

Cuadernos Valencianos  
de  
Historia de la Medicina  
y de la Ciencia

IL

SERIE A  
(MONOGRAFÍAS)

ANTONIO E. TEN

# ***MEDIR EL METRO***

***La historia  
de la  
prolongación del arco  
de meridiano  
Dunkerque-Barcelona,  
base del  
Sistema Métrico  
Decimal***



INSTITUTO DE ESTUDIOS DOCUMENTALES  
E HISTÓRICOS SOBRE LA CIENCIA  
UNIVERSITAT DE VALÈNCIA - C. S. I. C.

VALENCIA, 1996

# **MEDIR EL METRO**

**La historia de la prolongación del arco de meridiano  
Dunkerque-Barcelona,  
base del Sistema Métrico Decimal**

CUADERNOS VALENCIANOS DE HISTORIA DE LA MEDICINA  
Y DE LA CIENCIA  
IL  
SERIE A (MONOGRAFÍAS)

---

ANTONIO E. TEN

# MEDIR EL METRO

La historia de la prolongación del  
arco de meridiano Dunkerque-Barcelona,  
base del Sistema Métrico Decimal



INSTITUTO DE ESTUDIOS DOCUMENTALES  
E HISTÓRICOS SOBRE LA CIENCIA  
UNIVERSITAT DE VALÈNCIA-C.S.I.C.  
VALENCIA, 1996

**IMPRESO EN ESPAÑA**

**PRINTED IN SPAIN**

**I.S.B.N. 84-370-2344-0**

**DEPÓSITO LEGAL: V. 1.646 - 1996**

**ARTES GRÁFICAS SOLER, S. A. - LA OLIVERETA, 28 - 46018 VALENCIA**

*Pour Antoni*

## Agradecimientos

Muchas personas forman parte de la ya larga historia de este libro. Con Pierre Costabel, maestro y guía de mis primeros pasos en Francia, tengo una deuda eterna. René Taton, que me animó a trabajar sobre Arago como geodesta, llenó buena parte del vacío que el Père dejó. A Guy Beaujouan y a Suzanne Debarbat debo la conclusión de trabajos que nunca se terminaban y gran parte del alimento espiritual y físico que me mantuvo en París. Josette Alexandre fue una verdadera hada madrina en mis tropezones por los archivos. Mme. Chaprout-Touzé y M. de Kergröen, del *Bureau des longitudes*, me abrieron sus puertas y materiales de trabajo. A ellos debe acompañar el recuerdo de muchos otros conservadores de archivos a cuyo interés debo el haber podido disponer de la documentación inédita utilizada aquí y en otros de mis trabajos.

Los miembros de mi equipo de investigación José Vicente Aznar, José Ramón Bertomeu, Joaquín Castro, Antonio García Belmar, Federico Salvador y Fernando Soto, participaron de la aventura y con sus trabajos completaron el programa del que este libro es una parte.

Finalmente, este libro no hubiera podido surgir sin la decidida colaboración de Vicente Zorrilla, que luchó contra las dificultades técnicas de composición del manuscrito y las venció. A todos ellos mi agradecimiento.

# Sumario

<b>Introducción</b> .....	13
Capítulo primero	
<b>La elección de un patrón universal</b> .....	19
La propuesta de Talleyrand .....	22
Bureaux de Pussy y la escala decimal .....	30
Las primeras dificultades .....	36
El informe de 19 de Marzo de 1791 .....	42
Capítulo II	
<b>El problema de la figura de la Tierra y la medición del meridiano de Paris</b> .....	53
Una polémica interesada .....	53
Las expediciones a Perú y Laponia .....	63
La segunda medición del meridiano de Paris .....	66
«La verdadera longitud de los grados del meridiano de Francia» ...	72
¿Una mayor exactitud? .....	73
Capítulo III	
<b>La longitud del metro</b> .....	81
La determinación del metro. El «metro provisional» .....	81
El metro definitivo .....	88
Capítulo IV	
<b>El problema matemático. La teoría del arco independiente del achatamiento de la Tierra</b> .....	97
El paralelo 45 .....	97
La teoría del arco independiente del achatamiento de la Tierra ..	101

## Capítulo V

### **La prolongación del meridiano de París hasta las islas**

<b>Baleares. La primera expedición de Méchain .....</b>	<b>107</b>
La primera idea de la prolongación .....	107
Las operaciones geodésicas en la Península y las islas Baleares .....	113

## Capítulo VI

### **El segundo viaje de Méchain a España .....** **121** |

Los preparativos del viaje .....	121
Los primeros problemas .....	131
Los trabajos en las islas Baleares .....	142
La prolongación de la cadena continental hacia las costas de Valencia .....	153
La interrupción de los trabajos .....	158
El balance económico de la expedición Méchain .....	160

## Capítulo VII

### **La continuación de las medidas. ....** **163** |

La expedición Biot-Arago .....	163
Los primeros pasos hacia la continuación de las medidas .....	163
Cambios en el proyecto de Méchain .....	169
La medida del gran triángulo .....	172
La cadena litoral valenciana .....	179
La continuación de las operaciones en las Baleares y el arco de paralelo .....	180

## Capítulo VIII

### **La medida del péndulo .....** **187** |

Un nuevo programa de investigación .....	187
Las operaciones bajo el paralelo 45 .....	190
La longitud del péndulo y la latitud de Dunkerque .....	192
Las medidas en tierras inglesas .....	195
La figura de la Tierra .....	201

### **Índice onomástico .....** **203** |

## Introducción

Para la Historia general, y así puede leerse en los manuales, el punto final a la Historia de la determinación del metro se sitúa el 19 Frimaire an VIII. Tal día, un 10 de Diciembre de 1799 de nuestro calendario, la comisión correspondiente del Conseil des anciens aceptó la propuesta de la conferencia internacional de sabios reunida en París por Charles Maurice de Talleyrand, ministro de asuntos exteriores de Napoléon, y decretó que la nueva unidad de medida tendría una longitud de 443,296 líneas de la toesa llamada «de l'Académie», en una Tierra cuyo achatamiento polar se estimaba en  $1/334$ .

Con esta medida, el Sistema métrico decimal, el nuevo sistema de pesas y medidas, se fundaría por fin en un patrón universal, sacado directamente de la Naturaleza e independiente de todos los hombres y todos los pueblos. Sin privilegiar a ninguno de ellos, la nueva medida, el «metro», podría servirlos a todos... si se conseguía que lo aceptaran. A partir de ese momento, el problema fundamental para el nuevo sistema sería el de su implantación y no el de su base científica.

Esta visión de los hechos, recogida por la mayor parte de los historiadores generales que se han acercado a la historia del Sistema métrico decimal, y de ellos por algunos científicos incluso, olvida episodios cruciales de la historia científica, social y humana del nuevo patrón de medida. Y ello es comprensible: definido el nuevo patrón, recogidas las operaciones fundamentales para su determinación en la *Base du système métri-*

que<sup>1</sup>, la obra de los dos astrónomos que realizaron las mediciones geodésicas, Delambre y Méchain, destinada a transmitir al mundo la memoria de la gesta científica, la «historia interna» de los orígenes del sistema parecía cerrada. Quedaba la historia de su implantación y las sucesivas leyes al respecto parecían dar buena cuenta de esta historia. Las obras de Bigourdan y Favre<sup>2</sup> sobre el tema, constituyen la fuente en que han bebido las obras posteriores y pocas investigaciones nuevas se han producido hasta el momento.

Sin embargo, algunas lagunas aparecían en esta «historia». En su popular obra *Histoire de ma jeunesse*<sup>3</sup>, François Arago cuenta la crónica de su viaje a España, entre 1806 y 1808, para efectuar la prolongación del meridiano de París hasta las islas Baleares. El resultado de las medidas, con los de la prolongación por tierras boreales, apareció publicado en la obra de Biot y Arago, *Recueil d'observations astronomiques, géodésiques et physiques...*<sup>4</sup>, llamado a veces el «cuarto tomo» de la *Base du système métrique*, y desde entonces, algunas obras han conservado la memoria de las operaciones geodésicas que continuaron la labor de Delambre y Méchain entre Dunkerque y Barcelona. Notables también eran las obras de Geodesia

<sup>1</sup> DELAMBRE J.B., MÉCHAIN P.A. (1806-1810) *Base du système métrique*. 3 vols. Paris.

<sup>2</sup> BIGOURDAN G. (1901) *Le système métrique des poids et mesures*. Paris, Gauthier-Villars. FAVRE A. (1931) *Les origines du système métrique*. Paris, PUF.

<sup>3</sup> ARAGO F. (1985) *Histoire de ma jeunesse*. Paris, Christian Bourgois. Edición española en la colección Austral de la editorial Espasa-Calpe, Buenos Aires, 1946.

<sup>4</sup> BIOT, J. B.; ARAGO, F. (1821) *Recueil d'observations astronomiques, géodésiques et physiques, exécutées par ordre du Bureau des Longitudes de France, en Espagne, en France, en Angleterre et en Ecosse, pour déterminer la variation de la pesanteur et des degrés terrestres sur le prolongement du méridien de Paris, faisant suite au troisième volume de la Base du Système métrique*. Paris, Vve. Courcier.

teórica y práctica que a lo largo del siglo XIX aprovecharon, citándolos, los avances científicos producidos por estos trabajos geodésicos posteriores a la adopción del «metro definitivo». Estas «lagunas» permitían entrever la importancia de unas operaciones geodésicas prácticamente olvidadas por la historia de la ciencia y que constituyeron la base de los progresos de la Geodesia moderna y de la Trigonometría esférica.

La primera persona, y prácticamente la única, que se dedicó a estudiar las circunstancias históricas en que estas operaciones se desarrollaron, fue el astrónomo del Observatorio de París Guillaume Bigourdan, quien dedicó a los trabajos de P.A. Méchain en tierras españolas un importante artículo<sup>5</sup>, fundado sobre correspondencia y materiales inéditos. Las escasas publicaciones que tratan el tema con posterioridad a Bigourdan lo hacen sobre sus materiales. Curiosamente, Bigourdan, autor del catálogo de manuscritos del archivo del observatorio de París que aún se utiliza, no incluyó en él dichos materiales. Considerados perdidos y reencontrados hace pocos años, gracias a los desvelos de Josette Alexandre, bibliotecaria del Observatorio de París, fueron introducidos en dicho catálogo.

Parecida suerte corrieron otros materiales contemporáneos. Dependientes las operaciones del Bureau des longitudes y dispersados los archivos de este organismo, recientemente se ha conseguido recuperar documentos producidos en el curso de las operaciones geodésicas que siguieron a la promulgación del «metro definitivo». Entre dichos documentos, los pertenecientes a Delambre ofrecen también informaciones extraordinariamente interesantes para esclarecer puntos que las histo-

<sup>5</sup> BIGOURDAN G. (1900) La prolongation de la méridienne de Paris, de Barcelone aux Baléares, d'après les correspondances inédites de Méchain, de Biot et d'Arago. *Bulletin astronomique*, XVII, 348-368; 390-400; 467-480.

rias anteriores habían mantenido en la oscuridad<sup>6</sup>. Por fin, los archivos nacionales españoles y franceses han dado a luz, recientemente, documentos importantes para completar la historia científica del Sistema métrico decimal en las primeras décadas del siglo XIX.

Sobre dichos documentos, que hemos tenido la suerte de ser los primeros en consultar desde hace prácticamente un siglo, hemos realizado diversos estudios parciales<sup>7</sup>. De ellos, ha comenzado a surgir la historia olvidada de una gran operación científica que merecía ser rescatada. La presente monografía trata de presentar, con los materiales aportados en dichos estudios y con otros completamente inéditos, una reconstrucción de estos primeros trabajos de prolongación del arco de meridiano que se tomó como base para la determinación del «metro definitivo» y las razones que a ellos impulsaron.

<sup>6</sup> Un catálogo de dichos documentos puede encontrarse en CHAPRONTOUZE M. (1985) *Catalogue des manuscrits du Bureau des longitudes. Fasc. 1: Manuscrits Delambre*. Paris, Bureau des longitudes (Notes scientifiques et techniques, 8 008)

<sup>7</sup> TEN A.E. (1993) L'Académie des sciences et les origines du système métrique décimal. en: DEBARBAT S; TEN A.E. (Eds.) (1993) *Mètre et Système métrique*. Paris/Valencia, Observatoire de Paris/IEDHC, pp.15-32; TEN A.E. (1990) Le problème du 45e parallèle et les origines du système métrique décimal. en: *SCIENTIFIQUES et sociétés pendant la révolution et l'empire*. Paris, CTHS, 441-452.

La participación de científicos españoles en sus primeros momentos ha sido objeto de nuestro trabajo TEN A.E. (1989) El Sistema métrico decimal y España. *Arbor*, 134, 101-121. Los trabajos de Méchain, Biot y Arago en



**Medalla conmemorativa de la fundación del Sistema métrico**

la prolongación del arco Dunkerque-Barcelona hasta las islas Baleares los hemos estudiado brevemente, por fin, en nuestros trabajos TEN A.E. (1988) *Les expéditions Méchain et Biot-Arago et le prolongement de la méridienne de Paris jusqu'aux îles Baléares.* en: LACOMBE H.; COSTABEL P. (Dir.) *La figure de la Terre, du XVIII<sup>e</sup> siècle à l'ère spatiale.* Paris, Gauthier-Villars, 245-264, y TEN A.E. (1987) *Arago géodésien. Cahiers de l'université de Perpignan, II,* 67-89.

Junto a ellos, hemos dedicado otros trabajos a aspectos puntuales de esta historia y a sus protagonistas menores, como el Barón de la Puebla o Fray Agustín Canellas, ayudantes esporádicos de Méchain durante sus trabajos por tierras españolas, entre los que cabe citar TEN A.E (1984) *La obra científica del astrónomo Fausto Vallés y Vega, barón de la Puebla. Estudis, Revista de Historia moderna, 11,* 143-159.

## Capítulo primero

### La elección de un patron universal

Vista con la perspectiva de los siglos, la Revolución francesa significa, sin duda, el final del viejo orden feudal europeo. Tímidamente al principio; con inmensa fuerza después, las ansias de libertad e igualdad, fecundadas por utópicos pensadores, aprovechadas por políticos astutos y demagogos iluminados, alumbraron un nuevo orden. Para el «bien de la Humanidad», se abolieron leyes y se promulgaron otras; se derrumbaron barreras y se levantaron otras. La posterior marcha de los acontecimientos, depuró los proyectos irreales y afianzó los realizables.

De estos primeros momentos quedan, sin embargo, los más bellos. Así, entre todos los monumentos erigidos por la Revolución francesa y que han perdurado a través del tiempo, dos merecen sin duda el calificativo de universales en sus alcances y en sus consecuencias. Uno de ellos toca a la condición humana: la Declaración de los derechos del hombre; el otro, el Sistema métrico decimal, de alcances menos programáticos, no fue, no obstante, menos rico en consecuencias ni inmortaliza menos la labor de quienes se propusieron acabar con el viejo orden en Europa.

El Sistema métrico decimal es, así lo reconocieron sus propios autores, el mayor logro científico que la Francia revolucionaria ofreció al mundo. Ciertamente sus ideas fundacionales no eran nuevas: proyectos de uniformización de pesas y

medidas existen desde que los primeros imperios pugnaron por afirmarse en el mundo y se ha reconocido que constituyen uno de los caracteres que definen el estado moderno europeo<sup>1</sup>; medidas sacadas de la Naturaleza habían sido seriamente propuestas en Europa desde el siglo XVII<sup>2</sup>; la escala decimal, por fin, había sido propuesta como base de un nuevo sistema de pesos y medidas desde hacía más de un siglo y era reconocida por los sabios como la más cómoda y natural para los cálculos científicos y comerciales<sup>3</sup>. El espíritu con que sus proponentes de 1790 y la Asamblea nacional francesa que lo acogió, lo impulsó y lo aprobó, lo plantearon, si era, sin embargo, radicalmente nuevo. La unificación de los pesos y medidas se concibió desde el principio como un ataque más a la barbarie feudal contra la que se levantaron los franceses más lúcidos en 1789. Como tal, el nuevo sistema de pesos y medidas quedaría indisolublemente unido a la revolución de la que iba a nacer.

Así, cuando al menos 310 delegaciones a los Estados generales convocados por Luís XVI de Francia en 1788, introdujeron en sus *Cahiers de doléances* la petición de una reforma de los pesos y medidas, solicitaban remedios contra un mal lacerante. Cuando Charles Maurice de Talleyrand, en su famosa *Proposition* (1790)<sup>4</sup> y con mayor rotundidad Bureaux de Pussy en

<sup>1</sup> MARAVALL D. (1972) *Estado moderno y mentalidad social*. Madrid, Revista de Occidente.

<sup>2</sup> COSTABEL P. (1987) Picard et l'étalon universel de longueur fondé sur le pendule. en: PICOLET G. (Ed.) (1987) *Picard et les débuts de l'Astronomie de précision au XVIIe siècle*. Paris, CNRS, 315-318.

<sup>3</sup> CALVERT H.R. (1936) Decimal division of scales before the metric system. *Isis*, 25, 433-436. HELLMAN C.D. (1931) Jefferson's efforts towards the Decimalization of United States Weights and Measures. *Isis*, 16, 266-314.

<sup>4</sup> TALLEYRAND Ch. M. (1790) *Proposition faite à l'Assemblée Nationale sur les poids et mesures*. Paris, Imp. nationale.

su *Opinion*<sup>5</sup>, clamaron por la necesidad de un nuevo sistema, iban mucho más allá. En las bellas palabras de Bureaux de Pussy se traduce con rotundidad el nuevo espíritu que animaba a los reformadores:

...La diversité gothique de nos Mesures s'est perpetuée, elle rend étrangères, les unes à l'égard des autres, les Provinces d'un même empire, les Villes, les Campagnes d'une même Province, quelquefois jusqu'aux différens quartiers d'une même Cité; et dans un âge de lumières, nous sommes encore gouvernés par des institutions absurdes, humiliantes, dont nos aïeux avoient déjà commencé à rougir dans des siècles d'ignorance et de grossiereté.

Il est temps d'effacer cette tache: il appartient à l'Assemblée Nationale, qui n'a d'autre but que l'utilité commune, de faire disparaître tous les obstacles qui s'opposent à l'entière régénération de l'ordre public, et sans doute Elle ne souffrira pas que dans le champ qu'Elle prépare avec tant d'activité à la prospérité et à l'abondance, une ronce stérile et parasite échappe seule à la moisson des abus... (pp. 14-15).

Para la mayor parte de las asambleas que prepararon los *cahiers de doléances*, la cuestión principal era más el asegurar medidas fijas e invariables que introducir medidas universales más o menos científicas, y así lo reflejaron sus *cahiers*. Tal había sido tradicionalmente el sentido en que en todas las naciones europeas y en las diversas ocasiones en que se había planteado desde la Edad Media. Los distintos intentos producidos hasta entonces no iban más allá de prescribir la utilización general de las medidas y los pesos de determinadas locali-

<sup>5</sup> DE BONNAY Marquis de (1790) *Rapport fait au nom du comité d'agriculture et commerce, sur l'uniformité à établir dans les Poids et Mesures, par \_\_, Député du Nivernois, Membre de ce comité, et Opinion de M. Bureaux de Pussy, Sur le même sujet. Imprimés ensemble par ordre de l'Assemblée Nationale, Du 6 Mai 1790, au soir.* Paris, Imp. nationale.

dades o determinados gremios en cada uno de estos países. Sin embargo, en el ambiente de renovación en que se produjo, la propuesta revolucionaria se planteaba horizontes más amplios.

### **La propuesta de Talleyrand**

Desde el principio apareció claro a un político pragmático como Talleyrand, obispo de Autun en la época, delegado a los Estados Generales y primer proponente de prestigio de la idea de unificación en el seno de la Assemblée Nationale, que un nuevo sistema de pesos y medidas solo podía conducir a la superación de los viejos modos si era, o podía llegar a ser, verdaderamente universal. Acordes con ello, esta idea obligaría a los nuevos legisladores de la Francia revolucionaria a rechazar como base del nuevo sistema cualquier medida asociada a una localidad o país determinado y a ir más allá de lo propuesto por las asambleas que propugnaron la realización de la reforma en sus *cahiers*. La nueva medida que la Francia revolucionaria se aprestaba a ofrecer al mundo para desterrar los modos bárbaros y los abusos feudales, no solo no debía estar asociada desde el principio a país alguno, sino que su determinación debía ser lo más internacional posible. Descartadas a priori la política y el comercio, solo la ciencia podía proporcionar tal medida.

Con este espíritu debió afrontar Talleyrand, ciertamente apoyado en los buenos consejeros que él mismo nos reseña: Lagrange, Laplace, Monge, Condorcet, Vicq d'Azir y La Har-

pe<sup>6</sup>—en coincidencia, según nos informa Lalande<sup>7</sup>, con la Académie des sciences, que el 27 de Junio de 1789 había creado una comisión para «travailler à la rédaction d'un plan pour l'uniformité des poids & des mesures»—, el problema de proponer a la Asamblea nacional francesa, la nueva medida.

El nacimiento de la propuesta de unificación que finalmente alcanzaría el éxito, aún parcial, que ahora contemplamos en nuestra propia civilización, no fue un alumbramiento sin complicaciones. Enfrentado a un cambio radical en usos consagrados por costumbres de siglos y asumidos como naturales por la generalidad de la población, Talleyrand, su propuesta y los que tras ella deslizaron sus propios intereses, muestran con claridad, ante el estudioso actual, los problemas con que se encuentran los procesos de creación verdaderamente importantes.

Advertido de los requisitos mínimos para que cumpliera sus objetivos, en su propuesta debió pretender Talleyrand superar en la medida de lo posible los viejos patrones antropocéntricos y particulares de una u otra región y circunstancia histórica por nuevas unidades fundadas en la Naturaleza. Bien conocidas eran ya las innumerables y fracasadas iniciativas reales y legislativas tendentes a unificar el caos metrológico en la mayor parte de las naciones cultas. Los intereses nacionales surgían con fuerza ante las propuestas de adoptar, en busca de la universalidad, incluso las medidas más utilizadas, la toesa francesa en particular.

<sup>6</sup> TALLEYRAND Ch. M. (1982) *Mémoires*. Paris, Plon, p. 168.

<sup>7</sup> LALANDE J. (1790), Proposition faite à l'Assemblée Nationale sur les poids & mesures, par M. L'Évêque d'Autun. *Journal des Sçavans*, Avril, 1790, p. 237.

Por ello pidieron, sin duda, el prudente legislador y sus consejeros, que la nueva medida no pudiese en modo alguno asociarse a su propio país y en tal sentido redactó y presentó sus ideas ante la Asamblea Nacional francesa. Sin embargo, pese al papel que la historia le ha atribuido, ninguna de las propuestas iniciales de Talleyrand se encuentra en la base de las ideas fundacionales del sistema métrico decimal que ahora conocemos. Por razones todavía complejas de aprehender<sup>8</sup>, la primera propuesta del obispo de Autún se transformó, en el seno de la Académie des sciences francesa y en menos de un año, en el sistema que ha conseguido convertirse en prácticamente universal.

La importancia de la propuesta de Talleyrand no es por ello menor; antes bien ilustra el estado de las ideas de su titular y sobre todo, con sus contradicciones, las del grupo de científicos que lo aconsejó, en estos momentos fundacionales. Detengámonos por el momento en el texto de esta propuesta:

La realización práctica de las ideas de Talleyrand y de sus consejeros, puede encontrarse, en efecto, en lo que se ha considerado el primer documento oficial del nuevo sistema de pesos y medidas, su *Proposition faite à l'Assemblée Nationale sur les poids et mesures par M. l'Evêque d'Autun*, impresa meses antes y presentada ante la Asamblea nacional el 27 de Marzo de 1790.

Tras analizar la caótica situación en que se encontraban los pesos y medidas en las distintas villas de Francia y rechazar la uniformización sobre la base de la vieja toesa de París, este importante documento continúa:

<sup>8</sup> TEN A.E. (1993) L'Académie des sciences et les origines du système métrique décimal. en TEN A.E., DEBARBAT S. (Eds.) (1993) *Mètre et système métrique*. Paris/Valencia, Observatoire de Paris/IEDHC. V. esp. pp. 26-30.

Lorsqu'une nation se détermine à opérer une grande réforme, il faut qu'elle évite, qu'elle redoute même de opérer à demi, pour n'être plus obligée d'y revenir; & s'il s'agit d'une réforme dans les poids & mesures, il ne suffit pas de les réduire à un seul poids, à une seule mesure, comme on pourroit aisément le faire par le moyen indiqué; il faut, pour que la solution du problème soit parfaite, que cette réduction se rapporte à un modèle invariable pris dans la nature, afin que toutes les Nations puissent y recourir dans le cas où les étalons qu'elles auroient adoptés viendroient à se perdre ou à s'altérer: or l'étalon de poids qui se trouve à Paris, n'a été déterminé sur aucune mesure naturelle; même on a ignoré jusqu'à ces derniers tems si la nature pouvoit fournir à cet égard un modèle. Quant à la toise. elle a été, il est vrai, rapportée par M. de Mairan, à la longueur du pendule qui bat les secondes à Paris; mais cette opération, quelque degré de confiance qu'elle ait acquise parmi nous, n'a pas été faite avec la solemnité nécessaire pour fixer irrévocablement l'opinion de toutes les nations éclairées.

Il conviendrait donc en ce moment, & c'est le voeu connu d'un grand nombre de Savants, de faire une nouvelle opération dont l'exactitude fut appuyée sur des preuves & des témoignages irréfragables, & dont les résultats pussent présenter aux yeux de toute l'Europe un modèle inaltérable de mesures & de poids.

Deux méthodes principales pour parvenir à ce but ont été déjà indiqués par de célèbres academiciens du siècle & sur tout de celui-ci.

La première consisteroit à adopter pour élément de nos mesures linéaires la soixante-millième partie de la longueur du degré du méridien coupé en deux parties égales par le quarante-cinquième parallèle, & dont la longueur a été déterminée à 57,030 toises par M. De la Caille. Cette mesure élémentaire s'est trouvée avoir 5 pieds 8 pouces un quart; elle s'appelleroit un milliaire. Mille milliaires feroient une mille,

trois mille feroient une lieue; & vingt lieues composeroient un degré. Le milliaire tiendroit lieu de la Toise, dont il ne différoit que de 42 lignes 3 quarts, & se diviseroit comme elle en 6 parties, dont chacune représenteroit un pied.

Cette idée est juste; mais dans l'exécution elle ne promet pas une exactitude assez rigoureuse. Les personnes les plus exercées dans ce genre d'opérations, s'accordent à penser qu'on ne peut répondre d'une erreur de 34 toises; ce qui en produiroit une sensible, c'est-à-dire d'environ une demi-ligne, sur la longueur du milliaire mesuré en différens tems. Il faudroit d'ailleurs un concours d'hommes singulièrement habiles, & des instruments travaillés avec une perfection infiniment rare.

La seconde méthode offre plus de facilités dans l'exécution. ses nombreux partisans ont conseillé de prendre pour mesure élémentaire la longueur du pendule simple à secondes par la latitude de 45 degrés. Ils ont préféré ce point comme étant terme moyen entre l'Equateur & le Pôle: on donneroit alors à l'aune la longueur exacte de ce pendule, à notre toise le double de cette longueur, & la toise se subdiviseroit en pieds, pouces & lignes, suivant les rapports connus de ces subdivisions...

La longueur du pendule par la latitude de 45 degrés a été déjà calculée; elle s'est trouvée de 36 pouces 8 lignes 52 centièmes; mais comme elle n'a pas été déterminée par une expérience faite sous ce parallèle, & qu'il peut y avoir une erreur d'un dixième de ligne, il faudroit la recommencer sous la latitude même...

Talleyrand, y sus consejeros, proponen pues la longitud del péndulo que bate segundos a la latitud de 45 grados, como base del nuevo sistema de pesos y medidas, y explícitamente la prefieren a la medida del grado de meridiano cortado en su mitad por el paralelo 45, bien determinada por De laCaille en 1758 tras un nuevo cálculo fundado sobre las medidas tomadas por Cassini de Thury.

Nuevo adepto a una vieja causa por la que algunos científicos habían clamado desde hacía más de un siglo y que en Picard había encontrado su exponente más conocido, en su empeño coincidía en el tiempo Talleyrand con un miembro de la Cámara de los comunes inglesa, también apasionado defensor de una medida universal fundada en la Naturaleza, Sir John Miller.

El par británico había presentado en efecto, meses antes, desde el 24 de Julio de 1789, una iniciativa formalmente coincidente con la de Talleyrand ante el parlamento de su país y en tal sentido había intercambiado correspondencia con el francés<sup>9</sup>. Fue Miller incluso quien aconsejó a Talleyrand sobre el mejor modo en que la joven Asamblea nacional francesa podía dirigirse al rey de Inglaterra para solicitar la constitución de una comisión conjunta para proponer el sistema más adecuado de nuevas unidades y realizar los trabajos necesarios para su determinación. En su «fervor» democrático había este recomendado que la Asamblea Nacional se dirigiese directamente al parlamento de Inglaterra sin contar con sus respectivos monarcas.

La propuesta de Talleyrand no era la única presentada ante la Asamblea Nacional sobre la unificación de pesos y medidas. Antes que la suya se habían recibido otras, que sin más consecuencias habían sido remitidas al comité de agricultura y comercio recientemente creado, como recogen las actas de este. El comité, a su vez, había pedido opinión a la Sociedad Real de Agricultura, que, en un informe de Abeille y Tillet<sup>10</sup>, posterior

<sup>9</sup> MILLER J.R. (1790) *Speeches in the House of Commons upon the Equalization of the Weights and Measures*. London, J. Debrett.

<sup>10</sup> ABEILLE & TILLET. (1790) *Observations de la société royale d'agriculture, sur l'uniformité des poids & mesures, rédigées par MM. — Membres de cette société*. Paris.

a la propuesta de Talleyrand, no veía más problema para la unificación que hacer aceptar las medidas de París en todo el reino y así lo elevó ante la Asamblea Nacional. El nuevo proponente, más hábil, consciente, como reconoce en sus memorias, de la importancia y prestigio alcanzable con la cuestión, se aseguró antes el protagonismo y el éxito. A su creciente significación y consideración como pionero del acercamiento del clero al tercer estado en los tensos momentos en que los Estados generales convocados por Luís XVI estaban transformándose en la revolucionaria Asamblea Nacional, Talleyrand unió una buena campaña publicitaria que había puesto la *Proposition* en manos de todos los diputados con la antelación, los respaldos científicos y los apoyos políticos suficientes para ser aceptada.

Presentada efectivamente la proposición ante la Asamblea Nacional, fue formalmente enviada a su comité de agricultura y comercio. Debatida en él y sobre un informe de su presidente, el Marqués De Bonnay, acompañado de la *Opinión*, también impresa, del diputado Bureaux de Pussy, cuyas grandilocuentes palabras hemos recogido, el nuevo órgano legislativo de la Francia revolucionaria aprobó, por decreto de 8 de Mayo de 1790, una proposición prácticamente idéntica a la presentada por Talleyrand, ligeramente corregida, con su acuerdo, por De Bonnay:

Projet de décret.

L'Assemblée Nationale desirant faire jouir à jamais la France entière de l'avantage qui doit résulter de l'uniformité des Poids et Mesures, et voulant que les rapports de les anciennes Mesures avec les nouvelles soient clairement déterminés et facilement saisis, décrète, que Sa Majesté sera suppliée de donner des ordres aux administrateurs des divers Départements du Royaume, afin qu'elles se procurent, &

qu'elles se fassent remettre par chacune des Municipalités comprises dans chaque Département, et qu'elles envoient à Paris, pour être remis au Secrétaire de l'Académie des Sciences, un modèle parfaitement exact des différens Poids et des Mesures élémentaires qui y sont en usage.

Décrète ensuite, que le Roi sera également supplié d'écrire à Sa Majesté Britannique, et de la prier d'engager le Parlement d'Angleterre à convenir avec l'Assemblée Nationale à la fixation de l'unité naturelle de Mesures et de Poids: qu'en conséquence, sous les auspices des deux Nations, des Commissaires de l'Académie des Sciences de Paris pourront se réunir en nombre égal avec des membres choisis de la Société Royale de Londres, dans le lieu qui sera jugé respectivement le plus convenable, pour déterminer à la latitude de 45 degrés, ou toute autre latitude qui pourroit être préférée, la longueur du pendule, et en déduire un modèle invariable pour toutes les Mesures et pour les Poids; qu'après cette opération, faite avec toute la solennité nécessaire, Sa Majesté sera suppliée de charger l'Académie des Sciences de fixer avec précision pour chaque municipalité du Royaume, les rapports de leurs anciens Poids et Mesures avec le nouveau modèle, et de composer ensuite, pour l'usage des municipalités, des livres usuels et élémentaires, où seront indiquées avec clarté toutes les proportions.

Décrète en outre, que ces livres élémentaires seront adresses à-la-fois dans toutes les Municipalités, pour y être répandus et distribués; qu'en même temps il sera envoyé à chaque Municipalité un certain nombre de nouveaux Poids et Mesures, lesquelles seront delivrées gratuitement par elles à ceux que ce changement constitueroit dans des dépenses trop fortes. Enfin, que six mois seulement après cet envoi, les anciennes Mesures seront abolies, et seront remplacées par les nouvelles.

## **Bureaux de Pussy y la escala decimal**

Pero este no fue el único acuerdo sobre pesos y medidas tomado en la asamblea del 8 de Mayo. Su protagonista, Bureaux de Pussy, al que hemos escuchado en su defensa de un nuevo orden metrológico, iba a introducir por primera vez en la historia oficial del nuevo sistema de pesos y medidas, una idea de dilatadas consecuencias, tan importante o más que la de un nuevo patrón universal fundado en la Naturaleza: la escala decimal para todas las medidas.

En efecto, esta idea, ausente de los primeros planes de Tallyrand y sus consejeros científicos, se iba a convertir en el primer fruto duradero del nuevo espíritu revolucionario. En su defensa de un nuevo sistema de pesos y medidas, Bureaux de Pussy entra también en el secular problema de la ley y de la división de las monedas, el instrumento fundamental del intercambio económico. Oigamos de nuevo al legislador francés en su opinión:

Le point fondamental de l'opération consiste donc à fixer le module primitif linéaire, et sur cet objet je n'ai rien à ajouter à ce que vous ont proposé M. L'Evêque d'Autun et votre Comité...

Je me bornerai donc à vous soumettre encore quelques réflexions que je ne crois pas sans importance.

Premièrement, quel que soit le module qui sera choisi, on pourroit desirer que les monnoies y fussent assujéties mais comme cet article est infiniment délicat, je sens qu'il ne peut être permis de prendre une détermination à cet égard, sans avoir rapproché et concilié les avis des savants et des Officiers des monnoies.

Dans ce moment je ferai seulement observer que la valeur des métaux variant selon leur plus ou moins grande abondance, ils ne peuvent, étant monnoyés, conserver à-la-fois le

même poids et le même valeur numéraire, à moins de faire une compensation par l'alliage; et comme cet alliage est toujours plus difficile à vérifier que le poids, il conviendrait peut-être de fixer invariablement le titre le plus convenable aux métaux fins monnoyés, afin que dans aucun cas on ne pût les faire varier que par le poids...

Secondement, après la détermination du module primitif de toutes les mesures, il se présente une autre question à résoudre; c'est celle de l'échelle numérique de leur division. Conservera-t-on celles qui existent aujourd'hui ou adoptera-t-on la division décimale? Dans mon opinion particulière, celle-ci mérite la préférence à tous égards...

Je n'ajouterai plus rien, Messieurs, à ces réflexions; il ne me reste qu'à appuyer, autant qu'il est en moi, une des plus intéressantes et des plus précieuses motions qui vous aient été soumises, convaincu que le Décret qui l'adoptera sera un élément essentiel de la révolution...

Bureaux de Pussý no debió sentirse suficientemente seguro de la aprobación inmediata de su propuesta de adopción del sistema decimal. Hábilmente, para reforzarla, en una acción que iba a obligar a la Académie des sciences a asociarse, todavía más de lo previsto en el decreto propuesto por Talleyrand, a la reforma de los pesos y medidas, Bureaux de Pussý reclamó su participación en la decisión. Su discurso continúa con una nueva proposición de resolución de la Asamblea Nacional. De esta se pide que...:

Décrète de plus que l'Académie, après avoir consulté les officiers des monnoies, proposera son opinion sur la question de savoir s'il convient de fixer invariablement le titre des métaux monnoyés, de manière que les espèces ne puissent jamais éprouver d'altération que dans le poids, et s'il n'est pas utile que la différence tolérée dans les monnoies, sous le nom de remède, soit toujours en dehors, c'est-à-dire, qu'une pièce

puisse bien excéder le poids prescrit par la Loi, mais que jamais elle ne puisse lui être inférieur.

Enfin, que l'Académie indiquera l'échelle de division qu'elle croira la plus convenable, tant pour les poids que pour les autres mesures et les monnoies.

Encargando la decisión a la Académie des Sciences, Bureaux de Pussy debió estar seguro de ello, la única propuesta esperable era la por él avanzada. El sistema decimal, con sus problemas para la vida cotidiana de las gentes iletradas, era, con una mínima preparación y junto a sus ventajas científicas y matemáticas indudables, mucho más fácil de utilizar en las operaciones que un comercio desarrollado exigía. Asimismo, la adopción de un sistema numeral único presentaba la fundamental ventaja adicional de desterrar la bárbara mezcla de sistemas numerales que coexistían en la medida de cantidades distintas de las mismas magnitudes. En la división de las unidades monetarias, como en las ponderales o lineales, coexistían sistemas doudecimales, vigesimales o decimales, distintos en regiones y mercancías, que convertían en un caos la obtención de equivalencias y la determinación de precios y costos efectivos.

De acuerdo con los deseos de Bureaux de Pussy, este mismo 8 de Mayo de 1790 en que se aprueba la propuesta de Tallyrand, la Asamblea Nacional francesa acuerda someter a la Academia de Ciencias su demanda. El miércoles 19 de Mayo, el secretario perpétuo de la Academia, Condorcet, lee ante el pleno de la institución el decreto de la Asamblea Nacional con las demandas aprobadas el 8 de Mayo.

El mismo día, la Academia, tímida en sus acciones hasta ese momento, comienza a asumir su protagonismo. Para cumplir con las misiones encomendadas por la Asamblea Nacional, se

delibera para decidir si debe crearse una o dos comisiones de trabajo. Se decide crear una sola. Sometido a escrutinio el nombre de sus miembros, son elegidos los académicos Tillet, Condorcet, Laplace, Lavoisier, Borda, Lagrange y Coulomb<sup>11</sup>.

Concluidos los trabajos preparatorios, el miércoles 29 de Septiembre de 1790, los comisarios nombrados comienzan a exponer los resultados de sus deliberaciones, que continúan en las sesiones de 6, 13, 20 y 27 de Octubre. En este día se presenta ante el pleno de la academia el informe pedido sobre la ley de las monedas y el sistema numérico a emplear<sup>12</sup>. Como había previsto Bureaux de Pussy, en él aparece, sancionado por el prestigio de la institución, el primer elemento del nuevo sistema métrico: la escala decimal.

Así, en el documento que publica la *Histoire et mémoires de l'Académie Royale de Sciences*, correspondiente al año 1788 y en el que no encontramos entre los firmantes los nombres de Laplace y Coulomb, se afirma:

Il est utile que toutes les divisions des mesures, quel que soit l'usage auquel on les emploie, que celles des mesures de longueur, de surface & de contenance, que celles des poids, que celles des monnoies dans leurs valeurs nominales comme pour les pièces employées dans le commerce, soient assujeties à une même échelle. Enfin, l'échelle arithmétique doit servir de base à toutes ces divisions...

L'adoption de l'échelle arithmétique pour toutes les divisions, diminuera beaucoup les embarras qui doivent naître de l'établissement des nouvelles mesures, & tous ceux qui sauront l'arithmétique simple, pourront en calculer toutes les divisions, tandis que ceux qui savent calculer les anciennes

<sup>11</sup> Procès verbaux de l'Académie des Sciences (PVAS) Vol 109 (1790), p. 124.

<sup>12</sup> BORDA, LAGRANGE, LAVOISIER, TILLET & CONDORCET. (1990) Rapport fait à l'Académie des sciences. en *Histoire de l'Académie Royale des Sciences*, MDCCLXXXVIII, p. 1-6.

n'éprouveront aucun embarras, puisqu'ils pourront calculer les nouvelles avec encore plus de facilité.

On aurait pu proposer de changer aussi l'échelle arithmétique, & de prendre l'échelle duodécimale, c'est-à-dire, celle qui emploie onze chiffres, & qui suit la progression des puissances de douze; mais ce changement ajouté à tous les autres, en ôtant à ceux qui ne sont pas accoutumés au calcul, une base à l'aide de laquelle ils puissent entendre les changements & s'y conformer, en rendroit le succès presque impossible. Ajoutons que, non seulement il faudroit deux chiffres nouveaux, mais que l'arithmétique parlée a pour base l'arithmétique décimale, ce qui obligeroit à la changer encore, de manière que les effets de tous ces changements réunis, incommodes aux personnes les plus habituées à réfléchir, seroient insupportables à toutes les autres.

Nous concluons donc que l'échelle décimale doit servir de base à toutes les divisions, & que même le succès de l'opération générale sur les poids & mesures tient en grande partie à l'adoption de cette échelle...

Proféticas palabras las de los comisarios de la academia, que los hechos no vinieron sino a confirmar. Más que a la introducción de una medida «natural», cualquiera que esta fuese, a la nueva escala numérica general iba a deber el nuevo sistema sus apoyos más fuertes, tanto entre sus contemporáneos como en los decenios sucesivos.

El sistema decimal, aplicado a la división de cantidades utilizables en la vida cotidiana, parece ahora el único sistema admisible y racional. Sin embargo, aún en el momento actual, en la práctica diaria o en el lenguaje común, en muchas transacciones comerciales e incluso en usos científicos consagrados como inmutables, siguen utilizándose sistemas de unidades no fundados en la escala decimal. Desde la usual cuenta por cuartos y mitades o la utilización del sistema duodecimal

en los mercados a la cuenta sexagesimal del tiempo o las divisiones angulares, hasta la masiva utilización de sistemas binarios o exadecimales en los ordenadores, la actual civilización «decimal» coexiste con un mundo entre tradicional y futurista de sistemas de unidades a los que la costumbre y la utilidad aseguran larga vida.

Y es que la preferencia por el sistema decimal no es una necesidad esencial de la civilización, como puede aparecer ante la relativamente elevada cultura matemática media del mundo occidental. En las culturas tradicionales y en el comercio elemental, la facilidad de división de las unidades utilizadas impuso sistemas de unidades en que la base fuese lo más sencillamente divisible posible. Frente a una base decimal cuyos únicos divisores no triviales son el 2 y el 5, sistemas duodecimales, vigesimales y sexagesimales oponían mucho mayor número de divisores exactos. Para una cultura no matemática, la sucesiva división por mitades, tercios, cuartos, sextos, octavos, doceavos... exactos, ofrecía sin duda facilidades mucho mayores que la científica estratagema de la utilización de comas móviles decimales.

Pero los científicos y los comerciantes instruidos, cualquiera que fuese su nacionalidad no podían dejar de reconocer que en los cálculos complejos, los sistemas no decimales creaban mas dificultades de las que resolvían. En efecto, si la escala decimal no suscitó más que las discusiones o las airadas reacciones de los inmovilistas o de los cortos de espíritu, la nueva «medida universal fundada en la naturaleza» continuaría siendo por todo un siglo elemento de discusión.

Además del informe sobre el sistema decimal, la comisión da cuenta de sus trabajos para cumplir con las solicitudes del decreto sobre el nuevo patrón y la forma de introducirlo en departamentos y municipios. El mismo día 27 de Octubre y el

10 de Noviembre, Lavoisier lee ante la Academia la propuesta de instrucciones a los departamentos para que envíen a París un ejemplar de sus pesos y medidas. Aprobada la propuesta, el mismo día 10 se decide enviarla a la Asamblea Nacional, lo que Condorcet hace en carta de 11 de Noviembre. Aprobada por la Asamblea ese día, se envía a los departamentos.

### **Las primeras dificultades**

El 22 de Mayo de 1790, antes por tanto de la proclamación oficial de Luis XVI, el Marques de la Lucerne, embajador francés en Londres, escribe al Duque de Leeds, secretario de estado inglés para asuntos exteriores, para enviarle una copia del decreto de la Asamblea Nacional del 8 de Mayo<sup>13</sup>.

Ante el retraso en la respuesta inglesa e impulsado sin duda por Talleyrand, La Lucerne escribe «...Si Monsieur le Duc de Leeds avait la bonté de faire connaître à M. De la Lucerne les intentions de Sa Majesté Britannique sur ce point et le mettre en état de satisfaire aux nouveaux ordres qu'il reçoit de sa cour...- el embajador francés vuelve a dirigirse al Duque de Leeds en carta fechada el 30 de Noviembre del mismo año.

La respuesta no se retrasa esta vez. Al día siguiente, 1 de Diciembre, Leeds responde a La Lucerne:

...J'ai l'honneur d'informer Votre Excellence qu'ayant, par ordre du Roi, fait faire des Perquisitions à ce Sujet, il paroît que l'Affaire a été agitée dans la Chambre des Communs vers

<sup>13</sup> FAVRE A. (1931) *Les origines...* Apendice I, pp. 225-227.

la Fin du dernier Parlement, mais qu'aucune Proposition de la Chambre n'a été faite en Consequence.

Il a souvent été question d'un tel arrangement parmi Nos Economistes publics mais le Projet a paru exposé a tant de Difficultés que son Accomplissement, tout desirable qu'il pourroit être, a été regardé comme presque impraticable...

En efecto, el parlamento inglés había sido disuelto al final de su período legislativo y en la nueva cámara John Riggs Miller no había sido reelegido y nadie en la cámara parecía haber asumido su propuesta. Por su parte, el sistema inglés, bien establecido, razonablemente unificado y bien apoyado en un comercio exterior potente, difícilmente podía generar grandes partidarios de un sistema completamente diferente de los usos establecidos. Mejor podría haber adoptado la toesa francesa, como habían hecho no pocos científicos en sus cálculos, que una medida extraña cuyas ventajas científicas eran discutibles.

