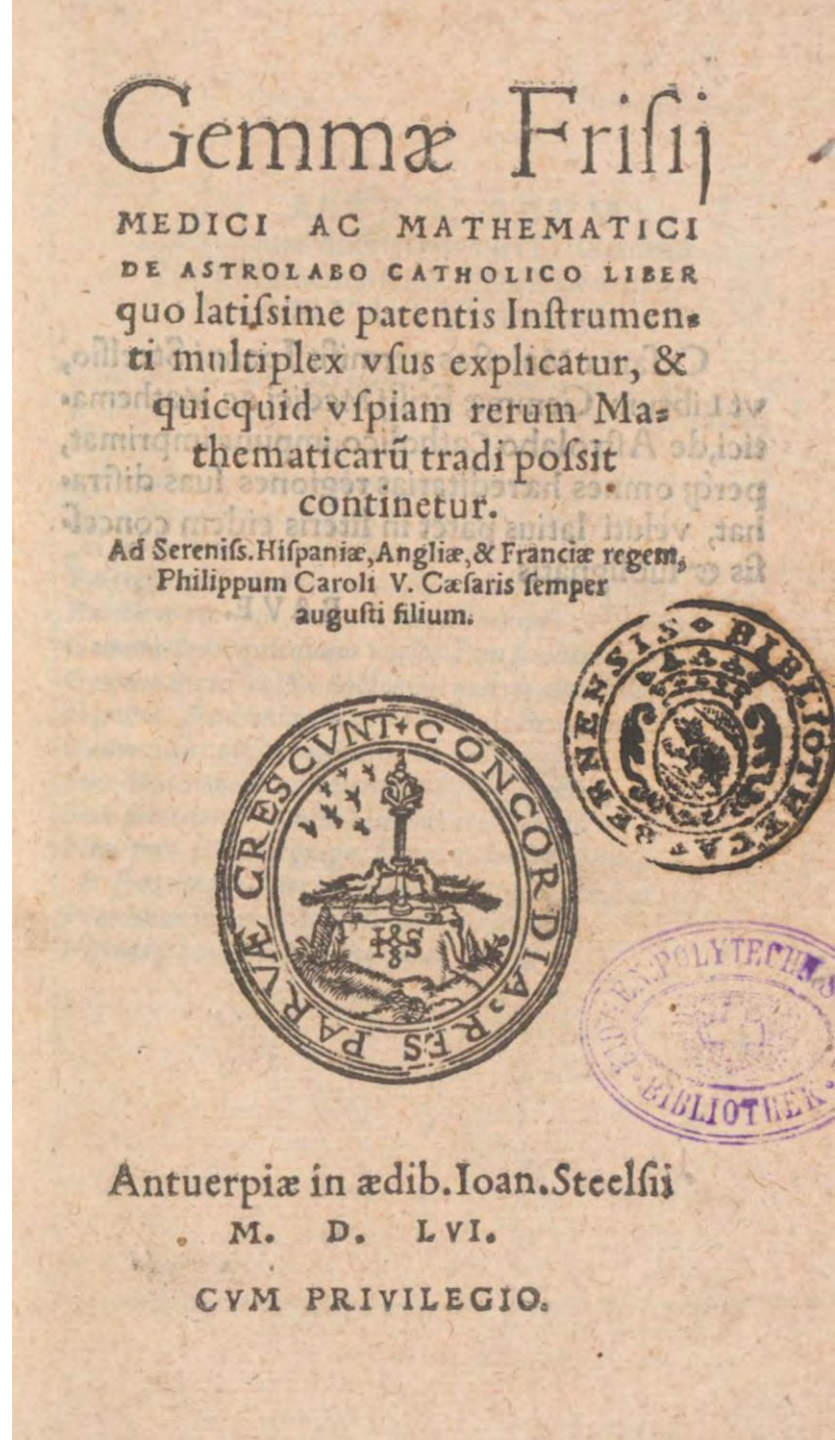
Proyección ortográfica de la esfera celeste sobre el plano del horizonte. Los ortos y ocasos del Sol a lo largo del año, destacando sus posiciones en los solsticios (verano e invierno) y en los equinoccios.

Gemma Frisius diseñó también un astrolabio singular, pues tenía una doble cara: una era convencional, en la que había que cambiar el tímpano según fuese la latitud del lugar, y otra de carácter universal, análoga a la azafea de Azarquiel. Esa peculiaridad, que permitía realizar observaciones astronómicas en cualquier punto, independientemente de su latitud, hizo que G. Frisius decidiera llamarlo católico; atendiendo igualmente a la extensión de la fe católica por los dominios del imperio español, repartido por los cuatro continentes en el siglo XVI. La descripción y uso del astrolabio se publicó a título póstumo en el año 1556: *Gemmae Frisii de astrolabio catholico liber: quo latissime patentis instrumenti multiplex usus explicatur, & quicquid uspiam rerum mathematicarum tradi possit continetur.*

Se dio la curiosa circunstancia de que el hijo de G. Frisius, Cornelius Gemma (1535-1579) prologó el libro, encabezándolo con una dedicatoria al rey Felipe II: *Ad Serenissimum Hispaniae, Angliae, et Franciae Regem Philippum, Caroli V. caesaris Semper augusti filium, Corn. Gemmae filij*. Una vez concluidos los cien capítulos de que consta el libro, se añadió un emotivo panegírico de Gemma Frisius redactado por su hijo.



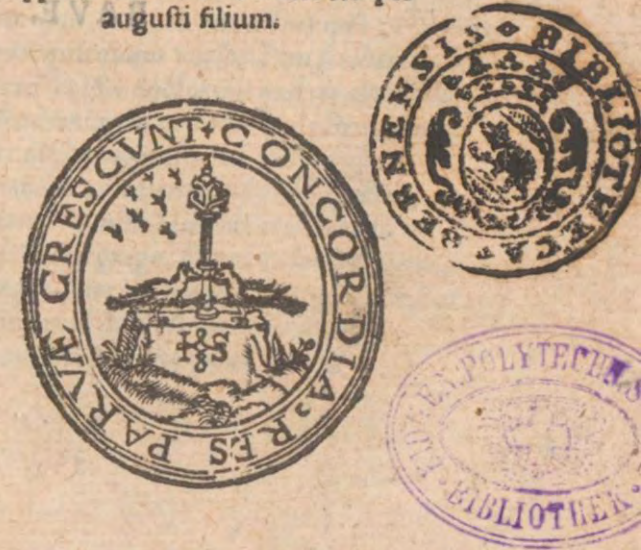
El astrolabio católico de Gemma Frisius



# Gemmae Frisij

MEDICI AC MATHEMATICI  
DE ASTROLABO CATHOLICO LIBER  
quo latissime patentis Instrumen-  
ti multiplex vsus explicatur, &  
quicquid vsipiam rerum Ma-  
thematicarum tradi possit  
continetur.

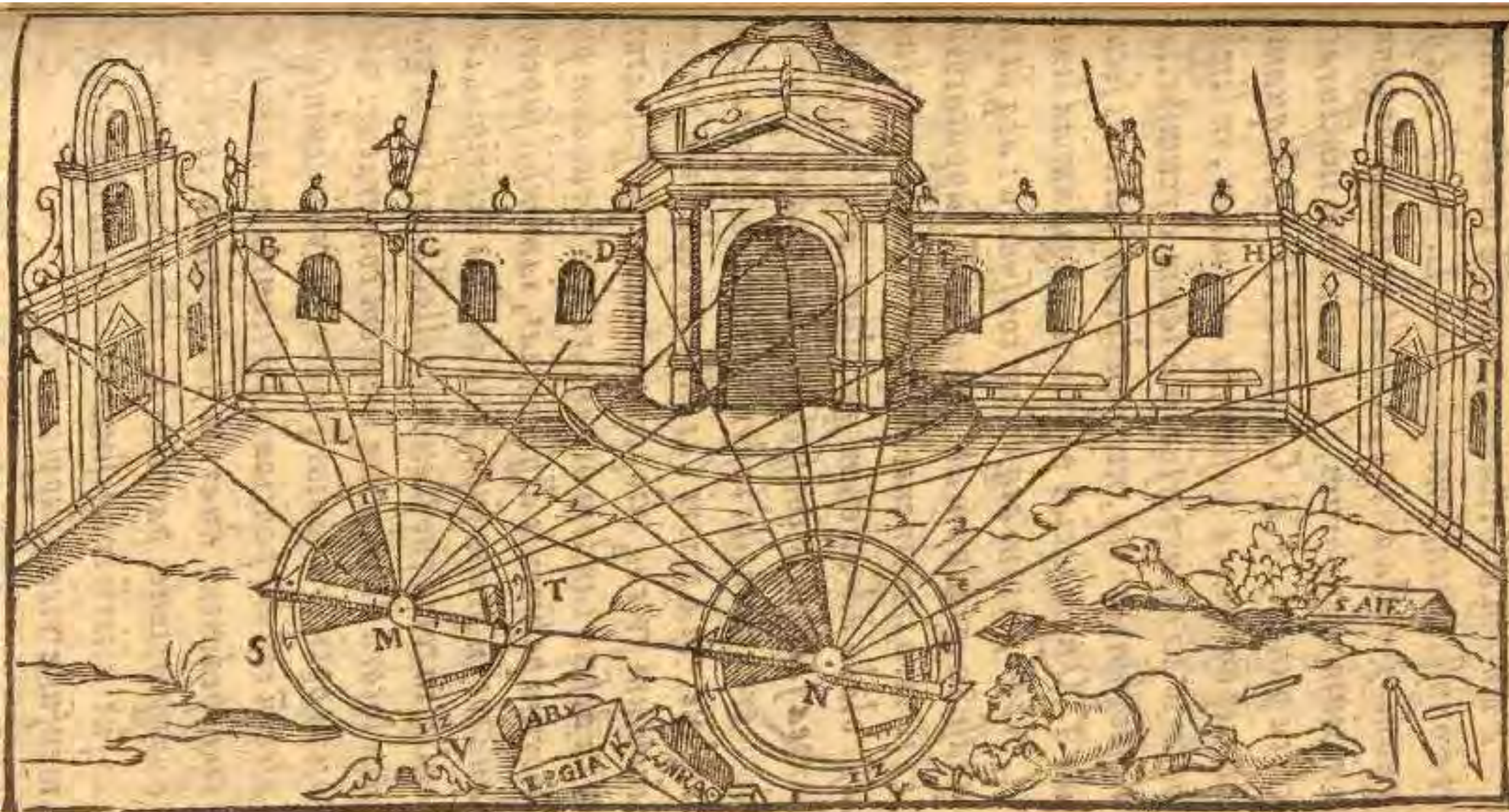
Ad Sereniss. Hispaniae, Angliae, & Franciae regem,  
Philippum Caroli V. Caesaris semper  
augusti filium.



Antuerpiae in aedib. Ioan. Steelfis

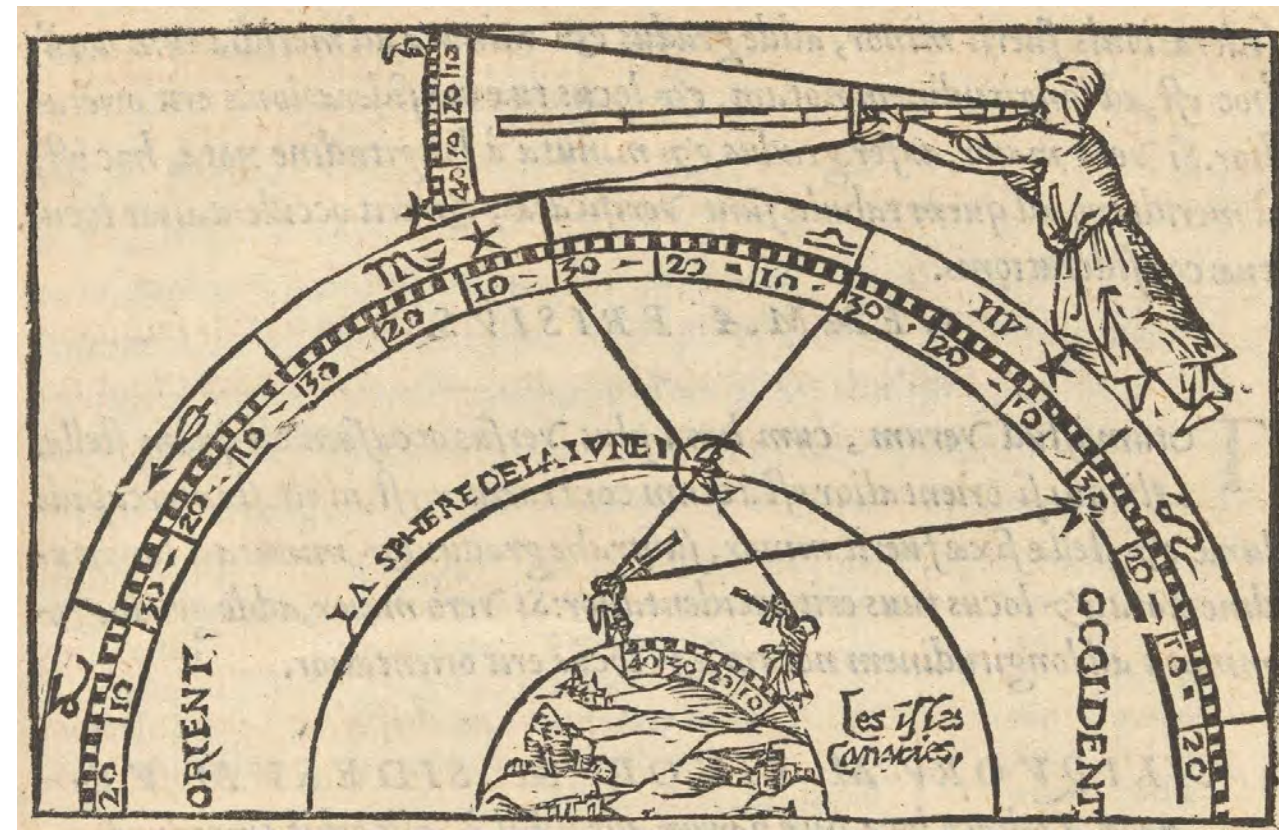
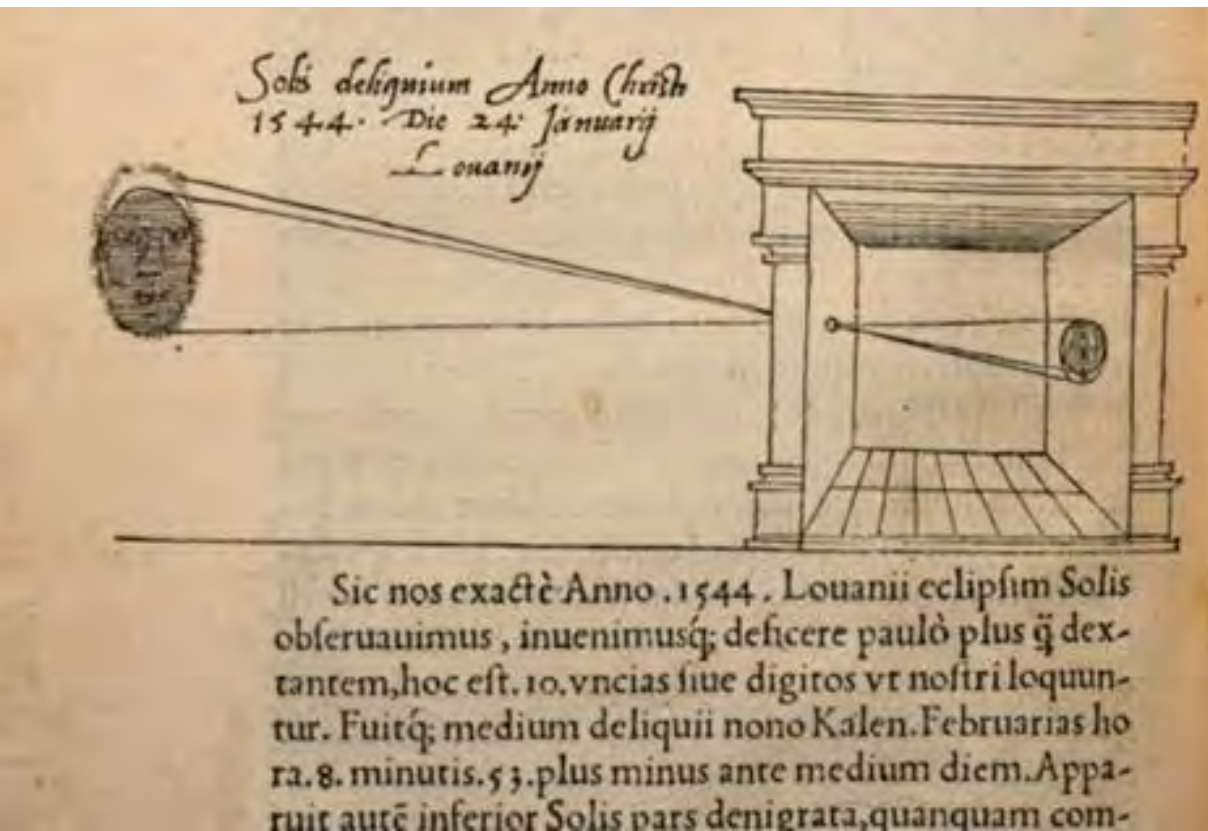
M. D. LVI.

CVM PRIVILEGIO.





Los conocimientos matemáticos de Gemma Frisius le permitieron detectar que los cometas se desplazaban sobre el fondo estrellado, es decir que tenían movimiento propio; llegando a registrar su paso en julio de 1533, en enero de 1538 y el 30 de abril de 1539 (algunas de esas observaciones fueron descritas en las obras de su hijo Cornelius, profesor de astronomía en la universidad de Lovaina). Gemma Frisius observó también el eclipse de Sol que tuvo lugar el día 24 de enero de 1544 y así lo hizo constar en su obra *De Radio Astronomica & Geométrico*, ilustrando su descripción con el primer dibujo de una cámara oscura: la luz del Sol penetró por el orificio de una pared, proyectando su imagen en la pared opuesta. También debió observar la Luna con su báculo de Jacob (fabricó el primero metálico), con el fin de hallar la longitud con relación al meridiano de las Islas Canarias; así se desprende de otra de las ilustraciones con que iluminó varias de sus obras.



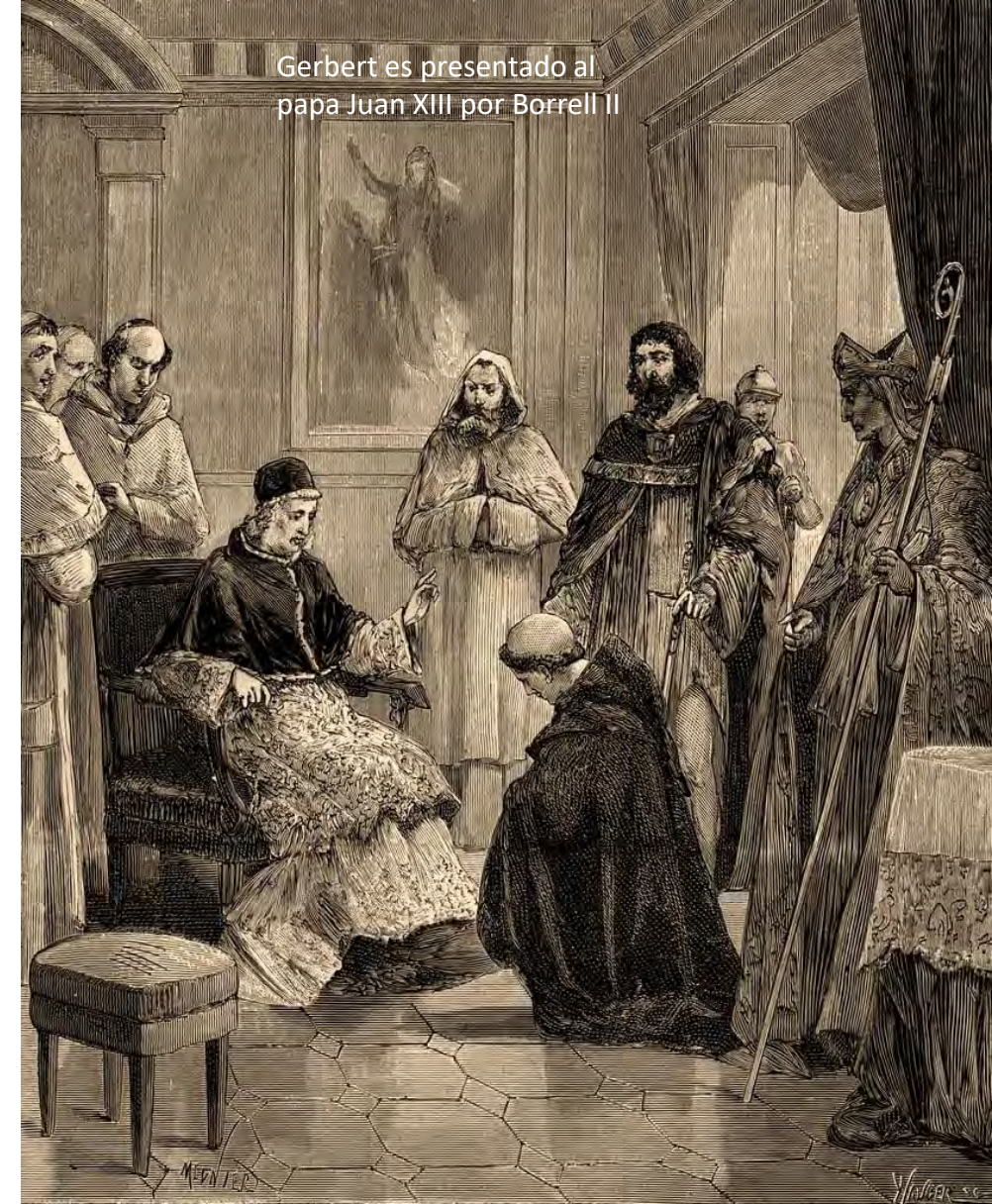
## Gerbert d'Aurillac (ca.945 -1003)

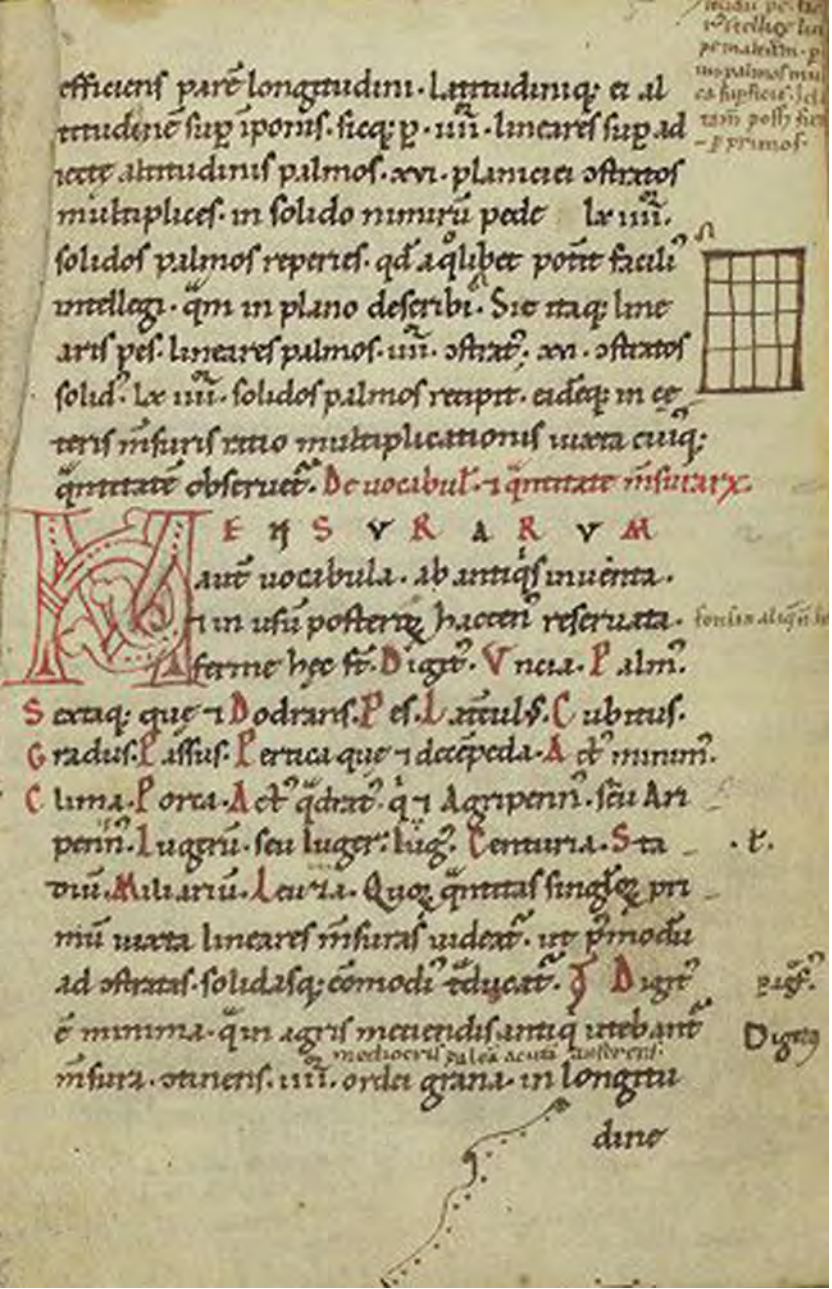
Filósofo y matemático francés, que fue Sumo Pontífice de la Iglesia, entre los años 999 y 1003, con el nombre de Silvestre II. Apenas se sabe nada de su infancia, aunque si que se educó en el monasterio benedictino de Saint Géraud (Aurillac); allí aprendió las materias del *trivium*: gramática, dialéctica y retórica. En el año 967 visitó el monasterio el conde catalán Borrell II (ca.934-992), consintiendo que lo acompañase de vuelta a España el monje Gerbert; quiende esa forma complementaría este su formación en materias como la astronomía y la geometría, tal como deseaba el abad. En la escuela catedralicia de Vich permaneció tres años a cargo del obispo Ató, durante los cuales visitaría probablemente la ciudad de Córdoba y entraría en contacto con los sabios de al Andalus; los cuales le proporcionarían la información que iba buscando sobre el *quadrivium*: aritmética, música, astronomía y geometría. Un bagaje científico que debió exponer cuando llegó a Roma en el año 970, acompañando a Borrel II. Años después, Richer de Reims (940-998), discípulo de Gerbert, detalló los conocimientos astronómicos de este, tras un breve comentario sobre los musicales y aritméticos. Conocimientos reflejados en



los diversos instrumentos que empleaba: un globo celeste, una semi esfera con tubos incorporados para la observación, una esfera armilar con la eclíptica y otra con el horizonte. Así familiarizó a sus alumnos con los nombres y formas de las constelaciones, con las órbitas de los planetas y con los conceptos fundamentales de la astronomía esférica o de posición.

Un testigo de excepción del saber de Gerbert fue el Papa Juan XIII (910-972), quien informó al rey Otón el grande (912-973) sobre la llegada «de un joven de tal calidad, que dominaba perfectamente las matemáticas y que era capaz de enseñarlas eficazmente a sus hombres». El rey quedó tan impresionado al conocerlo, que lo nombró tutor de su hijo, el futuro Otón II; una tarea que cumplió hasta que, pasados dos años, decidió trasladarse a Reims para continuar sus estudios. De nuevo en Francia aprendió lógica de la mano de su amigo Garamano, archidiácono de Reims, a cambio de enseñarle él música y matemáticas. El arzobispo Adalberón (925-989) lo nombró entonces responsable de la escuela catedralicia, con tanto acierto que el plan de estudios preparado por Gerbert convirtió a la escuela de Reims en un Centro de referencia. De ese perioso datan algunos de sus trabajos, que preparó para sus alumnos con fines didácticos: *Libellus de numerorum divisione*, *De geometria*, *Regula de abaco computi*, *Regulae de numerorum abaci rationibus*, *Liber abaci* y su tratado *De Rationali et Ratione uti*. El último fue un curioso texto, con el que inició la



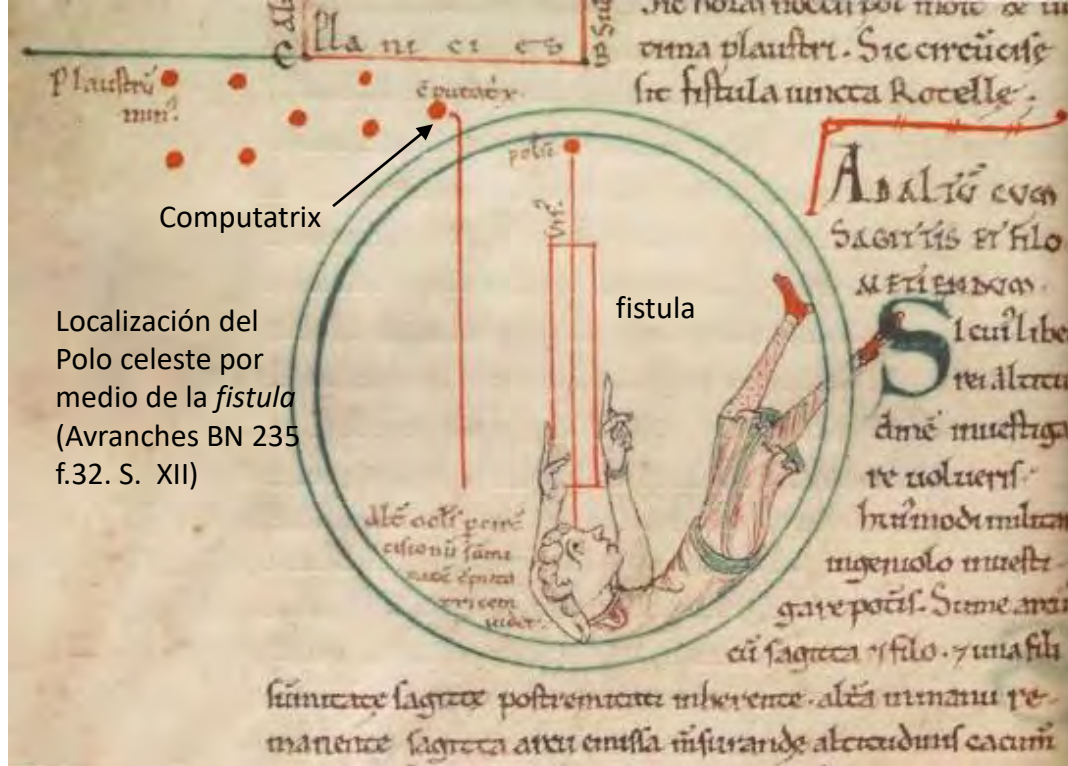


enseñanza de las matemáticas en Francia, en cuyos primeros capítulos se introducen los símbolos, las propiedades de los números y las figuras, dejando para más adelante algunas de las proposiciones de Euclides; no obstante, el núcleo principal del texto se refería a cuestiones de agrimensura, tales como hallar el área de alguna porción de terreno, y otras propias de la geometría aplicada (topografía): calcular la altura de montañas, anchura de ríos y otras análogas.

