

# DISCURSOS

LEIDOS ANTE LA

## REAL ACADEMIA DE CIENCIAS

EXACTAS

FÍSICAS Y NATURALES

EN LA RECEPCION PÚBLICA

DE

DON JOAQUIN BARRAQUER Y ROVIRA

el día 1.º de Mayo de 1881



**MADRID:**

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

*Calle de Pontejos, 8.*

1881.

**DISCURSO**

**DE**

**DON JOAQUIN BARRAQUER Y ROVIRA.**

SEÑORES:

Persuadido de lo escaso de mi valer científico, y embargado el ánimo de respetuosa gratitud hácia este ilustre Cuerpo que me honra, cual nunca pensé merecer, elevándome hasta él, me presento á recibir la noble insignia que ostentais en vuestros pechos, ese codiciado premio capaz de colmar las más altas aspiraciones, símbolo de merecimientos excelentes. Mostrarme digno de distincion tan singular, es deber de honor que me propongo cumplir miéntras dure mi vida, consagrando al estudio la suma de mis débiles fuerzas; mas porque recelo que esto no sea bastante para ponerme á la altura de la mision de la Real Academia, he de invocar hoy de todas véras, como lo hago confiado, vuestra sábia indulgencia, de cuyo alcance juzgo que es la mayor prueba mi presencia en este lugar.

Entiendo, Señores, que si exaltais mi nombre, es para demostrar una vez más vuestra constante solicitud por el cultivo de la Geodesia. Apénas lograba España dar comienzo á los trabajos que, de consuno con los que realizan todas las naciones civilizadas, se dirigen al conocimiento matemático del Globo, y

son base científica de la Geografía, cuando ya de entre los oficiales facultativos del ejército que tuvieron la gloria de iniciarlos, dos preclaros varones llegan, precedidos de su fama, á ocupar esos sitios. Sus obras ilustran los anales de la ciencia pátria; y si la muerte nos arrebató temprana á uno de ellos, defraudando esperanzas halagüeñas, vemos aún al otro, por fortuna, entre nosotros. Seguir, procurando imitarles, por la senda que trazaron; y cuando no lo hubiera conseguido, cual fué mi anhelo, perseverar con ahinco durante más de veinte años en la colosal empresa: hé aquí los únicos títulos que me es dado alegar á vuestra benévola consideracion. Por este motivo, aunque entre los numerosos ramos conexados con mi profesion de ingeniero del ejército, hubiera encontrado diversos temas para acatar el primer precepto de los Estatutos, he creido procedente, y hasta obligatorio, que mi pobre peroracion versara sobre el gran problema que resuelve la Geodesia; sin estas circunstancias, fuera vana presuncion mia solicitar vuestra atencion disertando sobre una materia que, si por su creciente importancia y asombroso desarrollo, es origen de profundas especulaciones, ya en actos solemnes, como éste, trataron elocuentes y autorizados labios.

Pero ante todo, cumplo grato deber dedicando un respetuoso recuerdo al ilustre Académico cuya vacante me habeis llamado á ocupar. Fué el Excmo. Sr. *Don Antonio Terrero* militar de raras prendas: procedente del Cuerpo de Artillería pasó al de Estado Mayor, en el que dirigió durante muchos años la enseñanza; su mérito y laboriosidad le hicieron acreedor á honrosas distinciones, entre ellas la de ser nombrado Vocal de la Junta consultiva del Mapa de España. En su larga carrera supo hermanar las acrisoladas virtudes del soldado con la modestia del sábio; y si la ciencia tuvo en él un hijo predilecto, y la Academia un firme apoyo, el ejército español vió abrirse con su

muerte un hueco más en las filas de aquellos veteranos, cuya veneranda memoria despierta en mí un sentimiento inefable.

Volviendo á mi asunto, y como quiera que la conviccion de la propia insuficiencia no puede ser parte para eludir la grave responsabilidad que sobre mí pesa, ni ménos justificaria el que me abandonase al desaliento, ántes bien debe avivar, si cabe, mi ardiente voto de corresponder á la insigne merced que me confirió vuestro sufragio, voy á exponeros algunas sucintas consideraciones sobre el importantísimo papel que representa el péndulo en la investigacion de la figura de la Tierra, evitando penetrar en los campos de la Astronomía y de la pura Física más de lo que me sea indispensable.

Difícil sería encontrar en el rico tesoro de nuestro saber físico-matemático un problema de más transcendental importancia, y á cuya solucion se haya dedicado el hombre con mayor empeño y perseverancia de ingenio, que el de la figura y tamaño de la Tierra. Intimamente relacionada la figura matemática con las leyes naturales del movimiento, en la historia del problema se ve retratada la índole y el estado de progreso que en el transcurso de los tiempos alcanzó una gran parte de las ciencias que llamamos de observacion. Si, estudiando paso á paso el desarrollo de los trabajos geodésicos que generaciones de sábios acumularon, se medita sobre los caracteres y se investigan los orígenes de los mil obstáculos vencidos, pesando los sacrificios y desvelos que supone la adquisicion de un dato ó de un perfeccionamiento teórico, el ánimo queda suspenso ante tantos y tan nobles esfuerzos, y depúrase el criterio al beber en los pasados errores provechosa enseñanza. Mas en cambio de tales afanes, ¡cuán valiosos no son los frutos recogidos! Mídase, si no, el abismo que separa á la observacion

científica de la simple contemplacion; la enorme distancia entre el ignorante que, refiriendo á sí, por un sentimiento exclusivo, cuanto le muestran los falaces sentidos, da rienda suelta á la caprichosa fantasía que le pinta una bóveda celeste sólida y transparente, espléndida corona de disco terrestre, y el observador moderno que, guiándose por principios fijos y provisto de medios adecuados, prosigue en la tortuosa, pero segura senda, que le conduce al descubrimiento de las más pequeñas irregularidades de la figura del Planeta.

Dibújanse distintamente dos períodos en la historia de la Geodesia, señalados por una radical evolucion del pensamiento. Caracteriza al primero, en realidad rudimentario, ó si quereis, preparatorio, la ausencia del procedimiento experimental; época en que la verdad de los hechos se forja en la mente, no se busca en el severo exámen de los hechos mismos; en que las apariencias bastan para apoyar opiniones aceptadas *à priori*; fué, en una palabra, el período de las autoridades personales; y sólo cuando hace dos siglos se asentaron las inquebrantables bases de la filosofía natural, cuando proclamados la observacion y los experimentos como autoridad científica, surge, atrevido y potente, el espíritu moderno, adquirió el problema su genuino aspecto, su majestuosa grandeza. Tan memorable conquista no habia de realizarse en un dia, ni ser obra sólo de un hombre; muchos vinieron á depositar su piedra, uno el que coronó el edificio: este mónstruo de ingenio, asombro de los nacidos, se llamó NEWTON; la clave que trabó materiales dispersos son sus inmortales *Principios de la atraccion universal*. Ya indisoluble lazo da unidad á los fenómenos naturales de movimiento que son manifestaciones diversas segun los mismos principios; la figura de la Tierra deja de ser un hecho aislado, y de objeto estéril se convierte en dato para fecundas investigaciones astronómicas y físicas que, conexionando unos teni-

dos ántes por independientes y descubriendo la existencia de otros, estrechan más y más las distancias entre estos ramos de la Ciencia: que nunca puede erigirse en meta del saber el conocimiento de una magnitud ó forma, porque éstas no son sino indicios con que la Naturaleza nos convida incesantemente á inquirir sus leyes.

Escasas, y aún más que escasas, inciertas, son las noticias que llegaron hasta nosotros acerca de los conocimientos geodésicos en épocas primitivas; algun ambiguo texto da pié para conjeturas más ó ménos verosímiles, pero el origen histórico, propiamente dicho, no se remonta más allá de la antigua Grecia. A seguida de las fábulas homéricas, vense brotar del génio especulativo de los filósofos diversos y peregrinos conceptos sobre la constitucion del Universo y la figura de la Tierra: todas las opiniones tuvieron sus adeptos; dieron pasto á largas é inútiles controversias, para caer luégo en el desprecio y en el olvido. Aunque parece que la escuela jónica enseñaba la *redondez* de la Tierra en el sentido de la *esfericidad*, asoma francamente esta nocion exacta en boca de los pitagóricos, los cuales, fuera por tradicion, ó porque con las hipótesis que se debatian, ó mejor dicho, con los pareceres que en su tiempo habian sido motivo de disputa, no alcanzasen á explicarse algunos fenómenos, predicaban la supuesta analogía entre la ideal bóveda del Firmamento y la forma *globosa* de la Tierra. Eudoxio de Gnido, el discípulo del *divino* Platon, y despues el gran Aristóteles, aseguran que la figura esférica es un hecho; para el primero, las desiguales alturas de una estrella observada simultáneamente desde vários lugares manifiestan la convexidad uniforme de la superficie terrestre; Aristóteles la concluye de la tendencia natural de la materia hácia el centro comun de todo

el Universo, que se declara en las aguas ('); y por más que no les fuera posible evidenciarla, aquél descubrió el fundamento de las actuales mediciones de arcos de meridiano terrestre, y Aristóteles dió clara muestra de sagacidad consumada al columbrar la accion de la causa eficiente. Un paso más, y se entraba en el fértil terreno de la observacion que descansa en la medida; éste le iniciaron Eratósthenes y el estóico Posidonio, aunque, á decir verdad, sin comprender su transcendencia, puesto que ambos se propusieron únicamente valuar el tamaño de la Tierra, en el supuesto de la perfecta esfericidad. ¡Y cómo no, si eran menester todavía diez y siete siglos para reconocersu inexactitud! En vano se buscaria en este largo intervalo progreso alguno tocante á la cuestion concreta de la figura: ni en la escuela de Alejandría, templo de las ciencias durante diez siglos, ni entre los platónicos de Atenas, ni despues en la floreciente Bagdad, *ciudad de la paz*, donde los árabes, ávidos de saber, custodiaban los preciosos despojos de la catástrofe dictada por el fanatismo de Omar, ni en la escuela del Cáiro que su riquísima biblioteca avaloraba, ni, por último, en las de Córdoba y Toledo, que, áunque por breve espacio, pusieron á nuestra España á la cabeza del mundo intelectual, ninguno se descubre; y cuando fenecida la Edad Media se presentan síntomas precursores de la regeneracion científica, el célebre médico de Enrique II de Francia, reanuda los ensayos de medicion de arcos de meridiano en el mismo punto de adelantamiento en que los hicieron los alejandrinos y los árabes del Asia.

Un deplorable espíritu científico dominaba por entónces en Europa. Fomentada la indiferencia, más aún, el menosprecio hácia el estudio de las cosas naturales, veíase lo maravilloso contrapuesto victoriosamente á lo real y frecuente, que se tenia por fútil, y erigidas en verdades inconcusas, bajo la égida de



temibles instituciones, los conceptos más absurdos y extravagantes; las obras de Aristóteles, del *Maestro*, ántes anatematizadas, contenian doctrina indiscutible; cualquier innovacion era crimen ó locura; inventábanse agentes imaginarios y especiales, ó más bien, palabras vacías de sentido, para explicar los fenómenos que quedaban así sin correlacion alguna, y cuando no, se apelaba al cómodo y siempre provisto arsenal de las causas ocultas; lo que hoy entendemos por *Método*, era absolutamente desconocido (<sup>2</sup>): fruto amargo de este estado habia de ser la intolerancia en todas sus manifestaciones. Mas era llegado el momento de que la inteligencia empezase á reivindicar sus sagrados derechos, oponiéndose á los fueros de la autoridad impuesta, que arrogante decretaba sobre las leyes naturales; habia sonado la hora en que la *física vil* se iba á convertir en fuente de la *noble ilustracion*. Aparece la colosal figura de Galileo. Heraldo de la nueva era, en él se estrellaron las pasiones que la preocupacion y la ignorancia alimentan; y al hacerlo, sublimaron su memoria. Y no era para ménos el someter á pura crítica experimental las opiniones de Aristóteles, declarando que la Naturaleza es el único libro infalible.