Pero además, la nueva medida propuesta estaba afectada del vicio de sus orígenes, a los conservadores ojos ingleses. Fruto de una revolución social, en su seno llevaba inevitablemente la semilla de un cambio de sociedad, como bien expuso Bureaux de Pussy. Ni política ni económicamente aparecían en Inglaterra intereses favorables a la colaboración con la Asamblea Nacional francesa y sus utópicos planes de reforma universal.

Efectivamente, la reforma de los pesos y medidas en el sentido propugnado por John Riggs Miller y Talleyrand se apartaba de la filosofía tradicional aplicada a las medidas hasta entonces. La ventaja de la reproducibilidad de la medida si un accidente producía la pérdida de los patrones, la mayor ventaja de la medida «natural», tampoco se podía ver como decisiva en un país que ya había sufrido este accidente en repetidas

ocasiones<sup>14</sup> y había saldado el incidente tal vez sin excesivo rigor científico pero sin mayores problemas. Una nueva medida, extraña a la sociedad misma, sin relación directa con los objetos o las prácticas de su entorno, podía ser inmediatamente entendida por los científicos pero era ajena tanto a las ideas de los comerciantes como a la nobleza o al pueblo llano, los verdaderos agentes del hipotético cambio.

En este sentido, un nuevo argumento iba también a sustraer la «científica» medida natural del aprecio de una parte de los mismos científicos y a contribuir a impedir que Inglaterra se sumase desde el principio a la idea de crear una medida verdaderamente universal, como querían sus promotores franceses. En la misma Francia y nada más conocer la propuesta de Talleyrand, antes incluso de que se hiciera pública, respetadas y autorizadas voces se habían levantado contra la «ilusión» de poder disponer de una medida natural exacta y exactamente reproducible. Una figura tan respetada como Jérôme Lalande, sin duda el maestro indiscutible de las generaciones de astrónomos europeos del último tercio del siglo XVIII, es un espléndido ejemplo de aquellos científicos que consideraban vana la ilusión de una medida exacta fundada en la Naturaleza y sus argumentos no podían de resonar, poderosos, en las mentes de quienes solo veían consideraciones científicas en la elección de la medida «natural»:

La toise de Paris est si célèbre dans tout l'univers que je ne pense pas qu'il faille la changer pour y substituer le pendule à secondes... la seule avantage qu'on y ait aperçu, serait de faire adopter par l'Angleterre une mesure nouvelle prise dans la nature...; mais une révolution générale dans les deux nations

<sup>14</sup>Véase por ejemplo la obra de ALEXANDER J.H. (1857) *An inquiry into the English System of Weights and Measures*. Oxford, J. Henry & J. Parker.

me paraît impossible, L'opération serait très longue, très embarrassante, très incomplète. elle mettra une confusion dans les opérations de ceux qui calculent et sera absolument indifférente à ceux qui ne calculent pas.

Je dis plus, elle ne remplira pas l'objet qu'on se propose, en considérant le pendule à seconde à 45 degrés de latitude... car on différera toujours sur la longueur du pendule plus qu'on ne différera sur la longueur de deux mesures. On ne peut pas s'assurer d'un centième de ligne sur le pendule; l'on peut s'en assurer avec un étalon bien fait... Je suppose que nous fassions l'expérience du pendule avec toute la précision possible actuellement; dans 20 ans, sans doute, on la fera avec une précision plus grande, on trouvera quelques centièmes de plus ou de moins. Alors, d'après la mesure adoptée on sera réduit à dire par un nouveau calcul: le pendule à secondes diffère de notre mesure de tant de centièmes. Or, dès qu'il faut une réduction, la difficulté restera, et il faudra toujours en revenir à un étalon convenu, dont les copies exactes, répandues dans la France et dans les États voisins seront l'objet de la convention générale, lors même qu'il sera reconnu pour n'être pas le pendule à secondes...

Le pendule, qu'on mesure par l'expérience, n'est pas celui qu'on peut adopter pour servir de mesure universelle, car il varie pour plusieurs causes: 1 par la dilatation du froid et du chaud; 2 par l'étendue des arcs qu'on fait decrire au pendule de l'expérience; 3 par la hauteur au dessus du niveau; 4 par la résistance de l'air et par sa densité; 5 par la nature du terrain dans le pays ou on l'opère.

Je ne crois pas que l'on trouve le pendule à 45 degrés de latitude exactement de la même longueur, dans les landes de Bordeaux, dans les rochers du Piémont, de la Hongroie, de l'Arménie et de la Tartarie, quoique toujours à 45 degrés de latitude.

C'est donc une illusion d'imaginer que le pendule naturel sera jamais une mesure fixe. il en approchera beaucoup; mais le plus ou le moins vaut-il la confusion et le désordre auquel il

faudra livrer toutes les mesures exécutées depuis un siècle, rapportées dans les ouvrages de mathématique, de géographie, de commerce, de politique, d'agriculture, et dans toutes les parties de l'Europe?

La société établie à Londres pour l'encouragement des arts, ayant proposé un prix en 1774, pour la manière de réduire les mesures d'Angleterre à une mesure fixe, rejetait l'idée du pendule à secondes... dans le programme qui fut publié dans le temps.

Il me semble donc qu'il n'est plus temps de la changer (la mesure de Paris). Mais la confusion qui règne dans les mesures de toutes les parties de la France, est un abus intolérable, un reste de l'absurdité et de la barbarie féodale<sup>15</sup>.

Las palabras del astrónomo, leídas también en la Academia y ante sus compañeros<sup>16</sup>, como la posterior historia del sistema métrico decimal demostraría, son un perfecto resumen de las objeciones que en los años posteriores se alzarían contra las propuestas de unidades «naturales». Su justeza, asimismo, por encima del utopismo universalista de los patrocinadores de la medida natural, fuese esta el péndulo que bate segundos o una parte de un arco terrestre, quedaría confirmada por los acontecimientos posteriores. Pero en los momentos que vivía la Francia revolucionaria, la utopía era más fuerte que cualesquiera razones científicas o, al menos, más fácil de vender.

En Inglaterra la situación era bien distinta. Alejados del utopismo universalista que tan bien calaba en la Francia de la

<sup>15</sup> LALANDE J. (1790) *Mémoire sur la nouvelle mesure qu'on propose d'établir en France*. Paris. La memoria de Lalande es ya muy rara. Un largo extracto, con todos los párrafos interesantes se encuentra más fácilmente en MAVIDAL & LAURENT (1888) *Archives parlementaires*. Paris, Paul Dupont, T.XII, p. 486.

<sup>16</sup> PVAS. Vol. 109 (1790), p.131.

revolución, las mismas razones que hacían a Lalande preferir una bien establecida toesa a la más «científica» medida natural, pesaban a bien seguro en las mentes de los consultores científicos del parlamento británico. La medida universal exacta y exactamente reproducible en un hipotético futuro, era, se veía claramente, utópica por irrealizable. Poco éxito podía esperar pues el plan de Talleyrand en cuanto a la internacionalización que para la génesis de la nueva medida proponía.

Se derrumbaba una de las columnas sobre las que Talleyrand imaginaba fundar el nuevo sistema. Pero esta contrariedad no podía, sin embargo, detener el utópico espíritu reformador de los nuevos legisladores franceses ni la conveniencia política de la propuesta para sus autores. La necesidad era tan sentida, la situación tan caótica y, como afirmaba Bureaux de Pussy, el sentimiento de regeneración de la Asamblea nacional tan profundo, que difícilmente un pequeño contratiempo podía detener el proceso entero. Francia pues, con el apoyo moral de estadistas como el americano Jefferson, proponente de una iniciativa semejante ante el parlamento de los Estados Unidos, o con la colaboración de un, hasta hace poco, misterioso sabio español al que Condorcet sitúa en el origen mismo de los preparativos para la realización efectiva de las operaciones de medida<sup>17</sup>, se dispuso a asumir la responsabilidad de ofrecer al mundo lo que se consideraba un instrumento esencial de liberación y de superación del viejo orden.

Junto a esta primera dificultad, la misma mecánica decidida por el decreto del 8 de Mayo, en relación con los patrones tradicionales y los nuevos patrones a enviar a los departamen-

<sup>17</sup> Hemos identificado sin duda a este «sabio español» con José de Mendoza y Ríos. Véase el capítulo V.

tos, comenzó a mostrar las dimensiones del problema. El 27 de Noviembre llega a la Academia la primera respuesta de los departamentos a la solicitud de envío de sus patrones metrológicos. El departamento de la Nièvre presenta una propuesta de actuación menos maximalista que la de la Asamblea Nacional. Al mismo tiempo comienzan a llegar heterogéneas medidas de otros departamentos y se plantea la necesidad de locales en que albergarlos y clasificarlos. La avalancha de medidas producirá sucesivas proclamas de la Academia, desbordada en sus medios, restringiendo la cantidad de patrones a enviar. A lo largo de sus primeros años, la forma de determinar las equivalencias entre viejas y nuevas unidades será objeto de no pocos debates.

### **El informe de 19 de Marzo de 1791**

No conocemos todavía documentos significativos concernientes a lo que pasó en París entre la recepción de la carta de Leeds, fines de Diciembre de 1790, y el 16 de Febrero de 1791, fecha en la que sorprendentemente, la Académie des sciences de París crea en su seno, a propuesta de Borda y sin motivo aparente que lo justificase, una nueva comisión<sup>18</sup>:

M. de Borda a proposé de nouveau des commissaires pour discuter les bases d'après lesquelles on doit établir l'uniformité des p&m. On a été aux voix pour voir si on en nommeneroit sept ou cinq, La pluralité a été pour en nommer cinq. Toute l'académie votant pour un seul scrutin de liste. M.

<sup>18</sup> PVAS. Vol. 109, (1791), p. 293.

l'abbé Bossut evangeliste. MM. de Borda, Laplace, Condorcet, Lagrange et Monge ont été nommés.

Motivo formal suficiente para la creación de esta nueva comisión pudo ser la negativa inglesa a colaborar en la determinación de la medida propuesta y el consiguiente vacío creado en una parte esencial de la propuesta aceptada por la Asamblea Nacional. Tal vez los proponentes de la idea de la colaboración con Inglaterra comprendieron que esta nunca aceptaría ser copartícipe con Francia de un sistema unificado. Ya no era pues necesario someterse a una propuesta pensada para favorecer la cooperación inglesa. En su mismo suelo, en su tradición científica, la Francia revolucionaria podía encontrar patrones mejores en que fundar su nuevo sistema universal.

Hoy sabemos ya que los motivos oficiales para preferir otro sistema distinto del propuesto por Talleyrand, difícilmente resistían un análisis científico desapasionado y riguroso. Los motivos reales, faltos de confirmación indudable, debían buscarse más en la complicada situación que la Académie des sciences vivía en los primeros meses de 1791. Puesta en duda su adhesión al nuevo régimen, considerada como un reducto de privilegiados en momentos de fervor igualitario, la academia y sus miembros sentían sobre sí la amenaza de su proscripción, como en efecto se realizó tres años después. La propuesta de una empresa aparentemente grandiosa, hecha a la medida de la gloria que la Asamblea Nacional esperaba dar a Francia con su nuevo sistema de pesas y medidas, tenía la ventaja indudable, para los académicos, de revalorizar la utilidad de sus conocimientos para el nuevo orden revolucionario.

Lo cierto es que la comisión citada elaboró una propuesta más cercana a la descartada por Talleyrand en su *Proposi-*

tion... y que esta nueva opción fue la que se sometió a la Asamblea nacional. Curiosamente, salvo el cambio de Lavoisier por Borda, los miembros de la comisión nombrada por la academia eran los mismos consejeros que Talleyrand nos dice que le ayudaron en la redacción de su proposición,

Debieron trabajar aprisa, además. El 19 de Marzo, apenas un mes después de su constitución, la comisión presenta ya su informe al pleno de la Academia<sup>19</sup>. Asumida sin discusión la escala decimal, el informe que la comisión es un concienzudo estudio de todas las posibilidades de medida natural que se ofrecían a los científicos. En su larga exposición, la comisión pasa revista a la utilidad y dificultades de la adopción de la longitud del péndulo que bate segundos bajo el paralelo 45, de la aceptación como medida fundamental de una parte de la longitud del ecuador terrestre y, por fin, a las ventajas e inconvenientes que resultarían de la elección de una parte del cuadrante de un meridiano terrestre.

Los largos párrafos en que se justifica la adopción del cuarto de un meridiano terrestre, constituyen tal vez la parte más trabajada del informe. Conocedores los científicos de la Académie des Sciences de lo polémico de tal elección, tratan en ellos de superar desde el principio las críticas que sin duda les iban a ser dirigidas. Afortunadamente, estos temores, que se revelarían fundados, nos proporciona una riquísima y detallada información sobre el estado de los argumentos en favor de esta elección en la época en que se escriben, al tiempo que nos permite ver con claridad las contradicciones técnicas en que, faltos de una razón inatacable, se debatían sus autores. Por su importancia para la posterior historia del Sistema métrico de-

<sup>19</sup>El informe, firmado por todos los miembros de la comisión, se recoge en la *Histoire de l'Académie Royale des Sciences*, MDCCLXXXVIII, p. 7-16.

cimal y para nuestro objeto, merecen transcribirse in extenso algunos de tales párrafos.

Le quart du méridien deviendrait donc l'unité réelle de mesure, & la dix millionième partie de cette longueur en seroit l'unité usuelle...

La mesure immédiate du quart d'un méridien terrestre seroit impraticable; mais on peut parvenir à en déterminer la grandeur, en mesurant un arc d'une certaine étendue pour en conclure la valeur de l'arc total, soit immédiatement, soit en déduisant de cette mesure, la grandeur d'un arc du méridien répondant à la centième partie de l'arc céleste de 90 degrés, & pris de manière qu'une moitié de cet arc soit au midi, & l'autre au nord, du 45 parallèle. En effet, comme cet arc est la valeur moyenne de ceux qui depuis l'équateur jusqu'aux pôles répondent à des parties égales de l'arc céleste, ou ce qui revient au même, à des distances égales en latitudes, en multipliant cette mesure par cent, on aura encore la valeur du quart du méridien. Les accroissements de ces arcs terrestres suivent la même loi que ceux du pendule, & l'arc qui répond à ce parallèle est moyen entre tous les autres, de la même manière que le pendule du 45 degré l'est entre tous les autres pendules.

On pourroit objecter ici que la loi des accroissements des degrés, en s'avancant vers les pôles, n'est pas aussi certaine que celle des accroissements du pendule, quoique l'une & l'autre ne renferment que la même supposition, celle de l'ellipticité des méridiens; on pourroit dire qu'elle n'a pas été confirmée également par les observations. Mais, 1. il n'existe pas d'autre moyen d'avoir la valeur du quart d'un des cercles terrestres. 2. Il n'en résulte aucune inexactitude réelle, puisqu'on a la longueur immédiate de l'arc mesuré, avec laquelle celle que l'on aura conclue sera toujours dans un rapport connu. 3. L'erreur qu'on peut commettre ici dans la détermination de la centième partie du quart du méridien ne seroit pas sensible. L'hypothèse elliptique ne peut s'éloigner de la réalité, dans l'arc, dont la grandeur sera mesurée im-

médiatement; elle représentera nécessairement avec une exactitude suffisante la petite portion de courbe presque circulaire, & un peu aplatie, que forme cet arc. 4. Enfin, si cette erreur pouvoit être sensible, elle pourroit aussi, par une conséquence nécessaire, être corrigée par les observations même: il ne peut subsister d'erreurs qu'autant qu'elles seroient inappréciables.

Plus l'arc mesuré sera étendu, plus les déterminations qui en résultent seront précises; en effet, les erreurs commises dans la détermination de l'arc céleste, ou même dans les mesures terrestres; & celles de l'hypothèse, auront une influence d'autant moins sensible sur les résultats, que cet arc sera plus grand. Enfin, il y a de l'avantage à ce que les points extrêmes se trouvent l'un au midi, l'autre au nord du parallèle de 45 degrés, à des distances qui, sans être égales, ne soient pas trop disproportionnées.

Nous proposerons donc de mesurer immédiatement un arc du méridien, depuis Dunkerque Jusqu'à Barcelone, ce qui comprend un peu plus de neuf degrés et demi. Cet arc seroit d'une étendue très suffisante, & il y en auroit environ six degrés au nord, & trois et demi au midi du parallèle moyen. A ces avantages se joint celui d'avoir les deux points extrêmes également au niveau de la mer: c'est pour satisfaire à cette dernière condition qui donne l'avantage d'avoir des points de niveau invariables & déterminés par la nature, pour augmenter la grandeur de l'arc mesuré, pour qu'il soit partagé d'une manière plus égale, enfin pour s'étendre au-delà des Pyrénées, & se soustraire aux incertitudes que leur effet sur les instrumens peut produire dans les observations, que nous proposons de prolonger la mesure jusqu'à Barcelone...

El proyecto termina con un párrafo justificativo del carácter exclusivamente francés que se pretende dar a los trabajos científicos:

Nous n'avons cru qu'il fût nécessaire d'attendre le concours des autres nations, ni pour se décider sur le choix de l'unité de

mesure, ni pour commencer les opérations. En effet, nous avons exclu de ce choix toute détermination arbitraire, nous n'avons admis que des élémens qui appartiennent également à toutes les nations, le choix du quarante-cinquième parallèle n'est point déterminé par la position de la France, il n'est pas considéré ici comme un point fixe du méridien, mais seulement comme celui qui auquel correspondent la longueur moyenne du pendule & la grandeur moyenne d'une division quelconque de ce cercle...

Sin embargo, junto al suelo francés, tierras españolas son incluidas en el arco que la comisión de la academia considera el más adecuado para determinar sobre él la nueva medida universal fundada en la naturaleza. Será necesaria la colaboración española, al menos en cuanto a la disposición de los permisos y medios materiales necesarios. Como se demostrará en los años sucesivos, esta colaboración será esencial para la realización de los trabajos en la costa mediterránea.

La razón de la prolongación del meridiano hasta Barcelona queda poco definida desde el punto de vista científico. Junto a la posibilidad de alejamiento de los Pirineos, susceptibles de modificar la dirección de la vertical y perturbar por tanto las medidas de latitudes, parece apuntarse que el arco perfecto sería el simétrico respecto del paralelo 45, pero no se aportan razones que avalen esta opinión y el hecho de disponer de tal arco, con ser deseable, tampoco parece crucial. Retengamos este hecho para nuestro análisis posterior.

Los acontecimientos se precipitan. El 26 de Marzo, acompañada por una carta de Condorcet, se somete a la Asamblea Nacional la propuesta de la Academia. Las grandilocuentes palabras que el secretario perpétuo emplea en esta ocasión muestran bien el espíritu que se quería transmitir a la asamblea:

L'Académie des Sciences m'a chargé d'avoir l'honneur de vous présenter un rapport sur le choix d'une unité de mesure. Comme les opérations nécessaires pour la déterminer ensuite, demanderont du temps, elle a cru devoir commencer son travail par l'examen de cette question et la séparer de toutes les autres. L'opération qu'elle propose est la plus grande qui ait été faite, et elle ne peut qu'honorer la nation qui en ordonnera l'exécution. L'Académie a cherché d'exclure toute condition arbitraire, tout ce qui pourrait faire soupçonner l'influence d'un intérêt particulier à la France, ou d'une prévention nationale; elle a voulu, en un mot, que si les principes et les détails de cette opération pouvaient passer seuls à la postérité, il fût impossible de deviner par quelle nation elle a été ordonnée ou exécutée. L'opération de la réduction des mesures à l'uniformité es si grande; il est si important de choisir un système qui puisse convenir à tous les peuples; le succès de l'opération dépend à un tel point de la généralité des bases sur lesquelles ce système s'appuie, que l'Académie n'a pas jugé pouvoir, ni s'en rapporter aux mesures déjà faites, ni se contenter de la simple observation du pendule; elle a senti que travaillant pour une nation puissante, par les ordres d'hommes éclairés qui savent donner au bien qu'ils font un grand caractère, et embrassant dans leurs vues tous les hommes et tous les siècles, elle devait s'occuper moins de chercher ce qui serait facile, que ce qui approcherait le plus de la perfection; et elle a cru, enfin, qu'une grande opération qui annoncerait le zèle éclairé de l'Assemblée Nationale pour l'accroissement des lumières et le progrès de la fraternité des peuples, ne serait pas indigne d'être accueillie par elle-

Je suis avec respect, Monsieur le Président, vôtre très humble et très obeissant serviteur.

Condorcet<sup>20</sup>

<sup>20</sup>MAVIDAL & LAURENT (1888) *Archives parlementaires*. Paris, Paul Dupont, T. XXIV, p. 379.

Bellas y oportunas las palabras del secretario perpetuo en una operación ya preparada. El mismo día 26 de Marzo de 1791, Talleyrand lee ante la asamblea un proyecto de decreto consensuado entre los comités de constitución y de agricultura y comercio y los comisarios de la academia. Inmediatamente votado y sancionado por Luís XVI el 30 de Marzo, el acuerdo de la Asamblea Nacional consagra el cuarto de meridiano como unidad real de medida y su diezmillonésima parte de esta longitud como la unidad usual, y ordena su medida inmediata de acuerdo con las directrices de la Academia de Ciencias.

La Academia emprenderá la tarea con la mayor grandiosidad posible. Como recoge el *Exposé des travaux de l'Académie, sur le projet de l'uniformité des poids et mesures*, que el mismo Condorcet lee en la sesión pública de la Académie des sciences de 4 de Mayo de 1791<sup>21</sup>, la institución ha decidido crear, el 13 de Abril, cinco comisiones, en las que se incluye prácticamente todos los matemáticos de la Académie des Sciences: Jean Dominique Cassini, Méchain y Legendre son comisionados para realizar las mediciones geodésicas necesarias desde Dunkerque a Barcelona; Monge y Meussnier deberán encargarse de la medida de las bases necesarias; Borda y Coulomb mediran, bajo el paralelo 45, las oscilaciones de un péndulo simple igual a la unidad de medida usual; Lavoisier y Haüy determinarán el peso, en el vacío, de un volumen dado de agua destilada, a la temperatura del hielo fundente; por fin, una última comisión formada por Tillet, Brisson y Vandermonde, comparará la toesa y la libra de París con todas las medidas de longitud, superficie y capacidad y con todos los pesos usados en Francia,

<sup>21</sup> El informe, publicado anónimo, se recoge en la *Histoire de l'Académie Royale des Sciences, MDCCLXXXVIII*, p. 17-20.

para conocer su relación con la nuevas unidades de medida y peso...

Para coordinar todos estos trabajos, que ocuparán a doce académicos más sus ayudantes y los artistas necesarios, se crea, como nos informa Lavoisier<sup>22</sup>, aunque no es recogida en las actas de la academia ni en las publicaciones posteriores, una «comisión central» compuesta por Borda, Condorcet, Lagrange y el mismo Lavoisier, quien el 7 de Septiembre es nombrado tesorero<sup>23</sup>, para hacerse cargo de las cien mil libras recibidas el 6 de Septiembre de 1791 de la tesorería nacional, como primera entrega para la ejecución de los trabajos previstos. Inmediatamente, pues, comienzan los trabajos.

La máquina técnica y administrativa que había de realizar estos trabajos se había puesto ya en marcha. Sin embargo, la cuestión científica suscitaba aún, en el agitado ambiente de la Francia de la época, discusiones no banales. Es oportuno detenerse en este momento en estudiar la cuestión que motiva las demás y que constituye la primera causa de la complejidad de los trabajos planeados: La elección de la medida de un arco de meridiano, junto con su extensión desde Dunkerque hasta Barcelona.

En efecto, ya Lalande había alzado su voz contra la ilusión de una medida universal en la obra que hemos transcrito. Desde las medidas de Boscovich en el Piamonte, al menos, la desigualdad de los meridianos terrestres formaba parte del bagaje cultural de los astrónomos. Además, la repetición de medidas ya hechas dos veces, por Dominique y Jacques Cassini y por Cassini de Thury, nunca conseguiría una exactitud

<sup>22</sup> El manuscrito, titulado «Rapport au comité d'instruction publique sur les travaux de la commission des poids et mesures, fue publicado en LAVOISIER A.L. (1893) *Oeuvres*. Paris, Imp. nationale, vol. 6, p. 670.

<sup>23</sup> Ms. Archives de l'Académie des Sciences. Dossier Lavoisier.

«absoluta». Nuevas medidas vendrían a desvelar los errores de la que se pretendía y a anular así su ilusión de eternidad.

Las reacciones de muchos contemporáneos, ajenos a la academia y a los círculos oficiales, fueron ciertamente airadas y nos informan de lo que algunos creían eran las razones extra-científicas que yacían bajo la aparente asepsia científica del nuevo sistema. Buena muestra de la literatura que nos ha quedado pueden representarla obras como la sugerentemente titulada *Disertation sur les causes qui ont produit l'espèce de contradiction que l'on remarque entre un premier décret de l'Assemblée Nationale, sous la date du 8 Mai 1790, et un second décret, sous celle du 26 Mars 1791, quoique tendant l'un et l'autre au même but d'utilité générale*<sup>24</sup>, publicada anónimamente en 1791 por alguien cuyo seudónimo era «Pierre Hourcastremé».

La obra, a pesar de su título, no es un escrito científico. Su objeto es más anunciar otras obras del autor que entrar en los detalles científicos del problema. Pero su tono no deja lugar a dudas cuando se refiere a los académicos y a su propuesta:

Convenez donc que vous avez induit l'assemblée nationale en erreur, que vous lui en avez imposé, en lui promettant que le résultat d'une mesure prise entre Dunkerque et Barcelone, lui fourniroit un moyen infaillible de déterminer l'uniformité des poids pour la France et pour l'univers entier, tandis que ce moyen est introuvable dans la nature. Or, de deux choses l'une: Ou vous n'avez rien compris dans votre propre système, ou vous vous êtes dit qu'il importait peu que la nation fût trompée, pourvu que votre science, plus qu'équivoque, vous

<sup>24</sup> [HOURCASTREME P.] [1791] *Disertation sur les causes qui ont produit l'espèce de contradiction que l'On remarque entre un premier décret de l'Assemblée Nationale, sous la date du 8 Mai 1790, et un second décret, sous celle du 26 Mars 1791, quoique tendant l'un et l'autre au même but d'utilité générale*. Paris.

menat aux honneurs, et vous valut des pensions. Prononcez vous-mêmes sur cette alternative...

Podrían multiplicarse fácilmente los ejemplos. En los Archivos Nacionales franceses, el actual «CARAN», se conservan dossiers enteros<sup>25</sup> con este tipo de obras y otras de carácter más científico. M. Fontaine, por ejemplo, profesor de Filosofía en Annecy, escribe una carta a la Asamblea Nacional, con fecha 12 de Enero de 1792, en la que afirma «...Il ne paroît pas possible de trouver dans un méridien terrestre une portion qui puisse avoir les propriétés d'un étalon universel...». M. Georgerat, ciudadano de Chalon sur Saone, también en 1792, dirige un escrito a la Asamblea en el que pasa revista a todos los arcos de meridiano medidos y demuestra las dificultades para acordar sus medidas con una Tierra en forma de elipsoide de revolución perfecto... El mensaje, como Lalande había ya afirmado, era claro: la medida propuesta era desde el principio contradictoria con las afirmaciones de sus proponentes. A pesar de ello, los trabajos comenzaron.

<sup>25</sup> Véase por ejemplo el dossier F12-1288. Véase también HAHN R. (1971) *The Anatomy of a Scientific Institution. The Paris Academy of Sciences, 1666-1803*. Berkeley, Univ. California Press. GERBAUX F. (1906) *Procès verbaux des comités d'agriculture et commerce de la constituante, de la législative et de la convention*. París, Imp. nationale.

## Capítulo II

### El problema de la figura de la Tierra y la medición del meridiano de París

#### Una polémica interesada

Decidido ya, pese a los problemas que presentaba, el tomar el cuadrante del meridiano terrestre como base del nuevo patrón de medida, en vez de la longitud del péndulo que bate segundos bajo el paralelo 45, el problema del arco concreto a medir constituía en efecto la elección más importante de todo el proyecto. Para esta medición, cuyas ventajas se detallan cuidadosamente en la memoria de la Academia de Ciencias de París aprobada por la Asamblea Nacional, se había elegido un arco cuya mayor parte estaba en Francia, llegando al mar en Dunkerque, y cuya prolongación se introducía en tierras españolas, para al canzar el mar en Barcelona.

La medición de la parte francesa no carecía de precedentes. Desde que Picard midiera, entre 1669 y 1670, la distancia entre Sourdon y Malvoisine, aproximadamente entre Amiens y París, el meridiano de París había sido medido entre distintos y cada vez más extensos límites, en repetidas ocasiones.

La medida de Picard, tendente a determinar el tamaño de la Tierra, la primera medida en la que se utilizaron telescopios asociados a los tradicionales cuartos de círculo y en que se aplicaban al procedimiento de triangulación geodésica inaugurado por Willebrod Snell, en Holanda, constituyó un verdadero hito científico en su época. La obra de Picard, realizada en el marco del recién creado Observatorio de París, bajo la

dirección de Domenico Cassini y destinada a comenzar los trabajos de la carta de Francia, de acuerdo con los deseos de Luís XIV, se convirtió en la primera medida de una dimensión sobre la Tierra digna de confianza científica. Nunca hasta entonces se había realizado una medida geodésica y astronómica con tan alto grado de precisión y nunca hasta entonces se habían determinado las dimensiones de la Tierra con tanta exactitud.

Pero la medida de Picard había sido aun realizada considerando la Tierra como perfectamente esférica. Pocos años después de la medida de Picard, Jean Richer, en su expedición a la isla de Cayena en 1672-73<sup>1</sup>, comprobó, incidentalmente y en el marco de más usuales operaciones astronómicas, que sus relojes adelantaban sobre la marcha normal en París y dedujo acertadamente que ello no podía ser consecuencia más que de un achatamiento de la Tierra hacia los polos.

Conocida la noticia en Europa, el impacto de las conclusiones de Richer sobre los científicos agrupados en la recién nacida Académie des Sciences de París fue grande. Vuelto Richer a París, desde 1683 emprendió un concienzudo trabajo de determinación de la longitud del péndulo que bate segundos en París, al que pronto se unieron precisas determinaciones de esta longitud en muy diferentes lugares de la Tierra<sup>2</sup>. Una única explicación se revelaba posible: la fuerza con que la Tierra atraía al péndulo era diferente en diferentes lugares de la Tierra y la de acuerdo con las teorías existentes ello solo podía explicarse atribuyendo a la Tierra una figura no esférica.

<sup>1</sup> OLMSTED J.W. (1942) The scientific expedition of Jean Richer to Cayenne. *Isis*, 34, 117-128.

<sup>2</sup> Una tabla de las mediciones realizadas hasta 1700 puede encontrarse en LAFUENTE A., MAZUECOS A. (1987) *Los caballeros del punto fijo*. Barcelona, Serbal, p. 21.

Un mito consagrado por los siglos terminaba para abrir un problema inesperado cuya primera explicación teórica sería dada, catorce años después, por un ya conocido científico inglés. Isaac Newton, famoso por sus innovadoras teorías sobre la luz, daría una singular explicación matemática de la figura de una Tierra achatada por los polos en sus *Principia Mathematica philosophiae naturalis*<sup>3</sup>, ligándola además a una también innovadora teoría general sobre la «atracción universal», cuyas consecuencias se enfrentaban radicalmente con el sistema cartesiano del mundo aceptado en el momento.

La obra de Newton, la primera síntesis en que la mecánica terrestre y la mecánica celeste se unían armónicamente en una teoría matemática capaz de dar cuenta de los resultados experimentales conocidos hasta el momento, se consideró en el continente y especialmente en Francia, como un ataque directo al cartesianismo dominante. La «gravitación universal», una fuerza misteriosa cuya acción solo podía apreciarse en sus efectos, recordaba aún, en los inicios de la Revolución científica, a las denostadas causas aristotélicas que el cartesianismo había tenido la virtud de rechazar.

La teoría de Newton no era, en verdad, la única en dar una explicación de la achatada figura de la Tierra que se deducía de las mediciones de la longitud del péndulo que bate segundos. En su *Discours sur la cause de la pesanteur* (1690), Christiaan Huygens, también preocupado por las «indeseables» interpretaciones del principio de Newton, había tratado de dar con una explicación alternativa que condujese a las mismas

<sup>3</sup> NEWTON I. (1982) *Principios matemáticos de la Filosofía natural*. Madrid, Ed. nacional. Al problema de la figura de la Tierra se consagran explícitamente las proposiciones XVIII, XIX y XX del Libro III, «El sistema del mundo, matemáticamente tratado. pp. 687-97.

consecuencias. La construcción de Huygens, basada en el comportamiento de cuerpos de distinta densidad arrastrados por torbellinos de «éter» cósmico de carácter cartesiano, era claramente local y «ad hoc». Aún cuando localmente podía explicar el achatamiento terrestre por los polos y permitir un cálculo de dicho achatamiento, difícilmente era asumible como teoría general del cosmos.

El peligro real para el cosmos cartesiano estaba únicamente en el perfectamente estructurado edificio matemático construido por Newton. La disminución de la base experimental de la teoría newtoniana, por tanto, no podía sino defender al preferido sistema cartesiano y en tal sentido se iban a interpretar los resultados de la primera medida completa del meridiano de París en tierras francesas.

En efecto, desde 1683, el primero de la saga de los Cassini, directores del Observatorio de París durante cien años, fue urgido por Luís XIV para continuar los trabajos de la carta de Francia comenzados con la operación de Picard. Dominique Cassini, o Cassini I, como se le suele llamar, recibió de Colbert, ministro de Luís XIV, la orden de describir el meridiano del observatorio de París hacia el mediodía, al tiempo que otro astrónomo del observatorio, Philippe de La Hire, lo haría hacia el septentrión. Muerto Colbert, su sucesor Louvois, al parecer menos interesado en la empresa, llamó a Cassini a París, dejando a uno de sus ayudantes a cargo de las operaciones, prolongadas hasta Béziers con errores considerables. Ningún partido se sacó de la medida debido a estos errores.

En 1700 el trabajo fue recomenzado por Cassini I y su hijo Jacques Cassini, Cassini II, acompañados de Maraldi, Couplet y Chazelles, quienes llegaron con una cadena de 24 triángulos desde el observatorio de Paris hasta el Rosellón y

midieron una base entre Leucate y Saint-Nazary, determinando la latitud de los puntos extremos del arco en París y Colliure. La discusión de los resultados experimentales obtenidos, la verificación de las medidas consideradas demasiado desproporcionadas y la posterior prolongación hacia el norte configuran un gran conjunto de esfuerzos de los que surge, sin duda, la Geodesia moderna. Dominique y Jacques Cassini, con la ayuda de la espléndida plantilla de astrónomos que les rodeaban pusieron, en efecto, las bases teóricas y prácticas de medición de grandes triángulos sobre la superficie de la Tierra, la reducción de las observaciones a una hipotética superficie matemática que representaría la prolongación bajo los continentes del nivel del mar y la determinación de latitudes y azimuts que constituyen las operaciones fundamentales de las técnicas geodésicas de operación.

Las operaciones de Cassini en el sur, realizadas entre 1700 y 1701 a lo largo de más de ocho grados del meridiano de París<sup>4</sup>, vinieron a apoyar la idea de disminución de la longitud en toesas de los diferentes grados de latitud hacia el sur y por tanto a suponer, de acuerdo con Newton, una Tierra achatada por los polos. Este hecho notable apresuró la continuación de las medidas hacia el norte y la depuración de las técnicas de determinación de latitudes y reducción de observaciones. Sometidos a nueva reconsideración los datos obtenidos, en 1713, otra memoria de Cassini I modificó las iniciales conclusiones y, comparando los grados del sur con los del norte, concluyó que contrariamente a lo afirmado en 1701, la Tierra mostraba, de acuerdo con las mediciones efectuadas, una figura elipsoidal alargada por los polos.

<sup>4</sup> Una descripción cualitativa de las operaciones se publicó en las *Memoires de l'Académie des Sciences, 1701*, pp. 171-184.

Los resultados de la medida, interpretados de acuerdo con las preconcepciones existentes en el seno de la academia parisiense y aun cuando sus mismos autores reconocían la posible influencia de errores experimentales en el resultado, llevaron pues a Cassini a rechazar finalmente la idea de Newton y Huygens de una Tierra achatada por los polos y, más aún, la globalidad del sistema newtoniano del cosmos. Sin embargo, como afirma Cassini de Thury, el hijo de Jacques Cassini, la diferencia entre una y otra imagen de la Tierra equivalía a un error posible de 31 toesas, 1 pie, ó 2 segundos de grado celeste, lo que entraba efectivamente en el rango de los errores experimentales posibles con el instrumental utilizado por Domini- que y Jacques Cassini.

Los trabajos realizados por ellos y por sus colaboradores de la academia de ciencias entre 1700 y 1718, en un ambiente de oposición, no solo científico, a las ideas que venían de las islas británicas, se sistematizaron en una obra, *De la grandeur et de la figure de la Terre*, publicada como volumen aparte de la colección de *Mémoires de l'Académie des Sciences* para 1718, aunque en su portada figura como fecha de publicación la de 1720 y en realidad vió la luz en 1722. En esta importante obra, la primera síntesis de los nuevos métodos teóricos y observacionales de la nueva geodesia, que constituye un buen inicio de su historia como la ciencia que actualmente conocemos con tal nombre, se encuentran, en efecto, los procedimientos de cálculo y tratamiento de las observaciones que se aplicarían en las mediciones posteriores.

Su resonancia y popularidad posteriores no vendrían, sin embargo, apoyadas en tales merecimientos. Claramente posicionadas contra las teorías newtonianas, sus conclusiones se orientaban hacia el rechazo del newtonianismo fundado sobre los datos empíricos, una flagrante paradoja para fundar sobre

ellos una más o menos encubierta defensa del cualitativo cosmos cartesiano y de una pretendida ortodoxia filosófico-científica sobre él fundada.

Razones había. En estos y en los años siguientes, el newtonianismo, que comenzaba a introducirse en los ambientes científicos franceses, como lo había sido ya muchas instituciones educativas holandesas y alemanas, fue poco a poco convirtiéndose en la teoría cosmológica predilecta de quienes en el continente clamaban por una renovación filosófica y una mayor libertad religiosa. De la mano de escritores deístas como Voltaire y de científicos como Pierre Louis de Maupertuis, apoyados por algunos nobles ansiosos de novedades intelectuales, en un ambiente en el que la viciada polémica en torno al jansenismo estaba perdiendo buena parte de su virulencia, la teoría «inglesa» iba a dejar de parecer una herejía extranjera para dejar paso a la aceptación de sus indudables valores explicativos del mundo físico<sup>5</sup>.

Desde el punto de vista filosófico, la polémica sobre la figura de la Tierra como elemento de confrontación sobre el newtonianismo, comienza en Francia, pues, con la publicación, en 1722, de los resultados de las medidas de los Cassini sobre el meridiano de Paris. El mismo año de 1722, Jean Jacques Dortous de Mairan (1678-1771) publica, en las *Mémoires de l'Académie des sciences* para 1720, sus *Recherches géométriques sur la diminution des degrés terrestres en allant de l'équateur vers les pôles, ou l'on examine les conséquences qui en résultent tant à l'égard de la figure de la Terre que de la pesanteur des corps et de l'accourcissement du pendule*<sup>6</sup>. En esta memoria, desde puntos de vista cartesianos, se dotaba de

<sup>5</sup> TEN A.E. (1991) *La física ilustrada*. Madrid, Akal.

<sup>6</sup> *Mem. Acad. Sci. 1720*, Hist. pp-65-79; Mem. p. 231-276.

soporte teórico a las empíricas conclusiones de Cassini y, consecuentemente, se rechazaba como errónea la teoría newtoniana de la gravitación. Una mezcla de conservadurismo, cartesianismo y nacionalismo antiinglés se aliaba con las dubitaciones, lagunas y contradicciones del naciente método experimental que estaba dando origen a la ciencia moderna, para acoger como más cierta la solución más alejada de las tesis de Newton.

La polémica estaba servida. En 1725, J.T. Desarguliers, joven demostrador experimental en Londres, ferviente newtoniano, contesta a la memoria de De Mairan con un artículo en tres partes titulado *A dissertation concerning the figure of the Earth y publicado en las Philosophical Transactions of the Royal Society de Londres*<sup>7</sup>, en el que se ridiculiza al autor francés y se analizan críticamente las mediciones de Cassini, tratando de mostrar su posible imprecisión, de acuerdo con los límites de error y las posibilidades de los instrumentos del siglo XVIII. Después de criticar sobre todo la determinación de latitudes hecha por los Cassini y mostrar que de ellas no podía concluirse el alargamiento de la Tierra por los polos, Desarguliers terminaba sugiriendo la idea de resolver la cuestión midiendo algunos grados de longitud.

La obra de Desarguliers tuvo la singular virtud de congregar en torno a sus tesis y a su defensa de Newton y el nuevo método teórico-experimental a un reducido grupo de prometedores científicos franceses, a los que se conocería como los «jeunes géomètres», etiqueta que en un principio se aplicó a Maupertuis, Clairaut y La Condamine. Liderados por Maupertuis y pronto apoyados por Voltaire, los nuevos genios de la ciencia francesa enarbolaron entre sus banderines de enganche de los nuevos científicos, el de la figura de la Tierra.

<sup>7</sup> *Phil. Trans. Roy. Soc.*, 33, (1725), 201-202; 239-255; 277-304; 344-45.

En 1732 publicó Maupertuis su célebre *Discours sur la figure des astres*, en que se defendían técnicamente las tesis newtonianas ante los medios académicos y se expresaban analíticamente, en un elipsoide de revolución cualquiera, las longitudes de los diferentes grados de latitud y longitud. Con esta y otras memorias de Maupertuis, pronto seguidas por otras de Aléxis-Claude Clairaut (1713-1765) sobre el mismo tema, comenzaba el debate definitivo que iba a dar el triunfo a la nueva filosofía de la naturaleza, al tiempo que se completaban, en la segunda gran aportación a la ciencia de la Geodesia desde el inicio del debate sobre la figura de la Tierra, las técnicas teóricas de determinación de elementos y distancias sobre un elipsoide de revolución. Si la calidad de las mediciones de los Cassini sobre el meridiano de París se situaba para los newtonianos en el centro mismo de los debates, en la dirección de efectuar nuevas medidas iban a orientarse las propuestas de los científicos más esclarecidos.

El debate científico coincidió en este momento con el interés mostrado por el controlador general de las finanzas de Francia, M. de Orry, por establecer una descripción geométrica lo más exacta posible del territorio francés. En 1733, Jacques Cassini es encargado por el controlador general de reemprender los trabajos para la conclusión de la carta de Francia, que debía comenzar por la determinación de la longitud del paralelo de París. Como afirma su hijo, Cassini de Thury, Cassini III<sup>8</sup>, el astrónomo vió en este encargo la ocasión perfecta para zanjar la polémica con nuevas medidas, exentas esta vez de la

<sup>8</sup> CASSINI DE THURY (1744) *La Méridienne de l'Observatoire Royale de Paris, vérifiée dans toute l'étendue du Royaume par des nouvelles observations, pour en déduire la vraie grandeur des degrés de la Terre, tant en longitude qu'en latitude...* Paris, H.L.& J. Guérin, Discours préliminaire, p. 3.

posibilidad de crítica que era necesario admitir respecto de las antiguas.

En la hipótesis de la Tierra esférica, conociendo el valor del grado de meridiano, se determina inequívocamente la longitud del grado de longitud en cualquier paralelo. Con los métodos desarrollados en el *Traité de la grandeur & de la figure de la Terre* y las obras de Maupertuis y Clairaut, se podía determinar, en las diferentes hipótesis de una Tierra alargada o achatada por los polos, el valor de los grados en los diferentes paralelos, más pequeños o más grandes que los de la Tierra esférica en una u otra hipótesis. El método ofrecía la ventaja adicional, como apuntara Desarguliers, desde el punto de vista teórico, de que las diferencias eran incluso más considerables que las de los grados de meridiano y por tanto previsiblemente más concluyentes, si conseguía determinarse la diferencia de longitudes con la exactitud deseada.

En efecto, de acuerdo con los deseos de Orry de una pronta ejecución del proyecto, Jacques Cassini midió en 1733 el arco París-St. Malo, que en 1734 se completaría con el opuesto de París-Estrasburgo, completando el llamado «paralelo de París».

Desde el primer momento de los análisis de resultados, la comparación de los arcos medidos, reducidos al paralelo de París, apoyaron la conclusión de una figura de la Tierra aún más alargada hacia los polos de lo establecido en las primitivas medidas del meridiano. Los nuevos resultados experimentales parecían pues favorecer la tesis antinewtoniana. Sin embargo, este resultado se seguía contradiciendo con las conclusiones de las medidas de la longitud del péndulo efectuadas por Richer en Cayena y las numerosas determinaciones efectuadas posteriormente en otros lugares, que venían sistemáticamente a favorecer la hipótesis newtoniana de la Tierra

achatada por los polos. Lejos de perder interés, en un momento en que las teorías y los métodos matemáticos newtonianos y sus espectaculares contrastaciones experimentales estaban ganando cada vez más los espíritus de los científicos continentales, la polémica sobre la figura de la Tierra se incrementó más aún.

### **Las expediciones a Perú y Laponia**

Así, en la última sesión de la Académie des Sciences de 1733, un matemático y mecánico ya consagrado, Louis Godin, propuso en efecto la realización de medidas de arcos de paralelo bajo el ecuador mismo, en la esperanza, con toda seguridad, de que las desviaciones obtenidas respecto de la Tierra esférica, proporcionasen valores superiores a los límites de exactitud esperables de los instrumentos utilizados<sup>9</sup>. El fruto teórico de los trabajos de Godin al respecto se plasmó incluso en una interesante memoria sobre el tema, publicada en la colección de la academia para ese mismo año<sup>10</sup>. Tras la agudización de la polémica y los resultados de las mediciones de 1734, La propuesta de Godin, repetida y reestudiada en 1734 y 1735, fue finalmente aceptada por las autoridades francesas. Para determinar la figura de la Tierra iba a comenzar la mayor aventura científica jamás emprendida hasta el momento.