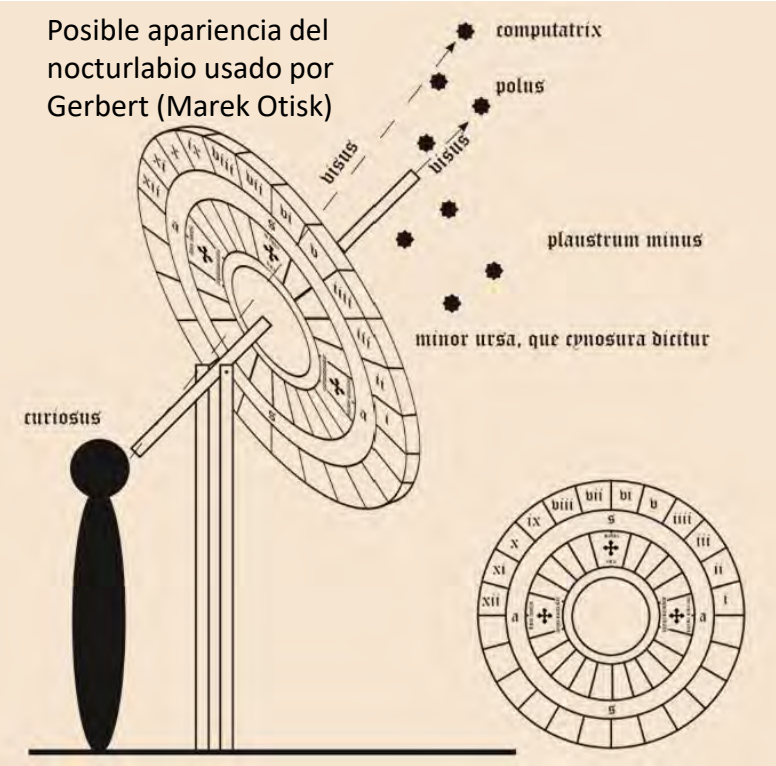
Los instrumentos matemáticos mencionados no solo los usó Gerbert de Reims (como también fue conocido) con fines didácticos, sino también como medio para verificar sus conocimientos teóricos, observando el cielo nocturno. Aunque se haya divulgado menos esa actividad astronómica, hay constancia de su interés en medir el tiempo, como prueban los relojes que construyó para las ciudades de Reims, Rávena y Magdeburgo; de los que da noticias fundadas el profesor checo Marek Ostik (Universidad de Ostrava) en su trabajo *The Pope Sylvester II as clock maker*. El reloj de Reims, *Horologium arte mechanica compositum*, fue ya mencionado por William de Malmesbury (ca. 1080/1095 – ca.1143); el de Rávena, *Horologium aequalitis sive clepsidra*, también se le atribuye; finalmente, el de Magdeburg fue referido por el obispo Thietmaro de Merseburgo (975-1018), según el cual se creó y ajustó correctamente, de acuerdo con las observaciones astronómicas realizadas en esa ciudad. El pronunciamiento del prelado revela otra información básica

Isagoge Geometriae de Gerbert, página de un manuscrito austriaco del siglo XII en el que se expone el concepto de medición.

sobre ese particular: «*In Magdeburg horalogium fecit, recte illud constituens secundum quandam stellam, nautarum ducem, quam consideravit per fistulam miro modo*»; en la que menciona el aditamento (tubo o fistula) que debió facilitar la localización de las estrellas, y de manera especial la estrella polar (llamada Computatrix



Posible apariencia del nocturlabio usado por Gerbert (Marek Otisk)



en el siglo XII) y el polo norte celeste. Una vez localizado el polo con la fístula, la estrella del entorno le permitía calcular la hora de la noche en cualquier día del año; hecho que hacía del nocturlabio empleado por Gerbert un reloj nocturno de reconocida fiabilidad.

Es probable que durante su estancia en Reims escribiese Gerbert un tratado sobre las aplicaciones del astrolabio, supuestamente titulado *Liber de astrolabio* o *Liber de utilitatibus astrolabii*; el cual habría preparado apoyándose en la documentación que le había enviado el arcediano Sunifred Llobet (Lupitus Barchinonensis) desde Cataluña.

Aunque Gerbert sea considerado generalmente como el introductor de astrolabio en el occidente cristiano, actualmente se suele pensar que el tratado anterior debió ser escrito por alguno de sus discípulos o por otro autor contemporáneo. El texto comienza con las definiciones básicas de la astronomía: ortos, ocasos, latitud y modos de

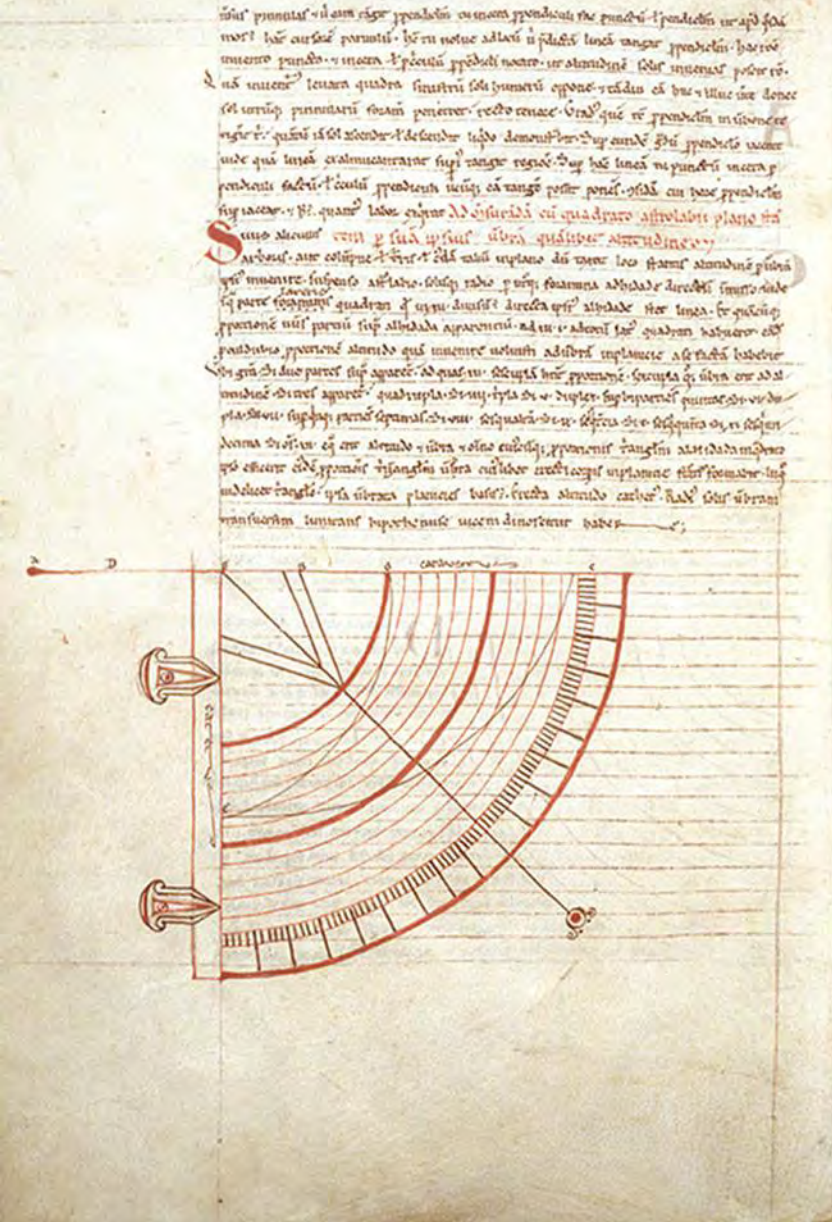
averiguar la hora, siendo esa última la meta principal del libro. Aunque el astrolabio tuviese variadas aplicaciones, fue considerado entonces como un instrumento dedicado fundamentalmente a la medida del tiempo.

La aportación matemática de Gerbert fue trascendente, más desde el punto de vista aritmético que del geométrico, contribuyendo con ella a la transmisión del conocimiento de oriente a occidente y concretamente a la superación de la numeración romana en favor de la indo-arábica; suya fue la obra *Regulae de Numerorum abaci rationibus*, en la que dio cuenta de la misma. El ábaco constaba de 27 columnas, agrupadas de tres en tres, para indicar las unidades, decenas y centenas, entendiendo que el valor asignado al signo

|    | ċ | x̄ | ī  | c | x  | l  |         |
|----|---|----|----|---|----|----|---------|
|    |   |    |    |   | l  | xl | 13      |
|    |   |    |    |   | 8  | l  | 87      |
|    |   |    | xl |   | l  | xl | 4 019   |
| xl |   |    |    | h | xl |    | 400 520 |
|    |   |    |    | h | xl | xl | 539     |
| l  |   |    |    |   | xl | h  | 100 065 |

9 8 7 6 5 4 3 2 1

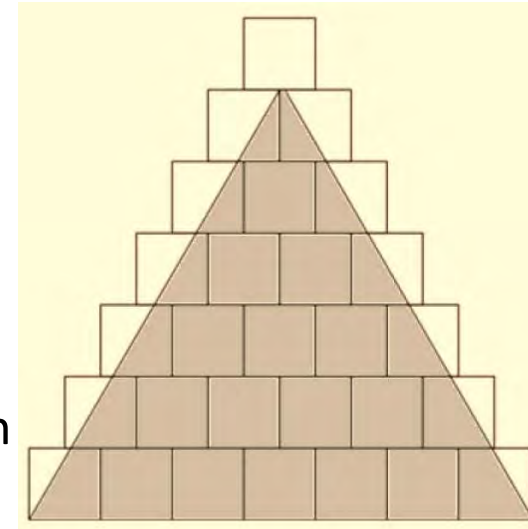
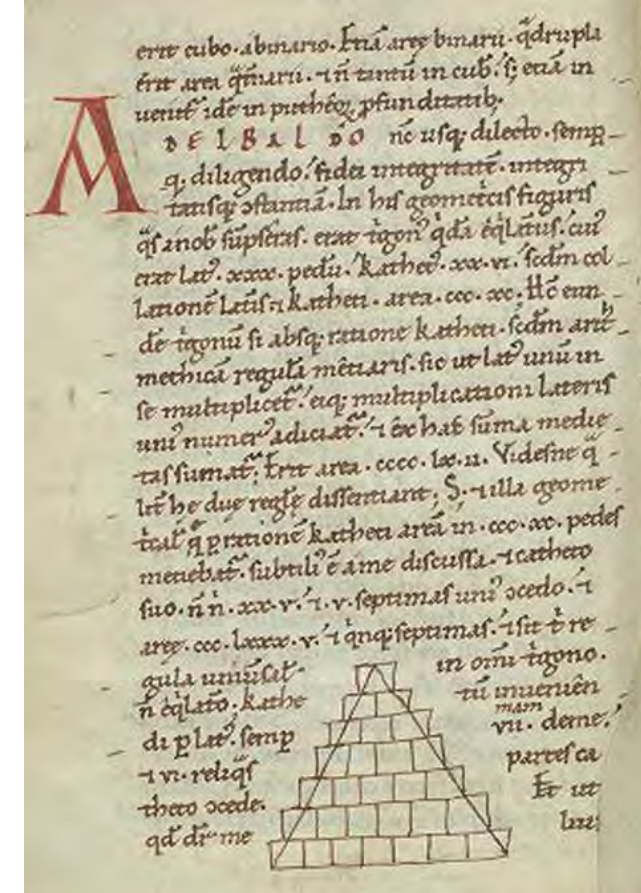
LOS NUEVOS CARACTERES NUMÉRICOS



Manuscrito francés (*Royal 15 B IX*) del siglo XII, que contiene escritos de Gerbert sobre astronomía y geometría. En esta página instruye sobre el uso del astrolabio para hallar la altura de un objeto lejano.

dependía de la columna en que estuviese situado y que la falta de signo se correspondía con el cero actual; con su aparente sencillez (el estudiante movía el signo a discreción), el instrumento debió ser de gran utilidad para aprender el uso correcto de la aritmética y sus reglas.

Gerbert demostró poseer conocimientos geométricos suficientes como para corregir la fórmula que permitió a Boecio (480-535) calcular el área de un triángulo equilátero:  $L(L+1)/2$ . El documento en que lo hizo fue una carta enviada al obispo de Utrech Adalbold II (ca. 970- 1026), indicándole que de las dos formas que conocía: la anterior y aquella en la que se multiplicaba el lado por la mitad de la base, la correcta solo era la segunda. Como el triángulo equilátero propuesto en el ejercicio tenía un lado de 30 pies y una altura de 26, el área resultante sería de 390 pies cuadrados; en cambio con la primera fórmula se habrían obtenido 465 pies cuadrados. Ahora bien el valor correcto no sería ninguno de los dos anteriores, ya que vendría dada por 389.71 pies cuadrados ( $L^2 \sqrt{3}/4$ ); o bien suponiendo que la altura era de 25.98 en lugar de ser de 26 pies. Así procedió Gerbert, quien aproximó la raíz cuadrada de 3 por 26/15, es decir en lugar de 1.732, eligió 1.733. La carta contenía una figura que pretendía explicar como podía hallarse el área del triángulo en función del número de cuadrados, con el siguiente comentario: «para comprender con mayor claridad el asunto, no dejes de mirar la figura y recuerda siempre lo que te dije». De nuevo la equivocación del copista, que dibujó cuadrados desiguales y un triángulo isósceles en vez de equilátero, dificultó la interpretación de este valioso documento científico.





El emperador Otón ii, junto a las alegorías de las cuatro provincias del imperio

El prestigio Gerbert, tan evidente en la sociedad de su tiempo, despertó la envidia de algunos de sus compañeros, fue el caso del director de la escuela de Magdeburgo; las desavenencias entre ambos desaparecieron cuando el emperador Otón II nombró a su antiguo tutor (que ya había sido ordenado sacerdote) abad del monasterio italiano de Columbano, en 983. Después de intentar su reforma, durante un año, no lo consiguió y optó por regresar a Reims, para ponerse nuevamente al frente de la escuela. En el año 988 murió el arzobispo y tras un breve mandado de Arnulfo, fue elegido Gerbert (viéndose así cumplida la petición que había hecho Adalbero); no obstante, el sínodo celebrado durante el año 995 revocó su nombramiento en favor de Arnulfo. Al año siguiente fue elegido papa Bruno de Carintía (ca.972-999), con el nombre de Gregorio V; el cual nombró a Gerbert arzobispo de Rávena en 998. El fallecimiento del nuevo papa y el cónclave consiguiente, propició el nombramiento de Gerbert como papa, el 9 de abril de 999; la elección del Nombre Silvestre II obedeció a su deseo de homenajear a su antecesor Silvestre I (ca. 285-338), el cual bautizó al emperador Constantino. El mandato de Gerbert fue problemático, pues no fue del agrado de la nobleza y se vio obligado a abandonar Roma, para refugiarse en Rávena junto al emperador Otón III, obligados por los disturbios populares del año 1001.



El papa Silvestre II fue una figura excepcional de la Iglesia, eclesiásticos Alemania, Francia e Italia se formaron con él y establecieron después sus propias escuelas. Siendo Papa, intentó, de acuerdo con Otón III, transformar el imperio para que imperase en él la justicia social y el amor por el aprendizaje; pero el inesperado fallecimiento del emperador impidió el desarrollo de su proyecto. Años después de su mandato, comenzó a ser tildado de hechicero y diabólico, de modo que todo lo que había enseñado quedaría olvidado en los siglos siguientes. Su rehabilitación fue tardía, hubo que esperar al año 1602 para que el cardenal Cessare Baronio (1538-1607), bibliotecario del Vaticano, dijese « Aquellos que quieren borrar su nombre del catálogo de los Papas son unos tontos ignorantes». No obstante, la leyenda continuó en los siglos siguientes: a finales del siglo pasado todavía había algún historiador que creía que el Papa matemático había vendido su alma al diablo a cambio del conocimiento, u otro que recordaba falsamente como sus estudios le habían causado problemas con la Iglesia. El segundo hizo que el Papa Juan Pablo II se refiriera a su antecesor como «un erudito humanista y sabio filósofo, un verdadero promotor de la cultura». Cuando en 2009 se celebró el Año Mundial de la Astronomía, el papa Benedicto XVI señaló: «entre mis predecesores de venerable memoria hubo algunos que estudiaron esta ciencia, como Silvestre II».

Detalle del monumento al Papa Silvestre II (Aurillac. 1851)



# Von dem bobst Siluester des andern



¶ In dem jore do man salt  
von gottes geburte ¶  
vnd ein jor do was  
Siluester ein bobst  
der ander vnd was ge-

boren von weleschem  
land vnd der hieß Sil-  
bertus vnd starp zu Jhe-  
rusalem zu dem heyligen  
Crutze Difer besaß den

El monje William de Malmesbury, un cronista del siglo XII, aseguró en su obra (Gesta regum anglorum, ca. 1125) que el futuro papa había viajado a Toledo para aprender astrología y otras artes de los sarracenos, como la de invocar formas fantasmales del infierno; retomando así la leyenda que se venía transmitiendo desde que la iniciara el cardenal Beno en el siglo XI. Aseguraba el monje que Gerbert, apoyándose en sus conocimientos había moldeado la cabeza de una estatua, que no hablaba a menos que se le preguntara; pero siempre pronunciando la verdad, afirmativa o negativamente. Para el cronista, el argumento de que detrás del conocimiento especial de Sylvester se encontraba una acción demoníaca y no divina quedó confirmado por la angustiosa agonía del Papa y su incesante búsqueda de perdón en su lecho de muerte. La leyenda negra surgida en torno a Gerbert d'Aurillac defendía incluso que su pacto con el diablo se había materializado a través del súcubo llamado Meridiana, una mujer con la que rompió el celibato y le ayudó a progresar en su carrera eclesiástica.

El papa Silvestre II y el diablo, ilustración de la obra *Chronicon pontificum et imperatorum*, escrita por Martinus Oppaviensis en el siglo XIII.



## William Gilbert (1544-1603)

Médico y físico experimental que acuñó el término electricidad e inició los estudios del magnetismo de la Tierra, a la que identificó como un imán gigantesco con sus dos polos: norte y sur. Cursó sus estudios universitarios en Cambridge (St. John's College), entre 1558 y 1561, doctorándose en medicina en el año 1569. Tras ocupar varios puestos en su universidad, estableció su consulta en Londres en torno al año 1573, integrándose en el Colegio médico y alcanzando su presidencia treinta años después. El ejercicio de su profesión le granjeó el prestigio suficiente como para ser nombrado médico de la reina Isabel (1533-1603). La actividad médica la simultaneó con observaciones magnéticas, logrando refutar con sus teorías creencias tan sorprendentes como la que aseguraba que el ajo afectaba negativamente a las brújulas (como aseguró Plutarco en el siglo I); aunque lo más relevante de las mismas se centrara en las propiedades magnéticas de la Tierra. En algunos de sus experimentos empleó un instrumento, el *versorium*, compuesto por una aguja metálica suspendida para que pudiese girar libremente al ser atraída por un pequeño imán esférico, al que llamó *terrella*. Atendiendo a los cambios

de la inclinación del aparato al moverse alrededor del imán, concluyó que deberían ser análogas a las variaciones que presentaban las agujas de las brújulas en diversos puntos de la superficie terrestre.

Los resultados de todas sus observaciones los hizo públicos en su obra más conocida: *De Magnete, magneticisque corporibus, et de magno magnete tellure*, impresa en Londres (1600), siendo reeditada después en numerosas ocasiones. El tratado fue prologado por el matemático E. Wright y se estructuró en cinco libros, distribuyéndose sus 115 capítulos del modo siguiente: I (17), II (39), III (17), IV (21), V (12) y VI (9).

El primero de los libros hace un recorrido histórico, antes de analizar las propiedades magnéticas de la calamita y culminar abordando a interesante asociación del imán y el globo terráqueo. En el segundo distingue las propiedades de los imanes e introduce el concepto de fuerza eléctrica, al referirse a las del ámbar, a la vez que se describen experimentos magnéticos y electrostáticos. El libro tercero se dedicó

am, more indicis magnetici, cuius alteri fini appone succinum, vel



Antecedente del electroscopio

lapillum lenitè fricatum, nitidum & politum, nam illico **verforium** conuertit se. Plura igitur attrahere videntur, tam quæ à naturâ tantùm efformata, quàm quæ arte parata, aut conflata, & commixta



William Gilbert realizando ante la Reina Isabel un experimento magnético

12  
GVILIELMI GILBERTI COLCESTRENSIS, MEDICI LONDINENSIS,

DE MAGNETE, MAGNETICISQVE CORPORIBVS, ET DE MAGNETO magnetē tellure; Physiologia noua, plurimis & argumentis, & experimentis demonstrata.

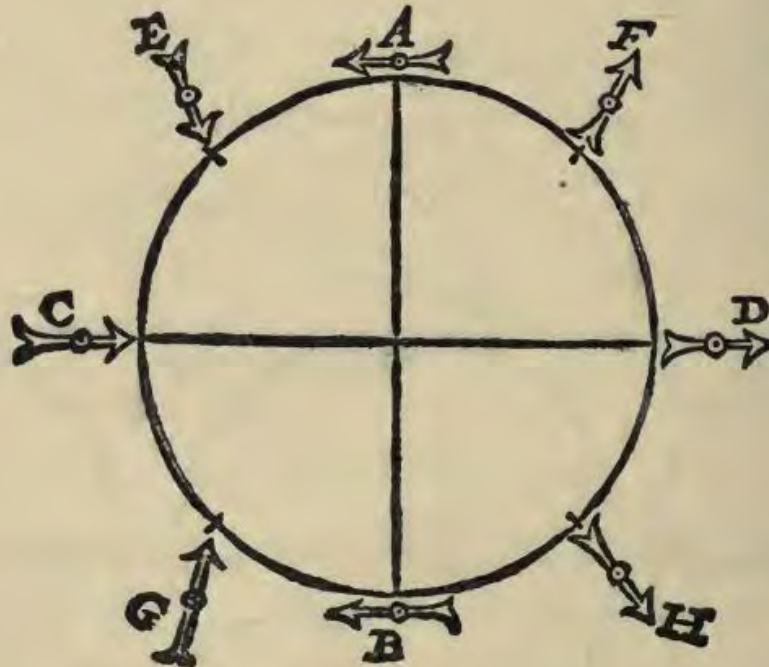


LONDINI  
EXCVDEBAT PETRVS SHORT ANNO  
MDC.

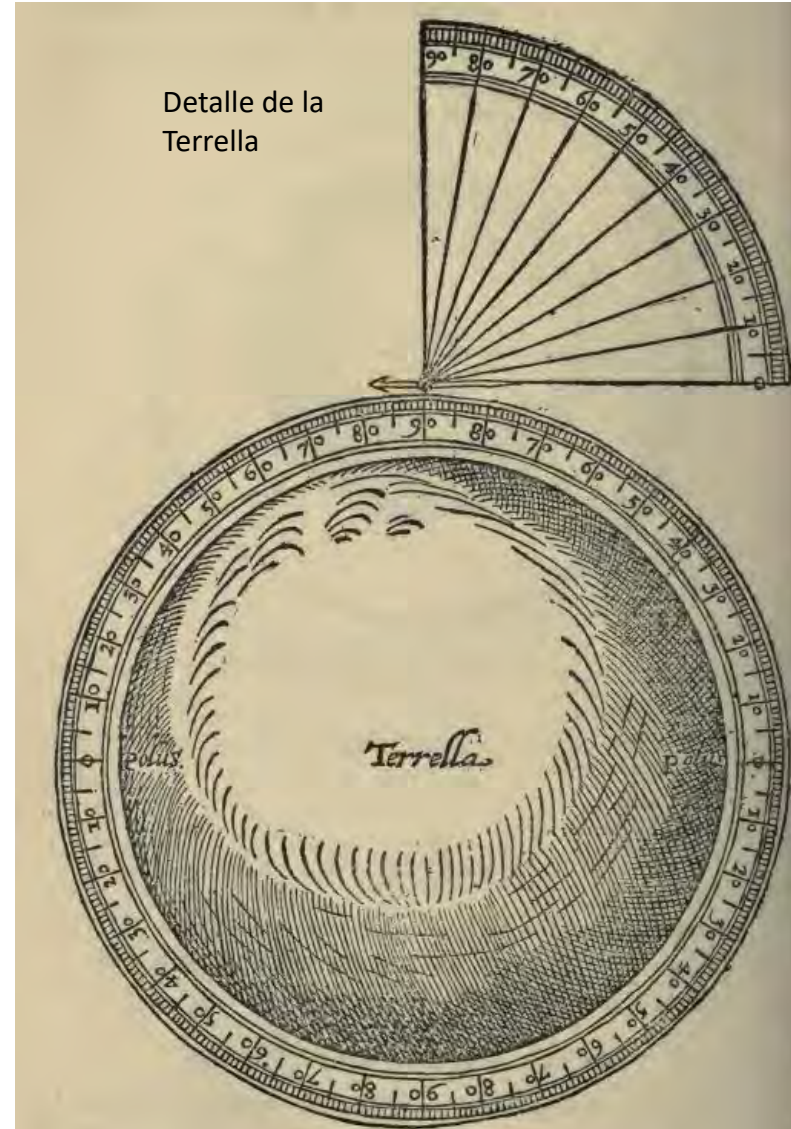
Primera edición

al análisis de las propiedades del imán, así como a la magnetización de las agujas y a la distribución del magnetismo por la *terrella*. Esa especie de introducción al geomagnetismo se amplió en el cuarto y el quinto libro, centrados en dos de los parámetros característicos del campo magnético: la inclinación y la declinación. El contenido del sexto libro es especialmente interesante, en tanto que puede considerarse como un estudio global del campo magnético terrestre. En su primer capítulo se describe la Tierra

Posición de la aguja magnética en distintos puntos de la Tierra

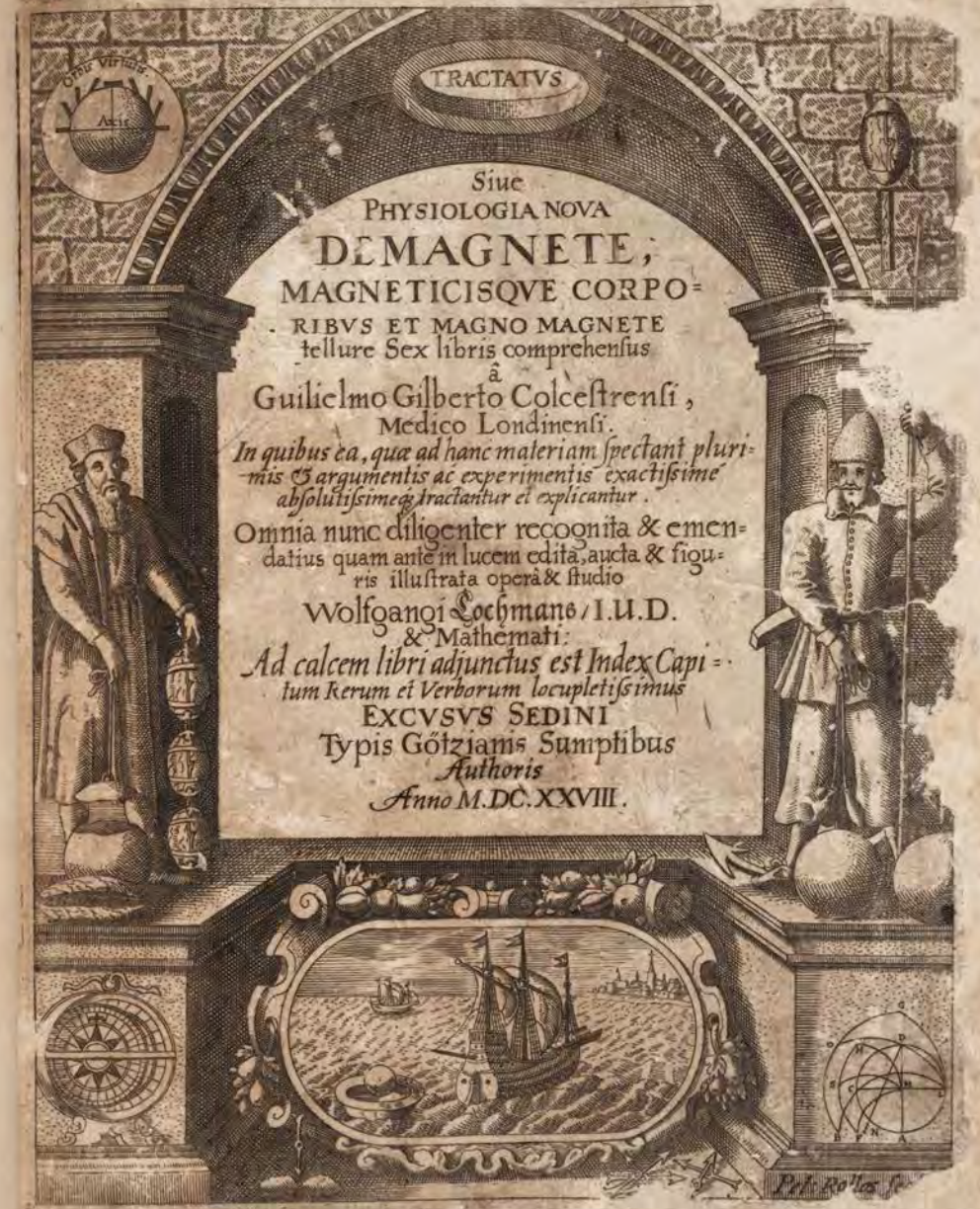
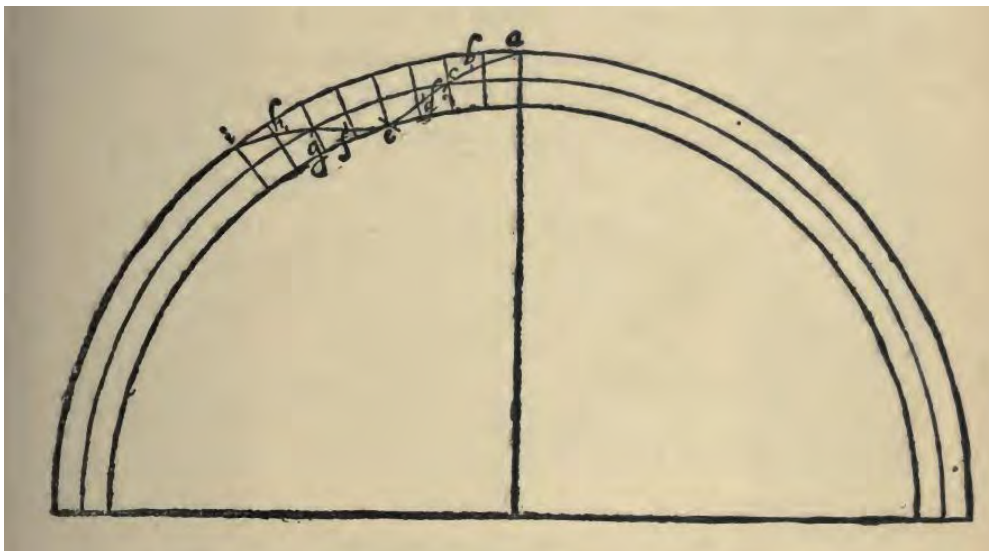