Observa Galileo el oscilar de la lámpara del templo, y en su acompasado movimiento piensa descubrir un exacto isocronismo: tal fué el hecho sencillo, y al parecer trivial, de que germinó en su mente privilegiada el poderoso medio de investigacion, ensalzado justamente con el epíteto de *escrutador nobilísimo de las cosas naturales* (<sup>3</sup>), ese instrumento admirable, y sin par por su sublime y típica sencillez; el péndulo, en fin. Aunque no era dable á Galileo alcanzar toda la importancia de su descubrimiento, le cree útil para medir la frecuencia del pulso, para la música, y especialmente de aplicacion ventajosa en todas aquellas observaciones en que hubiese necesidad de apreciar pequeños intervalos de tiempo. Con el nom-

bre de *reloj físico* lo empleó ya en los experimentos sobre el libre descenso de los graves, estudiando así este fenómeno por medio de otro inmediato efecto de la gravedad; experimentos que le sirvieron para fundar la ley de la aceleración, que Varro y el veneciano Benedetti habían pretendido poco antes demostrar sólo por razonamientos (<sup>4</sup>). Ofrecióle la torre inclinada de Pisa acomodada proporción para este objeto, y más de una vez fué el célebre monumento mudo testigo del escarnio que el populacho hacía del inventor. ¡Qué 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! ¡Cómo 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 á través de su masa, balanza que lo pesa, espejo do se refleja su figura!

Empieza el péndulo en manos de algunos astrónomos á cumplir su misión como *compás del tiempo*, bajo la forma más sencilla: un pequeño cuerpo muy denso, suspendido de un hilo flexible. Riccioli, comparando la duración de las oscilaciones de péndulos de distintas longitudes, obtiene la del que oscila en un segundo; Tycho-Brahe, Hevelius, Kircher, Mersenne y Mouton lo emplean también, contando de memoria las oscilaciones. Esta manera de proceder, á más de muy propensa á errores, era enojosa por la necesidad de mantener, con repetidos impulsos, el movimiento del péndulo, y su adopción, á pesar de este inconveniente, demuestra que el compás del tiempo sustituyó en algunos casos con ventaja á las máquinas de reloj hasta que Huygens dió al mundo su grande invento. Él descubre los defectos de isocronismo, que no apreció Galileo; funda la teoría de los centros de oscilación, intentada en vano por Roberbal y

Descartes; encuentra la reciprocidad de los ejes de suspension y de oscilacion, y obtiene la curva del isocronismo teórico, imaginando un ingenioso artificio para realizarlo. La combinacion de las fuerzas de gravedad y centrifuga le conduce al péndulo cónico, con cuya aplicacion, si consigue la ventaja de que el reloj señale las unidades de tiempo sin sacudidas, en cambio no indica los momentos por golpe, como cuando el regulador oscila en un plano.

Cual sucede con tantos descubrimientos, se ha puesto en duda el derecho de prioridad del péndulo: unos suponen que ya en el siglo X los árabes se sirvieron de él para medir el tiempo (<sup>5</sup>); otros atribuyen al suizo Justo Birge la primera aplicacion del péndulo á la máquina de reloj; quién dice que Sanctorius, á principios del siglo XVII, utilizó el primero para este objeto la propiedad del isocronismo (<sup>6</sup>). Lo seguro es que Galileo, en el ocaso de su vida, hizo, acompañado de su hijo, algunos ensayos sobre el empleo de un aparato, en el cual figuraba el péndulo, y que propuso para medir el tiempo á bordo un sector metálico, oscilando libremente sobre un eje central, y tambien que Hevelius intentó construir un indicador de segundos; pero parece que nadie, ántes de Huygens, poseyó la idea que hace del péndulo el regulador de la marcha del reloj. Así la historia señala, y con justicia, á este grande hombre como primer inventor en la relojería de precision, y su obra célebre (<sup>7</sup>) es la limpia patente con que de derecho entra el péndulo en el palenque científico.

Admitiase todavía la exacta esfericidad de la Tierra, que ningun dato experimental, ninguna consideracion teórica repugnaban; todas las mediciones geodésicas se habian dirigido á deducir el tamaño, y aunque ya se manifestaban crecidos desacuerdos entre resultados hipotéticamente comparables, la imperfeccion de los instrumentos consentia que se atribuyesen

tan sólo á los errores de observacion. Al péndulo estaba reservado entablar la cuestion de la figura, acusando la inexactitud de la hipótesis de esfericidad.

Con vuestra vénia, Señores, vuelvo por breves momentos la vista hácia atrás para recordaros cómo se venia preparando este gran acontecimiento. Eudoxio y Aristóteles, apoyándose en diferentes indicios, afirman la esfericidad de la Tierra, y aunque no la demuestran, esta opinion prevalece; las concepciones de ambos estriban en un mismo íntimo fundamento: la accion de la fuerza de gravedad. De un supuesto implícito sobre la direccion de esta fuerza y algunas consideraciones geométricas muy sencillas, se dedujo el procedimiento puramente geodésico, y no hubo dificultad en aplicarlo desde luégo á la medicion de arcos de meridiano terrestre, puesto que sólo se trataba de apreciar magnitudes lineales y angulares, con más ó ménos aproximacion. Pero no podia salir el problema de este punto de vista estacionario, sin mejorar la hipótesis; y para esto era indispensable poseer nociones claras y precisas de Física y Mecánica, y medios de observacion suficientes para analizar los orígenes de la figura; entónces llegaria á ser fecunda la sutil conclusion de Aristóteles. Dirige Galileo su atencion al libre descenso de los graves, al efecto más tangible del agente universal, causa de la figura, y funda la Dinámica. La desigual energía de la fuerza de gravedad en la superficie terrestre, que la observacion de este fenómeno hubiera podido descubrir con el tiempo, la revela en breve plazo la lámpara oscilante. Galileo no inquiere cómo el péndulo en reposo y en movimiento es trasunto de esta accion; no ve el grave que cae continuamente sin salir de una pequeña curva, ni á la fuerza encadenada con una magnitud lineal, medida de su intensidad; se detiene ante el isocronismo, que le ofrece una propiedad inestimable. Merced al ingenioso escape, Huygens hace del reloj fisico el medidor del

tiempo. Aunque importante, el péndulo reviste todavía un carácter secundario; pero bien pronto habia de erguirse independiente: esclavas suyas eran las agujas indicadoras, y tal vassallaje no podia permanecer desatendido en cuanto se observara la marcha de un reloj en lugares de muy distinta latitud geográfica; entónces aquéllas pondrian de manifiesto la diferente intensidad de la fuerza que regulaba, en cada uno, sus movimientos. Y esto fué lo que sucedió: marcha Richer á Cayena á efectuar observaciones astronómicas, y queda atónito ante el retraso de su reloj de péndola, y tanto, que «apénas podia dar crédito á sus ojos (\*).» ¿Previeron los astrónomos y geodestas la existencia del fenómeno? Ciertamente es que ántes del viaje de Richer se habia insinuado en el seno de la entónces jóven Academia de Ciencias de París, la posibilidad de que las pesas de un reloj *pesasen ménos* á medida que éste se colocase en lugares más próximos al Ecuador; pero sin que se le diera más valor que el de una simple conjetura. Cuando, pasados cinco años desde el regreso de Richer, se hizo público lo que él habia observado, dudóse de su realidad, porque las observaciones de Picard en Uraniburgo, comparadas con las hechas en París, en vários puntos meridionales de Francia, en Lóndres y en el Haya, no lo confirmaban unánimemente; y por esta razon se intentaba cohonestar las anomalías con imaginarios efectos de temperatura y de rarefaccion del aire ambiente, ántes que asentir á una disminucion regular en la fuerza de gravedad, que Picard más que otro alguno se obstinó en negar todavía durante mucho tiempo (°). El asombro de Richer es prueba incontestable de que ignoraba la conjetura ó la juzgó inverosímil; y en cuanto á Huygens, él mismo confiesa que nada sospechó, al decir (1°): «No veo otra razon para explicarlo sino »porque bajo el Ecuador pesen ménos los cuerpos que en otros »países que se alejen de él;» añadiendo: «Reconocí, *así que me*

»comunicaron este fenómeno, que la causa podría referirse al movimiento de la Tierra.» Poco despues que Richer, Halley, en la isla de Santa Elena, y Varin, Deshayes y Glos (11) en la misma Cayena, se aperciben del fenómeno, que luégo confirman más y más otras observaciones en la Martinica, Brasil, Portobello, en el reino de Siam y en distintos lugares de las costas de Africa.

Ven la luz los inmortales «Principios,» proclamando que el movimiento de rotacion de la Tierra era la causa de la desigual energía de la gravedad en la superficie bajo dos aspectos: por la fuerza centrífuga que modifica las acciones de la atraccion, 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 revolucion achatado por los polos del eje, exigida por las leyes del equilibrio. Acójense desde luégo en Inglaterra con entusiasmo las ideas newtonianas, y esto hace que algunos sábios, como Keill y Friend, procuren extenderlas por análogos principios á diversos fenómenos físicos y químicos; no así en el Continente, donde se recibe la nueva teoría con prevencion y hasta con soberano desden; mas la Verdad habia hecho oír sus acentos, y su triunfo era inevitable: el proceso de la Razon que se inició en Galileo estaba fallado. ¡Cuánto tiempo, sin embargo, habia de durar la inútil apelacion de esta sentencia! Empiezan por calificar á Newton de visionario, estimando que recurria á una causa oculta, á él, que depuró la filosofia natural de cuestiones extrañas, y reprobaba el abuso de sistemas y de hipótesis aventuradas; y esto, ¿quiénes con más vehemencia? los admiradores del sistema cósmico de Descartes, aquéllos que sin duda acomodaban mejor á su inteligencia los artificiosos torbellinos, que por su vaguedad nada explicaban, que las leyes sencillas y concretas de la atraccion; sin atender á que al rechazarla por misteriosa,

admitian sin escrúpulo la no ménos misteriosa causa de los pretendidos torbellinos.

En cuanto á la parte que pudo caber á Huygens en los orígenes de la teoría matemática de la Tierra, no ha lugar á duda alguna: defensor primero del sistema cósmico de Descartes, cuyos puntos oscuros intentó en vano esclarecer, pretende luégo perfeccionarlo, y presenta á la Academia de Ciencias de París un trabajo, en el cual trata de explicar la gravedad en la superficie terrestre por el esfuerzo de una materia etérea que, girando en cada capa esférica al rededor del Globo en todos sentidos, empuja hácia él á los cuerpos que no siguen este movimiento. No consta en parte alguna que Huygens tuviera idea del achatamiento terrestre antes de leer los «Principios» de Newton (<sup>12</sup>); y de tenerla propia es preciso convenir con Delambre, en que fuera muy singular su silencio, guardado por mucho tiempo, sobre un descubrimiento tan bello. En el Apéndice al *Discurso sobre la causa de la gravedad*, impreso en 1690, Huygens no acepta la atraccion newtoniana, porque «no se explica por ningun principio de mecánica, ni reglas de movimiento.» Respecto á la universalidad de esta fuerza, dice: «Hacia tiempo que habia imaginado que la figura esférica del »Sol podria haberse producido de la misma manera que creo se »produjo la de la Tierra, pero no habia extendido la accion de »la gravedad á tan grandes distancias como del Sol á los planetas, ni de la Tierra á la Luna.» Y añade: «No habia pensado »tampoco en esa disminucion regular de la atraccion relacionada con los cuadrados de las distancias.»

Siguiendo la suerte reservada á los grandes hombres que se adelantan á su siglo, cuando no es ya posible tachar á Newton como innovador audaz, se le moteja de plagiario, procurando amenguar su mérito. Nadie puede poner en duda que los estudios de Galileo sobre el descenso de los graves y la trayectoria

de los proyectiles oblicuamente lanzados, la teoría de las fuerzas centrales, de Huygens, y en general los progresos de las Matemáticas y de la Mecánica, iban preparando el descubrimiento del sistema del mundo; que Bacon y Copérnico, Keplero y Borelli, Halley, Rømer y tantos otros tuvieron ya nociones sobre la atracción y sus efectos, y Roberto Hook más precisas que otro alguno; pero la universalidad de la fuerza, la expresión de sus acciones, la concepción que lleva impresa el sello de peregrino talento, pertenecen por entero á Newton. ¿Por qué, si no, casi todos sus contemporáneos, incluso el gran Leibnitz, se alzan contra la *novedad*, cuando se publicaron los «Principios,» y no antes? Y por otra parte, ¿cómo explicar que Huygens, estando de acuerdo en las consecuencias generales sobre la figura terrestre, rechace en absoluto la atracción newtoniana? Era que el prestigio de Descartes tenia ofuscadas las inteligencias, sobreponiéndose todavía los primores de la imaginación á testimonios materiales; era que con un postrer esfuerzo libraban á banderas desplegadas su última batalla las escuelas antiguas, lucha decisiva entre el génio que con osadía crea un mundo ideal, y el prudente, aunque no ménos profundo, que se dirige, apoyado en la observación, á sorprender los secretos naturales. Los cartesianos vencidos, mas nunca convencidos, persisten en que Newton debió gran parte de su gloria á Descartes, á aquél cuya grandeza no le impidió decir, hablando de las obras de Galileo <sup>(15)</sup>, «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 habia de ser efímera: ¡menguada conjetura, digna de reprobación!