<sup>9</sup> LAFUENTE A., DELGADO A.J. (1984) *La geometrización de la Tierra, 1735-1744*. Madrid, CSIC.

<sup>10</sup> *Mem. Acad. Sci., 1733*, p. 223-232.

El proyecto inicial comprendía la medición de un arco de paralelo, pero también la de un arco de meridiano. Como sabían ya los académicos franceses y se revelaría palmariamente en el curso de la expedición, la dificultad principal de la medida del paralelo se encontraba en la determinación de las longitudes geográficas de los puntos extremos de un arco de paralelo y de este modo trataba de obviarse los posibles errores experimentales que en tal sentido pudieran cometerse. El conde de Maurepas, a la sazón ministro y secretario de estado, procuró a Godin y a los académicos que se le adjuntaron, Pierre Bouguer y Charles Marie de La Condamine, como miembros matemáticos entre naturalistas, médicos y artistas, los medios necesarios y ese mismo año, tras haber recabado la autorización del rey de España, Felipe V, se pusieron en marcha hacia las tierras de la Audiencia de Quito, en el Virreinato del Perú.

Bien conocidas son ya las circunstancias de esta expedición, como también suficientemente conocida es ya la participación española en ella<sup>11</sup>. Para acompañar a los franceses no se encontró en España mejor representación científica que dos jóvenes guardiamarinas, Jorge Juan y Antonio de Ulloa, quienes, haciendo honor a la confianza en ellos depositada, se convirtieron rápidamente en parte fundamental de la expedición. A ambos, y más precisamente a la pluma de Jorge Juan, se debe la primera publicación de los resultados obtenidos: las *Observaciones astronómicas, y Phisicas, hechas de orden de S. Mag. en los Reynos del Perú* (1748) que, junto con la *Relación histórica del viage a la América meridional* (1748), también escrita por los dos sabios españoles, constituye aún una fuente

<sup>11</sup> Vease por ejemplo LAFUENTE A. (1983) Una ciencia para el estado: La expedición geodésica hispano-francesa al virreinato del Perú (1734-1743). *Revista de Indias*, 43, 549-629.

fundamental para el conocimiento de los problemas que se suscitaron a lo largo de los trabajos y de los medios que se emplearon para resolverlos.

La expedición se desarrolló a lo largo de diez largos años, aún cuando en su transcurso se midió únicamente un arco de meridiano y, a pesar de las polémicas que se suscitaron entre los expedicionarios, debió abandonarse la medición del arco de paralelo que había dado lugar al primer proyecto. Las incidencias de todo tipo que los científicos participantes hubieron de superar y las mismas disensiones internas de la comisión francesa, constituyen una verdadera novela de aventuras<sup>12</sup>, así como una singular gesta científica. Los resultados que los expedicionarios franceses y españoles trajeron a Europa confirmaron inequívocamente el carácter achatado por los polos de la figura de la Tierra. Sin embargo, cuando, tras mil vicisitudes y proyectos, los científicos aportaron los resultados de sus esfuerzos, la polémica había perdido ya su virulencia.

En efecto, poco tiempo después de la partida de los expedicionarios al Perú, Maupertuis propuso a la Académie des Sciences el realizar otra expedición, esta vez lo más al norte posible, para determinar inequívocamente la figura de la Tierra midiendo un arco de meridiano en latitudes elevadas. El año siguiente, el mismo Maupertuis, acompañado por Clairaut, Camus, Lemonnier y el abate Outhier, a los que se unió el sueco Celsius, partieron hacia Laponia para efectuar una medición a la que la afortunada elección del sitio y circunstancias favorables permitieron terminar en quince meses<sup>13</sup>. Vuel-

<sup>12</sup> Una verdadera novela sobre la expedición ha sido publicada por TRYSTAM F. (1979) *Le procès des étoiles*. Paris, Seghers.

<sup>13</sup> TATON R. (1988) *L'expédition géodésique en Laponie (Avril 1736-août 1737)*. en: LACOMBE H., COSTABEL P. (1988) *La figure de la Terre du XVIIIe siècle à l'ère spatiale*. Paris, Gauthier-Villars, pp.115-133.

tos los expedicionarios a Francia a mediados de 1737 y dados a conocer los resultados mediante las exposiciones de Maupertuis ante la academia y la publicación de su obra *La figure de la Terre* (París, 1738)<sup>14</sup>, su comparación con los valores de los grados obtenidos para Francia, despejó cualquier duda razonable. La polémica estaba zanjada. Los resultados del Perú no harían, efectivamente, sino confirmar lo que ya había sido establecido y permitir aproximar más el valor del achatamiento del planeta, el dato crucial para la determinación de la verdadera figura de la Tierra. Newton había vencido.

### **La segunda medición del meridiano de Paris**

Pero entonces debía revisarse la medición hecha por los Cassini, que los últimos resultados debían necesariamente hacer considerar como sospechosa de graves errores. Ya contemporáneamente con los primeros trabajos de las expediciones a Perú y Laponia, el hijo de Jacques Cassini, Cassini de Thury, el abate La Caille y una comisión de la Academia de Ciencias, emprendieron la tarea de revisar las operaciones hechas en suelo francés, comenzada ya con los trabajos de medición del paralelo de París. Su resultado vino a ser la más exacta determinación de la longitud de un arco de meridiano jamás realizada, el arco Dunkerque-Perpignan.

<sup>14</sup> *Mem. Acad. Sci.*, 1377, pp. 389-466. MAUPERTIUS, P. L. (1738) *La figure de la terre, déterminée par les observations de Messieurs De Maupertuis, Clairant, Camus, Le Monnier, de l'Académie Royale des Sciences, & de M. l'Abbé Outhier, Correspondant de la même Académie, accompagnés de M. Celsius, professeur d'Astronomie à Upsal, faites par ordre du Roy au cercle polaire.* Paris, Imp. Royale.

Precedente de estos trabajos es una obra de los mismos expedicionarios que midieron el grado de Laponia y que, para asegurar un elemento lo más exactamente posible de comparación con las medidas del norte, decidieron rehacer las medidas hechas por Picard setenta años atrás<sup>15</sup>. En su discurso preliminar, leído ante la Academia de Ciencias el 5 de Diciembre de 1739, Maupertuis fija el valor del grado entre París y Amiens en 57183 toesas, 123 toesas más grande que el determinado por Picard, que comparado con las 57437,9 toesas del grado determinado en Laponia, daban una Tierra achatada en los polos, con una relación entre el eje y el diámetro en el ecuador de 177/178.

Los trabajos sobre el meridiano completo, aunque publicados por Cassini de Thury como académico más antiguo<sup>16</sup>, de acuerdo con los usos de la Académie des Sciences, fueron realizados en su práctica totalidad, como afirma y demuestra Delambre<sup>17</sup>, por el abate La Caille. De la mano ya experta del entonces joven astrónomo y disponiendo de instrumentos mucho más precisos que las comisiones anteriores, los trabajos comenzaron en mayo de 1739 y pronto se reconocieron diferentes errores en las determinaciones anteriores y sobre todo en la medida de la base de Picard, utilizada hasta el momento sin mayores precauciones. Los nuevos instrumentos y las nuevas técnicas de observación y reducción de observaciones, mostraban su superioridad.

<sup>15</sup> MAUPERTUIS, CLAIRAUT, CAMUS & LEMONNIER (1740) *Degré du méridien entre Paris et Amiens, déterminé par la mesure de M. Picard et par les observations de\_\_*, d'ou l'on déduit la figure de la Terre, par la comparaison de ce degré avec celui qui a été mesuré au Cercle Polaire. Paris, G. Martin, J.B. Coignard.

<sup>16</sup> Op. cit. nota 8.

<sup>17</sup> DELAMBRE J.B. (1912) *Grandeur et figure de la Terre* (Ed. G. Bigourdan). Paris, Gauthier-Villars, p. 64.

Tres bases se midieron para la operación: una en Bourges, otra en Rodez y por fin otra en Perpignan, con un buen acuerdo entre sus longitudes respectivas y las calculadas a partir de las triangulaciones. Solo la base de París se alejaba de los cálculos y para verificar los errores existentes La Caille asumió la ingrata tarea de acometer, en el frío invierno de 1740, con las montañas cubiertas de nieve y los caminos casi impracticables, la verificación de los ángulos medidos sobre las montañas de Auvernia y la longitud de la base de Bourges. El resultado fue siempre acorde con las primeras determinaciones y muestra a las claras la perfección con que se efectuaron todas las determinaciones. La base de Picard fue considerada pues la responsable de los errores detectados. El ya viejo Jacques Cassini y La Caille volvieron sobre ella, mientras Maraldi, dentro del programa de la carta de Francia, terminaba la triangulación de las costas y fronteras y a él se unía Cassini de Thury en Metz para terminar la frontera oeste de Francia.

Impedidos por nuevas edificaciones y árboles de remedir la base de Picard, de Villejuif a Juvisy, Lacaille y Jacques Cassini midieron una nueva base, más o menos en la misma dirección, que compararon con los términos de la antigua base mediante una triangulación suplementaria. El resultado, coincidente con los cálculos efectuados a partir de la base de Bourges, mostraba una diferencia con el valor antiguo de 6 toesas, lo que demostraba a la vez el error cometido en las medidas de 1669, la insuficiencia de las de 1700-1701 y la bondad de las mediciones realizadas. La corrección conciliaba todas las observaciones y permitía avanzar en la medición de la parte norte del meridiano, que se emprendería en Agosto de 1741.

En Dunkerque se midió una nueva base, de 6224  $\frac{1}{3}$  toesas, coincidente en uno de sus extremos y muy próxima a la que se

había medido en 1718. Sobre ella se construyó una cadena de triángulos enteramente nueva, que se hizo recaer sobre el extremo de la vieja cadena de Picard, en Amiens. De Amiens a París se dispuso una nueva serie de triángulos, mediante los que se calculó la longitud de la nueva base medida entre Villejuif y Juvisy. La diferencia entre la medida de la base, deducida de la de Dunkerque y la medición directa fue de alrededor de un pie, buena muestra de la bondad de las medidas y de la técnica operatoria. La cadena completa de triángulos entre Dunkerque y Collioure estaba terminada.

Entre los problemas a que se dedicó especial cuidado destaca la determinación de latitudes, el elemento crítico de toda operación geodésica, que había hecho dudosas las operaciones de la primera medición de la meridiana y de cuya influencia perniciosa, debida a su complejidad, tampoco escaparían ni esta ni las operaciones posteriores. En efecto, un aliado indudable y reconocido del geodesta es la compensación de errores que se produce en las medidas terrestres. Pero las medidas de latitud gozan difícilmente de este aliado y a su través se introducen errores sistemáticos y coyunturales muy difíciles de evitar. En esta campaña, junto a la utilización de instrumentos sin duda más perfectos que los puestos a disposición de Dominique y Jacques Cassini, nuevas correcciones se aplicaron por primera vez a los resultados observacionales. La más notable de ellas fue la corrección de aberración. Este fenómeno, desconocido hasta que Bradley lo descubrió en 1727 y lo dió a conocer junto con su explicación en las *Philosophical Transactions of the Royal Society* para 1729, aún cuando ya bien estudiado teóricamente, no ofrecía a los astrónomos una gran confianza desde el punto de vista práctico y los cuidados en las correcciones mostraban el celo con que la operación se desarrollaba.

No se tomó en consideración, sin embargo, otra pequeña corrección periódica a la posición de las estrellas, también entre vista por Bradley en 1727 y confirmada entre ese año y 1732: la nutación, curiosamente una consecuencia de la figura achatada de la Tierra, debida a la atracción diferencial de la Luna, en las diferentes posiciones de su órbita alrededor de la Tierra, sobre el abultamiento ecuatorial terrestre. La comunidad astronómica conocía en la fecha en que se realizaron las determinaciones de latitud en diversos puntos del meridiano, que esta nueva variación estaba ligada al período de revolución de los nodos de la Luna y que su magnitud máxima era de unos 17 segundos de arco; sin embargo no existía aún una teoría suficientemente aceptada sobre el tema. Bradley no publicaría su descubrimiento en las *Philosophical Transactions*, acompañado de su explicación mecánico-celeste, hasta 1748 y los miembros de la comisión consideraron que el corto espacio abarcado por las medidas de latitud hacía efectivamente despreciable esta corrección de nutación<sup>18</sup>.

Terminados por fin todos los trabajos, pudo ya calcularse la longitud de los diferentes grados al norte y al sur de París. En el discurso preliminar de la obra en que Cassini de Thury da cuenta de los resultados obtenidos, *La meridienne de l'Observatoire Royal de Paris, vérifiée dans toute l'étendue du Royaume par des nouvelles observations, pour en déduire la vraie grandeur des degrés de la Terre, tant en longitude qu'en latitude, & pour y assujétir toutes les opérations géométriques faites PAR ORDRE DU ROY, pour lever une Carte générale de la France* (París, 1744), se afirma por fin:

<sup>18</sup> LACAILLE Abbé de, (1758) Mémoire sur la vraie longueur des degrés du méridien de France. *Mem. Acad. Sci.*, 1758, 237-244.

Suivant ces nouvelles mesures, la distance de Paris a Dunkerque. quoiqu'un peu plus courte, que celle qui avoit été déterminée dans le livre de la Grandeur & de la figure de la Terre, ne laissa pas de donner le degré du Meridien un peu plus grand, que celui que nous avons déduit de l'arc mesuré depuis Paris jusqu'à Bourges: de sorte qu'il paroît avec assez d'évidence, que les degrés du Meridien décroissent en allant vers l'équateur, & par conséquent que la Figure de la Terre est applatie<sup>19</sup>.

*La meridienne...verifiée*, la magna obra que divulgó la operación geodésica más perfecta emprendida hasta el momento, proporcionó además, no solo los medios para determinar la longitud de los grados de meridiano a lo largo de Francia y por tanto la figura de la Tierra, sino multitud de arcos de paralelo y triangulaciones a lo largo de las costas y fronteras del país, que constituyeron la base para establecer definitivamente la carta de Francia, la primera carta geodésicamente exacta de un país en la historia. Como tal, la obra de Cassini de Thury y La Caille constituyó la referencia obligada para todos los posteriores trabajos de cartografía en territorio francés y para las triangulaciones de los estados vecinos. Sin embargo, y tal vez por ello, pronto iba a ser objeto de críticas y correcciones.

<sup>19</sup> CASSINI DE THURY (1744). *La meridienne... verifiée...* Paris, p. 25.

## «La verdadera longitud de los grados del meridiano de Francia»

Este es el título de una importante memoria presentada por La Caille ante la Académie des Sciences el 16 de Junio de 1756 y publicada en la colección de la academia para 1758. Como el mismo astrónomo indica en la introducción, la motivación directa de la memoria se encuentra en unas no especificadas críticas realizadas contra las medidas contenidas en *La Meridienne... vérifiée*, pero sobre todo en la aparición de la publicación en que los PP. Boscovich y Maire daban cuenta de su medición del llamado «grado de Roma»<sup>20</sup>.

Los resultados obtenidos por Cassini de Thury y La Caille sobre el meridiano de Francia no estaban exentos de paradojas. El crecimiento de la longitud de los grados de meridiano, desde el ecuador a los polos, distaba mucho de ser regular y acorde con la figura de un elipsoide de revolución. Pero en ese momento, las voces que tímidamente afirmaban esta conclusión no habían logrado aún desprenderse de la platónica ilusión de creer en una figura geoméricamente perfecta para la Tierra.

En 1756, La Caille, sobre la base de los datos obtenidos, recalculó parte del arco y estableció, con la máxima precisión posible en su época, la longitud de los grados centrales del meridiano de París. Especial atención prestó al cálculo del grado de meridiano cortado en su mitad por el paralelo 45. Su determinación quedaría como un monumento a la habilidad astronómica y matemática de los geodestas franceses y un

<sup>20</sup> BOSCOVICH R.J. (1770) *Voyage astronomique et géographique dans les Etats de l'Eglise*. Paris. Un estudio sobre la obra geodésica de Boscovich se encuentra en MARKOVIC Z. (1960) *R.J. Boskovic et la théorie de la Terre*. Paris, Conf. Palais de la découverte.

hito científico al que Talleyrand, y sus asesores, recordarían en su primera posibilidad de medida universal, entre las consideradas en su Proposition.

### **¿Una mayor exactitud?**

Así pues, el arco Dunkerque-Perpignan había sido medido ya dos veces y calculado tres, con toda la exactitud esperable, antes de la decisión de la Academia de Ciencias de tomarlo, junto con su prolongación, el arco Perpignan-Barcelona, como base de la nueva definición del metro. ¿Porqué medirlo de nuevo, al menos en la parte francesa?

La respuesta es asimismo compleja y diferentes versiones contemporáneas y posteriores han tratado de iluminar las razones de tal decisión. Como hemos visto, el informe de 19 de Marzo de 1791 se detiene en estudiar pormenorizadamente las razones por las que el arco debería tener sus extremos en Dunkerque y Barcelona, pero no entra en las ventajas de medir de nuevo la parte francesa. En el discurso con que Condorcet presenta ante la Asamblea Nacional francesa el informe de la academia, algunas de estas razones son explicitadas:

*On sera surpris peut-être de voir répéter ici des opérations déjà faites, des expériences déjà connues; mais cette surprise cessera si l'on songe que depuis un petit nombre d'années, le perfectionnement des instruments & des méthodes a permis d'aspirer à une précision inconnue jusqu'ici; que l'exactitude des moyens de pratique s'est rapprochée de celle de la théorie; si l'on considère enfin que des éléments qui peuvent influer sur les habitudes, sur les usages de tous les peuples, doivent être déterminés avec une sorte de solennité, être le résultat*

d'un plan régulier & combiné d'opérations liées entr'elles, qu'il faut que chacun de ces élémens ait un garant qui puisse répondre de son travail, résoudre toutes les difficultés, dissiper tous les scupules...<sup>21</sup>.

En efecto, los medios técnicos a finales del siglo XVIII habían experimentado notables avances sobre los disponibles a mitad de siglo. El más importante de estos, sin duda, tocaba a los mismos instrumentos disponibles para la medición: el círculo de Borda, un instrumento que permitía realizar rápida y cuidadosamente repetidas medidas de un mismo ángulo sobre diferentes partes de un círculo graduado, y por lo tanto disminuir drásticamente tanto los errores de observación como instrumentales, había mostrado su ventaja sobre los tradicionales cuartos de círculo en los trabajos de unión geodésica de los observatorios de Greenwich y París cinco años antes<sup>22</sup>.

<sup>21</sup> [CONDORCET] (1791) *Exposé des travaux de l'Académie, sur le projet de l'uniformité des Mesures & des poids. Mem. Acad. Sci., 1788*, p. 19.

<sup>22</sup> La superioridad del círculo de Borda sobre el cuarto de círculo quedó explícitamente comprobada durante el desarrollo de las operaciones de unión geodésica entre los observatorios de París y Greenwich, realizada en 1787 por Jean Dominique Cassini, Méchain y Legendre, por parte francesa y el General Roy por parte inglesa. Durante estas operaciones, Cassini dispuso de un círculo de Borda, de un pie de diámetro, construido por Lenoir, mientras que Méchain observaba con un cuarto de círculo de tres pies. Las manifestaciones de los astrónomos son suficientemente explícitas en sus publicaciones sobre la operación: CASSINI J.D., MÉCHAIN P.A., LEGENDRE A.M. (1790) *Exposé des opérations faites en France en 1787, pour la jonction des observatoires de Paris et de Greenwich, par... Description d'un nouvel instrument, propre à donner la mesures des angles, à la précision d'une seconde*. Paris, Imp. sourds-muets. El discurso preliminar de esta obra fue leído por Cassini en la sesión posterior a la Pascua de 1787 y publicado en las *Mem. Acad. Sci., 1788*, pp 706-717. Más esclarecedores son aún los comentarios de Jean Dominique Cassini sobre el círculo de Borda en su trabajo «Application du cercle à l'observation des hauteurs méridiennes des astres», *Mem. Acad. Sci., 1790*, 617-624:

...Ni Ramsden ni autre personne ne s'étoit flatté de pouvoir déterminer la mesure d'un angle à la précision d'une seconde; il y a plus, on ne le

La exactitud a esperar de las medidas era por tanto superior. Las técnicas de construcción de señales en los vértices geodésicos y de medida de bases, habían sin duda progresado en el medio siglo transcurrido desde la última medida completa del arco de meridiano, pero sobre todo, oficialmente una razón parecía subyacer bajo el interés de los académicos: Los resultados de 1744 eran extraños en algunos puntos del arco y ya La Caille había demostrado las inexactitudes de las consecuencias extraídas de ellos por sus calculadores. En una medida que se pretendía la más exacta jamás realizada y que se presentaba como un elemento de honor de la nación francesa entera y una oferta de progreso a todo el mundo, los requerimientos de exactitud constituían sin duda una razón poderosa.

Como hemos apuntado, muchos franceses, científicos o no, sospechaban otras razones bajo las oficiales. La misma magnitud de las operaciones, su complejidad y alcances eran otros tantos argumentos en favor de la utilidad, no de la operación sino de la misma Academia de Ciencias para la patria, en unos

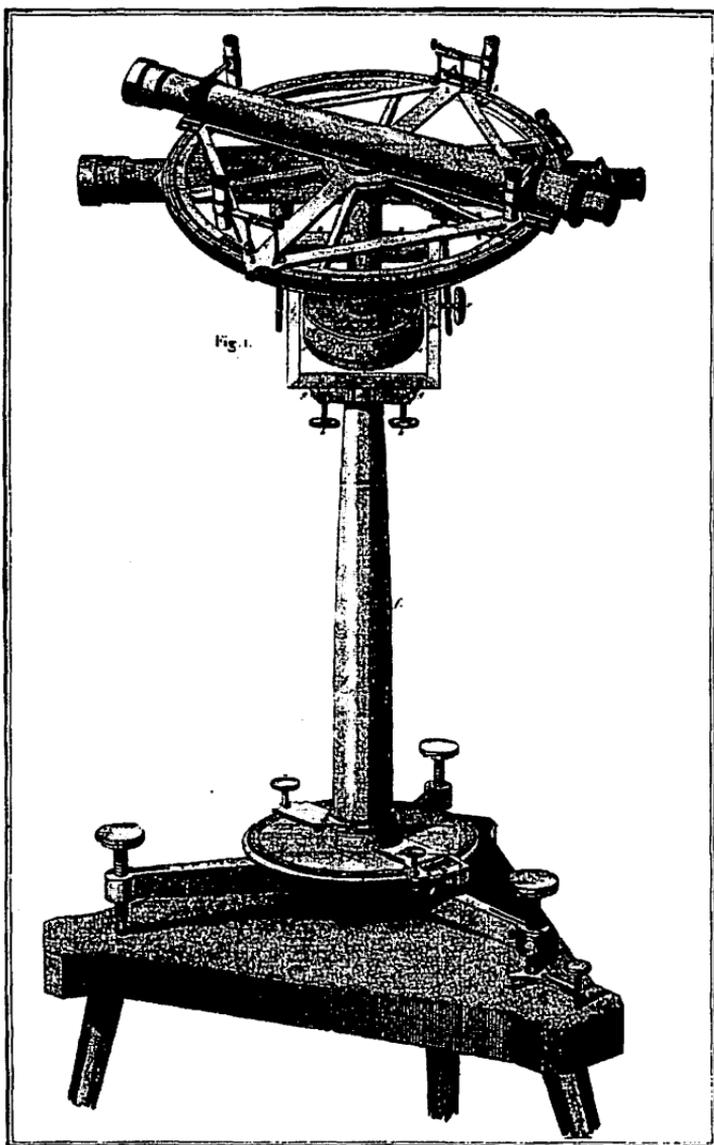
croyait pas possible; et quand bien même un instrument eût donné cette perfection, on l'eût regardé comme la production unique d'un hasard heureux que la même main n'auroit pas exécuté deux fois. On se seriat encore moins douté que cette précision d'une seconde s'obtiendrait avec un instrument d'un très petit rayon; disons plus, avec un instrument fort simple, et qui n'a aucune pièce nouvelle dans sa construction; ajoutons encore, avec un instrument médiocrement exécuté, c'est à dire, dont l'exécution n'exige pas la main d'un artiste supérieur; et c'est ici que le caractère particulier et remarquable de cette ingénieuse invention, dont la précision est pour ainsi dire indépendante de tout ce qui pourroit y nuire. En effet, il ne tient qu'à la volonté bien déterminée et à la patience de l'observateur d'anéantir toutes les erreurs, soit de la division, soit de la construction, soit de l'observation même, en multipliant les mesures suffisamment et au point d'obtenir la précision d'une seconde, de la demi-seconde, et moins encore s'il le veut: c'est ce que nous n'aurions osé avancer et assurer si l'expérience ne nous mettoit en état d'en convaincre par ce que nous allons rapporter...

momentos en que airadas voces clamaban por su supresión como instituciones del viejo régimen. Los crecidos gastos que la empresa iba a ocasionar levantaron asimismo airadas protestas ante la utilización de fondos públicos en un momento en que se estaban restringiendo gastos no necesarios para la nación. Ninguna de estas razones llegó a sustanciarse ante la Asamblea nacional que aprobó finalmente las operaciones. Queden ellas por el momento como testimonio de la sensibilidad con que los agentes sociales analizaban en la Francia revolucionaria cualquier actividad de personas e instituciones significadas bajo el antiguo régimen.

Se aducía también, en aras de la exactitud, la prolongación del arco de meridiano para conseguir un arco lo más simétrico posible respecto del paralelo 45. La prolongación hasta Barcelona permitía acercarse a esta condición. Por fin, una razón indudable se aducía también: la medición de latitudes cerca de grandes macizos montañosos como los Pirineos podía ser afectada por desviaciones locales de la vertical, imposibles de precisar. Un alejamiento de estas masas permitiría asegurar mejor los resultados. Una última razón se aducía: el hecho de situar los dos extremos del arco al nivel del mar mejoraría la reducción de las observaciones al elipsoide de referencia.

Individualmente consideradas, estas razones para emprender una medida larga y costosa, eran científicamente irrefutables. A finales del siglo XVIII, el progreso en instrumentos, técnicas y teorías permitía sin duda una mayor exactitud en las medidas. La pregunta que ya dejó en el aire la intervención de Lalande ante la Academia de Ciencias, quedaba, sin embargo, sin responder: ¿Que significaba aportar un poco más de exactitud a la medida de los grados sobre el territorio de Francia cuando se sabía que esa exactitud sería tan duradera como lo había sido la alcanzada hasta entonces?

Lo bien cierto es que la decisión política estaba tomada. La Academia de ciencias y sus comisionados se dispusieron a medir el arco Dunkerque-Barcelona y a ello se dedicaron los esfuerzos más importantes de toda la empresa fundacional del nuevo sistema métrico decimal.



**El círculo de Borda**



**J. B. Delambre**



**P. A. Méchain**

## Capítulo III

### La longitud del metro

#### La determinación del metro. El «metro provisional»

Desde 1792 hasta 1799 se desarrollan los trabajos geodésicos, astronómicos y matemáticos para la determinación del nuevo patrón universal decidido por la Asamblea Nacional francesa. Las comisiones de la Academia comienzan su labor, aunque con cambios importantes en su composición primitiva.

En efecto, la primera comisión había sido constituida con los mismos académicos que cinco años antes habían medido la cadena destinada a unir los observatorios de París y Greenwich: Jean Dominique Cassini, Pierre André Méchain y Adrien Marie Legendre. La comisión que en realidad efectuaría las medidas sería bien distinta: Legendre nunca mostró interés en la empresa; por su parte Cassini IV, director del observatorio de París en la época, mostró explícitamente su desagrado a colaborar con el nuevo régimen y se excluyó oficialmente de la empresa. Méchain quedó pues solo y la Academia decidió adjuntarle a un recién entrado astrónomo, cuyas dotes geodésicas comenzaban a revelarse: Jean Baptiste Delambre.

La comisión para la triangulación geodésica y la determinación de latitudes quedó, pues, constituida únicamente por ambos académicos, quienes se repartieron el trabajo, correspondiéndole a Delambre la parte más fácil en principio: el arco Dunkerque-Rodez, ya medido en varias ocasiones, como he-

mos visto. Méchain, por su parte, asumió la medida del arco Rodez-Barcelona que, aunque de la mitad de longitud que el otro, contaba con el obstáculo de los Pirineos y sobre todo la geodésicamente virgen parte española.

La medida de las bases, complemento necesario de la triangulación geodésica, había sido encomendada a los académicos Monge y Meussnier. De ellos, Meussnier, general del ejército, fué pronto llamado al servicio en el Rhin y murió el 13 de Junio de 1793. Monge, por su parte, fue nombrado ministro, también en 1793, sin haber comenzado ningún trabajo en este sentido. La Academia encargó de las tareas a los mismos astrónomos que habían asumido la medición de la cadena de triángulos. Méchain y Delambre quedaban así como únicos responsables de todas las operaciones geodésicas.

Las operaciones geodésicas debieron realizarse en medio de un país asolado por la guerra y por los drásticos cambios políticos y económicos producidos por la Revolución. Trabajos cuya duración se estimaba en un año duraron al final nueve<sup>1</sup>. El nuevo sistema, cuya entrada en vigor cifraba el decreto de la Asamblea Nacional de 8 de Mayo de 1790 en seis meses, comenzó a retrasarse, mientras el caos metrológico se generalizaba en el país. La Asamblea Nacional fue sustituida por la Legislativa y esta por la Convención el 21 de Septiembre de

<sup>1</sup> El mejor relato de las operaciones efectuadas sigue siendo la Introducción, escrita por Delambre, a la obra que recogería los resultados científicos de las operaciones, la *Base du système métrique*. (1806-1810). 3 vols. Paris, redactada en su mayor parte por el mismo Delambre. En esta obra se recogen, además numerosos documentos importantes para la historia del origen del Sistema métrico decimal.

Tras ella, sigue siendo insustituible la obra de BIGOURDAN G. (1901) *Le système métrique des poids et mesures*. Paris, Gauthier-Villars. Las obras posteriores, salvo la de FAVRE A. (1931) *Les origines du système métrique*. Paris, PUF., no son más que recapitulaciones sobre estas, con desenfoques y faltas de información importantes. Los archivos franceses

1792. Obra de la convención fue, finalmente, el decreto de 1 de Agosto de 1793, sobre la uniformidad y el sistema general de pesos y medidas.

El decreto de 1 de Agosto ordenaba a la Academia de Ciencias la construcción inmediata de patrones de los nuevos pesos y medidas fundados sobre la medida del meridiano, creaba una comisión mixta entre la academia y el comité de instrucción pública para vigilar las operaciones de construcción de los nuevos patrones y sobre todo, en su artículo 2, fijaba en un año a partir de la publicación del decreto la utilización obligatoria de las nuevas medidas. Sin tener en cuenta la marcha de los trabajos científicos, la Revolución urgía el cambio del viejo orden metrológico.

Los acontecimientos iban a complicar todavía más la génesis del nuevo sistema. El 8 de Agosto de 1793 se suprimían las academias francesas. El 11 de Septiembre se creaba la «Commission temporaire des poids et mesures», y el 22 se nombraba a sus miembros. La comisión quedaría compuesta por los «ciudadanos» Borda, Brisson, Coulomb, Delambre, Haüy, Lagrange, Laplace, Lavoisier, Méchain, Monge, Vandermonde y presidida por el primero. Esta comisión tuvo a su cargo la elaboración de las propuestas de nuevos nombres para las medidas, de sus divisiones, de los planes para su distribución a los departamentos y... del cálculo de unas unidades provisionales, a falta del valor exacto de las definitivas.

conservan inéditos todavía documentos importantes sobre la historia del nuevo sistema de pesos y medidas, faltos de una investigación sistemática. Entre otras contribuciones menores, sobre fuentes de archivo fue construida la tesis doctoral de CHAMPAGNE R.I. (1979) *The role of five eighteenth century mathematicians in the developement of the Metric System*. (Columbia Univ., Ph.D. Dissertation). A estas fuentes nos remitimos para la historia del sistema métrico durante el período 1792-99, salvo en los temas directamente tratados.

Su labor, sin embargo pronto se vió truncada por el Terror. El 23 de Diciembre de 1793 se depura la comisión y se expulsa de su seno a Borda, Lavoisier, Laplace, Coulomb, Brisson y Delambre. Méchain, trabajando ya en España, no debió ser expulsado ante el temor de que se exiliara en este país con sus cálculos e instrumentos. Delambre, a pesar de su suspensión, continuó trabajando en la medida de sus triángulos, acogido a la protección del General Calon, director del *Dépôt de la Guerre*, y a él se unió Méchain cuando pudo salir de España. A los comisarios restantes se unieron Buache, Hassenfratz y Prony y siguieron los planes para la preparación de las nuevas unidades y su distribución. Pero faltaba la dimensión de las unidades. La idea de una unidad provisional comenzó a cobrar fuerza ante la detención de los trabajos geodésicos y la falta de avances efectivos.

En este ambiente cambiante al compás de la situación política y militar, y por los desvelos de C.O Prieur, más conocido por Prieur de la Côte d'Or, se aprobó la ley de 18 germinal an III (7 de Abril de 1795). La Ley de 18 germinal es, tras la de 26 de Marzo de 1791, que erige al cuarto de meridiano como base del nuevo sistema, el segundo acontecimiento más importante en la génesis del Sistema métrico decimal. Por ella se adopta la nomenclatura y las subdivisiones definitivas de las nuevas unidades, al tiempo que, disolviendo la *Commission temporaire*, se crea una *Agence temporaire des poids et mesures*, encargada de la labor de introducción del nuevo sistema en la administración y un número indefinido de «*commisaires particuliers*», encargados de la conclusión de las operaciones científicas emprendidas.

Pero seguía faltando la magnitud de la unidad fundamental. El metro era la diezmilésima parte del cuadrante del

meridiano terrestre, mas seguía sin declararse oficialmente cual era la longitud del mismo en las antiguas medidas. Los patrones de las nuevas medidas, tantas veces reclamados, seguían sin poder elaborarse a pesar de los detallados planes de fabricación y distribución efectuados. Por decreto de 28 germinal an III, el comité de instrucción pública nombró como comisarios particulares a Berthollet, Borda, Brisson, Coulomb, Delambre, Haüy, Lagrange, Laplace, Méchain, Monge, Prony y Vandermonde, quienes el 21 floreal (10 de Mayo de 1795), decidieron la construcción, «en una década» (10 días) de un metro en cobre, encargando a Borda y a Brisson su determinación.

El 21 prairial an III (7 de Junio de 1795) estaba ya construida la nueva unidad, Así lo atestigua un metro en latón depositado hoy en el *Conservatoire d'arts et métiers*. El 18 messidor an III (5 de Julio de 1795), Borda y Brisson presentan su *Rapport sur la vérification du mètre qui doit servir d'étalon pour la fabrication des unités republicaines*<sup>2</sup>. Pero, ¿Cual era la longitud elegida? Escuchemos a los comisarios:

...La longueur de ce mètre, relativement à la toise, devant être fixée d'après l'ancienne mesure de la Méridienne de France, on a pris les résultats de cette mesure, qui ont été donnés par La Caille, dans les volumes de l'Académie des sciences, année 1758. Ce savant a trouvé, en comparant entre eux les différents arcs mesurés de la Méridienne, que la longueur du 45e degré de latitude, est égale à 57027 fois: d'où l'on conclut que la distance depuis le Pôle de la Terre jusqu'à

<sup>2</sup> El *Rapport* de Borda y Brisson, con el acuerdo, manifestado con su firma, de los comisarios de pesos y medidas Lagrange, Laplace, Prony, Berthollet además de ellos dos, en la misma fecha del 18 messidor an III, es editado, con fecha «Thermidor, an III», por la imprenta de la república.

l'équateur, qui est égale a 90 fois la longueur du 45 degré, est de 5132430 toises; et comme, par le décret de l'Assemblée nationale constituante, le mètre doit être la dix-millionième partie de la distance du Pôle à l'équateur, il s'ensuit qu'il doit être égal à 0.513243 to.; ce qui, réduit en subdivisions de la toise, donne 3 pieds 11 lignes 44/100.

La toise dont il s'agit ici, est celle qui est connue sous le nom de toise de l'Académie, et qui a servi pour la mesure des bases de l'arc terrestre au Perou, et pour celle des bases de la Méridienne de France. Cette toise est en fer, et l'on doit remarquer que les deux bases ont été mesurées lorsque la température était à 13 d du thermomètre de Réaumur. La commision des poids et mesures à pensé qu'il conviendrait rendre pour point fixe, la temperature à dix degrés du thermomètre centigrade...

Se disponía por fin del ansiado patrón, pero para ello había debido utilizarse una medida realizada cincuenta años atrás. La Agencia temporal bajo la dirección de Legendre, además de Cocquebert y Gattey, se encargó de la realización de los modelos de las nuevas medidas necesarios para enviarlos a los departamentos. La metodología de actuación fue establecida mediante la ley de 1 vendimiaire an IV (23 septiembre 1795), que otorgó un plazo de dos años, hasta el 1 vendimiaire an VI para la completa sustitución de los viejos patrones.

Comenzaba la batalla real en pro de la introducción del Sistema métrico decimal. Y esta batalla fue difícil. Los archivos franceses conservan la rica literatura que el proceso desató. Los nombres, las subdivisiones y los mismos tamaños de las nuevas medidas fueron los puntos más controvertidos. Durante diez meses, hasta su supresión en un demagógico intento de suprimir burocracia, los miembros de la agencia elaboraron una impresionante batería de razones en favor del nuevo

sistema<sup>3</sup>, que se revelarían útiles a lo largo de todo el proceso de implantación del mismo.

Los geodestas, por su parte, continuaron sus trabajos. La única fuente de conocimiento de estos es, todavía, la monumental obra de Delambre y Méchain *Base du système métrique*. Falta aún un estudio general de las circunstancias en que estos se desarrollaron y de los avances matemáticos que en los cálculos fueron empleándose. Carentes de él, retengamos el discurso de Delambre al inicio de la obra citada como buena fuente de información. Por el sabemos de sus penalidades, de los problemas de Méchain con su arco de meridiano, de la medida de las bases, efectuada únicamente por Delambre ante la imposibilidad de Méchain en acometer la de Perpignan que estaba a su cargo. No han sido estudiadas aún las técnicas instrumentales puestas a punto durante las operaciones, ni los criterios de elección de estaciones, ni las metodologías de observación empleadas... que constituyen la base de la moderna Geodesia desarrollada a lo largo del siglo XIX y que se encuentran en las abundantes cartas cruzadas entre los astrónomos mismos y con los sabios reunidos en París, así como en los borradores de los trabajos. Delambre se preocupó especialmente de que toda esa documentación fuese cuidadosamente conservada, para que cualquiera pudiese aprender los métodos empleados y comprobar los resultados consignados en los resúmenes definitivos. Es de desear que los ricos materiales existentes permitan un día acometer la elaboración de parte de esta historia.

<sup>3</sup> Una muestra destacada de esta literatura es *L'AGENCE temporaire des poids et mesures, aux citoyens rédacteurs de la Feuille du cultivateur, en reponse à des objections contre la Nomenclature des Mesures nouvelles, inserées dans le n 38 de ce journal. s/d [1795]*.

## **El metro definitivo**

La vieja idea internacionalista de Talleyrand en torno a la creación del sistema universal de pesas y medidas no había podido ser realizada hasta el momento. Los trabajos para la determinación del metro, con excepción de los colaboradores españoles de Méchain durante su misión en España (1792-93), habían sido única y exclusivamente franceses. La nueva medida iba a surgir pues, a pesar de sus esfuerzos de universalidad, teñida de un fuerte tinte francés.

Sin embargo, como bien comprendió Talleyrand y quienes le ayudaron en su primera propuesta, un nuevo sistema de medidas solo sería realmente útil a todos los hombres y a todos los pueblos si conseguía desprenderse de su carácter nacional. Esta idea volvió a surgir en París casi al final de los trabajos emprendidos para determinar la longitud del arco Dunkerque-Barcelona y rápidamente cogió toda la fuerza que pudieron imprimirle quienes todavía creían en la posibilidad de un tal sistema.

Terminadas prácticamente las operaciones, la única posibilidad de integrar otras naciones en la génesis del metro definitivo consistía en invitarlas a aprovechar los datos obtenidos por los geodestas franceses para, conjuntamente, realizar los cálculos necesarios para la determinación de esta longitud. La complejidad del problema, las decisiones no inmediatas que aún faltaba tomar, ofrecían todavía amplio campo de participación a matemáticos avezados.

Efectivamente, aún cuando no conocemos la paternidad última de la propuesta original, la idea de convocar un congreso internacional de matemáticos para realizar los cálculos necesarios para la determinación del metro, surgió oficialmente en una reunión de la primera clase (ciencias físico-matemáticas) del Institut de France, el 20 de Enero de 1798. Los *procés verbaux* de ese día recogen que:

Un membre représente à la classe qu'il seroit infiniment utile et désirable que des savants, envoyés par les différens Gouvernemens, assistassent et prissent part aux opérations qui restent à faire, pour déterminer l'unité fondamentale du système des poids et mesures. Il pense qu'il est convenable que l'Institut engage le Directoire à faire cette invitation<sup>4</sup>.

Talleyrand, en la época ministro de asuntos exteriores, se apresuró, naturalmente, a cumplir con tan interesante petición. Cartas de invitación fueron inmediatamente enviadas a los países neutrales, amigos o dependientes directamente de Francia y sus ejércitos, con la notable excepción de Estados Unidos de América y Suecia.

Fueron así invitados la República báltava (Holanda); la República helvética; la República cisalpina (Milán y Bolonia); la República ligura (Génova); el Reino de Cerdeña, conquistado por Francia y reemplazado por el gobierno provisional del Piamonte (Turín); la República romana, Toscana (Florencia), Dinamarca y España.

Todos respondieron favorablemente e inmediatamente enviaron científicos a colaborar con los franceses en la etapa final del proceso. Por la República báltava asistieron Van Swinden y Aeneae; por la cisalpina, Mascheroni; por la República helvética, Trallès; por la ligura, Multedo; por el Reino de Cerdeña, Balbo, reemplazado por el piamontino Vasalli; por la romana, Franchini; por Toscana, Fabbrini; por Dinamarca, Bugge y por España Gabriel Ciscar y Agustín de Pedrayes<sup>5</sup>.

<sup>4</sup> CROSSLAND M. (1969) The congress on definitive metric standarts, 1798-1799: The first international scientific conference? *Isis*, 60, 226-231.

<sup>5</sup> Los documentos sobre la participación de Ciscar y Pedrayes se conservan en los archivos españoles. Véase GARCÍA, A. (1993) *Las pesas y medidas en la España del siglo XVIII*. Tesis doctoral, Valencia.

A ellos se unieron, por parte francesa, Borda, Brisson, Coulomb, Darcet, Haüy, Lagrange, Laplace, Lefèvre-Gineau, Méchain y Prony, es decir, los miembros de la comisión de pesos y medidas, en la que Berthollet y Monge, ausentes en Egipto, fueron reemplazados por Darcet y Lefèvre-Gineau.

Presentes los comisionados en París a finales de Septiembre de 1798, hubieron de esperar el regreso de Méchain, cuyos trabajos geodésicos no estaban todavía concluidos. Finalmente, la primera reunión general tuvo lugar el 28 de Noviembre en los locales del *Dépot des cartes* de la Marina. A esta siguieron otras seis en los locales del Institut de France, para analizar la documentación aportada por Delambre y Méchain. En Enero de 1799, se crearon tres subcomisiones: una encargada de examinar las medidas realizadas y calcular el valor del metro definitivo, en la que se integraron como miembros activos Bugge, reemplazado por Císcar, Delambre, Méchain, Laplace, Tralles, Van Swinden y Legendre, que se unió a última hora; otra encargada de determinar la unidad de peso, formada por Coulomb, Mascheroni, Tralles, Van Swinden y Vassalli; y otra, por fin, encargada de comparar las viejas medidas con las nuevas, compuesta por Coulomb, Mascheroni, Méchain, Multedo y Vassalli.

Entre el 30 de Abril y el treinta de Mayo de 1799, las comisiones presentaron sus informes al pleno del congreso, quien, una vez aprobados, los sometió a la primera clase del Instituto y al pleno de este, el 17 de Junio de 1799. El 22 de Junio, todos los miembros presentaron a las dos cámaras legislativas, el Consejo de los ancianos y el Consejo de los quinientos, sus propuestas finales.

Nos interesa especialmente el resultado de las deliberaciones de la primera comisión, cuyo portavoz fue Van Swinden.

Su informe, titulado *Rapport sur la mesure de la méridienne de France et les résultats qui en ont été déduits pour déterminer la base du nouveau système métrique*<sup>6</sup>, ha sido pasado por alto, en sus aspectos matemáticos, y encierra varias sorpresas para el lector no avisado.

En efecto, tras dar cuenta de los miembros del congreso y del objeto de los trabajos de su comisión y antes de entrar a exponerlos, Van Swinden desliza un párrafo difícil de comprender:

Commençons par ce qui concerne la mesure de la méridienne. Les citoyens Méchain et Delambre se sont partagé cet immense travail. La partie boréale, depuis Dunkerque jusqu'à Rodès, est échue à celui-ci, et le citoyen Méchain a fait tout le reste depuis Rodès jusqu'à Barcelone; Il a vivement regretté que les circonstances ne lui aient permis de prolonger ses opérations jusqu'à l'île de Cabrera, comme il l'avoit désiré; il avoit même fait tous les préparatifs nécessaires pour examiner le local et constater les stations qu'il conviendrait d'employer; il a tracé sur le papier les triangles qu'il faudra mesurer: de sorte que toute cette partie est ébauchée, et que, grace a son activité et aux soins qu'il s'est donné sur cet objet, il sera facile d'ajouter cet arc à celui qui vient d'être mesuré et de prolonger encore la méridienne de deux degrés. Espérons que des circonstances favorables permettront d'exécuter un jour ce qui n'a pu l'être jusqu'ici. (p. 30).

