

# LOS ELEMENTOS DE UN DEBATE CIENTIFICO DURANTE LA PRIMERA MITAD DEL SIGLO XVIII: LA CUESTION DE LA FIGURA DE LA TIERRA

Antonio Lafuente

En el presente trabajo nos proponemos estudiar los factores e ingredientes que configuraron uno de los debates más amplios y apasionados que arrastraron a la comunidad científica europea durante la primera mitad del siglo XVIII. Como consecuencia de él se realizaron dos expediciones científicas a Laponia y Perú, que aspiraban a resolver la polémica en torno a la figura de la Tierra, aportando datos suficientemente concluyentes. No es nuestro propósito ocuparnos de ellas, sino analizar las causas que determinaron su generalización a escala europea y la amplitud de los temas puestos en cuestión. Para ello incorporaremos elementos de análisis tales como la confrontación entre las ciencias newtoniana y cartesiana, la adopción por parte de los colectivos científicos europeos de los prejuicios nacionalistas o la polémica en torno al valor y alcance de las observaciones en su relación con las predicciones teóricas.

## Los antecedentes del problema

Para no extendernos excesivamente eludiremos cualquier referencia a las tentativas para determinar la magnitud del planeta anterior al mundo moderno. En el siglo XVII, el médico francés Fernel pasa a la historia de la física por la precisión con que midió la longitud de un grado. El procedimiento descrito en su *Cosmotheoria* (1528) era muy simple. Supuso que París y Amiens estaban sobre el mismo meridiano y partió de aquella ciudad por la carretera que las unía, avanzando hasta que la distancia del Sol al cenit se había modificado en un grado. Después contó el número de vueltas que había dado la rueda de su carruaje y encontró que la distancia recorrida era de 57.020 toesas, aproximadamente 111.230 metros. (1) Es indudable que la exactitud del resultado debe ser atribuida al azar, que quiso que se compensaran errores de distinto signo. Sin embargo, conviene resaltar el hecho de que usara una unidad de medida de longitudes bastante más precisa que la empleada en ocasiones anteriores. No obstante será el holandés Snellius quien, un siglo más tarde, introducirá importantes novedades metodológicas, que si bien conducirán a resultados que la mala fortuna hizo menos brillantes y precisos, supondrán la primera aplicación sistemática para usos geográficos de la triangulación geodésica. El método diseñado por Gemma Frisius en 1537 sólo 'había sido empleado para la medida de pequeñas distancias y para el levantamiento de planos útiles a la arquitectura. En el *Eratostenes Batavus...* (1617) explica Snellius las operaciones que llevó a cabo entre las ciudades de Alcaer y Gerg-op-Zoom para concluir un grado de 55.020 toesas(2). Es importante notar el énfasis con el que describe las precauciones adoptadas sobre la cuestión de la unidad de medida. Es sabido que todo el éxito de este método reposa sobre la precisión con que se conozca la longitud de la base fundamental, y tal objetivo no puede alcanzarse sin definir previamente un patrón de medida bien reglado. El error que cometió debe ser atribuido al hecho de haber elegido una base excesivamente pequeña de 168 tosas. Ya que la triangulación en esas circuns tancias se inicia con puntos que difícilmente pueden ser vistos con ángulos mayores de  $15^\circ$ , y ello, dada la imprecisión de los instrumentos de la época, provoca errores relativos de importancia. Así, aunque cualitativamente el método era más ajustado, su puesta en práctica requería también mayores precauciones resultando, en suma, errores cuantitativa mente más groseros. Musschembroeck, un siglo más tarde, analizaría la memoria de su compatriota y corregiría las observaciones, elevando el resultado hasta 57.033 toesas.(3)

Norwood, en el conocido *Seaman's Practíce* (1637), usando un procedimiento intermedio entre los propuestos por Fernel y Snellius, midió, entre 1633 y 1636, un grado entre las ciudades de Londres y York. El resultado fue de 57.424 toesas. Su aportación metodológica consistiría en evaluar las

correcciones necesarias para superar los errores procedentes de las irregularidades orográficas del terreno. Si hoy conocemos el valor de este grado es debido, fundamentalmente, al hecho de que fuese empleado por Newton para comprobar la ley de variación de la gravedad con la latitud. (4)

Desde el punto de vista estrictamente geodésico puede decirse que, durante el primer tercio del siglo XVII, los fundamentos básicos de la geografía que hemos denominado científica quedaban establecidos. Naturalmente ello debe ser entendido desde una perspectiva teórica, pues los problemas resultantes de la práctica eran, en su mayor parte, ignorados. Tampoco puede decirse que, por el momento, existiese una demanda social de mayor precisión para estas investigaciones. Digamos que los datos de Fernel o Snellius actualizaban y revisaban las obras del Ptolomeo, y cubrían adecuadamente las necesidades planteadas por la cartografía de la época. El P. Riccioli, consciente de que la mayor incertidumbre de las investigaciones geográficas provenía de las observaciones angulares, intentará sistematizar todos los métodos existentes para la determinación de la latitud. Hasta cuatro diferentes propondrá en su *Geographie et hydrographie reformatae* (1661) para medir la amplitud angular que separa puntos situados sobre un mismo círculo máximo. De ellos, finalmente, se decidirá por utilizar uno que no exija observaciones celeste, en su opinión, fuente de las mayores divergencias entre los diversos autores. Básicamente consistía en extrapolar los usos de la nivelación geodésica para medir los ángulos formados por la visual y las verticales en los dos extremos de la triangulación. Pero como la distancia recorrida era lo suficientemente amplia para impedir la visibilidad, hubo que subir a una montaña próxima a Bolonia para poder observar el ángulo de depresión con el que era vista la torre de Módena. Repetida la operación desde esta última ciudad, la diferencia entre los dos ángulos medios era igual que el arco terrestre que separa ambos lugares. El resultado encontrado fue de 64.363 pasos de Bolonia que Picard evaluaría en 62.900 toesas y G. D. Cassini en 62.650. Notemos en este caso concreto las dificultades derivadas de la imprecisión con la que se conocían los patrones de medida.

Este breve resumen de los primeros pasos dados por la geodesia alcanza su punto culminante en la obra del geógrafo y astrónomo francés Jean Picard. Fue encargado por Colbert, en 1669, de iniciar los trabajos de levantamiento de la carta de Francia según un proyecto del recién llegado a París G. D. Cassini, que pretendía poner a prueba los instrumentos astronómicos de gran radio. Las medidas de Picard supondrán una verdadera pusta a punto de todos los métodos útiles a la geografía. Al incorporar, además, los nuevos instrumentos de observación, el libro *La mesure de la terre* (1671) constituye un tratado ejemplar de astronomía práctica y un modelo que se imitará durante varias décadas. Bien es cierto que una feliz compensación de errores, como demostraría años más tarde La Caille, junto a las indudables precauciones adoptadas, proporcionarían un resultado cuya precisión habría de sorprender a todos los astrónomos durante el siglo XVIII. La distancia entre Malvoisine y Sourdom, extremos de su triangulación, fue medida previo establecimiento de una base suficientemente amplia (5.663 toesas), una unidad de longitud forjada en hierro bien ajustada, y mediante el establecimiento de puntos fijos que permitieran una posterior comprobación de los datos. Las observaciones de los ángulos se realizaron con un cuarto de círculo provisto de dos anteojos, uno fijo y otro móvil, y de micrómetro. Las astronómicas con un gran sector de 10 pies de radio. Más adelante comentaremos ampliamente las dificultades que la construcción y uso de estos grandes instrumentos planteó durante la mayor parte de la siguiente centuria. De momento retengamos este dato cuya importancia es crucial en la historia de la astronomía. Entre 1668 y 1670 Picard trianguló una distancia de 68430,5 toesas mediante 13 triángulos y sobre un arco de meridiano de 10 11 '57". El grado, por tanto, era de 57.057 toesas, que corregido por otras observaciones estableció, definitivamente, en 57.060 toesas. (5)

Dejemos, momentáneamente, la descripción de los avances en la geodesia y vengamos a la consideración de otro tipo de estudios. Simultáneamente a aquellas observaciones, un nuevo instrumento, cuyas posibilidades iban a ser destacadas por Huygens, se introduce con rapidez en los medios científicos europeos. Galileo había descubierto, en 1583, el isocronismo del péndulo para pequeñas oscilaciones. Aunque intuyó la posibilidad de construir relojes en base a esta propiedad, no sería hasta 1657 cuando Salomon Coster, por encargo de Huygens, fabricase uno cuya precisión

le validaba para usos científicos. En teoría podía emplearse para la determinación de la latitud y longitud geográficas y las experiencias, sobre el papel, no presentaban ninguna dificultad considerable. En esencia, se trataba de comparar el número de oscilaciones que un péndulo de longitud conocida se atrasaba o adelantaba respecto de otro previamente reglado en París o Londres. El resultado de los experimentos era expresado en términos de la longitud necesaria para que en un lugar determinado el péndulo batiese segundos. Sin embargo, la práctica demostró que todo no era tan sencillo. Tres eran fundamentalmente las causas de error que dificultaban las operaciones: a') Determinar con precisión una longitud cuando aún existían serias divergencias sobre los distintos sistemas de medida. b) Precisar el momento de paso por el meridiano del astro elegido para reglar el péndulo horario. c) Comparar dos péndulos, uno de ellos empleado como patrón, es una operación en la que siempre es difícil objetivar el resultado. La razón de ello es simple. En torno al instante en que uno de los péndulos «adelanta» al otro, las oscilaciones son prácticamente idénticas entre sí durante un cierto período de tiempo en el que parece que «caminan» solidarios. A estas dificultades debe añadirse los efectos producidos por la temperatura, proximidad de montañas, altura... El hecho es que de las numerosas experiencias realizadas a finales del siglo XVII, pocas merecieron el respeto de la comunidad científica..

LES ELEMENTS  
DE  
L'ASTRONOMIE  
VERIFIEZ  
PAR MONSIEUR CASSINI  
par le rapport de ses Tables aux Observations  
de M. Richer faites en l'Isle de Caienne.  
AVEC LES OBSERVATIONS  
DE MM. VARIN, DES HAYES, ET DE GLOS  
*faites en Afrique & en Amerique.*



A PARIS,  
DE L'IMPRIMERIE ROYALE.  
M. DC. LXXXIV.

En el artículo IV de *La mesure de la Terre*, Picard habla de una hipótesis «... que había sido ya propuesta en la asamblea (de la Academia de Ciencias de París), en la que supuesto el movimiento de la Tierra, los pesos deberían descender con menos fuerza en el ecuador que en los polos». (6) No

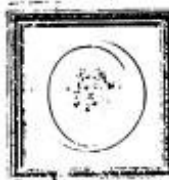
son precisos más datos para percibir la influencia de Huygens sobre este punto. Picard, no obstante, se muestra muy escéptico respecto a la posibilidad de poder probar la variación de la gravedad con la latitud. De todas las experiencias efectuadas con el péndulo, merecen un comentario especial las realizadas por J. Richer. Dentro de la historia de la astronomía, junto con el viaje de Halley, que pronto comentaremos, ocupa un lugar privilegiado la expedición organizada por la Academia de París a Cayenne, entre 1672 y 1673. En 1670 Richer había partido con dirección a la América septentrional, pero las experiencias entonces realizadas merecieron un juicio tan negativo de Huygens que ni siquiera llegó a publicarse la memoria de resultados. Más cuidadosamente preparada, a lo largo de 1671 se vuelve a diseñar una expedición a Cayenne, cuyo primer objetivo sería mejorar las tablas existentes sobre la paralaje solar y la refracción astronómica. (7) Siendo éste el principal fin, Richer habría de pasar a la historia por sus experiencias con el péndulo, que merecieron un elogio sin paliativos por parte de Newton. Del ambiente que le aguardaba en la Academia, que se abría de este modo al conocimiento de realidades más allá del pequeño círculo ilustrado parisiense, nos queda una magnífica descripción de su secretario perpetuo:

«Se esperaba -escribía Fontenelle en 1700- el regreso de M. Richer como se hubiese esperado el fallo de un juez, que debiera pronunciarse sobre las importantes dificultades que dividían a los astrónomos. Se puede decir que la Academia estaba en suspenso, cuando M. Richer llegó de Cayena. Como aportaba observaciones, muy exactas, realizadas sin tregua durante más de un año, de todo lo que había podido caer bajo los ojos de un astrónomo, era un barco cargado de todas las riquezas de América lo que llegaba a la Academia». (8)



DE L'ORIGINE ET DU PROGRÈS  
DE  
L'ASTRONOMIE.  
ET DE SON USAGE  
DANS LA GEOGRAPHIE  
ET  
DANS LA NAVIGATION.

Par M. CASSINI.