Aún van más lejos los que sostienen que en la antigüedad se poseyeron ya noticias cabales sobre la atracción universal de la materia, despues desconocidas, fundándose en textos ambíguos, algunos de autenticidad sospechosa, interpretados bajo



el punto de vista de los conocimientos actuales. Con sólo abrir aquellas obras que se encomian por clásicas, descubrimos á través del tejido informe de heterogéneos asuntos que constituia primitivamente la Física, un espíritu divorciado con la observacion é incompatible con la ciencia moderna. Anaxágoras, y con él otros muchos filósofos, creen que los astros experimentan una tendencia hácia la Tierra, centro de sus movimientos, y esto es todo; para Platon, la Tierra es centro atractivo únicamente de las cosas de su misma naturaleza, como sucede con cada uno de los cuatro elementos; Aristóteles distingue los dos *apetitos* absolutos que clasifican á los cuerpos en graves y leves, y dice que la fuerza de gravedad es tanto mayor, cuanto más cerca está el cuerpo del centro de la Tierra, que lo es del Universo, y que la velocidad de caida de los graves es proporcional á sus masas; Hiparco, por el contrario, juzga que esta fuerza está en relacion directa con la distancia; y Ptolomeo renueva el sistema de Platon, asegurando la existencia de las cuatro regiones, en las cuales propenden á reconcentrarse los respectivos elementos. Mas ¿á qué fatigarse en buscar lo que no se pudo conocer en épocas ignorantes de los principios del movimiento? Esto no obsta para que algunos autores de nota, apasionados de lo antiguo sólo por su condicion de tal, á quienes ciega la ilusion de la distancia en tiempo, más engañosa y difícil de desvanecer que la del espacio, opinen, extremando su juicio, que nada ó poco se debe á los modernos, y llegue alguno hasta consignar «que lo poco que hizo Newton, pudo aprenderlo de otros (14).» Y ¿cuál es, en sustancia, el fundamento de muchas aserciones semejantes? De que el pitagórico Empédocles, por ejemplo, celebra, en poético arranque, la *amistad* y la *discordia* que, contrapuestas, tienden naturalmente á reunirlo todo y á disiparlo todo, manteniendo así el orden en el Universo, infiere un famoso escritor (15), que estas expresiones de-

nuncian paladinamente á las fuerzas de atraccion y centrífuga; porque Pitágoras, al extender sus vagos ensueños de armonía al curso de los astros, menciona que si distintas cuerdas músicas han de estar unísonas, deben ser sus tensiones proporcionales á los cuadrados de sus longitudes, aseguran otros que conoció sin duda alguna la variacion de intensidad de la fuerza atractiva en relacion íntima con los cuadrados de las distancias. ¡Ah, Señores! La sana critica de la historia de las ciencias ha menester de sólidas razones para asentar sus fallos; si la actividad de 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 hácia las escuelas antiguas, no hay derecho para atribuir á éstas, sin palmarias pruebas, los más valiosos adelantamientos de los tiempos modernos. La Ciencia rechaza el adagio del Rey filósofo, en el sentido de negacion del progreso indefinido: que no se muestra este progreso comparando tiempos relativamente próximos, puntos cercanos de una oscilacion del entendimiento humano, el cual, si yació adormecido durante algunos períodos, fué para despertar luégo vigoroso, recuperando de súbito y con usura el tiempo de su letargo, y cual ninfa inerte recibir prisionero, con nueva forma, gérmen de futura vida, lanzándose despues, ya libre, á regiones no exploradas, cuya existencia ni siquiera acertó á vislumbrar.

La esfericidad del Globo, la que pareció verdad durante veinte siglos, la creencia ajustada á rancias ideas de perfeccion, que tanto influyeron, aunque no siempre favorablemente, en el desarrollo de la Astronomía, quedaba desvanecida por la mágica palabra del egregio filósofo inglés, naciendo así el

problema de la figura investido de su carácter físico-matemático. Ganoso estaba el mundo científico de que las observaciones pusiesen á prueba la nueva teoría, y esperábanse, por lo tanto, con impaciencia los resultados de la medicion de arcos de meridiano, que Domingo Cassini dirigia á la sazón en Francia. Llega el momento anhelado, y créese, á causa de una singular paradoja, que aquéllos confirman la hipótesis newtoniana; mas en breve una sencilla consideracion geométrica, conduce á la conclusion opuesta, que Cassini acepta sin titubear un momento <sup>(16)</sup>, porque los recientes trabajos geodésicos eran dignos, á su entender, de completo crédito. La figura terrestre fué para Cassini y sus admiradores la de un esferoide alargado hácia los polos: ni las observaciones con el péndulo, ni el achatamiento de Júpiter, ni la libracion, ni las leyes de la Hidrostática les hacen desistir de esta opinion, sino que, por el contrario, partiendo siempre de que la figura alargada es un hecho patente, buscan razones en su apoyo. La medicion del arco en el paralelo de Brest, con que Cassini de Thury creyó decidir la cuestion <sup>(17)</sup>, recrudece la disputa; se forjan nuevos sistemas favorables á la hipótesis francesa, y alguno de estos trabajos merece ser premiado por la Academia de Ciencias de París <sup>(18)</sup>. Templadas ya algun tanto las pasiones, llega á manos de Godin la «Memoria» sobre la aberracion, que el *modelo de los observadores*, el eminente Bradley, habia leído algunos años ántes en la Sociedad Real de Lóndres; Godin saca de este trabajo importantes consecuencias, y aboga con Maupertuis por que se efectúen operaciones geodésicas en condiciones propias para la ilustracion del asunto. La Academia de Ciencias de París, dando muestra inequívoca de sus elevadas miras, toma la iniciativa, y obtiene los medios para llevar á cabo las expediciones al Perú y á Laponia, que habian de asentar definitivamente la consecuencia general de la figura,

segun los principios newtonianos, poniendo término á la famosa controversia que duró cerca de medio siglo, y que vale á un autor francés (<sup>19</sup>) el calificativo de *escándalo científico*. Y al llegar á este punto, me apresuro á consignar un nuevo tributo de admiracion á la gloriosa memoria de los dos primeros geodestas españoles, de aquellos eminentes oficiales de nuestra Armada, D. Jorge Juan y D. Antonio de Ulloa, que tan alto pusieron y mantuvieron su nombre en las apartadas regiones ecuatoriales.

Desde que, reconocida la mútua dependencia entre la figura del Globo terráqueo y la fuerza de gravedad, las mediciones con el péndulo se dirigieron al objeto geodésico, se echó de ver el exquisito esmero que requerian. Segun la opinion de Huygens, las indicaciones de sus *autómatas* en diferentes lugares, era el medio mejor de conocer las intensidades relativas de la gravedad, pareciéndole de menor importancia las acciones que podrian producirse en la máquina sobre el movimiento oscilatorio del regulador, que los errores anejos á la medida de la longitud del péndulo. Sin embargo, por los inconvenientes que llevaba consigo el exclusivo empleo del reloj de péndola, y creyendo atender á la necesidad de eliminar los efectos de temperatura, pues se comprendia que de no tenerlos en cuenta, las indicaciones del reloj ántes fueran termométricas que de tiempo ó de fuerza, se aceptó tambien el aparato especial de péndulo ó *péndulo de comparacion ó de experimentos*, que oscilando libremente, sometido sólo, en lo posible, á la gravedad, tuviese una forma sencilla, y con el cual se podrian lograr determinaciones absolutas y relativas.

Antes de las expediciones al Perú y á Laponia, se poseian pocas y muy imperfectas observaciones con el péndulo, y efectuadas en su mayor número en lugares relativamente próximos entre sí y al Ecuador, se apreciaban « insuficientes para

dar la seguridad de que por toda la superficie terrestre, la gravedad disminuye del Polo al Ecuador (<sup>20</sup>).» Investigar este punto era una parte interesante del programa científico de los expedicionarios, y los resultados que obtuvieron, aunque muy erróneos todavía (<sup>21</sup>), superaron en precisión á cuantos se conocían. Bouguer, con el llamado péndulo simple, hace observaciones en varios lugares, entre ellos el monte Pichincha, en el cual, según él, debía resultar la longitud del péndulo de segundos más pequeña que en otro cualquiera del Globo; y por otras, en Quito, pretende averiguar si existen irregularidades en el movimiento de rotación de la Tierra. Por su parte Godin y La Condamine, midieron también la longitud del péndulo de segundos: aquél, con un aparato de Graham, y el segundo, por medio de un péndulo de dos metros de longitud, y siguiendo el método de *concurros* ó *coincidencias* que Mairan había ideado y empleó el primero, aunque se suele atribuir equivocadamente á Borda. Nuestros sábios compatriotas cooperan con los franceses en algunos trabajos de péndulo, y efectúan de por sí unos muy notables en Quito, también con el llamado péndulo simple, y guardando inusitadas precauciones (<sup>22</sup>). Por el mismo tiempo, Maupertuis, y Clairaut, en Laponia, estudiaban la fuerza de gravedad, y hacían curiosos experimentos con péndulos de diversas sustancias.

La importancia de estas memorables expediciones no estriba principalmente en los resultados inmediatos que de ellas se obtuvieron, sino en que al poner éstos de manifiesto la irregularidad de la figura terrestre y sus causas, al descubrir que su investigación implica cuestiones tan complejas, demostraron la necesidad de una solución progresiva, que la análisis y la observación de 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 arcos terrestres. Movidos los autores por el laudable deseo de llegar á una solución suficiente, tratan en vano de acordarlos entre sí, y con los que daban los trabajos hechos casi simultáneamente en Francia, dentro de otras hipótesis de figura. Las observaciones sobre la fuerza de gravedad acusaban también un desacuerdo: con la disminución de latitud geográfica decrecía sin duda alguna la longitud del péndulo de segundos; pero sin guardar la ley prescrita por cualesquiera de las elipses meridianas determinadas por cada combinación de dos arcos. Léjos, 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 anomalías, en su mayor parte, á las modificaciones que la dirección 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 grandes cavidades internas. Además, como los incrementos de intensidad de la gravedad de uno á otro lugar se separasen ménos de los teóricos que los correspondientes de los valores lineales de los arcos terrestres de iguales amplitudes, esto indujo á pensar que, en general, las irregularidades en la distribución de la masa próximas á la superficie, eran muy influyentes en las mediciones de arcos, porque desviaban la dirección de la plomada, pero que sus efectos sobre la intensidad de la gravedad resultaban relativamente pequeños. Este orden de consideraciones, desarrollando ante los ánimos dificultades formidables, produjo en un principio natural desaliento, é hizo temer que por los procedimientos geodésicos conocidos no se podría lograr bastante aproximación.

Si los adelantamientos científicos alcanzados á mitad del si-

glo pasado pusieron de relieve tamañas dificultades, en ellos mismos se debían buscar nuevos elementos para vencerlas. ¡Tal es la índole de las investigaciones experimentales! Cada obstáculo que surge para la consecución de un objeto, es veneno fecundo de conocimientos que le engrandecen; y al mejorar la hipótesis, se extienden los límites del problema propuesto: cuando iluso piensa el hombre asir la verdad para contemplarla frente á frente, sólo encuentra entre sus manos un jirón del manto que la vela, y al volver de su sorpresa, la ve lejana, y creciendo en majestad y belleza.

Breve fué este momento de vacilación, presagio de nuevos progresos. Juzgóse con acierto que convenía precaver en lo sucesivo un origen de frecuentes errores, cual es la predisposición que nos inclina hácia todo aquello que parece regular y sencillo; que las hipótesis, si son admisibles mientras no se oponen abiertamente á los hechos, nunca tienen derecho á ser la última palabra de los problemas naturales, y que por esto, si de la figura esférica se pasó á la elipsoidal de revolución, á su vez no confirmada por las observaciones, ¿era acaso lógico, decían, esforzarse en cohonestar definitivamente los recientes datos dentro de otra supuesta figura? No había caído en olvido el desenlace de la polémica entre Newtonianos y Cassinistas: el rudo desengaño aconsejaba circunspección, tanto con respecto al grado de confianza que se debía atribuir á resultados de mediciones, cuanto en sacar consecuencias que podrían pecar de temerarias; comprendióse que éstas no eran rigurosamente aplicables sino á las localidades y en las circunstancias en que se hicieron las observaciones, y que, por lo tanto, para fundar un conocimiento aproximado de la figura terrestre, era indispensable, ante todo, apoyarse en gran copia de datos recogidos en muy distintas regiones de la superficie.