Sorprendente es en efecto esta información que prolonga los trabajos emprendidos hasta las islas Baleares, sin que este hecho estuviese recogido en ninguno de los documentos oficiales del sistema métrico. Retengamos este hecho, fundamental para el futuro.

<sup>6</sup> VAN SWINDEN (1799) *Rapport sur la mesure de la méridienne de France et les résultats qui en ont été déduits pour déterminer la base du nouveau système métrique. Mem. Inst. Nat. 1ere série, T. II, pp. 23-80.*

Pasa luego Van Swinden a una detallada exposición de los métodos empleados por Méchain y Delambre en sus medidas angulares, en las de las bases, en las de azimutes y en las de latitudes de los puntos extremos, Dunkerque y Montjuich, así como en los puntos intermedios de Evaux, Carcassonne y el Panteón de París.

A continuación comienza con los resultados de los cálculos efectuados por la comisión, de los que se deduce el decrecimiento de la medida de los grados de meridiano medidos hacia el ecuador, pero también la variación irregular de este decrecimiento.

Tras cuantificar la magnitud del decrecimiento de los grados a lo largo del arco medido y su valor en «módulos», unidades auxiliares relacionadas exactamente con la toesa de la Academia, Van Swinden continúa:

En prenant cet arc pour base, on en à déduit le quart du méridien par un calcul rigoureux dans l'hypothèse elliptique. Il falloit, pour faire ce calcul, connoître l'aplatissement de la Terre: c'est encore l'expérience que la commission a consulté pour cette détermination. Pour cet effet, elle a employé, d'une part, le grand arc que les citoyens Méchain et Delambre viennent de mesurer en France; et de l'autre, celui que d'excellents observateurs ont mesuré au Pérou, il y a soixante ans, à peu près sous l'équateur même: c'est un de ceux qui ont été déterminés avec le plus de soin, et discutés avec le plus d'attention et d'exactitude. Il est d'ailleurs le plus grand de tous ceux qui ont été mesurés hors de France, soit par les ordres de diférens gouvernements, soit, comme celui-ci, par les ordres du gouvernement français. Enfin sa distance même de l'arc auquel on le compare diminuera l'influence des erreurs qui pourroient s'être glissés dans sa détermination, puisqu'elles se trouveront distribuées sur un plus grand intervalle.

La comparaison de ces deux arcs, faite avec soin et par différentes formules, a donné un trois-cent-trente-quatrième pour l'applatissage de la Terre; et il est très remarquable que cet applatissage, calculé d'après les données que nous venons d'indiquer, est le même que celui qui résulte de la combinaison d'un grand nombre d'expériences faites dans différents endroits sur la longueur du pendule simple, et qu'il est encore conforme à celui qu'exige la théorie de la nutation et de la précession. L'accord de ces trois résultats, tirés de trois genres d'observations très différents, mérite la plus grande attention, et il est bien propre à inspirer beaucoup de confiance sur chacun d'eux. D'ailleurs une légère erreur sur ce point auroit d'autant moins d'influence sur le résultat définitif, que le milieu de l'arc entier, terminé par Dunkerque et Montjoui, passe près du quarante-cinquième degré de latitude, ou du degré moyen. (pp. 52-53).

Van Swinden nos revela aquí un detalle espectacular del proceso de cálculo empleado, sobre cuya significación matemática y política, las historias clásicas del SMD no han puesto demasiado énfasis<sup>7</sup>: en el cálculo del achatamiento de la Tierra, valor fundamental a la hora de establecer el nuevo metro, los miembros de la comisión se habían visto obligados a utilizar, junto con las medidas del arco Dunkerque-Barcelona, las realizadas sesenta años antes por la expedición al Perú. Las irregularidades del arco Dunkerque-Barcelona impedían calcular, sobre la única base de la comparación de grados medidos a diferentes latitudes dentro del mismo, un único valor para el achatamiento de la Tierra. Se obtenían resultados que

<sup>7</sup> BIGOURDAN (*Le système métrique...*, p. 154) reconoce que: ...Il semble qu'à l'origine on avait espéré déduire cet élément de la seule mesure de l'arc de Dunkerque à Barcelone. Mais cet arc conduisit, pour l'applatissage, à la valeur 1/150. En présence de ce résultat inadmissible, l'applatissage dut être déduit de l'arc du Pérou, combiné avec celui de Dunkerque à Barcelone, et l'on trouva ainsi 1/334.

llegaban a la mitad del valor esperado. Las irregularidades locales del elipsoide terrestre, especialmente notables, para su desgracia, en el meridiano de París en las proximidades de Evaux, eran demasiado importantes como para compensarse entre sí.

Este detalle, que la comisión trata como un aspecto más entre los que debieron considerarse a la hora de los cálculos, y que se intenta justificar acudiendo a resultados convenientes obtenidos mediante otras fuentes, olvidando los numerosos resultados inconvenientes que hubieran podido también aducirse, ocultaba, en efecto, una trágica realidad: un aspecto crucial de la nueva medida universal, cuya determinación se había presentado ante la Asamblea nacional en 1791 como la más perfecta jamás realizada y sobre cuya base se habían vencido las críticas de sus adversarios, iba a apoyarse sobre las medidas realizadas sesenta años atrás, con instrumentos y técnicas que habían sido explícitamente considerados ya insuficientes a la hora de establecer el nuevo sistema métrico.

Deben recordarse aquí las palabras del propio Van Swinden cuando hacía votos por la continuación de las medidas de Méchain en el arco de meridiano de París subtendido desde Barcelona a las islas Baleares. Aún cuando la ciencia oficial no había ligado ambos hechos, la historia posterior mostraría cuan próximos se encontraban. Es este otro aspecto fundamental de la historia del Sistema métrico decimal, que la historiografía, incluso la científica especializada, no ha recogido hasta ahora en toda su importancia. A él dedicaremos el siguiente capítulo.

Pero sigamos con la parte más esperada del informe. Van Swinden continúa:

Cet élément du calcul une fois arrêté, le calcul même du quart du méridien ne pouvoit plus offrir de difficulté; et l'on a

trouvé par différens méthodes, en employant l'arc intercepté entre Dunkerque et Montjouy et un trois cent trente-quatrième pour l'appplatissement de la Terre, que le quart du méridien terrestre est de 2565370 modules: d'ou il suit, et c'est là le résultat définitif de tout le travail, que sa dix-millionième partie, ou le mètre, unité de mesure, est de 0,25637, ou, en s'arrêtant pour la pratique à quatre décimales, de 0,2565 parties du module.

Pour réduire cette longueur aux anciennes mesures, nous dirons d'abord que si le module et la toise du Pérou étoient supposés l'un et l'autre à la temperature qu'avoit celle-ci lorsqu'elle a été employée par les académiciens, qui se rapporte au treizième degré du thermomètre à mercure, divise en quatre-vingts parties, ou au seizième et un quart du thermomètre centigrade, le mètre seroit égal à 443,291 lignes de cette toise, ensuite, qu'en réduissant, comme il le faut, le module à la température à laquelle il a été réduit dans l'expression de la longueur des bases, laquelle a servi à calculer les triangles et la méridienne, le mètre vrai et définitif est de 443,296 de la toise du Pérou... (pp. 53-54).

La recepción de la nueva medida por la comunidad astronómica fue contradictoria. A pesar de los problemas planteados, algunos la saludaron como base de un sistema que en conjunto ofrecía grandes ventajas sobre los existentes. Otros la atacaron a causa de la desgraciada irregularidad en el achatamiento de la Tierra. Bigourdan<sup>8</sup> reproduce una carta del Barón de

<sup>8</sup> BIGOURDAN (*Le système métrique...* pp. 240-241) Cartas de Zach a Lalande, fechadas 3 diciembre 1798 y 28 de Mayo de 1799. «Je vous félicite sur votre brillante rentrée au Collège (de France); mais le scandale de la nouvelle mesure m'a donné bien du malaise; je me garderai bien d'en publier quelque chose: ce sont les parties honteuses de l'Astronomie qu'il faut bien cacher; tout cela me fait de la peine, et j'espère encore qu'on trouvera des fautes de calcul, car les résultats dont vous me parlez sont aussi extraordinaires qu'extravagants...» «Enfin, faut-il s'arreter à l'appplatissement 1/133 et (fixer) le mètre à 11 lignes, 296? Oserai-je publier

Zach, editor de la *Monatliche Correspondenz*, la primera revista astronómica especializada, a Jérôme Lalande, en que se apuntan fuertes críticas a este respecto.

En cualquier caso, tales críticas fueron pronto acalladas. La perfección del sistema completo, por encima de sus problemas científicos y de aplicación, concitó hacia él el respeto de los más. Los propios miembros extranjeros de la comisión que decidió el valor del metro definitivo, al retornar a sus países se apresuraron a recomendar la medida a sus gobiernos. Significativo es el caso del español Gabriel Císcar, miembro, como hemos visto de la comisión que realizó los cálculos definitivos. Retornado a España, se apresuró a publicar una obrita, su *Memoria elemental sobre los nuevos pesos y medidas decimales fundados en la Naturaleza*<sup>9</sup>, la primera que dio cuenta del nuevo sistema. Su capítulo IV, «Exposición de las razones que hay para adoptar el nuevo sistema métrico», concluye la enumeración de estas con una inequívoca declaración:

Estas son las principales ventajas inherentes al nuevo sistema métrico: y es muy superior a todas ellas la que resultaría al Comercio y a las Artes la adopción universal de las nuevas medidas y pesos decimales. La Naturaleza y no la Francia, es la que nos las presenta. Aceptémoslas á imitación de nuestra aliada natural, con la que tenemos tantas relaciones comerciales. Estas se simplifican sobremanera con la uniformidad propuesta de pesos y medidas...

ce résultat? J'ai gardé jusqu'à présent le silence sur cet article épineux, qui ne manquera pas de faire scandale en Astronomie. Bugge, Trälles, ont fort mal parlé de la mesure de la méridienne; ils ont publié que tout ce travail ne valait rien; qu'il est mal fait, qu'il ne donne rien de concluant et qu'il ne mérite aucune confiance; cela me fait de la peine».

<sup>9</sup> CISCAR G. (1800) *Memoria elemental sobre los nuevos pesos y medidas decimales fundados en la Naturaleza*. Madrid, Imprenta real, p. 33.

## Capítulo IV

### El problema matemático. La teoría del arco independiente del achatamiento de la Tierra

#### El paralelo 45

A lo largo de nuestra historia hemos ido encontrando referencias constantes a las medidas bajo el paralelo 45: Talleyrand ya hacía mención a la determinación del péndulo que bate segundos bajo esa latitud; el informe ante la Academia de Ciencias de 19 de Marzo de 1791 apuntaba las ventajas de una medida lo más simétrica posible respecto de dicho paralelo; el metro provisional tomó como base la medida del grado cuya latitud media coincidía con él y por fin, el *Rapport* de Van Swinden, al lamentar que Méchain no hubiese podido prolongar el arco Dunkerque-Montjuich hasta las Baleares, volvía a apuntar claramente hacia las ventajas de disponer de un arco cuya latitud media fuese de 45 grados.

Pero... ¿Cuales eran las bases teóricas de esta insistencia? Ninguno de los documentos que hacen referencia a la singularidad de las medidas realizadas a esta latitud, lo explicita claramente. Detengámonos brevemente en este detalle.

El primer estudio sobre el achatamiento de la Tierra y sus consecuencias matemáticas corresponde, como es bien conocido, a la obra de Isaac Newton *Philosophiae naturalis principia mathematica* (1687). En efecto, las proposiciones XVIII, XIX y XX del libro III, sobre el sistema del mundo, encierran la primera teoría sobre este fenómeno. En la proposición XX, problema IV, se encuentra el importante teorema que afirma que

el incremento de peso, desde el ecuador hacia los polos, varía como el cuadrado del seno de la latitud y que los arcos de los grados de latitud aumentan aproximadamente en la misma proporción, con un achatamiento (la relación entre la diferencia entre los semiejes mayor y menor de la Tierra y el semieje mayor) calculado en  $1/230$ . La demostración, poco elaborada matemáticamente y restringida al caso de una Tierra homogénea, se completa con una tabla de los valores de estos grados en la que, en efecto, el grado 45 de latitud tiene el valor medio entre los calculados en el polo y en el ecuador<sup>1</sup>. Tras su deducción teórica, Newton compara sus valores para la longitud del péndulo que bate segundos con los datos experimentales por él conocidos para diferentes latitudes. Las discrepancias le hacen suponer que la Tierra es un poco más achatada de lo por él supuesto y más densa en su centro que en su superficie, pero no va más allá en la generalización de sus hipótesis.

Como hemos apuntado, otros autores, especialmente Huygens, tratan también el problema teórico del achatamiento de la Tierra a finales del siglo XVII<sup>2</sup>. A principios del XVIII, con la ya citada obra de Cassini, *De la grandeur et figure de la Terre*, se introducen nuevos elementos experimentales en la cuestión y se generaliza el debate en el marco de las polémicas pro y anti newtonianas. Las expediciones a Laponia y al Perú, con la publicación de sus resultados, aportan también importantes avances teóricos y estimaciones sobre el valor de la más importante magnitud a este respecto: el achatamiento de la Tierra.

<sup>1</sup> NEWTON I. (1687) *Principios matemáticos de la Filosofía natural*. Madrid, Ed. nacional, pp. 693-94.

<sup>2</sup> HUYGENS Ch. (1690) *Traité de la lumière... par C.H.D.Z., avec un Discours sur la cause de la pesanteur*. Leyden. pp. 124-80.

No obstante, estas primeras teorías matemáticas sobre la verdadera figura de la Tierra, fundadas sobre la hipótesis de una tierra homogénea como la del propio Newton, se correspondían mal con los resultados experimentales. La primera teoría completa que considera la Tierra como un elipsiodes no homogéneo, formado por diferentes capas elipsoidales de densidades diferentes, se encuentra en las obras de Alexis-Claude Clairaut, de las que su *Téorie de la figure de la Terre*<sup>3</sup>, es una espléndida y clara síntesis. Aquí se encuentra el primer resultado significativo para nuestra búsqueda.

En efecto, en esta obra, especialmente en sus páginas 187 a 191, Clairaut demuestra rigurosa y elegantemente, para un elipsoide homogéneo que difiere muy poco de una esfera, el teorema de Newton contenido en su famosa proposición XX. Más aún, en la página 247, en el caso general de un esferoide compuesto por una infinidad de capas elipsoidales cuyas elipticidades y densidades varían de un modo cualquiera, aparece el teorema así enunciado:

XLVIII Le sphéroïde précédent tournant autour de son axe, je dis que, quel que soit le temps de sa rotation, la quantité dont la pesanteur au pôle surpassera la pesanteur d'un lieu quelconque, sera proportionnelle au carré du cosinus de la latitude de ce lieu.

De este teorema se deduce inmediatamente, en el caso más general, que el péndulo que bate segundos bajo el paralelo 45 tiene la propiedad de tener una longitud igual a la media entre los medidos desde el polo hasta el ecuador. Además de ello, Clairaut demuestra que Newton se equivocó al deducir de sus observaciones del péndulo que el achatamiento de la Tierra

<sup>3</sup> CLAIRAUT A. (1742) *Theorie de la figure de la Terre*. Paris,

debía ser mayor de  $1/230$ , cuando debió deducir justamente lo contrario. Por lo que respecta al valor de los arcos de meridiano a diferentes latitudes, Clairaut, más interesado por la determinación del fundamental valor del achatamiento terrestre que por este valor y sus variaciones con la latitud, no realizó análisis alguno sobre el valor del grado medio, a pesar de que su aparato matemático hubiera podido darle una solución muy aproximada.

En los años posteriores, reconocido el problema de la figura de los planetas como uno de los aspectos más interesantes de la mecánica celeste, diversos investigadores dedicaron sus esfuerzos a obtener teorías generales sobre la cuestión. Desde 1773, de la mano de Laplace y desde 1784 de la de Legendre<sup>4</sup>, se comienza a construir efectivamente la teoría de la figura de los planetas en el marco de la mecánica newtoniana, que adquiere su expresión más completa en la *Mécanique céleste* de Laplace<sup>5</sup>.

Como problema colateral de este, necesario para la realización de los cálculos de triángulos sobre una superficie de revolución cuasi-esférica, Legendre y Delambre crearían las bases de dos nuevas ramas de las matemáticas: la Trigonometría esferoidal y la Geodesia moderna.

Precisamente entre las obras de Delambre y en el marco ya de los trabajos para la determinación de la nueva unidad de medida surgida de la revolución francesa, vamos a encontrar finalmente la teoría del grado medio y su relación con el achatamiento de la Tierra, que justificaría matemáticamente las

<sup>4</sup> La obra de referencia sobre el tema continúa siendo, a pesar del tiempo transcurrido desde su publicación, la de TODHUNTER I. (Reed. 1962) *A History of the Mathematical Theories of Attraction and the Figure of the Earth*. N. York, Dover.

<sup>5</sup> LAPLACE P.S. (1799-1825) *Mécanique céleste*. Paris.

referencias que todavía de modo muy intuitivo se encuentran en los escritos de la Academia de ciencias francesa desde 1791 y que daría soporte matemático a las esperanzas manifestadas por Van Swinden en su memoria de 1799.

### **La teoría del arco independiente del achatamiento de la Tierra**

En efecto, si tras los trabajos de Clairaut, la teoría de la longitud media del péndulo que bate segundos bajo el paralelo 45, quedaba bien establecida, la teoría del arco independiente del achatamiento de la Tierra, que se encuentra en la base de la idea del grado medio y de los deseos de tener la medida de un arco simétrico respecto del paralelo 45, no había sido todavía esbozada.

La primera obra en la que encontramos esta teoría, explícita y operativa, es la que Delambre dedica a exponer los métodos de cálculo empleados en la determinación de la longitud del arco de meridiano medido con motivo del cálculo del valor del metro. Sus *Methodes analytiques pour la détermination d'un degré du méridien* (1799), que se imprimió en principio como un manual para los miembros de la comisión que hizo los cálculos, contienen, efectivamente, las fórmulas adecuadas para demostrar que un arco cuyo centro coincida aproximadamente con el paralelo 45, es independiente, en su longitud, del achatamiento de la Tierra<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> DELAMBRE J.B. (1799) *Methodes analytiques pour la détermination d'un degré du méridien*. Paris, pp. 68-91.

Así, en la página 74 de este libro, después de haber desarrollado en serie las fórmulas obtenidas para expresar la longitud de un cuarto de meridiano, despreciando los términos multiplicados por la sexta potencia de la excentricidad, su puesta pequeña, se obtiene:

$$Q = \frac{(A-A') 90^\circ}{(L-L')} \left( 1 + \left( \frac{3}{4} e^2 + \frac{3}{8} e^4 \right) \frac{\sin(L-L') \cos(L+L')}{(L-L')} - \frac{15}{128} e^4 \frac{\sin 2(L-L') \cos 2(L+L')}{(L-L')} \right)$$

Q representa el valor del cuarto de meridiano. A-A' representa la longitud del arco medido, expresado en toesas. L, L' representan las latitudes de los extremos del arco medido; e representa la excentricidad del elipsoide.

Para obtener el valor del metro, en líneas, se multiplica por 864 (valor de la toesa en líneas) y por 10 (para tomar la diezmillonésima parte del cuadrante del meridiano). Expresando el arco en radianes, se obtiene:

Longitud del metro m:

$$\begin{aligned} m &= \frac{0.0000864 (A-A') (1.570796326795)}{(L-L')} \\ &\times \left( 1 + \left( \frac{3}{4} e^2 + \frac{3}{8} e^4 \right) \frac{\sin(L-L') \cos(L+L')}{(L-L')} - \frac{15}{128} e^4 \frac{\sin 2(L-L') \cos 2(L+L')}{(L-L')} \right) \\ &= \frac{0.000135716802635 (A-A')}{(L-L')} \\ &\times \left( 1 + \left( \frac{3}{4} e^2 + \frac{3}{8} e^4 \right) \frac{\sin(L-L') \cos(L+L')}{(L-L')} - \frac{15}{128} e^4 \frac{\sin 2(L-L') \cos 2(L+L')}{(L-L')} \right) \end{aligned}$$

Las expresiones anteriores para el cuarto de meridiano y el metro permiten deducir inmediatamente que si  $L+L' = 90$ , o lo que es lo mismo, si los extremos del arco considerado son simétricos respecto al paralelo 45, los términos en  $e^2$  se anulan y quedan términos en  $e^4$  y superiores. De ello se sigue que para

arcos que cumplan esta propiedad, el valor de un cuarto de meridiano es independiente del achatamiento de la Tierra salvo en una corrección dependiente de la cuarta potencia de la excentricidad.

Para cuantificar el valor de esta corrección, tomando, por ejemplo, del arco medido entre Dunkerque y Montjuich, la parte Montjuich- Bruyères, de latitudes  $41^{\circ} 21' 45''$  y  $48^{\circ} 35' 47''$ , que cumple la condición con gran aproximación, pues  $L+L'=89^{\circ} 57' 32''$ , el término en  $e^4$  da para el arco una corrección de 2.10 líneas o aproximadamente 4.10 milímetros, suponiendo un achatamiento de  $1/300$ . Como se ve esta corrección es enteramente despreciable.

Puede irse más lejos todavía: suponiendo un achatamiento que no se separe demasiado de  $1/300$ , puede obtenerse con gran aproximación el punto que cumple con la condición de generar arcos simétricos prácticamente independientes del achatamiento de la Tierra. Para un achatamiento en torno a  $1/300$ , el «paralelo medio» sería el de latitud  $45^{\circ} 3' 35''$ .

Es notable, sin embargo, que estos aspectos no fueran ni mencionados ni utilizados al final por la comisión internacional, en cuya comisión de cálculo se encontraba Delambre, que según confiesa, insistió en que se considerasen<sup>7</sup>.

Delambre nos cuenta, efectivamente, parte de las discusiones que tuvieron lugar en la comisión.

J'avois encore remarqué que l'incertitude qui provient de l'appplatissement seroit beaucoup moindre en choisissant un arc dont les latitudes extrêmes ( $L + L'$ ) fissent une somme de  $90$  à peu près, et l'arc entre le Panthéon et Montjoug satisfait cette condition...

<sup>7</sup> DELAMBRE J.B., MÉCHAIN P.A. (1806-10) *Base du système métrique*. Paris, Agasse, Vol III, Capítulo «Determination du mètre», pp. 101-39.

... on voit donc que dans tous les systèmes d'applatissement, comme dans l'sphère, la valeur du mètre, d'après l'arc entre le Panthéon et Montjouy, seroit très peu différent de 443,25. Mais ce mètre paroitra sans doute un peu court; d'ailleurs on répugnoit à abandonner un arc de 2 11' 20" qui n'est pas moins bien mesuré que le reste...

... Pour appuyer l'idée d'abandonner l'arc du nord de Paris, on pourroit dire que la latitude du Panthéon, qui devoit être celle de l'extrémité nord de l'arc, est plus sûre que celle de Dunkerque, mais d'abord on peut répondre que la petite incertitude sur la hauteur du pôle à Dunkerque, est en grande partie compensée par la plus grande amplitude...

Es evidente que no hubo acuerdo en la comisión, pero la forma diplomática que emplea Delambre al narrar, impide conocer quienes estuvieron a favor de una u otra solución. Lo bien cierto es que, como afirma Delambre, utilizar la teoría del arco medio sólo podía hacerse a costa de disminuir el tamaño del arco medido, lo que aumentaba los errores posibles. Vista la dispersión de resultados en las diferentes partes del arco, la comisión debió preferir al final tratar de compensar entre sí los posibles errores eligiendo el arco mayor que tenía a su disposición, aún a costa de tener que recurrir al arco de Perú. Debe recordarse que precisamente el arco utilizable por la teoría del arco medio era el que mayores desviaciones había registrado, con excentricidades deducidas de sus medidas entorno a 1/130, claramente inadmisibles. Dificilmente se podía cargar sobre un arco de apenas siete grados, con grandes irregularidades, la responsabilidad de fundar el nuevo metro.

Así pues, mejor pareció, al final, repartir errores posibles e irregularidades locales, adoptando el método ya clásico de calcular excentricidades tomando valores de arcos alejados entre sí, aunque correspondieran a medidas tomadas sesenta años

antes y no demasiado seguras. Los riesgos eran menores que los asumidos sólo con el pequeño arco franco-español. Tal fue la solución elegida y la teoría del arco medio no tuvo ninguna influencia en la determinación del metro definitivo.

La única traza, contemporánea de las decisiones<sup>8</sup>, que queda de la posible consideración de esta teoría son las palabras de Van Swinden que hemos recordado, en referencia con la prolongación del arco español hasta las Baleares, lo que, con un arco de cerca de 12 grados, prácticamente partido por su mitad por el paralelo 45, permitiría aplicar la teoría sobre un arco doble del posible sin esta prolongación.

Nada sin embargo permitía, en 1799, esperar que esta prolongación se efectuase. Los valores obtenidos venían a confirmar las irregularidades locales del elipsoide terrestre, al que, estrictamente, no se le podía llamar ya «elipsiode». Como al final sucedió, descartada la posibilidad de una medida verdaderamente «universal», el programa de investigación más interesante que quedaba era la investigación de las irregularidades mismas, es decir, de la verdadera forma del geode terrestre. Sorprendentemente para el estudioso, la historia sería muy otra.

<sup>8</sup> El volumen tercero de la *Base du système métrique* apareció en 1810 y debió escribirse cerca de esa fecha. En los anteriores escritos de Delambre no aparece mención de las discusiones de la comisión.

## Capítulo V

### La prolongación del meridiano de París hasta las islas Baleares. La primera expedición de Méchain

#### La primera idea de la prolongación

En su carta al presidente de la Asamblea Nacional francesa, fechada el 11 de Noviembre de 1790, el secretario perpétuo de la Academia de Ciencias de París, Condorcet, tras presentar los primeros frutos de la colaboración de la academia en el proyecto de unificación de pesos y medidas, escribe<sup>1</sup>:

L'Espagne a envoyé en France un savant chargé de suivre toutes les opérations relatives aux mesures qui seraient faites en vertu de vos décrets, dans l'intention , soit de de s'y conformer dans la réforme de ses mesures, soit de faire répéter au quarente-cinquième degré, dans l'hémisphère austral du Nouveau Monde, les opérations que les français exécuteront à la même latitude dans l'hémisphère boréal de l'Ancien...

Si interesante parecía el conocer la identidad de este sabio español, más aún se revelan sus actividades en estos primeros momentos del nacimiento del nuevo sistema de pesas y medidas. En efecto, en fecha de 15 de Abril de 1792, pocos días después de la concesión del permiso solicitado por el Rey de Francia para que dos comisarios franceses procedan a medir el arco Pirineos-Barcelona, el ministro español de Marina, An-

<sup>1</sup> La comunicación ha sido recogida, además de en los documentos contemporáneos, en CONDORCET Marquis de, (1847-49) *Oeuvres*. Paris, Didot, Vol. 1, p. 515.

tonio Valdés, envía al ministro de Estado, el Conde de Aranda, la siguiente carta<sup>2</sup>:

15 de Abril de 92. Al Sr. Ministro de Estado.

Excmo. Sr. Desde que a mediados del año de 90 empezó a tratar la Academia de Ciencias de Paris sobre el modo de uniformar los pesos y medidas, dió cuenta el Capitan de fragata Dn. José de Mendoza y Rios que se halla allí con importantes objetos del servicio, de los medios adoptados por los comisarios de aquel cuerpo, reducidos a observar exactamente en el paralelo de quarenta y cinco grados y a la orilla del mar, la longitud del Péndulo de un segundo de oscilación, pues estableciendo bien aquella base, era muy fácil deducir las medidas, y pesos, en el orden más acomodado al uso sin necesidad de más para substituir estos medios a los antiguos que averiguar sus mútuas relaciones y publicarlas.

Y considerando Mendoza la grande utilidad que podría producir esta operación mirada por la parte científica, repetida en igual latitud del emisferio austral para la importante cuestión del aplanam . de la Tierra, propuso su execución por oficiales que al efecto podrían destinarse en ocasión propicia, indicando al mismo tiempo lo conveniente que sería el que hiciesen las propias observaciones sobre las costas de California los de la expedición que está dando la vuelta al Glovo.

El Rey, persuadido de las ventajas de esta idea, tuvo a bien mandar se previniese a Mendoza que siguiese los pasos de los Académicos de Francia, y que dispusiese la construcción de los Péndulos e instrum . de física necesarios para la práctica de las operaciones q proponía en las partes Meridional y Septentrional de las Américas.

Por el conocimiento de dicho oficial con los sugetos encargados de la empresa, y mediante el que estos tienen del mérito

<sup>2</sup> Archivo del Museo naval de Madrid (AMNM), Legajo 2294, doc. 1.

de aquel, ha entrado en las conferencias q se han tenido sobre este punto, y habiendo opinado siempre que aunque para las medidas comerciales era el Péndulo admisible debían referirse las geográficas, y marítimas a la magnitud del Globo, con especialidad las últimas que no pueden dimanar de otra dimensión que la del grado terrestre, pues de este modo procediendo las de ambas clases del origen más seguro sería una disposición más constante y reuniría todos los requisitos necesarios, avisó en Marzo del año pasado que al fin decidido el Caballero Borda por la utilidad de este proyecto, había puesto en movimiento todos los resortes capaces de hacerlo aprobar y que en tal caso se mediría la distancia de Dunkerque a Barcelona. Hizo nuevamente una demostración de las utilidades de esta idea, y de las grandísimas ventajas que rendirían en favor de la navegación, de la física, y de la geografía las operaciones propuestas en el emisferio opuesto, y habiendo oído sobre el particular al Brigadier Dn José Varela, que apoyó la importancia del resultado anunciado por Mendoza, me mando S.M. indicarle que siempre que por parte del Rey de Francia se solicitase el permiso para la práctica de las expresadas oper. en nuestro territorio, convendría S.M. en ello, destinando por nuestra parte un oficial o más para que concurriesen al intento, según había propuesto.

Ulteriormente ha ido noticiando todos los pasos que se han dado en este asunto, y por último me ha avisado que aquel Gobierno había mandado a su encargado de negocios aquí, que impetrase de S.M. el enunciado permiso, proponiendo al mismo tiempo para la concurrencia con los comisionados de Francia al Teniente de Navío Dn José González, alférez de la Compañía de Guardias Marinas de Cartagena.

Yo omito manifestar a V.E. mi opinión sobre la utilidad de semejante idea, por q le será bien conocida, como lo tiene ya comprendido S.M., y ssí refiero a V.E. estos antecedentes para q . sirviendose recordarlos a S.M. en el anunciado caso, se digne resolver lo que fuera de su soberano agrado, tanto en

orden a la práctica de las referidas operaciones dentro de nuestro territorio como en razón de la asistencia de González y de algún otro oficial que podrá el proponer para compañero, pues Mendoza le instruirá con la conven. anticipación de todo lo que haya de practicarse, y de que procure se extienda la medida de la Meridiana hasta Mallorca para proporcionar que quede quasi exactam. en medio de ella el paralelo de 45, porque esto produciria ventajas importantes para la perfección del resultado general y para nra geografia en particular, y según me dice, los comisionados a quienes ha comunicado este pensam. se han ofrecido para que se hiciera...

Esta importante comunicación nos informa de varios aspectos notables para la Historia del sistema métrico, desconocidos hasta el presente<sup>3</sup>: En primer lugar permite conocer la identidad del sabio a que se refiere Condorcet y su labor de informador del gobierno español. Efectivamente, desde mediados de 1788 venía preparándose una misión científica por Europa, comandada por el Capitan de fragata José de Mendoza y Ríos, autor de un importante *Tratado de navegación* y ya conocido en los ambientes matemáticos. Tras reunirse en Madrid con otros integrantes de la comisión, entre los que destaca José María de Lanz y Zaldivar, entonces alférez de navío, el 9 de Octubre de 1789, a finales de este año lo encontramos ya en París. En la capital francesa permanecieron unos meses para viajar posteriormente por Inglaterra, Alemania, Dinamarca, Suecia, Polonia y Rusia<sup>4</sup>. En 1791 están de vuelta en París, donde Mendoza permanece hasta finales de 1792 o

<sup>3</sup> Dimos cuenta de la misma en TEN A.E. (1989) El Sistema métrico decimal y España. *Arbor*, 134, 101-121.

<sup>4</sup> RUMEU DE ARMAS A. (1982) *El científico mejicano José María de Lanz, fundador de la Cinemática industrial*. Madrid, Instituto de España, p. 19.

principios de 1793. A Mendoza debe referirse la noticia que encontramos en los *Procés verbaux de l'Académie des Sciences*, que nos informa de que la institución decide, el 30 de Marzo de 1791, invitar a algunos sabios extranjeros, presentes en París, a sus sesiones para discutir la reforma de pesos y medidas<sup>5</sup>, como efectivamente nos confirma la carta de Valdés.

Por ella nos enteramos también del ambicioso proyecto de determinar la longitud del péndulo que bate segundos bajo el paralelo 45, en tierras australes y en California. No tenemos todavía noticias de que tal determinación tratara de efectuarse y, aun cuando es improbable, dada la evolución de los acontecimientos, el dato constituye un interesante tema de investigación. Nos informa también Valdés de las preferencias de Mendoza por el patrón sacado de la medida de un arco de meridiano y, más importante aún, asegura que efectivamente fue Borda quien mayor empeño puso en la aprobación del meridiano como base del nuevo sistema de pesos y medidas. Ninguna fuente contemporánea francesa es tan categórica.

Pero sin duda, la información más importante entre las contenidas en el documento es la que asocia a Mendoza con la idea de la prolongación del arco de meridiano Dunkerque-Barcelona hasta las islas Baleares. Este espectacular dato queda confirmado con posteriores comunicaciones entre el oficial González, efectivamente destinado al las operaciones, como Mendoza deseaba, y el ministro Antonio Valdés.

Así, en carta fechada en Barcelona el 1 de Julio de 1792, González se dirige a su ministro en estos términos<sup>6</sup>:

<sup>5</sup> Archivo de la Académie des Sciences de París. Procés verbaux des séances (PVAS), Libro 109, p. 314, (1791).

<sup>6</sup> AMNM, legajo 2294, doc. 10.

Excmo. Sr. ... Con fecha de veintiuno de Mayo me dize Mr Méchain, en carta que he recibido aquí, que contaba salir de París el diez del pasado Junio y llegar aquí el diez, y siete, pero hasta ahora no ha parecido.

Al mismo tiempo he recibido Carta de igual fecha de Don Josef Mendoza, y por ambas infiero que convendrá el comisionado de la Academia de las Ciencias en extender sus operaciones hasta Mallorca y aún que lo desea; por tanto tendré poco que hacer para desempeñar el encargo que sobre este particular me hizo V.E. en uno de sus primeros oficios, respecto que Mendoza parece que ha preparado su ánimo à este fin.

En esta Comandancia de Ingenieros, o en su Academia no faltarán planos exactos de toda la ext. de terreno desde Pirineos a Barcelona y aún hasta Valencia y Mallorca, y me parece convendría dispusiese V.E. se nos entregare algunos...

Otra comunicación de González a Valdés, fechada en Barcelona el 19 de Julio de 1792, tras la llegada de Méchain a la ciudad, nos proporciona además una importante noticia sobre el plan de los trabajos, convenido entre el comisionado francés y el español<sup>7</sup>:

...Ayer se trazó la encadenación de todos ellos (los triángulos geodésicos) sobre una carta impresa del geografo López, que despues de muchas dificultades, ha podido conseguir este Capitan Gral. que nos franquea quantos auxilios estan en su mano. De ella y de lo q. he convenido con Méchain resulta pasaremos desde aqui a la raya de Francia haciendo estaciones sobre las alturas de Monjui, Santa-creu, Monte-Alegre, Monserrat, San Feliu de Terrassola. Monsein, Vidrà y Sn Llorens; despues continuaran a las de Canigó, montaña de Mont-Luis, y Bigarave, los comisionados franceses Méchain y Tranchot, pero no nosotros, respecto a que haviendome manifesta-

<sup>7</sup> AMNM, legajo 2294, doc. 12.

do el primero ser forzosa licencia de la asamblea para que pudieramos entrar los españoles, me ha parecido evitar este paso diciendole que las ors. que me hallo son para acompañarle dentro del reyno, esto Señor Excmo, lo creo mas prudente que aventurar el honor del uniforme de el rey que vestimos los tres oficiales entrando en un pais en que en el dia no se conoce la obediencia a las leyes, o ordenes del gobierno, amas de que de este modo no tenemos que recurrir a la asamblea, a lo qual tampoco me creo autorizado. Yo estoy en animos de esperarlos en alguno de los puestos de ntro. cordon, y a la vuelta segun nos permita el tiempo, o se haran las observaciones Astronomicas aqui o continuaremos la serie de triangulos pasando a Torre de Garraf, montañas de Poblet, coll de Balaguer, montaña de Manen, y Montsià continuando a Iviza, y Mallorca hasta Cabrera (con lo que havre desempeñado el encargo que V.E. me hizo de prolongar hasta alli la Meridiana) donde se haran las ult observaciones Astronomicas...

## **Las operaciones geodésicas en la Península y las islas Baleares**

Acordado el plan de operaciones, los comisionados franceses y españoles se dividieron en dos grupos: Méchain, González y el oficial ingeniero Agustín Bueno en uno, y el ayudante de Méchain Tranchot, con el oficial Planes, en el otro. Su primer trabajo fue la búsqueda de las mejores estaciones entre las primeramente decididas sobre los mapas. Comienzan así a recorrer las cimas de las montañas elegidas, confirmando unas y cambiando otras. El 17 de Agosto, González escribe de nuevo a Valdés para darle cuenta de que dos pensionados por el rey en Francia, José Chaix, y Juan de Peñalver, se encuen-

tran en Barcelona con ordenes de unirse a la comisión<sup>8</sup>. González desaconseja rotundamente esta colaboración, por el incremento innecesario de observadores que no harían sino retardar las operaciones. Chaix y Peñalver, de hecho, solo se unirán a Méchain tras la declaración de la guerra entre Francia y España y la dedicación de los militares a sus tareas bélicas.

Buena prueba de que la decisión no era oficial sino motivada por el contacto con Mendoza, la proporciona el hecho de que Méchain no disponía de ordenes aprobando la prolongación del meridiano hasta las Baleares antes de su llegada a España. En efecto, en carta de 27 de Octubre de 1792, fechada en Barcelona, González informa a Valdés de que el astrónomo francés ha recibido por fin su autorización<sup>9</sup>. El comisionado español da cuenta también a su ministro, en la misma, de la finalización de los trabajos de elección de las estaciones definitivas:

... Por las cartas de Paris que à ntra llegada hemos hallado aquí, ha recibido Monsieur Méchain un acto de la Convencion nacional que le autoriza à continuar estas operaciones hasta la Isla de Cabrera en Mallorca, y por tanto en esta parte quedan cumplidas las ordenes de S.M. que V.E. se sirvió comunicarme à mi nominacion para esta comision, retando solo saver si podran distinguirse desde este punto los reverberos o señales q . en aquella isla se encenderan sin cuya circunstantia la union de aquella estacion con el continente no podra tener efecto. Luego que se concluyan las observaciones astronómicas en Montjui, que juzgo podra ser dentro de un mes, pasaremos en el Bergantin à Palma, Méchain o alg . de sus compañeros, y yo a hacer esta prueba.

<sup>8</sup> AMNM, legajo 2294, doc. 17.

<sup>9</sup> Archivo del Observatorio de Paris (AOP), legajo E-2/19.

De oy a mañana esperamos la otra compañía en que se halla Don Francisco Planes y ha hecho sus operaciones solo en Monseñ y Mont de Matas. Interim hemos seguido nosotros los puntos de N S de el Mond, Roca-Corba, Puig-Sa-Calm, Puig Rodon, Montserrate y Valvidriera. De todas las observaciones hechas en todos ellos por Méchain, y por nosotros, guardo registro, en que he incluido la medicion de muchos angulos que pueden ser utiles para la reforma de la Carta de este Principado, que esta bien defectuosa, y lo pasare a manos de V.E. al fin de la comision o quando se me mande...

Dichas estaciones son las que encontramos ya en un mapa de la mano de Méchain, sin fecha, que se encuentra inédito entre sus papeles conservados en el Observatorio de París. El citado mapa contiene también el primer proyecto de unión del continente con las islas y constituye un precioso documento sobre el primer intento de medir un gran triángulo geodésico sobre el mar, en un momento en que, como indica González, no se tenía la seguridad de poder observar unas estaciones desde otras incluso con la ayuda de reverberos (especie de reflectores formados con fuegos y espejos)

Establecidas las estaciones, González y Méchain vuelven a ellas para realizar las medidas de ángulos definitivas, que realizan salvo en Costa-Bona y Massanet, las fronterizas, que la agitación a uno y otro lado de la frontera aconseja dejar para el futuro. Concluidas, González pasa a Mallorca para alumbrar reverberos en las montañas de la isla y comprobar así la posibilidad de unión visual con el continente. Su relato, en carta a Valdés fechada en Barcelona, a su vuelta, el 16 de Enero de 1793<sup>10</sup>, es también la primera descripción de esta

<sup>10</sup> AMNM, legajo, 2294, doc. 23.

unión, con sus inesperadas dificultades instrumentales y sus posibles utilidades extrageodésicas<sup>11</sup>:

Excmo. Señor

Señor: el doce de este mes, à medio dia, fondeé en este Puerto con el Bergantin de mi mando, de regreso de la Isla de Mallorca, y Bahía de Palma, donde me detuvieron los vientos contrarios de el N, y NO, desde el veinyuno de el pasado en que se concluyeron mis observaciones y operaciones en aquellas montañas.

A consecuencia de dichos Trabajos conseguí se perciviese desde Monjui, la noche de el diez, y seis de el pasado (16 Diciembre 1792), el Reverbero que por la primera vez encendi aquella noche en la montaña de Torrellas, superior a Todas las de la Isla, en la que me estableci por haver hallado segun el Barometro me indicó, poco alta para mi intento la de Galatzó. Como la distancia de Torrellas a Monjui es de 36 leguas à lo menos, y la forma de las linternas de los Reverberos es la de una semiesfera concava, me fue preciso emplear toda la delicadeza de las observaciones astronomicas para trazar la linea meridiana por el paso de la estrella Polar, y determinar por las escrupulosas operaciones geodesicas la direccion de Monjui afin de que se perciviese mi luz, que vió Mr. Méchain con un Anteojo de triple objetivo Achromatico de 3 pies, y 10 pulgadas de focus, 3 pulgadas, y 6 lineas de abertura, como una estrella de decima magnitud, que conocio ser mi luz en que correspondio de 7 1/2 a 8 1/2 horas de la noche al mismo punto de el Ylo de el micro-metro de el anteojo, dirigido, por operaciones semejantes a las mias, al Puig mayor de Mallorca.

El 17 estuvo el tpo. obscuro, y aunque el 18, y 19 aclaró, y yo encendí el Reverbero y por espacio de quatro o cinco horas le

<sup>11</sup> TEN A.E. (1993) Ciencia y política. La comunicación visual entre Cataluña y las Islas Baleares y los orígenes del sistema métrico decimal. en: LOPEZ PIÑERO J.M., CAPEL H., PARDO J. (Eds.) (1993) *Ciencia e ideología en la ciudad*. Valencia, Consellería de obras públicas y urbanismo.

mantuve la ultima noche no le dejaron percivirlo los ligeros vapores que la primera noche (el 16) le hacian desaparecer algunos momentos. Ni las caxas de fuegos Indianos ni la polvora, en cantidades de seis à ocho libras, que queme pudieron percivirse.

Como los anteojos de los dos circulos de Borda con que se miden los angulos no han tenido bastante fuerza para distinguir esta luz, no podra tener por ahora lugar la operacion de la union de la Isla con el Continente, pero no por eso dexara de sernos mui util este descubrimiento, por cuyo medio podran indicarse desde Mallorca à Barcelona é inversamente varias ocurrencias, como la venida de una esquadra enemiga en Tiempo de guerra, la escasez de viveres de qualquiera especie en la Isla &a, particularmente quando como sucede en tpo. de Invierno no pueden à causa de los vientos N pasar avisos por mar...

No es posible la unión geodésica a causa de la baja potencia de los anteojos de los circulos de Borda. Méchain debe desistir de la operación por el momento y se prepara para volver a Francia, cuando la situación política se complica. El 21 de Enero de 1793 es guillotinado Luis XVI y comienzan las hostilidades franco-españolas que conducirán a la declaración de guerra el 7 de Marzo. Méchain se ve impedido de regresar debido a la importancia estratégica de sus conocimientos sobre los pasos fronterizos, pero el Capitán General de Cataluña le deja libre de proseguir sus trabajos, con la condición de no acercarse a la frontera.

El astrónomo ocupó su tiempo recorriendo las montañas del sur de Barcelona para establecer definitivamente los triángulos que le permitieran enlazar la cadena medida con las islas, cuando sufrió un aparatoso accidente que a punto estuvo de costarle la vida. Durante su convalecencia, José Chaix, unido por fin a los trabajos, se dedicó a recorrer las montañas para efectuar el trabajo que no pudo acometer Méchain. Sus infor-

maciones fueron las que convencieron erróneamente al francés de la posibilidad de unir fácilmente las islas con el continente, como Méchain se lamentaría durante su segunda expedición y en medio de sus dificultades.