N ne peut pas douter que l'astronomie n'ait été inventée dès le commencement du monde. Comme il n'y a rien de plus surprenant que la régularité du mouvement de ces grands corps lumineux qui tournent incessamment autour de la terre, il est aisé de juger qu'une des premières curiosités des hommes a été de considérer leurs cours, & d'en observer les périodes. Mais ce ne fut pas seulement la curiosité qui porta les hommes à s'appliquer aux spéculations astronomiques: on peut dire que la nécessité même les y obligea. Car si l'on n'observe les saisons qui se distinguent par le mouvement du soleil, il est impossible de recueillir dans l'agriculture; si l'on ne

OBSERVATIONS  
ASTRONOMIQUES  
ET PHYSIQUES

FAITES  
EN L'ISLE DE GAIENNE  
*Par M. RICHER, de l'Academie Royale  
des Sciences.*



A PARIS  
DE L'IMPRIMERIE ROYALE .

M. DC. LXXIX



Vemos como, según Newton, en 90° de latitud podía haber una diferencia en la longitud del péndulo del orden de 2.2. líneas. Puesto que, además, el límite de precisión en las medidas de longitud se situaba en torno a las 0.25 líneas, es comprensible el escepticismo que demuestra respecto de los resultados disponibles. A pesar, no obstante, del desacuerdo entre las distintas experiencias, Newton concluirá que el achatamiento polar del planeta quedaba demostrado, aunque su magnitud no pudiera ser determinada con exactitud.

«Pero aunque -escribe Newton- no hay un acuerdo perfecto entre sus observaciones, los errores son tan pequeños que pueden ser despreciados; y en esto todos concuerdan, que el péndulo isocrono es más corto en el Ecuador que en el Observatorio Real de París, por una diferencia no menor que  $1\frac{1}{4}$  Y no mayor que  $2\frac{2}{3}$  líneas.» (10)

El elogio de Newton y la buena acogida dispensada por la Academia de Ciencias de París convertirán las experiencias de Richer, (11) tal y como sucediera con las observaciones de Picard, en un modelo que será reiteradamente repetido durante las tres primeras décadas del setecientos.

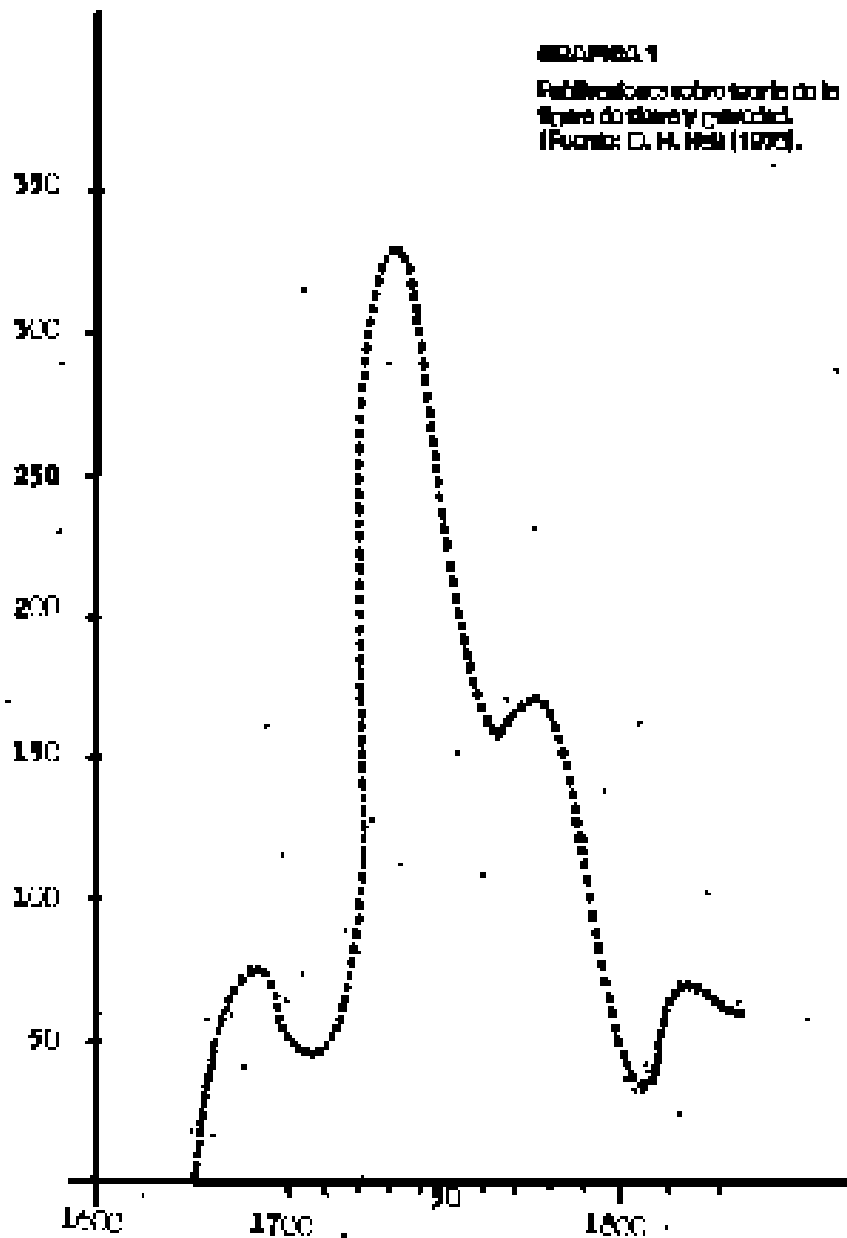
### **El tema de la figura de la Tierra en la literatura científica del período**

En otro lugar nos hemos ocupado del desarrollo del programa esbozado por Newton y comprobado que la iniciativa teórica correspondió al núcleo científico radicado en Londres, que incluso prestaría soporte institucional -a través de los *Philosophical Transactions*- a las primeras contribuciones marcadamente newtonianas procedentes de la ciencia francesa (12). Ahora, al estudiar las aportaciones desde el terreno de la astronomía y la geografía, veremos cómo dicha iniciativa irá paulatinamente desplazándose de Londres a París. Al hecho de que conforme avanza la centuria la Académie Royale des Sciences irá convirtiéndose en el centro de gravedad de la actividad científica europea, pueden añadirse algunas razones que expliquen tanto el desinterés de la Royal Society por este tema concreto, como el espectacular auge que adquiere en el seno de la institución francesa.

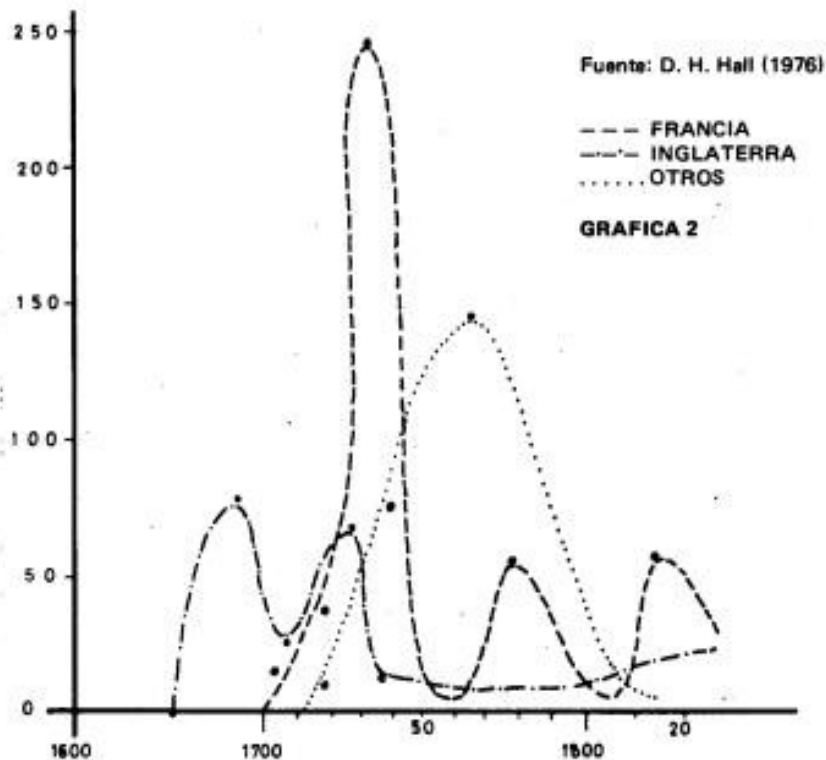
Vengamos brevemente a resumir las aportaciones teóricas de Newton y Huygens. En 1687 aparecen los *Principia*; las Proposiciones XVIII, XIX Y XX del libro 111 concluían desde primeros principios que la Tierra era un elipsoide de revolución achatado por los polos. Al año siguiente, Huygens, en su *Discours sur la cause de la pesanteur*, se ocupa del mismo tema y confirma desde una perspectiva diferente el achatamiento polar, si bien discrepando en la magnitud que debía tener. La distinta concepción de uno y otro de la gravedad inducía esta diferencia. Mientras en Newton es entendida como la interacción mutua y simultánea de partículas, para Huygens, que no acepta otra forma de interacción que no sea por contacto, es la tendencia que tienen los cuerpos a caer por la "presión» que sobre ellos ejerce el medio. Ambos trabajos transformaban el problema de la valoración de la magnitud o diámetro de la tierra en el de la determinación de su figura. Era entonces precisa una mayor finura teórica y experimental para diseñar una experiencia que pudiese discernir entre ambas teorías. Sin embargo, tal posibilidad quedaba aún alejada de las posibilidades de la ciencia del momento. Las conclusiones aportadas por Newton en los *Principia* hacían que la cuestión quedase relegada a un plano marginal de la ciencia, ya que afirmaba que los instrumentos y métodos de observación no podían aspirar a proporcionar datos lo suficientemente precisos como para contrastar sus predicciones sobre el aplanamiento polar con las sostenidas por Huygens. Por otra parte, la proximidad entre las figuras del geoide terrestre y la esfera, sin repercusiones prácticas sobre la geografía o navegación, no actuaría como un estímulo para que los Estados considerasen prioritario el desarrollo de esta línea de investigación. Así, pues, razones técnico-científicas y político-económicas coincidían para que el tema fuese inicialmente olvidado.

El análisis bibliométrico de la literatura científica del período nos muestra que, efectivamente, ésta hubiese sido su evolución normal. La Gráfica I recoge en ordenadas el número de páginas publicadas por año sobre la figura de la Tierra y gravedad. Vemos que después de las contribuciones de Newton y Huygens, a finales del siglo XVII -hemos contabilizado las sucesivas ediciones o traducciones-, se inicia un declive que es bruscamente interrumpido por la masiva aportación de observaciones geográficas y geodésicas que comienza en Francia a partir de la segunda década del setecientos.

La Gráfica II explica el cambio de iniciativa al que antes hemos aludido. (13) En ella puede apreciarse con claridad que, salvo las contribuciones de Newton y, posteriormente, de Desaguliers, Stirling o Maclaurin, la ciencia inglesa deja de prestar atención al tema. Además, estos trabajos serán de carácter teórico, con la excepción de alguna de las memorias publicadas por Desaguliers, que constituyen apasionadas defensas de las conclusiones sostenidas por Newton frente a los trabajos experimentales realizados en Francia por J. Cassini. Por el contrario, el pico que representa la Gráfica 1 es consecuencia directa, como se muestra en la Gráfica 11, de la creciente intensidad con la que la Academia de Ciencias de París concentra su interés sobre el problema de la figura de la Tierra.







A partir de la tercera década, la intensidad de la polémica y la importancia de los temas en cuestión, hacen que Francia exporte a otros países sus preocupaciones, coincidiendo dicha transferencia con el proceso de creación, renovación o afianzamiento de instituciones que, según el modelo francés, serán establecidas en Upsala, Berlín, S. Petersburgo, Turín o Viena. Otros países, tales como España o el conjunto de los estados italianos, también se verán claramente afectados, ya que las grandes expediciones geodésicas de la tercera y cuarta década del siglo XVIII no sólo volverán a situar en primer plano la astronomía, sino que exigirán la preparación y puesta a punto de personal e instituciones adecuadas en todos los países. Así ha sido interpretado el renacimiento de numerosas instituciones científicas italianas, tales como los observatorios de Milán, Roma, Turín o Bolonia. (14) En España la incorporación de nuestras actividades científicas al movimiento general europeo es consecuencia directa de la participación de Juan y Ulloa en la expedición "La Condamine" al virreinato del Perú.