Triunfaban al cabo las ideas de Newton: Bouguer, el último

Académico apóstol del cartesianismo, se convierte en propagador de la nueva doctrina. Con la ley universal de la materia, Newton habia indicado en la análisis infinitesimal la piedra de toque que la avalora; él no la utiliza en la determinacion de la figura de la Tierra, y se vale de un medio indirecto, que sólo su ingenio prodigioso basta á suplir. Desde entónces, esta teoría no habia adelantado ni un paso; pero á seguida de los trabajos en el Perú, comienza la no interrumpida série de investigaciones de Clairaut, Maclaurin, Euler, Alembert, Lagrange, y del gran Laplace, que la elevan á su mayor generalidad, demostrando que la figura elipsoidal conviene con las condiciones del equilibrio de una masa fluida, poco diferente de una esfera, formada por capas cuya densidad siga una ley cualquiera, y animada de un movimiento de rotacion uniforme alrededor de un eje invariable.

Colocado ya el péndulo por Bouguer en el lugar que como instrumento geodésico le señaló Newton (<sup>23</sup>), le vemos concurrir con las mediciones de arcos terrestres á valuar el achatamiento, con importancia creciente, al par que se perfeccionaban las teorías de Huygens y los medios para vencer la esencial dificultad: reducir las observaciones hechas con el péndulo físico al caso del ideal ó simple.

No esquivaba Bouguer esta dificultad, ántes la acomete, y francamente se esfuerza en vencerla. Consistia en los dos principales extremos: conocer la longitud del péndulo de experiencias y la duracion de un número de oscilaciones isócronas y en el vacío. Apercebido de la incertidumbre que cabia en el primero, iba, segun su propia frase, directamente al objeto, dando al hilo de pita de su péndulo una determinada longitud. No satisfecho por completo con el llamado péndulo simple, tanto porque temia irregulares cambios en ésta, cuanto por el recelo, harto justificado, de que el punto fijo durante el movimiento



oscilatorio no correspondiese con el de suspension, propone y prefiere el aparato conocido por *péndulo invariable*. Respecto á la reduccion al vacío, se limitó á calcularla por la disminucion que ocasionaba el medio en el peso del péndulo. No quiere esto decir que Bouguer desconociese la teoría del movimiento á través de los fluidos, ni los numerosos experimentos en que se fundaba; no podia ignorar los que Riccioli, Deschales, Frénicle, Mariotte y Lahire habian efectuado sobre el fenómeno primordial del libre descenso, ni que Newton, al dar forma al asunto, elevándole á grande altura por sus aplicaciones inmediatas á la Astronomía física, á la Náutica y á tantos ramos de la industria, consideraba ya como origenes de la resistencia al movimiento, además de la inercia, la adherencia del fluido al cuerpo sólido, su cohesion, tenacidad, y el rozamiento producido; Bouguer sabia todo esto, tenia noticia de las curiosas investigaciones sobre la ley de resistencia, efectuadas por Hawksbee y Desaguliers, y tambien de que Leibnitz distinguia en la resistencia total del medio las partes absoluta y relativa; lo que juzgó fué que dentro de cada oscilacion del péndulo tales causas no influirian más allá de una millonésima parte de la duracion, y que áun repetidas y acumuladas las diferencias, no merecian ser objeto de correccion especial.

No puedo pasar en silencio la parte que tomó España en el caudal de observaciones hechas con el péndulo durante el periodo que cierran las célebres de Borda. D. Jorge Juan y D. Antonio de Ulloa tuvieron en el seno del Cuerpo de la Armada dignos sucesores en saber y patriotismo. Bajo la inmediata direccion de Varela, Tofiño, Mazarredo, Císcar, Alcalá Galiano, Churruca y otros se efectuaron numerosas expediciones científicas, que nos habian enriquecido con mapas hidrográficos de las costas de la Península y de nuestras posesiones en distintas partes del Globo (\*), cuando Francia, en los dias de su revolucion,

se proponia el establecimiento del sistema de pesas y medidas, fundado en la longitud del péndulo teórico de segundos, á 45° de latitud y al nivel del mar. El Gobierno español, inspirándose en tendencias de progreso, decretó que el encargo que á la sazón desempeñaban Malaspina y Bustamante se extendiese á medir la longitud del péndulo de segundos en vários lugares, eligiéndolos con preferencia en latitudes australes correspondientes á las boreales en que observáran los franceses; entendiendo que estas operaciones debian de contribuir de un modo eficaz á ilustrar la debatida cuestion sobre la semejanza de la figura en uno y otro hemisferio. Valiosos resultados prometia la empresa; pensando sus autores que «para formar idea »de la figura del meridiano es el mejor medio el del exámen »del péndulo en dos lugares propios para deducir la alteracion »que ha tenido (<sup>25</sup>).» D. Gabriel Císcar, refiriéndose á estas observaciones que tuvo la satisfaccion de calcular, aunque no por procedimientos tan perfeccionados como los que empleó despues Mathieu (<sup>26</sup>), opina «que forman una coleccion preciosa, »suficiente por sí sola para determinar, con despreciable diferencia, la verdadera figura de la Tierra (<sup>27</sup>);» y por más que á este juicio no pueda concederse una incondicional validez, los trabajos de Malaspina rayan á la altura de los mejores de aquel tiempo.

En esta frase de nuestro inolvidable compatriota Císcar se descubre un achaque cuya influencia se ha hecho sentir todavía en épocas más recientes, y que proviene de un apasionado criterio sobre la precision y alcance de las observaciones. Aquella extremada confianza que veces sin cuento condujo á conclusiones tan erróneas, aquellas imaginarias causas para cohonestar desacuerdos que parecieron exorbitantes, la pretension en tantas ocasiones emitida, cuantas frustrada, de poseer por medicion un conocimiento numérico digno de ser siempre

aceptado como exacto, no dimanar de otro origen. Multitud de ejemplos encontramos dentro del reducido campo de este Discurso. Es uno, y elocuente, la famosa controversia sobre el esferoide alargado ó achatado hácia los polos: para Cassini y los que opinaban como él, los resultados de la medicion de arcos son exactos, en tanto que creian encontrar en ellos una *prueba geoméricamente cierta*; no se cuidaban de su inherente incertidumbre ni áun de limitar la consecuencia á las localidades en que se obtuvieron; partiendo de que el hecho estaba completamente demostrado, sostienen que, «del acortamiento del péndulo de segundos en menores latitudes podria deducirse, cuando más, que la Tierra es un esferoide ménos alargado hácia los polos que lo sería si estuviera aún en su estado primitivo, es decir, sin el movimiento diurno (\*).» Otro ejemplo nos ofrecen las investigaciones á que dió ocasion la llamada *reciprocacion del péndulo*. Decíase que la direccion de la gravedad no podia ser constante en un mismo lugar de la Tierra, á causa de las diferentes acciones del Sol y de la Luna con sus situaciones y distancias, y tambien porque las mareas hacian variar continuamente el centro de gravedad de la masa terrestre. Los experimentos de Calignon de Peireins con un largo péndulo, los de Riccioli y de Grimaldi, y los más esmerados en el Cuartel Real de Inválidos, en París, obligaron á confesar que no era perceptible la reciprocacion dentro de los medios que se tenian para observarla. ¿Qué otra cosa más que el afan de encontrar desde luégo explicacion á las discrepancias entre sus resultados geodésicos, hizo que Boscowich atribuyese gratuitamente éstas á que la masa terrestre habia de ser variable en cantidad por continuas exhalaciones? Liesganig achaca sistemáticamente á las influencias locales los groseros errores de que adolecia su medicion de arco de meridiano, y Bouguer intenta que la marcha de su reloj le instruya

sobre la uniformidad de la rotacion diurna. Y por último, en los proyectos para la adopcion de las ilusorias unidades de medida naturales (<sup>29</sup>), se tropezaba en semejantes escollos, cuando al adornar á los tipos con los pomposos epítetos de exactos, invariables y perpétuos, se pretendia que quedarian justificados para lo sucesivo por la precision de las operaciones fundamentales.

Un adelantamiento de aquellos que marcan época vino á coadyuvar con vigoroso impulso al mejor éxito de los trabajos geodésicos, satisfaciendo una necesidad que el grado de precision de que ya eran susceptibles ponía de relieve. Me refiero á la solucion analítica del «Problema general de las mediciones» por el «Método de los mínimos cuadrados.» El insigne Gauss, primero, y casi al mismo tiempo, Legendre, establecen los cimientos del «Método,» el cual, poco extendido en un principio, luégo se abre camino porque muestra su excelencia; al arbitrio de Tobías Mayer que, aunque tan imperfecto, señalaba un primer paso, al procedimiento de Cauchy, opone otro en armonía con la índole y caracteres de los errores inevitables, que conduce racionalmente, valuando al propio tiempo su incertidumbre, á los resultados que deben aceptarse en lugar de los verdaderos, siempre desconocidos. ¿He menester, por ventura, encomiar una de las más felices aplicaciones del análisis algebraico á la filosofía natural, y la importancia de sus consecuencias? Es la Medida, Señores, en su acepcion más lata, llave de nuestros conocimientos experimentales: desde la apreciacion material concreta que valora efectos en magnitud relacionados con un fenómeno, hasta el razonamiento ú observacion de ideas que induce á la Ley, todo el concertado sistema de operaciones que se designa por observacion científica, estriba esencial y necesariamente en evoluciones del juicio cuantitativo. Y si sometemos al cálculo fenómenos explicados por relaciones de cualidad, es por medio de

hipótesis, que nos permiten llegar á la apreciacion en cantidad. Dice Humboldt que los números, estos últimos geroglíficos que subsisten en nuestra escritura, son para nosotros, con más propiedad que lo fueron para antiguas escuelas, las fuerzas mismas del Cosmos; y nada es más cierto: detrás del número se encuentra la idea, el razonamiento, el principio inmutable. Si el valor lineal del arco terrestre, de Picard, si las cifras que medían entónces la intensidad de la fuerza de gravedad en la superficie, hubiesen sido más erróneas, no sirvieran de pedestal al génio para llegar al descubrimiento de la ley de atraccion y de la figura esferoidal del Globo: ésta se ve confirmada con mejores datos que la definen más y más, sin que en esta marcha progresiva sea lícito fijar el momento en el cual el asunto pueda considerarse agotado.

El péndulo y el anteojo unido al círculo graduado fueron los instrumentos revolucionarios de la Astronomía y de la Geodesia; y aunque á primera vista pudieran parecer á diversos objetos dirigidos, 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 rotacion uniforme de la Tierra. Hábil artífice subdivide el círculo del goniómetro; la ley del isocronismo indica partes iguales de tiempo de cualquier magnitud. En la combinacion de estos instrumentos se ven así enlazados los primordiales términos: fuerza, espacio y tiempo. El péndulo en reposo y en movimiento, obedeciendo á la fuerza de gravedad es, en suma, el que por la intensidad y direccion en la superficie de la Tierra determina su figura matemática;

y con respecto á la Mecánica de los cielos, el principio de la gravitacion, 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.

Cuando Purbach empleó el primero la plomada en el goniómetro, creia que ésta señalaba precisamente la direccion del rádio de la esfera; para Galileo, la plomada en movimiento sometida á una fuerza continua, de invariable é 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 significacion científica: el preciado aparato que mide el movimiento con el tiempo y en el espacio, fué tambien, desde entónces, el aparato físico que pesa, y que permite remontarse á 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 distribucion de la masa terrestre, debian producir efectos, en cantidades muy considerables, sobre la intensidad y direccion de la gravedad; y porque convenia investigar la accion bajo ambos aspectos, indicó el procedimiento para obtener la *desviacion 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 éstos, 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, segun la opi-

nion de Laplace, la atraccion mútua 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 torsion, ó 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.