Detalle de la Terrella



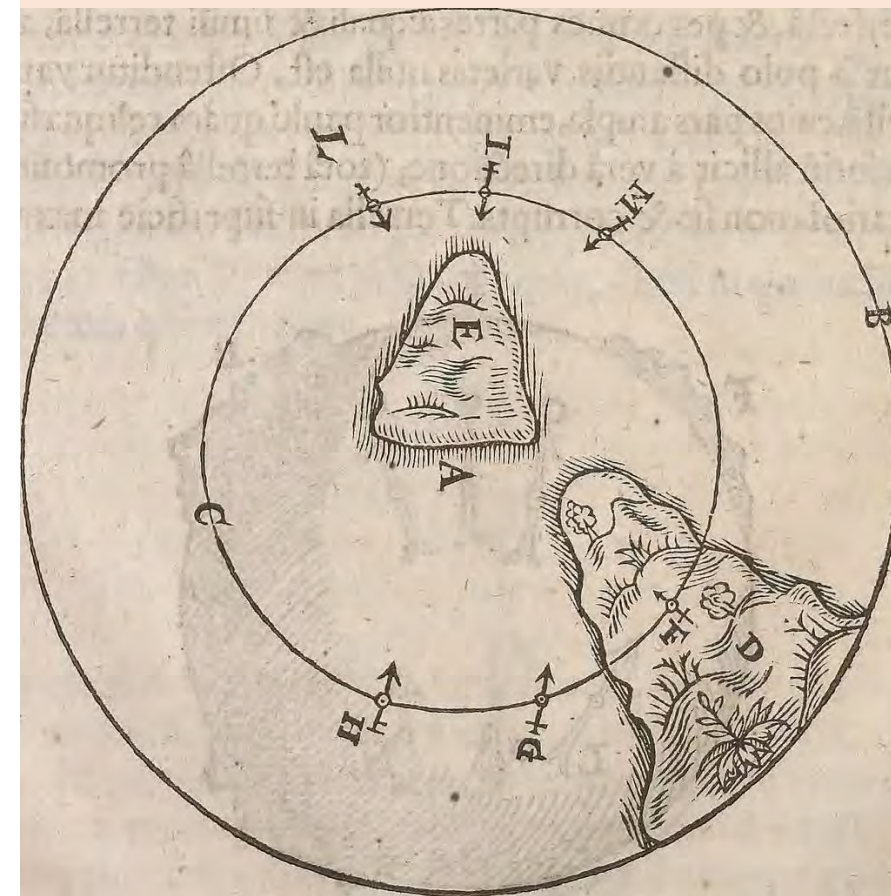
como un gran imán; en el segundo se plantea la invariabilidad del eje magnético de la misma; el tercero aborda la revolución magnética diaria de los globos, contradiciendo la hipótesis del *primum mobile*; el cuarto describe el movimiento circular de la Tierra; el quinto expone los argumentos de los que niegan el movimiento de la Tierra y los refuta; el sexto aclara el tiempo invertido en la revolución total del globo terráqueo; el séptimo explica el porqué los polos magnéticos de la Tierra no coinciden con los de la eclíptica; el octavo achaca a la naturaleza magnética de la Tierra la precesión de los equinoccios, en el círculo polar ártico y antártico; el noveno se dedicó a la anomalía de la precesión de los equinoccios y de la oblicuidad de la eclíptica.

Anomalía de la Precesión de los equinoccios



Edición póstuma de 1628

La publicación de la obra magnética de W. Gilbert tuvo tal éxito, que a partir de entonces ocupó un lugar destacado en la historia de la ciencia experimental. Aunque tratase de explicar con el magnetismo el modelo heliocéntrico de Copérnico y otros fenómenos astronómicos, como la precesión equinoccial, el trabajo mereció los elogios de autores tan destacados como Galileo (para él resultaba envidiable) y Kepler. Kepler se apoyó en ella al indicar que el Sol actuaba como un gran imán que atraía y repelía al planeta Marte. El propio E. Wright escribió al prologarla que no había asunto de mayor importancia y utilidad para la raza humana que el magnetismo. La primera versión inglesa de la obra se publicó en el año 1893, siendo su traductor Paul Fleury Mottelay: *On the loadstone and magnete bodies and on The Great Magnet the Earth, a new physiology, demonstred with many arguments and experiments*; en la que catalogó a W. Gilbert como padre de la filosofía magnética.



De Magnete no fue la única obra de W. Gilbert, aunque se trate indudablemente de la más conocida por haber contribuido a la revolución científica de su tiempo. En efecto, a título póstumo se publicó en Amsterdam (1651) el libro titulado *De Mundo nostro Sublunari Philosophia Nova*; con la clara intención de rechazar la cosmología aristotélica, ofreciendo un modelo especulativo en el que el único elemento verdadero era la Tierra. En cierto modo se trataba de prolongar el sexto libro con el que concluyó *De Magnete*. La nueva obra se dividió en dos partes: La Meteorología (comenzada en 1580) y la Fisiología (iniciada en 1590), que estaba escribiendo justo antes de su fallecimiento; al parecer un hermano de Gilbert unió las dos partes, junto a otros escritos. Lamentablemente la

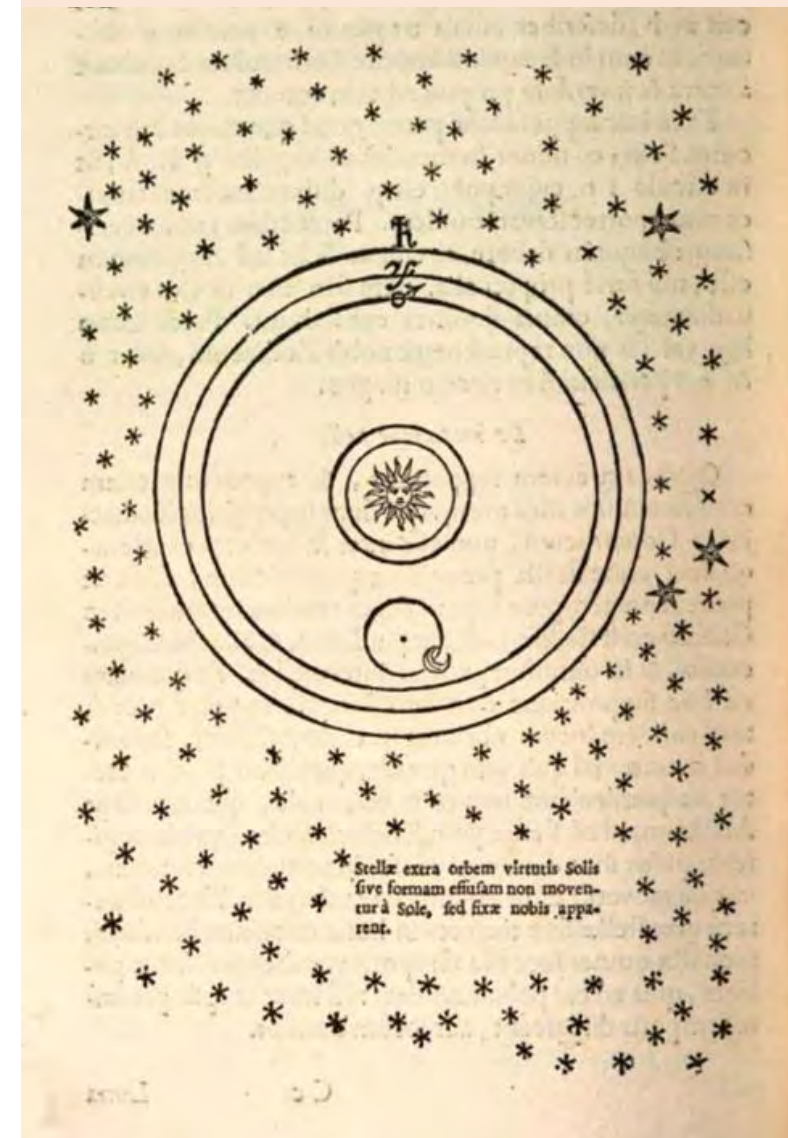
171846  
GVILIELMI GILBERTI  
COLCESTRENSIS,  
Medici Regii,  
De Mundo nostro Sublunari  
**PHILOSOPHIA**  
NOVA.  
Opus posthumum,  
Ab Authoris fratre collectum pridem & dispositum,  
NUNC  
Ex duobus MSS. codicibus editum.  
Ex Museo viri perillustri  
GVILIELMI BOSWELLI Equitis aurati &c.  
& Oratoris apud Fœderatos Belgas Angli.



AMSTELODAMI.  
Apud Ludovicum Elzevirium,  
MDCCLXII

recopilación no fue escrupulosa y figuran numerosos errores atribuibles al copista. No obstante, es un notable esfuerzo por probar la infinitud del mundo, la falsedad de la quietud de las estrellas, y que los planetas se movían por el vacío; además de insistir en la rotación diaria de la Tierra en torno a su eje y en que esta no era el centro del universo. Constó esta publicación de cinco libros, subdividido en los siguientes apartados: I(35), II(33), III (11), IV(13) y V(22). De entre las ilustraciones que aparecen se han seleccionado dos: un mapa de la Luna (L.II. Ap. *De Luna*) y un nuevo esquema del modelo heliocéntrico (L.II C. XXII. *De Motus Solis & Terrae*). El mapa es la primera representación cartográfica en la que se identifican detalles mediante los rótulos al uso: *mare, sinus, regio, insula, promontorium*.

El modelo heliocéntrico de W. Gilbert







## Louis Godin (1704-1760)



Astrónomo que propuso a la Academia de Ciencias de París la medición de un arco de meridiano en América central, con el fin de zanjar la polémica desatada con relación a la forma de la Tierra; en aquella operación geodésica entabló amistad con los marinos españoles Jorge Juan y Antonio de Ulloa, por la que acabó fijando su residencia en Cádiz para dirigir la Escuela de Guardia Marinas y su Observatorio Astronómico. Inició sus primeros estudios en el prestigioso colegio parisino de Beauvois, continuándolos con los de filosofía y luego con los de astronomía, impartidos por J. Delisle en el Collège Royal. Con 21 años ingresó como adjunto en la Academia de Ciencias, presentando al año siguiente su primera comunicación sobre la aurora boreal del 19 de octubre de 1726, que fue vista en toda Europa. Su trabajo estuvo tan bien documentado que la Academia le encargó la preparación de sus Memorias, editándose en 1730 la obra *Histoire de l'Académie Royale des Sciences (Année MDCCVIII) avec les mémoires de mathématique et de physique*. Entretanto observó la mayoría de los eclipses que se iban

produciendo, informando sobre ellos a la Academia, a la vez que preparó sus efemérides anuales: las celebradas *Connaissance des temps* (se viene publicando ininterrumpidamente desde el año 1679).

De entre esos eclipses destacó el lunar del año 1732, por sus referencias a la posibilidad de hallar la paralaje de la Luna aprovechando el fenómeno y sobre todo por el hecho de haberlo usado para determinar la diferencia de longitudes geográficas. Godin resumió su interesante contribución en el artículo *Observation de l'Eclipse totale de Lune du 1 Decembre 1732, faite à Paris. Et comparaison de cette observation à celles qui 'on eté faites à Madrid, à Seville & à Chandernagor au Royaume de Bengale. D'ou resulte la Differènce des Méridiens entre París & ces Villes*, publicado en las Memorias de la Academia (1735). Los datos de las observaciones efectuadas en las dos ciudades españolas fueron comunicados a Godin por el primer Duque de Solferino, Francisco Gonzaga y Pico de la Mirandola (1684-1758), resumidos en las horas locales a que fueron visados varios detalles de la Luna (Cráter de Copérnico o Mare Crisium entre otros). Las diferencias entre las horas locales correspondientes proporcionaron diferentes valores, que una vez promediados permitieron fijar las longitudes de Madrid y Sevilla con relación a París: 24<sup>m</sup>20<sup>s</sup> Oeste para la primera y 34<sup>m</sup>, para la segunda. Esos valores fueron ligeramente diferentes de los obtenidos mediante las observaciones de los satélites de Júpiter, practicadas en Madrid en los meses de mayo (día 15) y junio (día 7) de 1733, respectivamente iguales a: 24<sup>m</sup> 7<sup>s</sup> y 24<sup>m</sup>40<sup>s</sup>, cuyo promedio casi coincide con el obtenido a partir de la observación lunar. Godin no valoró las observaciones de los satélites realizadas en Sevilla, por no ser acordes con las efectuadas en Madrid y París.

O B S E R V A T I O N  
De l'E'clipse totale de Lune du 1 Decembre 1732,  
faite à Paris.

Et Comparaison de cette Observation à celles qui ont été  
faites à MADRID, à SEVILLE & à CHANDERNAGOR  
au Royaume de Bengale. D'ou résulte la Différence  
des Méridiens entre Paris & ces Villes.

Par M. GODIN.

HISTOIRE  
DE  
L'ACADEMIE  
ROYALE  
DES SCIENCES.

ANNÉE M. DCCXXXII.

Avec les Mémoires de Mathématique & de Physique,  
pour la même Année.

Tirés des Registres de cette Académie.

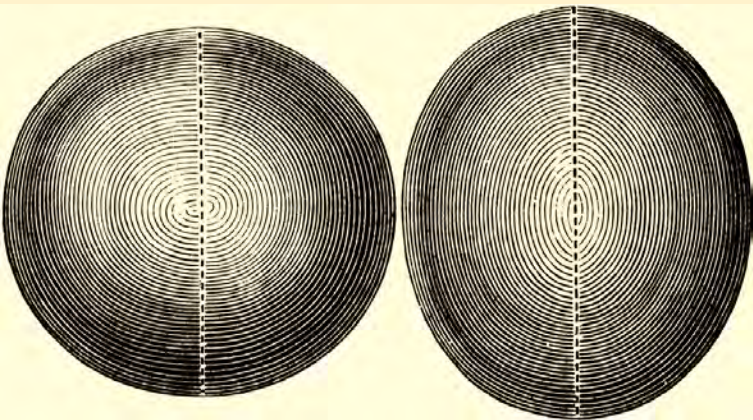


A PARIS,  
DE L'IMPRIMERIE ROYALE.

M. DCCXXXV.

Oblato

Prolato



Jean Paul Grandjean de Fouchy

De ese mismo periodo datan otros trabajos astronómicos y magnéticos de Godin, tanto de tipo instrumental como observacional, sirvan de muestra los siguientes: memoria sobre la construcción, verificación e instalación de un gran cuadrante mural en el plano del meridiano; método para calcular la latitud independientemente de la refracción atmosférica; modo de hallar la declinación magnética en el mar y otros relacionados con las órbitas planetarias. En el mismo año de 1733 publicó un artículo referido a la descripción y medida de un arco de paralelo, en el cual reflexionaba sobre las diversas formas atribuidas al globo terráqueo. Como resultado de tales reflexiones concluyó que la naturaleza de la curva de cada meridiano era desconocida y difícil de concretar mediante medidas de sus arcos, salvo que se efectuaran en lugares en que apareciesen las mayores diferencias; mostrando su convencimiento de que uno de ellos tendría que ser próximo a la línea ecuatorial. Esa fue la primera ocasión en la que se involucró de lleno en la controversia científica de la Ilustración: la elección del En el obituario de Godín realizado por su amigo, el astrónomo Jean Paul Grandjean de Fouchy (1707-1788), se desvela que su protagonismo en la expedición geodésica al Virreinato de Perú, fue mayor del que se recoge en la mayoría de las obras en que se comenta esta.

### METHODE PRATIQUE

*De tracer sur Terre un Parallele par un degré de latitude donné ;*

*Et du rapport du même Parallele dans le Sphéroïde oblong, & dans le Sphéroïde applati.*

Par M. GODIN.

**U**N Parallele à l'Équateur terrestre est un Cercle qui passe par tous les points de la surface de la Terre qui ont une latitude la même & de même dénomination. Il est plus difficile de tracer un Parallele qu'un Méridien; celui-ci étant un grand cercle, sa projection sur la surface de la Terre, qui

20 Juin

1733.

En efecto, ambos prepararon el proyecto, junto a un común amigo (Le chevalier de Pimodan), sobre el modo de llevar a cabo la medida de la Tierra; divulgándolo en diversos foros hasta que finalmente fue presentado a la Academia de Ciencias en 1735. Es muy elocuente el párrafo con que concluyó esa parte del escrito (*Éloge de M. Godin*): «J'ai cru devoir à la vérité & à la memoire de M. Godin cette espèce de témoignage que nul autre que moi ne pouvoit lui rendre, reestant seul aujourd'hui des trois qui avoient formé le projet & le dessein de ce voyage». Godin creyó oportuno concienciar a otras instituciones sobre la oportunidad de su proyecto, de ahí su traslado a Londres para informar sobre el mismo a la Royal Society; que acto seguido lo hizo miembro de la misma. Antes de volver a Francia adquirió varios instrumentos matemáticos, aconsejado por E. Halley, que le fueron de gran utilidad.

Los expedicionarios franceses zarparon de la Rochelle el 16 de mayo de 1735 y desembarcaron en la Isla de Santo Domingo el 11 de junio, diversas circunstancias les obligaron a permanecer allí tres meses. De inmediato surgieron las desavenencias entre ellos, ya que Bouguer y La Condamine nunca reconocieron la dirección de Godin, nombrado jefe de la misión en su condición de astrónomo más antiguo y de haber sido el artífice principal del proyecto. Prueba de ello fueron las medidas pendulares que se efectuaron de modo independiente.

*L A L O N G U E U R  
D U P E N D U L E S I M P L E ;  
QUI BAT LES SECONDES DU TEMPS MOYEN,  
Observée à Paris & au Petit Goave en l'Isle Saint-Domingue.*

Par M. G O D I N.

**N**OUS nous sommes proposé d'observer, dans le Voyage que nous faisons, les différentes longueurs du Pendule à secondes à différentes Latitudes, autant que le séjour que nous pourrons faire dans chaque lieu nous le permettra.

On ne peut pas douter aujourd'hui que le Pendule à secondes ne soit plus court vers l'Equateur qu'à des Latitudes plus grandes; mais on trouve dans les observations qui en ont été faites depuis la découverte de ce phénomène par M. Richer, une différence qu'il est important d'éclaircir, & il y a lieu de penser que ces observations répétées avec plus de commodité & par plus de personnes, acquerront le degré de précision & de certitude dont cette matière peut être susceptible.

Avant mon départ de Paris, je voulus en faire quelque expérience, au moins pour prévoir, autant qu'il me seroit possible, ce dont je pourrois avoir besoin, & les précautions qu'il me faudroit prendre pour les faire fort exactement ailleurs.

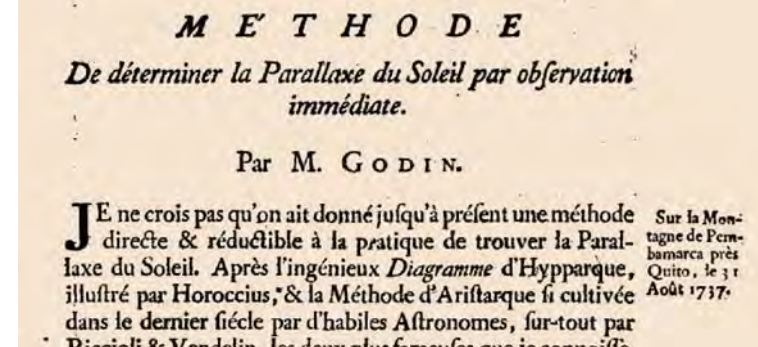
Je voulois outre cela me mettre bien au fait d'une Machine destinée particulièrement à cette expérience, que M. Graham, habile & sçavant Horloger de Londres & Membre de la Société Royale, m'avoit envoyée, semblable à une que j'avois vûë chés lui, & de laquelle il avoit fait usage pour déterminer la longueur du Pendule à Londres.

8 Septembre  
1735.  
Au  
Petit Goave.

Las observaciones de Godin con el péndulo de segundos fueron resumidas en su trabajo *Longeur du pendule simple, qui bat les seconds du temps moyen, observée à Paris & au Petit Goave en l'Isle Saint-Domingue*, publicado en las Memorias de la Academia (1735); de su comparación con otras efectuadas en París por Jean-Jacques Dortous de Mairan (1678-1771), resultó que la longitud del péndulo de Santo Domingo era más corta (casi dos líneas) que la de su homólogo de París.

Quando Godin llegó a Quito ideó un nuevo método para calcular la paralaje del Sol, observando simultáneamente desde dos lugares de latitud muy diferente, la diferencia de declinación entre el borde del Sol y una misma estrella. Ese trabajo (*Méthode de déterminer la Parallaxe du Soleil par observation immédiate*) también fue publicado en las Memorias de la Academia (1738). Aunque no se publicase nada más en los Anales de la Academia, Godin continuó interesándose por las cuestiones astronómicas. En el elogio ya referido, apuntaba su autor que había hojeado una excelente Memoria sobre la oblicuidad de la eclíptica, que Godin le pidió cuando volvió a Francia para incluirla en su prevista Relación general del viaje. En cuanto a la misión geodésica propiamente dicha, siempre contó Godin con la inestimable colaboración de los dos marinos españoles ya citados. El desencuentro de Godin con los otros académicos franceses fue tal que se tuvieron que proyectar dos triangulaciones sensiblemente independientes. Hasta en la base de Yaruqui (en las proximidades de Quito) se

Los lados de los triángulos de Godin son segmentos de puntos, los continuos son de Bouguer y de la Condamine. Detalle de la *Carte d'un partie de la Meridienne de Quito, aux environs de l'équateur*



obtuvieron resultados ligeramente dispares: 6272 toesas 4 pies y 2 pulgadas (Godin), frente a 6272 toesas, 4 pies y 5 pulgadas (Bouguer). Godin fijó asimismo su propio valor para el desarrollo del grado: 56773 toesas, o 56751.6 toesas una vez reducido su valor al Nivel Medio del Mar; la amplitud angular del arco de meridiano que se midió fue de  $2^{\circ} 40' 55''$ , con un desarrollo de 152262 toesas.

A pesar de lo anunciado por Grandjean de Fouchy, Godin fue el único de los académicos que no presentó la preceptiva memoria, de cuya redacción era responsable como jefe de la expedición; no obstante, los detalles de sus observaciones geodésicas coinciden básicamente con los expuestos por Jorge Juan y Antonio de Ulloa en sus *Observaciones astronómicas y físicas hechas de orden de S. M. en los Reynos del Peru* (1748). Diversas circunstancias imposibles de prever impidieron que Godin pudiese escribirla, a pesar de haber permanecido en América quince años. El problema principal al que se enfrentó fue la intransigencia mostrada por el Virrey del Perú, quien le exigía que revirtiesen a España las atenciones que habían recibido; exigiéndole, no sin amenazas, que al menos durante un tiempo tenía que hacerse cargo de la Cátedra de Matemáticas de Lima, que estaba vacante.

Medalla conmemorativa de las misiones geodésicas al Ecuador y a la zona polar.





Por entonces, se produjo el célebre terremoto que asoló Lima en 1746, encargándole a Godin la redacción de un pliego de condiciones relacionado con la reconstrucción de la ciudad, prestando especial atención a la fortaleza de Callao (destruida por el maremoto consiguiente). La aceptación de la cátedra le supuso un serio contratiempo ya que dejó de percibir la pensión que recibía de la Academia de París, de acuerdo con lo dispuesto en el reglamento de la misma. Cuando al fin quedó libre de su compromiso, se embarcó con destino a Lisboa, para continuar después hasta París. Allí llegó el mes de noviembre de 1751 y durante un año intentó, sin

conseguirlo, que lo readmitiesen en la Academia.

Ante la negativa, solicitó el permiso del Rey para trasladarse a España, a fin de contactar con los dos marinos españoles, amparados por Zenón de Somodevilla y Bengoechea (1702-1781), el cual estaba al tanto de la valía de Godin. A finales del año 1752 inició el viaje con toda su familia, siendo esperado en las afueras de Madrid por Antonio de Ulloa, para hacerle entrega de un despacho del Ministro con dos nombramientos: uno de Coronel de infantería para él y otro de teniente para su hijo; aunque la alegría se transformaría pronto en tragedia, al fallecer este (víctima de la viruela) a poco de instalarse en la capital. Tras una breve periodo de descanso, se dirigió a Cádiz para hacerse cargo de la dirección de la Escuela de Guardia Marinas, que llevaba aparejado la del Observatorio



*La souscription étoit à Monsieur  
Monsieur Louis Godin Astronome  
et Geographe de la Majesté  
Catholique à Madrid.*

Astronómico a ella asociado, un puesto para el que había sido recomendado por Jorge Juan y que pronto fue reconocido en Europa; así se desprende de la copia de una carta remitida a Godin, en 1753, por el matemático y astrónomo alemán Johann Friedrich Weidler (1691-1755), en la que lo felicita por el nuevo y muy honorable puesto que acababa de obtener. Las actividades propias de su nuevo empleo fueron acompañadas de otras poco sabidas, en las que participó junto a Jorge Juan y a José Carbonell Fougasse (1707-1801), profesor de lengua en la Academia de Guardia Marinas; los tres prepararon un proyecto del Reglamento de la Real Academia de Ciencias (con 50 artículos), en cuyo prólogo se fijaba su objetivo: «promover el estudio y facilitar los progresos de las Matemáticas y Física en mis Reinos». No obstante, hubo que esperar casi un siglo, para que los avatares políticos posibilitaran la creación de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales en el año 1847. Jorge Juan, Godin y otros decidieron constituir en 1755 la Asamblea Amistosa Literaria, con sede en el domicilio del primero, una Academia en ciernes en la que se debatiría sobre cuestiones geográficas, físicas, matemáticas, históricas, etc.

Entre las lecturas efectuadas por Godín en las sesiones de la Asamblea, destacan tres eminentemente científicas que procede recordar: Sobre la posición geográfica de la Costa Oriental de América Meridional, Sobre el instrumento de pasos y su colocación, y Sobre el Peso de los Cuerpos; habiendo sido leídas las tres en el año 1755. Durante todo su mandato no cejó en su empeño de ser readmitido en la Academia de Ciencias de París, lo que

Ordenanzas de S. M. Para la  
Sociedad R.  
de Ciencias.

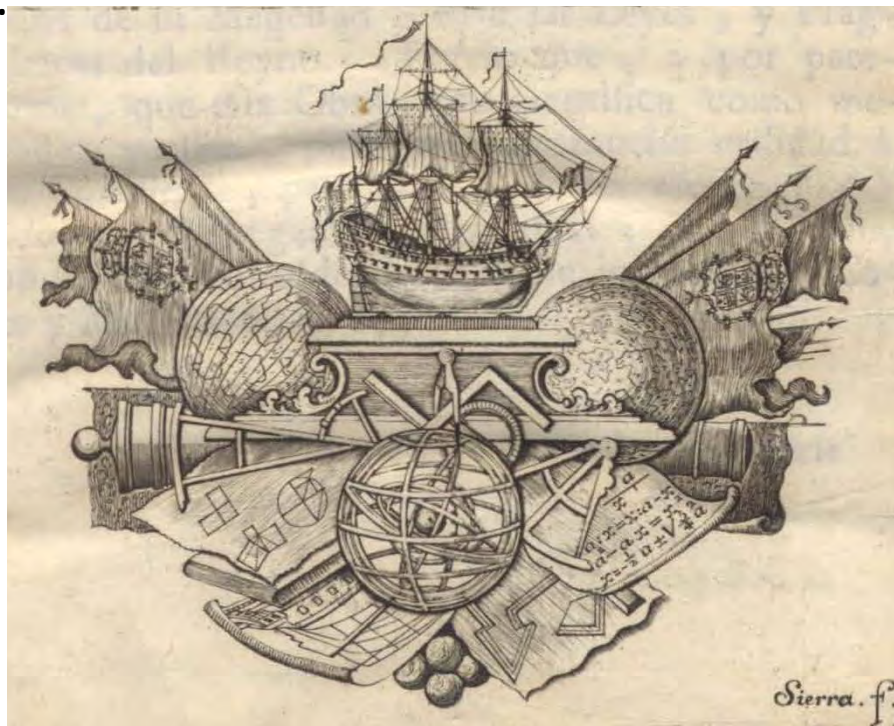
Mss. H.  
11269

proyectada en 1752.  
por D. Jorge Juan, y  
D. Luis Godin, y en cuyo  
plan irabaxo también D.  
Joseph Carbonel y Fougasse,  
quien se destinaba la Secretaría.