Parcialmente recuperado, el astrónomo ocupó su tiempo realizando la famosa determinación de la latitud de Montjuich desde su posada, la Fontana de oro, cuyos resultados diferirán de tal modo de los observados en el mismo fuerte de Montjuich, que decidirá ocultarlos. Delambre, que encontró las observaciones entre los papeles de Méchain tras su muerte, quiso ver siempre en este hecho y en la desconfianza de Méchain sobre la bondad de sus resultados para la latitud del extremo sur del arco medido, la razón de los deseos del desgraciado astrónomo para volver a España y conducir personalmente las operaciones cuando se decidió reemprenderlas. En la *Base du système métrique* parece quitar importancia al hecho<sup>12</sup>, así como en su *Notice historique sur M. Méchain*<sup>13</sup>. En su *Histoire de l'astronomie au dix-huitième siècle*<sup>14</sup>, atribuye ya indisimuladamente mala fe al astrónomo muerto, pero sin llegar a la descalificación. Sin embargo, en los trabajos que dejó manuscritos y que no se publicaron durante su vida, fue durísimo con su compañero de operaciones<sup>15</sup>. Los historiadores posteriores han recogido sin más investigación las opiniones más duras de Delambre<sup>16</sup>.

<sup>12</sup> DELAMBRE J.B., MÉCHAIN P.A. (1806-10) *Base du système métrique*. Paris, Vol. 3, p. 91.

<sup>13</sup> DELAMBRE J.B. (1806) *Notice historique sur M. Méchain*. Paris.

<sup>14</sup> DELAMBRE J.B. (1827) *Histoire de l'astronomie au dix-huitième siècle*. Paris. p. 750

<sup>15</sup> DELAMBRE J.B. (1912) *Grandeur et figure de la Terre*. Paris, pp. 279-284.

<sup>16</sup> Véase por ejemplo BIGOURDAN G (1900) La prolongation de la meridienne de Paris de barcelone aux Baléares, d'après les correspondences inédites de Méchain, de Biot et Arago. *Bulletin astronomique*, 18, 348-

El episodio es ciertamente complejo porque posteriores cálculos han demostrado que utilizando la latitud de Montjuich calculada desde la Fontana de oro, el valor final del metro hubiese sido más aproximado de lo que efectivamente resultó a partir de las medidas de latitud tomadas directamente en el fuerte de Montjuich. En 1931, un astrónomo de Barcelona, Isidre Polit, recalculó la latitud del lugar de observación de Méchain, utilizando sus mismas reducciones<sup>17</sup>, y encontró una latitud de 41 21' 44", 62, inferior a la de Méchain en solamente 0",44, lo que permite conjeturar que el astrónomo otorgó todo su crédito a la primera y simplemente despreció la segunda por errónea. La explicación de Delambre sobre la insistencia de Méchain en ser él mismo quien volviese a España en 1803 es insostenible, por cuando este no ocultó que había hecho la determinación despreciada y además hubiese sido imposible de ocultar con la realización de las siguientes medidas. Pero esta es ya otra parte de la Historia.

En 1794, como vimos, Méchain pudo pasar a Francia a través de Génova y recomenzar sus operaciones al norte de los Pirineos, hasta llegar en 1799 con el tiempo justo a la reunión de la comisión internacional, que hubo de esperar más de un mes a que concluyera sus observaciones y la preparación de sus datos para someterlos al análisis de aquella. Si las historias oficiales de la determinación del metro, como vimos, terminaban aquí, otra historia, la de la «medida del metro», comenzaría poco después.

368, 390-400, 467-480. De él toma su información LAISSUS I. (1970) *Un astronome français en Espagne: Pierre-François-André Méchain. 94<sup>e</sup> congrés national des sociétés savantes, Vol I*, pp 37-59.

<sup>17</sup> POLIT I. (1931) La latitud de Montjuich determinada por Méchain. *Anales de la asociación española para el progreso de las ciencias*, 3 y 4, 43-48.

## Capítulo VI

### El segundo viaje de Méchain a España

#### Los preparativos del viaje

Tras la conferencia del metro, Méchain se convierte poco a poco en uno de los astrónomos más reconocidos de una Francia que trataba de recuperar su importancia en la comunidad astronómica internacional. En efecto, el período 1799-1802 es decisivo en la consolidación institucional del *Bureau des longitudes*, el organismo creado para regir las actividades astronómicas francesas. La conservación de sus *Procès verbaux des séances* permite, a pesar de la práctica desaparición de sus archivos que ya hemos comentado, reconstruir su actividad durante estos años cruciales.

Así, entre los temas de los que se ocupa el *Bureau des longitudes*, de acuerdo con sus actas, se encuentra la reconstrucción y mejora del Observatorio Nacional de París y el de la Escuela militar, con sus instrumentos; la recogida de los nuevos conocimientos astronómicos y geográficos; la correspondencia con la comunidad astronómica internacional; la publicación de la *Connaissance des temps* y otras misiones más particulares como la nueva moda de los planetoides recién descubiertos.

Pierre André Méchain, por su parte, comienza una ascendente carrera administrativa que lo lleva a la máxima responsabilidad pública de la astronomía francesa: El 10 de Septiembre de 1799 se le nombra «capitaine concierge», encargado de

todo lo referente al observatorio de París<sup>1</sup>. El 19 prairial an IX (8 Junio, 1801) se le nombra para ejercer las funciones de director del mismo<sup>2</sup>. El 9 frimaire an X (30 Noviembre 1801), el ministro del interior le nombra administrador del Bureau<sup>3</sup> y en la sesión siguiente, 14 frimaire, es elegido presidente<sup>4</sup>. En todos estos cargos, curiosamente, reemplazó, no sin problemas, a su compañero Delambre<sup>5</sup>.

Sin embargo, la resonancia pública del *Bureau* en estos primeros años, está lejos de corresponder a la calidad y fama de sus componentes. En él se reúnen ya los mejores matemáticos, astrónomos, geógrafos, geodestas... pero los temas de trabajo comienzan a caer en la rutina. El *Bureau* no tenía una presencia institucional acorde con la altura científica de sus miembros. Un gran proyecto científico podía constituir un revulsivo para esta situación.

Tal vez por casualidad, pronto va a encontrarse la institución vinculada a un proyecto de este tipo. En las actas de la sesión del martes 13 fructidor an X (31 Agosto, 1802), encontramos la siguiente noticia<sup>6</sup>:

<sup>1</sup> Asamblea del Bureau de 24 fructidor an VII (10 Septiembre, 1799). Procés varboux du Bureau des longitudes (PVBL), Vol. I, p. 87.

<sup>2</sup> PVBL, Vol. I, p. 18 (nueva numeración): «Le Bureau décide que l'inventaire des instruments et des livres sera remis au cit. Méchain et qu'il fera les fonctions de directeur de l'observatoire»

<sup>3</sup> PVBL, I, p. 30.

<sup>4</sup> PVBL, I, p. 31.

<sup>5</sup> Las relaciones entre Méchain y Delambre durante este período debieron ser tensas. En el Dossier Delambre de la Académie des Sciences se encuentra el libro registro de este durante su corto período como administrador del Bureau (3 brumaire an X- 9 frimaire an X) y en él se encuentran las reclamaciones efectuadas a Méchain, con poco éxito, para obtener documentos del funcionamiento del observatorio. Otros muchos parecen confirmar esta impresión.

<sup>6</sup> PVBL, I, p. 53. Esta información fue publicada en TEN A.E. (1988) Les expéditions Méchain et Biot-Arago et le prolongement de la méridienne de

...Un membre propose de continuer la meridienne de France, jusqu'à Majorque et Cabrera suivant l'ancien projet approuvé par l'Académie des sciences. Le cit. Méchain est invité à donner une note sur cette idée.

Ignoramos todavía la identidad de este miembro del Bureau. Delambre siempre atribuyó en sus escritos la iniciativa a Méchain, pero en esta asamblea, Lalande, secretario y redactor normal de las actas, no asiste y es la mano de Delambre la que escribe la nota anterior. A continuación de esta noticia, Méchain es citado explícitamente en relación con un asunto mucho menos importante.

Lo cierto es que Méchain se pondrá a trabajar inmediatamente. Nada más consta en las actas del Bureau de estos primeros momentos, ni informe de Méchain ni acuerdo explícito para proponer el tema a las autoridades de la república. La siguiente noticia que hemos sido capaces de encontrar es ya la presentación por el ministro del interior a los cónsules de la república, de un informe titulado «Sur la continuation de la mesure de la meridienne de France jusqu'aux îles Baléares»<sup>7</sup>.

En este espectacular documento se encuentran, perfectamente definidas por fin, todas las razones teóricas que apoyaban la medición de un arco simétrico respecto del paralelo 45. Damos aquí su transcripción completa:

L'arc de méridien compris entre Dunkerque et Barcelone, qui a été mesuré conformément au décret de l'Assemblée

Paris jusqu'aux îles Baléares. en: LACOMBE H., COSTABEL P. (1988) *La figure de la Terre du XVIIIe siècle à l'ère spatiale*. Paris, Gauthier-Villars, pp. 245-265, que constituye un resumen del presente capítulo.

<sup>7</sup> El informe se encuentra en un dossier titulado «Mission de M. Méchain en Espagne», CARAN (Archivos nacionales de Paris), F 17/3712. Fue publicado por primera vez en TEN A.E. (1990) *Le problème du 45e parallèle et les origines du système métrique décimal*. en: SCIENTIFIQUES et sociétés pendant la Revolution et l'Empire. Paris, CTHS, 441-452.

Nationale pour en déduire la grandeur du quart du Méridien, donc la dix-millionième partie est le mètre ou unité de mesure linéaire, est de 9 degrés, 40 minutes, deux tiers. Si les deux extrémités de ces arcs eussent été à égales distances du pôle et de l'équateur, on auroit pu conclure directement de sa grandeur, celle du quart du méridien elliptique, sans avoir besoin de connaître directement le rapport de ses axes. Mais à ce défaut on a été obligé de déterminer ce rapport par la comparaison du même arc avec celui de 3 degrés mesuré précédemment au Pérou, à peu près sous l'équateur même, par des académiciens français.

Cependant on avoit conçu l'espérance de pouvoir prolonger le nouvel arc, qu'on avoit mesuré, assez pour qu'il fût partagé en deux parties égales par le 45<sup>e</sup> parallèle, en l'étendant jusqu'à la partie nord-ouest de l'île d'Ivice, ou jusqu'à la petite île de Cabrera, qui est au sud de Majorque. En effet, dès que le Cit. Méchain eut été rendu en Catalogne, il s'assura que des sommets de plusieurs montagnes, qui sont près des côtes de cette Province, entre Barcelone et Tortose, on apercevoit distinctement les montagnes de Majorque et d'Ivice, en conséquence il avoit formé le canevas des triangles nécessaires pour effectuer la prolongation, mais plusieurs obstacles et principalement celui de la guerre avec l'Espagne s'opposèrent au succès de cette opération. La commission de l'Institut National pour les poids et les mesures, en rendant compte des résultats de ses travaux au corps législatif, en a exprimé son regret et le désir que cette prolongation de la méridienne de France fut exécutée dès que les circonstances le permettroient.

La paix générale, l'union intime de l'Espagne avec la France, offrent maintenant toutes facilités pour compléter par là une si belle opération et la plus grande qu'on ait jamais entreprise. Le Bureau des Longitudes, dont la plupart de ses membres étoient de la commission des poids et mesures, se sont empressés d'en faire la proposition.

Les avantages qu'on retireroient seroient: 1. D'ajouter un arc de deux degrés, un tiers, à celui déjà mesuré et de porter l'arc total à 12 degrés, ou plus d'un huitième du quart de la circonférence de la Terre.

2. que cet arc, se trouvant partagé en deux parties égales, par le 45 . parallèle, on auroit le moyen de déterminer la longueur du quart du méridien sans avoir besoin de connaître exactement le rapport des axes de la Terre, et on retireroit même de nouvelle lumière sur ce rapport.

3. Que l'île d'Ivice, terme méridional de l'arc, est à peu près au milieu de l'espace de mer, compris entre les côtes de Catalogne et de Barbarie, on auroit point à craindre que les observations de latitude y fussent altérées par l'inégalité d'attraction de la part des eaux et des terres du continent, comme cela a pu avoir lieu pour les semblables observations faites au Montjouy près Barcelone.

L'entière exécution de ce nouveau travail, qu'on pourroit commencer au printemps prochain, ne demanderoit que 6 mois au plus et la dépense en seroit peu considérable. Le succès est assuré. Les principaux moyens sont préparés, puisque tous les sommets des nouveaux triangles, tant sur les côtes de Catalogne que dans les îles de Majorque et d'Ivice, ont été reconnus.

Este precioso documento, con sus errores geográficos, que Méchain debía pagar muy caros durante su viaje a España, y su demasiado optimista evaluación de los costes económicos y del tiempo necesario para realizar las operaciones, es efectivamente la más clara expresión de las ideas sobre las que se apoyaba la prolongación del meridiano. No aparecen en él, sin embargo, los problemas asociados a la ya bien establecida forma irregular de la Tierra. Hay una ambivalencia entre el interés metrológico, que se quiere presentar como la motivación principal, y el geodésico, con la pretensión de conocer mejor el elipsoide terrestre.

Las decisiones sobre el tema van a tomarse con sorprendente rapidez: El 30 fructidor an X (17 de Septiembre de 1802), Napoleón en persona firma el siguiente decreto<sup>8</sup>, que encarga al ministro de interior, el químico Chaptal en este momento, de disponer las medidas necesarias para realizar la operación:

Les consuls de la Republique, sur le rapport du Ministre de l'interieur arrêtent:

Article 1 : la mesure de la méridienne de France sera continuée depuis Barcelone jusqu'aux îles Baléares.

Article 2 : Le Ministre de l'interieur est chargé de l'exécution du présent arrêté.

Le premier consul.

La máquina administrativa se pone en marcha y se escribe a Méchain, en su condición de administrador del *Bureau des longitudes*, para solicitarle información sobre las sumas necesarias y las personas a emplear en la operación. Al mismo tiempo se informa oficialmente a la institución del decreto de los cónsules (5 vendimiaire an XI; 27 Septiembre, 1802).

El tema se debate en esta asamblea, la número 532 del *Bureau*. Méchain deseaba, naturalmente, encargarse de la operación, pero algunos miembros no eran partidarios de que abandonase sus responsabilidades institucionales. Como Delambre nos informa en sus insinuaciones comentadas anteriormente, se prefería enviar a alguien más joven y se había incluso pensado en el astrónomo Henry, que acababa de realizar otras operaciones geodésicas, pero Méchain insistió decididamente, hasta el extremo de responder como administrador del *Bureau*, que no quería dar ninguna información hasta ser encargado oficialmente de la operación. La única decisión que toma el *Bureau* es la de añadir a las medidas geodésicas nue-

<sup>8</sup> CARAN, F 17/3712.

vas operaciones de determinación de la longitud del péndulo que bate segundos en los puntos extremos del arco<sup>9</sup>.

El ministro, finalmente, se pliega a la demanda de Méchain y, en carta de 21 vendimiaire an XI (13 Octubre, 1802), le responde<sup>10</sup>:

Je vous transmet, cit . une ampliation de l'arrêté des consuls, qui ordonne que la mesure de la méridienne de France sera continuée depuis Barcelone jusqu'aux îles Baléares. J'espère que vous voudriez bien vous charger de cette importante opération. C'est une suite de celle que vous avez exécuté il y a quelques années. Je ne doute point que vous ne l'entreprenez avec le même zèle...

Méchain es, pues, oficialmente nombrado responsable de la operación e inmediatamente comienza a tomar sus medidas. El 12 frimaire an XI (3 Diciembre, 1802), envía al ministro un informe en el que da cuenta de sus primeras necesidades y planes. El documento, en sí, titulado «Etat de proposition, présenté au Ministre de l'Interieur par le citoyen Méchain, de l'Institut National, chargé de continuer la mesure de la méridienne de France, depuis Barcelone jusqu'aux îles Baléares , pour lui procurer les moyens de remplir cette mission»<sup>11</sup>, es también un modelo de como se preparaba una expedición científica en la época.

Para realizar las tareas encomendadas, Méchain solicita, entre otros medios, dos círculos de Borda, un reloj de péndulo de platino, algunos instrumentos de Meteorología y de quince a dieciocho reverberos. Como ayudantes solicita un secretario y un doméstico, además de un ingeniero del *Depôt Hydrogra-*

<sup>9</sup> PVBL, I, p. 56.

<sup>10</sup> CARAN, F 17/3712.

<sup>11</sup> CARAN, F 17/3712.

*phique*. Los gastos calculados no deberían exceder de 20.000 francos, contados los gastos de la vuelta por Burdeos, para efectuar bajo el paralelo 45 la determinación de la longitud del péndulo. Al gobierno español, además, debería solicitársele, junto a la correspondiente autorización, un bergantín con sus oficiales, que deberían ser los comisionados por parte del Rey de España.

Aquí realiza Méchain una demanda explícita: solicita que el oficial español responsable sea Pascual Enrile, en la época en París y ligado a él por fuertes lazos de amistad, como explica en su demanda. Enrile, futuro Capitán general de Filipinas, sería efectivamente su principal apoyo en las operaciones.

Sus demandas son aceptadas. Se pone a disposición del astrónomo la suma de 20.836 francos, que serán administrados por su esposa, se nombra secretario a su hijo Augustin y doméstico a Pierre Chauvet. El ministro del interior escribe, el 1 nivôse an XI (21 Diciembre, 1802), al de asuntos exteriores, Talleyrand, para solicitar los permisos y la colaboración necesaria del Rey de España, de acuerdo con los deseos de Méchain<sup>12</sup>, lo que este efectúa en carta al embajador español Azara, de fecha 9 nivôse an XI, al mismo tiempo que ordena a su embajador en España Beurnonville hacer lo propio directamente a la corte española. El 24 de Enero de 1803, Beurnonville puede ya comunicar a Talleyrand que el «Primer secretario de estado», Godoy, accede a las peticiones efectuadas, destina a Enrile como capitán del bergantín al servicio de Méchain y adjunta a la operación a otro comisario español, José Chaix, en la época vicedirector del Observatorio de Madrid.<sup>13</sup>

<sup>12</sup> Archivos de Ministerio francés de Asuntos Exteriores (AMAEF), Correspondance politique II, 2 p. Espagne, Libro 663, hoja 163.

<sup>13</sup> AMAEF, Correspondance politique II, 2 p. Espagne, Libro 663, hoja 302.

Pero Talleyrand hace algo más. En carta al ministro del interior, solicita se adjunte a la operación a un secretario de embajada, Le Chevalier, amigo también de Méchain. Talleyrand sugiere se le encargue también otra misión: «investigar sobre las antigüedades de las Islas Baleares», para lo que su departamento contribuirá con la suma de 4.000 francos. Efectivamente, el ministro del interior, en decreto de 9 germinal an XI, nombra a Le Chevalier «adjoin à la commission confiée au cit. Méchain» y continúa: «Le chargeons en outre de faire des recherches sur les antiquités des îles Baléares»... Por su parte, además, le concede 2.000 francos más por otro encargo para comparar las pesas y medidas españolas con las nuevas francesas.

Para acreditar sus misiones, Le Chevalier, solicita del ministro de asuntos exteriores, en carta de 19 ventôse an 11, una acreditación que arroja algo de luz sobre el asunto<sup>14</sup>:

Mr. Méchain vous a demandé, mon ami, une commission ostensible laquelle il puisse représenter aux gouvernements et commandants espagnols. Je vous en demande une pareille, mon ami, et je vous la demande séparée parce que vous savez que j'ai à remplir la mission des îles Baléares et il sera nécessaire que je presente mes titres pour obtenir la permission de fouiller desseins et lever des plans. Je vous prie donc de penser aussi a moi et de relater dans ma commission la triple mission dont je suis chargé, le beau titre d'adjoin à la commission de la méridienne, d'officier des antiquités et des poids et mesures...

Lamentablemente el expediente de Le Chevalier, secretario de embajada, ha desaparecido del archivo del ministerio de asuntos exteriores francés. No podemos pues acercarnos más

<sup>14</sup> CARAN, F 17/3712.

a esta figura singular, que terminará sus días como bibliotecario de Sainte Geneviève. Faltos de mayor información, solo podemos suponer que las curiosas misiones, que tan bien se le pagaban, solo eran la cobertura de otras menos confesables y que explicarían mejor otros posibles motivos del interés por la expedición geodésica en tierras españolas. De hecho, Le Chevalier nunca ejerció su función de «adjunto» ni colaboró en los trabajos de Méchain, Antes bien, pocos meses después de la llegada de Méchain a España y sin haber pisado las Baleares, lo encontramos en Portugal. Lamentablemente, también el legajo «Méchain» que consta en los inventarios del Archivo nacional de Madrid, se encuentra desaparecido. Tal vez estos documentos hubieran contribuido a explicar este hecho extraño y los impedimentos que constantemente se pusieron a Méchain por parte de las autoridades españolas.

Todos los medios dispuestos, el 6 floréal an 11 (26 Abril, 1803), Méchain sale de París, acompañado por su hijo Augustin; su doméstico Pierre Chauvet, natural de Perpignan y catalano-hablante; Dezauche, un ingeniero del Depósito Hidrográfico francés y Le Chevalier. El 5 de Mayo de 1803, después de un placentero viaje, llegan a Barcelona, dispuestos a comenzar sus operaciones<sup>15</sup>, con la estación favorable ya un poco avanzada.

<sup>15</sup> Carta de Le Chevalier al ministro de asuntos exteriores fechada en Barcelona el 5 de Mayo de 1803. CARAN, F 17/3712.

## Los primeros problemas

La primera actividad oficial de Méchain en Barcelona es la visita al Capitán general de Cataluña, el Conde de Santa Clara en la época. Un mes después, habiendo perdido el mejor período de observación, en carta fechada el 15 prairal an 11 (3 Junio, 1803), un Méchain nervioso cuenta así la situación al ministro Chaptal<sup>16</sup>:

...Aussitôt après mon arrivée ici, je me suis présenté avec mes cooperateurs et accompagné du cit. Viot, chez le Capitaine Général de Catalogne; nous en avons été bien accueillis et il à montré des dispositions favorables pour nous procurer la protection... pour exécuter nos opérations dans cette province, mais en même tems il m'a temoigné sa surprise de n'avoir point encore reçu à ce sujet aucun avis de sa cour, d'ou il résulte qu'il ne peut jusqu'à nous délivrer des passeports ni transmettre des ordres aux autorités civiles et militaires des lieux où je devrai opérer.

J'attendais que M. Enrile, commandant du brigantin espagnol destiné pour nos opérations et M. Chaix, vicedirecteur de l'Observatoire de Madrid... seroient munis d'une autorisation de leur gouvernement pour M. le Capitaine g.

M. Chaix est arrivé il y a 4 jours, sans autre pièce que sa prope et simple commission...

M. Enrile, qui avait armé le brigantin à Carthagène... me donne avis...que le commandant de la Marine à Carthagène l'a retenu... jusqu'à présent... Me voilà donc arrêté dans l'exécution et même le commencement de mes opérations, tant du coté de la terre que de celui de la mer.

En conséquence, le C Viot et moi, nous avons écrit au G. Beurnonville... pour le prier d'inviter le ministre d'état à envoyer, le plutôt possible à M. le Capitaine général de Catalog-

<sup>16</sup> AMAEF, Correspondance politique II, 2 p. Espagne, Libro 664, h. 44.

ne, aussi qu'à ceux de Valence et les Baléares, les instructions et autorisations...

J'écris sur tout cela, et avec un peu plus de détail au c. Laplace, que je prie de conférer avec vous...

Con este retraso comienzan una serie de incomprensibles problemas, que se repetirán en cada ocasión en que Méchain deba recibir autorizaciones para sus trabajos<sup>17</sup>. El primer plan de Méchain (figura 1), que contaba con ir directamente a Ibiza y Mallorca para asegurarse de la posibilidad de realizar la triangulación prevista y elegir las estaciones adecuadas, debe cambiar. Con el permiso del Capitán general, comienza sus reconocimientos por las costas catalanas.

De estos reconocimientos surgen las primeras dudas sobre la posibilidad de ligar la cordillera costera catalana con las islas Baleares, sobre todo para observar Ibiza desde el Montsià, al sur de Cataluña y cerca ya de las tierras del Reino de Valencia. El primer proyecto que elabora Méchain en Barcelona comienza a ser sustituido por otros, en que se preveía pro-

<sup>17</sup> Con motivo de una reclamación económica realizada por el gobierno español, Le Chevalier, en carta al ministro del interior, fechada el 20 de Enero de 1806, cita claramente a la persona a la que se hacía responsable de los problemas de la expedición:

...Cette réclamation est le résultat d'une intrigue ourdie par les mêmes qui n'ont cessé de susciter des contrariétés à M. Méchain, dans tout le cours de l'opération, qui n'ayant pas les talens nécessaires pour l'exécuter, n'ont rien omis pour y mettre obstacle: le moine Ximenez, en grande faveur auprès du Prince de la Paix, l'ennemi naturel le plus passionné de la France, où il a cependant pris le peu de connaissances qu'il possède...

Este monje Ximenez no es otro que Salvador Ximenez Coronado, director del Observatorio de Madrid. En la misma época, Chaix, vicedirector del mismo observatorio, escribe varias cartas a Delambre en el mismo sentido.

Copia de la carta de Le Chevalier se encuentra en un dossier conservado en el Archivo del Observatorio de París (AOP), Ms. 1054.

El ciudadano Viot que aparece citado, es el comisario francés de relaciones comerciales en Barcelona.

longar hacia el sur la cadena de triángulos y unir Ibiza con el continente a través de las montañas valencianas. Las figuras 2 y 3 representan los planes de Méchain en ambas posibilidades cuando todavía no había comenzado realmente las operaciones de medición.

Muy entrado ya el verano, llegan por fin las órdenes de Madrid, autorizando su desplazamiento por tierras catalanas, pero el bergantín continúa retenido en Cartagena. Enrile, con uno de los oficiales de su tripulación, que han acudido por tierra a acompañarlo, redesciende hasta el extremo sur de su primera cadena, el Montsià, cerca de Tortosa. En Tortosa observará el eclipse de sol del 17 de Agosto de 1803<sup>18</sup>.

El 24 de Agosto de 1803, Méchain, con Enrile y Chaix, se encuentra ya midiendo los primeros ángulos de la cadena proyectada, en la que considera todavía la más austral de sus estaciones: Mola-cima, una de las cumbres del macizo de Montsià, mientras que Dezauche, Le Chevalier y el oficial Cini alumbran los reverberos en otras estaciones<sup>19</sup>. Estas primeras mediciones eran todavía provisionales, a la espera de decisiones definitivas sobre el emplazamiento de las estaciones finalmente utilizables.

<sup>18</sup> Méchain envía los resultados de la observación a Delambre, en una carta fechada en Barcelona el 17 nivose an XII (8 Enero, 1804). AOP, Ms. 1054. (Ver Apéndice).

Estos resultados, junto con otros enviados a Méchain por otros astrónomos, se publican en *Connaissance des temps, an 15 (1807)*, pp.384-393. Con motivo de este eclipse, Méchain traba conocimiento con el Barón de la Puebla Tornesa, propietario de las montañas cercanas a Castellón, una de cuyas cimas, la llamada «desierto», por estar en el paraje conocido por «desierto de las palmas», constituirá uno de los puntos principales de su cadena de triángulos.

<sup>19</sup> Los cuadernos de observaciones de Méchain, imprescindibles para conocer la marcha de las operaciones, se conservan en AOP E 2/21.

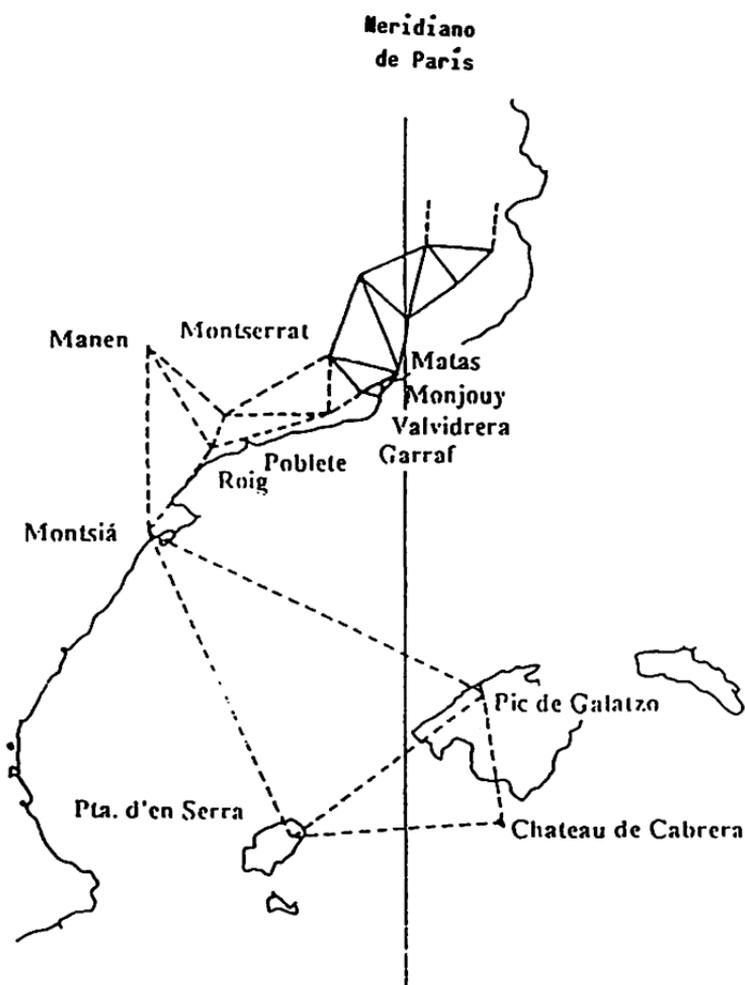


Fig. 1.- Reconstrucción de un dibujo encontrado entre los documentos elaborados por Méchain durante su primer viaje a España. En el se aprecian, en trazos continuos, los triángulos geodésicos ya medidos en torno a Barcelona. Los trazos discontinuos indican el plan a seguir para unir las Baleares a la cadena costera catalana, antes de explorar directamente la posibilidad de medirlos.

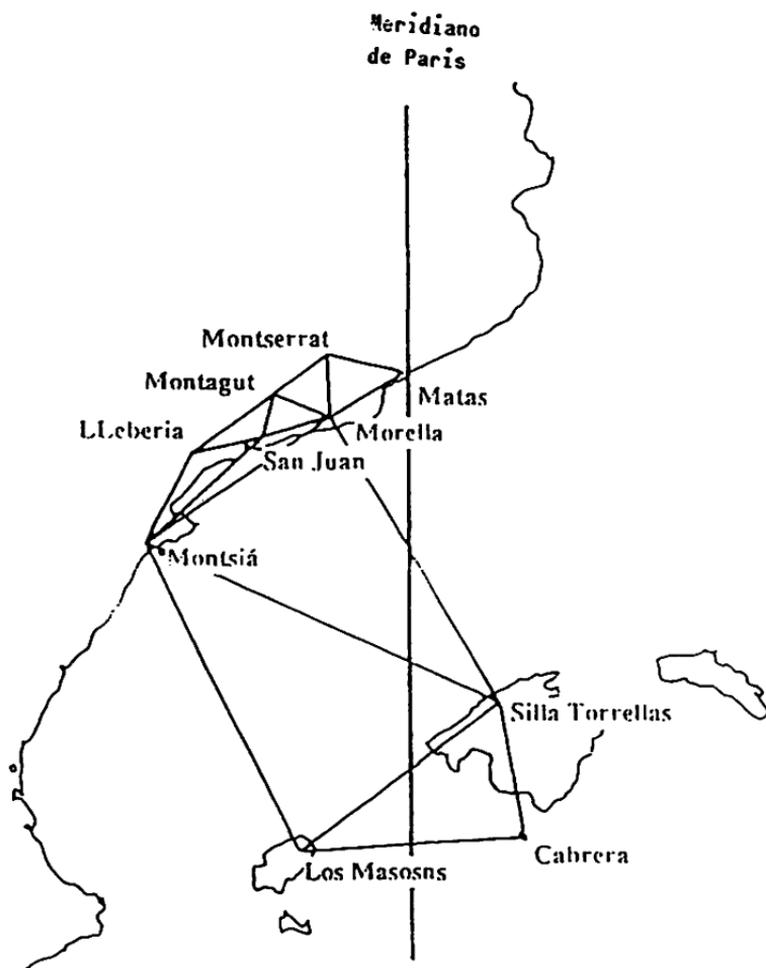


Fig. 2.- Proyecto elaborado por Méchain a su llegada a Barcelona en Junio de 1803, para unir geodésicamente las Islas Baleares a la cadena costera catalana. Dicho plan se revelaría pronto impracticable al comprobarse la imposibilidad de realizar las mediciones. Aún cuando desde la mayor parte de las cimas propuestas pueden verse las otras montañas, ello sólo ocurre en circunstancias atmosféricas excepcionales.

Los procedimientos de trabajo empleados son los clásicos en la época: fijación del centro de la estación mediante una obra de mampostería rematada por una pirámide o un tronco, fijación del lugar de observación en un punto próximo y de posición bien determinada respecto de aquel; series de medidas angulares con el círculo repetidor, con corrección del nivel de burbuja para cada lectura, lo que obligaba a disponer de un ayudante dedicado a esta tarea y a corregir los ligeros desajustes debidos al movimiento y medida de la altura de la estación por observación de la altura relativa de las otras estaciones, del horizonte marino y del barómetro, que se comparaba posteriormente con las medidas simultáneas de otro situado al nivel del mar. En estaciones señaladas se medía también el azimut de las direcciones de otras estaciones y la latitud. Todos estos datos se consignaban en un cuaderno de observaciones, con indicación de lugar, fecha, hora y nombre del observador. Las mediciones angulares en triángulos grandes, solían realizarse por la noche con ayuda de reverberos, linternas con espejos, que grupos de ayudantes alumbraban en las cimas de las otras estaciones.

Tras ello, largas horas de cálculos realizados en los momentos en que el tiempo impedía observar, permitían la reducción de los ángulos medidos al centro de la estación, reducción al nivel del mar, determinación del exceso esférico y reducción a un triángulo plano según el teorema de Legendre, reparto de errores y preparación para la conexión de la red de triángulos con la base que permitía conocer la longitud de sus lados. Por fin, se calculaba la proyección sobre la línea meridiana, en espera de determinaciones precisas de la latitud en los puntos extremos de la cadena.

Este es el trabajo que traslucen los cuadernos, de hojas a menudo sueltas, que se conservan, llenos de números y opera-

ciones. La otra fuente de información de que disponemos son las largas cartas de Méchain que nos quedan, desde la fechada en Montserrat el 30 vendimiaire an 12 (12 Octubre 1803), hasta la escrita en el Puig, al norte de Valencia, el 11 fructidor an 12 (30 Agosto, 1804), pocos días antes de su muerte<sup>20</sup>. Disponemos también de algunos extractos de cartas dirigidas por Méchain a Dezauche<sup>21</sup>. Perdido su diario de observaciones, del que solo conocemos algunos extractos, esta es la preciosa información que ha permitido reconstruir detalladamente sus trabajos.

De Mola-Cima de Montsià, con un ritmo de trabajo frenético, Méchain pasa la cima llamada Llebería, al norte de Tortosa, donde llega el 15 de Septiembre de 1803. De aquí pasa a San Juan, cerca de Altafulla, al norte de Tarragona, el 25 de Septiembre. El 5 de Octubre, con Enrile, Cini y Chaix, pasa a Montagud. Augustin Méchain, Dezauche, Le Chevalier y algunos marineros de Enrile, atendían los reverberos en las distintas estaciones a medir. El 17 de Octubre, Méchain se encuentra en el Puig de la Morella, en el macizo del Garraf, de donde pasa, el 21, a Montserrat. El 26 de Octubre, llega por fin a la última de las estaciones de la proyectada cadena, el Mont Alegre de Matas, punto de unión, junto con la estación de

<sup>20</sup> Dichas cartas, inéditas en su mayor parte hasta el momento serán íntegramente publicadas próximamente. Utilizadas parcialmente por Bigourdan en su exposición de los trabajos de Méchain (BIGOURDAN G (1900) *La prolongation de la meridienne de Paris de barcelone aux Baléares, d'après les correspondences inedites de Méchain, de Biot et Arago. Bulletin astronomique, 18, 348-368, 390-400, 467-480.*), no fueron incluidas en el catálogo del archivo del Observatorio de Paris, hasta hace poco. Su interés va más allá de de la erudita curiosidad astronómica y geodésica.

<sup>21</sup> «LA DERNIÈRE mission de l'astronome Méchain (1804)» (1891) *Revue retrospective, XV, 145-68*

Montserrat, con la cadena medida en 1792-93. A principios de Noviembre regresa a Barcelona, donde Enrile, llegado antes que él, trataba de conseguir la llegada de su barco desde Cartagena, para intentar pasar a las Baleares

Durante su trabajo en las cimas de las montañas, Méchain debió convencerse, finalmente, de las enormes dificultades que presentaba la unión de la cadena catalana con Ibiza. El paso a Mallorca e Ibiza se presentaba pues como el único medio de decidir finalmente la triangulación a realizar. Pero cuando llegó a Barcelona, una inesperada dificultad iba a sumarse a las ya sufridas: La epidemia de fiebre amarilla que atacaba el sur de la península, había llegado en un barco al puerto de Barcelona. Un posible contacto de la tripulación del bergantín «Prueba», de Enrile, con la del barco infestado, motivó el envío del bergantín y su tripulación, en cuarentena, al puerto de Mahon, en Menorca, al mando de su capitán. Méchain se encontraba finalmente con los pasaportes... pero sin medios de transporte a las islas.

Durante dos meses y medio trató Méchain de pasar a Mallorca. Las cuatro cartas dirigidas a Delambre, que de él nos quedan en este período, fechadas el 7, 10 y 17 de Diciembre de 1803 y 8 de Enero de 1804, permiten compartir su desesperación. En un primer momento se le promete que el retraso del bergantín será de solo 15 días. Intenta descansar y ocupar su tiempo en tomar nuevas informaciones sobre los puntos de la costa desde los que se ven las islas; trata también de conseguir nuevos fondos, agotadas sus reservas por los retrasos sufridos; hace construir, por fin, cuatro cabañas de madera en el arsenal de Barcelona, para situarlas en las cimas de las montañas desde las que debe observar y proteger así sus instrumentos durante el invierno.

Ante el retraso del bergantín, Méchain pide al Capitan General de Cataluña, un nuevo barco con el que pasar a las islas. Intenta también alquilar uno por su cuenta, pero la falta de dinero impide esta posibilidad. Sus demandas de ayuda al *Bureau des longitudes* son patéticas. Escribe a Laplace y a Delambre sin recibir respuesta: Delambre, su contacto, había caído enfermo en París y no puede salir de su casa. Las cartas de Méchain quedan sin respuesta.

En medio de su desesperación, Méchain imagina un nuevo proyecto de unión con las islas. Sus informes hablan de la facilidad con que se ve Ibiza desde las costas de Valencia. Desarrolla pues un nuevo proyecto, en el que la cadena de triángulos baja por las costas de Valencia, para unir Ibiza con el continente y posteriormente realizar una triangulación interna de las islas. La figura 4 representa las estaciones y triángulos proyectados por Méchain de acuerdo con estas informaciones.

Entretanto, sus colaboradores van cambiando: Enrile seguía con su barco en Menorca; Le Chevalier lo abandona para recorrer España, de donde pasa a Portugal; Chaix regresa a Madrid pretextando asuntos personales. Méchain acepta la ayuda de un monje barcelonés, el P. Agustín Canellas<sup>22</sup>, del que se quejará amargamente en los meses sucesivos. Otra ayuda le llega inesperadamente: uno de sus corresponsales sobre el eclipse de sol de Septiembre de 1803, Fausto Vallés y Vega, Barón de la Puebla<sup>23</sup>, desde cuyas posesiones al norte de Castellón se ve fácilmente Ibiza, se ofrece a ayudarle a buscar

<sup>22</sup> CASTRO J., TEN A.E. (En publ.) La obra científica de Fr. Agustín Canellas. en: TEN A.E., DEBARBAT S. (En publ.) *El sistema métrico decimal y la geodesia moderna*. Valencia, IEDHC.

<sup>23</sup> TEN A.E. (1985) La obra científica del astrónomo Fausto Vallés y Vega, Barón de la Puebla. *Estudis*, 11, 143-159.

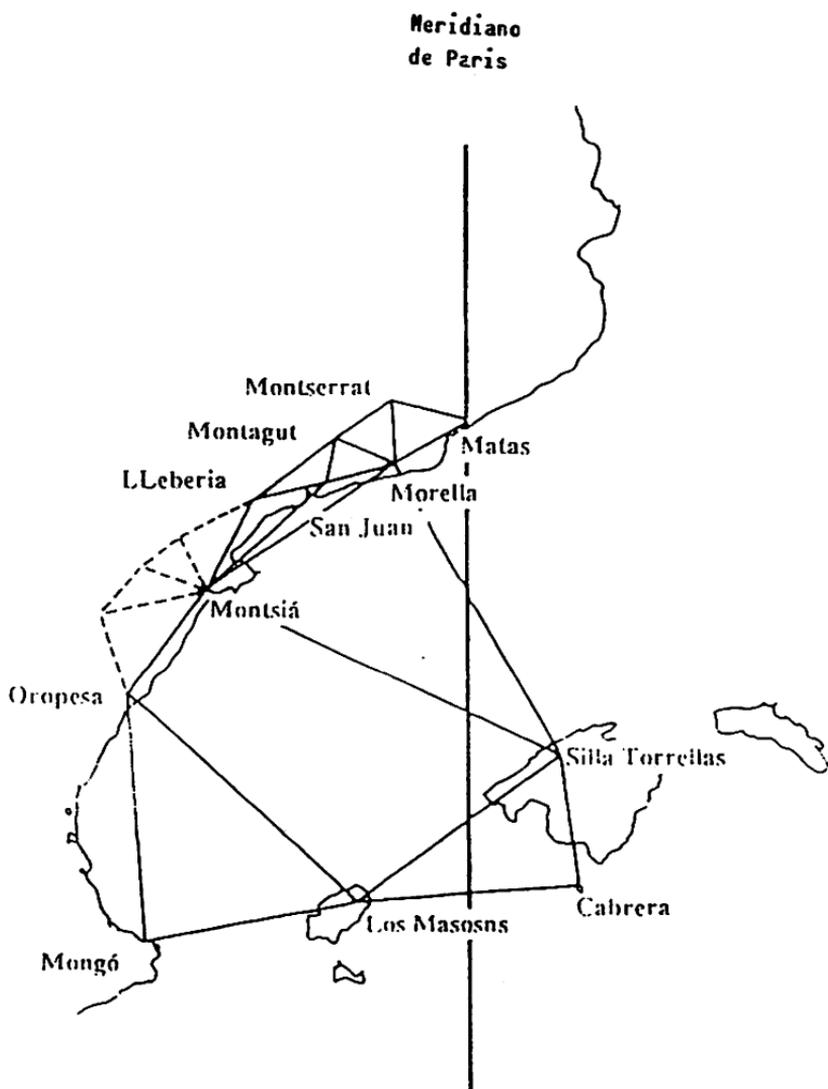


Fig. 3.- Reconstrucción del primer proyecto de unión de las Baleares al continente mediante triángulos apoyados en las montañas situadas en el Reino de Valencia. Las cimas concretas no estaban todavía totalmente definidas. Sólo constan los nombres de las que Méchain cita explícitamente.

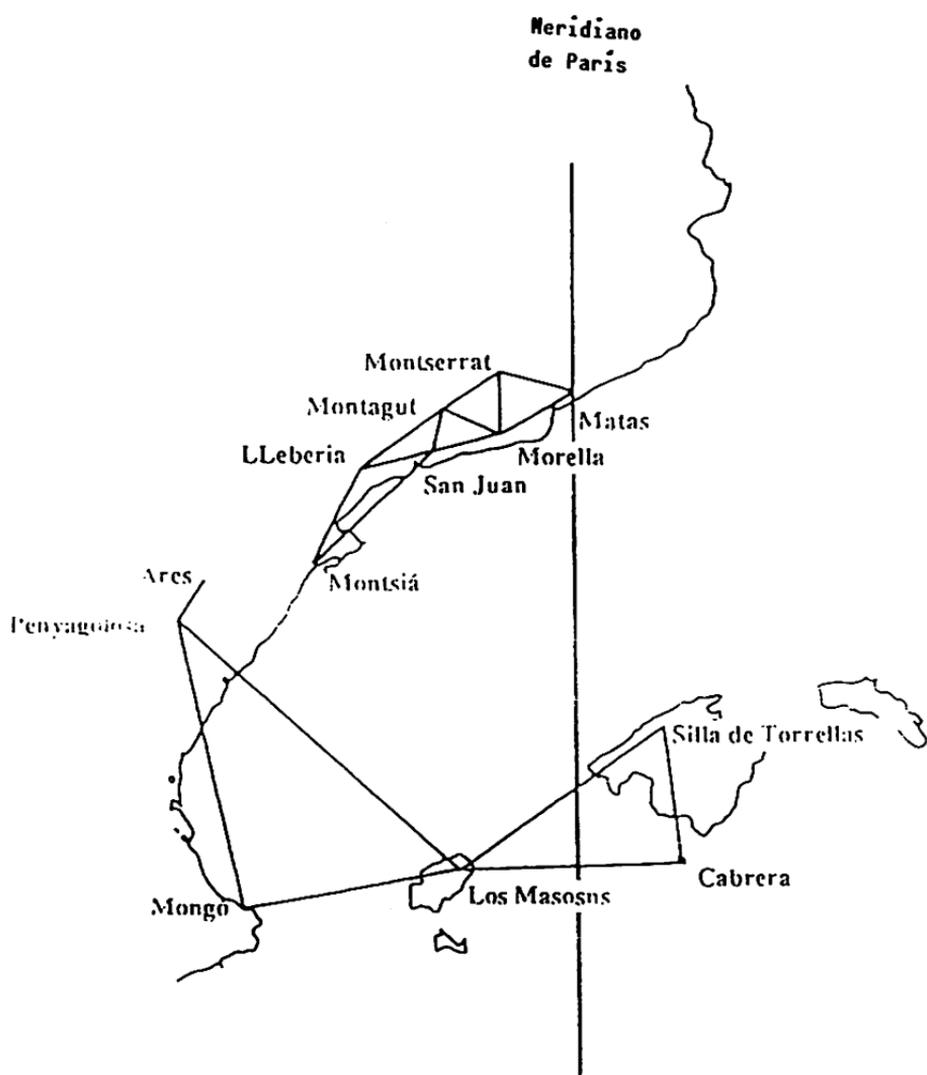


Fig. 4.- Segundo proyecto de unión de las Baleares al continente. Se abandona la unión a través de Mallorca y se propone únicamente la unión a través de Ibiza, completada con la triangulación interna de las islas. Este proyecto implicaba necesariamente el efectuar la medición de una base en Mallorca, para calcular los lados del triángulo balear.

las estaciones más convenientes. Nace una amistad que aumentará al visitar Méchain las tierras y casas del Barón en Valencia y Castellón.