Iba á entrar nuestro siglo en el cómputo de los tiempos, cuando Francia, que marchaba con legítimo orgullo á la cabeza de las demas naciones en la ciencia geodésica, intentó con una memorable operacion, vincularse esta supremacía. Y en verdad que era tal el cúmulo de conocimientos logrados en poco más de un siglo, y tan grande la precision de los trabajos fundamentales del *Metro*, que se explica la ilusion de que, respecto á la figura terrestre, el hombre hollaba los umbrales del Capitolio <sup>(50)</sup>; los resultados de las mediciones de arcos, de observaciones con el péndulo y los deducidos de fenómenos astronómicos, concordaban hasta un punto que se presumia muy difícil aventajarlos en lo venidero: al desaliento habia sucedido una excesiva estimacion. Por singular contraste, esto acontecia casi al tiempo que las excelentes operaciones dirigidas por Mudge al otro lado del Estrecho, indicaban de nuevo la necesidad de tener en cuenta las acciones locales sobre la direccion de la vertical; necesidad confirmada poco despues por los interesantes estudios de Zach en las inmediaciones de Marsella <sup>(51)</sup>. Un profundo naturalista <sup>(52)</sup> observa que todos los siglos pretendieron estar muy próximos del término de los conocimientos; pero que al actual distingue el espíritu de crítica científica: esta es, á mi entender, una de sus más preciosas conquistas, la que no dejará olvidar, ni por un momento, que nuestro destino nos condena á perpétua investigacion.

Borda habia hecho sus notabilísimas observaciones con el

péndulo: de la bala de mosquete que Feuillée colgó de un hilo de pita <sup>(32)</sup> al aparato del eminente marino, astrónomo y geodesta, se señalaba un paso gigantesco: el cuchillo de suspension, de fino acero, que sólido muro sustenta, el delgado hilo metálico de cuatro metros de longitud, la pequeña esfera de platino, todos los detalles procura Borda que se ajusten á los principios teóricos. Tampoco en las mediciones omite precaucion de ningun género; obtiene inmediatamente la longitud de su péndulo; la duracion de las oscilaciones por el método de coincidencias, cuyos instantes observa, valiéndose de un anteojo colocado á corta distancia; reduce esta duracion al caso del isocronismo en el vacío, y se cuida para ello con exquisito esmero de la temperatura y presion atmosféricas. Sin embargo, Laplace, encomiando el mérito de estas observaciones, demostró que el aparato adolecia de algunos inconvenientes que era preciso evitar <sup>(34)</sup>; que, en rigor, no podia suponerse el péndulo en iguales condiciones que otro formado de una sola pieza, sino miéntras se empleasen oscilaciones de muy corta amplitud; además, que al deducir la longitud del péndulo teórico, era necesario hacer una nueva correccion, debida á la forma cilíndrica circular del filo del cuchillo de suspension, cuyo radio podria exceder de una centésima de milímetro, lo cual influiria de una manera considerable, especialmente cuando se empleasen péndulos pequeños. El primer defecto inclinaba á dar la preferencia al péndulo invariable, construido de una sola pieza, con una sustancia homogénea, y de forma regular muy sencilla; pero siempre subsistia en pié la incertidumbre en la situacion del eje de giro sobre la superficie de contacto del cuchillo con la plana del sosten. Fundado en la reciprocidad de los ejes de suspension y de oscilacion, Bohnenberger propone, á principios de siglo, la construccion del péndulo con ejes recíprocos ó *péndulo de inversion* <sup>(35)</sup>. A las propiedades del invariable,



reune la de servir para determinaciones absolutas sin necesidad de hallar directamente la situacion del centro de oscilacion, quedando teóricamente anulados los inconvenientes que provienen de la forma de los filos de los cuchillos, porque el teorema fundamental se verifica respecto de la más corta distancia entre las dos superficies cilíndricas (<sup>36</sup>), y los no de menor cuantía debidos á la presencia del aire. A pesar de estas radicales ventajas, el péndulo de Bohnenberger permaneció algun tiempo casi desapercibido, compartiendo la preferencia el aparato de Borda, y el llamado invariable.

Desde principios del siglo actual tomaron notable incremento las observaciones con el péndulo. Biot, Arago, Mathieu, Bouvard y Chaix las prosiguen por el método de Borda, en vários puntos de la cadena del meridiano de París, prolongada hasta las islas de Unst y de Formentera; Kater, ignorante al parecer del invento de Bohnenberger, como acaso lo estuvo Prony cuando proyectó el aparato con tres ejes de suspension (<sup>37</sup>), hace experimentos con el de péndulo de inversion, que realiza con fidelidad las indicaciones de Bohnenberger, en Lóndres y en algunos principales vértices de la red inglesa, patentizando una vez más la existencia de grandes irregularidades en la direccion y energía de la fuerza de gravedad; surca Freycinet el proceloso mar, y las costas de Africa, América, Australia y las islas del Pacifico son teatro de la abnegacion científica del sábio francés; siguele en breve Duperrey, y mide tambien en puntos del hemisferio austral la intensidad de la gravedad con los mismos péndulos invariables, y por semejantes procedimientos; el célebre Sabine, hace esmeradas observaciones con el péndulo, dicho de Kater, en muchos lugares distribuidos desde la tórrida zona en las costas del Africa y del Brasil, hasta las glaciales de Noruega, Groenlandia, Spitzberg, y de las islas Melville. y contribuye con multitud de investigaciones al

estudio de la figura y constitucion física del Globo. Miéntas se efectuaban éstos y otros trabajos, entre los cuales son dignos de especial mencion los de Foster y los de Luetke, en apartados puntos de ambos hemisferios, por iniciativa de Francia se media el arco del paralelo medio; Inglaterra proseguia sus extensas operaciones geodésicas en la India; y bajo la hábil inspiracion de Struve se continuaban las del gran arco ruso-escandinavo que se ciñe al Continente desde las bocas del Danubio hasta el helado mar del Norte. Emprende Alemania las mediciones de arcos, y conquista desde luégo un lugar en primera línea; Gauss y Schumacher preceden al gran Bessel, al fundador de la Geodesia de nuestros días. A él se deben las reglas que presiden en la construccion del actual péndulo de forma simétrica con recíprocos ejes; él, prosiguiendo las investigaciones experimentales y teóricas de Dubuat, demostró cuán imperfecta era la fórmula para la reduccion al vacío que hasta entónces se aplicaba, porque la correccion debe depender de la figura, dimensiones y densidad del cuerpo oscilante, á causa del movimiento transmitido al medio; importantísima circunstancia de que se ocuparon tambien Sabine, Baily y Poisson. Con el admirable aparato fundado en la ingeniosa idea de Hatton (\*), Bessel se propuso llegar á resultados cuya bondad no la limitaran los defectos de construccion, sino sólo el esmero de las observaciones y su número. Si alguna cosa diera la medida sobre el mérito singular del Director del Observatorio Astronómico de Königsberg, sería el hecho de que, á pesar de haberle seguido eminentes geodestas, sus obras encierran el gérmen de casi todos los posteriores progresos, sus teorías y procedimientos forman una clásica coleccion de modelos, y los resultados experimentales que nos legó son de tal precision, que áun en la actualidad es difícil exceder.

La concordancia entre los elementos del esferóide terrestre obtenidos separadamente por Bessel y Airy por diferentes métodos de cálculo, y sometiendo á razonado expurgo las mejores mediciones de arcos, indujo de nuevo á suponer que un aumento de datos, sólo ocasionaria 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 consideracion, descansaba en la hipótesis tácita de que las desviaciones de la vertical reunian los requisitos propios de los errores que se dicen *accidentales*. Los trabajos que proseguian los ingleses en la India, y los rusos en su vasto territorio, combatieron bien pronto este parecer, que se debilita al par que nuevos datos más idóneos y precisos, concurren á la valuacion de los elementos del esferóide. Everest y James, Clarcke y Struve, Schubert y Pratt, y otros geodestas modernos se ocupan del asunto, procurando tener en cuenta las acciones locales; descúbreanse enormes discrepancias entre conclusiones numéricas derivadas de mediciones de arcos en la India y en Europa, y se pronuncia una marcada tendencia hácia un aumento, no sólo en las dimensiones terrestres, mas tambien en la magnitud del achatamiento, aproximándose éste á las cifras que le asignan las observaciones con el péndulo <sup>(59)</sup>. Estas adquieren, de derecho, una creciente importancia, á que ántes parecia oponerse su dependencia de la constitucion geognóstica de la localidad, y de la relacion de densidades en la masa interna, dependencia que se juzgaba de ménos bulto en las mediciones de arcos; hoy, que está demostrada la eficaz cooperacion 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 cuestion planteada bajo su genuino carácter: *la investigacion de la forma como funcion de la fuerza*. Sometidas á medida las anomalías locales, su estudio constituye un asunto integrante y fundamental; ya no cabe admitir, 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* á cada caso. Y porque todos los resultados geodésicos dependen más ó menos de estas anomalías, ni la medicion de arcos terrestres, ni las observaciones con el péndulo, pueden constituir procedimientos exclusivos.

No he de detenerme en recordaros, que bien los conoceis, los recientes y numerosos trabajos geodésicos, tantas veces encajados en este augusto recinto. Réstame sólo mencionar la gigantesca empresa, cuyos anales son depositarios de los adelantamientos modernos. El culto á la ciencia, ante el cual cede cualquier sentimiento de nacionalidad, salvó las fronteras, y, fomentando el espíritu de asociacion, contribuyó eficazmente á colocar á la Geodesia en su actual floreciente estado. Baeyer, nuestro ilustre y venerable colega, inicia hace veinte años un proyecto, y establece las bases científicas para la «Medicion de grados en la Europa Central (<sup>40</sup>)», que en breve adoptan, engrandeciendo el objeto, todos los Gobiernos del Continente europeo, los cuales forman con sus delegados oficiales el alto Cuerpo científico conocido por «*Asociacion geodésica internacional.*» No es España de las últimas naciones en ofrecer su concurso, que si valioso por la situacion geográfica de la Península y las condiciones de su suelo, no lo era ménos á causa de sus ya emprendidos trabajos. Cuanto es del dominio del Problema geodésico se trae al libre y luminoso terreno de la discusion, y se somete á maduras deliberaciones; y en esta pacífica lucha, todos los países, todas las individualidades rivalizan moyidos por noble emulacion. 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 aspiracion mantiene y fortifica.

Las observaciones con el péndulo ocupan el lugar que les corresponde en el vasto programa de la «Asociacion;» puntos importantes de estudio son los menores detalles sobre la disposicion y uso de los admirables aparatos que los Sres. Repsold construyen, conservando este nombre á la altura que supo alcanzar el fundador de tan célebres talleres. Conducido por ténue alambre el poderoso agente que avanza al pensamiento, conviértese en *micrómetro del tiempo*, y es auxiliar eficazísimo para lograr tan extremada precision en la longitud del péndulo de segundos, que se valúa la incertidumbre en muy corto número de milésimas de milímetro. ¡Elocuente cifra si se considera la multitud de delicadas operaciones de que depende su obtencion! Y sin embargo, ¿puede la Geodesia declarar que ha llegado á la aproximacion suficiente, y que sería supérfluo procurar aumentarla? No, en verdad: por lisonjeros que parezcan triunfos semejantes, forzoso es reconocer cuán limitado es todavía el alcance de los actuales medios de apreciacion, y cuántas hipótesis nos impone nuestra ignorancia sobre la accion de las causas. 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 atraccion, utilizando con mejor éxito la idea embrionaria de Francisco Bacon, insinuada de nuevo por Herschel y por Siemens. ¿Qué hacemos en las observaciones con el péndulo sino suponer que la gravedad no es dependiente, ó á lo ménos que no lo es por relacion inmediata de las demas fuerzas naturales? ¿El movimiento oscilatorio responde estrictamente á las causas determinantes de la figura matemática?

Los adelantamientos en las ciencias físicas consienten ya formular conjeturas que, de realizarse, colocarían á la ley de NEWTON respecto al movimiento universal, á la manera que lo está la hipótesis de la esfericidad en el Problema de la figura de la Tierra, en el punto de partida de verdades sin cuento, de un orden ignorado.