Don Fernando por la gracia de Dios Rey de Castilla,  
es. c. es. c. Considerando lo importante, que es a mi servicio y al bien

consiguió por fin en el año 1756; tras entrevistarse con el ministro Mar-Pierre de Voyer de Paulmy (1696-1764). Con la readmisión recibió el encargo de medir, junto a otros académicos, una nueva base geodésica que contribuyera a solventar algunas de las dudas surgidas con relación a las observaciones que hiciera en su día el abate J. Picard. Durante los días que pasó en París comentó que cuando volviese a España ultimaría su Relación del viaje al ecuador, pero desgraciadamente o ocurrió así. De vuelta en Cádiz se acentuaron sus problemas de salud, y aunque pudo componer el *Compendio de Matemáticas para el uso de los Caballeros Guardia Marinas* (1758), no pudo superar la aplopegía y falleció en septiembre de 1760.

Emblema calcográfico de la Compañía de Guardias Marinas, con el que se ilustró la portada del *Compendio de Matemáticas*.



*Sobre el Instrumento de Pasajes  
y Su Colocacion.*

El Instrumento de Passages, es un Antiojo -  
-móvil, <sup>que</sup> Sobre un eje, <sup>↑ fijo ó no, gire</sup> ~~quien~~ con su movim-  
-iento, ~~particularmente~~ trassar en el Cielo un cir-  
-culo máximo; puede sin duda satisfacer  
esta definición general: sea de un

1755 K.K-83 v.5

*Sobre el peso de los cuerpos -  
Por D. Luis Godin*

Los diferentes cuerpos q. conocemos gozan  
una gravedad específica muy distinta unos  
de otros, tanto los sólidos, como los fluidos.

El Virrey Manso de Velasco. Al fondo se observa la reconstrucción de la catedral de Lima, tras los temblores de 1746



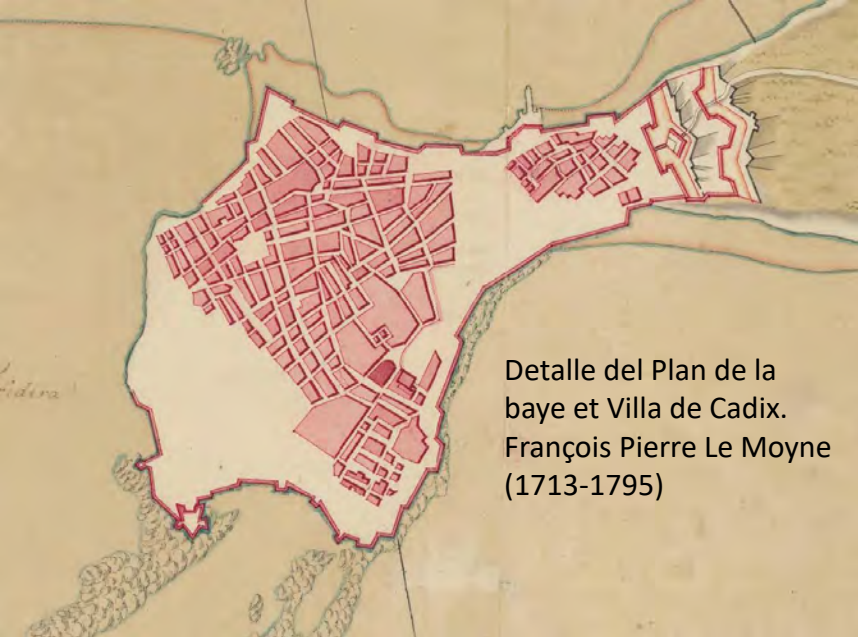
Finaliza este resumen de la vida profesional de Godin, recordando sus aportaciones a la sismología, una disciplina que aún no estaba consolidada como tal; las cuales evidenciaron los conocimientos y curiosidad científica del personaje. Su interés por los terremotos le surgiría posiblemente al haber padecido dos históricos: el ya citado de Lima (1746) y el aún más famoso de Lisboa (1755), que produjo la fatal inundación de Cádiz. El terremoto de Lima (28.X.1746) hizo que colapsaran todos los edificios más notables de la ciudad, trayendo consigo el maremoto con el que desapareció el barrio del Puerto del Callao. La ruina fue tal, que el Virrey José Antonio Manso de Velasco (1688-1761) le encargó a Godin el proyecto de reconstrucción de la ciudad, en su calidad de catedrático de Prima de Matemáticas en la Universidad de San Marcos y de Cosmógrafo Mayor adjunto a dicha cátedra. Godin le presentó sus recomendaciones de inmediato, instando al abandono del emplazamiento original y a la construcción de una nueva ciudad al Este de Lima; su proyecto fue pues una iniciativa urbanística de gran calado, en la que se concretaban algunas propuestas sismorresistentes. Para él, la seguridad debería ser el objetivo prioritario, de ahí que sugiriese la demolición de todos los edificios que amenazaran ruina y que los materiales del derrumbe sirviesen de base para las nuevas construcciones.

El Virrey hizo suyo el proyecto de Godin y dictó las ordenanzas correspondientes, las que siguen pueden servir de ejemplo: Que las paredes se construyesen con un talud por ambas caras de décima parte de su altura; que se hicieran las habitaciones interiores de quincha, sus techos de tijera (caballetes); darles un ancho de diez metros a las calles; se prohibieron los balcones, los arcos de bóveda, las torres redondas, los miradores, las galerías, se mandó rebajar las torres; se recomendó aislar las casas y construirlas de quincha en forma de un cuadrado abierto o cerrado; se recomendó construir las esquinas en la forma usada en la ciudad italiana de Palermo; se decidió destruir las murallas, a fin de que se extendiese la población; se ordenó que sólo ciertas iglesias pudieran tener tres naves etc.» Godin diseñó también el Fuerte de San Felipe el Real de Callao con planta hexagonal con baluartes en sus vértices, aunque acabase levantándose como pentagonal para ahorrar costes; así como el poblado anexo de Bellavista. Las ideas racionales de Godin chocaron con el Cabildo de Lima, que irónicamente las consideraba brillantes pero solo aplicables en una ciudad completamente nueva; a la vez que las creía absurdas ya que era necesario respetar las famosas ruinas de la ciudad.



Descripción de la Ciudad de Lima y Puerto del Callao, por Andrés Ordoñez. Madrid. 1768

Fuerte del Callao



En la mañana del 1 de noviembre de 1755 tuvo lugar el gran terremoto de Lisboa, seguido de un incendio y una subida del nivel del mar, con olas que causaron numerosas víctimas. El ascenso del nivel del mar se dejó sentir en todo el litoral del Sudoeste peninsular y de manera especialmente cruenta en la ciudad de Cádiz; en la que residían por entonces Antonio de Ulloa y Luis Godin, los cuales dieron puntual información sobre el fenómeno. En una de las ocasiones, Godin informó por carta al ministro Mar-Pierre de Voyer de Paulmy, la cual fue leída ante la Academia de Ciencias (3.XII.1755) por Jean-Paul Grandjean de Fouchy, que ya había sido nombrado Secretario perpetuo de la misma; al mismo tiempo le proporcionó datos de lo

acontecido a P. Bouguer, quien los transmitió a la misma Institución tres días después. Todo apunta a que Godin le debió proporcionar documentación al cónsul de Francia en Cádiz, en la que posiblemente se basaría este al dar cuenta de lo sucedido a sus superiores. El hispanista Benard Vincent ha transcrito un documento, escrito por Godin, que podría haber sido remitido a Francia por el cónsul en cuestión; la transcripción figura en el artículo *Le seisme de 1755 à Cadix* (Atlante. Revue d'études romanes.2014), y a ella nos remitimos. Godin comenzó su informe señalando que la mañana del día 1 de noviembre se presentó clara y tranquila, con ligero viento del Noroeste. A eso de las 9<sup>h</sup> 52<sup>m</sup> se notó una ligera sacudida, que supuso análoga a las muchas que había notado en Perú. El temblor continuó hasta las 9<sup>h</sup> 54<sup>m</sup>, después aumentaron las oscilaciones y se mantuvieron durante tres minutos, «*jusqu'à ce qu'il me parut qu'il avait entièrement cessé à 10<sup>h</sup> 1<sup>m</sup>*». La dirección observada por Godin fue justamente la de Este-Oeste, al igual que sucedió, según él, en el Puerto de Santa María y en Sevilla. El terremoto no fue acompañado del típico ruido, aunque si se notara el asociado al movimiento experimentado por el agua almacenada en distintas cisternas de la ciudad.

Todas las casas permanecieron de pie, salvo algunos paños de muralla, previamente afectados, que se rajaron y desplomaron sin causar heridos; volviendo la normalidad unos quince minutos después del terremoto. Sin embargo, todo cambió pasados cuarenta minutos, con una mar agitada hacia el oeste, acompañada de grandes y potentes olas contra las murallas, destruyendo la parte vieja que unía la Caleta con el Bonete, al igual que parte de la nueva próxima a la candelaria. La Puerta de la Caleta y el parapeto de l muralla que iba hasta Santa Catalina fueron también destruidas, desplazándose los bloques

resultantes a 50 varas de su emplazamiento primitivo. Las aguas comenzaron a entrar en el casco urbano a través de las Puertas de Sevilla y de San Juan de Dios, haciéndolo en primer lugar por esta a las 11<sup>h</sup> 10<sup>m</sup>, debiendo señalar que el cierre de todas las puertas contribuyó decisivamente a la salvación de gran parte de la población. Godin describió detalladamente como el agua llegó 80 varas más allá de la Puerta de San Juan de Dios, aunque pronto se retiró y pareció que el mar se calmaba, pero a las 11<sup>h</sup> 30<sup>m</sup>, comenzó a golpear las murallas y a entrar otra vez en la ciudad. Así se estuvo repitiendo el fenómeno cinco veces, durante el periodo comprendido entre las 11<sup>h</sup> 10<sup>m</sup> y las 13<sup>h</sup> 15<sup>m</sup>; la virulencia de las olas se vio incrementada por haber coincidido este con la marea alta. En la crónica sismológica de Godin se fijó la secuencia temporal de las mayores acometidas: 11<sup>h</sup> 10<sup>m</sup>, 11<sup>h</sup> 30<sup>m</sup>, 12<sup>h</sup>, 12<sup>h</sup> 35<sup>m</sup> y 13<sup>h</sup> 15<sup>m</sup>; constatando que cada vez se iba especiendo más la llegada de las olas. No obstante, la creencia popular achacó su cese al supuesto milagro atribuido a la Virgen de la Palma, resumido en la placa que figura bajo su imagen en la calle de la Palma (Cádiz).



Virgen de la Palma



✠ OCTAVAS  
EN EL AÑO DE MIL Y SETECIENTOS  
Y MAS CINCUENTA Y CINCO, PRIMER DIA  
DE NOVIEMBRE, LA TIERRA EN VIOLENTOS  
VAI UENES DE UN TEMBLOR SE ESTREMESIA.  
EN FURECIENDO AL MAR SUS MOUIMIENTOS  
POR LOS MUROS DE CADIZ SE SUBIA.  
PREPARANDO ENTRE HOROR, ANSIAS, Y MALES,  
EL ULTIMO CASTIGO A LOS MORTALES.

VN SACERDOTE SACA FERUOROSO  
EL GUION DE LA YMAGEN DE LA PALMA.  
DE AQUI NO PASES DICE AL MAR FURIOSO,  
Y AL PUNTO EL MAR SE VUELUE, Y TODO CALMA  
POR CASO TAN NOTABLE Y PRODIGIOSO.  
ESTA Y LUSTRE HERMANDAD CON VIDA Y ALMA  
DE DIOS Y DE MARIA EN HONRA Y GLORIA  
ERIGIO EN GRATITUD ESTA MEMORIA.

## James Howard Gore (1856-1934)



Matemático estadounidense, autor de una imprescindible Bibliografía de geodesia (1887). Desde temprana edad mostró interés por las ciencias y especialmente por las matemáticas; cursó sus estudios preuniversitarios en el Richmond College y se graduó finalmente en la Universidad de Columbia ( hoy de George Washington) en el año 1877; allí comenzó su actividad docente como tutor de matemáticas, ejerciendo después como profesor adjunto entre 1881 y 1883. En el trienio 1884-1887 fue profesor de



de matemáticas y geodesia en la *Corcoran Scientific School*, convertida luego en *George Washington University School of Engineering and Applied Science*; alcanzando su título de doctor en 1888. En el año 1894 se trasladó a Europa para realizar sus estudios de postdoctorado en Berlín , Leyden y Bruselas, regresando a los EE.UU. en 1897. En 1905 fue el responsable del Departamento de Matemáticas, continuando en él como profesor emérito desde 1909 hasta 1939; como complemento a su docencia, publicó libros de Álgebra (1882), Geometría (1898) y Trigonometría (1907). De geodesia escribió los tres siguientes: *Elements of Geodesy* (1886), *A Bibliography of Geodesy* (1887) y *Geodesy* (1891); los cuales fueron varias veces reeditados y ampliados.



# ELEMENTS OF GEODESY.

BY

J. HOWARD GORE, B.S.,

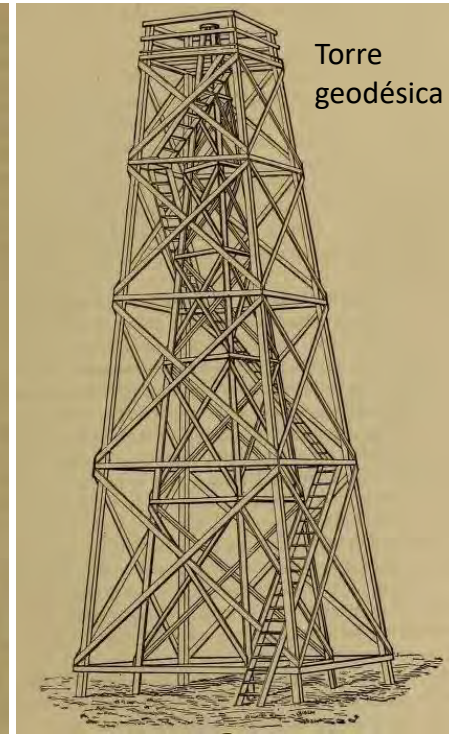
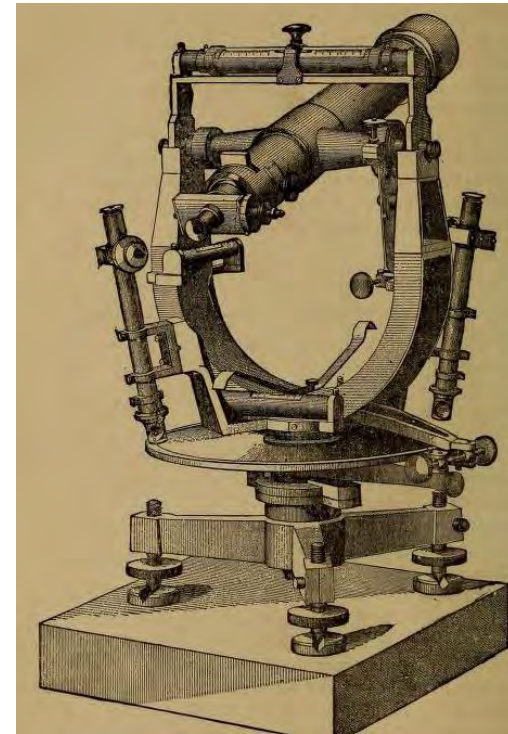
*Professor of Mathematics in The Columbian University; sometime Astronomer  
and Topographer U. S. Geological Survey; Acting Assistant U. S.  
Coast and Geodetic Survey; Associate des Preussischen  
Geodätischen Institutes.*

5  
1633



NEW YORK:  
JOHN WILEY & SONS,  
15 ASTOR PLACE.  
1886.

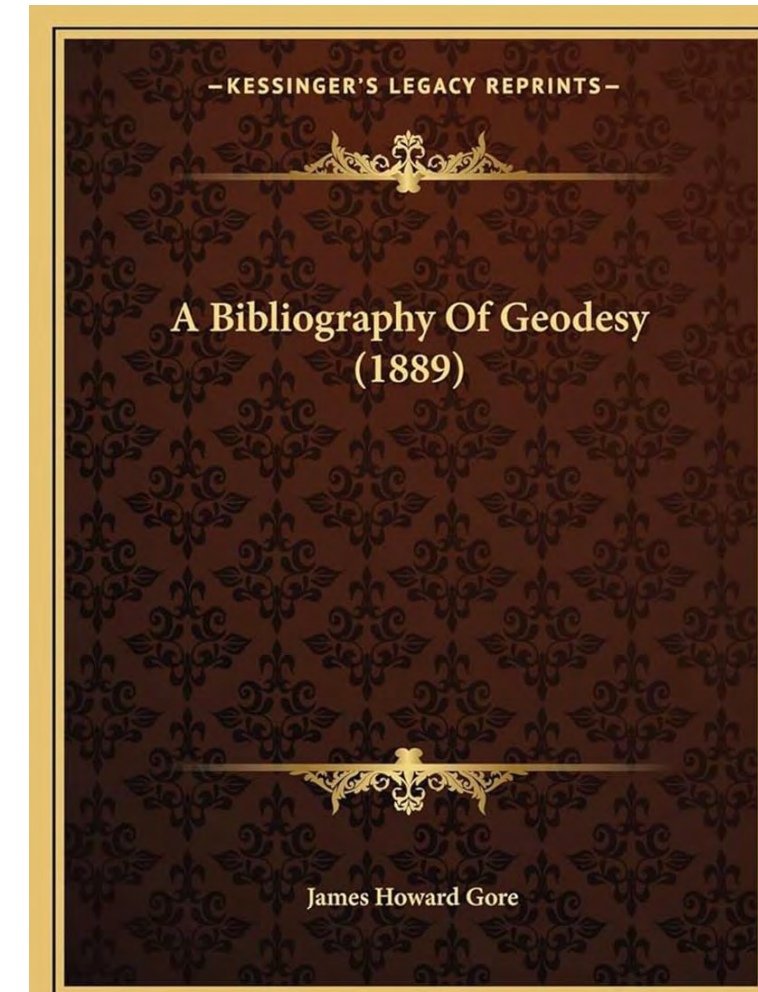
El libro de los Elementos de Geodesia se dividió en los ocho capítulos siguientes. I) Operaciones geodésicas, II) Instrumentos y Métodos de Observación, III) medida de Bases, IV) Proyecto y Observación de la Triangulación, V) Teoría de los Mínimos Cuadrados, VI) Cálculo de la Triangulación, VII) Fórmulas para el cálculo de la latitud, longitud y acimut, VIII) La figura de la Tierra; en la mayoría de ellos se incluyó al final una bibliografía básica. La obra fue convenientemente ilustrada, acompañándola con un anexo de fórmulas trigonométricas, una tabla de conversión de unidades lineales y otra que relacionaba los arcos del elipsoide de Clarke con los del elipsoide de Bessel. El capítulo primero es de obligada lectura para los amantes de la historia de la geodesia, ya que se hizo una brillante síntesis desde sus orígenes hasta los últimos trabajos del siglo XIX. Recuerda, por ejemplo, la síntesis desde sus orígenes hasta los últimos trabajos del siglo XIX. Recuerda, por ejemplo, la leyenda recogida por el orientalista Justus Friedrich Froriep (1746-1800) según la cual se aseguraba en un manuscrito sánscrito que para los caldeos «4000 pasos de un camello



equivalían a una milla, 66 2/3 millas a un grado, de ahí que la circunferencia de la Tierra fuese de 24000 millas». Otra información

valiosa que aporta fue la primera medida de una base geodésica en Norteamérica, efectuada por el topógrafo Simeon Borden (1798-1856) en 1831, usando el instrumento de 50 pies que él mismo había diseñado; la medición se hizo en el Estado de Massachusetts, iniciándose con ella el establecimiento de la red geodésica de aquellos territorios. Sin restarle mérito alguno, es obligado apuntar dos olvidos, probablemente involuntarios: al referir la medida del arco en el ecuador encomendada por la Academia de Ciencias de París, citó a Ulloa pero no a Jorge Juan; en el cuadro que acompaña con las bases geodésicas más significativas, no se menciona la de Madrideojos, aunque en otro lugar si se refiera el aparato de Ibáñez de Ibero.

La primera edición de la Bibliografía la publicó *United States Coast and Geodetic Service*, como Apéndice a una memoria de 1887, incluyendo artículos, libros relativos a la geodesia, mínimos cuadrados, forma y densidad de la Tierra, determinaciones de la gravedad, así como los estudios teóricos del péndulo (por estar llamado a convertirse en un instrumento geodésico relevante). El problema de la localización geográfica también fue tenido en cuenta, aunque con el solo propósito de analizar las fórmulas que permitían el cálculo de la latitud, longitud y acimut, sin referirse a la casuística de los métodos de observación. Otra de las advertencias de Gore en la presentación de su obra, fue la relativa a los tratados de agrimensura que incluyesen en su título la palabra geodesia, señalando que en tales supuestos se añadió la nota pertinente para aclarar su contenido. El listado incorpora los trabajos efectuados por Carlos Ibáñez e Ibáñez de Ibero, al frente del Instituto Geográfico y Estadístico, entre las páginas 601 y 693. Mención especial merece la relación de los siete tomos



The Riverside Science Series

GEODESY

BY

J. HOWARD GORE

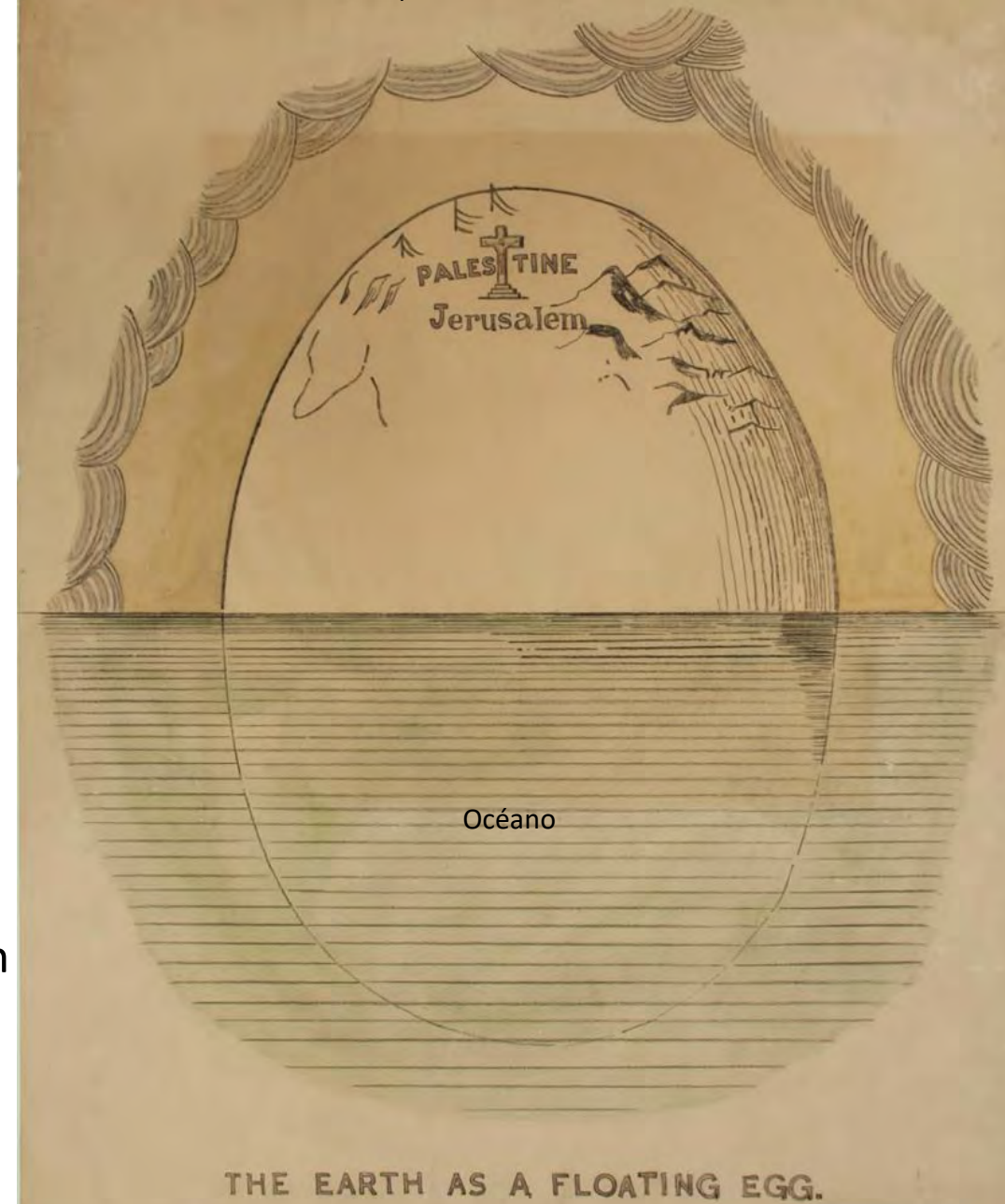
PROFESSOR OF MATHEMATICS IN COLUMBIAN UNIVERSITY

BOSTON AND NEW YORK  
HOUGHTON, MIFFLIN AND COMPANY  
The Riverside Press, Cambridge  
1891

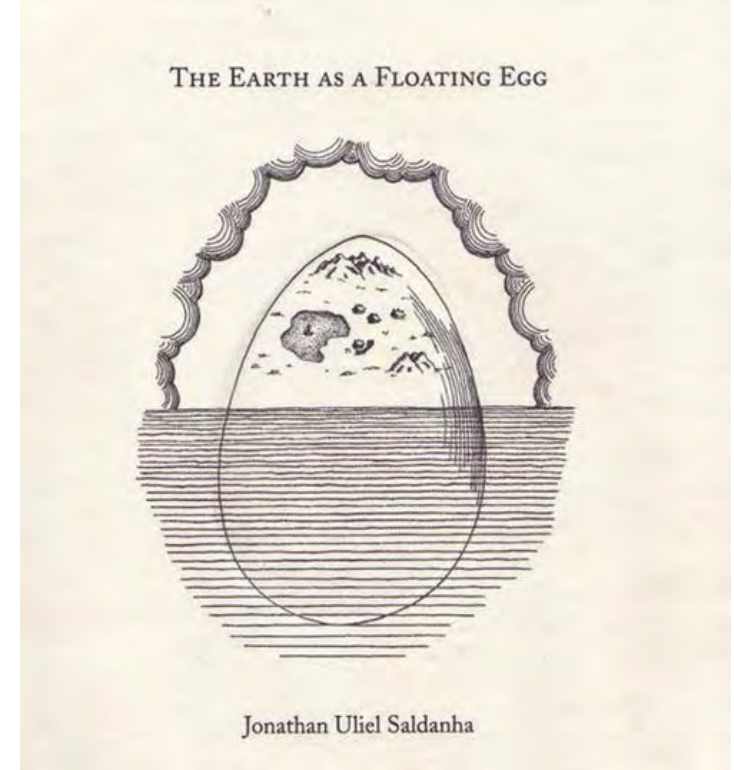
de las Memorias del Instituto, resumiendo el contenido de cada una de ellas; unas memorias que fueron publicadas entre los años 1875 y 1888.

El tercer libro de geodesia publicado por Gore se editó en el año 1891, y como él mismo señalaba en su prefacio, se trató de un ensayo histórico fruto de la lectura de las crónicas originales que dieron cuenta de las operaciones geodésicas más señaladas; una lectura que le resultó lo bastante grata como para transmitir las de inmediato, dejando para más adelante la crítica histórica de las mismas. La presentación de la obra la firmó como J. Howard Gore, en calidad de profesor de la Universidad de Columbia; después de haber agradecido la colaboración de la alumna *Miss Cora E. Dill*. Catorce fueron los capítulos de que constó, a saber: I) Algunos modelos primitivos de la Tierra, el hindú, el de Cosmas y el del huevo flotante; II) Antiguas determinaciones del tamaño de la Tierra; III) Las primeras mediciones rigurosas; IV) Algunas teorías relacionadas con la forma de la Tierra; V) Continuación de los trabajos de Picard; VI) Continuación de las operaciones geodésicas discontinuas; VII) la Red geodésica en Inglaterra; VIII) Trabajos sistemáticos en Francia; IX) Idem en Rusia; X) Idem en Suecia y en Noruega; XI) Las operaciones geodésicas en la India; XII) La Red geodésica en Prusia; XIII) La Red geodésica en los Estados Unidos; XIV) Conclusión.

Gore prestó especial atención al modelo que asimilaba el globo terráqueo al del huevo, como ya había hecho en su momento Beda el Venerable; huevo que suponía en medio del universo rodeado de agua, como lo estaba la yema envuelta por la clara. Fuera estaría el aire y alrededor de todo el fuego, que lo cerraba al igual que sucede con el cascarón. Como en otras teorías, se requería un cierto soporte, que usaría siglos después el geógrafo al Idrisi, al suponer que el huevo de la Tierra flotaba en el gran océano circundante, como en una cuenca. La fantasía medieval permaneció latente en los siglos venideros, hasta que paulatinamente se fue desvaneciendo gracias a los avances propiciados por el creciente conocimiento de la forma y dimensiones de la Tierra, cuyos principales hitos se detallan en este volumen. Es cuando menos curioso que Gore eligiese como frontispicio del mismo una recreación del modelo de la Tierra como huevo flotante, con el añadido de dibujarlo coronado por una cruz en Tierra Santa. Más sorprendente todavía resulta que en el año 2010 lo usara el músico Jonathan Uliel Saldanha como portada de uno de sus discos o que vuelva a traerse a colación en nuestros días a propósito de unas medidas efectuadas por la Voyager II (*BREAKING NEWS: Astronomers Discover That Earth is Egg-shaped*).