Finalmente, el gobierno español pone a su disposición un nuevo barco, comandado por el oficial Federici. El 8 de Enero de 1804, el mismo día que envía a Delambre su última carta desde Barcelona, embarca hacia Ibiza. Con él lleva dos proyectos considerados realizables y que tienen en comun la cadena ya medida y una triangulación interna de las Baleares: la unión de Mallorca con la cadena catalana, mediante el triángulo La Morella- Montsia- Silla de Torrellas, en Mallorca, y la prolongación por tierras valencianas con la unión de estas a Ibiza. Ambas soluciones lo obligaban a medir una base auxiliar en Mallorca o Ibiza, para determinar la triangulación interior de las islas.

### **Los trabajos en las islas Baleares**

Tras una travesía de tres días y medio, a causa de los vientos contrarios, el bergantín de Federici que transporta a Méchain, llega a la costa norte de Ibiza. El viento obliga a Federici a refugiarse en la pequeña isla de Tagomago, al noreste de Ibiza. Su llegada despierta el temor de los habitantes, temerosos de la fiebre amarilla y solo después de grandes precauciones accede su alcalde a recibir los pasaportes del Capitán general de Cataluña. Hasta el 15 de Enero, una semana entera tras su partida de Barcelona, no consiguen desembarcar.

Por fin, tras cumplimentar al gobernador, al comandante de Marina y al obispo, Méchain puede subir a las montañas más

altas del nor-este, para calcular su altura. El resultado es indudable: no son suficientemente altas para asegurar su visión desde la cadena catalana. Debe abandonarse el primer proyecto con lo que esto significa de prolongación de los trabajos y consiguiente retraso. Queda aún por decidir si la unión con el continente se realizará alcanzando Mallorca desde las montañas de Cataluña o a través de Ibiza, unida geodésicamente a las montañas del sur de Valencia. El astrónomo no deja de reclamar la ayuda científica del Bureau des longitudes. En una carta importante por los problemas científicos que plantea<sup>24</sup>, Méchain escribe a Delambre:

...Il y aurait donc toute possibilité de prolonger la chaîne des triangles de la Méridienne jusqu'à Ivice, en descendant le long des côtes de Valence et de Catalogne depuis Montsia jusqu'aux environs du Cap Cullera, ou Cap S. Antoine, au moyen de 4 ou 5 triangles sur le continent et d'un seul, assez grand, d'Oropesa et Cullera à los masos d'Ivice. Le seul inconvénient pour cela est que la chaîne depuis les côtes de Catalogne jusque vers le Cap Cullera ou le Cap S. Antoine, dévie beaucoup à l'occident du méridien de Paris; le dernier triangle pour Ivice s'en rapprocherait, le Puy de los masos n'étant plus qu'à 45' ou 50' à l'ouest; mais il y aurait plus d'avantage à faire ce crochet qu'à s'arrêter sur les côtes de Valence près d'Oliva entre Cullera et le Cap S. Antoine, vers 38 50' de latitude, comme je l'avois proposé l'été dernier? C'est sur quoi il m'eût été infiniment précieux d'avoir l'avis et même la décision du Bureau des Longitudes, de vous mon cher confrère, et du sé-nateur Laplace...

...je n'ai encore que la fâcheuse assurance que je viens d'acquiescer de l'impossibilité d'arriver à Ivice par Majorque et les deux grands triangles La Morella, Silla Torrellas et Mont-

<sup>24</sup> Méchain a Delambre. Carta fechada en Ibiza el miércoles, 4 pluviôse an 12 (25 Enero, 1804).

sia; Montsia, Silla Torrelas et Ivice. J'ai déjà assez répété que le 1 de ces deux triangles est très possible, que par lui seul on n'arrive qu'à Silla Torrellas, que pour descendre jusqu'à Cabrera, sans passer par Montsia et Ivice, il faudroit mesurer une base dans Mayorque et former quelques triangles pour ajouter 35 à 36 mille toises à la longueur de la méridienne, atteindre le parallèle de Cabrera par 39 7' 30" de latitude selon Tofiño, ou 39 9' 5" selon les observations du G Chabert. En parlant de latitudes, j'ajouterai que celle de Los Masons d'Ivice est d'environ 39 7'. Je sais bien qu'il seroit à désirer de descendre jusqu'à 38 58' (25); cela est impossible à Cabrera; à Ivice on le peut au moyen d'une petite base et d'un ou deux petits triangles depuis Los masons jusqu'à un point convenable vers le sud dans l'intérieur de l'île.

Dans le système par La Morella, Montsia et Silla Torrellas, puis Cabrera au moyen d'une base dans Mayorque, (s'il y a terrain pour la mesurer) on pourroit encore atteindre le parallèle 38 58' dans Ivice au moyen d'un triangle Silla Torrellas, Cabrera et une montagne proche de S. Eulalia à la côte ouest d'Ivice, que j'ai reconnue.

Voilà donc où j'en suis, mon cher confrère, et vous devez sentir combien il est dur et difficile de prendre une détermination d'une importance si majeure, sans vos avis et ceux de M. Laplace, et de tous nos confrères; vous êtes là et toute l'Europe savante pour me juger, m'approuver où m'improver...

En este estado de dudas, y sin recibir respuesta a sus preguntas, Méchain decide pasar a Mallorca para reconocer la isla y buscar un lugar apropiado para medir la base. Deja Ibiza el 27 de Enero de 1804 y el mismo dia llega a las costas de Mallorca, pocos días antes de la llegada, por fin, del bergantín «Prueba», al mando de Enrile, que llega a Palma de Mallorca el 7 de Febrero de 1804.

Durante los primeros días en Mallorca, el tiempo le impide subir a Silla Torrellas y dedica estas jornadas a recorrer la

isla. Antes de subir a la montaña, el 8 de Febrero, escribe una carta a su esposa, en la que hace un resumen de sus posibilidades y los planes alternativos que representan, seguramente para que esta, administradora de los fondos de la expedición, los transmitiese al *Bureau des longitudes*. En ella se introduce un nuevo proyecto, intermedio entre los dos considerados hasta ese momento (figura 5). Su lectura nos abre la mente de un geodesta en pleno trabajo, pero, más importante todavía, nos informa de la existencia de otro plan, comunicado a Laplace a principios de la expedición, sobre no alcanzar las Baleares en la triangulación y terminar esta sobre las costas de Valencia, cerca de Oliva. Aún cuando este plan se adjunta para no olvidar ninguna posibilidad, nos hace ver un hecho notable: Méchain no tenía todavía ninguna seguridad en la posibilidad de medir los grandes triángulos sobre el mar. Dicha seguridad solo vendría tras la subida a Silla Torrellas. Pero escuchemos al astrónomo

...Dans le plan tracé de l'autre part, le triangle Oropesa, Cullera et los Masons d'Ivice est inutile, si l'on veut atteindre Cabrera par l'ensemble de ceux appuyés sur La Morella, Montsia, Oropesa ou le Desierto de las Palmas, Los Masons d'Ivice et Silla Torrellas. Il n'y aurait alors de plus que dans le 1 projet que deux triangles sur le continent pour lier le Desierto à Lleberia et Montsia, et un seul par mer aussi de plus entre Montsia, le Desierto et Silla Torrellas. A la vérité ce triangle est bien aigu à Torrellas, mais on peut remarquer que son grand coté serait déterminé par celui Montsia-Torrellas et les angles Montsia et Desierto, dont le premier est presque droit, et l'autre aussi très grand; que das le fait ce ne serait que pour conclure le coté Silla Torrellas et Cabrera, qui n'est pas le tiers de celui de Desierto et Torrellas. Ce système est exécutable en se bornant à la latitude de Cabrera  $39^{\circ} 7' 9''$ , égale à peu près à celle de Los Masons d'Ivice. mais si l'on

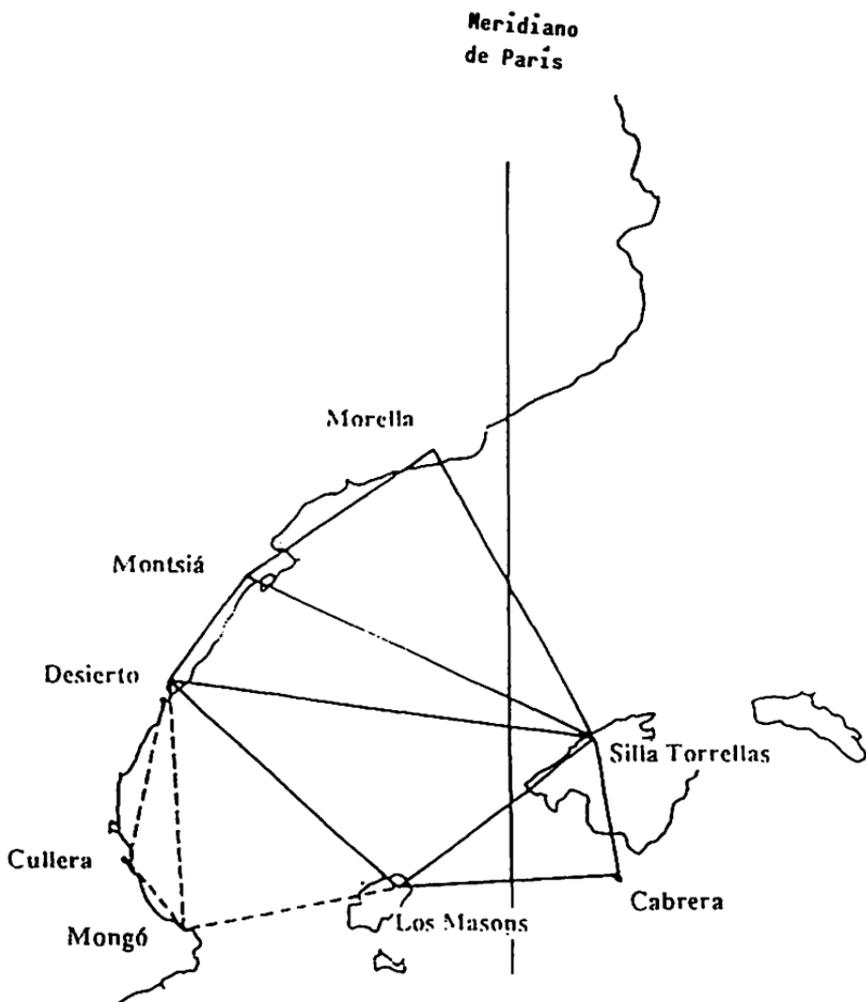


Fig. 5.- Proyecto elaborado por Méchain a su llegada a Mallorca y antes de explorar sus montañas. Su misma existencia habla bien a las claras de las enormes dudas que asaltaban al geodesta.

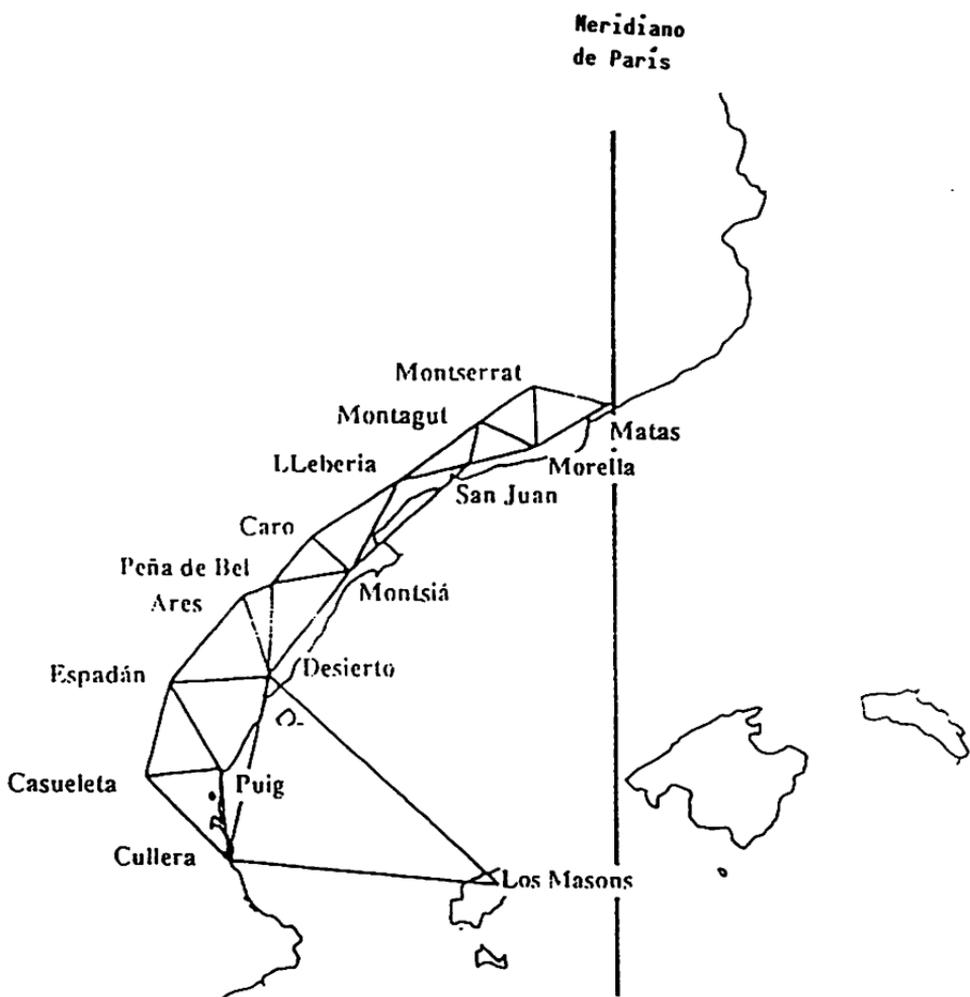


Fig. 6.- Último proyecto elaborado por Méchain para unir las Baleares al continente.

voulait atteindre le parallèle 38 58', on le rencontrerait que dans Ivice près de St Eulalia; il y a aux environs de une montagne que laquelle on a été qui pourrait être liée à Los masons au moyen d'une base de peu de longueur et de deux à trois moyens triangles. Si l'on renonçait aux quatre grands triangles qui aboutissent à Torrellas et Cabrera, soit pour abrégé le travail où qu'on fût forcé par les événements, et qu'on vult arriver jusqu'à Ivice pour se rapprocher le plus possible au méridien de Paris, alors on n'aurait de dépendent de la mer que le seul triangle Le Desierto, Cap Cullera et Los Masons, qui serait bien facile, et de plus quelques autres triangles sur le continent pour en descendre la chaîne jusqu'en Desierto et aux tours du Cap Cullera. On demande si le triangle de retour sur Ivice et pour se rapprocher davantage du méridien de Paris serait bien utile?

On pourra encore peut-être abrégé encore le travail dépendant de la mer en rapprochant les trois triangles au dessous de Montsia et Torrellas au moyen d'une base de 4 à 6 mille toises dans Mayorque et de quelques triangles faciles pour lier Cabrera à Torrellas. Celui ne supposerait pourtant pas qu'on renonçat à atteindre le parallèle 38 58', parce que de Torrellas et Cabrera comme côté déterminé, on pourrait aisément arriver à la montagne proche à St. Eulalia d'Ivice, dont on a parlé ci dessus; alors il faudrait observer aussi la latitude sur cette montagne où à St. Eulalia. C'est pour savoir s'il y a ou non possibilité de mesurer une base dans Mayorque, qu'on va parcourir cette île et par le prochain courrier on fera connaître le résultat de cette recherche.

Si tout s'opposait à la mesure des triangles dépendant de la mer, on pourrait sans aucune difficulté prolonger la chaîne des triangles sur le continent jusqu'au parallèle 38 58' près d'Oliva ou jusqu'au cap St Antoine même, où bien le Montduber qui n'en est pas éloigné selon le projet communiqué, il y a sept mois, au citoyen Laplace. Ce projet n'aurait que le désavantage d'une grande déviation à l'occident de la méridienne

de Paris. On ne le rappelle ici que pour réunir et présenter ensemble tous les moyens possibles d'exécution, et parce qu'on ne peut répondre des événements qui pourraient apporter des obstacles invincibles à la mesure des triangles dépendant de la mer...

La solución, para Méchain, aparece clara tras la subida a Silla Torrellas. Desde este privilegiado observatorio puede verse distintamente las estaciones decididas sobre las costas catalanas y muchos puntos de la costa de Valencia, así como las mayores montañas del resto de las islas Baleares. El astrónomo toma una decisión: la unión con el continente se producirá a través de Mallorca y la cadena catalana. Para ello envía al bergantín de Federici, ya innecesario ante la presencia de Enrile, de vuelta al continente, con la orden de transportar cabañas y reverberos al pie de Montsia y La Morella y de alumbrar estos en días establecidos. Su intención es comenzar inmediatamente las medidas angulares desde Silla Torrellas. Además, comienza a buscar el emplazamiento de la base en las islas, necesaria para la triangulación interior de estas. Todo parecía definitivamente establecido.

Pero, el 13 de Marzo, Méchain recibe la tan esperada respuesta de Delambre y del *Bureau des longitudes* a sus repetidas demandas de consejo. Delambre, enfermo de un «rhumatisme arthritique et édémateux» desde el 7 nivòse an 11 (29 de Diciembre, 1803) no ha podido dedicarse a los asuntos del *Bureau* ni a las demandas de Méchain. El 6 pluviòse (27 Enero, 1804) va por fin a la asamblea de este organismo y lee las cartas recibidas de Méchain desde Barcelona<sup>26</sup>. Recaido en su

<sup>26</sup> Esta latitud era necesaria, creía Méchain para conseguir situar el punto medio del arco que comenzaba al nivel del mar en Dunkerque, en el paralelo 45. La latitud de este punto en Dunkerque es de 51' 10".

<sup>26</sup> Asamblea número 595, de 6 pluviòse an 12 (27 Enero, 1804). PVBL, I, p. 89.

enfermedad, no vuelve hasta el 4 ventose (24 Febrero, 1804). En esta fecha, en la asamblea del *Bureau des Longitudes*, con la presencia de Laplace, explícitamente convocado por Delambre, expone las demandas de Méchain y sus planes alternativos. Ante ello, y sin conocer que Méchain ya había tomado una decisión, el *Bureau* adopta la suya<sup>27</sup>.

La carta en que Delambre comunica a Méchain esta decisión, fechada en Paris el 5 ventose an 12 (25 febrero, 1804), es suficientemente explícita sobre el contenido de las deliberaciones del Bureau y constituye en sí un verdadero tratado de geodesia práctica de principios del siglo XIX. Conozcamos sus párrafos más importantes:

La première question qui a été mise en délibération à été celle de savoir si la déviation de 3 à l'est dans la chaîne terminée à Los Masons d'Ivice et passant par Las Palmas et Cullera, presenterait quelque inconvénient réel; il a été décidé à l'unanimité qu'elle n'en presenterait aucun, parce que le dernier triangle se rapprochait considérablement du méridien de Paris; mais on a pensé qu'il ne serait pas de même si l'on s'arrêtait à Cullera. la déviation étant de 2 30' où de 10' de tems on aurait sur la différence de longitudes la même incertitude qu'on trouve pour Greenwich: Le Bureau des longitudes est dans l'avis que vous continuez sur le continent la chaîne des triangles jusqu'à Las Palmas et Cullera, auxquelles vous joindrez Ivice pour moyen du triangle qui aura pour sommet Los Masons D'Ivice. En prenent cette délibération on y avait

<sup>27</sup> Asamblea número 599, de 6 pluviöse an 12 (24 Febrero, 1804).

En los Procés varbaux se lee:

...M. Méchain... consulte le Bureau sur la manière de prolonger la méridienne. On lui consellera de se contenter du triangle entre Iviza, Cullera et Oropesa, sans s'occuper de Majorque ni de Cabrera. Il fera faire des regles en fer pour mesurer une base à la partie la plus méridionale de ce triangle...

mis la réserve que ce premier projet avait l'approbation du Bureau, supposé que la suite de votre lettre ne présentât rien que parait préférable. Mais je peut vous dire d'avance que cet arrêté qui n'était que provisoire est devenu définitif.

Sur la question de savoir si l'on pouvait s'arrêter à Los Masons ou s'il valait mieux descendre jusqu'à 38° 58' a fin que le milieu de l'arc tombât sur le parallèle de 45; on a pensé que quelques minutes de plus ou de moins n'étaient d'aucune considération et même que théoriquement ce n'était pas a 45 mais à 45 et quelques minutes que devait se trouver le milieu de l'arc et qu'à cet égard vous pouviez faire ce qui vous sérail plus commode...

Ces deux points décidés j'ai continué la lecture de vos plans; mais aucun n'a paru comparable au premier soit par la facilité des opérations soit pour l'exactitude qu'on doit se permettre. On est donc revenu définitivement à la chaîne continentale par Las Palmas, Cullera et Los Masons d'Ivice, mais comme Cullera commence à s'éloigner de Perpignan, on a senti la nécessité d'une troisième base. Quant aux moyens d'exécuter cette mesure, on s'en rapporte à vous. Le Bureau désire seulement que cette base soit aussi voisine de votre dernier triangle qui le permettent les circonstances locales. On à pensé encore que le transport de les règles de platine serail bien couteux, on vous prierai donc de faire exécuter en Espagne les règles que vous sérail nécessaires et à votre retour la verification de ces règles avec celles de platine se ferail à l'observatoire ou tous les objets qui ont servi à la mesure des bases et à la détermination du mètre et du kilogramme sont maintenant déposés.

Méchain recibe esta carta en Palma, el 13 de Marzo de 1804. Puede imaginarse el efecto que produjo en el astrónomo cuando, después de tantas dudas y penalidades, había por fin decidido el mejor plan a realizar. Se le ordenaba parar todos los trabajos en curso, se le imponía un proyecto mucho más largo

de ejecutar y se le obligaba a medir una nueva base, debiendo procurarse los medios sobre el terreno. En este momento se percibe como comienza a sucumbir. Un buen testimonio de su estado de ánimo es la carta que envía a Dezauche, fechada en Palma el 27 de Marzo<sup>28</sup>. Dice Méchain a su ayudante, partido en busca de lugares donde medir la base de las islas:

...j'ai, pourtant, toujours peur, je me méfie de moi même, je réclame sans cesse des avis, les lumières de mes collègues de l'Institut et du Bureau des longitudes et rien ne me fait plus de peine que quand on me répond qu'on se rapporte entièrement à moi, que personne n'est plus à portée que moi de juger les moyens, de choisir les meilleurs et de bien faire: alors je crois qu'on a l'intention de me cracher la figure...

Pero en su respuesta a Delambre, fechada en Mallorca el 16 germinal an 12 (6 Abril, 1804), nada de esto trasciende. En su carta osa afirmar aún su preferencia por una cadena más corta sobre la costa valenciana y ya asegurada por las operaciones efectuadas, pero su única lamentación es la de no poder disponer de las reglas de platino. Obediente a la decisión del *Bureau des longitudes*, ordena suspender las operaciones comenzadas y comienza a tomar decisiones sobre la ejecución del plan decidido en París. Tras ello, se dispone a pasar de las islas a Valencia y aprovechar los meses que quedan hasta el verano para tomar medidas. La experiencia le ha enseñado ya que con la llegada de los calores, cualquier intento de medir un gran triángulo sobre el mar es prácticamente imposible.

<sup>28</sup> «LA DERNIÈRE mission de l'astronome Méchain (1804)» (1891) *Revue retrospective*, XV, pp. 156-57.

## La prolongación de la cadena continental hacia las costas de Valencia

Méchain llega a Valencia a fines de Abril de 1804. Visita en primer lugar al Capitán general para pedirle los permisos necesarios para operar en el territorio del Reino de Valencia. La corte, sin embargo, nada había comunicado oficialmente a las autoridades valencianas y estas deben dirigirse a Madrid en solicitud de autorización para concederlos. De nuevo el astrónomo se dirige al *Bureau des longitudes*, en París, y al embajador francés en España, Mr. de Beurnonville, protestando por la ineficacia de las gestiones administrativas<sup>29</sup>.

Obligado a permanecer en Valencia, se aloja en casa del Barón de la Puebla, con quien realiza diversos trabajos astronómicos, entre ellos la determinación de la latitud del «Miguelete», la torre de la catedral de Valencia<sup>30</sup>. Para aprovechar el tiempo recorre los alrededores de la capital valenciana, en busca de un lugar apropiado para medir la nueva base de la triangulación del meridiano de París que le ha sido ordenada y de las estaciones secundarias adecuadas para unir esta base a la triangulación general, de las que una la constituye el citado «Miguelete». El 7 de Mayo lo encontramos tratando de conocer si los terrenos que se extienden entre el mar y la Albufera de Valencia pueden albergar la medida<sup>31</sup>.

<sup>29</sup> Asamblea del 19 prairal an 12 (8 Junio, 1804). PVBL, I.

<sup>30</sup> LE CHEVALIER (1805) Auszug aus einem Briefe des Reisenden LeChevalier. *Monatl. Correspondenz. Aug., 1805*, p. 172. Diversas notas y cálculos astronómicos del Barón de la Puebla durante este tiempo, se conservan también en AOP, Dossier E 2/21.

<sup>31</sup> Nota manuscrita de Méchain, fechada el 17 floreal an 12 (7 Mayo, 1804), AOP, Dossier E 2/21.

Por fin, tras haber perdido seis semanas del mejor tiempo de observación, el 21 de mayo puede escribir al *Bureau des longitudes* que por fin dispone de los permisos necesarios. En la misma, pide de nuevo las reglas de platino «que l'on a pretées a M. Henry pour la mesure de la base de Strasbourg»<sup>32</sup>.

El 28 se encuentra en el Puig, pequeña ciudad al norte de Valencia, buscando todavía lugares en los que instalar su base y estaciones secundarias desde las que conectarla a la cadena principal. Del Puig pasa a Cullera, la primera y más austral de sus nuevas estaciones y de ahí hacia el norte, en busca de cimas en que instalar las otras. Por cartas a su esposa, fechada en Vinaroz, cerca de Cataluña, el 4 messidor an 12 (23 Junio, 1804), y a un amigo, Jaubert, fechada de nuevo en Cullera el 13 messidor (2 de Julio), sabemos que ha recorrido todas las montañas costeras del reino de Valencia, hasta Monte Caro, cerca de Cataluña. Ciento cincuenta leguas en 28 días, montando y descendiendo montañas bajo un sol y un calor insoportables. Como fruto del viaje, consigue catorce posibles estaciones, contando los extremos de las posibles bases en la Albufera o en el Puig<sup>33</sup>. Las otras estaciones serán Cullera, La Casueleta (montaña cerca de Chiva, al este de Valencia), El Puig, Espadán, Desierto de las Palmas, Ares, Peña de Bel, Monte Caro, Montsia y Llebería, que con Los Masons de Ibiza completan su plan definitivo (Figura 6).

El 28 de Junio se encuentra ya en Cullera, presto a comenzar las medidas. Sus planes contemplan el terminar durante el verano la cadena continental, aprovechar el otoño para

<sup>32</sup> 615 asamblea del Bureau des longitudes, de 26 prairial an 12 (15 Junio, 1804). PVBL, I.

<sup>33</sup> Entre los documentos existentes en AOP, dossier E 2/21, se encuentran notas y cálculos en una base cerca del Puig, comenzados por Enrile y Dezauche.

medir la base y los ángulos continentales del gran triángulo, y por fin, en los primeros días de 1805, llegar de nuevo a Ibiza para medir el último ángulo de su cadena y realizar las medidas de la latitud de la extremidad sur del arco de meridiano. Después, aún contempla regresar por Burdeos para efectuar allí las medidas de longitud del péndulo.

Por fin, el 5 de Julio comienza sus medidas en Cullera, determinando el ángulo entre El Puig y La Casueleta. Durante este tiempo intenta constantemente ver las montañas de Ibiza, para comprobar que las brumas impiden constantemente dicha observación. Sorprendido y preocupado, Méchain abandona la estación de Cullera el 11 de Julio, dejando allí a Dezauche, encargado de alumbrar los reverberos. Tras su partida, Dezauche, en días claros, consigue ver distintamente Ibiza e incluso tomar ángulos con un grafómetro con anteojos.

En La Casueleta pasa Méchain 11 días<sup>34</sup>. El 9 thermidor (28 de Julio), está ya de nuevo en el Puig. En esta estación perderá un mes entero. El P. Canellas, por errores en los registros, le hace perder 11 o 12 días de trabajo; sus ayudantes caen enfermos de paludismo e incluso uno de los soldados, aún llevado urgentemente a Valencia, muere. Por primera vez desde que comenzó sus operaciones geodésicas, deja a uno de sus ayudantes, Dezauche, el efectuar el resto de las medidas en el Puig, para pasar a Espadán y preparar la estación<sup>35</sup>. Abandona el Puig el 30 de Agosto y el 2 de Septiembre comienza sus medidas en Espadán. El 5 de Septiembre aparecen los primeros síntomas de su enfermedad, aunque persiste en continuar

<sup>34</sup> 625 Asamblea del Bureau des longitudes, 9 fructidor an 12 (27 Agosto, 1804). PVBL, II.

<sup>35</sup> Carta al Barón de la Puebla, fechada en El Puig, el 9 de Agosto de 1804. Archivos de las Baronías de Casalduch, Castellón.

las medidas hasta el día 11, en que ya no puede continuar. De este día son las últimas notas en su cuaderno de registros<sup>36</sup>.

El 12 de Septiembre es descendido primero a una casa de campo del Barón de la Puebla y luego, el 13, a Castellón, a su casa solariega. Conocemos diversos documentos que narran los últimos días del astrónomo<sup>37</sup>. De los inequívocos síntomas que describen, Méchain enfermó de paludismo, posiblemente en El Puig, y su enfermedad, al principio benigna, evolucionó desfavorablemente. Los primeros días en Castellón, tras periodos de aguda fiebre, se recuperaba y volvía a hacer planes para continuar las medidas, sin embargo, poco después cayó en un estado de estupor. El 18 se le impartió la extremaunción. El consul francés en Valencia, Lanusse, llamó al catedrático de Medicina de la universidad de Valencia, Dr. Félix Miquel, quien acudió a la cabecera del enfermo el 19, para certificar que ya poco podía hacerse.

A las diez de la noche de este día llegó a Castellón su hijo Augustin, que se encontraba en las montañas al cuidado de los reverberos. No se le permitió ver a su padre en tal estado y se le alojó en casa de un comerciante francés en Castellón, M. Bigné. A las cinco y veinte de la mañana del 20 de Septiembre, entre los brazos del Barón de la Puebla y de Dezauche, como nos cuentan las narraciones de la época, expiró Pierre André Méchain.

Nos queda, de la mano de Augustin Méchain, una nota necrológica que apareció, en castellano, en la Gaceta de Madrid<sup>38</sup>.

<sup>36</sup> Cuaderno de registros «A la tente d'Espadan, au dessous de la station». AOP E 2/21.

<sup>37</sup> SALVADOR F., TEN A.E. (En publ) Los documentos existentes sobre la muerte de Méchain. en TEN A.E., DEBARBAT S. (En publ.) *El Sistema métrico decimal y la Geodesia moderna*. Valencia, IEDHC.

<sup>38</sup> La nota se encuentra en AOP E 2/21.

Dans la matinée du 20 de ce mois, Mr. Méchain mourut à Castellon de la Plana, petite ville dans le Royaume de Valence. Il étoit venu en Espagne chargé de continuer les travaux suspendus en 1793 pour la prolongation de la mesure de l'arc du Méridien de l'Observatoire de Paris, depuis Barcelone jusqu'aux îles baléares, déjà exécutée depuis Dunkerque jusqu'à Barcelone. Il se trouvoit à la Sierra de Espadán, lorsqu'il se sentit attaqué des fièvres, mais l'ardeur avec laquelle il s'occupoit à remplir sa mission, et le désir qu'il avoit de terminer une entreprise aussi intéressante pour l'Europe entière, ne lui permirent pas d'abandonner cette station jusqu'au 12, jour où il acheva son travail à ce point et descendit à Castellon de la Plana.

La maladie parut d'abord de peu de conséquence; mais elle devient tout-à-coup si sérieuse que les secours de la médecine furent inutiles et il expira enfin entre les bras de ceux qui l'accompagnaient et baigné de leurs larmes; ils étoient ses amis et ne rougissoient pas de le nommer leur maître. Loin de sa patrie, de son épouse et de ses anciens amis, Méchain a trouvé dans ses derniers momens toute la consolation que l'on attend de l'amour désintéressé des hommes et surtout de la tendre sensibilité des Espagnols et de l'estime qu'ils ont pour les savants. Un de ses fils qui l'accompagnait et l'aidait dans ses travaux eut la douleur de voir expirer son père. L'Espagne est la première qui acquitte le tribut d'éloges dû à la mémoire de Pierre-François-André Méchain, Membre de l'Institut National de France, du Bureau des Longitudes, Directeur de l'Observatoire de Paris, Astronome de la Marine et Membre de la Légion d'Honneur, homme vertueux, franc, affable, modeste, bon époux, bon père, bon ami, aimant sa patrie, les hommes et les lettres. Ses amis et les Sciences le pleurent et leur reconnaissance transmettra sa mémoire à la postérité la plus reculée.

## La interrupción de los trabajos

Muerto Méchain, el único geodesta de la expedición, era difícil continuar los trabajos. Ya se habían medido completamente los cinco triángulos que enlazaban Barcelona con las estaciones valenciana, establecido las estaciones del resto de la cadena proyectada y comenzado los triángulos Cullera-Casueleta-Puig y Casueleta-Puig-Espadán; se había comenzado la medida de una base en El Puig y asegurado la posibilidad de medir, en condiciones favorables, el gran triángulo sobre el mar. Pero ni el *Bureau des longitudes* ni los miembros franceses restantes contemplaban la posibilidad de seguir con las operaciones de medida.

En efecto, informado el *Bureau* de la muerte de Méchain, el 20 vendimiaire an 13 (12 Octubre, 1804)<sup>39</sup>, toma la decisión de dejar los instrumentos en España, «dans l'espoir de continuer ce travail», pero se ordena al resto de expedicionarios la vuelta a Francia, con los documentos de Méchain. Esta decisión estaba de acuerdo con la que ya habían tomado Augustin Méchain y Dezauche. En una carta a Le Chevalier, fechada el 11 de Enero de 1806, Dezauche cuenta que<sup>40</sup>:

„La mort prémature de Méchain nous ayant empêché de terminer le travail, me trouvant à cette époque seul ou presque seul des collaborateurs, je résolu de laisser les effets sur les lieux où ils se trouvaient, pensant que le gouvernement français enverrait promptement d'autres astronomes et collaborateurs pour continuer le travail que nous avons avancé à plus de trois quarts...

<sup>39</sup> 631 asamblea del Bureau des longitudes, 20 vendimiaire an 13 (12 Octubre, 1804), PVBL, II.

<sup>40</sup> CARAN F 17/3712.

Dezauche, Augustin Méchain y Pierre Chauvet salieron hacia París, después de haber enviado una parte de los documentos y llevando con ellos los más importantes. Los útiles e instrumentos fueron dejados en casa de comerciantes franceses y amigos españoles<sup>41</sup>. Llegados a París el 26 de Octubre, depositaron los documentos en manos de Delambre, oficialmente encargado por el *Bureau* de recogerlos. La otra parte y los instrumentos más delicados, que no habían querido dejar en España, llegaron a París el 1 de Febrero de 1805.

En la asamblea número 639 de *Bureau des longitudes*, de fecha 2 frimaire an 13 (23 Noviembre, 1804), después de la lectura de una carta de M. Viot desde Barcelona, demandando una decisión al *Bureau* sobre la continuación de los trabajos, se decide escribir a M. Henry para hacerlo acudir a París y, previsiblemente, para encargarle la continuación de los trabajos<sup>42</sup>. No obstante, Henry continuaba aún el 19 pluviöse an 13 (8 Febrero, 1805), sus trabajos en el este de Francia. El último acto de este capítulo de la historia es la comunicación de Delambre al *Bureau* des longitudes sobre el «error de 32" « detectado en la latitud de Montjuich, reflejado en los papeles de Méchain<sup>43</sup>.

<sup>41</sup> Carta de Dezauche a Le Chevalier, fechada en París, el 11 de Enero de 1806. AOP, Ms. 1055

<sup>42</sup> Asamblea número 639 del *Bureau des longitudes*, de fecha 2 frimaire an 13 (23 Noviembre, 1804). PVBL, II.

<sup>43</sup> Asamblea número 690 del *Bureau des longitudes*, de fecha 8 frimaire an 14 (29 Noviembre, 1805). PVBL, II.

## **El balance económico de la expedición Méchain**

Parece interesante conocer, aunque solo sea a título anecdótico, el coste de una operación de este tipo a principios del siglo XIX. La estructura contable de la administración napoleónica, aunque separada en departamentos diferentes, permite reconstruir la historia económica de la expedición:

En la primera proposición presentada al ministro del interior, Méchain calculaba el montante económico de la expedición en alrededor de 20.000 francos, para los nueve meses que pensaba iba a durar esta. La suma final acordada por el ministro ascendió a 20.836 francos, al que debían añadirse los sueldos de los miembros de la comisión que tenían su propio puesto en París.

Méchain, como miembro del *Bureau des longitudes*, tenía una compensación anual de 8.000 francos, o 666,66 francos al mes. Para su desplazamiento por un país extranjero, se le concedió un aumento de un cuarto, o 166,66, que sería pagado como gasto de la expedición. A su hijo Augustin, como secretario, se le asignó un salario de 200 francos por mes y 180 a Pierre Chauvet, su doméstico. Esto elevaba los gastos de personal a 546,66 francos por mes, o 4919,94 francos en el período de nueve meses. Dezauche mantenía su salario, pagado por el *Dépot de la Marine*, y a Le Chevalier se le concedió una suma de 10 francos diarios para gastos de viaje, además de su salario como secretario de embajada, pagado por el Ministerio de asuntos exteriores y además de los 6.000 francos que por las misiones extra le concedieron los ministros del interior y de exteriores. Estos gastos no eran computados como gastos de la expedición.

En la suma de 20.836 francos debía incluirse los gastos de reparación de los instrumentos, operación que se encargó al

artista Lenoir. La memoria que este presentó por la reparación del péndulo de platino y del gran círculo repetidor, por una brújula y por 15 reverberos, ascendió a 10.123 francos, que el *Bureau* aprobó y que Méchain consideró excesiva<sup>44</sup>.

El retraso y las dificultades surgidas en Barcelona y el exceso sobre lo calculado que debió pagar a Lenoir, llevaron al astrónomo a solicitar nuevos fondos. A lo largo del an 12, el ministro del interior concedió 9.000 francos más, en dos libramientos<sup>45</sup>.

Una parte de esta suma fue justificada por Mme. Méchain, administradora de estos fondos, en el mes de ventôse an 12, con una memoria de 20.246,70 francos. Del resto, a la muerte de Méchain pudieron presentarse justificantes por 4.278 francos. Mme Méchain indica que las circunstancias impidieron justificar la cantidad de 4.174 francos, lo que eleva a 28.698,70 francos los gastos de la expedición. La memoria final fue aprobada por el ministro el 30 floréal an 13 y Mme. Méchain depositó en el *Bureau des longitudes* la cantidad de 1.136 francos, que el tesorero Buache remitió, el 26 fructidor an 13 (12 Septiembre, 1805), al tesoro público<sup>46</sup>.

Así pues, los gastos de la expedición ascendieron, sin contar el tratamiento especial a Le Chevalier, a los 28.698,70 francos, más 9.839,88 francos de los salarios y compensaciones de los expedicionarios. A ellos hay que añadir 7.079,84 francos

<sup>44</sup> El Bureau aprueba la memoria de Lenoir en su asamblea de 28 frimaire an 12 (20 Diciembre, 1803). PVBL, I, p. 87. Méchain se mostró muy afectado cuando se le comunicó la suma: ...Lenoir m'a égorgé, tué; il m'a fait payer les reverbères un tiers plus chers que ceux à Paris... (Carta a Dezauche, fechada en Palma el 27 de Marzo de 1804. *Rev Retrospective*, pp.155-57).

<sup>45</sup> CARAN F 17/3712.

<sup>46</sup> Asamblea número 679 del Bureau des longitudes, de fecha 26 fructidor an 13 (12 Septiembre, 1805). PVBL, II.

que tienen una historia algo complicada y que casi costaron un incidente diplomático.

En efecto, como se recordará, durante su espera en Barcelona, antes de pasar a Ibiza, Méchain encargó en el arsenal militar de Barcelona, cuatro cabañas desmontables y fácilmente transportables, para albergar a los observadores y sus instrumentos en las cimas de las montañas durante la estación fría. Las cabañas fueron efectivamente construidas en el arsenal militar y su montante ascendió a 24.430 reales de vellón y 9 maravedíes, que al cambio vigente de 29 céntimos de franco el real, daban la mencionada suma de 7.079,84 francos.

La cuenta fue reclamada al embajador de Francia en Madrid el 16 de Julio de 1804; este la comunicó a su ministro, quien se la reclamó al del interior. El ministro del interior se la reclamó a su vez a Mme. Méchain, precisamente el día de la muerte de su marido<sup>47</sup>. El asunto estaba todavía abierto en los primeros días de 1806. No tenemos constancia documental de que se pagara aunque la falta de posteriores reclamaciones por parte española induce a pensar que así fue.

Contando esta suma, los gastos de la expedición Méchain alcanzaron la suma de 45.618 francos, una suma muy inferior a la que costaría la posterior expedición de Biot y Arago para la continuación de los trabajos.

<sup>47</sup> AMAEF, Correspondance politique II, 2 p. Espagne, Libro 666, hoja 487.

## Capítulo VII

### La continuación de las medidas. La expedición Biot-Arago

#### Los primeros pasos hacia la continuación de las medidas

En 1802, de acuerdo con los antecedentes y sobre todo tras las agitadas reuniones de la comisión que decidió el valor del metro definitivo, el problema de la determinación de un valor exacto del nuevo patrón de medida, en el marco de la reforma metrológica general, estaba aún vivo. La idea de la prolongación del meridiano de París para alcanzar finalmente el deseado arco simétrico con respecto al paralelo 45 se benefició, sin duda, de este ambiente. Aún cuando las irregularidades de la Tierra eran ya sobradamente conocidas, se esperaba que el gran amigo de los geodestas, las compensaciones, actuaran sobre un arco suficientemente grande como para asegurar un valor del meridiano prácticamente definitivo y por tanto un valor «exacto» para el metro. La sociedad podría disponer, definitivamente, de una medida «universal».

En 1806, tal ambiente se había diluido en gran medida. El valor del metro se había convertido en un problema estrictamente científico y el problema de la medida universal había perdido actualidad pública, incluso entre la comunidad científica.

Ante los astrónomos y geodestas, por el contrario, la figura de la Tierra se había convertido en un atractivo programa de investigación. Las medidas de arcos de meridiano proliferaban. Las aportaciones teóricas al problema permitían acercarse al ideal de exactitud inherente a este campo de investigación.

En este marco, en el seno de la nueva Francia imperial y en un momento en que la figura de Laplace comienza su ascendente proyección pública, cabe entender el nuevo proyecto que aprueba el *Bureau des longitudes*.

En efecto, en los Procés verbaux de la asamblea que celebra el *Bureau des longitudes*, el 2 de Mayo de 1806, encontramos la siguiente noticia<sup>1</sup>:

M. Laplace rends compte au Bureau de la demande qu'il a fait à sa Majesté l'Empereur et au Ministre de l'Intérieur pour la continuation des opérations de la prolongation de la méridienne en Espagne. En conséquence de cette demande, S.M. ordonne que telle opération sera continuée cette anée, et que le Ministre de la Marine sera chargé de demander au gouvernement anglais un sauf conduit pour les différents voyages des côtes d'Espagne aux îles Baléares.

M. Laplace propose de nommer M. Biot et Arago<sup>2</sup> pour terminer cette importante opération. Le Bureau arrête que les deux savants seront invités à accepter cette proposition.

Conocemos el origen de esta actuación de Laplace: François Arago, protagonista directo, nos ha dejado un relato de sus antecedentes: En su *Historia de mi juventud (Viaje por España, 1806-1809)*<sup>3</sup>, nos dice:

<sup>1</sup> Assemblée du Bureau des longitudes du 2 Mai, 1806. Procés verbaux du Bureau des longitudes, Vol. II.

<sup>2</sup> Jean Baptiste Biot, profesor del Collège de France, a sus 32 años, era ya reconocido por diversas memorias científicas presentadas ante el Institut de France. François Arago, de 20 años, acababa de ser nombrado secretario del Observatorio de Paris (12 Febrero, 1805), por el Ministerio del Interior, a propuesta del Bureau des longitudes (Asamblea de 3 ventôse an 13 (22 Febrero, 1805), PVBL, II. Sustituía en el cargo al hijo de P.A. Méchain, que el 30 frimaire an 13 (21 Diciembre, 1804), había presentado su dimisión.

<sup>3</sup> ARAGO F. (1946) *Historia de mi juventud (Viaje por España 1806-1809)* B. Aires, Espasa-Calpe, p. 41.

Apenas entré en el Observatorio, me convertí en el colaborador de Biot en sus investigaciones sobre la refracción de los gases, comenzadas hacía tiempo por Borda.

Mientras efectuábamos este trabajo, a menudo hablábamos el célebre académico y yo sobre el interés que podría tener proseguir en España las mediciones interrumpidas por la muerte de Méchain. Sometimos nuestro proyecto a Laplace, que lo recibió con entusiasmo e hizo que el gobierno nos confiara esta misión importante aportando los fondos necesarios para llevarla a cabo.

