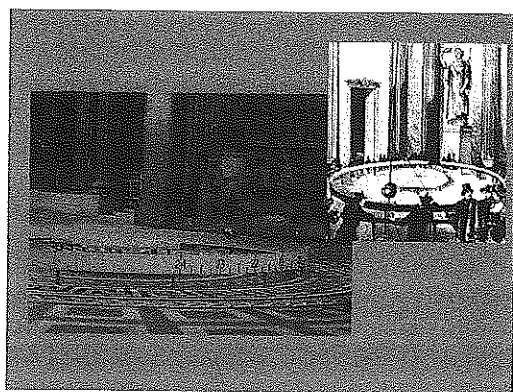


El discurso gravimétrico (1.5.1881) del geodesta Joaquín Barraquer y Rovira en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

Mario Ruiz Morales - Ingeniero Geógrafo del Estado - Profesor de la Universidad de Granada

Resumen

Joaquín Barraquer fue uno de los destacados geodestas del siglo XIX y estrecho colaborador de Carlos Ibáñez de Ibero, en la Comisión del Mapa y en el Instituto Geográfico y Estadístico. Su contribución geodésica más relevante fue la observación y el cálculo del enlace intercontinental, que tuvo lugar durante el verano del año 1879, entre las costas granadinas y las de Argelia. Cuando se efectuó tan difícil operación ya gozaba Barraquer de mucho prestigio en la comunidad científica, pues fue uno de los que introdujo la Metrología en España y el verdadero iniciador de la gravimetría en el Instituto Geográfico. Su elección como miembro de la Real Academia de Ciencias Exactas Físicas y Naturales debe entenderse como muestra de reconocimiento a su brillante curriculum, a Barraquer le cupo por lo tanto el honor de formar parte del selecto grupo de funcionarios del Instituto Geográfico, que han ostentado a su vez la condición de Académico. Precisamente el objetivo final de este trabajo es recuperar del olvido su discurso de ingreso en tan prestigiosa Institución, el cual estuvo centrado en las aplicaciones geodésicas del péndulo. Barraquer comentó en su relato los principales hitos en la cronología gravimétrica, desde los primeros ensayos de Galileo hasta las rigurosas observaciones de Bessel, sin olvidar por supuesto las brillantes aportaciones de Huyghens y de Newton, sobre todo. Mención especial merecen las inteligentes apreciaciones que formuló a propósito del, por entonces, controvertido problema de la desviación de la vertical. El discurso gravimétrico de este geodesta y militar catalán detalla, en fin, como las observaciones pendulares fueron decisivas para la evaluación fiable del aplastamiento polar de la Tierra.



El geodesta Joaquín Barraquer y Rovira (1834-1906) nació en Sant Feliu de Guíxols (Girona) en el seno de una familia con tradición militar, no en vano su padre, Joaquín Barraquer y Llander, fue brigadier del ejército, profesor de la Academia de Ingenieros de Guadalajara y Capitán General de Barcelona. Barraquer inició su carrera militar como cadete en el año 1851 y se jubiló como Coronel en 1887. Aunque consiguiera diversas condecoraciones por sus

méritos militares, lo cierto es que fueron mucho más señaladas sus contribuciones como consumado especialista en el campo de la geodesia y de la metrología, primero en la conocida Comisión del Mapa de España y después en el Instituto Geográfico y Estadístico. En esas dos instituciones coincidió con Carlos Ibáñez e Ibáñez de Ibero, del que fue estrecho y fiel colaborador; el que fuera fundador del Instituto Geográfico siempre le profesó un especial afecto influenciado, probablemente, por el hecho de haber sido alumno de su padre en la desaparecida Academia de Guadalajara.

Con Barraquer se inician en España los estudios metrologógicos, los cuales llevó a buen término en los laboratorios preparados a tal efecto en los bajos del número 8 de la calle de Jorge Juan, la primera sede del Instituto Geográfico; tales estudios fueron objeto de una rigurosa publicación titulada "Descripción de los trabajos metrologógicos en que se funda la ecuación del Metro de platino, definido por trazos, de la Comisión Permanente de Pesas y Medidas". En aquella misma sede comenzó también las observaciones gravimétricas de ese Centro científico, mediante un equipo pendular construido para ese fin en los renombrados talleres berlineses que había fundado el astrónomo e instrumentista George Repsold. Igualmente deben recordarse las determinaciones de la gravedad efectuadas por el geodesta catalán en el Observatorio Astronómico del Retiro, en cierto modo continuación de las anteriores, cuyo valor resultó ser de $9.800156 \pm 0.000016 \text{ ms}^{-2}$.

Si bien las aportaciones gravimétricas y metrologógicas de Joaquín Barraquer marcaron toda una época en la cronología española de tales disciplinas, fue en el campo de la geodesia geométrica en donde llegó a tener un mayor protagonismo, gracias sobre todo a las campañas de campo asociadas a la prolongación del meridiano de París por todo el territorio peninsular; un meridiano que como es notorio estuvo intrínsecamente unido a la definitiva implantación del Sistema Métrico Decimal. La más destacada de todas ellas fue sin duda la que consiguió materializar el enlace geodésico entre los continentes europeo y africano durante el verano del año 1879, un ambicioso proyecto en el que se comprometieron decididamente los gobiernos de España y Francia. Barraquer fue concretamente el jefe del equipo de observación instalado en el vértice granadino Mulhacén, el más complicado de los cuatro que configuraron el cuadrilátero del enlace, a saber: Mulhacén, Tetica de Bares (Almería), M'Sabiha y Fillhaoussen (los dos últimos se localizaron en Argelia).

La repercusión de tan exitosa y dificultosa observación, no debe de olvidarse que bajo las visuales se encontraba el Mar Mediterráneo con las consiguientes reverberaciones, no se hizo esperar. Carlos Ibáñez estaba en París cuando se enteró de la culminación de las observaciones geodésicas, comunicándolo desde allí a los dos gobiernos y enviando telegráficamente a los geodestas de los cuatro vértices las felicitaciones del Presidente del Gobierno español y del Ministro de Fomento, además de la del Ministro de la Guerra de Francia. Al año siguiente escribiría Ibáñez lo siguiente:

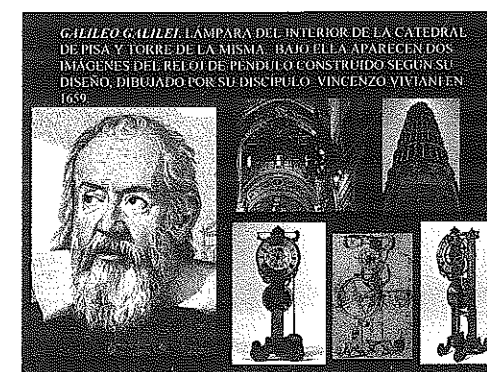
"Era la única recompensa que esperaban como premio de sus afanes, o la que más podía lisonjearles, por de pronto: la aprobación de los sabios y corporaciones científicas debía completarla muy en breve".

Sin embargo las indudables virtudes científicas de Barraquer ya habían sido reconocidas, pues en el año 1878 fue nombrado miembro numerario de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales para cubrir una vacante producida en la Sección de Ciencias Exactas. Barraquer pasó así a formar parte del selecto grupo de funcionarios del Instituto Geográfico que fueron honrados con un nombramiento análogo. El acto de su toma de posesión como Académico se pospuso hasta el día uno de mayo de 1881, fecha en que pronunció su discurso de ingreso centrado en las experiencias gravimétricas que habían contribuido decisivamente a un mejor conocimiento de la forma de nuestro planeta. El título de su discurso fue harto elocuente: Aplicaciones e Importancia del Péndulo en la Investigación de la Figura de la Tierra.

El estilo del discurso gravimétrico de Barraquer puede resultar hoy demasiado barroco, aunque en su tiempo se ajustase con exactitud al canon establecido. No obstante esa particularidad se evidencia sobre todo en la introducción, dedicada principalmente a tratar de agradecer a la Academia el nombramiento y el permanente interés de aquella institución por la geodesia. Tampoco pudo faltar el recuerdo emocionado para su predecesor, el general Terrero, que tanto había hecho por el Mapa de España como vocal de su Comisión. El objetivo fundamental del discurso lo resume seguidamente Barraquer cuando manifiesta que iba a exponer "algunas sucintas consideraciones sobre el importantísimo papel que representa el péndulo en la investigación de la figura de la Tierra". Para fijar su posición desde el comienzo afirmó con rotundidad que en la historia del conocimiento físico y matemático es difícil encontrar un problema de más transcendencia que el relacionado con el estudio de la figura y tamaño de la Tierra.