Del resto del temario solo se reseña el cuadro con los elipsoides de revolución definidos en el siglo XIX, en el que se incluye el propuesto por el astrónomo escocés, afincado en EE.UU., William Harknees (1837-1903); que a juicio de Gore suplantaría a todos los previamente determinados, contribuyendo así al progreso de las matemáticas en su país: «It is source of great pleasure and patriotic pride that the last page of this historic sketch can bear this testimony to the achievements of an American Mathematician»



| DATE. | AUTHORITY. | ELLIPTICITY. | QUADRANT IN METRES. |
|-------|------------|--------------|---------------------|
| 1806  | Delambre   | 1 : 334      | 10,000,000          |
| 1819  | Walbeck    | 1 : 302.8    | 10,000,268          |
| 1830  | Schmidt    | 1 : 297.5    | 10,000,075          |
| 1830  | Airy       | 1 : 299.3    | 10,000,976          |
| 1841  | Bessel     | 1 : 299.2    | 10,000,856          |
| 1856  | Clarke     | 1 : 298.1    | 10,001,515          |
| 1863  | Pratt      | 1 : 295.3    | 10,001,924          |
| 1866  | Clarke     | 1 : 295      | 10,001,887          |
| 1868  | Fischer    | 1 : 289      | 10,001,714          |
| 1872  | Listig     | 1 : 286.5    | 10,000,218          |
| 1878  | Jordan     | 1 : 286.5    | 10,000,681          |
| 1880  | Clarke     | 1 : 293.5    | 10,001,869          |
| 1891  | Harkness   | 1 : 300.2    | 10,001,816          |



New photos show that Earth is shaped like an egg

## Pascal François Joseph Gosselin (1751-1830)

Helenista francés, profundo conocedor de la geografía y metrología antigua, así como autor de numerosos mapas grecorromanos. Con apenas quince años concibió un tratado de cronología, que solo ejecuto en parte. Sin embargo, sus padres le hicieron viajar para inspirarle el gusto por el comercio. En sus recorridos por Francia, Italia, España y los Países Bajos, prestó atención a las ciencias, a la erudición y a la geografía; sin descuidar el estudio de las transacciones comerciales. En el año 1784 ingresó en el Consejo General del Comercio, siendo el responsable de redactar informes sobre el comercio de varias ciudades, incluido el puerto franco de Marsella. Durante los cinco años que permaneció en él, viajó de nuevo por Europa, relacionándose con personajes tan destacados como Voltaire y Jean-Jacques Rousseau (1712-1778). Muchas ramas del saber llamaron su atención, comenzando con la química, las matemáticas y la historia natural; sin olvidar la cristalografía y la numismática, llegando a reunir una colección de más de 500 medallas de plata del imperio romano. Enterado del concurso que había convocado, en 1789, la Academia de las Inscripciones y Bellas Letras, sobre las figuras de Estrabón y Tolomeo, decidió participar.



Al ganar el premio, decidió consagrarse a partir de entonces al estudio de la geografía antigua. La Memoria que presentó fue impresa en 1790 con el título *Géographie des Grecs analysée; ou Les systèmes d'Ératosthènes, de Strabon et de Ptolémée comparés entre eux et avec nos connoissances modernes*.

La obra se dividió en tres partes, dedicadas a Eratóstenes, Estrabón y Tolomeo; mencionando también en la primera las aportaciones de Piteas, Hiparco y Posidonio, y en la segunda las de Plinio y Marino de Tiro. Son de indudable interés las ocho tablas que incorpora, correspondiendo tres a Eratóstenes, dos a Estrabón y tres a Tolomeo; identificando diferentes lugares de la ecúmene por su latitud y longitud, referida al *Sacrum Promontorium* (cabo de San Vicente) citando asimismo las distancias al ecuador y las existentes entre los meridianos respectivos, usando como unidades de medida varias clases de estadios y grados. Igual de sobresaliente es el conjunto de diez mapas, con que concluyó el libro y que tanto ayudaron a comprender su lectura: 1) *ERATOSTHENIS SYSTEMA GEOGRAPHICUM*, 2) *ERATOSTHENIS SYSTEMA GEOGRAPHICUM, STEREOGRAPHICAE PROJECTIONI SUBJECTUM*, 3) *STRABONIS SYSTEMA GEOGRAPHICUM*, 4) *INTERNUM MARE, SEU MEDITERRAENEUM STRABONIS*, 5) *PTOLEMAEI SYSTEMA GEOGRAPHICUM*, 6) *INTERIUS MARE JUSTA*

# GÉOGRAPHIE DES GRECS ANALYSÉE;

OU

## LES SYSTÈMES

D'ERATOSTHENES, DE STRABON ET DE PTOLÉMÉE  
COMPARÉS ENTRE EUX  
ET AVEC NOS CONNOISSANCES MODERNES.

---

OUVRAGE couronné par l'Académie Royale des Inscriptions  
et Belles-Lettres.

---

PAR M. GOSSELLIN,  
Député de la Flandre, du Hainaut et du Cambresis,  
au Conseil Royal du Commerce.

---

*Videndum est, non modò quid quisque loquatur, sed etiam quid quisque sentiat, atque etiam quò de causâ quisque sentiat.* CICERO, de Officiis, Lib. I, §. 41.

---



À PARIS,  
DE L'IMPRIMERIE DE DIDOT L'AÎNÉ.

---

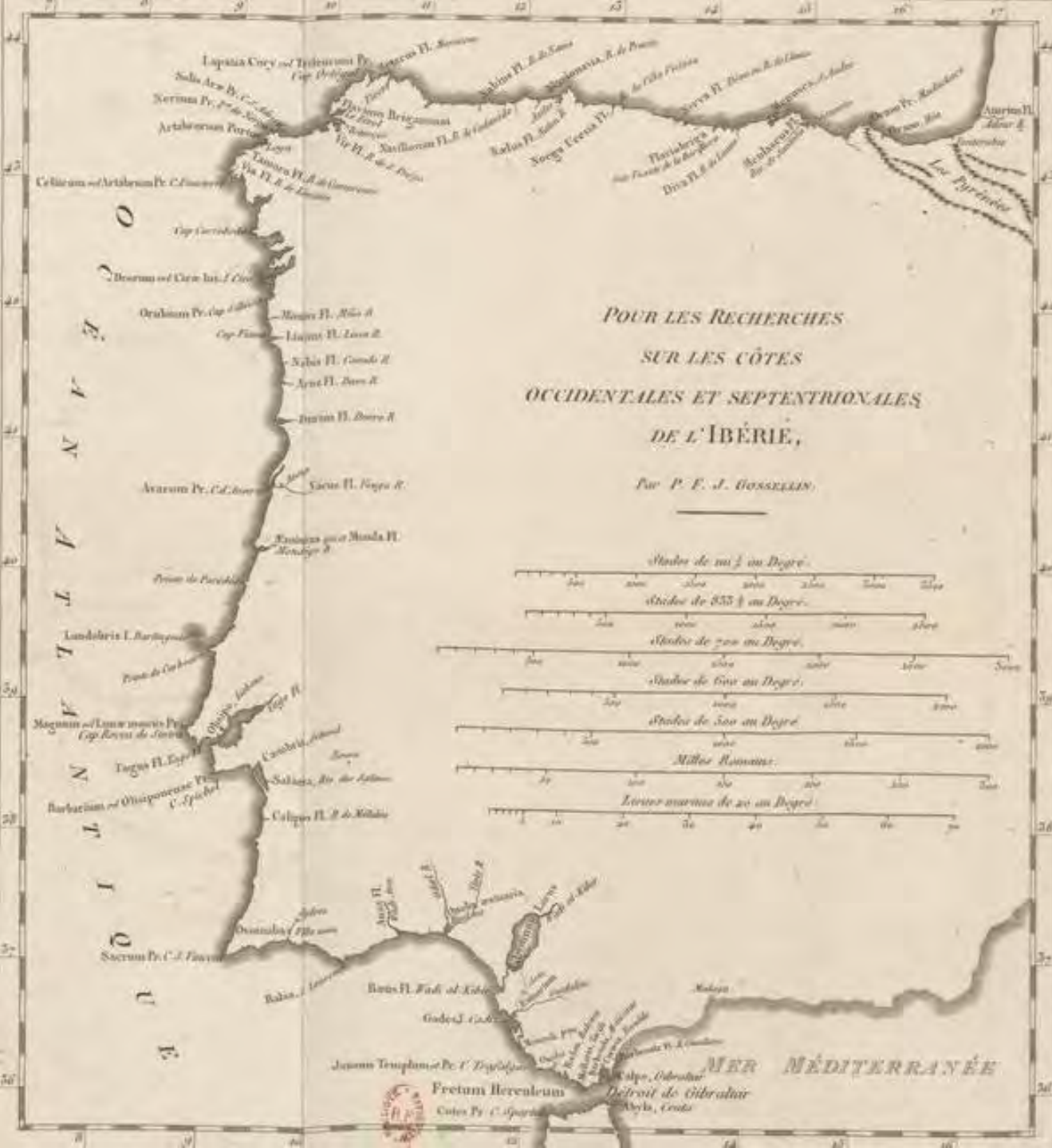
M. DCC. LXXX.

PTOLEMAEUM, 7) INTERIUS MARE EX TABULIS  
PTOLEMAICIS AD MENTEM NOSTRAM CASTIGATIS, 8)  
PTOLEMAIGA INDIAE DESCRIPTIO IN PARTE MARITIMA,  
9) POUR LA RECHERCHE SUR LA CHERSONESE D'OR ET  
SUR THINAE, 10) TERRA secundum STRABONIS  
hypothesim HABITAUM, auctore D'ANVILLE. La acogida  
de esta publicación fue variada, llegando a acusarle de  
haberse apoyado en una base poco sólida y fruto de  
hipótesis. En todo caso es encomiable su esfuerzo  
recopilador y la paciencia con que efectuó los  
numerosos cálculos que relacionaban entre sí a las  
diferentes unidades; cuyos resultados figuran en las  
tablas ya referidas. Gossellin procedió en los años  
siguientes a completar la memoria anterior, hasta  
convertirla en los cuatro tomos de la obra *Recherches  
sur la géographie systématique et positive des anciens,  
pour servir de base à l'histoire de la géographie  
ancienne*, editada entre los años 1798 y 1813.



Gossellin fue un cartógrafo prolífico, como muestra el Atlas que se editó en el año 1814: *Atlas or Recueil des Cartes Géographiques*, en el que se presentaron 75 mapas distribuidos en 47 hojas. De entre todos ellos parece obligado referir aquí los dos referidos a la Península Ibérica: *IBERICI LITORIS ORAE OCCIDENTALES ET SEPTENTRIONALES*, ex





ex Tabulis Ptolemoey y Pour les Recherches sur les CÔTES OCCIDENTALES ET SEPTENTRIONALES DE L'IBÉRIE. En el primero de ellos se representa el perímetro peninsular con la forma que le asignó en la antigüedad, incluyendo cuatro escalas gráficas: una para cada uno de los estadios empleados (de 1111 por grado, de 700 por grado, de 600 por grado, 500 por grado). En el segundo se actualizó el dibujo del perímetro, aumentando al mismo tiempo la densidad de topónimos, y se incluyeron siete escalas gráficas: cinco para los estadios de  $1111 \frac{1}{9}$ ,  $833 \frac{1}{3}$ , 700, 600 y 500 al grado; una para las millas romanas y otra para las leguas marinas de 20 al grado.

**ERATOSTHENIS**  
 SYSTEMA GEOGRAPHICUM  
 STEREOGRAPHICÆ PROJECTIONI  
 SUBJECTUM

Auctore GOSSELLIN  
 M. DCC. LXXXIX.



Guill: Delalloue.

INTERNUM MARE  
sive  
MEDITERRANEUM  
STRABONIS

Enucleabat GOSSELLIN  
M. DCC. LXXXIX



PARALLELI

4400 per Borepeltion  
5200 per medium Britannia  
5600 per Collum septentr.  
5800 per Byzantium  
6200 per Massiliam  
6400 per Rhodum  
6800 per Alexandriam  
7000 per isthmum Suez

SCALA 0 1000 2000 3000 4000 5000 6000 7000 8000 9000 10000 11000 12000 13000 14000 15000 16000 17000 18000 19000 20000 21000 22000 23000 24000 25000 26000 27000 28000 29000 30000 Stadia

Coll. De la Haye

INTERIUS MARE  
JUXTA  
PTOLEMAEUM

Delineat GOSSELLIN  
MDCCLXXIX



SCALA ad Longitudinem accommodata  
Stadia, sporum 700 infra unum Gradus spatium continentur

SCALA ad Latitudines accommodata  
Stadia, sporum 700 infra unum Gradus spatium continentur

Las investigaciones geográficas de Gosselin siempre estuvieron inevitablemente ligadas a las metrológicas, una circunstancia que dificultaría el establecimiento de conclusiones rigurosas. El caos previo a la implantación definitiva del Sistema Métrico Decimal era evidente, por la proliferación de medidas antropométricas, dependientes tanto del lugar como del tiempo. Las medidas itinerarias, definidas en función de las anteriores, tampoco debieron ser fáciles de identificar; el paradigma es el estadio, pues generalmente no se indicaba la clase de que se trataba. De hecho, no pudieron concretarse de modo fiable hasta que se evaluaron las distancias con mayor exactitud. Gosselin, que sus obras previas, no había dejado claro el asunto, y había concluido que debió haber tres tipos de estadios, optó por presentar en la *Academie Royale des Inscriptions et Belles-Lettres* su trabajo : *Recherches sur les principes, les bases et l'évaluation des différents systèmes métriques linéaires de l'antiquité* (1819). Al inicio del mismo precisó el origen del problema, enumerando los valores se habían venido dando para el perímetro de la Tierra (expresados en estadios): 400000, 300000, 360000, 240000, 180000, 216000, 276000, 225000, y 250000 o 252000. Acto seguido, mostró su común acuerdo con la tesis defendida por el

RECHERCHES  
SUR LE PRINCIPE, LES BASES ET L'ÉVALUATION  
DES  
DIFFÉRENS SYSTÈMES MÉTRIQUES  
LINÉAIRES  
DE L'ANTIQUITÉ.  
PAR P. F. J. GOSSELLIN,  
DE L'INSTITUT DE FRANCE (ACADÉMIE ROYALE DES INSCRIPTIONS ET BELLES-LETTRES),  
OFFICIER DE LA LÉGION D'HONNEUR, L'UN DES CONSERVATEURS-ADMINISTRATEURS  
DE LA BIBLIOTHÈQUE DU ROI, ASSOCIÉ ÉTRANGER DE L'ACADÉMIE DE GÖTTINGUE.

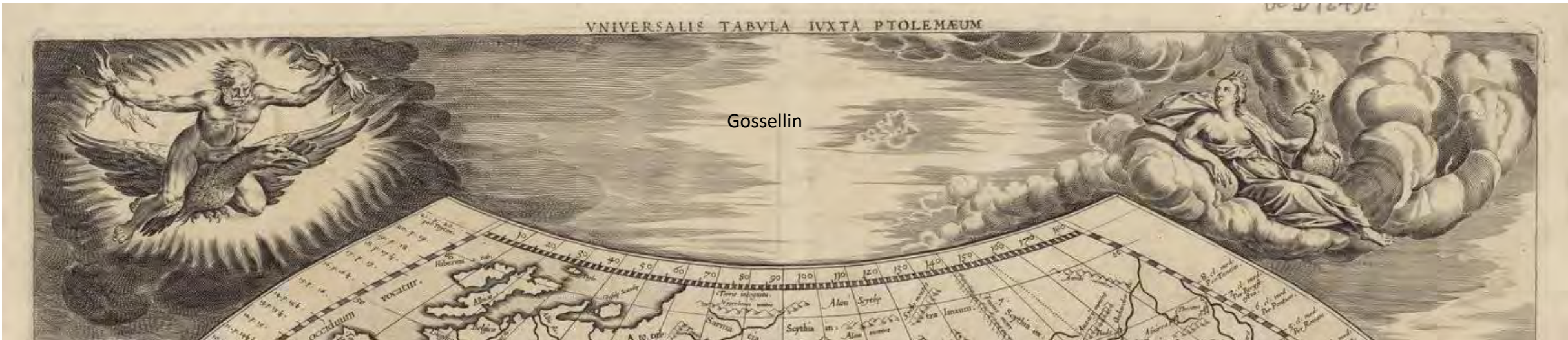


A PARIS,  
DE L'IMPRIMERIE ROYALE.

1819.

el astrónomo Jean Sylvain Bailly (1736-1793), al suponer que tales valores no debían ser fruto de diferentes medidas de la Tierra, sino más bien el resultado de una sola operación, pero expresadas en unidades distintas y asociadas, de una u otra forma, a los codos que se habrían empleado como módulos al definir el valor de los estadios. Gosselin los clasificó en tres grupos: primitivos, secundarios y terciarios. Los primitivos fueron de 1111 1/9, de 833 1/3, y de 1000 en el grado; asociándolos a tres primeros valores del perímetro terrestre. Los estadios secundarios habrían sido de 666 1/3, de 500 y de 600 en el grado; ligándolos a los tres valores centrales del referido perímetro. Los terciarios sería de 750, 625 y 694 2/3 ( o de 700) por grado, en función de los cuales se habrían expresado los tres últimos valores de la circunferencia de la Tierra.

| STADES PRIMITIFS.           |                            |                            | STADES SECONDAIRES.        |                            |                            | STADES TERTIAIRES.         |                            |                               |                               |
|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| I.                          | II.                        | III.                       | IV.                        | V.                         | VI.                        | VII.                       | VIII.                      | IX.                           |                               |
| CIRCONFÉRENCE de la Terre,  | CIRCONFÉRENCE de la Terre, | CIRCONFÉRENCE de la Terre, | CIRCONFÉRENCE de la Terre, | CIRCONFÉRENCE de la Terre, | CIRCONFÉRENCE de la Terre, | CIRCONFÉRENCE de la Terre, | CIRCONFÉRENCE de la Terre, | 1. CIRCONFÉRENCE de la Terre, | 2. CIRCONFÉRENCE de la Terre, |
| 400000 stades.              | 300000 stades.             | 360000 stades.             | 240000 stades.             | 180000 stades.             | 216000 stades.             | 270000 stades.             | 225000 stades.             | 250000 stades.                | 252000 stades.                |
| Degré, 1111 $\frac{1}{9}$ . | Degré, 833 $\frac{1}{3}$ . | Degré, 1000.               | Degré, 666 $\frac{1}{3}$ . | Degré, 500.                | Degré, 600.                | Degré, 750.                | Degré, 625.                | Degré, 694 $\frac{2}{3}$ .    | Degré, 700.                   |





## James de Graaff Hunter (1881-1967)

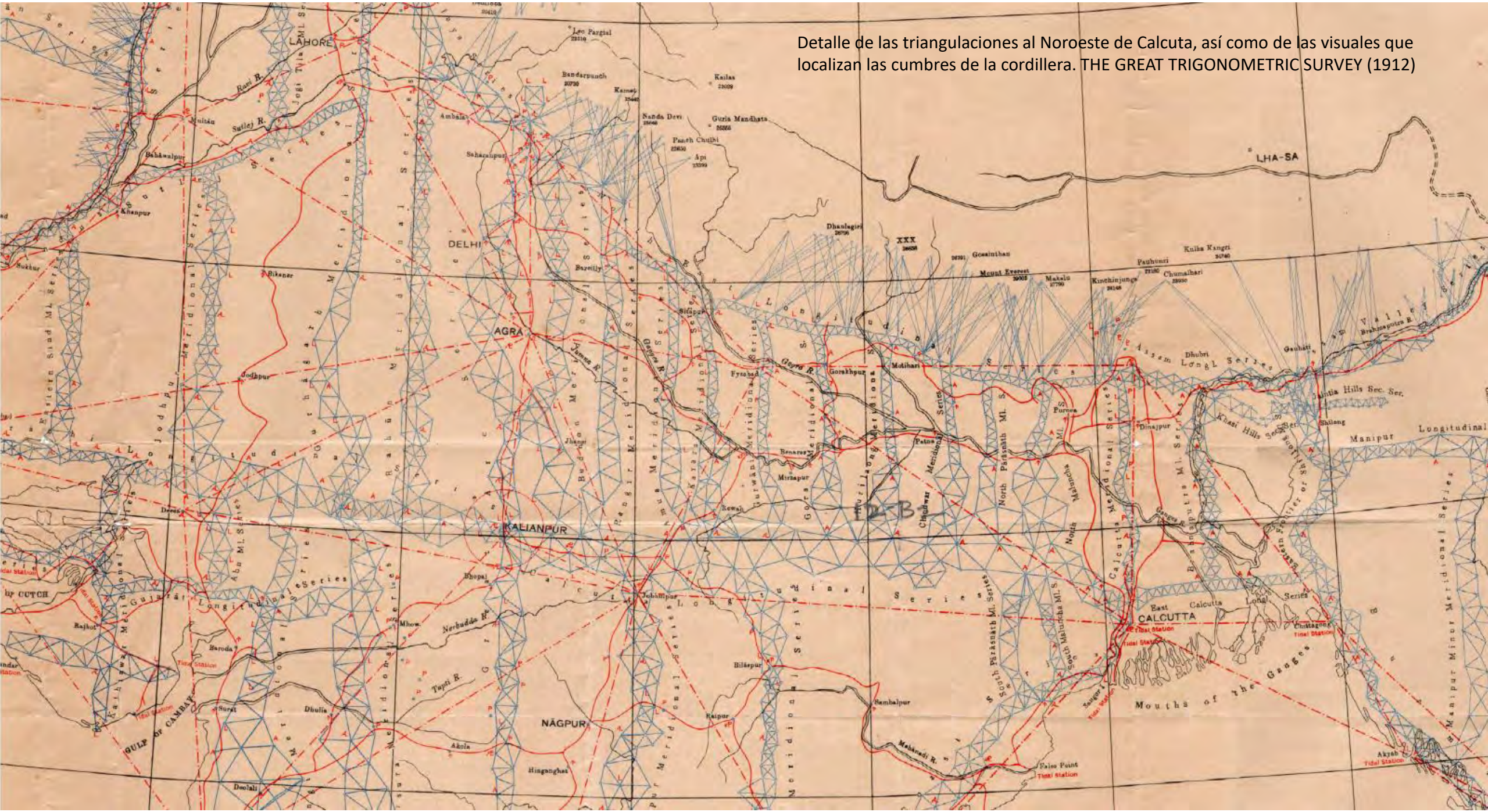
Eminente geodesta que fue operador de campo, y se formó, en la gran Red Trigonométrica de la India; entre 1954 y 1957 presidió la asociación Internacional de Geodesia. Se educó en la Escuela Real de Chester, donde recibió la medalla de oro en 1899, ese mismo año fue premiado con una beca para estudiar matemáticas en el *Pembroke College* de Cambridge, donde se matriculó en 1900. En los años siguientes siempre no dejó de progresar en sus estudios de matemáticas, hasta que en 1920 se doctoró en Ciencias. Al dejar Cambridge en 1904 fue profesor de matemáticas en Harrow y luego colaborador científico de William Thomson, más conocido como Lord Kelvin, asistiéndolo en sus investigaciones ondulatorias y magnéticas. En 1905 se incorporó al Departamento de Óptica y Mareas del *National Physical Laboratory*, localizado en Teddington, al suroeste de Londres; permaneciendo en él hasta que en 1907 decidió integrarse en el *Survey of India*, concretamente en su Oficina de Cálculo. En esa época ya se había consolidado como empresa responsable del establecimiento de la red geodésica que acabaría cubriendo todo su territorio, cuyo centro directivo estaba situado en Dehra Dun (hoy Dehradun), justo a los pies de los Himalayas, donde terminaba el arco de meridiano del Everest.

Su primera ocupación sería la de facilitar los cálculos relacionados con las observaciones, sobre las desviaciones de la vertical y la intensidad de la gravedad, que se estaban efectuando entre la parte central de la India y la cordillera septentrional. En el primer cuatrimestre del año 1908 participó en la campaña gravimétrica del Sur de la India, midiendo el valor de la gravedad en ocho estaciones; en 1909 volvió al campo para reconocer y observar parte de las triangulaciones situadas al Norte de la India, cuya conexión con las rusas se efectuaría entre 1912 y 1913. Entre tanto, en 1910, fue nombrado responsable de la Oficina de Cálculo (como *Mathematical Expert, Mathematical Adviser*, desde 1913). De esa época data su publicación sobre la incidencia de la refracción en la determinación trigonométrica de la altura de las montañas, esto es la distancia entre su parte superior y la inferior. La cumbre es visible y la única dificultad estriba en fijar el valor de la refracción, ya que enmarcará la verdadera elevación sobre el horizonte; en lo tocante a la inferior, se trata del geoide, una superficie equipotencial origen, que ha de ser localizada. En su artículo *Formulae for atmospheric refraction and their application to terrestrial refraction and geodesy*, explicó el hecho tan conocido de que la refracción es mínima a mediodía y aportó datos para la confección de las tablas correspondientes. Las dificultades de su tiempo, le impidieron determinar la forma del geoide bajo los picos de la cordillera, aunque sus observaciones entre Dehradun y la montaña cercana de Mussoorie, explicaron las discrepancias entre las altitudes halladas mediante la nivelación geométrica y la trigonométrica.





Detalle de las triangulaciones al Noroeste de Calcuta, así como de las visuales que localizan las cumbres de la cordillera. THE GREAT TRIGONOMETRIC SURVEY (1912)



## The earth's axes and triangulation

James DeGraaff. Hunter

Reprints from the collection of the  
University of Michigan Library

El siguiente trabajo relevante tuvo que ver con el modelo matemático propuesto para la Tierra, y la necesidad de perfeccionarlo a medida que se iba enriqueciendo la información con la ingente cantidad de datos que se iban acumulando. J. de Graaf Hunter postuló la necesidad de corregir los parámetros asignados por Everest, pero no calculando de nuevo la triangulación sobre el nuevo elipsoide, sino deduciendo unas fórmulas correctoras que eran función de punto. La investigación en este campo la presentó el año 1912 en la nota *Change of the axes of the terrestrial spheroid in relation to the triangulation of the G.T. Survey of India*, desarrollada siete años después en el libro *The Earth's axes and Triangulation*. El trabajo fue interrumpido durante la primera guerra mundial y nunca volvió sobre él, por la incapacidad de abordarlo por completo con los medios de cálculo de su tiempo. No obstante, se incluyó en el libro un listado con los valores de la desviación de la vertical en 450 estaciones, evaluadas tanto con el elipsoide de Everest como con el de Helmert ( semieje de 6378200 m y aplastamiento de 1/298.3).

De nuevo volvió al Sur de la India en los años 1916 y 1917 para observar la observación de la triangulación en las proximidades de Madura, empleando para ello torres geodésicas de 65 pies y mástiles de 100 pies, que se habían diseñado y construido en los talleres de Dehradun. En septiembre de 1917 se incorporó al ejército desplegado en Mesopotamia, triangulando las áreas de Kirkuk y Kurdistán. Cuando en 1919 regresó a la India, comenzó a centrarse en la determinación del geoide a partir de la medida de las desviaciones de la vertical; logrando componer en 1922 el

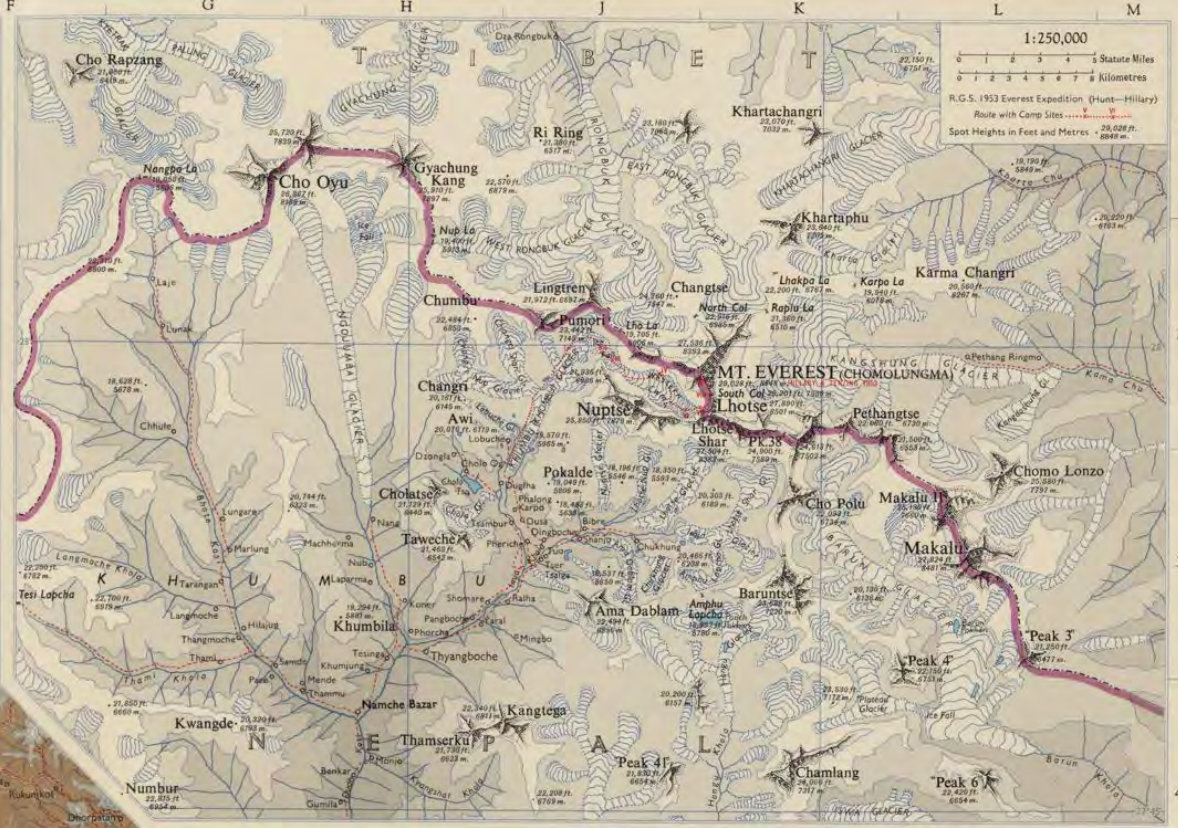


primer mapa del geoide en la India, el cual fue presentado en la Exhibición del Imperio Británico celebrada en Wembley (1924).

Miscellaneous charts :—  
A chart showing the form of the *Geoid* in India.  
A chart showing tidal predictions.  
Four charts on scale of 1/8 M, showing for the epoch 1920.0 the characteristics of the magnetic elements of declination, horizontal force and total force.