Recogida la iniciativa por el *Bureau*, la máquina administrativa se puso inmediatamente a funcionar. En Julio de ese año se solicitaron del gobierno español los permisos necesarios para llevar la expedición a cabo; la disposición de un navío para efectuar las travesías entre las islas y con la península y la adscripción a la empresa de los matemáticos españoles José Chaix y José Rodríguez González<sup>4</sup>. Por su parte, el *Bureau* des longitudes escribió al ministro del interior para pedirle los 15.000 francos que se preveían como gastos de la expedición y para que avanzara 6.000 francos para los primeros gastos<sup>5</sup>.

<sup>4</sup> Cartas de Chaix a Delambre, fechadas en Madrid el 14 y 31 de Julio de 1806. Archives de l'Observatoire de Paris (AOP), Ms. 1057. Chaix, advertido de la nueva operación solicitó y obtuvo de Delambre que se pidiera desde Paris su participación en la empresa. José Rodríguez González era un joven profesor de Matemáticas, que en la época ampliaba estudios en Paris y que había hecho una buena amistad con Biot. José Rodríguez llegaría a ser director del Observatorio de Madrid. Sobre su obra solo existe hasta el momento un estudio original: ALLER R.M. (1929) D. José Rodríguez González (O matemático de Bermés) *Archivos do seminario de estudos galegos, III, 27-95*. Enrile, el colaborador de Méchain, acababa de ser nombrado comandante de las costas de Cataluña y no podía ya participar en los trabajos.

<sup>5</sup> Asamblea número 720 del BL, de 4 Julio, 1806. Los seis mil francos son librados al *Bureau* el día 6 de Agosto.

Por su parte, Biot y Arago comenzaron desde el mismo mes de Mayo a estudiar los documentos de Méchain depositados en el observatorio, así como sus papeles privados<sup>6</sup>, proporcionados por su hijo y su viuda, especialmente su cuaderno de viaje, hoy desaparecido. De este cuaderno, del que solo conocemos algunos extractos, obtuvieron los dos comisionados importantes informaciones sobre las dificultades reales de la empresa.

Para preparar su instrumental y sus técnicas operativas, los dos comisionados realizan en París diversas experiencias con el péndulo que bate segundos. El 29 de Agosto, pocos días antes de su partida hacia España, Biot y Arago presentan ante la asamblea del *Bureau* los resultados de sus trabajos y el mismo día el primero, propuesto en la asamblea de 8 de Agosto para una plaza de adjunto al *Bureau*, es elegido por unanimidad. Arago, a sus veinte años, es también presentado a la elección<sup>7</sup>.

Concluidos los preparativos, el 3 de Septiembre de 1806 Biot, Arago y José Rodríguez salen de París hacia España. Como el mismo Biot nos informa, su proyecto es seguir escrupulosamente el último plan de Méchain. Así escribe a Delambre a su llegada a Perpignan, el 15 de Septiembre de 1806<sup>8</sup>:

...Nous sérons dans trois ou quatre jours à Barcelone où nous devons séjourner un peu pour faire expédier toutes les ordres nécessaires, et comptez que nous sérons au grand triangle avant la fin du mois.

<sup>6</sup> BIOT J.B. (1810) *Notices sur les opérations d'Espagne et de France, lue à la séance publique de la classe des Sciences de l'Institut, le 2 janvier 1810.* Paris. p. 7.

<sup>7</sup> Asambleas números 726, 727, 728 del BL. de fechas 16, 22 y 29 de Agosto de 1806. PVBL, II.

<sup>8</sup> Carta de Biot a Delambre, fechada en Perpignan el 15 de Septiembre de 1806. AOP, Ms. 1054.

Pendant que nous serons portés à Cullera ou au Desierto pour observer les angles sur Ivicé, nous ferons allumer des signaux au Puche, et même à Espadán, car les angles restent encore à faire, et nous observerons en attendant les instants favorables pour voir Ivicé; de cette manière nous ne perdrons pas de temps. S'il faut rester un mois au Desierto, nous y resterons, mais nous aurons fini toutes les stations qui aboutissent à ce point; quant à la disposition de notre plan, le voici. Après avoir fait expédier à Barcelone les ordres nécessaires, nous allons à Valence, et en passant nous nous arrêtons au Desierto; nous préparerons la station et nous y laisserons un homme. De là nous allons à Valencia prendre de nouveaux ordres et aussitôt qu'ils sont obtenus, Arago va préparer la station de Cullera; moi je m'embarque, je passe à Ivicé, je prépare la station, j'y laisse une personne pour diriger les signaux, et je retourne retrouver Arago au Desierto ou à Cullera. Pendant ce temps il aura fait mettre ou il aura mis lui même des signaux à Espadan et sur le Puche; et voilà toutes les stations terminées. Ensuite, nous nous renfermons dans Ivicé pendant tout l'hiver. Dès que nous aurons fini la latitude et le pendule nous reviendrons au Puche pour y compléter un tour d'horizon et aussi pour reprendre l'angle entre Desierto et Espadan si vous le trouvez convenable car Méchain n'en a observé que deux séries de six angles qui diffèrent entre elles de 5". Le plan que nous venons de vous exposer nous a paru conforme aux instructions que vous nous avez donné avant notre départ et en même temps il nous semble qu'il réunit l'avantage de faire le plus qu'il se peut dans le moindre temps possible.

Nous nous sommes arrangés avec un homme de Perpignan qui a suivi Méchain partout et même à Ivicé. Cet homme qui connaît bien le pays, et qui parle le catalan nous sera fort utile...

Arago queda en Perpignan para atender al transporte de los instrumentos, mientras que Biot y Rodríguez viajan a Barcelona, donde llegan el 20 de Septiembre. Se entrevistan con el Capitán general, Conde de Santa Clara y otras autoridades, de quienes, con gran amabilidad, reciben los permisos necesarios; se encuentran con Enrile, quien, lamentando no poder acompañarles, les ayuda a resolver los problemas de transporte e informa a Biot, que va «todos los días a su barco», de las circunstancias de las medidas<sup>9</sup>.

Con las órdenes en regla y las informaiones necesarias, Biot y Arago salen hacia Tarragona, donde llegan el 4 de Octubre. En esta ciudad recogen los instrumentos dejados por Augustin Méchain<sup>10</sup> y salen hacia Valencia. El 18 los encontramos ya en Valencia, donde se reunen con Chaix<sup>11</sup>. Deciden pasar a Cullera, instalar la estación con los reverberos, dejar a Chaix a su cuidado y pasar, Biot y Rodríguez, a Ibiza. Arago, por su parte, volverá hacia el norte, al Puig («Puche») primero y luego al Desierto de las palmas, para preparar la estación e instalar los reverberos.

Efectivamente, el 23 de Octubre, Biot escribe ya a Delambre desde Denia, donde estaba dispuesto el barco que debía transportarlos a Ibiza, comandado por el teniente de navío Manuel Vacaro. Aún informa Biot a Delambre que espera ver fácilmente la cima del Desierto desde Ibiza y recíprocamente, pues desde Cullera han visto Ibiza sin problemas, en contra de lo

<sup>9</sup> Carta de Biot a Delambre, fechada en Barcelona, el 22 de Septiembre de 1806. AOP, Ms. 1054.

<sup>10</sup> Carta de Biot a Delambre, fechada en Tarragona, el 4de Octubre de 1806. AOP, Ms. 1054.

<sup>11</sup> Carta de Biot a Delambre, fechada en Valencia, el 18 de Octubre de 1806. AOP, Ms. 1054.

que esperaban<sup>12</sup>. El mismo 23, a las seis de la tarde, todos los instrumentos embarcados, Biot y Rodríguez salen hacia San Antonio de Ibiza, donde llegan al día siguiente a mediodía.

Dispuestos a ejecutar el plan de Méchain, el día 25, Biot y Rodríguez, acompañados por el oficial Vacaro y un piloto de la isla, que había acompañado ya a Méchain durante su estancia allí, suben al pico de Los Masons para preparar la que aún consideraban la última estación de la cadena.

### **Cambios en el proyecto de Méchain**

En una importante carta, fechada en el Desierto de las palmas, el 7 de Diciembre de 1806, a su vuelta de Ibiza, Biot informa a Delambre de los resultados de la exploración de las montañas de Ibiza. Por ella conocemos las circunstancias en que se produjeron los primeros cambios introducidos en el plan establecido por Méchain y las importantes decisiones a que estos cambios dieron lugar<sup>13</sup>.

Biot refiere así sus conversaciones con los ibicencos y especialmente con el piloto que los acompañaba:

*...Ce pilote me fit concevoir beaucoup de doutes sur la possibilité ou au moins sur la facilité de voir Cullera du haut de Los Masons. Le gouverneur, le capitaine de la marine et généralement les personnes qui pouvaient avoir le plus de connaissances de l'isle, m'indiquaient une autre montagne plus haute et*

<sup>12</sup> Carta de Biot a Delambre, fechada en Denia, el 23 de Octubre de 1806. AOP, Ms. 1054.

<sup>13</sup> Carta de Biot a Delambre, fechada en el Desierto de las palmas, el 7 de Diciembre de 1806. AOP, Ms. 1054.

située plus favorablement, mais fidèle à suivre les idées de Méchain, je me rendis au pic de los Masons. Les instruments y étoient déjà arrivés et la cabanne montée. J'y passai trois jours et trois nuits pour voir si je pouvais apercevoir la côte d'Espagne, l'horizon ne le permit pas...

Biot comienza pues a plantearse la posibilidad de sustituir Los Masons por la cima de Campvey, la montaña aludida, como le aconsejaban los lugareños. Campvey es en efecto una montaña más alta que Los Masons y situada más favorablemente para ser vista desde la costa de la península. Aunque de acceso difícil, se encuentra al borde del mar y al noreste de la isla. Como Biot indica, Méchain, que la visitó, debió preferir Los Masons porque, en la época en que estableció las estaciones de su cadena, aún dudaba entre la unión directa de Ibiza con las costas de Valencia o su conexión con Mallorca y Cabrera, su plan preferido. De Los Masons se ve fácilmente Cabrera y la costa peninsular hasta Cullera. De Campvey, sin embargo, es imposible distinguir Cabrera aunque las montañas del sur de Valencia se distinguen sin problemas.

Ante la dificultad de ver Cullera, los expedicionarios se deciden por fin a transportar los instrumentos y la cabaña a Campvey. Mientras llegan a la cima de la montaña estos medios, Biot se hace transportar a Formentera. Reconoce la isla, una mitad de la cual es una llanura casi a nivel del mar, mientras que la otra mitad es una plataforma elevada, una «mola», en la terminología de la región. La «Mola de Formentera», como se la citará en adelante en los tratados de Geodesia, ofrecía una buena visibilidad sobre Cabrera y Mallorca, sobre Campvey y sobre la costa de Alicante. Cullera, sin embargo, era prácticamente imposible de observar. La plataforma se prestaba incluso a medir en ella una base y ofrecía buenas posibi-

lidades para situar en ella la estación de medida de la latitud del extremo austral de la cadena.

Aún percibe Biot otra ventaja de Formentera. Sus acompañantes le indican que desde allí pueden verse las cimas de las montañas de la actual Argelia. Biot imagina rápidamente una nueva posibilidad. Escuchémosla en sus propias palabras

...En fin au sud nous avons l'Afrique et s'il faut s'en rapporter à des témoignages que notre séjour à Formentera nous mettra en état de vérifier, peut-être il ne serait pas possible d'aller planter un jour des reverbères sur les côtes de Barbarie...

Vuelto a Ibiza y subido a Campvey de nuevo, Biot decide por fin sus planes. Decidida la estación de Formentera, era necesario abandonar de nuevo los planes de Méchain y cambiar la de Cullera. Continúa Biot:

...Dans tout le temps que j'ai passé à Ivice, je voyais chaque jour sur la côte d'Espagne cette haute montagne de Mongo qui semble en quelque sorte nous inviter à la prendre pour un des sommets de notre grand triangle. On aperçoit même encore du niveau de la mer...Au contraire la petite montagne de Cullera ne s'aperçoit que bien difficilement... je ne voyais plus aucune avantage à garder Cullera et j'en voyais beaucoup à prendre Mongo. Le Desierto, Mongo et Campvey...

Toutes ces considerations nous ont déterminé à transporter à Mongo la station de Cullera...

El plan definitivo de la triangulación estaba decidido. Biot vuelve al continente a encontrar a Arago y Chaix, dejando a Rodríguez al cuidado de los reverberos instalados en Campvey. El 11 de Noviembre se encuentra ya en Denia, de donde marcha a Cullera, donde se encontraban los otros expedicionarios. Informados Arago y Chaix, envían a este al Mongó a

preparar la estación y dirigir los reverberos hacia el Desierto<sup>14</sup>.

### La medida del gran triángulo

Definido por fin el plan a seguir, los dos franceses se dirigen ya a la primera de las cimas del gran triángulo. Situan reverberos en Espadan, Mola de Ares y Montsia, que dejan al cuidado de los marinos de la tripulación de Vacaro y de algunos lugareños hábiles y suben por fin a la cima del Desierto de las palmas, preparados para comenzar las mediciones de ángulos. Juntos comienzan las medidas a partir del 7 de Diciembre.

Ocurre en este momento un problema que recuerda a los astrónomos el desenlace de la expedición anterior. Biot sufre un violento ataque de fiebre, cuyos síntomas había comenzado a notar tras su partida de Formentera. Inmediatamente tratado con quina, que previsoriamente habían incluido en el equipaje, es descendido a Tarragona. Desde Vinaroz escribe a Antonio de Marti y Franqués, científico catalán conocido también de Méchain<sup>15</sup>, pidiendo su hospitalidad y un carruaje

<sup>14</sup> Carta de Chaix a Delambre, fechada en Cullera el 21 de Noviembre de 1806, AOP, Ms. 1057. Carta de Chaix a Biot, fechada en Denia el 30 de Noviembre de 1806. AOP, fondos pertenecientes al Bureau des longitudes.

<sup>15</sup> La carta ha sido publicada por QUINTANA A. (1934) Carta inédita del físico Jean-Baptiste Biot (1744-1862). *Archeion*, XVI, 316-318. Quintana desconocía el contexto de la carta e introduce algunos errores de transcripción.

...Vinaroz, le 10 Decembre.

Monsieur Je suis en route pour vous demander des secours et de l'hospitalité. J'ai gagné la fièvre au sommet du desierto de las Palmas, où je suis depuis trois semaines après être revenu d'Yrun (Sic, por Iviza). J'ai

para transportarlo. Martí y Franqués, efectivamente lo acoge y cuida con celo, como Biot reconoce en sus cartas a Delambre.

Mientras dura la enfermedad de Biot, Arago, con la ayuda de Chaix, que había ido a encontrarlo, no permanece ocioso. Elige nuevos emplazamientos para las estaciones, cambiando algunas de las decididas por Méchain. Desplazándose entre todas ellas para orientar correctamente los reverberos y dar las instrucciones necesarias a algunos improvisados ayudantes, habitantes de los pueblos vecinos, mide la altura de todas las estaciones con respecto al Desierto<sup>16</sup> y prepara las medidas angulares.

Tras una rápida y sorprendente recuperación y a pesar de los consejos de sus cuidadores y de los médicos, que recomendaban un prolongado reposo, el 24 de Diciembre encontramos ya a Biot de nuevo en la cima del Desierto<sup>17</sup>, midiendo los ángulos con todas las estaciones de la cadena. El 21, terminadas las series de medidas previstas, están ya en Valencia<sup>18</sup>, pre-

preferé d'aller à Tarragone à cause de votre amitié et du voisinage du Montsiá. Je suis en route sur un mulet avec un conducteur: pouvant à peine me soutenir. Si je continue ma route sans m'arrêter je serai chez vous avant ma lettre -mais si la fièvre me retient à l'Hospitalette ou à Amposte je n'arriverai qu'après elle. De grâce alors envoyez moi une voiture, car ce n'est qu'à Tarragone que je trouverai dans vos bontés et celles de votre famille le moyen de recouvrer ma santé perdue.

Adieu monsieur, je vous embrasse et j'espère que ce n'est pas pour... Biot  
Sobre Martí y Franqués puede consultarse la obra de QUINTANA A. (1934) Antonio de Martí y Franqués (Marti d'Ardenya): químico y botánico catalán del siglo XVIII. *Archeion*, XVI, 38-51.

<sup>16</sup> BIOT J.B., ARAGO, F. (1821) *Recueil d'observations géodésiques, astronomiques et physiques...* Paris, V. Courcier, pp. 79-115. Estación del Desierto.

<sup>17</sup> Carta de Biot a Delambre, fechada en el Desierto de las palmas, el 27 de Diciembre de 1806. AOP, Ms. 1054.

<sup>18</sup> Carta de Biot a Delambre, fechada en Valencia, el 21 de Enero de 1807. AOP, Ms. 1054.

ocupados por el ángulo entre Espadán y Desierto, visto desde el Montgó. Deciden situar otra estación en las montañas de Favareta, que Arago se encarga de establecer. En estas montañas le ocurren las curiosas peripecias con los bandidos, que con gracia cuenta en su *Historia de mi juventud*.

Por su parte, el *Bureau des longitudes* estaba también preocupado por el mismo problema. Además, el aumento de tamaño del gran triángulo hacía más necesaria todavía la disposición de un base de comprobación. En la asamblea del *Bureau* de 23 de Enero, Laplace propone que Arago mida la base mientras Biot regresa a París con los resultados obtenidos<sup>19</sup>.

El 9 de Febrero de 1807, Biot, Arago y Chaix, están ya en el Montgó, midiendo los ángulos entre el Desierto, Espadán e Ibiza y Formentera<sup>20</sup>, así como entre Desierto y Cullera porque La dificultad de acceder a las montañas de Favareta a causa de la nieve, les había aconsejado volver a instalar reverberos en Cullera, como base intermedia de una red de comprobación del lado Mongó-Desierto, del gran triángulo.

El 15 de Febrero, Biot puede ya anunciar a Delambre que la segunda estación del gran triángulo está terminada<sup>21</sup>. Arago, por su parte, ha recibido la carta de Delambre en la que, en virtud de la decisión tomada por la asamblea del *Bureau*, le ordena medir la nueva base. Escribe al *Bureau* aceptando medir la base y comunicándole que ya ha elegido el sitio: la porción de tierra que se extiende entre la Albufera y el mar,

<sup>19</sup> PVBL, II.

<sup>20</sup> BIOT J.B., ARAGO, F. (1821) *Recueil d'observations géodésiques, astronomiques et physiques...* Paris, V. Courcier, pp. 141 y ss. Estación del Montgó.

<sup>21</sup> Carta de Biot a Delambre, fechada en el Mongo, el 15 de Febrero de 1807. AOP, Ms. 1054.

uno de los sitios previstos por Méchain<sup>22</sup>. Aparece aquí uno de los pocos puntos de desacuerdo entre los dos astrónomos: Biot es partidario de medir la base en Mallorca, más cerca del meridiano de París y en diversas cartas, especialmente en la fechada en Ibiza el 4 de Abril, ofrece sus razones a Delambre<sup>23</sup>.

Por fin, el 1 de Marzo salen Biot y Arago hacia Ibiza, a reunirse con Rodríguez y comenzar las medidas en la última estación del gran triángulo, la cima de Campvey. El 4 de Abril, Biot comienza así su carta a Delambre: «La mesure du grand triangle est complètement finie...». Por primera vez se medía un gran triángulo geodésico sobre el mar.

De Campvey, pasan Biot y Arago a Formentera, donde Rodríguez, llegado antes, había preparado una sólida edificación destinada a albergar las medidas del ángulo Campvey-Montgó, así como la determinación de la latitud del extremo sur del arco de meridiano y de la longitud del péndulo que bate segundos a esta latitud. Medido el ángulo y hechos los preparativos<sup>24</sup> para las otras operaciones, vuelven a Ibiza y de allí de nuevo a Denia, en la costa de Valencia, donde llegan el 3 de Mayo de 1807<sup>25</sup> (figura 7).

Inmediatamente después de su llegada a la península, Biot sale hacia París, Desde el 3 de Junio, presenta ante el *Bureau* los resultados de los trabajos realizados hasta el momento y las necesidades, tanto económicas como instrumentales, que

<sup>22</sup> Asamblea del *Bureau des longitudes* de 11 de Marzo de 1807. PVBL, II.

<sup>23</sup> Carta de Biot a Delambre, fechada en Ibiza, el 4 de Abril de 1807. AOP, Ms. 1054.

<sup>24</sup> Carta de Biot a Delambre, fechada en Formentera, el 13 de Abril de 1807. AOP, Ms. 1054.

<sup>25</sup> Carta de Biot a Delambre, fechada en Denia, el 3 de Mayo de 1807. AOP, Ms. 1054.

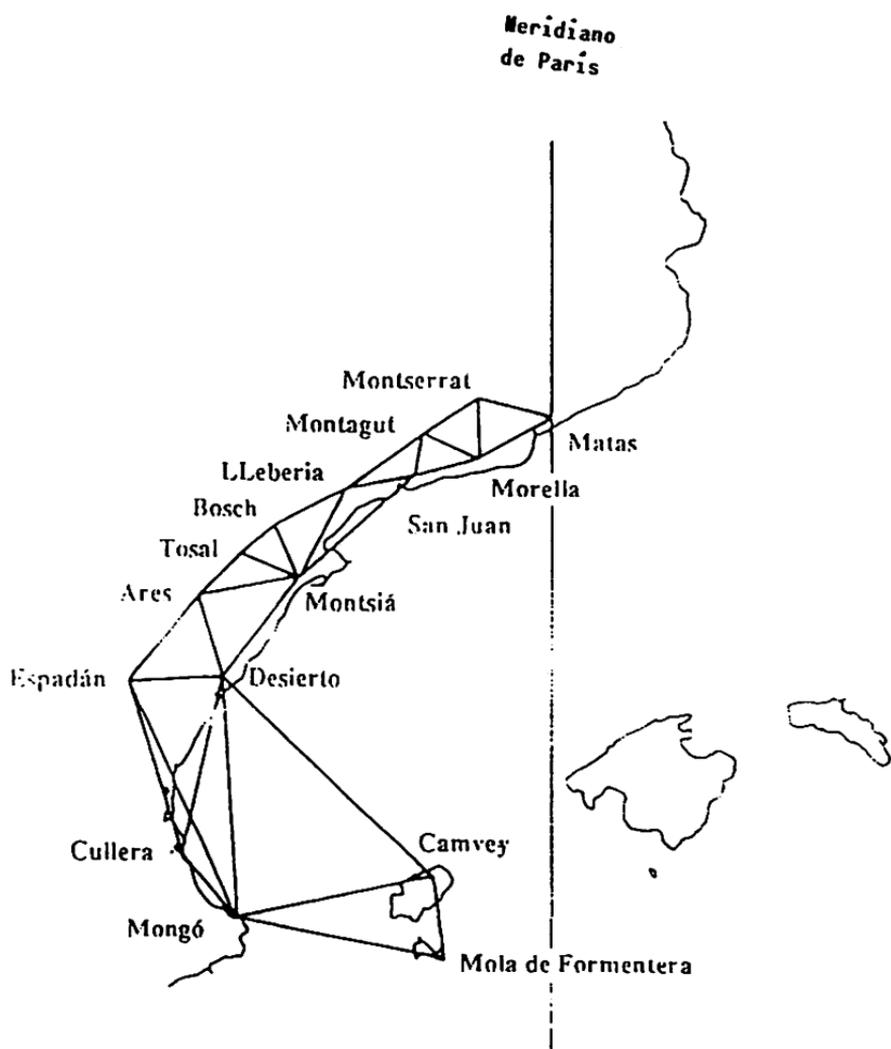


Fig. 7.- Triangulación efectuada por Biot y Arago.

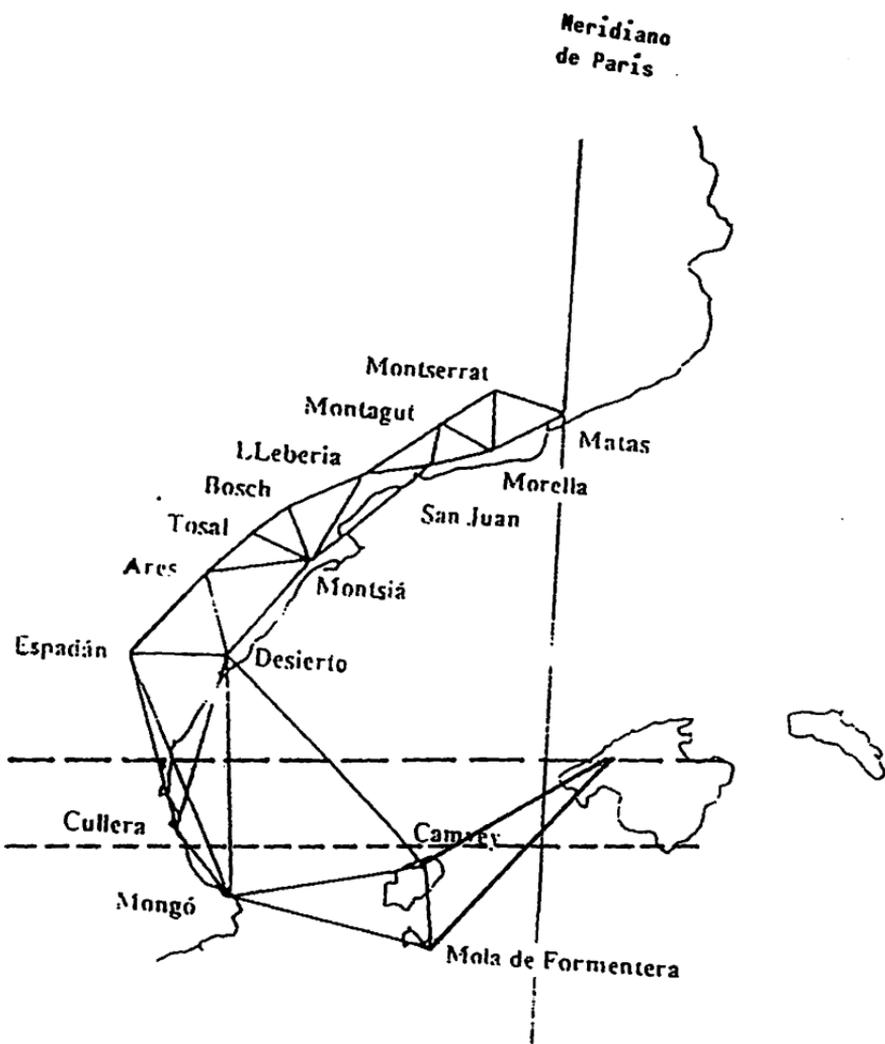


Fig. 8.- Proyecto de medición de tres grados de paralelo terrestre, entre Cabrera y Cullera.

se les han presentado<sup>26</sup>. Se obtiene la promesa del ministro del interior para conceder la suma de 25.000 francos más para las operaciones de la medida del meridiano y se permite disponer a Biot disponer de un anteojo meridiano perteneciente a la Escuela militar.

Biot obtiene además una satisfacción que venía preparando desde tiempo atrás. El 15 de Julio de 1807, el *Bureau des longitudes* elige por unanimidad a Arago para una plaza de adjunto, en una elección a la que se presentaban también Henry y Mathieu, con una trayectoria científica mucho más larga que la del joven astrónomo<sup>27</sup>.

El problema de la base va a ocupar las discusiones del *Bureau des longitudes* desde la asamblea del 25 de Agosto, hasta el retorno de Biot a España. Biot proponía la utilización de una regla única, cuyas posiciones sucesivas se asegurarían mediante tres microscopios situados sobre soportes sólidos<sup>28</sup>. A este efecto, el 17 de Septiembre se lee en la asamblea del *Bureau* una carta de Arago a Biot, en la que aquel acuerda con el sistema propuesto por este. A mediados de Noviembre, Biot se pone en camino hacia España.

<sup>26</sup> Asamblea del *Bureau des longitudes* de 3 de Junio de 1807. PVBL, II.

<sup>27</sup> Asamblea del *Bureau des longitudes* de 15 de Julio de 1807. PVBL, II. A este tema hemos dedicado nuestro trabajo TEN A.E. (En publ.) L'élection de François Arago comme adjoint au Bureau des longitudes.

<sup>28</sup> Asamblea del *Bureau des longitudes* de 27 de Agosto de 1807. PVBL, II.

## La cadena litoral valenciana

Mientras Biot permanece en París, Arago, Chaix y Rodríguez, despliegan una gran actividad sobre las montañas de la costa valenciana<sup>29</sup>. Del 8 al 19 de Mayo, se suceden las medidas, a cargo de Arago y Chaix, mientras Rodríguez cuida de los reverberos en las distintas estaciones. Se miden los ángulos Desierto-Espadán, Desierto-Mongó y Espadán-Mongó, así como la diferencia de nivel entre las distintas estaciones y la depresión del nivel del mar.

De Cullera se trasladan a Espadán, a la cima llamada «Altura de la pastora». Del 3 al 14 de Junio realizan las mismas operaciones respecto de las estaciones colindantes y de allí pasan de nuevo a la cima del Desierto de las palmas. Del 22 de Junio al 2 de Julio terminan los ángulos a medir desde el Desierto de las palmas, sin duda la estación más compleja de toda la medida.

Del Desierto pasan a la Muela de Ares, donde, desde el 8 al 15 de Julio, completan sus medidas. De la Muela se dirigen a Montsia, al pico conocido como el «tossal del pare Pascual», en el que Méchain había instalado ya su estación y en la que Arago y Chaix utilizan el mismo centro de la estación, marcado cuidadosamente por Dezauche en la anterior expedición. En esta estación permanecen midiendo desde el 20 al 29 de Julio.

De Montsia pasan al Tosal de l'Encanadé, estación diferente a la de Peña de Bel elegida por Méchain. En el Tosal, cerca de la población del Boxar, permanecen midiendo del 1 al 13 de Agosto. El 25 y el 26 de Agosto encontramos a Arago y Rodrí-

<sup>29</sup> BIOT J.B., ARAGO, F. (1821) *Recueil d'observations géodésiques, astronomiques et physiques...* Paris, V. Courcier, pp. 33-140.

guez midiendo desde el Bosch de la Espina, una de las cimas del Monte Caro. Desde el Bosch de la Espina vuelven a Montsia, a medir los ángulos Tosal-Bosch y Tossal-Llebería, entre los días 29 de Agosto a 4 de Septiembre, para pasar, por fin, a la estación de Llebería, parcialmente medida por Méchain.

En Llebería, durante los días 9 y 10 de Septiembre, miden el último ángulo que faltaba de la cadena, entre el Bosch y Montsia. El 23 de Septiembre, ante la asamblea del *Bureau des longitudes*, se lee una carta de Chaix, en la que anuncia que, a pesar del tiempo espantoso y las tormentas, la triangulación está terminada<sup>30</sup>. Arago, precavido, envía a Viot, el consul francés en Barcelona, el extracto de las operaciones realizadas

### **La continuación de las operaciones en las Baleares y el arco de paralelo**

En la misma carta fechada en Ibiza el 4 de Abril de 1807, en la que comunica a Delambre que han terminado el gran triángulo sobre el mar, Biot expone por primera vez un proyecto no previsto en las operaciones de prolongación del meridiano de París (figura 8). Dejemos que nos lo explique en sus propias palabras:

...Je puis maintenant vous entretenir. au moins sommairement, d'un projet auquel je pense depuis longtemps, mais dont je ne pouvais vérifier la possibilité avant d'être resté à Campvey assez de temps pour m'assurer que l'on voit Cabrera du même lieu de la station. Si vous jetez les yeux sur une

<sup>30</sup> Asamblea del *Bureau des longitudes* de 23 de Septiembre de 1807. PVBL, II. Carta de Chaix a Delambre, fechada en Uldecona el 5 de Septiembre de 1807. AOP. Ms 1057.

carte de Tofiño, vous verrez que Cabrera et Cullera sont presque exactement sur le même parallèle et à trois degrés environ de distance l'un de l'autre tandis que la station de Campvey, qui s'écarte très peu du même parallèle, se trouve intermédiaire entre ces deux points. Cullera se trouve déjà liée à Campvey au moyen des angles que nous avons mesuré à Mongo, car la distance de Mongo à Cullera resultera des triangles de la méridienne; et quant à l'angle à Mongo entre Cullera et Campvey, il peut se conclure de deux manières...

Voilà donc la possibilité de mesurer à l'extrémité de la méridienne, trois degrés de longitude au moyen de deux triangles, dont l'un est fait, et l'autre très facile. Il me semble que cette opération compléterait bien la méridienne; et si le Bureau l'approuve, elle peut se faire aisement l'année prochaine, sans prolonger notre séjour en Espagne, pendant le tems qui résulte entre les passages de la polaire au méridien supérieur et au méridien inférieur...

Je sais bien que la véritable difficulté de cette opération consiste dans la détermination exacte de la différence des longitudes entre les deux stations extrêmes; je dis de la détermination exacte, car la plupart des moyens que l'on a proposé jusqu'à présent, au moins ceux dont j'ai entendu parler paraissent bien loin d'atteindre ce but. Aussi ne vous aurais-je rien dit de ce projet, si je ne croyais avoir trouvé un moyen sûr d'éviter tous ces inconvénients et d'obtenir la différence des méridiens, dans le cas qui nous occupe, avec une exactitude presque égale, si ce n'est tout à fait égale à celle des observations de latitude. Je ne pourrais décrire ici ce procédé sans entrer dans des détails trop longs...<sup>31</sup>.

<sup>31</sup> Aún con pocos detalles, Biot apunta en esta carta los fundamentos de su método de determinación de longitudes, el verdadero problema de estas operaciones en la época y que no se resolvería correctamente hasta la aparición del telégrafo eléctrico. Su propuesta no es completamente novedosa: se basa en la rápida ocultación de la luz de un reverbero en un instante determinado, habiendo sido los relojes de los dos lugares entre los

Ninguna mención a este proyecto, aparece en los *Procés verbaux* del *Bureau des longitudes* durante la permanencia de Biot en París. Sin embargo, en su primera carta a Delambre tras su vuelta a España, fechada en Denia, el 24 de Noviembre de 1807<sup>32</sup>, Biot retoma inmediatamente este proyecto. junto con el resto de operaciones geodésicas y astronómicas a ejecutar.

El plan previsto por Arago, Rodríguez, Chaix y el mismo Biot, es pasar a Ibiza y Formentera, comenzar las observaciones de latitud y de la longitud del péndulo que bate segundos en la estación de Formentera, medir un triángulo sobre Cabrera y los azimuts de esta estación a Cabrera y Cullera, para realizar el cálculo de la medida de los tres grados de longitud. En cuanto a la base, que por fin Arago parece haber decidido medir en Mallorca, como aconsejaba Biot, la falta de instrumentos de medida adecuados aconseja dejarla para el término de las anteriores operaciones, aunque Biot informa a Delambre que Arago está ya haciendo los preparativos necesarios.

El 25 de Noviembre salen hacia Ibiza con un nuevo barco, mandado también por Vacaro<sup>33</sup>. Después de un viaje difícil a

que se hace la medida, perfectamente reglados al tiempo sidéreo en cada uno de ellos por observaciones astronómicas. El método ya había sido ensayado por Cassini de Thury en su *Méridienne vérifiée...* Arago comentará todavía este método en su ARAGO F. (1872) *Astronomie populaire*. París, pp. 294-5.

<sup>32</sup> Carta de Biot a Delambre, fechada en Denia, el 24 de Noviembre de 1807. AOP, Ms. 1054.

<sup>33</sup> Biot había pedido repetidas veces que se le proporcionase un barco mayor para realizar las travesías marítimas. A su llegada a Denia, encontraron en efecto un barco distinto... pero con el mismo nombre, el «Terrible». Para aprovechar el salvoconducto inglés extendido a este nombre, necesario para navegar en tiempo de guerra en aguas surcadas por corsarios ingleses y berberiscos, no se había encontrado mejor solución que cambiar el nombre del barco. Archivo general de Marina (AGM), Ms. «Medición del meridiano».

causa del mal tiempo, pasan a Formentera y comienzan sus mediciones.

Los primeros trabajos, el reglado de los relojes, los péndulos astronómicos, la determinación del tiempo absoluto y del azimut de su anteojo meridiano, comienzan el 4 de Diciembre. Tras los primeros preparativos, las mediciones de latitud se realizan desde el 11 de Diciembre. En medio de estos trabajos, desde el 28 de Diciembre hasta el 15 de Enero, miden cuidadosamente la longitud del péndulo que bate segundos a la latitud de su observatorio. El 18 de Enero de 1808, Biot deja a Arago, Rodríguez y Chaix y parte hacia Francia con los resultados de las medidas.

Hasta el 18 de Marzo permanece Arago perfeccionando los resultados de las medidas, mientras prepara su siguiente trabajo: la medida del arco de paralelo. El 15 de Febrero envía ya a Rodríguez al Clop de Galatzó (la actualmente llamada Mola de l'Esclop), en Mallorca, para preparar la triangulación interna de las islas y apoyar en ella las estaciones secundarias de su base en Mallorca. Desde el 23 de Febrero, comienza las medidas del ángulo Campvey-Clop y las distancias zenitales de estas estaciones desde la Mola de Formentera.

Por fin, el 18 de Marzo, Arago y Chaix embalan sus instrumentos y se disponen a pasar a Ibiza. El 22 los encontramos en la cima de Campvey, midiendo el ángulo Mola-Clop. En Campvey espera una sorpresa a Arago: Había previsto, en el marco de los proyectos de medida del paralelo, unir Cabrera a la triangulación mediante la medida de un triángulo apoyado en el Clop, Cabrera y otra montaña, llamada San Salvador, también en Mallorca. Pero desde Campvey, San Salvador quedaba oculta por otras montañas de Ibiza. Había que renunciar a los planes trazados.

La solución alternativa propuesta por Arago, renunciando a la unión de Cabrera a la triangulación, pasa por medir un paralelo un poco más alto, a la latitud de Campvey, cuyo equivalente peninsular era muy aproximadamente la estación del Puig. Diseña el nuevo plan y, el 8 de Abril, pasa a Mallorca para terminar, desde la estación del Clop, el triángulo Clop-Mola de Formentera-Campvey<sup>34</sup>.

Ya no podrá tomar más medidas. En medio de una creciente hostilidad hacia los franceses, sube al Clop, para bajar inmediatamente, temiendo por su vida. El gobernador y sus amigos españoles le aconsejan recluirse en el castillo de Bellver, en Palma de Mallorca, como medida de seguridad. El resto de la historia nos la cuenta él gráficamente en su *Histoire de ma jeunesse*. La tercera base de la meridiana solo se medirá, mucho más tarde, en el marco de las operaciones del mapa de España, ya en la segunda mitad del siglo XIX; la medida de los tres grados de paralelo nunca se ejecutará.

El 9 de Marzo de 1808, Biot hace entrega formal al Bureau des longitudes, de los registros originales de las observaciones efectuadas y que aun no obraban en su poder: las medidas desde la estación de Cullera, que completaba la cadena de triángulos; las observaciones de latitud en Formentera, la continuación de las mismas observaciones, que Arago había hecho llegar a París; la observaciones de pasos y alturas de culminación, para determinar la marcha de los relojes y el tiempo absoluto y, por fin, las observaciones del péndulo<sup>35</sup>. Se nombra a los miembros titulares Bouvard, Burckhardt y al mismo Biot, con Mathieu como adjunto, para efectuar los cálculos necesarios.

<sup>34</sup> Carta de Chaix a Delambre, fechada en Ibiza el 10 de Abril de 1808. AOP. Ms. 1057.

<sup>35</sup> Asamblea del *Bureau des longitudes*, de 9 de Marzo de 1808. PVBL. II.

El 4 de Mayo, los cálculos están terminados y se procede a la proyección de los lados de los triángulos sobre el meridiano. El 1 de Junio, en nombre de la comisión, Burckhardt lee ante la asamblea del *Bureau des longitudes* el resultado del cálculo del nuevo arco, cuya latitud media es, casi exactamente, 45<sup>36</sup>. El proyecto tanto tiempo esperado, se hacía realidad. En su comunicación ante la clase de Ciencias fisico-matemáticas del *Institut de France*, leída el 2 de Enero de 1810, Biot puede afirmar<sup>37</sup>:

...Lorsque les observations eurent été remises au bureau des longitudes, une commission fut chargée de les examiner et de les calculer. Le résultat de ce travail, comparé aux observations de M. Delambre à Dunkerque, donna une valeur du mètre presque exactement égale à celle que les lois françaises ont fixé, d'après les premières déterminations. La différence est au-dessous d'un dix-millième de ligne: elle ne produirait que quatre dixièmes de mètre, environ 176 lignes, sur la longueur de l'arc terrestre compris entre les parallèles de Dunkerque et de Formentera. Une si petite erreur a réellement de quoi surprendre; elle aurait pu être quarante ou cinquante fois plus considérable, qu'il n'en serait jamais résulté aucun inconvénient sensible dans les opérations les plus délicates des arts. Cet accord prouve que le mètre, déduit de la grandeur de la terre, est désormais bien connu; et que les autres opérations de ce genre que l'on pourra faire par la sui-

<sup>36</sup> Asamblea del *Bureau des longitudes*, de 1 de Junio de 1808. PVBL. II. Esta anotación se encuentra en el cuaderno en que se llevaba el registro de los debates, tras la correspondiente al 8 de Junio. La memoria de Burckhardt se publica, anónima, en la *Connaissance des tems pour 1810*, p. 485.

<sup>37</sup> BIOT J.B. (1810) Notice sur les opérations faites en Espagne pour prolonger la méridienne de France jusqu'aux îles Pythiuses, lue à la séance publique de la classe des Sciences physiques et mathématiques pour l'année 1810. *Mémoires de l'Institut National, 1818*, Histoire, p. XCV-XCVI.

te, si toutefois on en exécute jamais d'aussi considérables, ne pourront y apporter aucun changement.

El metro había sido medido y su medida no difería de la establecida en 1799 más que en un diezmilésimo de línea, apenas dos diezmilésimas de milímetro. Con la aprobación del *Bureau des longitudes*, dada el 1 de Junio de 1808, a las medidas y cálculos realizados en España, completada con la de las operaciones del péndulo realizadas en Formentera, se cerraba, así, el que parecía el último capítulo de la historia científica del metro. Pero, como hemos afirmado, este no era ya un problema metrológico. Por el contrario, todo un nuevo y gran proyecto de investigación, apoyado sobre las medidas del metro, estaba ya en marcha. Su fruto sería el mayor arco medido hasta muy entrado el siglo XIX: el arco Argelia-Islas Shetland (Escocia), cuyos más de 23 grados constituyen la mayor proeza científica realizada hasta su culminación y el mejor ejemplo de colaboración científica internacional hasta el proyecto de la Carta del Cielo.

## Capítulo VIII

### La medida del péndulo

#### Un nuevo programa de investigación

Realizada la medida del arco Montjuich-Formentera, un aspecto de los planes de Méchain, sin embargo, había quedado sin ejecutar. El infortunado astrónomo contaba, tras la medida del arco español, volver a París por Burdeos para allí, bajo el paralelo 45 y al nivel del mar, medir la longitud del péndulo que bate segundos.

El proyecto de Méchain se situaba en el marco del primitivo proyecto de definición del metro. Las dudas sobre la elección del patrón de medida, en los momentos originales del nuevo sistema métrico, habían introducido en la mente de los científicos el deseo de contar con los dos patrones propuestos. La posibilidad de compararlos y relacionar la longitud del arco de meridiano, deducida de costosas operaciones geodésicas, de la más fácil medida de la longitud del péndulo, hacía interesante el proyecto en aquel marco metrológico. Como hemos estudiado, las circunstancias impidieron la ejecución de ese proyecto.

Pero, a la vuelta de Biot a Francia, y tras el análisis de los resultados obtenidos, el problema científico de la figura de la Tierra y de las particularidades locales de esta, constituía ya, en sí, un atractivo programa de investigación. Los procedimientos puestos en práctica durante la expedición a España, permitían aportar nuevos datos a este programa.

En efecto, en los *Procès verbaux* de la asamblea del *Bureau des longitudes* de 11 de Mayo de 1808, antes incluso del informe de Burckhardt de 1 de Junio de 1808 sobre el valor del metro deducido de las nuevas medidas, encontramos la siguiente noticia<sup>1</sup>:

M. La Place propose qu'on fasse ici l'observation du pendule avec les mêmes soins, les mêmes instruments employés en Espagne.

Il propose de même que M. Biot, accompagné de M. Mathieu aient cet été répéter les mêmes observations à Dunkerque. On pourra par la même occasion répéter les observations de latitude par les étoiles qui seront alors visibles. Les diverses propositions sont adoptées...

Laplace reabría de nuevo, en el momento mismo de su conclusión y cuando Arago estaba aún tratando de regresar a París, el programa geodésico del Bureau des longitudes. Los perfeccionamientos aportados por Biot y Arago al método que Borda había ya empleado, también en París, para medir la longitud del péndulo que bate segundos<sup>2</sup>, hacían atractiva la repetición de unas medidas efectuadas por procedimientos menos elaborados. La inevitable aquiescencia del *Bureau* a la demanda de Laplace tendría como consecuencia la realización, en los ocho años siguientes, de otro vasto programa de investigación.

<sup>1</sup> Asamblea del *Bureau des longitudes*, de fecha 11 de Mayo de 1808. *Procès verbaux du Bureau des longitudes* (PVBL), Vol. II.

<sup>2</sup> Los procedimientos de medida de la longitud del péndulo, así como los instrumentos empleados y las mejoras introducidas por Biot y Arago, se encuentran descritos con todo detalle en la obra de BIOT J.B., ARAGO F. (1821) *Recueil d'observations géodésiques, astronomiques et physiques...* Paris, V. Courcier, pp. 441-453

Las medidas de Borda fueron publicadas por Delambre en el tomo III de la *Base du système métrique* (1810): DELAMBRE J.B., MÉCHAIN P.A. (1806-10). *Base du système métrique*. Paris, Badouin, p. 401.