Voy á llegar al término de mi tarea. El péndulo, el instrumento que bajo la forma bastarda del *péndulo explorador*, cuyo origen se remonta á la misteriosa varilla de la Leyenda, servía ya á la impostura, doce siglos ántes de Galileo, para cosechar los abundantes frutos que le brindaba la supersticiosa ignorancia, explora hoy realmente el seno de la Tierra, revelando tesoros más preciosos que los que en vano se prometían entónces. Es el aparato que pesa, mide y cuenta; símbolo en que se ve cifrada la vida universal: desde la vibrante molécula, causa de nuestra sensación, al planeta recorriendo su órbita en vertiginosa carrera, el sistema de cuerpos cósmicos, toda la materia vive oscilando sin cesar impulsada por sus inmanentes fuerzas. Donde quiera que dirijamos la vista, allí donde la inteligencia domine á la fuerza, encuéntranse 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 móvil de la eternidad, y es forma relativa que radica en la esencia de nuestro ser, y bajo la cual nos es dado concebir el ritmo del Universo.

Una propiedad notabilísima del péndulo ha venido en estos últimos tiempos á dar vuelo á curiosas investigaciones. El movimiento rotatorio del Globo, cuya más palmaria prueba se intentó encontrar en las desviaciones de los graves que caen con libertad, residía en el giro aparente del plano de oscilación del péndulo al rededor de la vertical. Lo que quizá entrevió

Viviani <sup>(41)</sup>, Leon Foucault lo publica, y cada grano de arena que el gigantesco péndulo del Panteon lanza lejos de su camino, apela de aquella sentencia que fulminó sobre Galileo un incompetente tribunal.

Permitidme aún que, cediendo á un puro sentimiento pátrio, os dirija algunas palabras. Luengos años han transcurrido desde que uno de mis predecesores, al ocupar este punto de honor, os manifestaba en sentida y elocuente frase el vivo placer que experimentaba por el patrocinio de la Academia hácia los en aquella época nacieses trabajos geodésicos, y traia á la memoria el voto de nuestro insigne Jovellanos: ¡Ojalá que, reuniendo tantas luces astronómicas y geométricas como andan dispersas y ociosas por nuestra juventud militar, se las consagre á una nueva y exacta Carta de nuestra Península! <sup>(42)</sup> Antes, mucho ántes que Jovellanos, habia ansiado D. Jorge Juan la realizacion de tan fecunda idea. A mediados del siglo pasado trazó su plan para formar un mapa general de España: una base geodésica central, séries ó cadenas de triángulos, siguiendo los rumbos de la aguja, otros puntos trigonométricos diseminados en los espacios entre las séries, todo lo dispone con orden y concierto; mas le parece difícil disponer de suficiente personal y procurarse el indispensable material de observacion; y ante el plazo de diez á quince años juzga, «que el proyecto tiene apariencias de que no se vea el fin á la obra <sup>(43)</sup>.» Así sucedió por entónces, y despues con otros intentos aún más asequibles, á pesar de que, como asegura Jovellanos, se poseian ya tantas luces astronómicas y geométricas. ¡Cuál no seria la complacencia de aquellos buenos patricios, viendo ahora en segura via de ejecucion el mapa topográfico, cimentado en esmeradas observaciones geodésicas, necesidad hoy imprescindible

para los pueblos que aspiran á un lugar en la civilizacion moderna! España, que hace casi un siglo se asoció al proyecto francés de unificacion de pesas y medidas, alcanza al presente la gloria de que uno de sus hijos esté á la cabeza de la «Comision internacional del Metro,» y mira al mundo científico aclamar una y otra vez al mismo Académico español Presidente de la «Asociacion geodésica internacional.» ¡Feliz yo, si, en esta solemne ocasion, acertara á dar público testimonio del valioso patrocinio que nuestros recientes trabajos geodésicos deben á la Academia; y más feliz todavía si me contais en el número de los geodestas que supieron merecerlo!

Hé aquí, Sres. Académicos, cuanto creo oportuno someter á vuestro exámen sobre el tema que me propuse: si con este tosco boceto, desprovisto de las galas de la elocuencia, que no poseo, he abusado de vuestra atencion, os demando encarecidamente que no midais por él mi deseo de acierto. Mas ántes de que el último de vosotros tome asiento en esos escaños; ántes de que mi corazon palpite bajo el emblema de la Academia, salga del fondo de mi alma una enérgica protesta contra la pretendida incompatibilidad entre la Ciencia y la más sublime aspiracion del hombre: que la Ciencia vivifica, nunca marchita elevadas creencias; fuente es de ventura, puerto de refugio en nuestra atribulada y mísera existencia; sólo la ignorancia ó una necia vanidad desconocen su valía. El amor á la Verdad hace al varon justo; y al buscarla con ánimo sereno donde quiera que se pueda encontrar, guiando nuestros pasos la antorcha de la Razon, y apoyándonos en el báculo de las experiencias, acatamos un supremo precepto que con caractéres indelebles grabó en la conciencia de los humanos la INFINITA SABIDURIA.



## NOTAS.

---

(<sup>1</sup>) *De Cælo*, L. II.

(<sup>2</sup>) J. F. W. HERSCHEL. *Discurso sobre el estudio de la filosofía natural*. Traducido por D. Gerónimo del Campo. Madrid, 1845.

Pinta el autor con vivos colores el estado científico de aquellos tiempos, y exclama: «Si la lógica de aquella bárbara época puede con razón definirse: el arte de hablar ininteligiblemente sobre cosas que se ignoran, debe considerarse su Física como una reflexionada preferencia de la ignorancia al saber en materias de experiencia y de uso cotidiano.»

(<sup>3</sup>) A. MAYER. *Dissertatio Physico-mathematica de deviatione et reciprocatone penduli*. Gryphiæ, 1767.

(<sup>4</sup>) J. B. BENEDICTI. *Diversarum speculationum math. et phys. liber*. Taurini, 1585.

(<sup>5</sup>) DELAMBRE. *Astronomie du moyen-âge*.

(<sup>6</sup>) T. YOUNG. *A course of lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts*. London, 1807.

(<sup>7</sup>) *Horologium oscillatorium*, 1673.

(<sup>8</sup>) HUMBOLDT. *Cosmos*.

(<sup>9</sup>) HUMBOLDT. *Cosmos*.

(<sup>10</sup>) *Traité de la lumière*, où sont expliquées les causes de ce qui luy arrive dans la reflexion et dans la refraction, et particulièrement dans l'étrange refraction du cristal d'Islande. Avec un *Discours de la cause de la Pesanteur*. Par M. Christian HUYGENS, Seigneur de Zeelhem. Leide, 1690.

(<sup>11</sup>) «Cassini les habia dado instrucciones especiales, porque se dudaba de si el acortamiento del péndulo de segundos, observado en Cayena por Richer, era una verdad, ó provenia de errores de observacion.» DELAMBRE. *Histoire de l'Astronomie moderne*.

(<sup>12</sup>) Delambre, á quien su cargo de Secretario perpétuo de la Academia de Ciencias de París facilitó tener á la vista los documentos auténticos, afirma que hasta Newton nadie habia hablado todavía del achatamiento terrestre, y dice expresamente «no he visto estampada con anterioridad esta palabra en ninguno de los documentos de la Academia.» *Histoire de l'Astronomie moderne*.

(<sup>13</sup>) *Lettres de DESCARTES*. T. II.

(<sup>14</sup>) DUTENS. *Recherches sur l'origine des découvertes attribuées aux modernes*.

(<sup>15</sup>) FRÉRET. *Mém. de l'Acad. des Inscriptis*. T. XVIII.

(<sup>16</sup>) *Mém. de l'Acad. des Sciences de Paris*. 1713.

(<sup>17</sup>) *Mém. de l'Acad. des Sciences de Paris*. 1735. Cassini de Thury, refiriéndose á la forma alargada hácia los polos, dice con muy poca oportunidad: «Cette découverte si utile aux sciences et à la Navigation, et en même temps si glorieuse à la France, sera due à l'Académie.»

(<sup>18</sup>) J. BERNOULLI. *Essai d'une nouvelle Physique céleste*. Paris, 1735.

(<sup>19</sup>) MONTFERRIER. *Dictionnaire des Mathématiques*.

(<sup>20</sup>) MAUPERTUIS. *La figure de la Terre*.

(<sup>21</sup>) *Histoire de l'Acad. des Sc.* 1735. Los Académicos que fueron al Perú confiesan que «era imposible responder de una décima de línea en la longitud del péndulo de segundos.»

(<sup>22</sup>) *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. Entre otros muy curiosos detalles, mencionan «queal aproximarse al aparato, se cubrían la boca lo mejor que permitia la precision de haber de respirar, para que el aliento no interrumpiese las oscilaciones, y en esta conformidad notaban cuando el péndulo y reloj de péndola fenecian una vibracion unánimes.» D. Jorge Juan fué el primero que aplicó el célebre teorema de Clairaut.

(<sup>23</sup>) *Principia*, L. 3. «Et certius per experimenta pendulorum, deprehendi possit, quam per arcus geographicè mensuratos in meridiano.»

(<sup>24</sup>) *Memorias sobre las observaciones astronómicas hechas por los navegantes españoles en distintos lugares del Globo, ordenadas por D. JOSEF ESPINOSA y TELLO*, Gefe de escuadra de la Real Armada. Madrid, 1809.

(<sup>25</sup>) *Experiencias sobre la gravedad hechas con un péndulo invariable en los puertos de Europa, América y Asia, Mar Pacífico y Nueva Holanda* en el viaje de las corbetas *Descubierta y Atrevida*. (En la obra citada anteriormente, *Memorias sobre las observaciones astronómicas hechas por los navegantes españoles*, etc.)

(<sup>26</sup>) *Connaissance des Temps* pour l'an 1816.

(<sup>27</sup>) Esta cita se refiere á un manuscrito firmado por Ciscar y fechado en 10 de Mayo de 1821, existente en la Biblioteca de la Escuela especial de Caminos, Canales y Puertos, que debia servir de *Prólogo* á una segunda edicion, no llevada á efecto, de la *Memoria elemental sobre los nuevos pesos y medidas decimales fundados en la Naturaleza*. Madrid, 1800. En este manuscrito se consigna que: «Las observaciones hechas en Madrid en 1800 con los cuatro péndulos descritos en dicha nota (nota II de la *Memoria elemental*, etc.), comparadas con las hechas en Paris el año anterior, manifiestan con suma precision la verdadera diferencia de la gravedad en los dos puntos expresados, segun se demostrará en una Memoria dirigida á este objeto, cuya publicacion no ha podido verificarse por la necesidad de atender á otras de mayor consideracion ó de mayor utilidad, y por causas harto notorias que parece inútil especificar.» No tengo noticia de que esta Memoria viese la luz pública, así que la cifra que da Ciscar en la nota de los *Apuntes sobre medidas, pesos y monedas*. Madrid, 1821,» página XXVI, para la verdadera longitud del péndulo simple que oscila los segundos en Madrid, sólo puede aceptarse como una curiosa noticia, sin los requisitos propios de un resultado de observaciones.

(<sup>28</sup>) MAIRAN. *Mém. de l'Acad. des Sc. de Paris*, 1720.

(29) SCHUMACHER'S *Jahrbuch für* 1840.

BESSEL'S *populäre Vorlesungen über Wissenschaftliche Gegenstände*. Hamburg, 1848.

(30) *Histoire de l'Astron. au dix-huitième siècle*, par DELAMBRE. Paris, 1827: «Nous connaissons la grandeur et la figure de la Terre autant qu'il est nécessaire pour les opérations les plus délicates de l'Astronomie, de la Géographie et de la Navigation. Que pouvons-nous raisonnablement demander de plus?»

(31) *L'attraction des montagnes*. Avignon, 1814.

(32) HUMBOLDT. *Cosmos*.

(33) *Observations faites aux Indes Occidentales en 1704, 1705 et 1706* par le P. FEUILLEE. *Mémoire. Mém. de l'Acad. Roy. des Sciences*, 1708.

(34) *Sur la longueur du pendule à secondes. Connaissance des Temps* pour l'an 1820.

(35) *Astronomie* von J. G. BOHNENBERGER. Tüb. 1811. Es de creer que Kater ignorase la existencia de esta obra cuando dió como invencion suya lo que estaba ya publicado.

(36) *Addition au Mémoire sur la longueur du pendule à secondes* par M. LAPLACE. *Connaissance des Temps* pour l'an 1820.

(37) PRONY. *Leçons de mécanique analytique données à l'Ecole Royale Polytechnique*. Paris, 1815.

(38) J. GEHLER. *Physikalisches Wörterbuch*. Leipzig, 1827.

(39) *Untersuchungen über die Gestalt der Erde*, von Dr. PHILIPP FISCHER Darmstadt, 1868.

*Ueber unsere jetzige Kenntniss der Gestalt und Grösse der Erde*, von JOHANN BENEDICT LISTING, Göttingen, 1872.