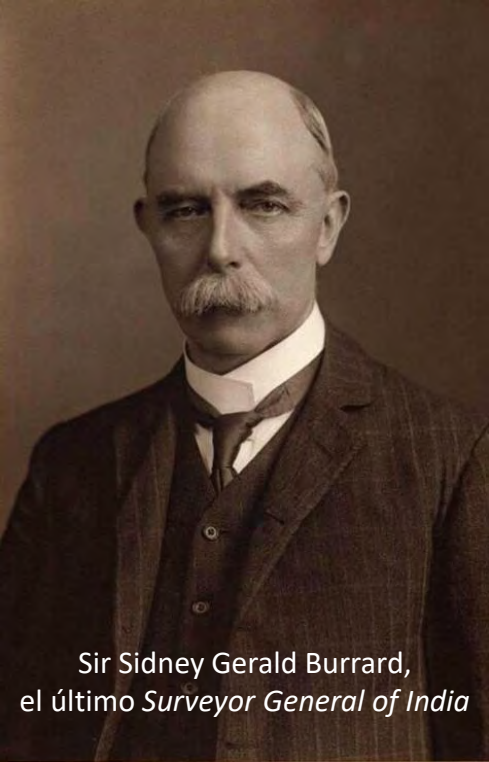
J. de Graaf Hunter no solo se responsabilizó de la investigación y cálculo, pues hubo de compaginarlos con los más rutinarios propios de la topografía y de la cartografía. Para facilitar el conocimiento y uso de todos ellos se publicaron las denominadas New Auxiliary Tables of Survey of India. En ellas se recogía, entre otras informaciones, las dimensiones de las hojas del mapa (dibujado en proyección policónica), se concretaban los lados y diagonales de los cuadrados de un grado de longitud por otro de latitud, y se resolvían los problemas geodésico directo e inverso. Más pormenorizada fue todavía la divulgación de los trabajos relativos a la triangulación, para lo que se editaron una colección de folletos en los se proporcionaba información puntual de los vértices, básicamente sus tres coordenadas: latitud, longitud y altitud; para ello se dividió el territorio en zonas limitadas por meridianos y paralelos, con una separación de uno o de cuatro grados, según se refiriera a la planimetría o a la altimetría. En el año 1925 ya se llevaban publicados 500 de tales folletos.





El problema de la determinación de la longitud geográfica también fue objeto de su preocupación, instalando en Dehradun dos cronómetros, uno de Rietier y después otro de Shortt, y equipando el instrumento de tránsito con micrómetros personales que permitían fijar mejor la hora de paso de una cierta estrella por el meridiano, alcanzando una incertidumbre de tan solo 0.<sup>s</sup> 035. En el año 1928 fue nombrado J. de Graaf Hunter Director del departamento de geodesia, un cargo equivalente al antiguo Superintendente del *Survey of India*. De él dependían los trabajos relacionados con el levantamiento de planos, una pequeña imprenta para las publicaciones cartográficas, la Escuela de formación de oficiales y la Oficina de cálculos geodésicos, en la que

realizaban también todos los relativos a las mareas. En el año 1929 publicó uno de los últimos artículos de divulgación: *The Attraction of the Himalaya*, incluido en el primer número de la revista *The Himalayan Journal* (Abril, pp 59-65). Además de referirse a la desviación de la vertical materializada por la línea de la plomada, recordó los trabajos de Everest, Pratt y Airy, las deducciones de Sir Sidney Gerald Burrard (1860-1943), el último *Surveyor General of India*, y las observaciones pendulares para hallar la intensidad de la gravedad; dichas observaciones no se realizaron en las cumbres de la cordillera, sino en otros puntos alejados de ellas, pero próximos a su límite meridional. En la conclusión del artículo se apuntaba que en las planicies de Deosai, a una altitud de unos 3900 m, se presentaron anomalías positivas de la gravedad indicativas de que la cordillera aún no estaba isostáticamente compensada.



Sir Sidney Gerald Burrard,  
el último *Surveyor General of India*

La crisis financiera de 1932 que afectó a todo el mundo, incidió muy negativamente en la India, hasta el extremo de suprimir el departamento dirigido por J. de Graaf Hunter, viéndose obligado a jubilarse anticipadamente. De regreso en Inglaterra continuó con sus estudios geodésicos, contando con el soporte de una beca Leverhulme, que disfrutó en el periodo 1936-1938. Su principal línea de investigación fue la determinación gravimétrica del geoide, valiéndose en sus trabajos de la fórmula que había deducido G. Stokes en 1849 (relacionando el geoide con la gravedad) y de la posibilidad de expresar la gravedad sobre una cierta

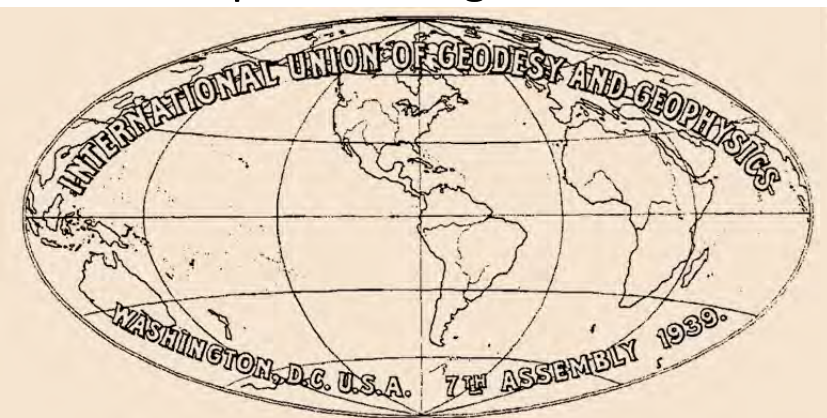
PHILOSOPHICAL TRANSACTIONS  
OF THE  
ROYAL SOCIETY OF LONDON

Series A—Mathematical and Physical Sciences  
No. 743 Vol 234 pp. 377-431 15th July 1935

THE FIGURE OF THE EARTH FROM GRAVITY  
OBSERVATIONS AND THE PRECISION OBTAINABLE

By  
J. DE GRAAFF HUNTER, C.I.E., SC.D.

superficie mediante series de potenciales armónicos. El artículo *The Figure of the Earth from Gravity Observations and the Precision Obtainable*, publicado en las *Philosophical Transactions* de 1935 (pp.377-430), explica con todo detalle el proceso seguido.



Cartel preparado por el U.S. Coast and Geodetic Survey

A J. de Graaaf Hunter le sorprendió el inicio de la segunda guerra mundial en los EE. UU., cuando estaba asistiendo en Washington a una Asamblea de la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica. De inmediato solicitó su incorporación como militar al Survey of India, sin que fuera aceptada su petición. Permaneció a la espera en aquel país, hasta que en febrero de 1941 si aceptó el gobierno que se trasladase a su antiguo destino. El mes de marzo zarpó de Nueva York rumbo a Ciudad del Cabo, junto a su esposa e

hija, pero poco antes de llegar fueron hechos prisioneros por los alemanes. Aunque permanecieron separados durante su cautiverio, a finales de 1942 logró reunirse toda la familia en Viena y desde allí se trasladaron a Palestina. Finalmente, en enero de 1943 partieron de Jerusalén hacia Bagdad y desde allí, vía aérea, llegaron a la India. A su regreso ocupó el puesto de Asistente del *Surveyor General*, hasta diciembre de 1943, en que viajó hasta Dehradun para presidir el *Department's War Research Institute*, en el que continuó con las investigaciones científicas rutinarias propias de la situación, hasta que regresó a Inglaterra en el mes de mayo de 1946.

## The geodetic uses of gravity measurements and their appropriate reduction

BY J. DE GRAAFF-HUNTER, F.R.S.

(Received 4 September 1950)

In §1 are stated the needs of geodesy which must be met to allow results to be expressed in one unique reference system. At present the great surveys are in disconnected systems and are partially spheroidal and partially geoidal. §2 recalls a theorem of Stokes, relating geoid with spheroid. Thence are deduced expressions for the deviations of the vertical and the curvature of the geoid. All these are in the form of integrals of the gravity anomalies over the earth. §3: this ideal earth is a body bounded by a level surface, and to bring the actual earth into its scope, protuberances of the topography above the co-geoid—a surface differing slightly from the geoid—must be annulled. §4: the relation between gravity at different levels is found in terms of the local mean geoidal curvature, instead of the customary mean of the whole earth. In §5 a practical observational method of finding this curvature is proposed, depending on reciprocal vertical angles observed at pairs of points. Atmospheric refraction is involved and the mode of dealing with this is discussed. Some general remarks in §6 terminate the paper.

### 1. GEODETIC OBJECTIVES

1.1. The main processes of geodetic survey are:

- (a) base-line measurement,
- (b) triangulation (horizontal and vertical angles),
- (c) precise traverse,
- (e) astronomical observations for azimuth, latitude and time (longitude),
- (f) observations for the force of gravity.

Después de la guerra retomó la aplicación de la integral de Stokes, proponiendo su propio modelo físico de la Tierra (*The Model Earth with Smoothed Topography*), tal como se explica en el obituario que le dedicó G. Bomford; el cual ha servido de guía para esta reseña. En él se incluye un listado con la mayoría de sus aportaciones científicas, desde el año 1911 hasta el de 1967. James de Graaf Hunter, miembro de la *Royal Society* desde el año 1935, también participó activamente en la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica: en la que presidió la Sección del geoide en las asambleas de 1948 y 1951, ocupó la Vicepresidencia de la Unión entre 1951 y 1954, y fue Presidente de la misma en el trienio siguiente.



## George Green (1793-1841)

Físico y matemático inglés de renombre, que pasó a la posteridad al definir las funciones que llevan su nombre y que son de tanta utilidad en las aplicaciones del cálculo vectorial a diferentes ramas de la física. Al parecer recibió sus primeras enseñanzas en la escuela de Robert Goodacre, la mejor de Nottingham, aunque la tuviese que abandonar con tan solo nueve años. Se ignora cuando comenzó a familiarizarse con las matemáticas, aunque debió de hacerlo mientras trabajaba en el molino de su padre. También podría haber recibido clases de algún profesor particular, suele mencionarse la posibilidad de que John Toplis (ca. 1774-1857), hubiera sido su tutor. Toplis tradujo en 1814 la *Mecánica Celeste* de Laplace, siendo por tanto buen conocedor de las matemáticas que se estaban desarrollando en Francia; llegó a ser decano del *Queens' College* de Cambridge. También debió ser básico para su formación de Green el que visitara con frecuencia la biblioteca de Nottingham (*Nottingham Subscription Library* transformada luego en *Bromley House Library*) en los primeros años de la década de 1820, pues así tuvo acceso a las *Philosophical Transactions* de la *Royal Society* y por tanto a los últimos avances matemáticos; asimismo parece muy probable que su interés por la teoría del potencial le hubiera surgido después de haber leído la traducción de Toplis.

Todavía sorprende que con ese bagaje pudiese publicar Green una obra tan esencial en la historia del conocimiento matemático, la cual fue presentada por fascículos que irían adquiriendo los suscriptores de la revista de Nottingham; los cuales debieron quedar enterados por el correspondiente anuncio insertado por el autor el 14 de diciembre de 1827: «In the Press, and shortly will be published, by subscription, *An Essay on the Application of Mathematical Analysis to the Theories of Electricity and Magnetism*. By George Green. Dedicated (by permission), to his Grace the Duke of Newcastle, K.G. Price to Subscribers, 7s. 6d. The Names of Subscribers will be received at the Booksellers, and at the Library, Bromley House». El trabajo se acabó publicando en marzo de 1828 con idéntico título, incluyendo la dedicatoria a Thomas Pelham-Holles (1693-1768) Duque de Newcastle, del que Green se declaraba el más obediente y agradecido servidor. En el prólogo se lamentaba de sus limitadas fuentes de información para redactar el estado de la cuestión, si bien reconoció las contribuciones de autores como Cavendish, Denis Poisson (1781-1840), J.D. Arago, P.S. Laplace, Joseph Fourier (1768-1830), Augustin Louis Cauchy (1789-1857) y Thomas Young (1773-1829). Green dio muestras de su modestia al señalar que vería reconocidos sus esfuerzos, si su publicación pudiera servir para facilitar la comprensión del tema abordado, y solicitar la indulgencia de los matemáticos que pudiesen



Línea meridiana en la  
Bromley House Library



# AN ESSAY

ON THE

APPLICATION

OF

MATHEMATICAL ANALYSIS TO THE THEORIES OF  
ELECTRICITY AND MAGNETISM.

BY

GEORGE GREEN.

Nottingham:

PRINTED FOR THE AUTHOR, BY T. WHEELHOUSE.

SOLD BY HAMILTON, ADAMS & Co. 33, PATERNOSTER ROW; LONGMAN & Co.; AND W. JOY, LONDON;  
J. DEIGHTON, CAMBRIDGE;

AND S. BENNETT, H. BARNETT, AND W. DEARDEN, NOTTINGHAM.

1828.

TO  
HIS GRACE THE DUKE OF NEWCASTLE, K. G.

Lord Lieutenant of the County of Nottingham;

VICE PRESIDENT OF THE ROYAL SOCIETY OF LITERATURE,

&c. &c. &c.

To be your Grace's most obedient

and grateful Servant,

GEORGE GREEN.

leerlo, «more particularly when they are informed that it was written by a young man, who has been obliged to obtain the little knowledge he possesses, at such intervals and by such means, as other indispensable avocations which offer but few opportunities of mental improvement, afforded». Inmediatamente después incluyó un listado con los 51 suscriptores.

El autor pretendió que su trabajo llegara a los matemáticos ingleses y a los de otros países, pero no logró su propósito. Ha de tenerse en cuenta que se adelantó a su tiempo, escribiendo, con notación continental desconocida (la de Leibniz en lugar de la de Newton), sobre ideas y técnicas, que en la actualidad se analizan al estudiar las funciones y el teorema de Green; en su trabajo aplicó el análisis matemático a las teorías contemporáneas de la electricidad y el magnetismo, de ahí que sea considerado como el responsable de introducción de la física matemática en el Reino Unido. Afortunadamente, uno de los suscriptores anteriores fue Sir Edward Thomas Ffrench Bromhead (1789-1855), terrateniente

Interesado por las matemáticas, el cual logró contactar con Green y lo animó a que diese a conocer sus trabajos en foros como la *Royal Society of London*, *The Cambridge Philosophical Society* o la *Royal Society of Edinburgh*, así como a que se matriculase en la Universidad de Cambridge para graduarse en Matemáticas. A todo ello accedió, ingresando en el *Gonville & Caius College*, el mismo en donde había estudiado Bromhead, y obteniendo el Grado en el año 1837; esto es cuando tenía 44 años. Siendo estudiante publicó varios artículos que fueron publicados por las dos últimas Sociedades, de los que se han seleccionado los dos siguientes escritos en el año 1833: *On the determination of the exterior and interior attractions of ellipsoids of variable densities* (1833), incluido en las *Transactions of the Cambridge Philosophical Society*, y *Researches on the vibration of pendulums in fluid media*, incluido en las *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*. En los años siguientes permaneció en Cambridge, gracias a la beca Perse (*Perse Fellowship*) que le concedió el Colegio, publicando otros artículos: sobre la refracción y reflexión del sonido, sobre el movimiento ondulatorio en canales de poca profundidad y ancho, y sobre las leyes de reflexión y refracción de la luz; los dos primeros publicados por la Sociedad Filosófica de Cambridge y el tercero por la Real Sociedad de Edimburgo. En el año 1840 se vio obligado a regresar a Nottingham por problemas de salud, falleciendo al año siguiente.



La Puerta del Honor, en el pasaje del Senado  
(Gonville and Caius College, Cambridge)

XV. *On the Determination of the Exterior and Interior Attractions of Ellipsoids of Variable Densities.* By GEORGE GREEN, Esq., Caius College.

[Read May 6, 1833.]

THE determination of the attractions of ellipsoids, even on the hypothesis of a uniform density, has, on account of the utility and difficulty of the problem, engaged the attention of the greatest mathematicians. Its solution, first attempted by Newton, has been improved by the successive labours of Maclaurin, d'Alembert, Lagrange, Legendre, Laplace, and Ivory. Before presenting a new solution of such a problem, it will naturally be expected that I should explain in some degree the nature of the method to be employed for that end, in the following paper; and this explanation will be the more requisite, because, from a fear of encroaching too much upon the Society's time, some very comprehensive analytical theorems have been in the first instance given in all their generality.

A pesar de los esfuerzos altruistas de Bromhead, las aportaciones matemáticas de Green no fueron suficientemente valoradas en vida de este, aunque su prestigio comenzó a crecer pocos años después, asentándose en las décadas siguientes. El detonante fue la lectura de una nota a pie de página, referida al Ensayo de

*Researches on the Vibration of Pendulums in Fluid Media.* By GEORGE GREEN, Esq. Communicated by Sir EDWARD FRENCH BROMHEAD, Bart. M. A. F. R. SS. Lond. & Ed.

(Read 16th Dec. 1833.)

PROBABLY no department of Analytical Mechanics presents greater difficulties than that which treats of the motions of fluids; and hitherto the success of mathematicians therein has been comparatively limited. In the theory of the waves, as presented by MM. POISSON and CAUCHY, and in that of sound, their success appears to have been more complete than elsewhere; and if to these investigations we join the researches of LAPLACE concerning the tides, we shall have the principal important applications hitherto made of the general equations upon which the determination of this kind of motion depends. The same equations will serve to resolve completely a particular case of the motion of fluids, which is capable of a useful practical application; and, as I am not aware that it has yet been noticed, I shall endeavour, in the following paper, to consider it as briefly as possible.

Green, incluida en un artículo del matemático Robert Murphy (1806-1843); el lector fue W. Thomson (luego Lord Kelvin) que acababa de graduarse en Cambridge (1846), el cual lograría más tarde la reimpresión del primer trabajo de Green en el *Crelle's Journal*. Tanto Lord Kelvin como J.C. Maxwell comprobaron que la contribución matemática de Green les había sido de gran utilidad en sus investigaciones sobre la naturaleza de la luz, el campo electromagnético y la electricidad. Ya en pleno siglo XX, A. Einstein se refirió al Ensayo de Green, durante una conferencia celebrada en Nottingham, comentando que su autor se había adelantado veinte años a su tiempo. En el bicentenario de su nacimiento, se colocó una placa con su nombre en la Abadía de Westminster, junto a la tumba de I. Newton y a los memoriales de Lord Kelvin y de J.C. Maxwell. En ese mismo año de 1993 se bautizó con el nombre George Green a la Biblioteca de Ciencia e Ingeniería de la Universidad de Nottingham.

Placa colocada en la Abadía de Westminster, coronada por una reproducción del molino en que comenzó sus estudios de matemáticas



BIBLIOTECA GEORGE GREEN . Universidad de Nottingham



BICENTENARIO DE GEORGE GREEN



## Charles Édouard Guillaume (1861-1938)

Físico suizo inventor del Invar, una aleación de acero al níquel de múltiples aplicaciones, sobre todo en la medida directa de distancias y en la cronometría. Sus investigaciones metrológicas en ese campo le valieron el Premio Nobel de Física en el año 1920, cuyo discurso de agradecimiento pronunció el día 11 de diciembre; parte sustancial del mismo fue su referencia a la medida de las bases geodésicas y al aumento de su exactitud desde que se hizo uso del invar, tal como había demostrado el geodesta sueco Edvard Jäderin. Los estudios primarios los realizó en Fleurier, donde nació, los secundarios en Neuchâtel y los universitarios en la Escuela Politécnica de Zurich (ahora *Eidgenössische Technische Hochschule*, o *ETH-Zürich*); consiguiendo el grado de Matemáticas y una acreditación como profesor de la misma materia en 1882. Al año siguiente logró su doctorado por la Universidad de Zurich, dirigido por el físico Heinrich Friedrich Weber (1843-1912). Ese mismo año le recomendó Adolphe Hirsch (1830-1901), director del Observatorio de Neuchâtel, trasladarse a París para ocupar un puesto de Físico en el *Bureau International des Poids et Mesures* (BIPM); una institución en la que se integró de inmediato y en la permanecería el resto de sus días.

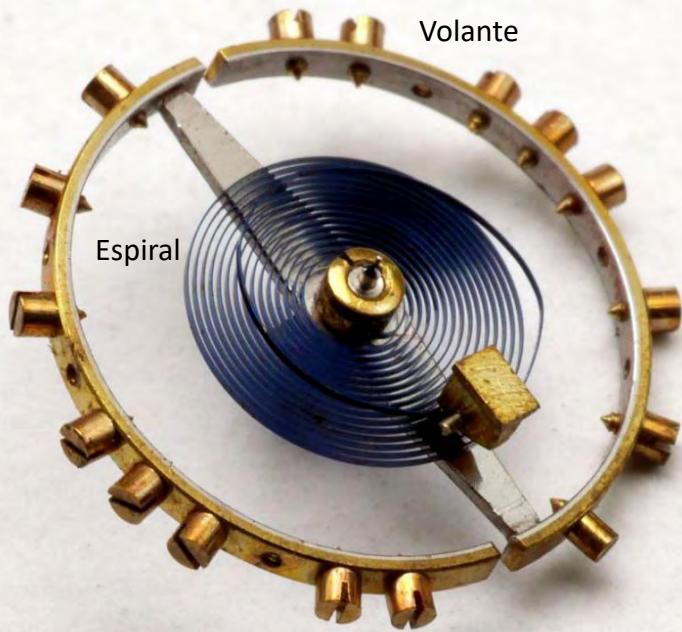
En aquella época se estaba estudiando con detalle la longitud de los diferentes patrones del metro, que deberían entregarse a los diferentes países que habían adoptado el Sistema Métrico Decimal. Guillaume participó activamente en la contrastación de todos ellos, analizando la posibilidad de sustituir el platino iridiado por otro metal menos precioso, pero de similares características (en particular inoxidable). De ese modo fueron surgiendo nuevas aleaciones, una de las primeras fue la de hierro con 24% de níquel y un 3% de cromo, seguida de otra de ferroníquel (30% níquel); en los primeros análisis se constató que la dilatación de la primera con la temperatura era sensiblemente mayor que la de la segunda, hecho que sorprendió a Guillaume y le animó a buscar otra aleación análoga.

Variando la proporción de níquel, descubrió que cuando era del 36% prácticamente se anulaba el coeficiente de dilatación; siendo así como surgió el novedoso material que acabaría siendo conocido con el nombre de *invar*, vocablo propuesto por Marc Thuy. Una de las primeras aplicaciones en las que pensó Guillaume fue en la cronometría de precisión (no en vano procedía de una familia de relojeros), pues fabricando el volante y la espiral del instrumento con el nuevo material se podrían reducir al mínimo los efectos de los cambios de temperatura sobre la marcha del reloj. En estas investigaciones cronométricas colaboró con Paul Perret un relojero suizo, comprobando en 1919, que una aleación con un 34% de níquel y un 12% de



El metro de platino iridiado





cromo, presentaba una elasticidad invariable entre los  $-50^{\circ}$  y los  $100^{\circ}$ ; un nuevo material que sería identificado con el nombre de *elinvar*. A partir de entonces fueron millones los relojes que incorporaron volantes y espirales de ese material invariable. Aunque esa aplicación fuese la más frecuente, Guillaume también propuso el invar para construir las reglas patrón, tan ligadas a la contrastación de los aparatos con que se medían las bases geodésicas, y para la fabricación de cintas o hilos metálicas con las que medir directamente otras distancias. Mención aparte merece la construcción de termostatos y péndulos de los relojes astronómicos, diapasones insensibles a los cambios de temperatura o muelles de sismómetros.



Las investigaciones metrológicas y geodésicas de Guillaume en el BIPM fueron permanentes, sin descuidar las tareas cotidianas del Centro, dando cuenta de las mismas en numerosas publicaciones. Entre sus libros destacan los siguientes: *Traité pratique de Thermométrie de précision*, Gauthier-Villars, Paris (1889); *Recherches sur le Nickel et ses alliages*, Gauthier-Villars, Paris (1898) y *Les applications des aciers au Nickel avec un appendice sur la théorie des aciers au Nickel*, Gauthier-Villars, Paris (1904). También son dignos de mención los dos artículos citados a continuación, que escribió junto al director del BIPM, Justin -Mirande René Benoît (1844-1922): *Les nouveaux appareils pour la mesure rapide des bases géodésiques* (1905) y *Note sur les expériences récentes faites à l'aide des fils géodésiques en invar* (1911);

Cinta invar de 100 pies. 1912

además de otros dos que publicó en solitario: *La Mesure rapide des bases géodésiques* (1906) y *Etudes sur la flexion de la règle géodésique en invar du Bureau International* (1911).

### LA MESURE RAPIDE DES BASES GÉODÉSIQUES ;

Par M. CH.-ED. GUILLAUME 1).

*Exposé sommaire des méthodes.* — La détermination précise d'une base géodésique utilise des procédés qui, tout en variant beaucoup dans le détail, se ramènent essentiellement à deux types distincts; mais encore ces deux modes d'opérer possèdent-ils un départ commun; la longueur à mesurer étant limitée par deux termes invariablement fixés au sol, et le plus souvent enfoncés au-dessous de son niveau, on place, dans la verticale du premier terme, l'une des extrémités d'un étalon aligné dans la direction de la base, et qui en mesure la première portée; c'est seulement à partir de cette opération que les deux méthodes commencent à diverger.

El BIPM alcanzó su mayor proyección social en el año 1920, cuando se le concedió a su Director el Premio Nobel de Física, «en reconnaissance des services qu'il a rendus aux mesures de précision en physique par sa découverte des anomalies dans les alliages d'acier au nickel». El título elegido por Ch. E. Guillaume para su discurso fue precisamente



Ch. E. Guillaume haciendo una medición, relativa a la base geodésica de 24 m, establecida en el subsuelo del BIPM.



Midiendo una distancia con Hilos Invar, usando el instrumento de Jäderin





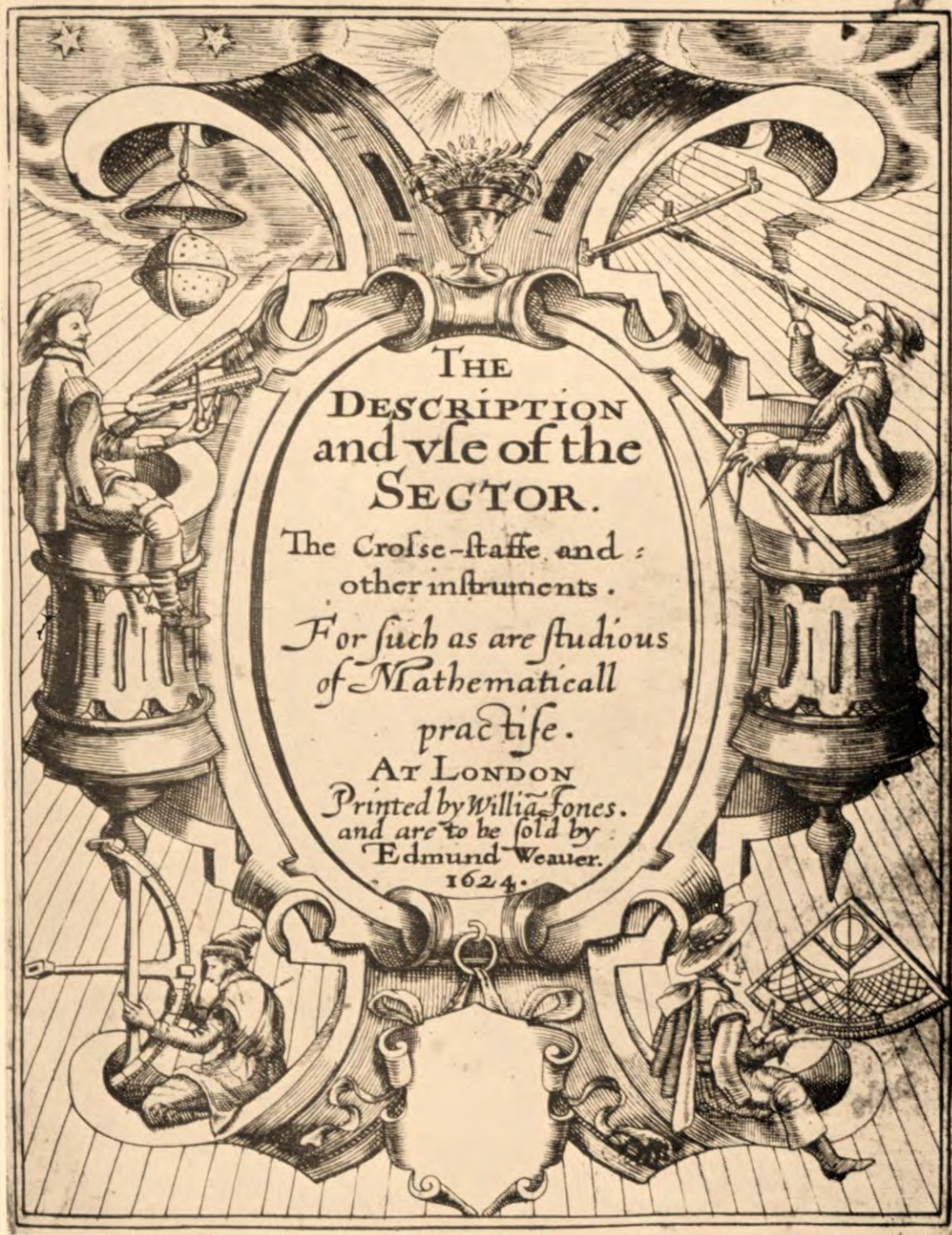
INVAR y ELINVAR, estructurando su contenido en los capítulos siguientes: I) La anomalía de los aceros al níquel, II) Cambios volumétricos, III) Propiedades elásticas, IV) Aleaciones ternarias, V) Cambios progresivos o Transitorios, VI) Aplicaciones, VII) Medidas de longitud, VIII) Medidas del Tiempo y IX) Conclusión. En algunos de ellos se introdujeron los apartados que se indican a continuación: I) Descubrimiento de la anomalía y clasificación en función de sus propiedades magnéticas; II) Métodos, Cambios irreversibles y Cambios reversibles; III) Módulo de elasticidad, Variación del módulo con la temperatura; VII) Generalidades, Las Bases Geodésicas y Transmisiones no expandibles (lo aplicó al estudiar deformaciones en la Torre Eiffel); VIII) El péndulo compensado de los cronómetros, La espiral de los relojes, Corrección del error secundario en los cronómetros mediante la balanza integral, Solución final al problema de la compensación por medio de la espiral invar. En el epílogo de su discurso agradeció la distinción a todos los miembros del Comité del Nobel, recordó a Alfred Nobel (1833-1896) y expresó con emoción su convencimiento de que sus descendientes siempre contemplarían con legítimo orgullo tanto el diploma como la medalla que había recibido. También dio las gracias en nombre del BIPM, de la Metrología y de los dos países a los que se sentía tan unido: «Suiza, del que soy ciudadano y en el que me formé y Francia, donde he conocido tantos amigos»

Guillaume fue por tanto honrado en su tiempo, perteneciendo a diversas Academias y Sociedades científicas; asimismo fue nombrado Doctor Honoris Causa por las Universidades de Ginebra, París y Neuchâtel. El de esta última lo recibió el 15 de marzo de 1921, como reconocimiento a los eminentes servicios dados a la ciencia y a su país. Ese mismo año, la Sociedad de Ciencias Naturales de Neuchâtel lo hizo miembro de honor, aunque no tuvo constancia de su nombramiento hasta finales de enero de 1922. El agradecimiento de Guillaume, en carta dirigida a su presidente, Théodore Delachaux (1879-1949), el 25 de enero de 1922, fue muy sentido: «La décision prise à mon égard par la Société neuchâteloise des sciences naturelles me touche profondément, par la bienveillante pensée qui l'a dictée et par les souvenirs lointains ou proches auxquels elle se rattache... Votre lettre évoque en moi un lointain passé, mais elle marque également des repères pour l'avenir. Je souhaite de tout mon coeur de voir le nouveau lien qu'elle crée être pour moi l'occasion d'assister quelquefois à vos séances, d'y retrouver de vieux amis, d'apprendre à en connaître de nouveaux, enfin de rendre hommage à ceux qui furent les maîtres des hommes de ma génération».