Tan importante empeño geodésico lo estructuró el nuevo académico en dos periodos básicos: uno en ausencia de observaciones experimentales "en que las apariencias bastan para apoyar opciones aceptadas a priori" y otro más moderno en que "proclamados la observación y los experimentos como autoridad científica, ..., adquirió el problema su genuino aspecto, su majestuosa grandeza". El artífice del progreso fue, en opinión de Barraquer, Isaac Newton, al cual dedicó elogios tan sentidos como monstruo de ingenio y asombro de los nacidos, añadiendo además que la clave del éxito fueron sus "inmortales Principios de la atracción universal."

El repaso de la cronología geodésica comienza en este discurso con las conocidas aportaciones pitagóricas acerca de la esfericidad terrestre, así como las de Eudoxio de Gnido y Aristóteles, ambos discípulos de Platón, que ya la daban como un hecho cierto. Tras citar muy de pasada los intentos de Eratóstenes y de Posidonio para evaluar la magnitud del radio de la Tierra, se refiere a la destrucción de la Biblioteca de Alejandría y al paréntesis de la Edad Media, sin mencionar las destacadas mediciones efectuadas por al Biruni en la llanuras existentes al S.W. del Mar Caspio. Así llegó de repente a la medición del francés Jean Fernel en torno al año 1525, quien a su juicio "reanuda los ensayos de medición de arcos de meridiano en el mismo punto de adelantamiento en que los hicieron los alejandrinos y los árabes del Asia"; sin embargo es obligado señalar que la medición de Fernel no fue la primera del Renacimiento, ya que se atribuyen otras medidas de arcos de meridiano a personajes tan relevantes como Oroncio Fineo o Antonio de Lebrija, siendo además muy posible que el humanista sevillano fuera el primer europeo cristiano en determinar el radio de la Tierra.



La figura científica que más destaca en ese nuevo periodo histórico es Galileo "el heraldo de la nueva era en el que se estrellaron las pasiones que la preocupación y la ignorancia alimentan". De toda su obra subraya naturalmente la invención del péndulo-escrutador nobilísimo de las cosas naturales (A. Mayer, 1767)- y el hecho de que Galileo lo considerase especialmente útil en todas aquellas observaciones en las que fuese determinante la medida de pequeños intervalos de tiempo. Barraquer continuaba su discurso recordando lo poco comprendidos que fueron los experimentos del sabio en la Torre de su Pisa natal (no conviene olvidar que refutaban las tesis aristotélicas) y haciendo un canto a las excelencias del instrumento:

¡Que ajeno estuvo Galileo de que en el péndulo poseía, no una, sino dos pruebas incontestables del movimiento de rotación de la Tierra! ¡Cuán lejos de que esta rotación se manifestaba también en el fenómeno del descenso libre de los graves! ¡Como pudiera prever que si el anteojo le transportaba hasta los recónditos ámbitos de los espacios estelares, el humilde reloj físico era sonda para explorar nuestro Globo, foco de luz que penetra a través de su masa, balanza que lo pesa, espejo do se refleja su figura!

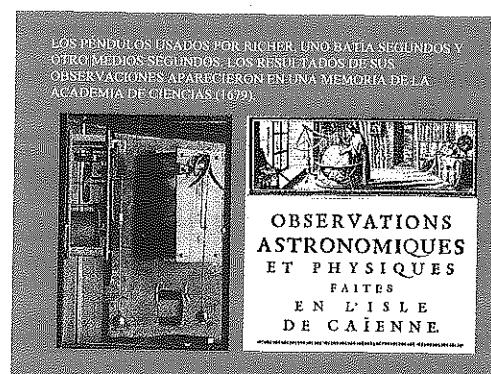
Los estudios de Galileo fueron el preludio de otros muchos experimentos, destacando Barraquer el del jesuita italiano Riccioli, que comparando los periodos de los péndulos con diferentes longitudes pudo obtener la del que

batía segundos, pero sobre todo el del holandés Huyghens. Las aportaciones de ese geómetra genial son resumidas así:

"El descubre los defectos del isocronismo, que no apreció Galileo; funda la teoría de los centros de oscilación..., encuentra la reciprocidad de los ejes de suspensión y de oscilación, y obtiene la curva del isocronismo teórico, imaginando un ingenioso artificio para realizarlo".

No obstante su contribución definitiva fue la idea de emplear el péndulo como regulador de la marcha de un instrumento llamado a medir el tiempo. Barraquer ponderó aún más la importancia de tan singular descubrimiento con las siguientes palabras "Así la historia señala, y con justicia, a este grande hombre como primer inventor de la relojería de precisión, y su obra célebre es la limpia patente con que de derecho entra el péndulo en el palenque científico".

Barraquer entra de lleno en las aplicaciones geodésicas del péndulo cuando afirma, a continuación, que los desacuerdos existentes en las mediciones del radio terrestre efectuadas hasta entonces eran únicamente achacables a las imperfecciones instrumentales y que "al péndulo estaba reservado entablar la cuestión de la figura, acusando la inexactitud de la hipótesis de la esfericidad". Asimismo añadía que el modelo elipsoidal de la Tierra se pondría de manifiesto desde el momento en que se observase la marcha de un reloj en lugares con latitud geográfica muy diferente. El detonante necesario fue la expedición de Richer a Cayena, con el encargo de hacer tanto observaciones pendulares como astronómicas, gracias a las cuales se pudo saber las paralajes de la Luna, Marte, Venus y el Sol. En el transcurso de las primeras fue cuando quedó atónito al comprobar el retraso sufrido por su reloj de péndulo, a pesar de que tal posibilidad ya se había insinuado ante la Academia de Ciencias de París¹⁰.



Pasados cinco años de su regreso a la metrópoli se hizo público el descubrimiento de Richer sin que encontrase el debido eco en la comunidad científica, llegando incluso a cuestionarse su verosimilitud ya que teniendo en cuenta las observaciones realizadas en otros lugares no lo confirmaban plenamente. Las incuestionables anomalías se achacaban a influencias meteorológicas antes que a cualquier posible disminución regular de la fuerza de la gravedad. A. Humboldt señalaba en su monumental Cosmos que el abad Picard¹¹ se obstinó en negar esa posibilidad más que ningún otro. No obstante Barraquer indica también que el propio Richer no alcanzaba a comprender el alcance de

sus observaciones¹² y en cuanto a Huyghens, él mismo aseguró que no sospechaba nada en la publicación Discours de la cause de la Pesanteur. (Leide.1690):

"No veo otra razón para explicarlo sino porque bajo el Ecuador pesen menos los cuerpos que en otros países que se alejen de él...reconoció, así que me comunicaron este fenómeno, que la causa podría referirse al movimiento de la Tierra".

Aborda después Barraquer la conmoción que causó en los círculos ilustrados la publicación de los "Principia" (Philosophiae Naturalis Principia Mathematica.1687), que él denomina Teoría Matemática de la Tierra. De ellos selecciona la interconexión entre la rotación terrestre y la intensidad de la gravedad, indicando que la primera era la causa de los diferentes valores que presentaba la segunda, añadiendo:

"por la fuerza centrífuga que modifica las acciones de la atracción, y porque la figura del Globo en conjunto, supuesta la homogeneidad de la masa y un primitivo estado de fluidez, debe ser la de un esferoide de revolución achatado por los polos del eje, exigida por las leyes del equilibrio".

Las ideas de Newton, aceptadas de inmediato en su país, fueron rechazadas en el continente por los partidarios de Descartes hasta el punto de calificarlo de visionario y de acusarlo de recurrir a causas ocultas. Barraquer afirmaba, con indisimulada ironía, al referirse a los cartesianos:

"aquellos que sin duda acomodaban mejor a su inteligencia los artificiosos torbellinos, que por su vaguedad nada explicaban, que las leyes sencillas y concretas de la atracción; sin atender á que al rechazarla por misteriosa, admitían sin escrúpulo la no menos misteriosa causa de los pretendidos torbellinos".

La relación de Huyghens con la publicación de Newton está perfectamente explicada por Barraquer, quien asegura que el holandés no estaba al tanto del achatamiento terrestre antes de leer dicha obra¹³. Es más en un anexo de su Discurso sobre la causa de la gravedad, ya citado, Huyghens no acepta la atracción newtoniana ni su universalidad, añadiendo "No había pensado tampoco en esa disminución regular de la atracción relacionada con los cuadrados de las distancias". Barraquer achaca la ofuscación de los detractores al prestigio que tuvo Descartes hasta esas fechas, un prestigio hasta cierto modo desmedido que justificaba con estos comentarios:



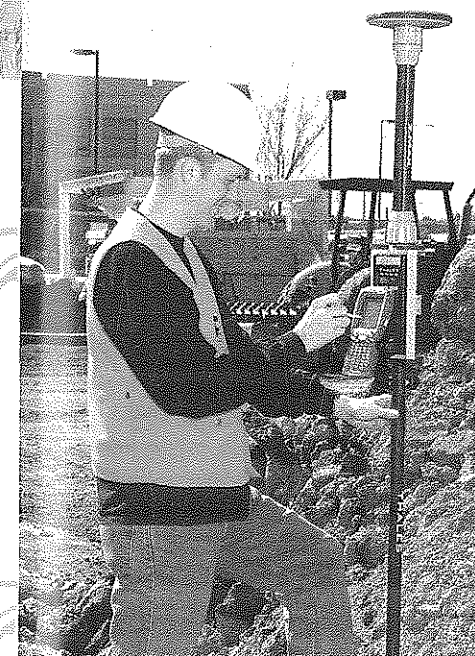
"Los cartesianos vencidos, mas nunca convencidos, persisten en que Newton debió gran parte de su gloria a Des-

A.I.T. ORSEÑOR, S.L.