¿Qué determinó esta exportación en las preocupaciones científicas francesas al resto del continente? Dentro del contexto europeo en el que Francia es una potencia económica y cultural, la razón hemos de buscarla en la decidida política de intervención y ordenación del espacio geográfico iniciada por Colbert. En efecto, la protección a las manufacturas, la lucha por la supresión de aduanas interiores, el establecimiento de una red de comunicaciones fluvial o por carretera, la exploración e inventariado de recursos naturales, impulsaban el desarrollo de las investigaciones geográficas. Una adecuada respuesta a todos estos objetivos económicos exigía el reconocimiento cartográfico del suelo francés. El levantamiento de la carta de Francia será por unas décadas el objetivo prioritario de la política científica del vecino país:

«Se conocen bastante bien -escribe J. Cassini en 1733- de las ventajas que se pueden obtener del conocimiento exacto de la extensión del reino, de sus límites y de la justa posición de los diversos lugares que contiene. Sin este conocimiento sería difícil poseer medidas buenas para tantos proyectos útiles al Estado y al comercio, tales como la construcción de nuevos caminos, puentes, canales nuevos y navegaciones fluviales que pueden facilitar el transporte de alimentos y mercancías de una provincia a otra, y procurar la abundancia en el reino.» (15)

Junto a los mencionados proyectos a medio y largo plazo, otros más perentorios acelerarán el desarrollo de esta línea de investigación por su extraordinaria repercusión sobre la logística y estrategia militares. La importancia de la información cartográfica tampoco escapará a la mirada de Cassini, quien en 1718 nos lo explica con toda claridad:

«... la situación de muchos lugares notables y de la mayor parte de las ciudades de Artois y de Francia es de una grandísima utilidad para dibujar y rectificar los mapas particulares de este país, que es ordinariamente el "theatre de la guerre" y que tanto importa conocer con exactitud»[\(16\)](#)

El texto, tal vez, no necesite ningún comentario que justifique las razones por las que fueron financiadas tan costosas y dilatadas investigaciones geográficas. La mayor parte de la literatura ilustrada está llena de consideraciones sobre la utilidad y los beneficios que reportaría al Estado el desarrollo de los más variados proyectos de investigación o institucionalización. Aunque ello forma parte tanto de la estrategia llevada a cabo por los hombres de ciencia para conseguir soporte financiero a sus investigaciones, como del espíritu e ideología general del período, no cabe ninguna duda de que en el caso concreto que analizamos su utilidad fue apreciada muy pronto. En 1748 Grandjean de Fouchy, secretario perpetuo de la Academia de Ciencias de París, comentando los últimos trabajos de Cassini de Thury, confiesa que:

«Desde 1746, el Rey había ordenado a M. de Thury seguir puntualmente el progreso de sus ejércitos y ligar a los triángulos de la meridiana las conquistas que meditaba; al mismo tiempo que la guerra debía hacer respetar las armas del Rey por sus enemigos, la Geografía debía aprovechar los éxitos para asegurar y ampliar los conocimientos útiles a todas las naciones.»[\(17\)](#)

El mismo Cassini III, una vez concluidos todos los trabajos geodésicos relativos a la cuestión de la figura de la Tierra J, confirmaba en 1760, en un discurso público pronunciado en la Academia, el alcance del compromiso aceptado por la comunidad científica francesa con los intereses y necesidades del Estado, pues

«... no hay actualmente ningún astrónomo de esta academia que no haya viajado para el progreso de la academia y de la geografía, pues han tomado parte en la medida de los grados en todas las partes del mundo»[\(18\)](#)

Antes hemos dicho que no hubiese pasado de ser una cuestión marginal en la ciencia de la primera mitad del siglo XVIII, de no mediar los resultados con los que Cassini quedaba abiertamente enfrentado a las conclusiones de Newton y Huygens. El esfuerzo que en el terreno de la geografía práctica estaba dispuesta a realizar la secretaría de Estado y Guerra, conducidas por Maurepas, se veía así amplificado por el hecho de verse involucradas dos concepciones del mundo contrapuestas, -patrimonio» de comunidades científicas tan identificadas con los ideales nacionales. Desde el punto de vista de las diferentes estrategias en política científica, puede apreciarse que Inglaterra, más volcada hacia la navegación atlántica, estimulaba investigaciones conducentes a la resolución del problema de la longitud y a la confección de catálogos de estrellas. El descubrimiento del reloj de Harrison no es sino una manifestación clara del mayor esfuerzo que en materia de técnicas y mecanismos de precisión se estaba desarrollando en Gran Bretaña. A mediados de la centuria el mercado europeo de instrumentos científicos, desde los tornillos micrométricos hasta los grandes anteojos meridianos, estaba casi completamente saturado por esta floreciente manufactura londinense. En el terreno de la astronomía, los programas de observación sistemática llevados a cabo por Flamsteed, Molyneux, Bradley o Halley condujeron a descubrimientos tan notables como los de la aberración o nutación. Todos ellos encuentran un merecido comentario en las historias de la astronomía, pero es preciso resaltar que fueron investigaciones excesivamente vinculadas al genio individual del astrónomo en cuestión. En cambio, el programa desarrollado en Francia exigía una aportación masiva de datos y la movilización de todos los recursos técnicos y personales disponibles para poder concluir una empresa colectiva tan ambiciosa como la de levantar la carta nacional. Esa ingente labor acometida iba a generar la -masa crítica- de investigaciones y resultados suficiente para que emergiera la geodesia como una nueva disciplina científica autónoma respecto de la geografía y la astronomía.

Fontenelle, en 1726, en su -Eloge de M. Delisle-, comentando el carácter eminentemente empírico de la geografía, decía:

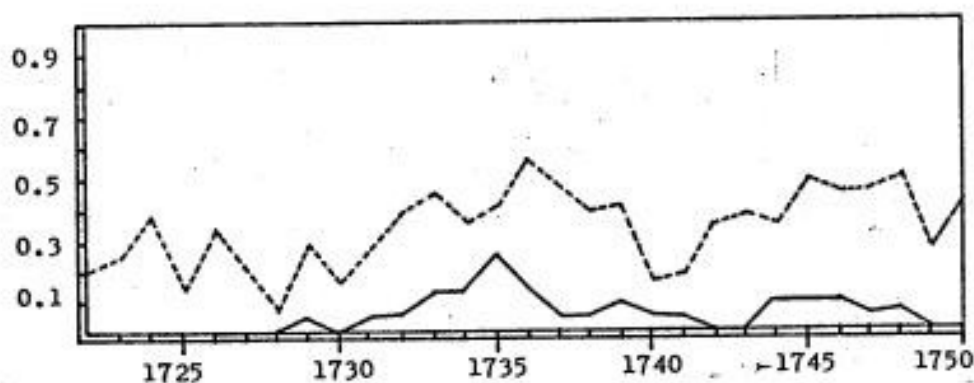
«Las necesidades ordinarias no exigen gran exactitud en los Mapas. Es cierto que para los destinados a la Navegación se necesita uno que no puede ser demasiado perfecto, pero sólo los Navegantes sienten esta necesidad, pues les va la vida en ello»[\(19\)](#)

El texto ilustra nuestras anteriores consideraciones sobre el sentido en el que evolucionó la astronomía en Inglaterra. También nos proporciona una magnífica valoración sobre el carácter aproximado y acumulativo que poseía la geografía. Esas necesidades ordinarias quedaban plenamente satisfechas con datos que permitiesen localizar a *grosso modo* un accidente geográfico o fijar el perfil de una costa o frontera. La cuestión de la figura de la Tierra exigía, en cambio, medidas de una precisión extraordinaria, proporcionando el estímulo suficiente para que astrónomos, geómetras y geógrafos se interrogasen sobre los métodos e instrumentos de observación. La geografía pasará de ser descriptiva a matemática y la astronomía aspirará a cotas de precisión hasta entonces nunca vistas. La geometría, por otra parte, invade el terreno de ambas y proporciona los «modelos» necesarios para la interpretación de los datos experimentales. Un testimonio de excepción podemos encontrar en el breve esbozo histórico que realizó La Caille de la astronomía de su tiempo:

«Aunque los Astrónomos hayan trabajado con asiduidad para formar Tablas de Observaciones, es necesario convenir, sin embargo, que desde alrededor del año 1672 hasta los años de 1725 la Astronomía-práctica no hizo ningún progreso sensible. No se hizo ningún esfuerzo feliz para introducir mayor precisión en las Observaciones.» (20)

No nos cabe ninguna duda de que el esfuerzo de que nos habla La Caille fue consecuencia directa de las investigaciones realizadas para determinar la magnitud del achatamiento polar de nuestro planeta. Si fue en Inglaterra donde se detectaron la aberración y nutación, será en Francia donde se produciría la primera teoría matemática que los explicaba y la sistemática corrección de las observaciones astronómicas de estos movimientos aparentes en la posición de los astros.

La Gráfica 3 presenta, porcentual mente, el esfuerzo realizado en la Academia de Ciencias de París en los temas que nos ocupan. La curva con trazo discontinuo muestra el peso (tanto por ciento) de memorias publicadas sobre astronomía, geografía y teoría de la figura de la Tierra. La de trazo continuo muestra aquellas que abordan estrictamente problemas geodésicos, es decir, medidas con el péndulo, determinación de grados o descripción de métodos de investigación precisos. La Gráfica demuestra cómo el interés de la Academia se hace creciente en torno a la tercera década del setecientos, estabilizándose el número de aportaciones que sigue a las fuertes oscilaciones que apreciamos en las décadas anteriores.



**GRAFICA 3**  
**Memorias publicadas por la Academia de Ciencias de París.**  
 - - - - - Geografía, astronomía y geodesia  
 ————— Sólo geodesia  
 Fuente: Elaboración propia.

A medida que crecía el número de memorias publicadas, la solución al problema de la figura de la

Tierra parecía alejarse paulatinamente del alcance de la ciencia del momento. El desacuerdo entre los datos procedentes de la experiencia y las previsiones teóricas permanecía irreductible. Se habían conseguido mayores y más generalizadas cotas de precisión, se podía concluir que la Tierra era un esferoide achatado por los polos, pero comparando las distintas medidas de grados era imposible -a menos que los datos fuesen seriamente distorsionados- decidir sobre la magnitud del aplanamiento. Ello producirá una cierta decepción entre los científicos, que explica el brusco descenso de publicaciones que se aprecia en las gráficas. El agotamiento del tema desde los supuestos con los que venía siendo abordado era evidente. Aun suponiendo masas de fluido no uniforme con una distribución radial de densidades, se consideraba que la Tierra debía tener una figura regular que fuese réplica exacta de algún ente matemático. Tal concepción, a finales de la década de los cuarenta, entra en crisis. Ya nadie se atreve a sostener lo que comienza a ser calificado de visión simplista de la naturaleza. Algunos se atreven a proponer modificaciones de la ley de gravitación universal introduciendo algún término corrector (Clairaut), otros construyen un modelo teórico y explican en qué medida cada observador había errado sus resultados (Euler), los más proponen nuevos métodos basados en la paralaje de la Luna y manifiestan su escepticismo respecto a la posibilidad de determinar la figura de la Tierra mediante medidas geodésicas (Manfredi, Maupertuis o Boskovic).

Todos, sin embargo, recomiendan el inicio de programas sistemáticos de investigación geofísica. Esta es la conclusión inequívoca a la que llega Boskovic después de haber efectuado las medidas geodésicas para determinar la longitud de un grado en los Estados Vaticanos entre las ciudades de Roma y Rimini:

«He aquí entonces lo que pienso -escribe el jesuita italiano-, en general, sobre todo esto. Estoy convencido, en primer lugar, de que el proyecto de determinar la magnitud y figura de la Tierra por la medida de grados, lejos de haber concluido apenas ha comenzado... Hasta ahora~, cuanto más se ha medido un grado más incierta se ha hecho la figura de la Tierra.» (21)

Si desde el punto de vista puramente experimental el tema se encontraba agotado dada la dispersión de los datos existentes, la reflexión del P. Boskovic alcanza también' a los supuestos teóricos:

«El prejuicio de regularidad y de simplicidad es una fuente de errores que con frecuencia ha infectado la filosofía.» (22)

Se abandonarán, pues, por el momento, las observaciones geodésicas para cuestionar directamente el problema de la estructura interna del planeta desde el supuesto de una distribución irregular y más o menos arbitraria de masas. En 1746. el secretario perpetuo de la Academia de París, comentando una memoria de Guettard. escribe lo siguiente:

«Hasta ahora -decía G. de Fouchy- la geografía no había tenido por objeto más que describir la superficie del globo terrestre y señalar las diferentes divisiones de la que es susceptible, bien con relación al cielo, bien con relación a los diferentes límites de los Imperios que sucesivamente se la han dividido. Este año reseñamos un trabajo geográfico de otra especie. No se trata ya de dividir las diferentes regiones de la tierra, según las fronteras de los Imperios o de sus provincias, sino según las distintas materias que encierra en su seno. La Memoria de M. Guettard que ha presentado sobre este tema es, propiamente dicho, el ensayo de una nueva ciencia mineralógica.» (23)

Así, de nuevo, iban a coincidir los intereses científicos y los económicos. Desde Francia, primera potencia económica mundial junto con Inglaterra, son más que comprensibles estos encubiertos desprecios para la ciencia de los perfiles y las fronteras que contienen tanto la expansión política como económica de los «Empires».