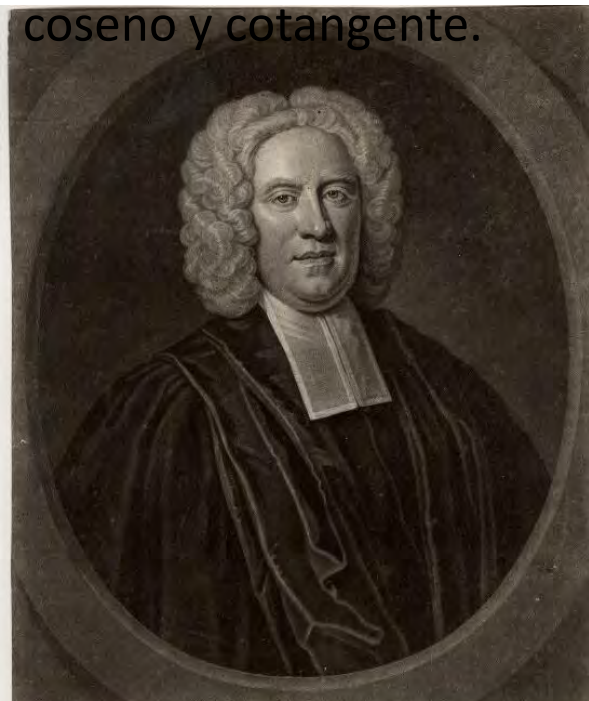


## Edmund Gunter (1581-1626)

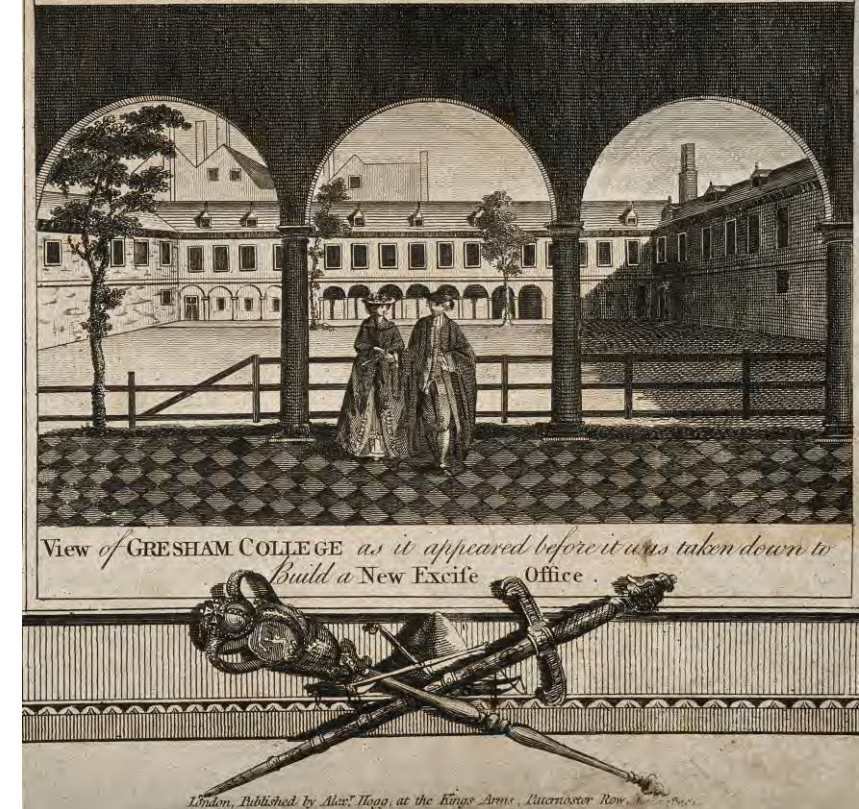
Clérigo y matemático afamado que se especializó en la construcción de instrumentos topográficos, entre los que sobresalió la llamada cadena de Gunter o de agrimensor; muy usada en los trabajos de medición de terrenos, en los que incluso llegó a usarse como unidad de medida lineal y superficial (cadenas cuadradas). Se educó en la fundación real de la Badía de Westminster y en la Iglesia de Cristo (Oxford.1599). Después de obtener el bachiller se ordenó sacerdote en 1614, consiguiendo el grado de teología al año siguiente; convirtiéndose en rector de las iglesias de San Jorge (Southwark) y Santa María Magdalena (Oxford). No obstante, siempre estuvo interesado por las matemáticas y por sus instrumentos, llegando a escribir antes de graduarse *New Projection of the Sphere* (1603); un trabajo que no se publicaría hasta 1623 y que llamó la atención de matemáticos como Henry Briggs (1561-1630), clérigo como Gunter y fundador de los logaritmos decimales. Entre ambos llegó a surgir una prolongada amistad, fraguada por el intercambio de conocimientos matemáticos que realizaban en el Gresham College de Londres; en donde Briggs era Profesor de

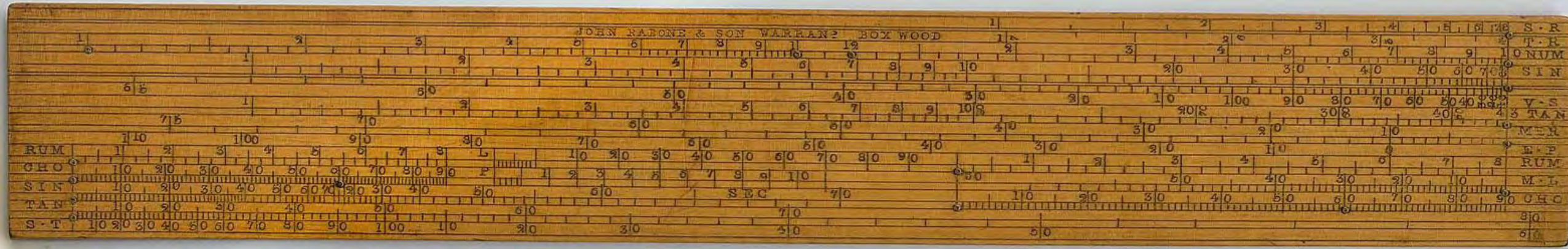


Matemáticas. Por influencia de este, consiguió Gunter la plaza de profesor de Astronomía de dicho colegio el 6 de marzo de 1619. Las enseñanzas de Gunter fueron eminentemente prácticas, tratando de relacionarlas en todo momento con las necesidades de la vida cotidiana. Prueba de ello fue la publicación, en 1620, de siete tablas con los logaritmos de dos razones trigonométricas, tanto en latín como en inglés: *Triangulorum sive Tabulae Sinuum et Tangentium Artificialum* y *Canon of Triangles: or Tables of Artificial Sines and Tangents*. Esa fue la primera ocasión en la que se presentó una tabla de ese tipo, con el interesante añadido de haber acuñado las palabras coseno y cotangente.

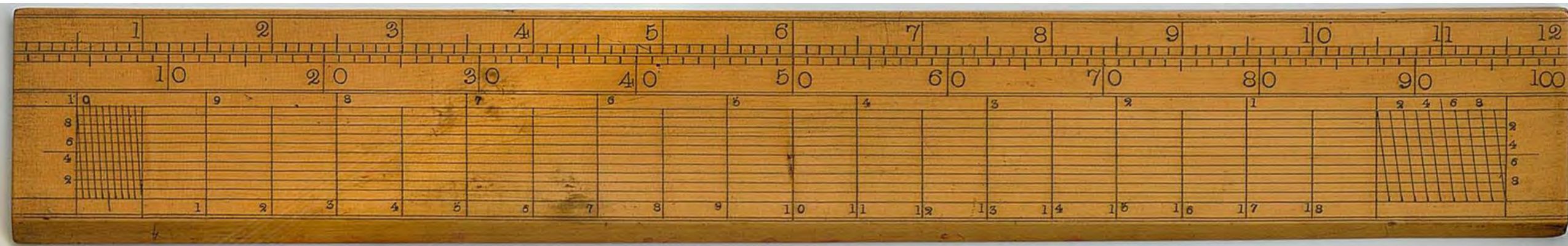


Como complemento de las mismas ideó una regla que incorporó varias escalas y que luego sería conocida como Regla de Gunter o simplemente Gunter; el más remoto antecedente de la regla de cálculo. De entre todas las escalas destacaba la logarítmica, que identificó con las iniciales NUM, en la que figuraban los 100 primeros números dispuestos con una doble entrada; con la que se suplía la búsqueda de logaritmos en la tabla por la lectura, en dicha escala, de los factores implicados (ha de tenerse en cuenta que el logaritmo de un producto es la suma de los logaritmos de los factores). Entre sus muchas aplicaciones en la navegación, han de señalarse la resolución de triángulos rectángulos sobre las cartas náuticas, la determinación de las coordenadas geográficas de una posición dada, sabiendo el rumbo y la distancia recorrida por el barco, o bien los cálculos propios de la astronomía de posición sobre la esfera celeste.



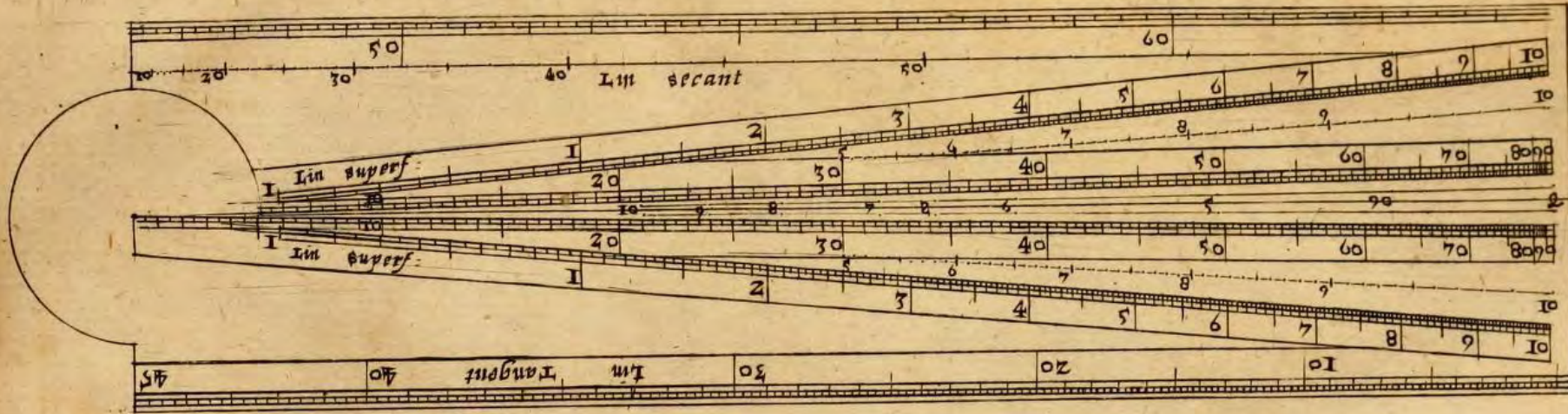


Regla de Gunter

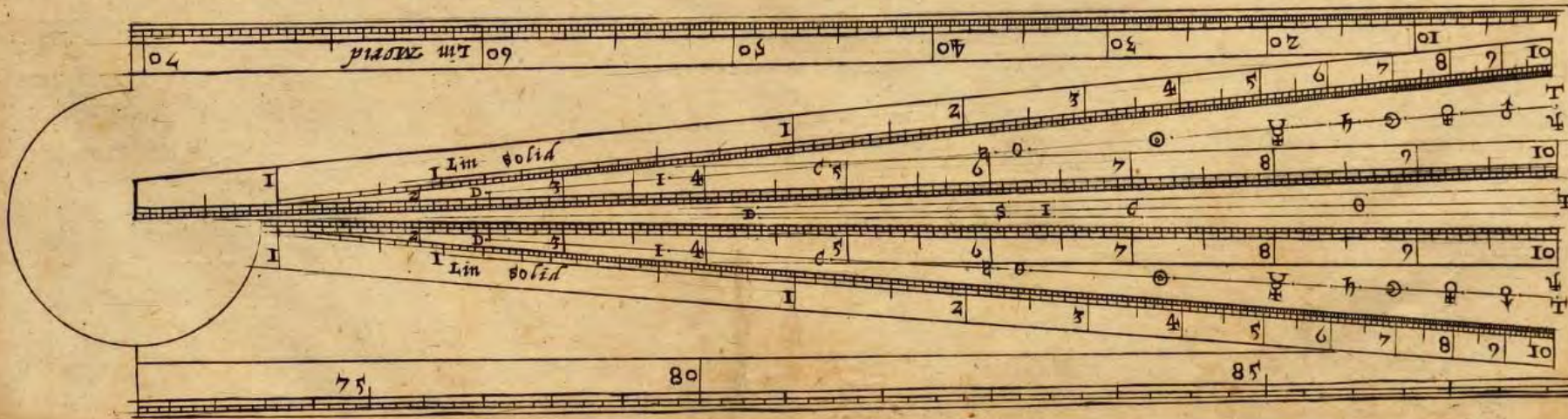


El interés de Gunter por los instrumentos matemáticos se remonta a sus primeros años de estudiante, aunque no llegaron a construirse hasta que decidió usarlos como soporte para sus clases prácticas; contando para ello con la imprescindible ayuda del fabricante Elias Allen (1592-1653). El primero que usó parece haber sido proyectado para ampliar y mejorar las prestaciones de la regla anterior, resultando así el Sector (también llamado compás de proporción), compuesto por dos reglas articuladas en las que figuraba una escala logarítmica que facilitaba la resolución de problemas numéricos. El largo de las reglas era de 2 pies y el ancho de 1.5 pulgadas, figurando en una de sus caras las líneas naturales (senos, tangentes, rumbos...) y en el otro sus homólogos artificiales o logarítmicas; su aplicación para resolver problemas trigonométricos propios de la astronomía y de la navegación fue inmediata.

EL SECTOR DE GUNTER



*These and all other Mathematicall Instruments  
are made in Brass by Elias Allen dwelling  
with out Tempel barr a gainst St Clements Church*

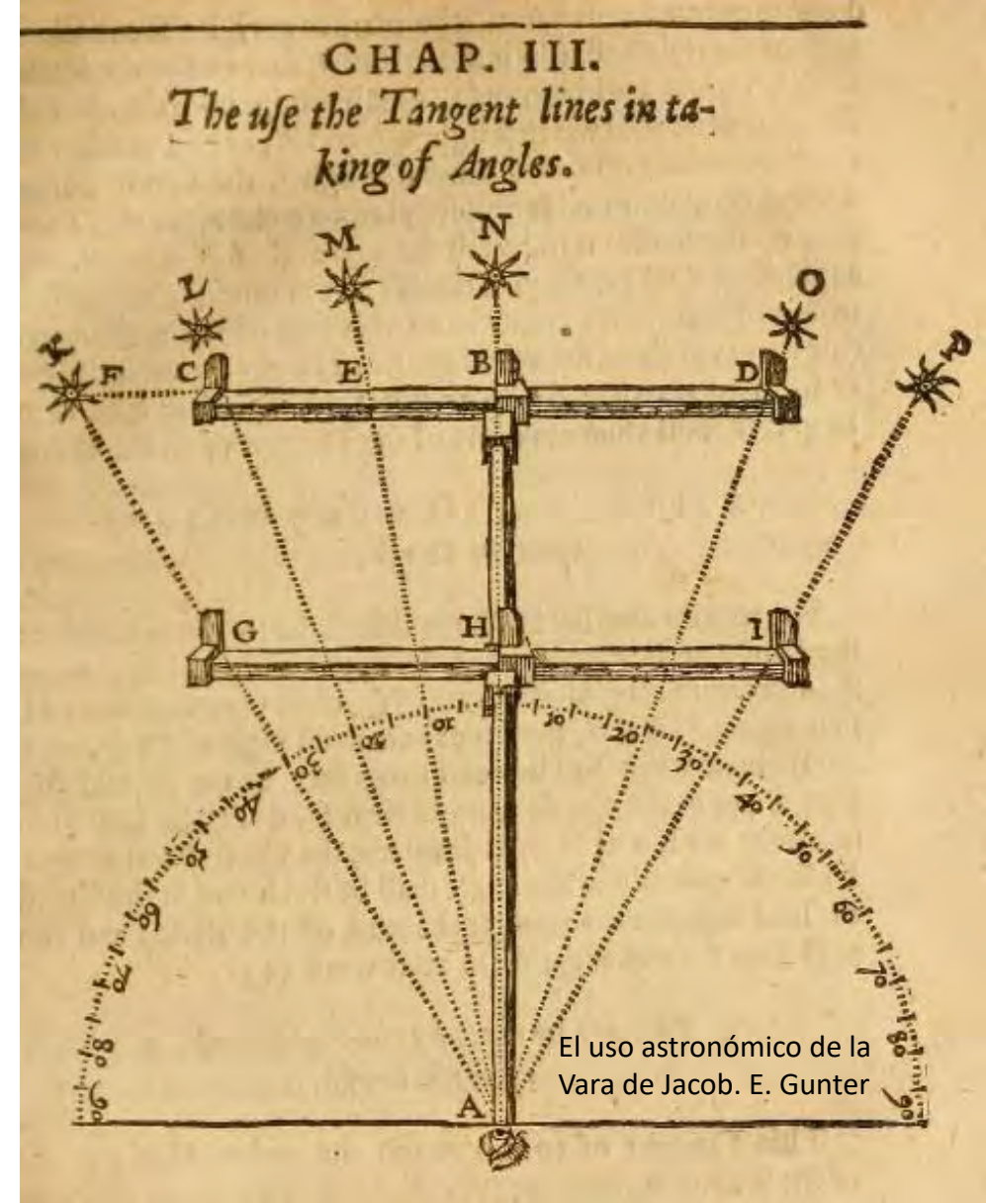


Frontispicio de la obra:  
*Description and Use of the Sector,  
the Crosse-staffe and other  
Instruments* (Edición de 1636)

Gunter describió el Sector en su obra más conocida: *Description and Use of the Sector, the Crosse-Staffe and other Instruments* (París. 1623), una publicación tan popular que todavía se reeditaba cincuenta años después.

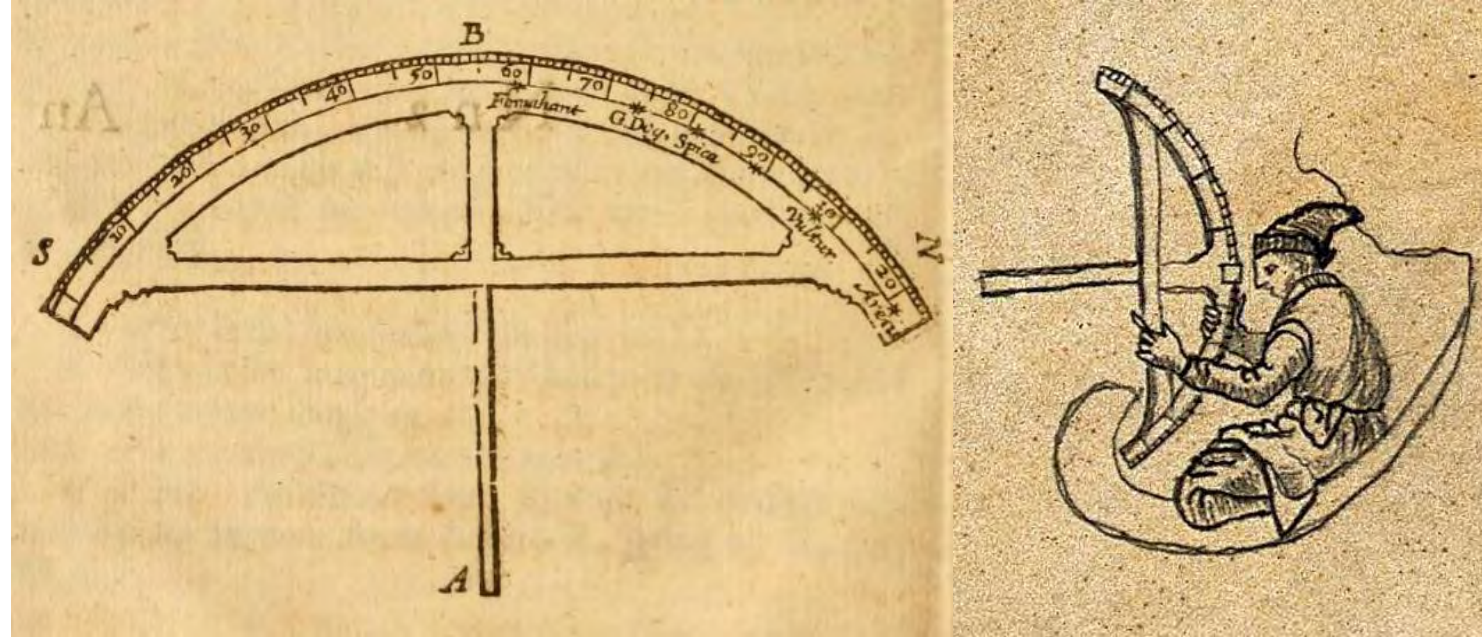


El segundo instrumento descrito por Gunter fue la Ballestilla o Vara de Jacob, al que le dedicó tres capítulos. En primer lugar, comentó que se trataba de un aparato sobradamente conocido por los marinos y que venía siendo usado desde antiguo por los astrónomos, para medir la altura de las estrellas sobre el horizonte o las distancias interestelares sobre la esfera celeste; también citaba la posibilidad de usarlo para el cálculo de distancias tanto en tierra firme como en el mar. Asimismo, recordó la descripción del instrumento realizada en su momento por Gemma Frisius. Básicamente se trataba de un instrumento en forma de cruz, con



un brazo fijo graduado y otro móvil que se desplazaba sobre el primero. El brazo menor llevaba incorporados tres aditamentos perforados que servían para establecer las punterías a los puntos que debían ser observados. El fundamento matemático del instrumento era la simple aplicación de la semejanza de triángulos. Gunter añadió un

apéndice para referirse a un nuevo instrumento, al que llamó *Cross-bow*, una especie de ballestilla modificada en la que el brazo transversal se transformaba en la cuerda de un arco de  $120^\circ$  convenientemente graduado. Su prestación principal era el cálculo de la latitud en el mar, apoyándose en las alturas meridianas del Sol y en su declinación; aunque también mencionase su empleo en distintos supuestos, como por ejemplo el cálculo del día del mes.



El Cuadrante, un sector circular con una amplitud de  $90^\circ$ , fue otro de los instrumentos descrito por Gunter en un apéndice exprofeso, «referido a la descripción y uso de un pequeño cuadrante portátil, con el que hallar la hora y el acimut», no obstante, detalló igualmente la manera de calcular la altura del Sol, la Luna y las estrellas, así como la de edificios alejados del observador. El instrumento era en realidad una versión elegante y simplificada del astrolabio clásico. Al igual que sucedía con él, los datos grabados en el cuadrante dependían de la latitud del lugar, de ahí que su empleo en el mar fuese limitado. El índice para efectuar las lecturas sobre el limbo, era materializado por la línea de la plomada; las visuales quedaban definidas por el ojo del observador, la mirilla del borde y el punto en cuestión. En el plano del cuadrante se grababan escalas indicativas de la posición del Sol a lo largo del año, la proyección del ecuador celeste, los signos del zodiaco y las posiciones de ciertas estrellas circumpolares; asimismo incorporaba un cuadrado de sombra para la resolución de triángulos planos.



El Cuadrante de Edmund Gunter

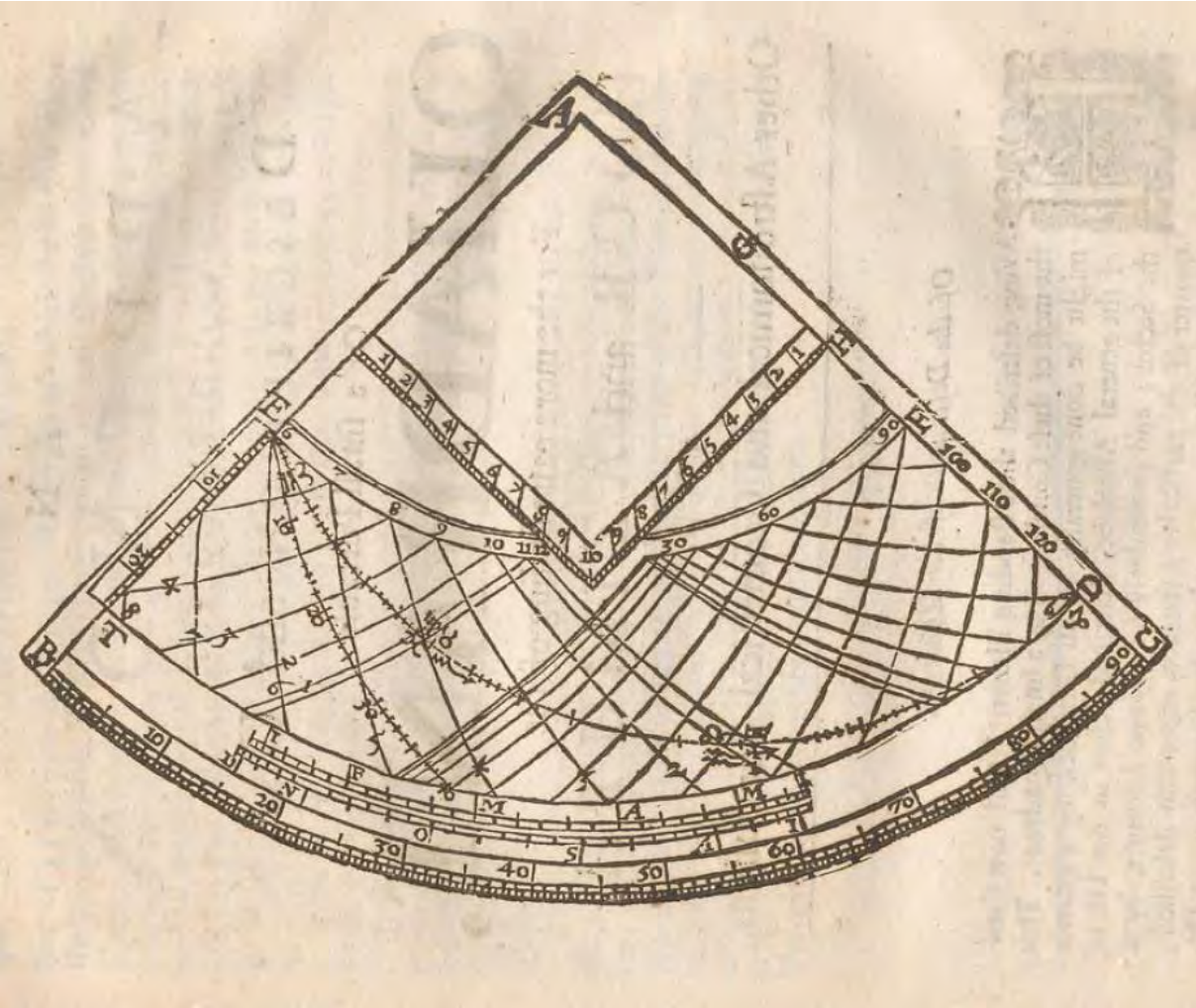
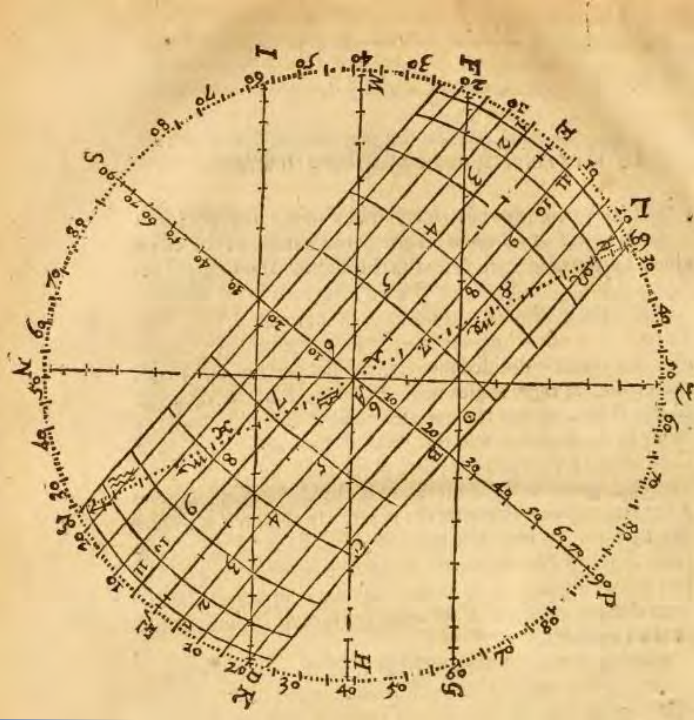


Ilustración de *Description and Use of the Sector, the Crosse-staffe and other Instruments*

Otro de los instrumentos concebidos por E. Gunter en 1620 fue la llamada cadena, con una longitud igual a la décima parte del furlong (el largo de un surco), una medida inglesa equivalente a 660 pies, y a la octava parte de una milla; es decir la cadena tenía 66 pies, 20.117 metros aproximadamente. La introducción de ese instrumento, utilizado también como unidad, supuso una evidente simplificación en la práctica de la agrimensura, de ahí que fuese también conocida como cadena de agrimensor; téngase en cuenta que a partir de entonces el acre ( $\approx 4047 \text{ m}^2$ ) coincidía con una superficie de 10 cadenas cuadradas, idéntica al área encerrada por cuadrado cuyo lado fuese de 3.1623 cadenas ( $\approx 63.6155 \text{ m}$ ). Para que la medición resultase más fácil se decidió que la cadena estuviese formada por la unión de 100 eslabones, llevando una identificación los que eran múltiplos de diez; para extender mejor la cadena se colocaron en sus extremos dos asas giratorias. El instrumento fue con diferencia el más empleado de todos los ideados por Gunter, estando en vigor hasta que fue superado por la irrupción de las cintas metálicas. Parece obligado añadir que durante la época en que los medios de cálculo eran muy rudimentarios, solían evaluarse las superficies de figuras irregulares en función su perímetro: dividiéndolo por cuatro y multiplicando el cociente resultante por si mismo (se asimilaba la figura a un cuadrado). Se da la circunstancia de que la cadena no está descrita como tal en la obra de Gunter, aunque si se le menciona en el segundo capítulo dedicado a la Vara de Jacob (apartado segundo), bajo el epígrafe *The use of the line of Numbers in the measure of land by perch and acres*.