Nos introducimos en la RED IBEREF al instalar una antena GPS en Berzosa del Lozoya proporcionando una cobertura total en la Comunidad de Madrid.

ALQUILER DE GPS

DESDE 900 €/mes



ALQUILER DE:

- Estaciones totales
- Niveles ópticos
- Teodolitos
- GPS
- Niveles Electrónicos
- Niveles láser

ALQUILER INSTRUMENTOS TOPOGRÁFICOS

ORSEÑOR, S.L.

C/Nieremberg 31 - 28002 Madrid Tlf: 902 10 48 42 / Fax: 91 415 63 04

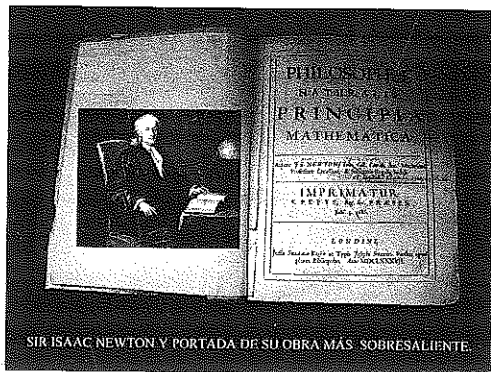
www.ait-orsenor.com ait-orsenor@ait-orsenor.com

cartes, a aquel cuya grandeza no le impidió decir hablando de las obras de Galileo, "que no encontraba en ellas nada que admirar, y muy poco de que hubiese deseado ser autor," y se complacen en decir que la doctrina de Newton había de ser efímera: ¡menguada conjetura, digna de repro- bación!"

Antes de adentrarse en la controversia científica que se ocasionó a ese propósito, sintetiza con erudición los su- puestos antecedentes históricos en los que pretendida- mente se podía haber apoyado Newton para enunciar su ley, una remota posibilidad a la que tanto tiempo continua- ron aferrándose los partidarios del filósofo francés, y los despacha con estas sabias palabras:

"¡Ah, señores! La sana crítica de la historia de las ciencias ha menester de sólidas razones para asentar sus fallos; si la actividad de las privilegiadas inteligencias produjo en la antigüedad, y esto no es dudoso, creaciones grandiosas hasta en el error; si la doctrina del Renacimiento, al romper la más odiosa de las cadenas, se mostró altanera y un tanto ingrata hacia las escuelas antiguas, no hay derecho para atribuir a estas, sin palmarias pruebas, los más valio- sos adelantamientos de los tiempos modernos".

Newton rompió por lo tanto con la tradición tan arraigada que propugnaba la esfericidad de la Tierra, iniciándose con su revolucionaria propuesta la era elipsoidal. Barraquer se encarga de señalar con oportunidad los primeros inten- tos baldíos que pretendían su comprobación experimental y en la que coparon tanto protagonismo dos miembros de la dinastía de los Cassini. Es de todos conocido que las mediciones efectuadas por el Director del Observatorio de París, y por su hijo Jacques¹⁴, a lo largo de un arco de su meridiano permitieron sacar conclusiones radicalmente opuestas a las consideraciones teóricas del "enemigo" inglés. Barraquer resume perfectamente la cuestión de la siguiente forma:



SIR ISAAC NEWTON Y PORTADA DE SU OBRA MÁS SOBRESALIENTE.

"La figura de la Tierra fue para Cassini y sus admiradores la de un esferoide alargado hacia los polos: ni las observa- ciones con el péndulo, ni la libración, ni las leyes de la Hidrostática les hacen desistir de esta opinión, sino que, por el contrario, partiendo siempre de que la figura alarga- da es un hecho patente, buscan razones en su apoyo. La medición del arco de paralelo de Brest, con que Cassini de Thury¹⁵ creyó decidir la cuestión, recrudece la disputa; se forjan nuevos sistemas favorables a la hipótesis francesa, y alguno de estos trabajos merece ser premiado por la Academia de Ciencias de París¹⁶".

Barraquer dio por lo demás las claves que explican la defi- nitiva superación de tan enconada controversia científi- ca¹⁷ en que se centro el periodo histórico de la Ilustración, señalando la iniciativa del astrónomo Louis Godin ante la Academia a la que se sumó pronto el matemático Pierre Maupertuis; asegurando incluso que la propuesta de Godin, para medir un arco de meridiano, en latitudes ecuatoriales, la realizó tras haber leído la Memoria sobre la aberración de la luz que había leído, años atrás, Bradley ante la Royal Society de Londres. También es sabido que la Academia estudió y financió las expediciones que ambos personajes impulsaron, de manera que dispusieron finalmente de to- dos los medios necesarios para realizar sus observaciones en latitudes tan dispares como Perú y Laponia. Los resul- tados de aquellas dos aventuras científicas fueron trans- cendentes por su elocuencia, imponiéndose el elipsoide oblató sobre el prolato con todas las consecuencias. Como era previsible, Barraquer no dejó atrás la oportunidad de recordar la sobresaliente participación de los españoles Jorge Juan y Antonio de Ulloa, en la expedición americana, refrendada tanto por la Academia de París como por la Real Sociedad de Londres.

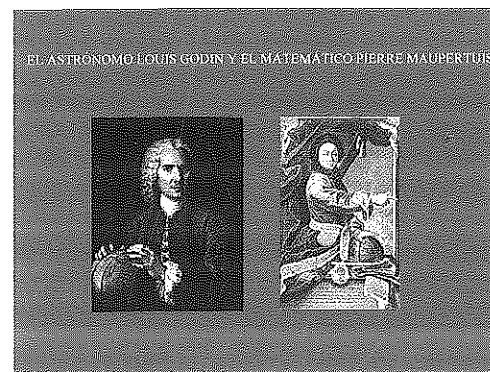
No obstante el geodesta hizo mayor hincapié en las obser- vaciones gravimétricas propiamente dichas, las cuales fue- ron asimismo objetivo primordial de los dos viajes, habida cuenta de que los datos con que se contaba hasta enton- ces se consideraban insuficientes para poder asegurar que la disminución de la gravedad desde el Polo hacia el Ecua- dor era universal, así lo consideraba al menos el propio Maupertuis en su obra La figura de la Tierra. Todos los expedicionarios hicieron pues observaciones gravimé- tricas, logrando unos resultados que aunque todavía no fueron lo suficientemente exactos¹⁸ si eran más ajustados que todos los previos. P. Bouguer, por ejemplo, efectuó medidas con el llamado péndulo simple en el monte Pichin- cha, creyendo que allí debía resultar menor la longitud del péndulo de segundos que en cualquier otro lugar de la Tierra; también realizó otras en Quito con la pretensión de contrastar la uniformidad de la rotación terrestre. Godin y La Condamine hicieron lo propio, al medir la longitud del péndulo de segundos, el primero con el instrumento de Graham y el segundo con un péndulo de dos metros de longitud. Jorge Juan y Antonio de Ulloa realizaron asimis- mo mediciones con el péndulo simple, guardando toda clase de precauciones; Barraquer recoge en su discurso el detalle de lo publicado en las Observaciones astronómicas y físicas hechas de orden de S. Mag. en los Reinos del Perú, por D. Jorge Juan y D. Antonio de Ulloa. (Madrid, 1748):

"...al aproximarse al aparato, se cubrían la boca lo mejor que permitía la precisión de haber de respirar, para que el aliento no interrumpiese las oscilaciones, y en esta con- formidad notaban cuando el péndulo y reloj de péndola fenecían una vibración unánimes¹⁹".