No concluiremos nuestro análisis de las gráficas sin antes explicitar otra línea de investigación abierta por las observaciones realizadas en torno a la cuestión de la figura de la Tierra. Durante todo el período que estudiamos, el tema del patrón de medida había llegado a convertirse en una obsesión para los científicos. Cualquier conclusión sobre la longitud de un grado de meridiano o paralelo se apoyaba, como es sabido, sobre la más exacta determinación de la unidad empleada en las medidas de la base fundamental y de comprobación. La nueva precisión exigida a las observaciones' geodésicas y el creciente intercambio de información entre los distintos colectivos científicos hacía imprescindible la racionalización de un tema tan fundamental como lo era el de la

unidad base de medida. Así lo entendió La Condamine, quien, tres años después de su participación en la expedición geodésica por tierras americanas, propone un «Nouveau projet d'une mesure invariable propre a servir de mesure commune a toutes les nations» :[\(24\)](#) Si desde la perspectiva de la burocracia central que ostentaba el poder, la unificación del sistema de pesos y medidas era necesaria para el establecimiento de un sistema impositivo único y directo o una ordenación de las relaciones económicas, la estructura de la propiedad y la producción del antiguo régimen imposibilitaba tal reforma. Habrá que esperar hasta que la Asamblea Nacional resultante de la Revolución Francesa considere el tema prioritario y encomiende con carácter de urgencia a Delambre, Méchain, Borda, ..., las investigaciones necesarias para la implantación del sistema métrico decimal. Entretanto, oigamos de nuevo a Fouchy hacerse eco de los obstáculos promovidos por aquellos que aprovechaban la existencia de aduanas interiores y la diversidad de sistemas de medida para especular con los precios:

«... la objeción merece una respuesta: algunos mercaderes, se dice, encuentran estas diferencias de medidas un beneficio del que se verían privados si por todos se usase una sola, y es el beneficio lo que les anima a proveer las ferias y los mercados»:[\(25\)](#)

Así, pues, las investigaciones geodésicas derivan hacia el esclarecimiento de dos nuevos problemas que permitirían mejorar tanto los conocimientos sobre la tierra como la precisión y análisis de los datos obtenidos.

En resumen, la diferente estrategia en la política científica inglesa y francesa explica el cambio de iniciativa operado en el tema de la figura de la Tierra y el pico que presentan las Gráficas I y II. Las razones para justificar el vertiginoso descenso que se produce en la década siguiente, en síntesis, serían las siguientes:

1. Fin de los trabajos cuyo objetivo inmediato era el levantamiento de la carta de Francia.
2. Agotamiento del tema desde el punto de vista teórico y experimental. Desde la mecánica de fluidos la cuestión quedaba resuelta con la publicación de los trabajos de Clairaut y D'Alembert. Desde la astronomía práctica, que había desarrollado enormemente las técnicas de precisión, el interés se desplaza hacia nuevos problemas: los movimientos de la Luna, el conocimiento de nuestro sistema planetario, la confección de catálogos de estrellas del hemisferio sur, la construcción de un modelo de atmósfera que permitiese una teoría de la refracción astronómica... Aunque van a medirse grados de meridiano en Italia, Alemania, Hungría, Rusia o los Estados Unidos, los nuevos programas de observación simultánea y sistemática considerados prioritarios van a ser el estudio del paso de planetas por el disco solar o el de las irregularidades en sus órbitas. En suma, los límites establecidos por Clairaut para el aplanamiento se consideraban alejados de las posibilidades de la astronomía práctica, bien porque aún se poseía un conocimiento muy limitado de las correcciones debidas a la paralaje, refracción, precisión..., bien porque era preciso introducir nuevos supuestos teóricos relativos a la estructura interna y distribución de masas del planeta. No era, por tanto, posible concluir el programa de observaciones desarrollado para determinar la magnitud del achatamiento polar, sin antes efectuar importantes avances tanto en el terreno de la mecánica celeste como en el de la geofísica.
3. Necesidad de reducir los enormes costes ocasionados por las expediciones científicas realizadas en Francia, Sudamérica, Suecia y Africa (cabo de Buena Esperanza).
4. Fin de la polémica entre newtonianos y cartesianos.

Vengamos ahora al análisis de los trabajos publicados en Francia durante estas tres décadas. Nuestro objetivo será apuntar los suficientes elementos de juicio como para comprender en toda su amplitud el contexto histórico y científico que precedió a la propuesta y posterior desarrollo de las expediciones científicas. Tres serán los principales problemas que abordaremos. En primer lugar, los trabajos que conducirán a J. Cassini y D. de Mairan a proponer la tesis de una tierra oblonga compatible con el esquema de interpretación cartesiana; en segundo lugar, el desarrollo de la polémica sobre el newtonismo en Francia y sus implicaciones nacionalistas y, finalmente, el

impacto de toda esta problemática en los círculos ilustrados y académicos parisienses.

### El meridiano de París y la tesis de la tierra oblonga

Ya a finales del siglo XVII encontramos las primeras críticas a las tesis de Newton y Huygens sobre la figura de la Tierra. J. G. Eisenschmid, astrónomo de Estrasburgo, comparando los resultados obtenidos por Snell, Picard, Riccioli y Eratóstenes, concluirá un achatamiento ecuatorial de nuestro planeta. En su *Diatrise de figure telluris elliptico-sphaeroide* (Estrasburgo, 1691) considera, contra el criterio de Newton, que las observaciones con el péndulo horario eran menos precisas que las conducentes a la medida de arcos de meridiano. Los grados de que disponía eran los siguientes:

<i>Autor</i>	<i>Lugar</i>	<i>Medida</i>
Snell	Holanda	55.020
Picard	Francia	57.060
Riccioli	Italia	62.900
Eratóstenes	Egipto	63.000

Aunque, en su opinión, la simple consideración de esta tabla bastaba para afirmar el crecimiento de los grados desde el polo al ecuador, también intentará una justificación de carácter teórico. Tal explicación iba a encontrarla en la obra de Tomas Burnet, miembro de un grupo de naturalistas y geógrafos ingleses conocido por su persistente empeño en conciliar las primeras contribuciones a las ciencias naturales producidas en la Revolución Científica con los dogmas religiosos y, especialmente, con los textos del Antiguo Testamento. (26) Para Th. Burnet la Tierra debía ser oblonga. El razonamiento expuesto en su *Telluris theoria sacra* (Londres, 1681) era simple: la acción de la fuerza centrífuga, mayor en el ecuador que en el polo, inducía sobre la materia, en la superficie, una «fuerza» que tiende a alejarla del centro. El aire circundante ejercía, en cambio, una «presión» sobre la Tierra que además de asegurar el equilibrio, impedirá cualquier movimiento libre que no ocurra en la dirección ecuador-polo. Inicialmente, durante la primera gran etapa de la historia de la Tierra, tanto su superficie, perfectamente plana como su figura e interior se encontraban en un estado de equilibrio y perfección «natural». La continua acción del Sol y los otros planetas, afirmaría Burnet, provocaron una catástrofe de la magnitud del Diluvio, que daría origen a la formación de montañas y demás irregularidades geográficas. A partir de ese momento se iniciaría una segunda era en la que, entre otras consecuencias, la acción centrífuga desplazaría importantes cantidades de materia desde el ecuador al polo hasta darle al planeta la figura de un esferoide aplanado por el ecuador.

Para Eisenschmid, independientemente de las connotaciones teológicas de un esquema famoso por las severas réplicas que publicaron Beaumont, Warren o Keill desde posiciones newtonianas, tal explicación era compatible no sólo con los datos experimentales sino con la filosofía cartesiana. Sus argumentos, que según nos cuenta Duhamel se hicieron oír en las asambleas académicas de 1696, no poseían, sin embargo, ni el empaque teórico de las propuestas de Huygens ni el supuesto respaldo de los datos empíricos, ya que los grados de Snell y Eratóstenes no podían ser considerados suficientemente precisos. Así, pues, en torno al cambio de centuria, ni Burnet ni Eisenschmid gozaban del prestigio suficiente como para que sus opiniones influyesen más allá del círculo de sus incondicionales.



Fig. 3. Colbert muestra a Luis XIV los trabajos cartográficos que se realizan en el Observatorio de París. Grabado de *Recueil de plusieurs traités de Mathématiques*. París 1676.

Los trabajos iniciados por Picard y publicados en 1671 eran para Colbert el comienzo del gran proyecto de triangulación y levantamiento de la carta de Francia.<sup>(27)</sup> Por otra parte, G. D. Cassini, una vez concluidas estas operaciones, observó la existencia de algunas imperfecciones que podían ser evitadas: no se había considerado el efecto de la refracción astronómica, los instrumentos no eran bastante precisos, la amplitud medida por Picard de  $1^{\circ} 22'$  era demasiado pequeña para concluir el valor de un grado, ya que parecía inevitable un error de al menos  $5''$  en la determinación de la latitud... Su propuesta a Colbert consistiría en ampliar considerablemente la distancia triangulada y repartir, por tanto, los  $10^{\circ}$  correspondientes a

las dos observaciones astronómicas en un arco mayor. En 1683 obtiene el apoyo necesario para prolongar el meridiano París-Amiens hacia el Sur hasta la ciudad de Colliure. Al año siguiente, cuando ya se había alcanzado Bourges, muere Colbert, y su sucesor, menos comprensivo para estas empresas de carácter científico, retira el apoyo financiero al proyecto. Decidido, no obstante, a verificar los grados hasta entonces medidos, partirá en 1694, acompañado por su hijo J. Cassini, hacia Italia, donde tendrán ocasión de participar en importantes operaciones geodésicas y, especialmente, en las de restauración del meridiano que el P. Riccioli había escrito en Bolonia. Tanto este viaje, como en los que le seguirán a Holanda e Inglaterra durante los años 1697. y 1698, le permitirán efectuar ensayos con los instrumentos de gran radio (16 pies 3 pulgadas 8 líneas) provistos de micrómetro y antejo astronómico. Entre los distintos aspectos abordados en las memorias de resultados, hay uno que merece un pequeño comentario. Al intentar reconstruir los meridianos ya descritos, advierte la imposibilidad de comparar los resultados, debido a la diversidad e imprecisión con la que se conocía la equivalencia entre los distintos sistemas de medida. Adelantándose en varias décadas a su época, propone la definición de una unidad-patrón cuyo uso quisiera ver generalizado entre los científicos. La braza geométrica es así definida como «...la dixmillionnieme partie du demidiambre de la Terre». (28) No hemos encontrado, sin embargo, la menor referencia a tal propuesta, ni siquiera dentro del reducido grupo social al que iba destinada. Quede aquí este dato como prueba de la existencia de un interés inicial por el tema según criterios geométricos.



Fig. 4. El Meridiano de París. Lámina de la obra: *Recueil d'Observations faites en plusieurs voyages par ordre de Sa Majesté pour perfectionner l'Astronomie et la Geographie avec divers Traitez Astronomiques*, Paris, Imp. Royale, 1693. (Biblioteca Nacional, Madrid).