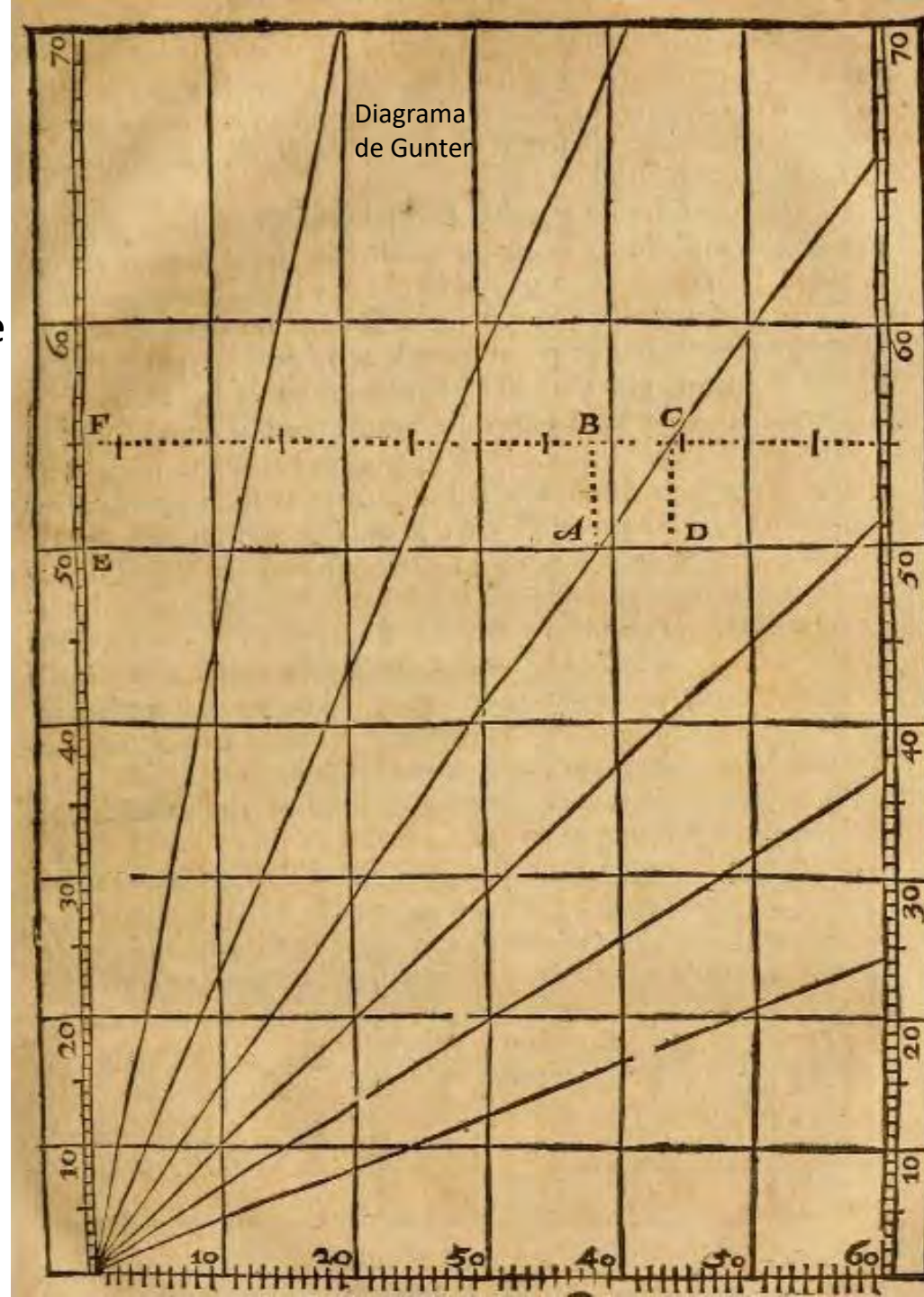


La probada capacidad mostrada por E. Gunter para el diseño instrumental fue reflejo directo de sus conocimientos matemáticos y astronómicos, bien documentados en el temario de su obra ya citada (*Description and Use of the Sector, the Crosse-Staffe and other Instruments*) estructurado del modo siguiente: tres libros dedicados al Sector, otros tres a la Vara de Jacob (Crosse Staffe), un Apéndice con la descripción y empleo del Cuadrante, para concluir con el uso general del canon y la tabla de logaritmos. En el primer libro del Sector se plantean y resuelven diversos ejercicios de aritmética y geometría. Los dos primeros apartados del libro segundo explican las razones trigonométricas y los elementos geométricos de la circunferencia y de la elipse. El apartado tercero: *Of the projection of the sphere in plano*, es relevante, pues se acompaña con un dibujo que muestra la proyección de la esfera celeste sobre el plano del meridiano y aclara como varía la duración de los días y las noches a lo largo del año. También se reprodujo la proyección de la esfera sobre el plano (recordando que así lo hizo Gemma Frisus en sus astrolabios), refiriendo también la posibilidad de averiguar las horas durante la noche, mediante el nocturlabio, ilustrando su explicación con una sencilla carta del cielo, centrada en el polo, en la que se dibujaron varias constelaciones: entre ellas las de las dos osas. Los apartados cuarto y quinto se centraron respectivamente en la resolución de los triángulos planos y esféricos, tanto los genéricos como los rectángulos; en su afán didáctico, añadió Gunter el caso concreto del triángulo astronómico (o de posición) correspondiente a un observador situado en Londres.



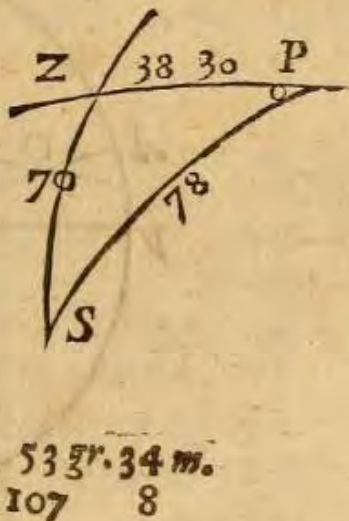
Especialmente interesante fue el apartado sexto de este segundo libro del Sector, puesto que se trata de una verdadera lección de cartografía matemática, en la que se trata del uso de las representaciones planas del globo terráqueo, en la que jugaba un papel básico la llamada latitud creciente. Gunter ya estaba al tanto del novedoso mapamundi que había dibujado Mercator para uso de los navegantes, publicado en 1569; de hecho, así lo reconoce en el propio título del apartado: *Of the use of the Meridian Line. To divide a Sea-chart after Mercator projection with a table to that propose.* Las tablas se acompañaron además con un diagrama en todo similar al que había empleado Mercator en su momento. A todo lo largo del apartado se resuelven la mayoría de las posibles cuestiones propias de la navegación, relacionadas por tanto con las leguas recorridas, con el rumbo de la travesía, o con las coordenadas geográficas de los puntos involucrados.

Los conocimientos astronómicos de Gunter también se evidenciaron en el apartado quinto del segundo libro dedicado a la vara de Jacob: *Containing such astronomical propositions as are of ordinary use in the practise of Navigation.* Aunque el primer ejercicio planteara hallar la altura del Sol en función de la sombra arrojada por un gnomon, después se abordaron supuestos más



The second example.

|     |    |       |    |
|-----|----|-------|----|
| 70  | 0  | 9990  | 40 |
| 78  | 0  | 9794  | 15 |
| 38  | 30 | 19784 | 55 |
| 186 | 30 | 9999  | 30 |
| 93  | 15 | 9596  | 32 |
| 23  | 15 | 20000 | 00 |
|     |    | 39595 | 62 |
|     |    | 19811 | 07 |
| 36  | 26 | 9905  | 53 |
| 72  | 52 |       |    |



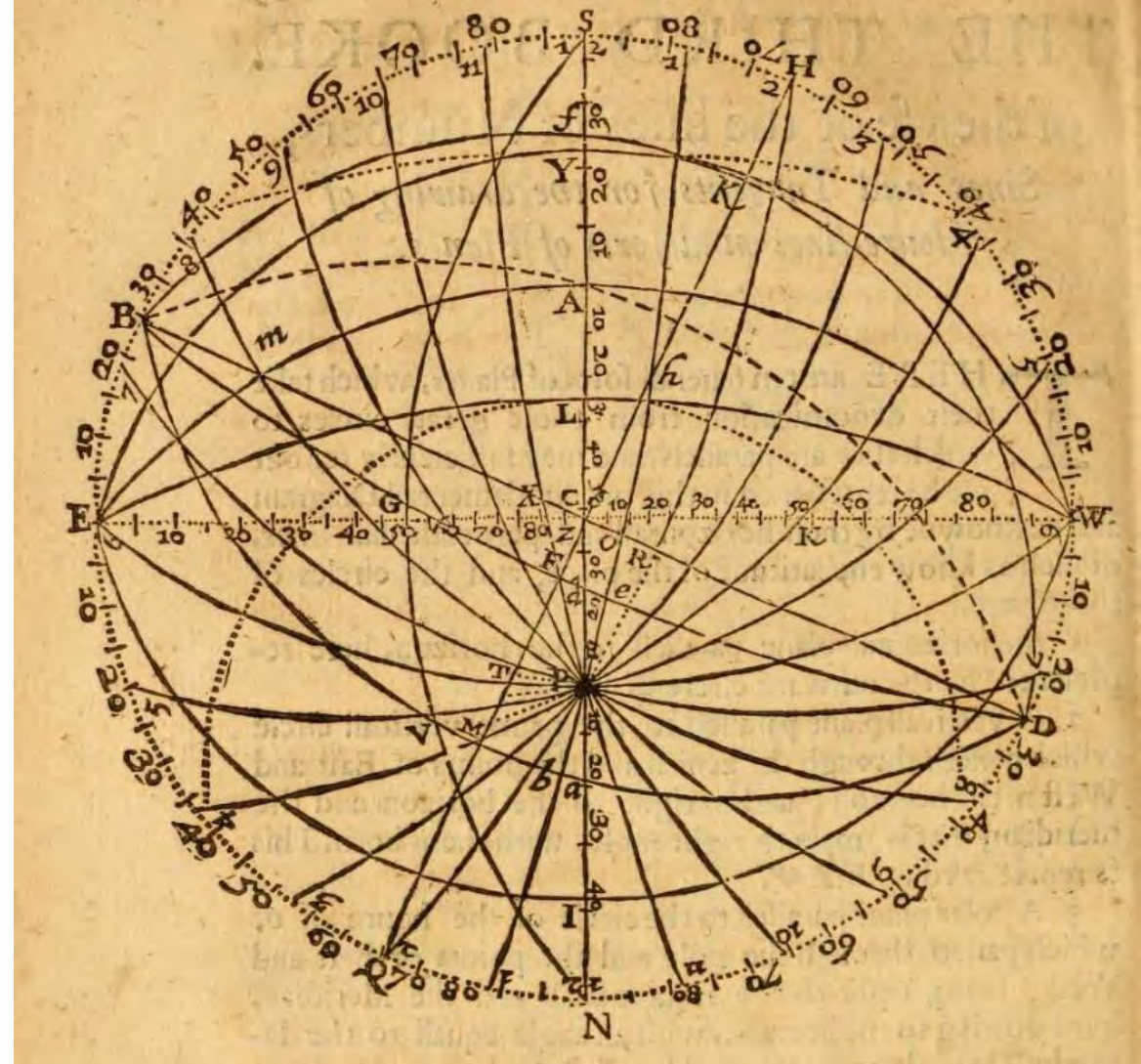
complejos en los que se empleó repetidamente el triángulo de posición formado por el Polo, el Cenit y la proyección del Sol sobre la esfera celeste. Entre ellos figuraba por ejemplo la determinación de las horas de salida y puesta del Sol en un lugar de latitud conocida (para un cierto día del año), el cálculo del acimut del Sol a una hora dada, o bien la obtención de la hora en función de la altura solar. Digno de mención es el último ejercicio resuelto en este apartado, pues calculó la declinación magnética (*Variat*) como diferencia entre el rumbo indicado por la brújula (AZM) y el acimut de Sol (AZN), aportando un cuadro con los resultados obtenidos.

| Alt. $\odot$ | AZM     | AZN     | Variat |
|--------------|---------|---------|--------|
| Gr. M.       | Gr. M.  | Gr. M.  | Gr. M. |
| 19           | 082 2   | 75 52 6 | 10     |
| 18           | 580 50  | 74 44 6 | 6      |
| 17           | 3480 0  | 74 6 5  | 54     |
| 17           | 079 15  | 73 20 5 | 55     |
| 16           | 1878 12 | 72 32 5 | 40     |
| 16           | 077 50  | 72 10 5 | 40     |
| 10           | 1071 2  | 64 49 6 | 13     |
| 9            | 5270 12 | 64 25 5 | 47     |

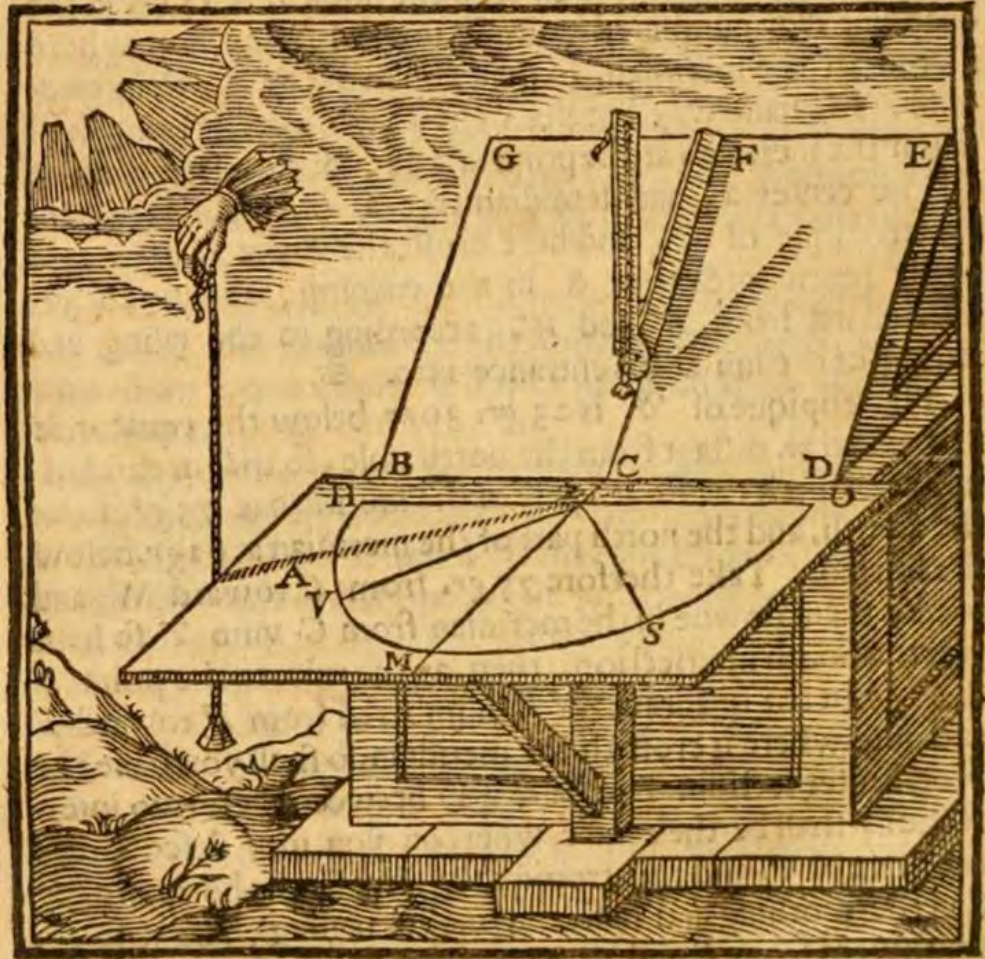
El tercer libro sobre la Vara de Jacob es en realidad un pequeño tratado de gnomónica, que revela el interés que tuvo E. Gunter por los relojes de Sol. Antes de diseñarlos, dibujó una proyección ortográfica de la esfera celeste sobre el plano del horizonte, el cual es perpendicular a la vertical física del observador; una vertical que corta a la esfera celeste en dos puntos diametralmente opuestos: el Cenit (Z) y el Nadir, todos los planos que contienen a esa línea son los llamados verticales. El eje de rotación de la Tierra, o eje del mundo, corta a la esfera celeste en otros dos puntos diametralmente opuestos: el Polo Norte celeste (P) y el Polo Sur celeste; todos los planos que lo contienen cortan a la esfera celeste según los meridianos celestes o círculos horarios; el plano perpendicular al eje del mundo y que pasa por el centro de la esfera es el denominado ecuador

celeste. Del haz de planos que pasan por el eje del mundo, hay uno singular, que contiene al Cenit, llamado el meridiano del lugar, aunque también puede definirse como el vertical del Polo; dicho meridiano corta al plano del horizonte según la meridiana o línea Norte (N) Sur (S), sus dos puntos de intersección con el círculo del horizonte. La segunda dirección cardinal, perpendicular a la meridiana, corta al círculo del horizonte en el Este (E) y en el Oeste (W), intersección del plano del horizonte y del ecuador.

A continuación, describió los diez planos fundamentales en los que apoyaría el resto de su discurso, identificados en la representación esférica por las letras siguientes: 1 (ESWN), 2(EZW), 3(EPW, 4(EAW), 5(EIW, Eγ W, o ELW), 6(SZN), 7(SGN), 8( BZD), 9 (HPL) y 10(BMD, BFD, o BKD). Gunter aclaraba que todos esos planos, salvo el del horizonte, tenían dos caras, de manera que las líneas horarias podrían dibujarse sobre un total



de 19: «The meridian plane hath one fase to the East, and another to the West; the other verticall planes have one to the South, and another to the North, and the rest one to the Zenith, and another to the Nadir». Parte esencial de la operación era averiguar si el plano sobre el que se iba a construir el reloj era horizontal, vertical o con una cierta inclinación sobre el horizonte; propiedades que se solucionarían usando el cuadrante, o el sector junto a una plomada. Otro dato relevante era la declinación del plano, o su desviación con relación al primer vertical, para cuya

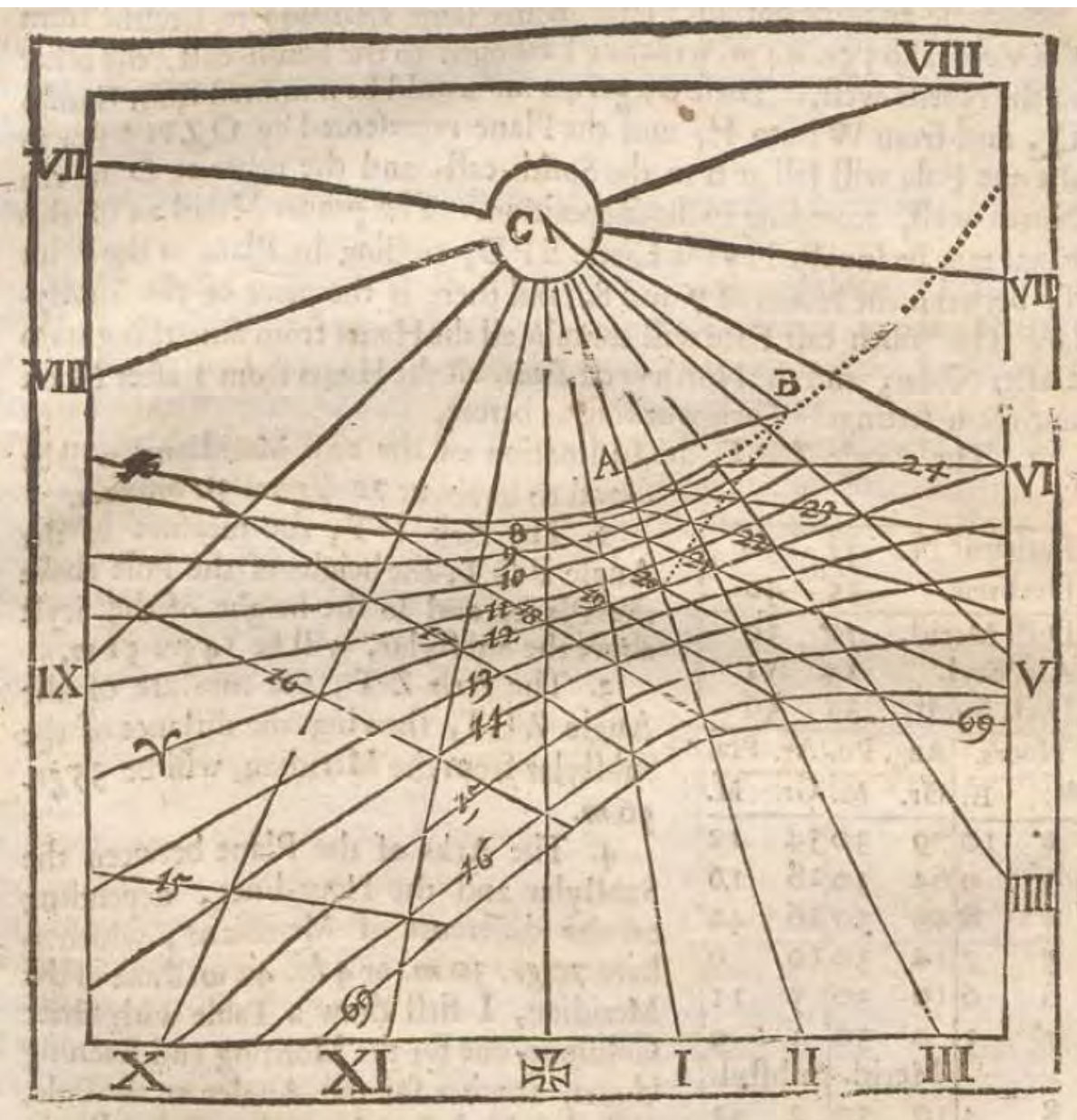


determinación podía ser útil tanto el cuadrante como la brújula. Una vez conocidas esas características del plano se procedería a la colocación del gnomon: «The style be as the axis of the world, sometimes parallel to the plane, sometimes perpendicular, sometimes cut the plane with oblique angles».

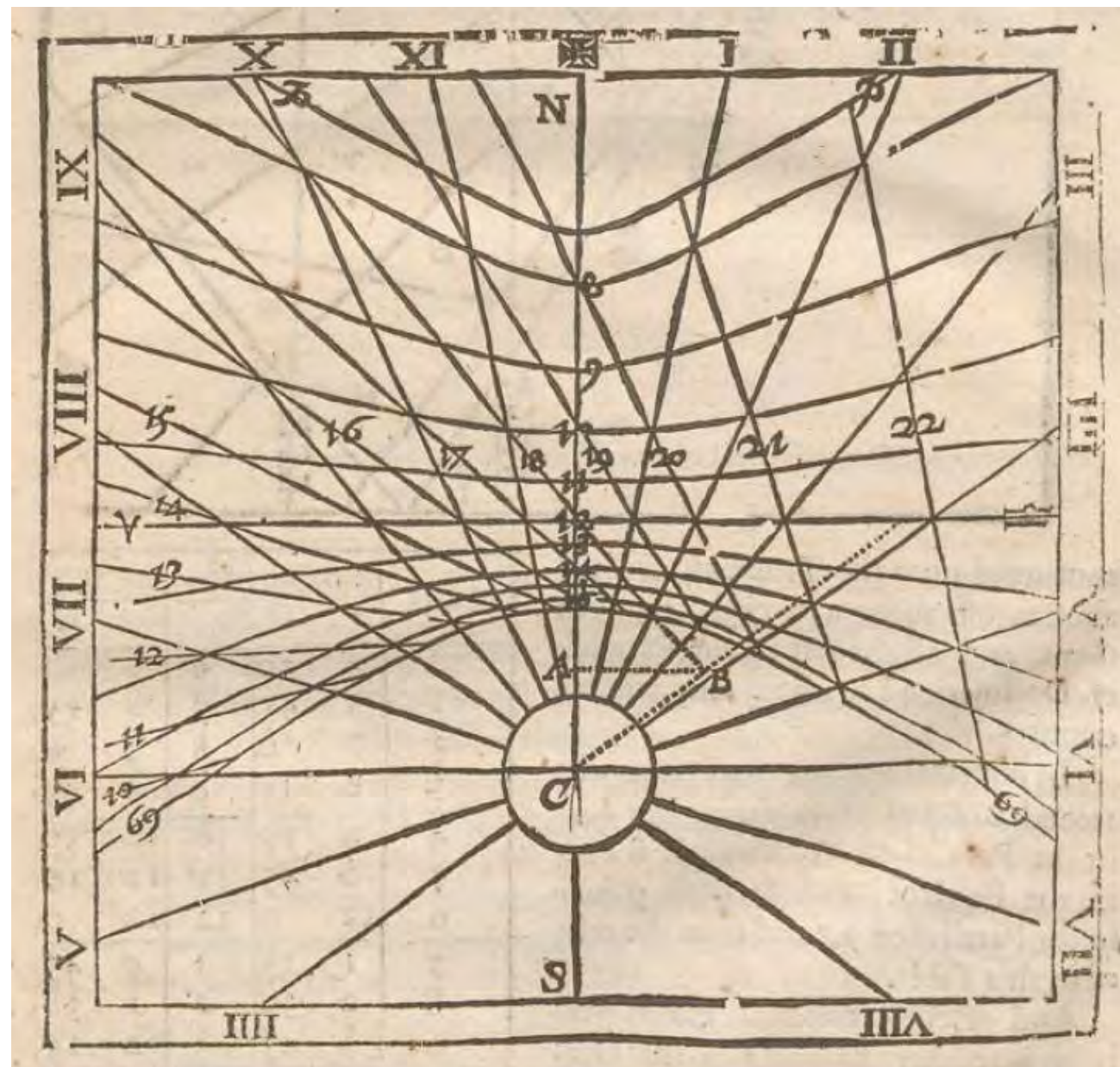
Tras los comentarios anteriores, procedió a la construcción y explicación de veinte relojes, cada uno de los cuales localizado en los planos que se citan a continuación: I) Plano equinoccial, II) Plano polar, III) Plano del meridiano, IV) Plano horizontal, V) Plano vertical, VI) Plano vertical inclinado, VIII) Plano del meridiano inclinado, IX) Plano polar declinante, X) Plano declinante inclinado, XI) Dibujo de los Trópicos y otros círculos de declinación en un plano equinoccial, XII) Idem en un plano polar, XIII) Idem en un plano que no es equinoccial ni polar, XIV) Descripción de los paralelos de los signos en cualquiera

de los planos anteriores, XV) Descripción de los paralelos con la longitud del día en cualquiera de los planos anteriores, XVI) Dibujo de las horas desiguales (planetarias) en cualquiera de los planos anteriores, XVII) Dibujo de las horas de los ortos y ocasos del Sol en los planos anteriores, XVIII) Dibujo de las líneas horizontales en los planos anteriores, XIX) Descripción de los círculos verticales en los planos anteriores, XX) Descripción de los paralelos al horizonte en los planos anteriores. En todos los supuestos se usaron, como complemento, cuidadosos dibujos de los relojes, análogos a los que se han seleccionado a continuación

Líneas horarias en un plano vertical declinante



Horas de la salida y puesta de Sol





Poco antes de concluir su obra sobre la descripción de varios instrumentos, instaló Gunter un reloj de Sol múltiple en el jardín privado del palacio londinense de Whitehall, siguiendo las indicaciones del Rey Jacobo I (1566-1625); en cuya construcción colaboró también E. Allen. El soporte de los relojes fue un prisma cuadrangular de piedra de unas 5 toneladas: con una altura de poco más de 3 pies, siendo próximo a 4.5 pies el lado de su base. El pilar estaba coronado por cinco relojes, uno en cada esquina y otro cóncavo horizontal en el centro, que era el principal de todos ellos. En la parte superior se grabaron cuatro círculos, el más externo correspondía a los meses, figurando varios días, singularizando los domingos (con letras) y el santoral: en rojo los días de Pascua, en azul los de la liga (San Jorge) y en negro los santos comunes. El segundo círculo era el de los doce signos del zodiaco. El tercero representaba a la rosa de los 32 vientos, con la que se podía saber la dirección en la que se encontraba el Sol. El de menor radio describía los días de cada mes y coincidía con el borde del hueco. La superficie cóncava pretendía ser una representación de la bóveda celeste, encontrándose dividida en dos zonas, una blanca y otra azul; sobre la primera se reflejaba el movimiento del Sol a través de las sombras del gnomon, simbolizando la segunda a la parte del cielo por la que no pasa el Sol. Las cuatro caras del prisma también llevaron incorporados relojes, mirando cada uno al punto cardinal correspondiente. Al parecer fue el propio Rey quien le aconsejó que publicase un folleto explicando su empleo: *The Description and Use of his Majesties Dials in Whitehall Garden* (1624). Al parecer fue destruido por un cortesano borracho durante el reinado de Carlos II (1630-1685).



Primera mitad del siglo XVII

Palattum Regis propè Londinum, vulgo White hall,