Barraquer se refirió acto seguido a la compleja cuestión de la desviación de la vertical, que había puesto de manifies- to el mismo Bouguer. El análisis del problema que realizó el nuevo académico fue tan ajustado que merece ser repro- ducido íntegramente:

"La importancia de estas memorables expediciones no es- triba principalmente en los resultados inmediatos que de

ellas se obtuvieron, sino en que al poner éstos de mani- fiesto la irregularidad de la figura terrestre y sus causas, al descubrir que su investigación implica cuestiones tan com- plexas, demostraron la necesidad de una solución progre- siva, que la (sic) análisis y la observación consuno habían de realizar. Vióse desde luego que la figura elipsoidal de revolución que suponía la homogeneidad de la masa, en un estado primitivo de fluidez, quedaba desmentida por los valores numéricos deducidos de las mediciones de ar- cos terrestres. Movidos los autores por el laudable deseo de llegar a una solución suficiente, tratan en vano de acor- darlos entre sí, y con los que daban los trabajos hechos casi simultáneamente en Francia, dentro de otras hipóte- sis de figura. Las observaciones sobre la fuerza de la gra- vedad acusaban también un desacuerdo: con la disminu- ción de la latitud geográfica decrecía sin duda alguna la longitud del péndulo de segundos; pero sin guardar la ley prescrita por cualesquiera de las elipses meridianas deter- minadas por cada combinación de dos arcos. Lejos, pues, de haberse alcanzado un conocimiento, al que fuera lícito imprimir el sello de definitivo, ofrecía el problema de la figura un aspecto muy complicado; achácanse las anoma- lías, en su mayor parte, a las modificaciones que la direc- ción y energía de la gravedad debían experimentar por las diversas contextura y densidad de la masa del Globo; y porque la influencia del Chimborazo sobre la plomada no correspondió con lo que podía esperarse del volumen y figura de la montaña, se cree probable la existencia de gran- des cavidades internas. Además, como los incrementos de la intensidad de la gravedad de uno a otro lugar se separa- sen menos de los teóricos que los correspondientes de los valores lineales de los arcos terrestres de iguales amplitu- des, esto indujo a pensar que, en general, las irregularida- des en la distribución de la masa próximas a la superficie, eran muy influyentes en las mediciones de los arcos, por- que desviaban la dirección de la plomada, pero que sus efectos sobre la intensidad de la gravedad resultaban rela- tivamente pequeños. Este orden de consideraciones, de- sarrollando ante los ánimos dificultades formidables, pro- dujo en un principio natural desaliento, e hizo temer que por los procedimientos geodésicos conocidos no se po- dría lograr bastante aproximación".



Inmediatamente después²⁰ de la consolidación del modelo elipsoidal con aplastamiento polar, apunta certeramente Barraquer como se acogieron con extremada precaución las sucesivas mediciones de grados de meridiano, seña- lando su validez local y la necesidad de apoyarse en los

datos proporcionados por otras realizadas en diferentes regiones de la superficie terrestre; estaba en resumen pos- tulando la ventaja del método de las áreas (gravimétrico) sobre el de los arcos (geométrico) "para fundar un conoci- miento aproximado de la figura terrestre". Barraquer se centra seguidamente en destacar la importancia de las apo- taciones gravimétricas de Bouguer, otorgando al péndulo el carácter de instrumento geodésico que ya había anun- ciado Newton en sus "Principia" (Et certius per experimen- ta pendulorum, deprehendi possit, quam per arcus geographice mensuratos in meridiano) y contribuyendo decisivamente al conocimiento del aplastamiento polar, una vez superada la dificultad principal: "reducir las observa- ciones hechas con el péndulo físico al caso del ideal o simple". Barraquer comentó con detalle los procedimien- tos seguidos por el geodesta francés, los cuales se apoya- ban en dos premisas: conocer la longitud del péndulo de experiencias y la duración de un mínimo de oscilaciones isócronas y en el vacío. La primera la consiguió recurrien- do al péndulo invariable, mientras que la segunda la calcu- ló "por la disminución que causaba el medio en el peso del péndulo²¹".

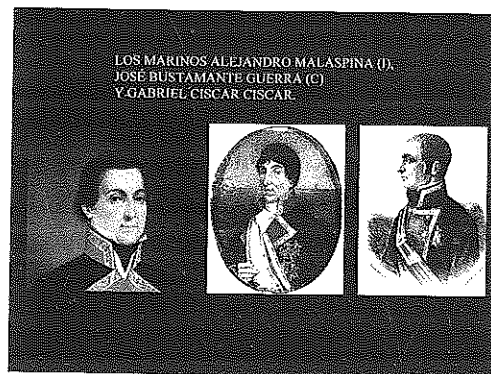


Barraquer aprovechó la ocasión para valorar muy posi- tivamente la experiencia gravimétrica de los marinos espa- ñoles "dignos sucesores en saber y patriotismo" de Jorge Juan y Antonio de Ulloa. Con tal intención citaba las órde- nes del gobierno²² para que Malaspina y Bustamante mi- diesen la longitud del péndulo de segundos en varios lu- gares:

"eligiéndolos con preferencia en latitudes australes co- rrespondientes a las boreales en que observaran los fran- ceses; entendiendo que estas operaciones debían de con- tribuir de un modo eficaz a ilustrar la debatida cuestión sobre la semejanza de la figura en uno y otro hemisferio". Esa campaña gravimétrica apareció perfectamente descri- ta en la obra Experiencias sobre la gravedad hechas con un péndulo invariable en los puertos de Europa, América y Asia, Mar Pacífico y Nueva Holanda en el viaje de las cor- betas Descubierta y Atrevida, recogiendo en ella la opi- nión de sus autores sobre la utilidad de las observaciones pendulares "para formar idea de la figura del meridiano es el mejor medio el del examen del péndulo en dos lugares propios para deducir la alteración que ha tenido". La expe- dición comandada por Malaspina mereció todos los elo- gios de otro marino ilustre, Gabriel Ciscar, para el cual los datos proporcionados entonces formaban "una colección

preciosa suficiente por si sola para determinar, con despreciable diferencia, la verdadera figura de la Tierra²³". Aunque Barraquer matizase la afirmación del valenciano, aseguraba también que rayaba a la altura de las mejores de aquella época.

Resulta un tanto sorprendente que no mencionara Barraquer la determinación absoluta de la gravedad que hizo Ciscar en Madrid con un equipo de cuatro péndulos traídos al efecto desde París²⁴. La medición tuvo lugar en el año 1800 y el resultado obtenido fue de $g = 980.4486 \text{ cm.s}^{-2}$; el cual se reprodujo en numerosas ocasiones (al menos hasta el año 1967) gracias a que fue incluido en las Tablas de logaritmos confeccionadas por Vicente Vázquez Queipo, otro destacado miembro de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Ciscar llegó incluso a evaluar la verdadera longitud del péndulo simple que batía segundos, tal como reconoce el mismo Barraquer aunque añadiera acto seguido que solo podía aceptarse como "una curiosa noticia, sin los requisitos propios de un resultado de observaciones".



LOS MARINOS ALEJANDRO MALASPINA (A), JOSÉ BUSTAMANTE GUERRA (C) Y GABRIEL CISCAR (B).

En el relato cronológico de Barraquer figura también una referencia expresa al método de los mínimos cuadrados, el cual es en su opinión la solución analítica del Problema general de las mediciones, citando a Gauss y a Legendre en los siguientes términos: "El insigne Gauss, primero, y casi al mismo tiempo Legendre, establecen los cimientos del « Método, » el cual, poco extendido en un principio, luego se abrió camino porque muestra su excelencia". Un método que según Barraquer "...conduce racionalmente, valuando al propio tiempo su incertidumbre, a los resultados que deben aceptarse en lugar de los verdaderos, siempre desconocidos". Continúa después Barraquer con una interesante digresión instrumental para resaltar la bondad y mutua dependencia del péndulo, el anteojo y el círculo graduado, que propiciaron según él la revolución de la Astronomía y la Geodesia. Estas fueron algunas de sus palabras:

"...sus relaciones son íntimas, y se completan mutuamente. Mídense sobre el limbo amplitudes angulares con el concurso del péndulo en equilibrio, que esto y no otra cosa significan la plomada y el nivel; cuenta el reloj las oscilaciones del péndulo, y su número se traduce en amplitud angular, con auxilio del anteojo, por la rotación uniforme de la Tierra...En la combinación de estos instrumentos se ven así enlazados los primordiales términos: fuerza, espacio y tiempo".

Barraquer termina esta parte de su discurso expresando con toda claridad el carácter geodésico del péndulo en

tanto que contribuye al conocimiento de la forma de la Tierra, así continuaba su intervención:

"El péndulo en reposo y en movimiento, obedeciendo a la fuerza de la gravedad es, en suma, el que por la intensidad y dirección en la superficie de la Tierra determina su figura matemática y con respecto a la Mecánica de los cielos, el principio de la gravitación, con la luz del raciocinio y el escalpelo del análisis, descubre ya las relativas masas de los cuerpos del sistema solar, explica las consecuentes desigualdades de sus movimientos, muestra en el camino de nuestro satélite huellas inequívocas de la figura terrestre, y allí donde no alcanzó el anteojo denuncia la existencia del ignorado planeta".