En 1700, diecisiete años después de que fuesen suspendidos los trabajos geodésicos, una nueva petición al rey de Francia obtiene respuesta afirmativa y se reemprenderán una larga serie de



operaciones que, en distintas fases y con diferentes objetivos inmediatos, concluirán con el levantamiento de la carta de Francia. Ese mismo año partirán hacia el Sur G. D. Cassini, su hijo Jacques, Maraldi, Couplet y Chazelles, prolongando entre 1700 y 1701 el meridiano hasta la ciudad de Collioure. Sobre un arco de  $8^{\circ} 30'$  de amplitud se obtuvo un grado medio de 57.097 toesas. La longitud de los ocho grados triangulados disminuía en la dirección sur-norte, y ello condujo a Cassini a precipitar la conclusión de que sus trabajos confirmaban las «*hypotheses modernes*» de Huygens y Newton. El mismo error de interpretación cometería Fontenelle, quien extractaba las conclusiones de la memoria en los siguientes términos:

«Suponiendo que la disminución del valor de un grado terrestre se mantiene siempre del ecuador hacia el polo (...), la Tierra es un globo aplanado por los polos.» (29)

Desde luego esta afirmación suponía una grave equivocación, que pronto sería subsanada. Conviene, sin embargo, llamar la atención sobre el hecho de que tanto el secretario perpetuo -de la Academia como su más prestigioso astrónomo, no tuviesen el menor inconveniente en aceptar las tesis de Newton. Ello constituye una prueba de la "escasa sensibilidad de la comunidad científica francesa, excluyendo algunas figuras, tales como Huygens, a las importantes consecuencias derivadas de la aceptación de los *Principia*. El fenómeno era común a toda Europa y confirma el hecho de que el método y la estructura de aquella obra era tan complejo que habrían de pasar algunos años antes de que se produjeran las primeras reacciones. En 1713, una nueva memoria de Cassini rectificaba completamente sus anteriores conclusiones. Comparando los grados medidos al sur de París con el de París-Amiens triangulado por Picard, afirmará que la disminución de los *grados* desde el ecuador al polo

«... es la propiedad de una elipse cuyo diámetro mayor representa el eje de la Tierra y el menor el del ecuador... Esta elipse, girando en torno a su gran eje, forma, por su revolución, un esferoide donde los polos están en las extremidades del gran eje y en el que el ecuador y los paralelos son representados por círculos. Esta figura es la que atribuimos a la Tierra» (30)

La Tierra tendría, según sus cálculos, la figura de un elipsoide de revolución cuya excentricidad sería  $1/11$  Y la diferencia entre los ejes polar y ecuatorial  $1/262$ , que como vemos es del orden de la propuesta de Newton y doble de la de Huygens. El punto crucial que a nosotros nos interesa a destacar es esta afirmación de los datos de la experiencia frente a las conclusiones derivadas desde supuestos teóricos. El hecho es particularmente notable ya que la tesis de la Tierra oblonga se apoyaba exclusivamente sobre medidas geodésicas cuyos resultados estaban en contradicción con los obtenidos en las experiencias realizadas con el péndulo horario.

Si hemos de considerar el criterio de Fontenelle, secretario perpetuo de la Academia, como representativo de la opinión mayoritaria de sus miembros, las siguientes palabras tendrán una importante significación:

«Los razonamientos obtenidos de la diferente longitud del péndulo -decía Fontenelle en 1713- en diferentes climas o de la desigualdad de la fuerza centrífuga resultante del movimiento diario de la Tierra, son tal vez demasiado sutiles para resultar suficientemente convincentes; incluso se puede no estar aún bastante seguro de los principios y las consecuencias, que pueden a veces ser diferentes.»(31)

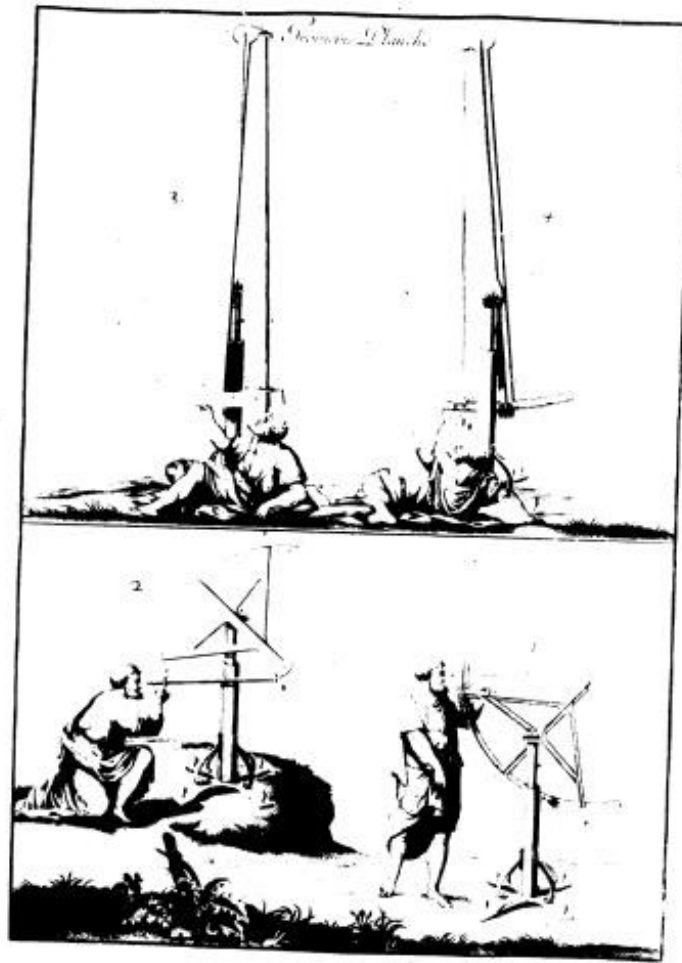


Fig. 5. Instrumentos usados en la relación del mapa de Francia. Lámina de la obra citada en la Fig. 3.

Aunque juicioso su comentario sobre las influencias de la temperatura en las experiencias con el péndulo, no puede dejar de sorprendernos un juicio tan parcial y poco profundo sobre los principios teóricos que habían servido a Newton o Huygens para defender una tesis completamente opuesta a la sostenida por los astrónomos franceses. Puesto que las 55.960 toesas del grado al norte de París se habían encontrado midiendo un arco de sólo  $1^{\circ} 22'$ , parecía evidente la necesidad de extender hasta Dunkerque el meridiano y poder confirmar así las anteriores conclusiones. En realidad, pese al prestigio de los astrónomos que habían participado en las operaciones, la diferencia de 37 toesas, que podía haber sido producida por una pequeña desviación del instrumento o simplemente un error personal del observador, no era argumento suficiente para cambiar la figura de la tierra desde la forma de una «sandía» hasta la de un «melón». Es así como en 1718, el duque de Orleans autorizará la continuación de los trabajos.

La Hire, Maraldi y el propio Cassini cubrirán la distancia entre París y Dunkerque el mismo año y encontrarán con 28 triángulos y un arco de  $2^{\circ} 12'$  de amplitud un grado medio de 56.960 toesas. El anteriormente medido por Picard entre París y Amiens, de 57.060 toesas, es rebajado con las nuevas observaciones hasta 57.030 toesas. La memoria que presenta los resultados se completa con el cálculo de una excentricidad de  $1/7$  Y una razón entre los ejes cuyo valor era  $96/95$ .<sup>(32)</sup> Aunque algo más deformada, la figura de la Tierra seguía siendo un esferoide achatado por el ecuador.

En 1722 aparece la importante obra de J. Cassini *De la Grandeur et Figure de la Terre*, síntesis de todo cuanto se había realizado en Francia sobre el tema entre 1683 y 1718. Notemos que fue publicada en la nueva colección de la Academia *Suite des Memoires de l'Academie des Sciences pour 1718* y que no se difundió hasta 1722 aunque con fecha de 1720.

El hecho de que este libro inaugure una nueva serie de publicaciones oficiales, el pequeño

galimatías con las fechas o el modo enfático con el que Fontenelle presentaría un avance en 1721, nos muestra la expectación que sus conclusiones habían despertado en la comunidad científica europea(33). Si la memoria de 1713 había suscitado alguna duda entre parte de los académicos franceses, la nueva confirmación experimental resultante de las operaciones geodésicas de 1718 será mayoritariamente aceptada. La solvencia de los científicos que habían participado en todas las series de observaciones estaba fuera de toda sospecha: además de los Cassini, verdaderos animadores de todo el proyecto, recordemos los nombres de Picard, La Hire, o Maraldi. Cualquier Academia europea hubiese estado orgullosa de contar entre sus miembros activos con cualquiera de ellos. Las conclusiones de sus trabajos eran la obra desarrollada durante dos décadas y el propio prestigio de la institución quedaba involucrado en ellos. Por otra parte, la publicación de la *Grandeur et Figure de la Terre* alteraba los términos de la polémica inicial establecida entre Huygens y Newton. Ahora no se trataba de comparar supuestos teóricos diferentes, sino de optar entre el poder explicativo de una teoría matemática o los resultados derivados de un programa sistemático de observaciones cuidadosamente realizadas. Desde la Academia de Ciencias de París se presentan las conclusiones de Cassini como un modelo paradigmático de hacer ciencia. ¿Qué podía argüirse contra la fuerza de los datos? O, expresado en otros términos, ¿cómo la ciencia inglesa tan aferrada al plano empírico del saber y tan crítica hacia la filosofía cartesiana, podría hacer frente al éxito experimental obtenido por los astrónomos y geógrafos franceses? Para la ciencia de la primera mitad del setecientos este debate, mientras fue planteado en los términos enunciados, fue enormemente fructífero ya que cuestionaba problemas hasta mal comprendidos. Cuando hoy hablamos del discurso científico suelen destacarse las irreductibles dependencias que existen entre un «lenguaje teórico» y un «lenguaje observacional». Ni el más obstinado positivista se atreve a poner en duda el hecho de que sólo es posible «interrogar» a la naturaleza, realizar experimentos, desde unos supuestos teóricos que limitan y condicionan aquello que es observado. Es por ello que la física tuvo necesidad de construir un concepto tan usual en los manuales como el de *sistema físico aislado*. La pretendida objetividad del dato, de los hechos, a veces no es sino uno de los muchos espejismos, cuando no un instrumento de dominación, creados durante el siglo XIX. Aunque la ciencia del período que nos ocupa no había alcanzado la madurez suficiente como para tomar conciencia de estos problemas, sí tuvo necesidad de efectuar análisis cuidadosos de algunos programas experimentales. Respecto del tema que nos ocupa, un solo ejemplo bastará para comprender lo que queremos decir.

Para medir la longitud de un arco de meridiano, bastaba con *pensar* la posibilidad de situar una larga fila de estacas de madera clavadas en el suelo, que fijaban el círculo máximo, y determinar la distancia que las separaba. Como debido a las irregularidades del terreno -ríos, montes, edificios- ello en la práctica no era posible, el rudimentario y "lógico" procedimiento descrito podía sustituirse por el más sofisticado de la triangulación. Para Cassini y todos los que con él efectuaron las operaciones geodésicas ambos métodos eran equivalentes. Sin embargo, tal supuesto sólo es cierto si la Tierra tiene una figura esférica:

«... para prolongar la perpendicular -escribía Clairaut en 1733-, conociendo ya un lado pequeño, se toman puntos fuera de la línea a los que, por medio de operaciones geométricas, se referirá la prolongación de la perpendicular; estas operaciones se piensa que reproducen la misma situación que los pivotes y conservan la línea en el plano vertical; sin embargo, la desvían continuamente de él; esto es lo que pretendo demostrar en la Memoria, demostrando que sólo en la hipótesis de la Tierra esférica la línea así trazada está siempre en el mismo plano, y que en cualquier otra es una curva «8 double courbure», de la cual daré su naturaleza y propiedades con un procedimiento muy simple para deducir si la Tierra es alargada o achatada, y en qué proporción, suponiendo que la Tierra sea de naturaleza elíptica». (34)

Independientemente de las modificaciones que la memoria de Clairaut introducía en los datos de Cassini, lo que mayor impacto causó entre los astrónomos de la Academia era la necesidad justificada de adoptar, antes de comenzar las observaciones, una hipótesis acerca de la figura de la Tierra. Consideramos innecesario poner énfasis sobre el profundo significado epistemológico que tal conclusión contenía.

Retomemos el hilo de nuestra descripción cronológica de las distintas aportaciones sobre el tema de la figura de Tierra. En los años sucesivos nuevas contribuciones de otros científicos proporcionarían

motivos suficientes para forzar el compromiso institucional de la Academia con el trabajo de alguno de sus miembros. Aparte de alguna de menor importancia, como la de Jacques de Roubaix, (35) merecen un comentario detenido las de Delisle y Mairan. J. N. Delisle, miembro influyente de la comunidad científica europea, por su incansable labor de promoción de proyectos de investigación astronómica y maestro de G. de Fouchy, Louville y L. Godin, será uno de los primeros en tomar partido en favor de las tesis de Cassini. En 1720 presenta al abad Bignon, sucesor de Colbert y precedente de Maurepas en su celo protector de las ciencias, una memoria en la que se propone la medida de un arco de paralelo que confirmase definitivamente la tesis de la Tierra oblonga:

«... todas las consecuencias y determinaciones que M. Cassini ha obtenido para la figura y magnitud de la Tierra pueden pasar por incontrovertibles hasta la precisión con la que pudo asegurarse de la cantidad exacta de la desigualdad y prevenido, por otra parte, de que las otras suposiciones que M. Cassini se vio obligado a realizar sean igualmente verdaderas; porque se entiende bien que no es posible concluir desde lo que se ha observado lo que nunca se observó, a menos que se suponga conocida la relación entre lo uno y lo otro, y que de este modo sólo por hipótesis se puede concluir la magnitud y la figura de toda la tierra por una parte que se hubiese medido». (36)

El tema era considerado tan importante como revelador de las grandezas que la nueva ciencia podía desvelar. El momento era propicio para que una contribución, por pequeña que fuese, pudiera garantizar a su autor el paso a la posteridad. Desde esta doble perspectiva creemos que debe interpretarse el proyecto de Delisle. Según él la medida de un meridiano no bastaba para extraer conclusiones relativas a todos los círculos máximos del planeta. Su propuesta concreta iba a ser triangular al paralelo que pasa por París y que une las ciudades de St. Malo y Estrasburgo. Contra la opinión generalizada, considera que tal operación podría realizarse con sólo 1 s de error en el tiempo, es decir, 15" de arco. Sus previsiones eran tan optimistas que ni siquiera llegaron a discutirse, pues era casi imposible realizar una determinación de longitud con un error menor de 30", lo que habría exigido triangular una distancia cuatro veces mayor que la ya conocida en la dirección norte-sur.