Así, abierto el horizonte y antes de ejecutarse la propuesta de Laplace, otras vendrían a completarla: El 22 de Junio de 1808, los encargados de revisar las operaciones efectuadas en Formentera para determinar la longitud del péndulo que bate segundos, Bouvard y Mathieu<sup>3</sup>, comunican sus resultados a la asamblea del *Bureau*. La longitud del péndulo en la estación de Formentera, a una latitud de 38 39' 56", reducida al nivel del mar, se establecía en 0.7412520 metros.

Con la mención «...Tout est parfaitement d'accord.» se cerraba la aventura de la «medida del metro». Comenzaba la de la «medida del péndulo» que bate segundos bajo diferentes latitudes. El 27 de Julio del mismo año, otra nota en los *Procés verbaux* nos informa de que<sup>4</sup>:

On propose que M. Biot et Mathieu aient à observer le pendule à Bordeaux ou au 45e degré sur le bord de la mer et ensuite le plus près qu'on pourra de la méridienne et du 45e degré. Ils partiront des l'instant qu'ils auraient terminé les observations du même genre qu'ils vont commencer à Paris. La proposition est adoptée et M. Biot est invité a donner à la séance prochaine un aperçu sur les dépenses.

Biot, presto a ejecutar la realización de la medida de la longitud del péndulo que bate segundos en Paris, de acuerdo con la propuesta de Laplace, veía así abrirse ante él la expectativa de una nueva expedición.

Durante los días 30 de Julio a 10 de Agosto de 1808, Biot, Bouvard y Mathieu realizan las medidas decididas, en la sala de la meridiana del Observatorio de Paris<sup>5</sup>. Utilizando escri-

<sup>3</sup> Asamblea del *Bureau des longitudes*, de 22 de Junio de 1808. PVBL. II.

<sup>4</sup> Asamblea del *Bureau des longitudes*, de 27 de Julio de 1808. PVBL. II.

<sup>5</sup> BIOT J.B., ARAGO F. (1821) *Recueil d'observations géodésiques, astronomiques et physiques...* Paris, V. Courcier, pp. 486-493

pulosamente los procedimientos seguidos en Formentera y los mismos instrumentos, llegan a una longitud del péndulo que bate segundos en la sala meridiana, de 0.7419012 metros.

Borda había encontrado, en el mismo lugar, una longitud de 0.7418875; 0.0137 milímetros más corta que la de Biot. El acuerdo entre ambas, por encima de las técnicas experimentales diferentes, venía a confirmar la bondad de las operaciones. Reducida al nivel del mar, la longitud del péndulo decimal que bate segundos a la latitud del Observatorio de París, 48 50' 14", se establecía en 0.7419167 metros.

El 10 de Agosto de 1808, Biot presenta ya ante el *Bureau* los resultados obtenidos y se prepara para viajar al sur de Francia. Una nueva etapa comenzaba.

### **Las operaciones bajo el paralelo 45**

En efecto, el 30 de Agosto de 1808, encontramos ya a Biot y *Mathieu* alojados en locales del Liceo de Burdeos y comenzando sus observaciones de la longitud del péndulo.

El 9 y 10 de Septiembre determinan la latitud del lugar de observación con un círculo de Borda. Esta es la primera ocasión en que se reconoce oficialmente la existencia de un pequeño error sistemático del círculo de Borda, que Chaix había encontrado en las observaciones de Formentera y que había comunicado en carta a Delambre<sup>6</sup>. Este pequeño error, especialmente peligroso para las observaciones de latitud, sería la

<sup>6</sup> Carta de José Chaix a Delambre, fechada en Ibiza el 22 de Marzo de 1808. Archives de l'Observatoire de Paris (AOP), Ms. 1057.

causa del retorno de Biot a Formentera, muchos años después. En Burdeos, Biot se limita a señalarlo para relativizar la confianza en las observaciones de la latitud, aunque, como reconoce, este pequeño error en nada afecta a la determinación de la longitud del péndulo<sup>7</sup>. Sus resultados, publicados en el *Recueil...*<sup>8</sup>, dan una longitud del péndulo decimal de 0.74160464 metros, a una latitud de 44 50' 26".

De Burdeos, mientras Mathieu termina las observaciones, Biot se dirige a cumplir con el otro mandato hecho por el *Bureau*: medir la longitud del péndulo bajo el paralelo 45, en un lugar lo más próximo posible al meridiano de París. Para ello, elige la ciudad de Figeac, de latitud 44 36' 45".

En Figeac realiza efectivamente las mismas operaciones que en Burdeos. Desde el 15 de Septiembre al 21 de Octubre, Biot, con Mathieu a su llegada de Burdeos, mide la longitud del péndulo decimal que bate segundos, obteniendo un valor, reducido al nivel del mar y en el vacío, de 0.741612279, ligeramente más largo que en Burdeos, debido seguramente a irregularidades locales del elipsoide terrestre.

De Figeac aún pasa Biot a Clermont-Ferrand, también bajo el meridiano de París pero a una latitud algo superior, de 45 46' 48". El motivo nos lo indica el mismo Biot en su *Recueil...*<sup>9</sup>:

<sup>7</sup> BIOT J.B., ARAGO F. (1821) *Recueil d'observations géodésiques, astronomiques et physiques...* Paris, V. Courcier, p. 494. «...Comme on n'a observé que d'un seul côté du Zénith, cette latitude pourrait être trop forte ou trop faible de quelques secondes, à cause des erreurs constants dont on sait aujourd'hui que le cercle est susceptible; mais ces erreurs étant toujours très petites ne sont d'aucune importance dans la détermination de la longueur du pendule...»

<sup>8</sup> BIOT J.B., ARAGO F. (1821) *Recueil d'observations géodésiques, astronomiques et physiques...* Paris, V. Courcier, p. 510.

<sup>9</sup> BIOT J.B., ARAGO F. (1821) *Recueil d'observations géodésiques, astronomiques et physiques...* Paris, V. Courcier, p. 510.

...Il y avait en outre un intérêt particulier à mesurer l'intensité de la pesanteur, dans une contrée qui porte tant de traces de convulsions volcaniques, et qui est très élevée au-dessus du niveau de la mer...»

Sus palabras nos lo indican con claridad: Biot estaba ya inmerso en el nuevo programa. La determinación de la longitud del péndulo podía proporcionar valiosos datos sobre las irregularidades locales del elipsoide terrestre, que, en sí mismas, se convertían en objeto prioritario de investigación. En Clermont permanece del 8 al 21 de Octubre, obteniendo una longitud del péndulo decimal de 0.7147052, curiosamente más de acuerdo con la teoría que la de Figeac. Con esta determinación termina la expedición por tierras del sur de Francia y Biot y Mathieu regresan a Paris, donde dan cuenta al *Bureau des longitudes* de sus trabajos.

### **La longitud del péndulo y la latitud de Dunkerque**

Con apenas un mes de estancia en París, Biot y Mathieu se disponen a cumplir la última parte de la petición que Laplace hiciera en Mayo: la determinación de la longitud del péndulo en el extremo norte del arco y la determinación de la latitud de este punto. El 26 de Noviembre los encontramos ya en Dunkerque, buscando un lugar a propósito para efectuar las medidas<sup>10</sup>.

<sup>10</sup> Carta de Mathieu a Delambre, fechada en Dunkerque en 26 de Noviembre de 1808. AOP, Ms. 1056.

Al final, de acuerdo con el comisario de Marina del puerto, se decide emplear un almacén al borde del mar, con una construcción adjunta para observar la latitud con comodidad. Pero, si en el soleado sur francés los trabajos avanzaron aprisa, en el norte la situación es muy distinta. El 8 de Enero de 1809, Mathieu escribe a Delambre<sup>11</sup>, quejándose de que el tiempo cubierto les había impedido prácticamente tomar medida alguna. Así, el 2 de Diciembre solo pudieron realizar 20 observaciones, 36 el 9, 88 el 16, 26 el 19, 32 el 21, 126 el 28 y nada desde entonces. Triste panorama para un astrónomo reducido a la tensión de la espera de un claro entre las nubes para poder observar la polar y algunos tránsitos de estrellas para regular sus péndulos sidéreos. En la fecha no han comenzado todavía las observaciones del péndulo que bate segundos.

El 19 de Enero, Mathieu puede anunciar a Delambre que un tiempo frío y desprovisto de nubes ha permitido algunas buenas noches de observación<sup>12</sup>. Sin embargo, la mejoría es pasajera. El 9 de Febrero, Biot escribe de nuevo a Delambre quejándose del tiempo: «... nous sommes toujours contrariés par le tems autant qu'il est possible...»<sup>13</sup>. No han podido comenzar todavía, para su desesperación, las observaciones del péndulo.

Finalmente, a finales de Febrero comienzan las determinaciones de la longitud del péndulo, que se desarrollan hasta el 7 de Marzo. El 13, Mathieu puede anunciar a Delambre que, terminadas las operaciones y aún no hechos los cálculos, el

<sup>11</sup> Carta de Mathieu a Delambre, fechada en Dunkerque en 8 de Enero de 1809. AOP, Ms. 1056.

<sup>12</sup> Carta de Mathieu a Delambre, fechada en Dunkerque en 19 de Enero de 1809. AOP, Ms. 1056.

<sup>13</sup> Carta de Biot a Delambre, fechada en Dunkerque el 9 de Febrero de 1809. AOP, Ms. 1056.

acuerdo entre las distintas series ofrece las mejores perspectivas<sup>14</sup>.

Solo resta a los astrónomos concluir las observaciones de latitud de su observatorio y ligarlas a las de la torre de Dunkerque, situada hacia el Este, para comparar la latitud obtenida con la que, observada por Delambre en 1793, sirvió para determinar la amplitud del arco base del sistema métrico. El 28 de Marzo miden los ángulos de un pequeño triángulo que liga el observatorio y la torre. La medida de uno de sus lados les permite calcular la diferencia de latitud entre las dos estaciones, de apenas 1/3 de segundo y por tanto comparar su determinación a la de Delambre.

El resultado, con una latitud determinada para su observatorio de 51' 10", arroja una escandalosa diferencia de 4", que Biot trata de nuevo de explicar por los errores constantes del círculo de Borda. Al comentar el problema en 1821, en la publicación de sus distintas operaciones, Biot rechaza sus propias medidas para aceptar las de Delambre. Es aquí donde, además, propone su método de determinación de latitudes por observación de pasos de estrellas a uno y otro lado del cénit<sup>15</sup>.

El 2 de Abril encontramos ya a Biot y Mathieu en Abbeville, camino de París. Por fin, el 15 de Junio de 1809, Biot y Mathieu presentan, ante el *Bureau des longitudes*, los cálculos de sus observaciones del péndulo en Dunkerque. La longitud del péndulo que bate segundos decimales, determinada en el extremo norte del arco, estimada en 0.7420761 metros, comparada con la determinada en el extremo sur, en Formentera,

<sup>14</sup> Carta de Mathieu a Delambre, fechada en Dunkerque el 13 de Marzo de 1809. AOP, Ms. 1056.

<sup>15</sup> BIOT J.B., ARAGO F. (1821) *Recueil d'observations géodésiques, astronomiques et physiques...* Paris, V. Courcier, p. 516.

permite calcular un achatamiento de la Tierra en torno a  $1/321$ , un poco mayor del estimado por la comisión internacional de 1799, pero todavía un poco menor del  $1/305$  deducido por Laplace del análisis de las desigualdades de la Luna<sup>16</sup>. Tal era el resultado final de sus mediciones en tierras francesas y el previsible término del programa planteado por Laplace. Pero tampoco este sería su verdadero término...

### Las medidas en tierras inglesas

Tras sus expediciones al sur y al norte de Francia, en 1808 y los primeros meses de 1809, Biot entró a formar parte del claustro de la recién creada Facultad de ciencias de la Universidad de París, en la cátedra de Astronomía, para profesar también en la de Física a partir de 1816.

En medio de estas tareas, se le presenta de nuevo la oportunidad de rendir un servicio a la Geodesia. A pesar de que sus relaciones con Arago se habían enfriado, ambos conciben juntos un plan que representaría la continuación lógica de las empresas geodésicas ya acometidas: Así nos lo cuenta Biot en su *Recueil...*<sup>17</sup>:

...la triangulation anglaise, commencée par le général Roy, et continuée après lui par le colonel Mudge, se prolongeait

<sup>16</sup> En efecto, en la asamblea del *Bureau des longitudes* de 26 de Abril de 1809, Laplace había presentado sus cálculos del achatamiento de la Tierra, basados en la observación de las desigualdades lunares, llegando a esa conclusión de  $1/305$  e invitando a Biot a hacer sus cálculos de las observaciones de Dunkerque a partir de ese achatamiento. PVBL, T.II.

<sup>17</sup> BIOT J.B., ARAGO F. (1821) *Recueil d'observations géodésiques, astronomiques et physiques...* Paris, V. Courcier, p. 527.

déjà depuis le sud d'Angleterre jusqu'au nord de l'Ecosse, et offrait, sur cette étendue, plusieurs degrés du méridien terrestre, mesurés avec d'excellents instruments. Il était bien à souhaiter que cet arc pût se joindre à l'arc de France. Mais la position géographique de l'Angleterre la plaçant un peu à l'occident du nôtre, on pouvait craindre que, si tous les méridiens terrestres ne sont pas exactement semblables, la différence de longitude n'altérât les résultats qu'on aurait pu tirer de cette jonction. Toutefois cet inconvénient n'était pas à redouter pour les mesures du pendule, qui sont beaucoup moins troublées que les degrés par les petites irrégularités de la figure de la Terre. Le Bureau des longitudes souhaita que les mêmes appareils qui avaient servi pour ces mesures, en Espagne et en France, fussent portés sur toute l'étendue de l'arc anglais...

En efecto, aprobada la idea por el *Bureau*, a principios de Mayo de 1817, Biot sale hacia Inglaterra con su círculo repetidor de Fortin, un reloj astronómico y dos cronómetros de Breguét, además de su péndulo y la regla de medida que habían servido en las otras estaciones del meridiano de Paris y en Burdeos.

Con el coronel Mudge, Biot salió inmediatamente hacia Edimburgo, la más boreal de las estaciones en la isla de Gran Bretaña. El plan era realizar las experiencias cerca de Edimburgo, pasar a las islas Orcadas, el extremo norte del arco inglés y bajar posteriormente a Londres para efectuar nuevas mediciones en Greenwich, ya en compañía de Arago, que iría a encontrarlo allí.

Llegados a Edimburgo, instalaron los aparatos en el fuerte de Leith<sup>18</sup> y se dispusieron a efectuar las experiencias. Una

<sup>18</sup> Carta de Biot a Delambre, fechada «au fort de Leith près d'Edinbourg, le 4 juillet 1817". AOP, Ms. 1056.

enfermedad del coronel Mudge, obligó al geodesta inglés, inopinadamente, a volver a Londres, dejando a su hijo, el capitán Richard Mudge, con Biot.

Ambos realizaron, del 15 de Junio al 2 de Julio de 1817, la determinación de la longitud el péndulo que bate segundos en Leith, a la latitud de  $55^{\circ} 58' 37''$ , obteniendo, para el péndulo que bate segundos sexagesimales, una longitud media de 0.994531014 metros, o 0.742413435 metros, para el péndulo que bate segundos decimales.

De Leith contaban pasar a las islas Orcadas, para realizar las observaciones del péndulo y determinar la latitud del extremo norte del arco inglés, pero una idea, ya acariciada por el coronel Mudge y que Biot hizo suya con nuevos argumentos, vino a cambiar los planes. Oigámosla en las propias palabras de Biot, en 1817<sup>19</sup>:

...le colonel Mudge...voyant avec regret les isles Shetland, limites boréales des possessions britanniques échapper à la triangulation...arrêta le plan qu'il comptait suivre pour l'opérer. Des lors les isles Shetland sont devenues nécessairement la limite de notre voyage. Outre l'avantage que je viens de mentionner, elles en ont encore deux autres d'une grande importance pour la triangulation anglaise; c'est d'étendre l'arc d'un degré et demi vers le nord, et de le ramener de deux degrés de longitude vers l'est, exactement sur le méridien de Dunnose (en el sur de Inglaterra), ou le colonel Mudge a porté depuis longtemps son secteur; de sorte que toutes les observations de latitude propres à l'arc d'Angleterre se trouvent complètement terminées en sortant des isles Shetland, par le seul effet du choix heureux de cette nouvelle station.

Mais relativement au système general des opérations géodesiques d'Angleterre et de France, ce nouveau plan offre des

<sup>19</sup> Ibid.

résultats plus éminens encore. Il lie en effet ces opérations d'une manière si simple que l'on pourrait à peine souhaiter une disposition plus favorable. Le nouvel arc d'Angleterre et d'Écosse se trouvant ramené de deux degrés vers l'est, n'est plus que d'un degré à l'occident de Greenwich, ce qui fait deux degrés et vingt minutes à l'occident de Paris. Or Formentera, ce point extrême de notre arc vers le sud, se trouve aussi à l'occident de Paris de cinquante et une minutes; conséquemment il ne se trouve que de deux degrés trente minutes à l'est de la station des isles Shetland, de sorte que le méridien de Formentera prolongé jusqu'à la latitude de ces isles, en passera à une distance moindre de trente lieues...

Para Biot, en este momento, las ventajas dejan de ser geodésicas para situarse de nuevo en la base de la filosofía que impulsó la reforma metrológica revolucionaria: La unión de los arcos inglés y franco-español permitía disponer de una base más internacional para fijar sobre ella el valor del metro. Oigámoslo en sus exaltadas palabras:

...Si l'on peut espérer qu'un jour les diverses nations de l'Europe pourront s'accorder à choisir dans la nature la base d'un système commun de mesures, n'est ce pas là le plus beau, le plus simple moyen de leur offrir les élémens? Et ce grand arc qui, partant des isles Baléares traversera l'Espagne, la France, L'Angleterre, l'Écosse et s'arrêtera aux isles Shetland, étant combiné avec l'aplatissement déduit de la théorie de la lune, ne donnera t'il pas la détermination du mètre la plus complète, et si on peut le dire la plus Européenne que l'on ait jamais pu espérer?..

Con este espíritu, Biot, Richard Mudge, El Dr. Gregory y el capitán Kolby, también geodesta y ayudante del coronel Mudge, planean pasar a las islas Shetland a ejecutar el plan de este último, completado por el de Biot. Contaban con terminar las operaciones en Septiembre, para pasar al sur de Inglate-

rra y establecer las estaciones de conexión con la cadena francesa en Dunnose y Dunkerque, donde Biot y Arago, tras realizar las experiencias del péndulo en Greenwich, volverían a determinar la latitud del extremo norte del arco francés.

Las circunstancias, sin embargo, impidieron tan ambicioso proyecto. Solo Biot y Mudge pudieron pasar a las islas Shetland y, ya en estas, Mudge, atacado por una enfermedad, debió inmediatamente volver a Gran Bretaña. Biot quedó solo para realizar todas las operaciones. El gran arco debería esperar.

Aún midió Biot en Unst, la capital de la mayor de las islas Shetland, con la ayuda de un carpintero local, la longitud del péndulo que bate segundos decimales. Entre el 10 de Agosto y el 9 de Septiembre de 1817, realizó las medidas de esta longitud y de la latitud de su observatorio. Su medida, 0.742721034, a la latitud de 60 45' 25", constituye el último fruto de esta nueva expedición del astrónomo francés.

A su vuelta de Unst, Biot regresa directamente a Paris, sin calcular la longitud del péndulo en Londres, como también tenía previsto en compañía de Arago, que no acudió a la cita. Por parte inglesa, el capitán Kater se encargaría, en 1818 y 1819, de calcular la longitud del péndulo en las más importantes estaciones de la cadena inglesa, incluida Londres.

El fruto de los trabajos de Biot, el *Recueil d'observations géodésiques, astronomiques et physiques...* que con Arago edita en 1821, contiene al final una nota, redactada por Biot, en que se resumen sus conclusiones:

Tras listar en una tabla las longitudes calculadas en Unst, Leith, Dunkerque, Paris, Bordeaux, Clermont, Figeac y Formentera, Biot comprueba la indudablemente irregular marcha de la variación de las medidas del péndulo con la latitud. La influencia de las irregularidades de la densidad de las dis-

tintas capas superficiales de la Tierra se hace evidente. Cualquiera deducción del verdadero achatamiento de la Tierra mediante estas medidas y con la utilización del método de los mínimos cuadrados, falsearía los resultados, al compensar como errores lo que en buena parte podían ser verdaderos valores de la longitud del péndulo.

El astrónomo decide así no utilizar más que los valores de los extremos: Unst y Formentera, que presentan la ventaja adicional de estar situados en islas pequeñas, alejadas de las grandes masas terrestres y casi al nivel del mar. Sus cálculos ofrecen para la Tierra un achatamiento de  $1/304$ , extraordinariamente próximo del cálculo de Laplace, utilizando todos los valores disponibles de medida de grados terrestres, observaciones de la longitud del péndulo que bate segundos y el valor de las desigualdades lunares dependientes del achatamiento de la Tierra. Laplace obtuvo para este achatamiento un valor de  $1/306,75$  y Biot lo toma como el valor más seguro.

Por fin, utilizando los valores medidos por el capitán Kater en Inglaterra, Biot concluye:

La concordance des résultats du capitaine Kater avec les nôtres, lorsque les uns et les autres ne peuvent se représenter rigoureusement par une variation de la pesanteur proportionnelle au carré du sinus de la latitude, achève de mettre en évidence que cette impossibilité est réelle, et qu'ainsi l'on ne peut se flatter de représenter les longueurs du pendule pour tout le globe, par une même formule qui les reproduisse avec une complète rigueur, mais seulement dans les limites des différences que les variations locales de la pesanteur peuvent y occasioner. Alors tout ce qui reste à faire consiste à employer toujours des procédés d'observation assez exacts pour que les erreurs propres qu'ils comportent, soient fort inférieurs en étendue aux effets réels des causes accidentelles, afin de dé-

duir celles-ci de leur comparaison avec la formule théorique construite sur l'ensemble de toutes les observations. C'est là que s'arrêtent nécessairement les recherches en physique générale, qui peuvent seulement atteindre la partie des phénomènes produite par des causes régulières, et conséquemment susceptibles d'être soumis à des lois.

## La figura de la Tierra

El espíritu de las últimas palabras de Biot es el que anima a los geodestas a partir del segundo cuarto del siglo XIX. El problema teórico debía dejar su sitio a las mediciones experimentales. A lo largo del siglo XIX, multitud de científicos se acercaron al problema de la figura de la Tierra con este espíritu. De su trabajo conjunto surgió la Geodesia moderna, que hoy, con la ayuda de satélites geodésicos, continua estudiando la extraña forma de nuestro planeta, una realidad física y no una abstracción matemática.

La vieja ilusión de los revolucionarios franceses, la medida universal fundada en la naturaleza, libre de cualquier relación con un país o lugar determinado, se reveló, definitivamente, como una ilusión, mucho después de aquellas palabras de Lalande que en tal sentido clamaron.

Por azares de la historia, tuvo que ser un francés, Biot de nuevo, quien en su *Memoria sobre la figura de la Tierra*, leída ante la Academia de Ciencias, un 5 de Diciembre de 1827<sup>20</sup>,

<sup>20</sup> BIOT J.B. (1827) *Memoire sur la figure de la Terre. Mem. Acad. Royale des Sciences, de L'Institut de France*, 1825, pp. 1-56.

recordara, esta vez a los ingleses, la imposibilidad de alcanzar tal ilusión, que en la época acariciaban. Adecuada conclusión para un estudio sobre aquellos que intentaron, rigurosamente, medir el metro, son las sinceras palabras de Biot:

Le but que l'on se propose, lorsqu'on cherche dans les phénomènes naturels un étalon de mesure, c'est qu'il puisse être défini rigoureusement, et à perpétuité, par certaines conditions abstraites qui donnent toujours la possibilité de le retrouver avec exactitude. Le pendule remplirait évidemment ces conditions, si sa longueur sur les diverses parties du globe suivait des lois régulières exactement définissables. Mais lorsque nous voyons cette longueur différer notablement d'un méridien à un autre pour la même latitude, et varier sur le même méridien d'une manière trop irrégulière pour pouvoir être généralement définie, il s'ensuit que si l'on veut caractériser l'étalon qu'on en dérive, il faudra fixer non seulement le méridien géographique, mais la latitude et jusqu'au choix même de la place particulière où on l'aura observé...

## Índice onomástico

<b>A</b>	
Abeille, 27.	
Aeneae, 89.	
Agasse, 103.	
Alexander, 38.	
Alexandre, 15.	
Aller, 165.	
Arago, 14, 16, 122, 137,	173, 174, 175, 178, 179,
162, 163, 164, 166, 167,	181, 182, 183, 184, 185,
168, 171, 173, 174, 175,	187, 188, 189, 190, 191,
178, 180, 182, 183, 184,	192, 193, 194, 195, 196,
188, 191, 194, 195, 196,	197, 198, 199, 200, 201.
199.	
Aranda, 108.	Borda, 33, 42, 43, 44,
Azara, 128.	49, 50, 74, 83, 84,
	85, 90, 109, 111, 117,
	127, 188, 190, 194.
	Boscovich, 50, 72.
	Bossut, 43.
	Bouguer, 64.
	Bouvard, 184, 189.
	Bradley, 69, 70.
	Breguet, 196.
	Brisson, 49, 83, 84, 85,
	90.
	Buache, 84.
<b>B</b>	Bueno, 113.
Balbo, 89.	Bugge, 89, 90, 96.
Barón de la Puebla, <i>Ver</i> Vallés.	Burckhardt, 184, 185, 188.
Berthollet, 85, 90.	Bureaux de Pussy, 20, 21,
Beurnonville, 128, 131, 153.	28, 30, 31, 32, 33,
Bigné, 156.	37, 41.
Bigourdan, 14, 15, 67, 82,	
93, 95, 118, 137.	
Biot, 14, 16, 122, 137,	<b>C</b>
162, 163, 164, 165, 166,	Calon, 84.
168, 169, 170, 171, 172,	

Calvert,	20.					131, 132, 133, 137, 139,
Camus,	65,	67.				165, 168, 171, 172, 173,
Canellas,	17,	139,	155.			179, 180, 182, 183, 184,
Capel,	116.					190.
Cassini I,	50,	54,	56,	57,		Champagne,
	58,	59,	60,	66,	69,	83.
	98.					Chapront-Touze,
Cassini II,	50,	56,	57,	58,		16.
	61,	62,	66,	68,	69,	Chaptal,
	81.					126, 131.
Cassini III,	26,	50,	58,	61,		Chauvet,
	66,	67,	68,	70,	71,	128, 130, 159, 160.
	72,	182.				Chazelles,
Cassini IV,	49,	74,	81.			56.
Castro,	139.					<b>D</b>
Celsius,	65.					Darcet,
Cini,	137.					90.
Ciscar,	89.					De Bonnay,
Císcar,	90,	96.				21, 28.
Clairaut,	60,	61,	62,	65,		De Mairan,
	67,	99,	100,	101.		59, 60.
Cocquebert,	86.					Debarbat,
Coignard,	67.					16, 24, 139, 156.
Colbert,	56.					Delambre,
Conde de Santa Clara,	131,	168.				14, 15, 16, 67,
Condorcet,	22,	32,	33,	36,		81, 82, 83, 84, 85,
	41,	43,	47,	48,	49,	87, 90, 91, 92, 100,
	50,	73,	74,	107,	110.	101, 103, 104, 105, 118,
Costabel,	17,	20,	65,	123.		119, 122, 123, 126, 133,
Coulomb,	33,	49,	83,	84,		138, 139, 142, 144, 149,
	85,	90.				150, 152, 159, 165, 166,
Couplet,	56.					168, 169, 172, 173, 174,
Crossland,	89.					175, 180, 182, 184, 185,
Chabert,	144.					188, 190, 192, 193, 194,
Chaix,	113,	114,	117,	128,		196.
						Delgado,
						63.
						Desarguliers,
						60, 62.
						Dezauche,
						133, 137, 152, 154,
						155, 156, 158, 159, 160,
						161, 179.
						Dupont,
						40, 48.
						Duque de Leeds,
						36.
						<b>E</b>
						Enrile,
						128, 131, 133, 137,

138, 139, 149, 154, 165,  
168.

## F

Fabbrini, 89.  
Favre, 14, 36, 82.  
Federici, 142, 149.  
Felipe V, 64.  
Fontaine, 52.  
Fortin, 196.  
Franchini, 89.

## G

García, 89.  
Gathey, 86.  
Georgetat, 52.  
Godin, 63, 64.  
Godoy, 128, 132.  
González, 109, 111, 112, 113,  
114, 115.  
Gregory, 198.

## H

Hassenfratz, 84.  
Haüy, 49, 83, 85, 90.  
Hellman, 20.  
Henry, 38, 126, 154, 159,  
178.  
Hourcastremé, 51.  
Huygens, 55, 56, 98.

## J

Jaubert, 154.  
Jefferson, 20, 41.

Juan, 64.

## K

Kater, 199, 200.

## L

La Caille, 25, 26, 66, 67,  
68, 70, 71, 72, 75,  
85.  
La Condamine, 60, 64.  
La Harpe, 22.  
La Hire, 56.  
La Lucerne, 36.  
La Place, 188.  
Lacombe, 17, 65, 123.  
Lafuente, 54, 63, 64.  
Lagrange, 22, 33, 43, 50,  
83, 85, 90.  
Laissus, 119.  
Lalande, 23, 38, 40, 50,  
52, 76, 95, 96, 123,  
201.  
Lanusse, 156.  
Lanz, 110.  
Laplace, 22, 33, 43, 83,  
84, 85, 90, 100, 132,  
139, 144, 145, 148, 150,  
164, 165, 174, 188, 192,  
195, 200.  
Laurent, 40, 48.  
Lavoisier, 33, 36, 44, 49,  
50, 83, 84.  
Le Chevalier, 129, 130, 132,  
133, 137, 139, 153, 158,  
159, 160, 161.



Parker, 38.  
 Pedrayes, 89.  
 Peñalver, 113, 114.  
 Picard, 20, 27, 53, 54,  
 56, 67, 68, 69.  
 Picolet, 20.  
 Planes, 113, 115.  
 Polit, 119.  
 Prieur de la Côte d'Or, 84.  
 Prince de la Paix, *Ver* Godoy.  
 Prony, 84, 85, 90.

## Q

Quintana, 172.

## R

Ramsden, 74.  
 Richer, 54, 62.  
 Rodríguez, 165, 166, 168,  
 169, 171, 175, 179, 182,  
 183.  
 Roy, 74, 195.  
 Rumeu de Armas, 110.

## S

Salvador, 156.  
 Snell, 54.

## T

Talleyrand, 13, 20, 22, 23,  
 24, 26, 27, 28, 30,  
 31, 32, 36, 37, 38,  
 41, 43, 44, 49, 73,  
 88, 89, 97, 128, 129.

Ten, 16, 17, 24, 59,  
 110, 116, 122, 123, 139,  
 156, 178.  
 Tillet, 27, 33, 49.  
 Todhunter, 100.  
 Tofiño, 144, 181.  
 Tralles, 89, 90, 96.  
 Tranchot, 112, 113.  
 Trystam, 65.

## U

Ulloa, 64.

## V

Vacaro, 168, 169, 172, 182.  
 Valdés, 108, 111, 112, 113,  
 114, 115.  
 Vallés, 17, 139, 153, 155,  
 156.  
 Van Swinden, 89, 90, 91,  
 92, 93, 94, 97, 101,  
 105.  
 Vandermonde, 49, 83, 85.  
 Varela, 109.  
 Vasalli, 89, 90.  
 Vicq d'Azir, 22.  
 Viot, 131, 132, 159, 180.  
 Voltaire, 59, 60.

## X

Ximenez, 132.

## Z

Zach, 95, 96.

## CUADERNOS VALENCIANOS DE HISTORIA DE LA MEDICINA Y DE LA CIENCIA

SERIE MONOGRÁFICA PUBLICADA POR LA  
UNIDAD DE HISTORIA DE LA CIENCIA DEL

INSTITUTO DE ESTUDIOS DOCUMENTALES E HISTÓRICOS SOBRE  
LA CIENCIA  
UNIVERSITAT DE VALÈNCIA - C.S.I.C.

### *Números aparecidos:*

- I. J. M.<sup>a</sup> LÓPEZ PIÑERO: *Orígenes históricos del concepto de neurosis*. Valencia, 1963, 296 págs.
- II. J. M.<sup>a</sup> LÓPEZ PIÑERO y L. GARCÍA BALLESTER: *La obra de Andrés Alcázar sobre la trepanación*. Valencia, 1964, 79 págs. (Agotado).
- III. SAN MARTÍN BACAICOA: *La lepra en la España del siglo XIX*. Valencia, 1966, 164 págs. (Agotado).
- IV. A. ERCILLA VIZCARRA: *La medicina del pueblo Khasi*. Valencia, 1966, 43 págs. + 15 láms. (Agotado).
- V. J. R. ZARAGOZA: *La medicina de la España Protohistórica. Las civilizaciones autóctonas*. Valencia, 1967, 68 págs.
- VI. J. TOMÁS MONSERRAT: *La obra médico-quirúrgica de Juan Creus y Manso*. Valencia, 1967, 235 págs. (Agotado).
- VII. J. M.<sup>a</sup> LÓPEZ PIÑERO, M. PESET REIG, L. GARCÍA BALLESTER, M.<sup>a</sup> L. TERRADA FERRANDIS y J. R. ZARAGOZA RUBIRA: *Bibliografía histórica sobre la Ciencia y la Técnica en España*. Valencia, 1968, vol. I, 195 págs. (Agotado).
- VIII. J. A. PANIAGUA: *El Maestro Arnau de Vilanova, Médico*. Valencia, 1969, 92 págs. + 6 láms.
- IX. P. FAUS SEVILLA: *Catálogo de la Exposición Histórica del Libro Médico Valenciano*. Valencia, 1969, 111 págs. + 28 láms.
- X. R. PASCUAL: *El botánico José Quer (1695-1764) primer apolo-gista de la ciencia española*. Valencia, 1970, 88 págs.

- XI. A. GIMBERNAT: *Oración inaugural sobre la importancia de la Anatomía y la Cirugía*. Valencia, 1971, 33 págs.
- XII. L. GARCÍA BALLESTER: *Alma y enfermedad en la obra de Galeno. Traducción y comentario del escrito "Quod animi mores corporis temperamenta sequantur."* Valencia-Granada, 1972, 347 págs.
- XIII. J. M.<sup>a</sup> LÓPEZ PIÑERO, M. PESET REIG, L. GARCÍA BALLESTER, M.<sup>a</sup> L. TERRADA FERRANDIS y J. R. ZARAGOZA RUBIRA: *Bibliografía histórica sobre la Ciencia y la Técnica en España*. Valencia-Granada, 1973, 2 vols.
- XIV. E. BALAGUER PERIGÜELL: *La introducción del modelo físico y matemático en la Medicina Moderna. Análisis de la obra de J. A. Borelli "De motu animalium" (1680-81)*. Valencia-Granada, 1974, 166 págs. + 19 láms.
- XV. J. M.<sup>a</sup> LÓPEZ PIÑERO, L. GARCÍA BALLESTER, M.<sup>a</sup> L. TERRADA, E. BALAGUER, R. BALLESTER, F. CASAS, P. MARSET y E. RAMOS: *Bibliografía histórica sobre la Medicina Valenciana*. Valencia-Granada, 1975, 75 págs.
- XVI. F. BUJOSA HOMAR: *La Academia Médico-Práctica de Mallorca (1788-1800), Catálogo de sus Disertaciones, Censuras y documentos*. Valencia, 1975, 166 págs.
- XVII. G. OLAGÜE ROS: *La literatura médica sobre epilepsia. Siglos XVI-XIX. Análisis bibliométrico*. Valencia, 1976, 96 págs., 21 láms.
- XVIII. R. BALLESTER, F. BUJOSA y G. OLAGÜE: *Colección historicomédica de la Facultad de Medicina de Valencia*. Valencia, 1976, 54 págs., 21 láms.
- XIX. J. M.<sup>a</sup> LÓPEZ PIÑERO: *Medicina moderna y sociedad española*. Valencia, 1976, 326 págs. (Agotado).
- XX. J. M.<sup>a</sup> LÓPEZ PIÑERO: *El "Dialogus" (1589) del paracelsista Llorenç Coçar y la cátedra de medicamentos químicos de la Universidad de Valencia (1591)*. Valencia, 1977, 90 págs.
- XXI. J. M.<sup>a</sup> LÓPEZ PIÑERO, F. BUJOSA, M.<sup>a</sup> L. TERRADA: *Clásicos españoles de la anatomía patológica anteriores a Cajal*. Valencia, 1979, 254 págs.
- XXII. J. M.<sup>a</sup> LÓPEZ PIÑERO y F. BUJOSA: *Clásicos españoles de la anestesiología*. Valencia, 1981, 306 págs.

- XXIII. J. M.<sup>a</sup> LÓPEZ PIÑERO, F. BUJOSA, V. NAVARRO, E. PORTELA, M. L. LÓPEZ TERRADA y J. PARDO: *Los impresos científicos españoles de los siglos XV y XVI. Inventario, bibliometría y thesaurus*. Volumen I: *Introducción. Inventario A-C*. Valencia, 1981, 157 págs.
- XXIV. J. M.<sup>a</sup> LÓPEZ PIÑERO y F. BUJOSA: *Los tratados de enfermedades infantiles en la España del Renacimiento*. Valencia, 1982, 169 págs.
- XXV. F. BUJOSA: *La afasia y la polarización ideológica en torno al sistema nervioso central en la primera mitad del siglo XIX*. Valencia, 1983, 299 págs.
- XXVI. J. M.<sup>a</sup> LÓPEZ PIÑERO, M.<sup>a</sup>-JOSÉ BÁGUENA CERVELLERA, JOSÉ LUIS BARONA VILAR, FRANCESC BUJOSA HOMAR, JOSÉ LUIS FRESQUET FEBRER, M.<sup>a</sup> LUZ LÓPEZ TERRADA, VÍCTOR NAVARRO BROTONS, JOSÉ PARDO TOMÁS y EUGENIO PORTELA MARCO: *Los impresos científicos españoles de los siglos XV y XVI. Inventario, bibliometría y thesaurus*. Volúmenes II-III: *Inventario D-Q*. Valencia, 1984, 296 págs.
- XXVII. *La "Medicina de laboratorii", a València en la transició dels segles XIX al XX. Guia de l'Exposició. Setembre 1985*. Valencia, 1985, 64 págs.
- XXVIII. M.<sup>a</sup>-JOSÉ BÁGUENA CERVELLERA, JOSÉ LUIS BARONA VILAR, JOSÉ LUIS FRESQUET FEBRER, M.<sup>a</sup> LUZ LÓPEZ TERRADA, JUAN ANTONIO MICÓ NAVARRO y VICENTE LUIS SALAVERT FABIANI: *Estudios sobre la medicina y la ciencia valencianas (Siglos XVI-XIX)*. Valencia, 1985, 200 págs.
- XXIX. J. M.<sup>a</sup> LÓPEZ PIÑERO, M.<sup>a</sup>-JOSÉ BÁGUENA CERVELLERA, JOSÉ LUIS BARONA VILAR, JOSÉ LUIS FRESQUET FEBRER, M.<sup>a</sup> LUZ LÓPEZ TERRADA, VÍCTOR NAVARRO BROTONS, JOSÉ PARDO TOMÁS y EUGENIO PORTELA MARCO: *Los impresos científicos españoles de los siglos XV y XVI. Inventario, bibliometría y thesaurus*. Volumen IV: *Inventario R-Z*. Valencia, 1986, 136 págs.
- XXX. J. M.<sup>a</sup> LÓPEZ PIÑERO, M.<sup>a</sup>-JOSÉ BÁGUENA CERVELLERA, JOSÉ LUIS BARONA VILAR, JOSÉ LUIS FRESQUET FEBRER, M.<sup>a</sup> LUZ LÓPEZ TERRADA, JOSÉ PARDO TOMÁS y VICENTE L. SALAVERT FABIANI: *Bibliographia medica hispanica, 1475-1950*. Volumen I: *Libros y Folletos, 1475-1600*. Valencia, 1987, 232 págs.
- XXXI. E. PORTELA y A. SOLER: *Bibliographia chemica hispanica, 1482-1950*. Volumen II: *Libros y Folletos, 1801-1900*. Valencia, 1987, 554 págs.

- XXXII. J. M.<sup>a</sup> LÓPEZ PIÑERO, M.<sup>a</sup>JOSÉ BÁGUENA CERVELLERA, JOSÉ LUIS BARONA VILAR, JOSÉ LUIS FRESQUET FEBRER, M.<sup>a</sup> LUZ LÓPEZ TERRADA, JOSÉ PARDO TOMÁS, VICENTE L. SALAVERT FABIANI y MARÍA LUISA GARCÍA NÁJERA: *Bibliographia medica hispanica, 1475-1950*. Volumen II: *Libros y Folletos, 1601-1700*. Valencia, 1989, 312 págs.
- XXXIII. J. M.<sup>a</sup> LÓPEZ PIÑERO y M.<sup>a</sup> LUZ TERRADA: *Bibliographia medica hispanica, 1475-1950*. Volumen VIII: *Revistas, 1736-1950*. Valencia, 1990, 194 págs.
- XXXIV. J. CASTRO SOLER, A. E. TEN y V. ZORRILLA PALAU: *Bibliographia astronomica et geodaetica hispanica, 1795-1905*. Volumen I: *Introducción. Inventario A-Z*. Valencia, 1990, 243 págs.
- XXXV. J. M.<sup>a</sup> LÓPEZ PIÑERO, M.<sup>a</sup>JOSÉ BÁGUENA CERVELLERA, JOSÉ LUIS BARONA VILAR, JOSÉ LUIS FRESQUET FEBRER, MARÍA-LUZ LÓPEZ TERRADA, JUAN A. MICÓ NAVARRO, JOSÉ PARDO TOMÁS, VICENTE LUIS SALAVERT FABIANI, CARLA AGUIRRE MARCO, RAFAEL ALEXANDRE BENAVENT, ISABEL PÉREZ SALINAS y MARIANO PESET MANCIBO: *Bibliographia medica hispanica, 1475-1950*. Volumen IV: *Libros y Folletos, 1801-1850*. Valencia, 1991, 487 págs.
- XXXVI. J. M.<sup>a</sup> LÓPEZ PIÑERO y MARÍA-LUZ TERRADA: *Bibliographia medica hispanica, 1475-1950*. Volumen IX: *Bibliometría de las revistas, 1736-1950*. Valencia, 1991, 98 págs.
- XXXVII. J. M.<sup>a</sup> LÓPEZ PIÑERO: *El códice Pomar (ca. 1590), el interés de Felipe II por la historia natural y la expedición Hernández a América*. Valencia, 1991, 128 págs.
- XXXVIII. J. M.<sup>a</sup> LÓPEZ PIÑERO, M.<sup>a</sup>JOSÉ BÁGUENA CERVELLERA, JOSÉ LUIS BARONA VILAR, JOSÉ LUIS FRESQUET FEBRER, MARÍA-LUZ LÓPEZ TERRADA, JUAN A. MICÓ NAVARRO, JOSÉ PARDO TOMÁS, VICENTE LUIS SALAVERT FABIANI y MARÍA LUISA GARCÍA NÁJERA: *Bibliographia medica hispanica, 1475-1950*. Volumen III: *Libros y Folletos, 1701-1800*. Valencia, 1992, 295 págs.
- XXXIX. JOSÉ M.<sup>a</sup> LÓPEZ PIÑERO y FRANCISCO CALERO: *"De pulvere febrifugo Occidentalis Indiae" (1663) de Gaspar Caldera de Heredia y la introducción de la quina en Europa*. Valencia, 1992, 53 págs.
- XL. JOSÉ PARDO TOMÁS y MARÍA LUZ LÓPEZ TERRADA: *Las primeras noticias sobre plantas americanas en las relaciones de viajes y crónicas de Indias (1493-1553)*. Valencia, 1993, 364 págs.

- XLI. JOSÉ LUIS FRESQUET FEBRER: *La experiencia americana y la terapéutica en los "Secretos de Cirugía" (1567) de Pedro Arias de Benavides*. Valencia, 1993, 194 págs.
- XLII. JOSÉ MARÍA LÓPEZ PIÑERO y THOMAS F. GLICK: *El megaterio de Bru y el presidente Jefferson. Una relación insospechada en los albores de la paleontología*. Valencia, 1993, 157 págs.
- XLIII. JUAN ANTONIO MICÓ NAVARRO: *Catálogo del fondo Sánchez-Quintanar*. Valencia, 1994, 385 págs.
- XLIV. JOSÉ MARÍA LÓPEZ PIÑERO y JOSÉ PARDO TOMÁS: *Nuevos materiales y noticias sobre la "Historia de las plantas de Nueva España" de Francisco Hernández*. Valencia, 1994, 375 págs.
- XLV. JOSÉ LUIS FRESQUET FEBRER: *Guía para la realización de trabajos de Folkmedicina y otros sistemas médicos*. Valencia, 1994, 106 págs.
- XLVI. JOSÉ MARÍA LÓPEZ PIÑERO y MARÍA LUZ LÓPEZ TERRADA: *La traducción por Juan de Jarava de Leonhart Fuchs y la terminología botánica castellana del siglo XVI*. Valencia, 1994, 100 págs.
- XLVII. JOSÉ LUIS FRESQUET FEBRER (Editor): *Salud, enfermedad y terapéutica popular en la Ribera Alta*. Valencia, 1995, 322 págs.
- XLVIII. JUAN COMAS, ENRIQUE GONZÁLEZ, ALFREDO LÓPEZ AUSTIN, GERMÁN SOMOLINOS y CARLOS VIESCA. Edición a cargo de J. L. Fresquet Febrer y J. M. López Piñero: *El mestizaje cultural y la medicina novohispana del siglo XVI*. Valencia, 1995, 296 págs.
- II. ANTONIO E. TEN: *Medir el metro. La historia de la prolongación del arco de meridiano Dunkerque-Barcelona, base del Sistema Métrico Decimal*. Valencia, 1996, 207 págs.