Barraquer retomó luego la difícil cuestión de la desviación de la vertical, haciendo de nuevo un recorrido histórico desde los experimentos de Galileo a los últimos de Airy, llegando así al estado del conocimiento a finales del siglo XIX. El párrafo íntegro de su intervención fue el siguiente:

"Cuando Purbach empleó el primero la plomada en el goniómetro, creía que esta señalaba precisamente la dirección del radio de la esfera; para Galileo, la plomada en movimiento sometida a una fuerza continua, de invariable e igual energía en toda la superficie del Globo, es fiel medida del tiempo; Newton fundió ambas manifestaciones en una misma causa, originaria de la forma, y el péndulo alcanza su más alta significación científica: el preciado aparato que mide el movimiento con el tiempo y en el espacio, fue también, desde entonces, el aparato físico que pesa, y que permite remontarse a estados anteriores. A la perspicacia de Newton, no se pudo ocultar que las visibles irregularidades de la superficie, aunque relativamente insignificantes, y en general la desigual distribución de la masa terrestre, debían producir efectos, en cantidades muy considerables, sobre la intensidad y dirección de la gravedad; y porque convenía investigar la acción bajo ambos aspectos, indicó el procedimiento para obtener la desviación de la vertical, en el caso de la proximidad de un grupo de montañas. Estériles permanecieron estas luces durante medio siglo: los imperfectos ensayos en los Andes, manifestaban ya su importancia; pero ni estos, ni los posteriores de Beccaria en los Apeninos, bastaron todavía para utilizarlas en beneficio de la Geodesia. Más afortunada la Física, obtiene de Hutton, valiéndose de los interesantes experimentos de Maskelyne, en Escocia, el cálculo de la densidad media del Globo, dejando patente, según la opinión de Laplace, la atracción mutua de las más pequeñas partes de la materia. Encaminados al mismo objeto, siguen con creciente interés los célebres trabajos de Cavendish con la balanza de torsión, o sea el péndulo oscilando horizontalmente; y en el siglo actual, entre otros muchos, los de Plana y Carlini en Mont-Cenis con el péndulo de Borda, los de Reich y de Baily, y por último, los renombrados experimentos de Airy".

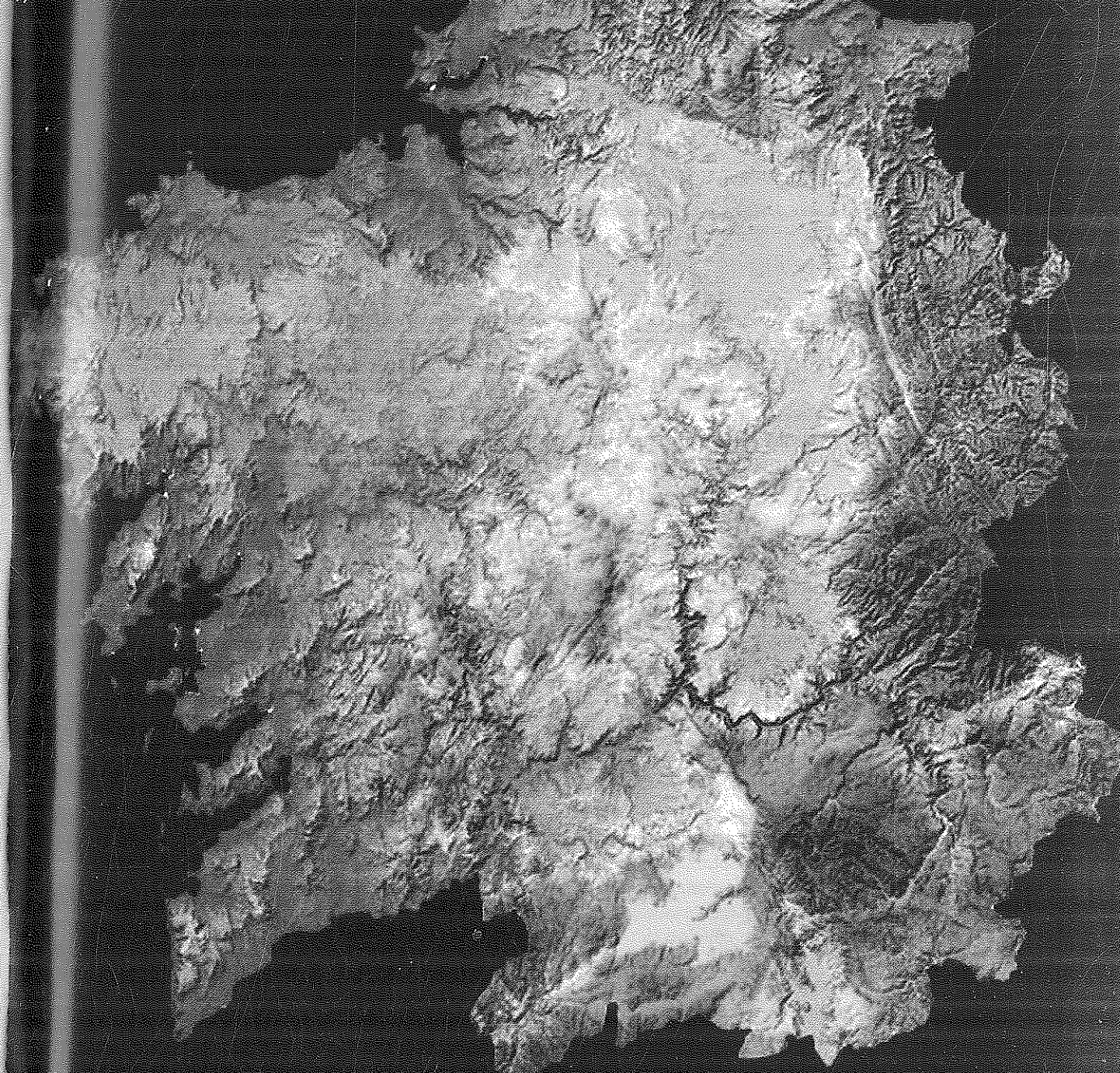
Barraquer continuó insistiendo en la importancia que había tenido el estudio de la desviación de la vertical en el análisis de la forma de la Tierra, señalando que tal alteración se había evidenciado en un tiempo poco propenso a rectificaciones, ya que "los resultados de las mediciones de arcos, de observaciones con el péndulo y los deducidos de fenómenos astronómicos, concordaban hasta un

EXPO-GEOMATICA GALICIA 2007

PALACIO DE CONGRESOS Y EXPOSICIONES DE GALICIA

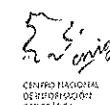
SANTIAGO DE COMPOSTELA

1, 12 Y 13 DE SEPTIEMBRE



MINISTERIO DE FOMENTO

DIRECCIÓN GENERAL DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL



CENTRO NACIONAL DE REFERENCIA GEOGRÁFICA

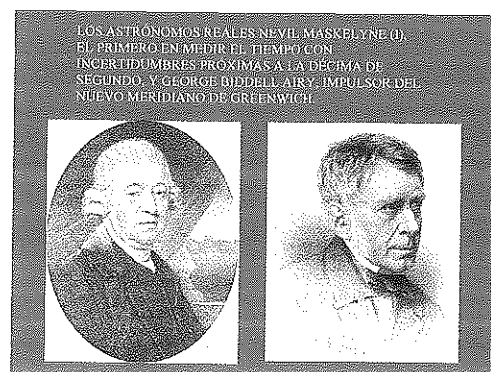


XUNTA DE GALICIA
CONSELLERÍA DO MEDIO RURAL



SOCIEDADE PARA O DESENVOLVEMENTO COMARCAL DE GALICIA

punto que se presumía muy difícil aventajarlos en lo venidero". El entusiasmo por la labor realizada alcanzaba tales cotas que Delambre manifestó, en su Historia de la Astronomía, "Conocemos la forma y dimensiones de la Tierra con el rigor suficiente para las más delicadas observaciones astronómicas, geográficas y náuticas. ¿Qué más podemos pedir de manera razonable?". A pesar de todo se producen en esa coyuntura las campañas geodésicas de Mudge en el Reino Unido, las cuales reflejaron otra vez la necesidad de tener en cuenta la desviación de la vertical, un hecho que se vería corroborado poco tiempo después por los estudios de Zach en las inmediaciones de Marsella.