Tal vez el texto de Delisle contenga también una velada y discreta crítica sobre la precipitación con la que se habían asumido las tesis de Cassini. La verdad es que no pueden dejar de parecernos excesivos los aplausos y unanimidad de los académicos. Reparemos con algo más de detalle en el resultado de las operaciones. Al sur de París, sobre un arco de 6° 19' se obtuvo un grado medio de 57.097 toesas; al norte, en 2° 12' dicho valor era de 56.960 toesas. De modo que una diferencia de 137 toesas -3,7 veces más grande que la obtenida en 1713- permitió extraer unas conclusiones cuyo apresuramiento no pudo escapársele a tan docta compañía. En 1733, Fontenelle, comentando la precisión con la que se podían efectuar observaciones astronómicas, escribía que

«... los más hábiles observadores coinciden en que apenas pueden responder de 10 segundos». (37)

Si pensamos que el grado entre París-Dunkerque se determinó con un arco de 2° 12' Y que fueron precisas dos observaciones, una en cada extremo, comprobamos que dando por válida la afirmación de Fontenelle el error posible pudo ser de más de 150 toesas. Si a ellas le añadimos las 35 o 40 toesas previsibles del grado entre París-Collioure, vemos que la incertidumbre de los datos manejados por Cassini debiera haber suscitado algún escepticismo entre los miembros de la Academia. Oigamos la autorizada opinión de J. B. J. Delambre, quien a finales de siglo, por encargo de la Asamblea Nacional, dirigiría la comisión geodésica que trianguló la misma extensión del meridiano de París:

«Nos parece -decía Delambre- que, si una obra parecida hubiese sido presentada a la Academia por un sabio extraño a la corporación, los comisarios, en su imparcialidad benevolente, habrían podido aplaudir la grandeza y la importancia del trabajo, elogiar al autor por haber rectificado la geografía de Francia, dando los fundamentos de un mapa superior con mucho a los existentes hasta entonces. Habrían podido añadir que el grado medio entre los 8 1/2 que habían sido medidos debía dar un valor probable del grado de la Francia esférica, que la obra había sido justamente intitulada *Grandeur de la Terre*, y más aún habrían hallado lo que no podían creer, ya que este valor del grado medio, reducido a nuestra toesa actual, es muy aproximadamente el que resulta de nuestras operaciones; pero en agradecimiento al autor, le habrían aconsejado suprimir de su título la palabra *Figure*, puesto que era evidente que las pequeñas diferencias reseñadas entre los grados al norte y al sur no superaban a los errores posibles y probables de la observación. Reconociendo que la medida había sido realizada con todos los cuidados que podía entonces pedir la Geografía,

habrían añadido que esta medida era demasiado imperfecta para concluir la figura de la Tierra.» (38)

Aunque Delambre, en sus importantes contribuciones a la historia de la física y las matemáticas, se empeña en discutir con los autores que le habían precedido, convirtiéndose en su juez e introduciendo continuos juicios de valor o notables distorsiones de la realidad histórica, el comentario presentado creemos que, al menos en esta ocasión, es ajustado. Un conocimiento más adecuado de la propia estructura que tenía la Academia, concebida institucionalmente como tribunal científico directamente dependiente de la Maison du Roi, le hubiese permitido comprender las razones de un compromiso tan cerrado en torno a las opiniones defendidas por alguno de sus miembros más 'influyentes. Así lo reconoce R. Taton cuando, al estudiar esta imbricación entre intereses diversos, afirma con resignada prudencia:

«Sus sucesores directos -refiriéndose a G. D. Cassini- defenderían, sin embargo, esta hipótesis con una cierta obstinación.» (39)

Dentro de este contexto, la memoria que Mairan publicara en 1722 adquiere una importante significación, ya que su objetivo será integrar los resultados de Cassini dentro del ideal explicativo de la filosofía cartesiana Tomando como premisa la que justamente debía ser objeto de análisis, escribe:

«... el problema es buscar por observaciones inmediatas cuál es hoy la verdadera figura de la Tierra. De su figura actual podrá concluirse su figura primitiva y de ella las direcciones primitivas de la gravedad, que sólo podríamos conocer cambiadas y, por así decir, desfiguradas por la fuerza centrífuga»(40)

En esencia, tal hipótesis equivalía a suponer como concluyentes los resultados de las operaciones geodésicas, para posteriormente intentar ofrecer una justificación teórica de los «hechos». Hasta tal punto estaba Mairan convencido de su actitud, que no dudará en introducir elementos teóricos nuevos que en ningún caso podrían ser contrastados experimentalmente. En síntesis, su razonamiento es como sigue: La Tierra, originariamente, era mucho más oblonga que en la actualidad, siendo la acción centrífuga la responsable de la disminución secular de la excentricidad. Como, en su opinión, la gravedad debe dirigirse al centro y ser perpendicular a la superficie, nuestro planeta habría de estar constituido por capas de densidad variable que, por efecto de sucesivas «refracciones», permitiesen la simultaneidad de ambas condiciones sobre la *directrice de la pesanteur*. Para que dicha *pesanteur* no contraviniera los resultados obtenidos con el péndulo horario, afirma que la ley que regula su comportamiento debe ser inversamente proporcional al producto de los dos radios principales de curvatura. La memoria de Mairan, aunque con hipótesis *ad hoc*, lograba explicar, además de la variación de los grados de meridiano, el más espinoso tema de las experiencias sobre la longitud del péndulo. integrado dentro del esquema gerjerai de interpretación neocartesiano, situaba la cuestión de la figura de la Tierra en el centro del debate Newton- Descartes.

Una vez interpretados teóricamente los resultados de Cassini y Richer, la Academia de Ciencias de París quiso plantear el tema de la figura de la Tierra como un test decisivo entre dos teorías rivales. Restablecido el prestigio de los torbellinos cartesianos, no tardarán en aparecer ardientes defensores de una tradición científica francesa: Fontenelle, Bragelogne, Moliere, D'Anville, Childrey, Longhansen, Manfredi, Castel... En nombre de todos ellos, escribía Fontenelle en 1729:

«El movimiento anual de todos los Planetas sin excepción, siempre dirigido de Occidente a Oriente, es una de las pruebas más fuertes de los torbellinos de Descartes. Nada tan natural y tan conforme a la razón exacta como concebir que esta dirección es común a todos los Planetas, porque es la de un gran fluido que gira alrededor de un centro, y que a todos arrastra.»(41)

y respecto de la imposibilidad de verificar experimentalmente la tesis de Mairan sobre la compleja estructura interna que habría de tener nuestro planeta, propone una explicación claramente insuficiente:

«La teoría general de M. Mairan supone que la diferencia de gravedad en los dos hemisferios procede de su distinta distancia al Sol.» (42).

Es evidente que durante la tercera década del setecientos se produce un repliegue de los científicos franceses en torno a la tradición cartesiana. Hemos adelantado ya algunas razones para ello. No podríamos dejar de lado otra que a nuestro juicio desempeñó un papel tan importante como las ya aludidas. Aunque el proceso de secularización cultural europeo es paralelo al que genéricamente denominamos Revolución Científica, y en este sentido siempre se explicita como demostración la cuestión del heliocentrismo, basta con revisar superficialmente la nómina de científicos europeos entre 1600 y 1750 para advertir el peso, tanto cualitativa como cuantitativamente hablando, de los que llevaban hábito. El porcentaje de los comprometidos con la doctrina de la Iglesia sería aún más importante y, por supuesto, mayoritario. Desde esta premisa conviene recordar que la física y filosofía natural del siglo XVIII partía de la herencia corpuscularista y mecanicista del seiscientos. El atomismo y vacío newtonianos estaban llenos de connotaciones epicúreas y ateas. Después de la cristianización del cartesianismo, operada en la obra del ocasionalista Mallebranche, los filósofos deudores de Descartes habían abandonado el patrón deísta según el cual la divinidad quedaba limitada a ser una pieza metafísica dentro de su concepción del cosmos. De modo que Dios había creado un mundo en movimiento sujeto a determinadas leyes que impedían su degradación. La inmutabilidad divina exigía la conservación de dicho movimiento, quedando así reducida al momento de la creación su acción sobre él. Desde la física de Newton, donde no era precisa esa materia etérea, soporte de toda interacción y garante de la conservación de la «cantidad de movimiento», era necesario reforzar la imagen de un Dios omnipresente y generoso cuya acción continua hacía que, providencialmente, se verificasen las leyes naturales. El «éter» newtoniano, entendido como *sensorium* divino, evidenciaba por su sola presencia esa voluntad de Dios de asegurar en cada instante el orden de la creación. Esa especie de panteísmo anglosajón, parejo a su filosofía natural, iba a constituir un fuerte obstáculo teológico para la penetración en Francia de la obra de Newton. En este contexto puede ser interpretada la acción educativa y vigilante de los jesuitas, tanto en sus colegios como a través de una publicación periódica tan influyente como las *Memoires de Trévoux*.[\(43\)](#)

No todos los miembros de la Academia de París aceptaban los torbellinos de Descartes, aunque sí los más influyentes. Dentro de ella, un reducido grupo de «jóvenes geómetras» no albergaba ninguna duda sobre el mayor poder explicativo del principio de atracción universal.

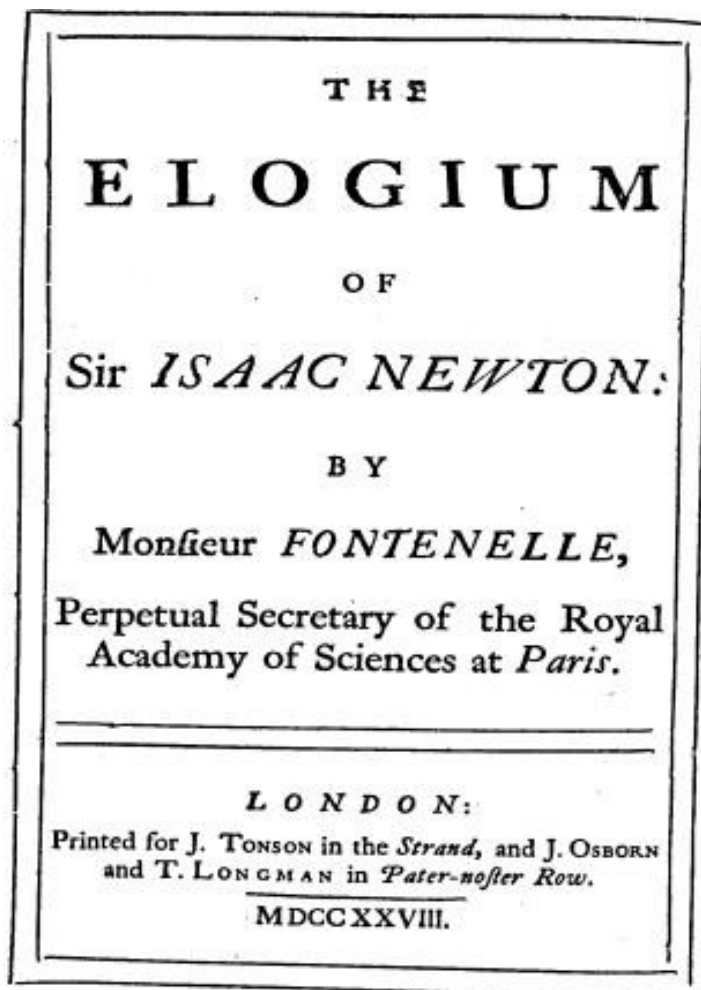
«Son, en efecto, los jóvenes geómetras, tanto de Francia como de los países extranjeros, los que han decidido la suerte de las dos filosofías». [\(44\)](#)

Los miembros más activos del grupo de geómetras a que se refiere D'Alembert eran Clairaut, Maupertuis y La Condamine. Todos ellos junto a Voltaire, Algarotti, Koenig y algunos otros pertenecían al círculo que, en torno a Mme. Chatelet y desde Cirey, hostigarían sistemáticamente a los medios académicos parisienses.