(40) *Ueber die Grösse und Figur der Erde*. Berlin, 1861.

(41) ANTINORI. *Notice extraite des manuscrits autographes de Vincent Viviani*, 1851.

(42) *Discursos leídos ante la Real Academia de Ciencias exactas, físicas y naturales en la recepción pública de D. Frutos Saavedra Meneses*.

(43) *Método de levantar y dirigir el mapa ó plano general de España*, con reflexiones á las dificultades que pueden ofrecerse; por D. JORGE JUAN, Capitan de navío de la Real Armada. (En la obra *Memorias sobre las observaciones astronómicas*, etc.)

DISCURSO

DE

DON CARLOS IBAÑEZ É IBAÑEZ DE IBERO

EN CONTESTACION AL PRECEDENTE.

SEÑORES:

La primera lectura del Discurso que acabais de oír, y al cual tenia yo el deber de contestar en nombre de esta Real Academia por encargo de nuestro venerable Presidente, produjo en mi ánimo dos sentimientos de todo punto encontrados: vivísimo júbilo por la nueva y valiosa producción científica del Sr. D. Joaquin Barraquer; intensa turbación y profundo desaliento, producidos por la imposibilidad en que me veía de comentar un escrito tan bello, tan erudito, tan rico en pormenores, tan acabado, en fin, que dejaba completamente segado el vasto campo del tema elegido, y aún espigado de tal suerte, que era locura el intento de allegar algunos restos de mies con que amenizar mi respuesta. Pero una nueva lectura me repuso algún tanto, porque entónces advertí que, si el Sr. Barraquer habia hecho gala de sus extensos conocimientos geodésicos, al reseñar desde su origen hasta el primer tercio de nuestro siglo las tentativas del hombre para conocer la figura del planeta que habita, presentando un cuadro armónico, cuya contemplación no despierta otra idea que la de la alabanza,

había pasado de intento en silencio, ó tocado muy someramente, todo lo hecho para llegar al conocimiento de la figura matemática y dimensiones del Globo terráqueo, desde aquella época hasta el día; y es que, habiendo tomado el Señor Barraquer, en lo que á España concierne, parte activa en los trabajos modernos, ha preferido no mencionarlos, á tener precision de nombrarse alguna vez á sí propio.

Permitidme, pues, que, sin volver la vista á la que podría llamarse GEODESIA ANTIGUA, ni á la NUEVA GEODESIA que, á últimos del pasado siglo, tuvo por cuna la Academia de Ciencias de París, os hable por espacio de breves instantes de la que designaré con el nombre de GEODESIA NOVÍSIMA, de la que hemos visto nacer en las costas del Báltico, de la que, fundada en principios más rigurosos de análisis, y utilizando los modernos adelantamientos de la física y de las artes mecánicas de precisión, se ha propagado rápidamente, progresando de continuo, hasta adquirir carta de naturaleza en todas las naciones de Europa, en las comarcas del Africa y del Asia á donde ha llegado la moderna civilización, y al otro lado del Atlántico, en las costas de los Estados-Unidos de América. Ligeras indicaciones haré tan sólo sobre asunto tan interesante, y así llenaré mejor mi encargo, limitado únicamente á dar la bienvenida al nuevo Académico, dejándole por entero los honores de la jornada, que á él corresponden por ser el día de su ingreso y recepción solemnes, y que á él de todas suertes correspondieran en el caso presente, por ser yo débil competidor, si competencia hubiera.

Antes de entrar en materia envía el Sr. Barraquer un sentido recuerdo á la memoria de su antecesor, el Excmo. Señor Don Antonio Terrero, cuya vacante ha sido llamado á ocupar. Y pues que en este día me cabe la honra de hablar en

nombre de la Academia, haré constar la honda pena que á todos nos causó la pérdida de nuestro compañero, quien fué para mí bondadoso Jefe y cariñoso amigo. Académico de número desde la creacion de este Cuerpo, ocupó por espacio de muchos años la Presidencia de la Seccion de Ciencias exactas, en cuyo seno era de ver la manera verdaderamente paternal con que dirigía nuestras discusiones, aleccionándonos y encaminándonos con el consejo y con el ejemplo. Veintisiete años de enseñanza en los Cuerpos de Artillería y Estado Mayor, y una vida desde sus albores consagrada á la Ciencia, habian producido en el sábio Brigadier Terrero un hábito tal de estudio y de trabajo, que en brevísimo plazo examinaba, con gran profundidad, las cuestiones científicas más complejas, acerca de las cuales daba su autorizada opinion. En los últimos años de su existencia, exento ya del servicio militar, y retirado de toda especie de ocupaciones, acudía solícito á nuestras juntas, compartía con nosotros las tareas académicas, y nos legaba de esta suerte los postreros frutos de su poderosa inteligencia. Conserve mos piadoso recuerdo en este recinto al que fuera y dentro de él, en el campo de batalla, en la cátedra y en el sitial del académico, mereció ser contado entre los hijos predilectos de la patria.

Ya lo ha dicho el nuevo Académico: ni la medicion de arcos de meridiano y de paralelo, ni las multiplicadas determinaciones de la intensidad de la gravedad, por medio de observaciones con el péndulo, deben ser procedimientos aislados cuando se trata de averiguar cuál es la forma general de la Tierra; ántes bien deben ambos concurrir para que los resultados se aproximen á la verdad. Pero, aunque inseparables en el momento de la discusion científica y de la asignacion de los

valores definitivos, conviene reseñarlos en dos grupos diferentes, con tanto más motivo, cuanto que de la medición de arcos terrestres, por la que comencaré, resultan, además de la figura, las dimensiones del Globo.

Cinco nombres se deben respetuosamente citar cuando del origen de la NOVÍSIMA GEODESIA se trate: Gauss, Schumacher, Struve, Bessel, Reichenbach.

No creyó Gauss suficientes para su gloria los grandes servicios que á las matemáticas en general y á la astronomía habia prestado, sino que, dirigiendo los esfuerzos de su peregrina inteligencia hácia los estudios geodésicos y sus aplicaciones, se colocó en Hannover al frente de la reforma que su discípulo Schumacher y el gran Bessel habian de realizar en Dinamarca y en Prusia. La aplicacion del *método de los mínimos cuadrados* al cálculo de las observaciones geodésicas y de sus *errores más probables*, forma época en los anales de las mediciones, y tiene el raro privilegio de haber sido mantenida y progresivamente ensanchada desde hace sesenta años hasta el dia, en que se halla universalmente adoptada en todos los países del antiguo y del nuevo mundo. La geodesia práctica recibió de Gauss en 1821 valioso auxilio con la invencion del heliotropo, sencillo instrumento que, proporcionando la observacion de la luz reflejada del Sol á largas distancias, en forma de diminuta y brillante estrella, en vez de la de las antiguas señales de mampostería, y ofreciendo además un excelente sistema de telegrafía óptica, por medio de ocultaciones de la luz, ha dado á las observaciones inesperada precision, que las distingue de las que constituyen la segunda época geodésica.

Schumacher, fundador del Observatorio de Altona, fué el



que midió el arco celeste de Hannover, que conexiona aquel Observatorio con el de Gotinga, y dotó á la geodesia del arco dinamarqués, uno de los más celebrados por sus excelentes condiciones de observacion y de cálculo. En él aplicó el sistema de medir los ángulos geodésicos por *reiteracion*, y tambien el procedimiento de hacer las lecturas en círculos de pequeñas dimensiones con microscopios micrométricos, á la manera que Ramsden los habia aplicado en Inglaterra á los grandes círculos azimutales y zenitales.

A Struve, fundador del Observatorio de Pulkowa, y reputado como el más hábil observador de los tiempos modernos, se debe la existencia de uno de los mayores arcos de meridiano terrestre de que hoy disponemos para el cálculo de las dimensiones de nuestro planeta: el arco de más de  $25^{\circ}$  que se extiende desde la desembocadura del Danubio hasta el mar Glacial (1). En una amplitud de  $9^{\circ}, 38'$ , proyectó y observó esta cadena colosal; empleó su poderosa iniciativa y su legítima influencia científica en la Corte de Rusia para obtener los medios de unir unas con otras diversas triangulaciones, y de plantear otras nuevas; y tomó, por último, sobre sus hombros la difícil y penosa carga de dar á luz la obra magnífica en que se describen tan notables trabajos. Abandonado tambien por su parte desde 1823 el antiguo sistema de *repeticion*, ó multiplicacion de los ángulos terrestres, y determinada la flexion que experimentan los anteojos, así como indicados los medios de eliminar sus perniciosos efectos, dotó á sus trabajos de una precision que tambien correspondía á la nueva era geodésica por entónces inaugurada.

---

(1) Al fin de este Discurso se acompaña una lámina que representa la red geodésica, formada á costa de grandes sacrificios por las naciones europeas, y que alcanza toda la precision requerida para concurrir á la determinacion de la figura matemática y de las dimensiones de la Tierra.

El pequeño arco de Bessel, continuado posteriormente por el General Baeyer, nuestro venerable corresponsal, estableció, desde 1831 á 1838, un progreso tan marcado en la *NOVÍSIMA GEODESIA*, que todo cuanto desde entónces se ha hecho, respecto á triangulaciones, es casi la reproduccion de aquellos excelentes métodos de observar y de calcular. En tan memorables trabajos, que enlazan las mediciones rusas con las de Francia, Inglaterra, Hannover y Dinamarca, desplegó el gran astrónomo de Königsberg todos los recursos de la ciencia y de las artes mecánicas: aparato de medir bases, que lleva su nombre, y proporciona ya en 1834 una precision de  $\frac{1}{600.000}$  de la longitud medida; eleccion de una base corta, en vez de las grandes bases, cuyos inconvenientes prácticos son ahora tan conocidos; observacion de todas las direcciones que concurren en cada vértice por vueltas de horizonte y por *reiteracion*; heliotropos, compensacion general de los errores angulares de la red por el método de los *mínimos cuadrados*, y fórmulas en que ya se tiene en cuenta la forma esferoidal de la Tierra, dando nueva extension á las teorías de Gauss. Como calculador, su trabajo, publicado en 1841 sobre las dimensiones y la figura de la Tierra, valiéndose de diez arcos de meridiano, es el más apreciable entre todos los que le habian precedido; y las tablas, con sus elementos calculadas, son hoy todavía las que se usan generalmente en los trabajos geodésicos de Europa. Tarea poco ménos que interminable sería la de recordar, con ciertos por-menores, la influencia de Bessel en la época geodésica á que me refiero; mas parecen suficientes las indicaciones que preceden, para demostrar que en su tiempo se realizó un cambio radical en la ciencia de medir el Globo.

Pero ¿hubieran podido tan ilustres sábios llevar á cabo la reforma que intentaban, sin el concurso de las artes mecánicas de precision? Ciertamente que no. Era preciso que en esa afor-

tunada época floreciese, al par que los hombres de la teoría, un artista superior, un hombre del genio de Reichenbach. Trueca éste el brillante uniforme de oficial de Artillería por la modesta blusa del obrero, y funda en Munic un Instituto mecánico-óptico, del que salen instrumentos maravillosamente concebidos y terminados. La dificultad capital que era preciso vencer para que las observaciones geodésicas alcanzasen toda la precisión á que podían aspirar despues de la invencion del heliotropo y de la sólida instalacion de los instrumentos, era la division de los círculos en partes iguales, lo cual consiguió Reichenbach con una aproximacion extraordinaria. Dado este primer paso, pudo aplicarse sin temor el sistema de *reiterar*, en diferentes lugares de la periferia del círculo, las amplitudes angulares comprendidas entre todas las direcciones que concurren en cada estacion geodésica, así como sustituir los antiguos nonios con microscopios micrométricos, por cuyo medio se hacian mejores punterías sobre trazos de una gran regularidad, al par que la perfeccion de los tornillos micrométricos era ya segura garantía de la precisión de las observaciones. Tambien la construccion de los niveles de los goniómetros, la de los anteojos, y la disposicion general de los instrumentos portátiles, progresaron grandemente en los talleres de Reichenbach, á los cuales acudian, desde apartadas regiones, todos los observadores que rendian culto á la precisión.