La disertación de Barraquer sobre la desviación de la vertical y su especial incidencia en la modelización geométrica de la Tierra, es seguida por una lección, también magistral, de gravimetría histórica que comienza ensalzando las contribuciones sobresalientes del geodesta Borda:

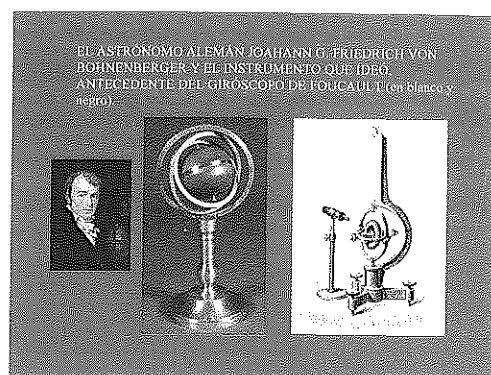
"Tampoco en las mediciones omite precauciones de ningún género; obtiene inmediatamente la longitud de su péndulo; la duración de las oscilaciones por el método de coincidencias, cuyos instantes observa, valiéndose de un anteojo colocado a corta distancia; reduce esta duración al caso del isocronismo en el vacío, y se cuida para ello con exquisito esmero de la temperatura y presión atmosféricas".

No obstante mencionó Barraquer las importantes matizaciones que había introducido Laplace, demostrando así la existencia de errores instrumentales que deberían ser eliminados en el futuro:

"...en rigor, no podía suponerse el péndulo en iguales condiciones que otro formado por una sola pieza, sino mientras se empleasen oscilaciones de muy corta amplitud; además, que al deducir la longitud del péndulo teórico, era necesario hacer una nueva corrección, debida a la forma cilíndrica circular del filo del cuchillo de suspensión, cuyo radio podría exceder de una centésima de milímetro, lo cual influiría de una manera considerable, especialmente cuando se emplean péndulos pequeños".

Aunque el primer defecto se pudiera subsanar con el péndulo invariable, construido de una sola pieza, tal como apuntaba Barraquer, nunca se iba a poder concretar con suficiente fiabilidad la localización del eje de giro sobre "la superficie de contacto del cuchillo con la plana del sostén". El siglo XIX comenzó con la construcción del péndulo de inversión que había ideado Bohnenberger, que además de las propiedades del invariable podía emplearse también en las determinaciones absolutas sin necesidad de

calcular la posición del centro de oscilación, quedando anulados así los inconvenientes asociados a la forma del borde de los cuchillos.



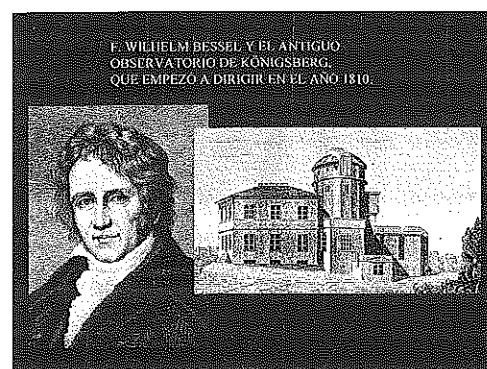
Los trabajos gravimétricos consecuentes son recogidos asimismo por Barraquer, destacando los que llevaron a cabo los franceses Biot y Arago sobre la cadena triangular del meridiano de París, llegando hasta las Islas Baleares. Aunque Barraquer cite también a Ciscar con relación a esos trabajos deja sin mencionar a otro de los protagonistas españoles en esas tareas, el geodesta pontevedrés José Rodríguez²⁵, el cual gozaba de tal reputación en la comunidad científica de su tiempo que Delambre se refería a él como el sabio español. Seguidamente son referidas las observaciones del capitán Kater en la red geodésica inglesa, las cuales pusieron de relieve la existencia de graves irregularidades "en la dirección y energía de la fuerza de la gravedad". Comenta después Barraquer que el francés Freycinet efectuó medidas de la gravedad en las costas de África, América, Australia y las Islas del Pacífico; haciendo luego lo propio Superrey, con los mismos péndulos invariables, en otros puntos del hemisferio austral. Tampoco deja de citar Barraquer el empleo del péndulo de Kater por el irlandés E. Sabine, en diferentes lugares, desde las costas tropicales de África y Brasil hasta las zonas glaciales de Noruega, Groenlandia, Spitzberg y las Islas Melvilla contribuyendo así al estudio de la forma y constitución de la Tierra.

La geodesia geométrica alcanzó durante el siglo XIX tal grado de desarrollo que Barraquer estaba obligado a referirse a ella, aunque en forma resumida y aprovechando el momento para insistir de nuevo en el carácter geodésico del péndulo. Tras mencionar la medida del arco de paralelo realizada en Francia, los trabajos de los geodestas ingleses en la India y los de Struve en el gran arco ruso-esquinavio, termina hablando de las observaciones alemanas, llamadas a ocupar el lugar más destacado de esta disciplina científica. Gauss y Schumacher fueron los principales protagonistas, justo antes de Bessel, "el fundador de la Geodesia de nuestros días" en palabras del nuevo académico. A Bessel se deben, según Barraquer:

"las reglas que presiden en la construcción del actual péndulo de forma simétrica con recíprocos ejes...él demostró cuan imperfecta era la fórmula para la reducción al vacío que hasta entonces se aplicaba, porque la corrección debe depender de la figura, dimensiones y densidad del cuerpo oscilante, a causa del movimiento transmitido al medio...Si alguna cosa diera la medida sobre el mérito singular del

Director del Observatorio Astronómico de Königsberg, sería el hecho de que...sus obras encierran el germen de casi todos los posteriores progresos, sus teorías y procedimientos forman una clásica colección de modelos, y los resultados experimentales que nos legó son de tal precisión, que aún en la actualidad es difícil exceder".

La síntesis histórica que realiza Barraquer de la geodesia dinámica tiene un colofón sobresaliente en el texto que se transcribe seguidamente:



"La concordancia entre los elementos del esferoide terrestre obtenidos separadamente por Bessel y Airy por diferentes medios de cálculo, y sometiendo a razonado expurgo las mejores mediciones de arcos, indujo de nuevo a suponer que un aumento de datos, solo ocasionaría insignificantes modificaciones. Aventurado era, sin embargo, semejante sentimiento, porque además de desatender, al abrigarlo, el testimonio de las observaciones con el péndulo, ya tan numerosas y muy dignas de consideración, descansaba la hipótesis tácita de que las desviaciones de la vertical reunían los requisitos propios de los errores que se dicen accidentales. Los trabajos que proseguían los ingleses en la India, y los rusos en su vasto territorio, combatieron bien pronto ese parecer, que se debilita al par que nuevos datos más idóneos y precisos, concurren a la valuación de los elementos del esferoide. Everest y James, Clarke y Struve, Schubert y Pratt, y otros geodestas modernos se ocupan del asunto, procurando tener en cuenta las acciones locales; descúbranse enormes discrepancias entre conclusiones numéricas derivadas de las mediciones de arcos en la India y en Europa, y se pronuncia una marcada tendencia hacia un aumento, no solo en las dimensiones terrestres, más también en la magnitud del acatamiento, aproximándose este a las cifras que le asignan las observaciones con el péndulo. Estas adquieren, de derecho, una creciente importancia, a que antes parecía oponerse su dependencia de la constitución geognóstica de la localidad, y de la relación de densidades en la masa interna, dependencia que se juzgaba de menos bulto en las mediciones de los arcos; hoy, que está demostrada la eficaz cooperación de las observaciones con el péndulo, se deja sentir como nunca la necesidad de reunir gran copia de ellas. Las incompatibilidades entre las coordenadas astronómicas y geodésicas, aquellas que fueron alarmantes obstáculos, son al cabo los indicios esenciales que ilustran la cuestión planteada bajo su genuino carácter: la investigación de la forma como función de la fuerza. Sometidas a medida las anomalías locales, su estudio constituye un asunto integrante y fundamental; ya no cabe admi-

tir, en principio, que estos efectos formen parte de los errores independientes de las circunstancias en que se realizan las observaciones; fuerza es aceptar que son peculiares a cada caso. Y porque todos los resultados geodésicos dependen más o menos de estas anomalías, ni la medición de arcos terrestres, ni las observaciones con el péndulo, pueden constituir procedimientos exclusivos".

Llega Barraquer al último tramo de su discurso recordando el proyecto del astrónomo y geodesta Baeyer, para la Medición de grados en Europa Central, que dio lugar finalmente a la Asociación Geodésica Internacional; destacando al mismo tiempo la importancia de esta rama de las ciencias:

"Con los más perfeccionados medios se completan algunas operaciones, empréndense otras, y ya una red continua que, enlazando los Observatorios astronómicos, se extiende en apretada malla por la haz de la Europa, es monumento imperecedero de saber y de concordia, que la ciencia labra, que una fraternal aspiración mantiene y fortifica".