Curiosamente, el primer elogio que recibiría Newton después de su muerte iba a proceder de la Academia de Ciencias de París. El propio Fontenelle, en su calidad de secretario perpetuo, tenía la obligación de cumplimentar y honrar la memoria, como era tradicional después del fallecimiento de uno de los miembros de la institución, de] gran oponente de la obra de Descartes. El momento solemne del discurso era esperado con ansiedad por newtonianos y cartesianos. Todas las expectativas, en cambio, iban a quedar en cierto modo frustradas, ya que tanto Newton como Descartes serían situados en el más alto pedestal de la ciencia, igualados en sabiduría y calificados de creadores de los dos más grandes sistemas filosóficos conocidos por la humanidad.[\(45\)](#) Desde el punto de vista táctico tal posición era la que más podía beneficiar a los partidarios de Descartes sin violentar deshonrosamente ni el buen nombre de la Academia ni la obra de uno de sus más distinguidos miembros extranjeros asociados. En Inglaterra, en cambio, tal comparación era casi insultante:

«Aquí -escribe Voltaire, recordando el ambiente percibido durante su estancia en Londres- han leído con avidez y han traducido al inglés el elogio que el señor de Fontenelle ha pronunciado del señor Newton en la Academia de Ciencias. Se esperaba en Inglaterra el juicio del señor Fontenelle como una declaración solemne de la superioridad de la filosofía inglesa; pero cuando se ha visto que comparaba Descartes a Newton, toda la Sociedad Real de Londres se ha sublevado.

Lejos de asentir al juicio, se ha criticado ese discurso. Incluso algunos (y esos no eran los más filósofos) se han sentido chocados por esta comparación solamente porque Descartes era francés.» (46)



Además de compararlos, Fontenelle, también tenía que hacerse eco de los sentimientos que la mayoría de los académicos mostraba hacia el espinoso tema de la gravitación. Veamos cuáles fueron sus palabras:

«El emplea a cada momento esta palabra para expresar la fuerza activa de los cuerpos; fuerza, a decir verdad, desconocida y que no pretende definir., Pero si ella podía actuar también por Impulso, ¿por qué no prefirió este término más claro? Porque se convendrá en que no era apenas posible emplear ambos indiferentemente; son demasiado opuestos. El uso continuo de la palabra atracción, definida con gran autoridad, y tal vez también por la inclinación que se atribuía a Sir Isaac por la cosa misma, familiariza al menos a los lectores con una idea proscrita por los cartesianos, cuya condena había sido ratificada por el resto de los Filósofos; es necesario ahora estar en guardia para no imaginar en ella ninguna realidad: se está expuesto al peligro de creer que la entendemos.» (47)

No hay duda de que Fontenelle, junto con un alto porcentaje de científicos y filósofos europeos, no entendió nunca el concepto de atracción. Más allá, sin embargo, de las dos grandes cosmovisiones enfrentadas conviene destacar aquí la cuestión puramente terminológica:

«Si M. Newton -escribía Voltaire en 1734- no se hubiese servido de la palabra atracción en su admirable filosofía, toda nuestra academia hubiese abierto los ojos a la luz, pero ha tenido la desgracia de emplear en Londres una palabra a la cual se ha asociado una idea ridícula en París, y sobre la que se ha realizado aquí un juicio con una temeridad que algún día hará poco honor a sus enemigos.»(48)

El juicio con el que amenazaba Voltaire a los oponentes de la atracción no iba a demorarse. Para D'Alembert la curiosa reflexión de Fontenelle y el carácter metafísico de la discusión planteada eran una prueba evidente de la necesidad de construir un nuevo orden discursivo, únicamente guiado por

la inapelable guía del razonamiento matemático:

«La historia de nuestras disputas -decía D'Alembert en 1759- muestra el abuso de las palabras y las nociones vagas, el progreso de las ciencias retrasado por las cuestiones de nombre, las pasiones bajo el disfraz del recelo, la obstinación bajo el nombre de la firmeza: ella nos enseña hasta qué punto las discusiones son poco propicias para aportar luz.» (49)

Para A. Maury, historiador de la Academia de Ciencias de París, la explicación de todo ello no admitía ninguna duda:

«Los prejuicios nacionales, como los prejuicios religiosos, ejercían, como se ve, una desgraciada influencia sobre la compañía.»(50)

Las nuevas y variadas implicaciones de la memoria de Mairan en el contexto de la tensa relación existente entre las dos comunidades científicas nacionales, iban a encontrar una fulminante respuesta en Inglaterra. La «guardia.. newtoniana de la Royal Society -Keill, Pemberton, Folkes, Maclaurin, Taylor, no toleraría un ataque al punto más espectacular de la física de Newton. Desaguliers, en nombre de ella, saldrá en defensa del principio de atracción universal con tres memorias publicadas en las *Philosophical Transactions* correspondientes al año 1725.(51) La primera de ellas afecta al procedimiento y conclusiones obtenidas por J. Cassini. Su razonamiento es simple, ¿cómo la pequeña diferencia entre los grados al norte y al sur de París podía ser argumento suficiente para concluir sobre la figura de la tierra, cuando han sido medidos con instrumentos cuya precisión no podía asegurar errores de menos de 200 toesas? Una larga serie de deficiencias en la práctica totalidad de todas las operaciones son las pruebas que exhibe para despreciar el trabajo realizado en Francia. En la segunda memoria opone el método geodésico y experimental al geométrico de Newton. Reconociendo la existencia de algunas lagunas en el tratamiento dado por su compatriota, rechaza con los mismos argumentos del trabajo anterior la pretendida objetividad de los datos empíricos obtenidos por los Cassini. La tercera disertación completa el recorrido por la ciencia francesa calificando la memoria de Mairan de poco razonable, nada científica y en absoluto justificada por la experiencia. El estilo polémico, oscuro y casi ensayístico de estos tres escritos no impidieron el impacto causado entre los académicos de París. Algunos de ellos, los «jóvenes geómetras», encontrarían en su contenido argumentos suficientes para recomendar insistentemente la revisión de las operaciones geodésicas y la puesta en cuarentena para la tesis de la tierra oblonga.

Hasta aquí nuestro análisis de las circunstancias y argumentos presentes en el debate en torno a la figura de la Tierra. Entre 1733 y 1735 la Academia de Ciencias de París se movilizará para diseñar todo el conjunto de observaciones necesarias que posibilitasen la realización de un experimento conclusivo. Las dos expediciones científicas proyectadas al virreinato del Perú y Laponia, dirigidas por L. Godin y P. M. M. de Maupertuis respectivamente, junto a las nuevas operaciones desarrolladas en Francia, resolverán el debate en favor de las tesis de Newton. Sin embargo, ni las medidas efectuadas se aproximaron a las exigencias teóricas de precisión, ni los propios resultados parecían ser compatibles entre sí. La física cartesiana había librado su última gran batalla. El debate, al margen de los enfrentamientos personales, dejaba una pesada resaca en los círculos académicos más comprometidos con las propuestas de Fontenelle, Cassini o Mairan. La ambigüedad terminológica, las posturas sectarias, la división entre geómetras y astrónomos, la identificación de la Academia con ideales nacionales..., serán motivo de reflexión durante la década de los cincuenta. Si había concluido la polémica, restaban por resolver importantes cuestiones abiertas por las observaciones y la interpretación de sus resultados. Las cotas de precisión a que se aspiraba exigían, como afirmaba Boscovich, la consideración del problema desde nuevos supuestos teóricos y experimentales. La geofísica tendría que dar cuenta de ellos. El análisis de la enorme masa de datos que generaba una investigación geodésica requería una teoría de errores capaz de discutir los límites de precisión. El reconocimiento de esta nueva realidad, haría más matizadas las encendidas defensas de la ciencia experimental de las primeras décadas de la centuria. Entre Diderot y D'Alambert, entre las ciencias naturales y la física matemática, la polémica inclinaba la balanza a favor del segundo.



## ABREVIATURAS UTILIZADAS

AOP Archives de l'Observatoire de Paris (Paris).

DSB *Dictionary of Scientific Biography*, 16 vols., Ed. Ch. C. Giliispie, New York, 1970- 1980.

Hist. *Histoire de l'Académie royale des Sciences. Mem. Mémoires de l'Académie royale des Sciences.*

Reg. *Académie royale des Sciences. Procès-Verbaux* (Archives de l'Académie des Sciences. Paris).

## NOTAS

1. Usamos para la toesa la siguiente equivalencia: 1 toesa = 1,949 metros. La Caille, con métodos astronómicos y geodésicos más sofisticados obtendría, a mediados del siglo XVIII, 57.074 toesas.

2. El título completo de la obra es *Eratostenes batavus de terrae ambitus veril quantitate a Willibrodo Snellio*. Lugduni Batavorum ap. Iodocum a Couster, 1617. Sobre esta medida puede consultarse H. Bismans, «Le degré du méridien terrestre mesuré par la distance de Berg-op-Zoom et Malines» in *Annales de la Société scientifique de Bruxelles*, 24, 2.<sup>a</sup> parte, 113-134. También J. B. J. Delambre, *Histoire de l'Astronomie moderne*, II, París, 1821, pp. 92-110.

3. Cf. «De magnitudine terrae. in *Physicae experimentales*, Amsterdam, 1729.

4. Ver I. Todhunter, *A history of the mathematical theories of attraction and the figure of the earth. From the time of Newton to that of the Laplace*, 2 vols., Londres, 1873, pp. 38 ss.

5. Aparte de la obra ya citada, *La Mesure de la Terre* (París, 1671), pueden consultarse los volúmenes VI y VII de la serie *Mémoires de l'Académie royale des Sciences depuis 1666 jusqu'en 1699*, donde se encueñtran descritos estos trabajos. Para situar en su contexto histórico los trabajos de Picard será de gran interés la consulta de C. Wolf, *Histoire de l'Observatoire de Paris depuis sa fondation a 1793* (París 1902); L. Gallois, «L'Académie des Sciences et les origenes de la carte de Cassini» in *Annales de géographie*, 18, 193-204, 1909; G. Picolet, «La correspondance de Jean Picard avec Joham Hevelius (1671-1679)» - in *Revue d'histoire des sciences*, 31, 3-42, 1978. Un excelente análisis de los trabajos de Picard puede encontrarse en J. Loridan, *Voyage des astronomes français a la recherche de la figure de la Terre et des ses dimensions*, Lille, 1890, pp. 19 ss. También J. F. Lalande, *Astronomie*, París, 1782, artículos 2583 y 2654.

6. Citado por J. F. Lalande, *op. cit.*, artículo 2668.

7. J. Richer, «Observations astronomiques et physiques faites en l'isle de Cayenne» - in *Mémoires de l'Académie royale des Sciences depuis 1666 jusqu'en 1699*, VII, 231-326 (París, 1679). Puede también consultarse J. Olmsted, «The scientific expedition of John Richer to Cayenne (1672-1673)» - in *IBis*, 34, 117-128, 1942-43.

8. *Hist. 1700*, p. 111.

9. La tabla está construida con datos procedentes, en su mayoría, de fuentes originales, y cuando no ha sido así hemos contrastado diversas obras antes de adoptar la cifra que presentamos. Existieron otras determinaciones de la longitud del péndulo horario que hemos excluido por su notable imprecisión como, por ejemplo, las efectuadas bajo la dirección de Couplet y por encargo de la Academia de Ciencias de París, que merecieron el siguiente juicio de Newton: "... this gentleman's observations are so gross, that we cannot confide in them» (*Principia*, Lib. III, Prop. XX). La longitud del péndulo la expresamos en líneas, unidad que equivale a 2,25 milímetros (1 toesa = 6 pies; 1 pie = 12 pulgadas; 1 pulgada = 12 líneas y 1 línea = 12 puntos). La tabla de longitudes previstas es dada por Newton (loc. cit.) para variaciones de un grado de latitud; nosotros hemos intentado dar el valor más aproximado posible para cada latitud concreta, de modo que la columna *Diferencia* sólo aspira a indicar órdenes de error más que cantidades exactas.

10. *Principia*, Lib. III, Prop. XX.

11. Sobre las experiencias de J. Richer escribiría Newton lo siguiente: « M. Richer repeated his observations, made in the island of Cayenne. every week for ten month together, and compared the lengths of the pendulum which he observed in France. This diligence and care seems to have been wanting to the other observers.» (*Principia*. Lib. III. Prop. XX).

12. El tema ha sido ampliamente discutido en nuestra tesis. La cuestión de la figura de la Tierra y la expedición geodésica al virreinato del Perú (1734-1743) D. Tesis dirigida por José L. Peset. Universidad de Granada, 1983.

13. Las Gráficas I y II proceden de la excelente obra de D. H. Hall, *History of the Earth Sciences during the Scientific and Industrial Revolutions with especial emphasis on the Physical Geosciences*, Amsterdam. 1976. pp. 183 y 189.

14. C. André y G. Rayet, *L'Astronomie pratique et les observatoires en Europe et en Amerique depuis la milieu du XVIII<sup>e</sup> siecle jusqu'a nos jours*, 5 vols., París, 1874-78. Ver especialmente el vol. V, que se refiere a los observatorios de

Italia.

15. J. Cassini, «De la Carte de la France et de la perpendiculaire- a la meridienne de Paris», in *Mem.* 1733. p. 389.

16. J. Cassini, «De la grandeur de la terre et de sa figure» in *Mem.* 1718. p. 252.

17. G. de Fouchy, «Sur la comparaison des mesures de Snellius a celles qu'ont été faites en France. in *Hist.* 1748, p. 110. El comentario del Secretario de la Academia era relativo a la memoria de C. F. Cassini de Thury, «Sur la jonction de la Meridienne de Paris a celle que Snellius a tracé e dans l'Hollande; avec des Réflexions sur la Carte de la France. in *Mem.* 1748, pp. 123-132. Con mayor énfasis sería resaltado éste mismo aspecto por Condorcet en su «Eloge de Cesar-François Cassini de Thury». in *Hist.* 1784, pp. 54-63.

18. El discurso fue pronunciado en la sesión académica del 12 de noviembre de 1760 y apareció publicado en *Mem.* 1757 (imprimidas en 1762). La cita en p. 331.

19. Fontenelle, «Eloge de M. Delisle» in *Hist.* 1726, pp. 75-84. En unos términos parecidos se expresaba el secretario de la academia en su «Eloge de La Hire. cuando, al referirse a las observaciones geográficas y geodésicas, afirmaba: .Ces sortes d'opérations ne demandent pas une fine théorie, mais une grande adresse, et ne grande sûreté a operer, quantité d'atentions délicates et de précautions Ingénieuses et enfin leur grand utllité recompense le peu de brillant géométrique» in *Hist.* 1718, p. 79.

20. La Caille, «Discours sur les progrès que l'Astronomie a fait depuis une trentaine d'années» in *Ephemerides des mouvements celestes, pour dix années, depuis 1765 jusqu' en 1775*, 3 vols., París, 1763. Vol. III, pp. XXXI-XLIX. La cita en p. XXXII.

21. La memoria original de resultados fue publicada como libro bajo el título *De litteraria expeditione per Pontifician ditionem ad dimentendos duos meridiani gradus et corrigendam appam geographicam jussu et auspiciis Benedicti XIV, Ponto Max., suscepta a partribus Societ. Jesu Christophoro Maire et Rogerio Josepho Boscovich* (Romae, MDCCL V). Nosotros hemos utilizado la traducción francesa aparecida en París en 1770, *Voyage astronomique et géographique dans l'Etat de l'Eglise, entrepris par l'ordre et sous les auspices du pape Benoît XIV, pour mesurer deux degrés du méridien, et corriger la cafre de l'Etat eclesiastique, , augmenté notes et d'extraits de nouvelles mesu res de degrés faites en Italie, en Allemagne, en Hongrie et en Amérique.* La cita en pp. 491-2. Anteriormente Boskovic ya se había ocupado del tema llegando a parecidas conclusiones. En la *Dissertatio de telluris figura* (Roma, 1793) mostraba su escepticismo respecto a la posibilidad de determinar la figura de la tierra con la medida de grados de meridiano ya que, en su opinión, la incertidumbre que pesaba sobre las observaciones astronómicas podía ser decisiva. Más cuidadosamente, en *De inaequalitate gravitatis in diversis terrae locis* (Roma, 1741), insiste en sus anteriores puntos de vista. Añade que la ley de variación de la gravedad con la latitud no puede considerarse demostrada por las experiencias realizadas con el péndulo, pues la dispersión de los datos hacía plausible la existencia de cavidades internas en la tierra u otros accidentes geográficos. Consúltese sobre la obra de l jesuita yugoslavo el excelente artículo de Zeljko Markovic «R. J. Boskovic et le théorie de la figure de la terre. in *Conférence donnée au Palais de la Découverte* (S-IX-1960) , París 1960. También el artículo que el mismo autor le dedica en D.S.B.

22. *Voyage astronomique...*, op.cit., p. 29.

23. *Hist.* 1746, p. 105. La memoria de Guettar es «Memoire et Carte mineralogique sur la nature et la situation des terrain qui traversent la France et l'Angleterre» in *Mem.* 1746, pp. 365-392.

24. La memoria se encuentra inserta en *Reg.* 1748, pp. 191-211.

25, *Hist.* 1747, p. 83.

26: Cf. M. Bowen, *Empiricism and Geographical Thought. From Francis Bacon to Alexander van Humboldt*, Cambridge, 198f, pp. f06 ss.

27. Ver L. Legarde, «Historique du probleme du Meridien origine en France» in *Revue d'histoire des Sciences*, 32, 289-304, 1979. Este trabajo demuestra la íntima relación existente entre una larga serie de proyectos -medida de la meridiana, expediciones al Mediterráneo (Chazelles y Feuillé), las Antillas y América del Sur (Feuillé)- confluyentes en el interés por calcular la posición exacta de la isla de Hierro con relación al meridiano de París. Puede consultarse también J. P. Duviols, *Voyageurs français en Amerique. Colonies espagnoles et portugaises*, París, 1978.

28. G. D. Cassini, «Observations astronomiques faites en France et en Italie, en 1694, 1695 et 1696 par M. Cassini de l'Academie Royale des Sciences» in *Memoires de J'Academie Royale des Sciences, contenant les ouvrages adoptez par cette*, vol. 6.º (Amsterdam, 1735). La definición de «brasse géométrique». en p. 23.

29. *Hist.* 1701, p. 96. En la reedición de las *Memoires...*, de la Academia de Ciencias de París, efectuada en Amsterdam en 1743, el error de Fontenelle es rectificado. En lugar de aquellas palabras, puede leerse lo siguiente: «On voit qu'un méridien est une ellipse, l'équateur demeurant toujours parfaitement circulaire, et que la figure de la Terre est un

spheroide.» El primero en denunciar tal modo de proceder fue Maupertuis en su *Lettre d'un Horloger Anglois a un astronome de Pékin (1740)*. Toda la información suministrada por nosotros puede encontrarse en J. F. Lalande, *Astronomie*, n° 2676.

30. J. Cassini. «De la figure de la terre» in *Mem.* 1713, p. 255.

31. *Hist.* 1713, p. 84. El mejor resumen que hemos encontrado del conjunto de las operaciones realizadas en Francia por los Cassini puede hallarse en J. Loidan, *Voyages des Astronomes français a la recherche de la figure de la terre et de ses dimensions*, Lille, 1890.

32. J. Cassini, «De la grandeur de la terre et de sa figure» *In Mem.* 1718, p 324.

33. *Hist.* 1721, pp. 84-89:

34. A. C. Clairaut, «Determination géométrique de la perpendiculaire a la meridienne tracé e par M. Cassini; avec plusieurs Méthodes d'en tirer la grandeur et la figure de la Terre» in *Mem.* 1733, pp. 406-7.

35. J. de Roubaix, *Dissertation physique sur la variation du barometre. la forme du globe terrestre, la diminution des graves, et le flux et reflux*. Leyde, 1719. Obra en la que se manifiesta partidario de las tesis de Cassini. Ver J. F. Lalande, *Astronomie*, n: 2676.

36. J. N. Delisle, «Nouvelles réflexions sur la figure de la Terre», AOP, ms. A-7-7. Numa Broc (*La géographie des philosophes...*, op. cit., p. 38) afirma que dicho manuscrito, fechado en 1716, se conserva en la Bibliotheque National (Paris) *mss. Française*, n° 9671. Aunque nosotros no hemos podido consultarlo, tampoco nos extraña ni contradice lo expuesto en el texto, esta adscripción tan temprana de Delisle a las tesis de su compatriota. Unos años más tarde, en 1737, perfectamente informado de las primeras conclusiones que se derivaban de las operaciones llevadas a cabo por Maupertuis en Laponia, modificaría levemente su inicial compromiso. Queriendo tomar parte activa en los trabajos geodésicos para la resolución del tema de la figura de la tierra, propondrá al rey de Rusia la triangulación de una parte de su estado. A través de sus numerosos contactos consiguió publicar el proyecto en varias revistas, tales como las *Philosophical Transactions* (n.o 449, vol. 40, pp. 27-49), bajo el título: «A proposal for the Measurement of the Earth in Russia, read at a Meeting of the Academy of Sciences of St. Petersbourg.» También publicó un impreso en francés, *Projet de la mesure de la Terre en Russie, 10 dans l'Assemblée de l'Academie des Sciences de S. Petersbourg, le 21. Janvier. 1737 par M. de Lisie, premier Professeur d'Astronomie a S. Petersbourg* (S. Petersbourg, 1737), que al ser comentado en *Memoires des Trevoux* (38, 201-206, 1738) mereció el siguiente reproche: «Peut-etre paroitra-t-il a quelques-uns pencher un peu d'avance vers le système de M. Newton pour la mesure de la Terre.» En el mismo volumen [pp. 1131-2) se incluía un «Extrait d'une lettre de M. de l'Isle, écrite de Petersbourg, le 20 février 1738 au P.E.S.J.», que rectificaba algún error cometido en el *Projet...* Todos estos escritos, así como abundante información sobre su puesta en práctica, puede encontrarse entre los papeles de Delisle en el AOP, ms. A-7-7.

37. *Hist.* 1733. p. 56.

38. J. Delambre, *Grandeur et figure de la Terre*, Paris, 1912, pp. 24-5.

39. R. Taton, «Gian Domenico Cassini» in *DSB*, III, p. 103.

40. D. de Mairan, «Recherches géométriques sur la diminution des degrés terrestres en allant de l'équateur vers les pôles, où l'on exprime les conséquences qui en résultent tant a l'égard de la figure de la terre que de la pesanteur des corps et de s'accourcissement du pendule» in *Mem.* 1720, p. 60.

41. *Hist.* 1729. p. 51.

42. *Hist.* 1729; p. 61.

43. Un excelente análisis de los temas abordados en el párrafo puede encontrarse en P. Casini, *El universo máquina*. Barcelona, 1971. Y en J. Ehrard, *L'idée-de nature en France dans la premiere moitié du XVIII eme. siecle*, Paris, 1963.

44. J. R. D'Alembert, *Discurso preliminar de la Enciclopedia* (1751). La cita procede de la edición castellana de Consuelo Bergés y Antonio Rodríguez Huescar, publicada por Aguilar en Madrid. 1974, p. 113.

45. Ver Ch. C. Gillispie «Fontenelle and Newton» in I. B. Cohen (ed.), *Isaac Newton's Papers and Letters on Natural Philosophy*, 2ª ed., Cambridge (Massachusetts), 1978, pp. 427-443.

46. Voltaire, «Sobre Descartes y Newton» in *Cartas filosóficas*. Madrid, 1976, pp. 117- I 122. Edición preparada para la Editora Nacional, Fernando Savater.

47. Fontenelle, «The Elogium of Sir Isaac Newton» (Londres, 1728) in I. B. Cohen (ed.), *Isaac Newton's Papers...*, op. cit., pp. 453-4. En su versión francesa el «Eloge de M. Newton» fue incluido en *Hist.* 1727, pp. 151-172.

48. El texto procede de la carta escrita a La Condamine el 22 de junio de 1734. Cf. *The Complete Works of Voltaire*, Institut et Musée Voltaire, Geneve. University of Toronto Press. D 759.

49. D'Alembert, *Essai sur les éléments de philosophie ou sur les principes de connaissances humaines*, París, 1759. Un interesante análisis del tema apuntado por nosotros puede encontrarse en Th. L. Hankins, *Jean D'Alembert. Science and the Enlightenment*, Oxford, 1970. En especial pp. 109 ss.

50. A. Maury, *L'Ancienne Académie des Sciences*, París, 1864, p. 55.

51. J. T. Desaguliers, «A Dissertation concerning the Figure of the Earth» in *Philosophical Transactions*, 33, n.º 386, 387 Y 388; pp. 201-222, 239-255, 277-304 Y 344-5 1724-5. Sobre estas memorias ver P. L. Maupertuis, «Examen des trois dissertations que monsieur Desaguliers a publiés sur la figure de la Terre. in *Examen desinteressé .des differens ouvrages qui ont été faits pour determlner la figure de la terre*, Oldenbourg, 1738.