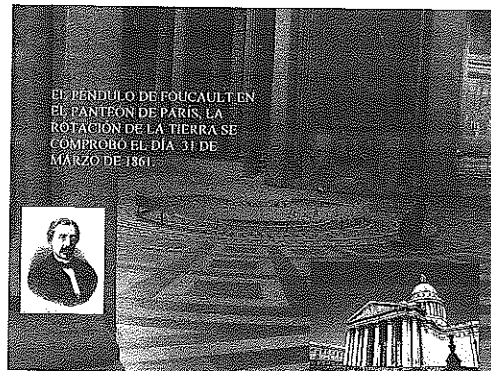
Barraquer subrayó como cometido específico de la citada Asociación las observaciones pendulares, mucho más fiables desde que se contó con los instrumentos construidos en los prestigiosos talleres Repsold, ya referidos. Mediante tales equipos se pudo medir la longitud del péndulo que batía segundos con incertidumbres de tan solo algunas milésimas de milímetro, "elocuente cifra si se considera la multitud de delicadas operaciones de que depende su obtención" afirmaba con orgullo el propio Barraquer. Ello no fue óbice para que a continuación asegurase que todavía era muy limitado el alcance de la apreciación y que era del todo imprescindible un mayor conocimiento sobre "la acción de las causas". Barraquer pronostica inmediatamente después el inminente desarrollo de la gravimetría en los siguientes términos:

"Quizá otro aparato reemplace con ventajas al péndulo; tal vez se logre en lo porvenir disponer de un agente propio para la medida de la atracción, utilizando con mejor éxito la idea embrionaria de Francisco Bacon, insinuada de nuevo por Herschel y por Siemens. ¿Qué hacemos en la observaciones con el péndulo sino suponer que la gravedad no es dependiente, o a lo menos que no lo es por la relación inmediata de las demás fuerzas naturales? El movimiento oscilatorio responde estrictamente a las causas determinantes de la figura matemática? Los adelantamientos en las ciencias físicas consienten ya formar conjeturas que, de realizarse, colocarían a la ley de NEWTON respecto del movimiento universal, a la manera que lo está la hipótesis de esfericidad en el Problema de la figura de la Tierra, en el punto de partida de verdades sin cuento, de orden ignorado".

El final del discurso gravimétrico de Barraquer es un verdadero canto al péndulo, en el que se glosan todas sus excelencias:

"El péndulo, el instrumento...cuyo origen se remonta a la misteriosa varilla de la Leyenda, servía ya a la impostura, doce siglos antes de Galileo, para cosechar los abundantes frutos que le brindaba la supersticiosa ignorancia, explora hoy realmente el seno de la Tierra...es el aparato que pesa, mide y cuenta...toda la materia vive oscilando sin cesar impulsada por sus immanentes fuerzas. Donde quie-

ra que dirijamos la vista...encuéntrense inmediatas y útiles aplicaciones del péndulo: en la industria, en la Náutica, en el Arte militar. Y entre todas descuella la del reloj, la medida precisa de eso que decimos tiempo, número del movimiento, imagen movable de la eternidad...bajo la cual nos es dado concebir el ritmo del Universo...El movimiento rotatorio del Globo, cuya palmaria prueba se intentó encontrar en las desviaciones de los graves que caen en libertad, residía en el giro aparente del plano de oscilación del péndulo alrededor de la vertical. Lo que quizá entrevió Viviani, León foucault lo publica, y cada grano de arena que el gigantesco (sic) péndulo del Panteón lanza lejos de su camino, apela de aquella sentencia que fulminó sobre Galileo un incompetente tribunal".



El relato de Barraquer recuerda en su epílogo la figura del geodesta y académico Frutos Saavedra Meneses²⁶, quien en su discurso de ingreso repitió el deseo geográfico expresado por Jovellanos "Ojalá que, reuniendo tantas luces astronómicas y geométricas como andan dispersas y ociosas por nuestra juventud militar, se las consagre a una nueva y exacta Carta de nuestra Península". Otro tanto hizo con la de Jorge Juan²⁷, alabando su frustrado proyecto para lograr un Mapa de España con apoyo geodésico, para añadir después:

"¡Cual no sería la complacencia de aquellos buenos patriotas, viendo ahora en segura vía de ejecución el mapa topográfico, cimentado en esmeradas observaciones geodésicas, necesidad hoy imprescindible para los pueblos que aspiran a un lugar en la civilización moderna!". Barraquer ultima su epílogo ensalzando implícitamente a su principal mentor-el Director General del Instituto Geográfico y Estadístico- y valorando muy positivamente las competencias geodésicas del centro en el que desarrollaba toda su actividad científica:

"España, que hace casi un siglo se asoció al proyecto francés de unificación de pesas y medidas, alcanza al presente la gloria de que uno de sus hijos esté a la cabeza de la "Comisión internacional del Metro," y mira al mundo científico aclamar una y otra vez al mismo Académico español presidente de la "Asociación geodésica Internacional." ¡Feliz yo, si, en esta solemne ocasión, acertara a dar público testimonio del valioso patrocinio que nuestros recientes trabajos geodésicos deben a la Academia; y más feliz todavía si me contáis en el número de los geodestas que supieron merecerlo!".

Precisamente fue Carlos Ibáñez²⁸ el encargado de darle la bienvenida a Barraquer, en nombre de la Academia. Su discurso de recepción, marcadamente institucional, reflejó

los últimos adelantos metrológicos y geodésicos, además del brillante curriculum²⁹ del nuevo académico. Ibáñez hizo notar la pudorosa modestia de su leal colaborador, que le habían impedido comentar sus notables contribuciones al progreso en España de diversas ramas científicas. Estas fueron algunas de sus palabras al respecto: "...un escrito tan bello, tan erudito, tan rico en pormenores, tan acabado, en fin, que dejaba completamente segado el vasto campo del tema elegido".

1 No obstante es justo reseñar que en un principio se pensó en el coronel Fernando Monet, el cual ya había comprobado que el enlace era factible durante las observaciones de campo preliminares. Monet era a la sazón geodesta del Instituto Geográfico y había colaborado con Saavedra e Ibáñez en la medición de la base central de Madrid.

2 Barraquer cubrió la vacante dejada por el general Antonio Terrero y Díaz Herrero, estudioso de la geodesia y de la incipiente fotogrametría, además de brillante Profesor de Astronomía y Geodesia en la Escuela del Alto Estado Mayor. A él se debe la Memoria sobre la forma más conveniente de los triángulos geodésicos, conservada en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

3 Barraquer la achaca solamente al "fanatismo de Omar", olvidando el saqueo previo que tuvo lugar en el año 48 por las tropas de Julio César y la nueva destrucción del año 480 realizada por una turba enfurecida de cristianos alentados por su obispo, los cuales asesinaron a Hipatia (la primera mujer dedicada a la Astronomía).

4 Joaquín Barraquer sintetiza magistralmente el ambiente medieval "...bajo la égida de temibles instituciones, los conceptos más absurdos y extravagantes eran erigidos en verdades inconcusas...cualquier innovación era crimen o locura...fruto amargo de este estado había de ser la intolerancia en todas sus manifestaciones".

5 En el siglo XI al Biruni (973-1048), uno de los mayores genios de la civilización musulmana, determinó el radio terrestre por un procedimiento tan novedoso como ingenioso, midiendo la depresión del horizonte sensible desde una montaña cuya altitud había determinado antes por métodos trigonométricos.

6 Este médico del rey Enrique II eligió para ello el meridiano de París y empleando la metodología griega dejó la amplitud angular del arco como diferencia de las alturas meridianas del Sol, en cuanto al desarrollo lineal del mismo, lo dejó a través del número de vueltas que dieron las ruedas del carruaje que le llevó de regreso a la capital.

7 Las opiniones de Barraquer acerca del Renacimiento merecen ser reproducidas: "...era llegado el momento de que la inteligencia empezase a reivindicar sus sagrados derechos, oponiéndose a los fueros de la autoridad impuesta, que arrogaba decretaba sobre las leyes naturales; había sonado la hora en que la física vil se iba a convertir en fuente de la noble ilustración".

8 Barraquer cita también en su relato que Galileo y su hijo hicieron algunos ensayos para medir el tiempo con un aparato del que formaba parte un péndulo que oscilaba libremente sobre un eje central. Otro detalle histórico igualmente relevante recogido en esta parte del discurso es el intento de construir un indicador de segundos debido al astrónomo Hevelius.

9 El título de la obra de Huygens fue Horologium oscilla-torium, la cual fue editada por primera vez en París, durante el año 1673, y dedicada al rey Luis XIV.

10 Allí se defendió la posibilidad de que las pesas de un reloj pesasen menos a medida que este se colocase en lugares más próximos al ecuador, aunque también sea cierto que solo se le concedió el valor de una simple conjetura.

11 Puede aducirse en su disculpa que había determinado el radio de la Tierra con mayor aproximación que ningún otro, hasta el punto que el valor que le asignó permitió la comprobación y posterior enmienda de la Ley de la Gravitación Universal.

12 Poco después que Richer, Halley, en la isla de Santa Elena, y Varin, Deshayes y Glos en la misma Cayena, se apesentaban del fenómeno, que luego confirmaron otras observaciones en la Martinica, Brasil, Portobello, en el golfo de Siam y en distintos lugares de las costas de África.

13 Barraquer hacía suyas las ideas al respecto expresadas por Delambre, quien en su calidad de Secretario Perpetuo de la Academia de Ciencias de París afirmó en su momento que hasta Newton nadie había hablado todavía del achatamiento terrestre, manifestando expresamente "no he visto estampada con anterioridad esta palabra en ninguno de los documentos de la Academia".

14 Cassini II refutó el modelo newtoniano (Memorias de la Academia de Ciencias. 1713) amparándose en que sus trabajos geodésicos eran dignos, a su entender, de todo crédito.

15 Cassini III, afirmó a propósito del elipsoide prolato (Memorias de la Academia de Ciencias.1735) que el descubrimiento de tanta utilidad para las ciencias y para la Navegación, que aumentaba al mismo tiempo la gloria de Francia, era un mérito de la citada Academia.

16 El trabajo que resultó premiado fue un Ensayo de una nueva Física celeste, firmado por J. Bernoulli (París, 1735).

17 También llamada escándalo científico en el Diccionario de las Ciencias Matemáticas Puras y Aplicadas (París, 1835), cuyo autor fue Alexandre Moissier.

18 Los propios expedicionarios al virreinato del Perú confesaron que era imposible apreciar una décima de línea en la longitud del péndulo de segundos.

19 El texto lo extrajo Barraquer del libro octavo, de la obra de Jorge Juan y Antonio de Ulloa, titulado Las Experiencias del péndulo simple; la descripción del instrumento, con que se ejecutaron; y determinación de la Figura de la Tierra; sobre la cual se dan tablas de cada grado del Meridiano terrestre, y de la longitud del Péndulo para cada latitud.

20 A renglón seguido de los trabajos en el virreinato del Perú comienza, en palabras de Barraquer, la no interrumpida serie de investigaciones de Clairaut, MacLaurin, Euler, Alembert, Lagrange y del gran Laplace... demostrando que la figura elipsoidal conviene con las condiciones del equilibrio de una masa fluida...formada por capas cuya densidad siga una ley cualquiera, y animada de un movimiento de rotación uniforme alrededor de un eje invariable...Ello no quiere decir, en opinión de Barraquer, que Bouguer no estuviera al tanto de los experimentos realizados por Riccioli, Deschales, Frélicie, Mariotte y Lahire en relación con el fenómeno del "libre descenso", ni de los estudios de Newton que probaban como el rozamiento dependía de la inercia, de la adherencia del fluido al cuerpo sólido, etc. Más adelante añade Barraquer que Bouguer conocía también las investigaciones que habían realizado al respecto Hawksbee, Desaguliers y Leibnitz.

22 La orden es más comprensible si se tiene en cuenta que por aquel entonces se estaba debatiendo en Francia la posibilidad de establecer un patrón de medidas lineales basado precisamente en la longitud del péndulo teórico de segundos, a 45° de latitud y a nivel del mar.

23 La cita la seleccionó Barraquer de un manuscrito firmado por Ciscar, 10 de mayo de 1821, que se conserva en la Biblioteca de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos de Madrid.

24 Gabriel Ciscar y Ciscar representó en París al gobierno de España durante las deliberaciones previas a la implantación del Sistema Métrico Decimal.

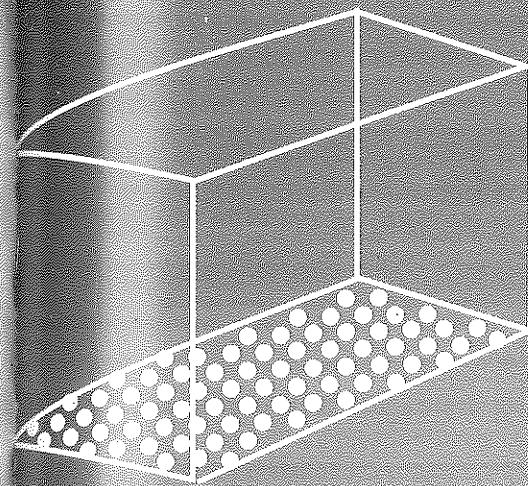
25 La revista Topografía y Cartografía del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía publicó (Febrero, Abril, 2000) el artículo Los Trabajos Geodésicos de José Rodríguez, en el que se da cuenta de sus trabajos más destacados en ese campo.

26 F. Saavedra proyectó junto a Ibáñez de Ibero la Regla de la Comisión del Mapa de España, siendo de ambos el protagonismo más destacado en la medición de la base de Madrid. Sin embargo, la indubitable talla científica del primero acabó siendo eclipsada por la arrolladora personalidad del segundo, los dos fueron compañeros y amigos entrañables, según se desprende del testimonio de Ibáñez ante la pronta desaparición del que fuera también Director general de Obras Públicas. Esta misma revista publicó en su número 16 (febrero, 2007) un artículo centrado en la figura de Saavedra, para divulgar su discurso de ingreso en la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales; su título fue Frutos Saavedra Meneses: Geodesta y Académico.

27 La publicación Jorge Juan y sus proyectos para un Mapa de España (Universidad de Granada e Fundación Jorge Juan) recoge los pormenores de tan ambiciosos proyectos. El trabajo fue prologado por el eminente cartógrafo e Ingeniero Geógrafo Rodolfo Núñez de las Cuevas, el cual dirigió el Instituto Geográfico y fue artífice de su modernización.

28 Carlos Ibáñez dio también la bienvenida a Pedro Alcántara de la Llave, el académico que cubrió la vacante producida por el fallecimiento de Frutos Saavedra. Estos dos discursos de recepción se han reproducido de nuevo en la Revista Topografía y Cartografía del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía (1º trimestre.2007).

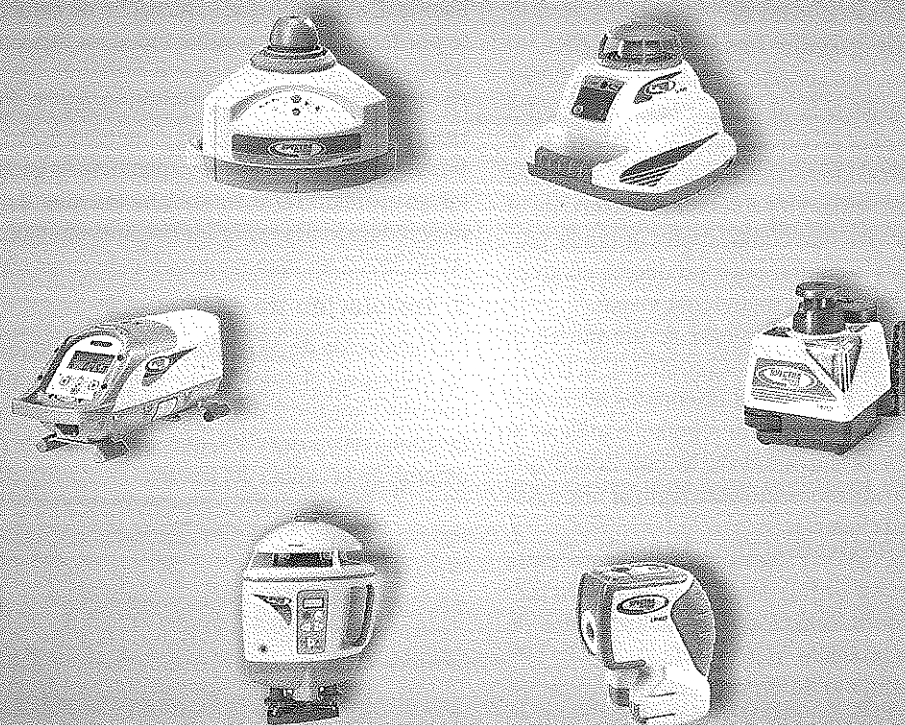
29 La revista Topografía y Cartografía del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía recoge, en uno de sus números (2º semestre.2007), un artículo titulado Curriculum geodésico y metrológico de Joaquín Barraquer Rovira. En él se trata de dar a conocer sus más destacadas aportaciones a la Geodesia, a la Gravimetría y a la Metrología.



ORSEÑOR, S.L.

TOPOGRAFÍA

ALQUILER, VENTA Y REPARACIÓN DE
MATERIAL TOPOGRÁFICO



EVOLUCIONAMOS POR TI, CRECEMOS CONTIGO...

Nueva gama de productos de construcción SPECTRA:

DISTRIBUIDO POR: **ORSEÑOR, S.L.**

radillo, 26 - 28002 Madrid Tlf: 91 416 74 54 - 91 415 66 04 / Fax: 91 415 63 04

www.orsenor.com orsenor@orsenorsl.com