Con el notabilísimo cambio que recibía la geodesia en las costas del Báltico, coincidía un acontecimiento que vino á prestar más tarde poderoso auxilio á la medicion del Globo en el sentido de los paralelos. Navegaba en 1832 á bordo del *Sully*, desde el Havre á Nueva-York, un renombrado pintor americano, que en los ócios de la travesía, departiendo con algunos pasajeros y meditando sobre los experimentos de Franklin,

imaginaba los fundamentos del pequeño aparato que ha cambiado la faz del sistema de comunicaciones entre los habitantes de la Tierra. Samuel Morse, que no era otro el pintor, hubo de dejar por entónces sin realizacion práctica su peregrina idea, que vimos planteada doce años despues, cuando se puso en comunicacion electro-telegráfica á las ciudades de Washington y Baltimore. No se hizo esperar mucho tiempo la aplicacion de tan prodigioso invento á la geodesia, puesto que en el mismo año de 1844 tuvo el Capitan Cárlos Wilkes la idea de medir la diferencia de longitudes geográficas entre las mencionadas ciudades, valiéndose del telégrafo eléctrico; y dos años despues la determinó Walker, por el indicado procedimiento, entre Washington y Filadelfia. Pero en las aplicaciones científicas era ante todo necesario determinar, con precision, el tiempo invertido por la corriente eléctrica para recorrer la distancia que media entre dos puntos unidos por un hilo telegráfico; experimento realizado con este objeto bajo la direccion del mismo Walker, en el intervalo de 1849 á 1851. El promedio de los resultados concordantes, entónces obtenidos, entre diferentes líneas, es de 24.800 kilómetros por segundo. El Nuevo Mundo se hallaba en posesion de un procedimiento completo para determinar la diferencia de longitudes geográficas, el cual ha llevado, con toda justicia, el nombre de *método americano*.

Los prodigiosos resultados publicados en América llamaron inmediatamente la atencion de los astrónomos y geodestas europeos, los cuales se dispusieron á la aplicacion del procedimiento electro-telegráfico, que Litrow fué el primero en plantear, determinando la diferencia de longitudes entre Viena y Praga, en el año de 1851.

Quince años despues, y tras varias tentativas infructuosas, ya no estaban desligados los dos continentes que baña el Atlántico: metálico cable los unia para que por él se trasmitiesen

mútuamente sus pensamientos los habitantes de tan apartadas tierras; y la ciencia, para determinar las posiciones relativas del Antiguo y Nuevo Mundo, se apoderó instantáneamente de ese hilo de union, que la política, el comercio y la industria utilizaban. El año de 1866 fué el que vió por primera vez tal maravilla: una diferencia de longitudes determinada á 4.300 kilómetros de distancia por observaciones de las mismas estrellas.

El resultado alcanzado en tan extraordinaria operacion fué, que la diferencia de longitudes entre los observatorios de Cambridge, en los Estados-Unidos, y Greenwich, en Inglaterra, es de  $4^{\text{h}} 44^{\text{m}} 30^{\text{s}},99$ , con un error probable de *una décima de segundo*. Repetida la operacion por el cable francés de Duxbury, en 1870, no difirió del anterior resultado obtenido más que en una *centésima de segundo*, y el error probable de la determinacion bajó á *seis centésimas de segundo*. Otra determinacion se llevó todavía á cabo, en 1872, por el cable francés de Saint-Pierre; resultando la diferencia de longitudes exactamente igual á la anterior, hasta las centésimas de segundo inclusive, con un error probable de *cuatro centésimas de segundo* tan sólo. Maravillosa concordancia, que ensalza el sistema americano, cuya precision era ya entónces tan grande.

Otra invencion de incalculables consecuencias en los progresos de la geodesia es el cronógrafo eléctrico, debido al relojero y astrónomo Bond, quien lo imaginó en 1848 con motivo de las determinaciones electro-telegráficas de diferencias de longitud, en los Estados-Unidos. Sin mencionar aquí las numerosas aplicaciones del cronógrafo á varias ciencias de observacion y al arte de la guerra, la revolucion por él introducida en las observaciones astronómico-geodésicas, sería suficiente para atribuirle un lugar de preferencia en el sucesivo desarrollo de la GEODESIA NOVÍSIMA. Era, en efecto, condicion indis-

pensable para observar pasos de estrellas, ántes de la aparicion de este precioso instrumento, ser astrónomo de profesion, tener la vista fija en los hilos del anteojo y atento el oido á los acompasados golpes del péndulo, para subdividir mentalmente el ya pequenísimos tiempo de un segundo; y de aquí el reducido número de determinaciones de diferencias de longitud geográfica que en otros tiempos se hacian en diferentes puntos de la superficie terrestre. Desde la invencion del cronógrafo, multitud de geodestas avezados á las observaciones terrestres, se han puesto, en cortísimo plazo, en disposicion de observar los pasos de estrellas y otros fenómenos análogos, con la misma precision que el más hábil astrónomo de un observatorio, y con una superior á la del más diligente observador que operase sin tan ingenioso aparato; el cual proporciona, además, la inapreciable ventaja de conservar la impresion gráfica del tiempo y de la observacion del fenómeno en las cintas de papel, circunstancia que permite comprobar y rectificar el resultado de la observacion cuantas veces se considere conveniente.

Pero aún disponiendo de tan poderosos auxilios, no es posible prescindir de la correccion que proviene de la *ecuacion personal* de los dos observadores que ocupan las estaciones entre las cuales se quiere conocer la diferencia de los tiempos locales. Los diferentes hábitos de observar, la mayor ó menor brillantéz de las estrellas, su velocidad, la direccion de su movimiento, y otras causas que producen á veces sorpresa, ó inducen á retrasar el momento en que realmente se verifica el paso por los hilos, se deben medir ó eliminar. Esto último, se consigue cambiando recíprocamente de lugar los observadores despues de hecha la operacion, y repitiéndola cuando se ha hecho el cambio. Para la medicion directa de la ecuacion personal, hacen los dos geodestas reunidos repetidas observaciones

astronómicas, de las cuales deducen su diferente manera de apreciar; ó bien se valen de uno de los varios aparatos que se han ideado y construido con este objeto, siendo muy apreciable entre ellos el que, presentando una estrella artificial movida por un péndulo, marca eléctricamente el momento del paso, que, por su parte, aprecian y marcan en un cronógrafo cada uno de los dos observadores cuya ecuacion personal quieren determinar: la comparacion de las dos diferencias obtenidas, por cada uno de ellos, entre el instante preciso del paso y el de su apreciacion, constituye la ecuacion buscada.

Pueden considerarse ya del dominio de la NOVÍSIMA GEODESIA en Europa, con todos estos adelantamientos, cuatro grandes arcos terrestres: el que, siguiendo próximamente la direccion del paralelo  $52^{\circ}$ , alcanza una extension de  $69^{\circ}$  de longitud, desde la isla de Valentia en Irlanda hasta los confines orientales de la Rusia europea, propuesto por Struve en 1857; el arco de meridiano ruso-escandinavo, mencionado anteriormente; el que en 1861 propuso el General Baeyer desde Noruega á Sicilia; y por último, el que desde el Norte de Escocia se extiende hasta los confines septentrionales del Desierto de Sahara.

El segundo de estos arcos de meridiano dió origen á la hoy floreciente Asociacion geodésica internacional de todos los gobiernos del continente europeo, para la nueva medicion del Globo; y esta alta corporacion científica, compuesta de delegados oficiales de todas las naciones, á la que pertenece el nuevo Académico, ha sido á su vez origen de perfeccionamientos, de unificacion y de poderoso impulso en los trabajos geodésicos, desde que se reunió por vez primera hasta el dia. Cuando el General Baeyer se dirigia en 1861 á los gobiernos de la Europa central, proponiendo la medicion de este arco, si bien no

entraba en su propósito más que un reducido número de naciones europeas, hacía, en una notabilísima Memoria, la reseña más perfecta que ha visto la luz pública del estado que á la sazón alcanzaban los trabajos geodésicos del mundo entero. Entónces apénas habíamos delineado nosotros, los geodestas españoles, el plan de nuestros trabajos y formulado nuestra aspiración geodésica; pero aun así no nos olvidó el ilustre discípulo y colaborador de Bessel, y dijo: «España ha trazado un »proyecto de trabajos tal, que, si se realizara, oscurecería todo »cuanto, en el dominio de la geodesia, se ha intentado en el »Continente.» Después de esta alabanza del decano de la NOVÍSIMA GEODESIA al examinar el proyecto español, y de la duda que al parecer abrigaba respecto á su realización, solamente hará constar, para contentamiento de todos, que el proyecto se halla hoy puntual y completamente puesto por obra. Y es más, no se ha contentado España con hacer lo que entónces ofreció al mundo científico, sino que ha logrado inscribir su nombre, en union del de otras naciones, en el mayor de los arcos de meridiano terrestre que hasta ahora se ha medido.

Pero esto exigía rehacer trabajos de ilustres astrónomos extranjeros que florecieron en el período de la NUEVA GEODESIA; se necesitaba el concurso científico y administrativo de una nación vecina, que también había de rehacer, en parte, lo medido en la misma época; y, sin embargo, realizado está hoy el pensamiento. Y ¿quién fué el primer observador que puso la mano, con los recursos de la NOVÍSIMA GEODESIA, en la obra de Delambre, Mechain, Biot y Arago, que desde Dunkerque se extendía hasta nuestra isla de Formentera? Fué el individuo del Instituto Geográfico y Estadístico español que hoy ingresa en esta Academia, el cual, después de haber medido un arco de paralelo de siete grados de amplitud, que pasa por Madrid, rompió la marcha de Norte á Sur, comenzando por estacionar



en el pico de Canigou, conocido y citado como el más imponente del Pirineo oriental. Algunos años después imitaba Francia nuestro ejemplo, y, siguiendo opuesta dirección, enlazaba en el mismo Canigou con nuestro trabajo, remontando hacia el Norte para rehacer la cadena de triángulos que conduce á Dunkerque, que salta á las Islas Británicas, y que llega hasta Saxavord en la región más septentrional de Escocia (\*). Unida había de quedar ésta, en breve plazo, y por no interrumpida red geodésica, con los altos picos de nuestra Sierra Nevada; pero unida con la precisión de la NOVÍSIMA GEODESIA, con un error probable en los ángulos de *tres décimas de segundo*, y con un error probable en las mediciones lineales, por lo que á España toca, de  $\frac{1}{3.000.000}$  en vez de  $\frac{1}{600.000}$  que Bessel alcanzó al inaugurarse la época geodésica presente. Si ésta tenía medios bastante poderosos para lanzar sobre el Mediterráneo triángulos enormes que viniesen á caer en tierra argelina, donde nuestros compañeros del Ministerio de la Guerra de Francia habían realizado ya trabajos geodésicos de primer orden desde la costa hacia el Desierto, el arco de meridiano que comienza en Escocia podría desde luego alcanzar una amplitud superior á la de todos los arcos medidos. La posibilidad se ponía por muchos en duda; y ahora que el enlace está hecho, con incomparable fortuna, debemos agradecer á los sabios de todos los países las alabanzas que han prodigado á esta empresa. No citaré más que un ejemplo. Decía, no ha mucho, un docto geodesta extranjero: «la reciente operación del enlace de España y Argelia, es el más grandioso de todos los trabajos geodésicos emprendidos desde el momento en que Snell, en 1615, hizo ocupar á la geodesia el puesto que, entre las demás ciencias, le pertenece.»

---

(\*) Véase la lámina.

Estaba reservado al siglo del vapor y de la electricidad enlazar dos continentes por observaciones ópticas, y con recíproca visibilidad, á distancia de 270 kilómetros. Máquinas de vapor eran los motores que producian la luz eléctrica en los dos elevados picos españoles y en los dos vértices argelinos; colosales reflectores enviaban desde cada estacion esta luz en tres diversas direcciones; un gran círculo azimutal medía en cada vértice los ángulos comprendidos entre las tres líneas aéreas que en él concurrían, formando entre todas un cuadrilátero, de inusitadas proporciones, con sus diagonales. Desde las cimas del *Mulhacen* (¹) y de la *Tetica* de Bacáres, elevados picos de las sierras Nevada y de los Filabres, los rayos luminosos que trazaban en las tinieblas maravilloso puente entre Europa y Africa, reanudaban los lazos que desde los tiempos más remotos unian los hoy separados miembros de un mismo continente.

Francia y España, en fraternal colaboracion científica, llevaron por partes iguales á feliz término, en 1879, la mencionada vasta y difícil empresa; y los gobiernos de ambas naciones han merecido bien de la ciencia, por haber puesto en manos de los geodestas de entrambos países, todos los elementos

---

(¹) Pudo dar ocasion al nombre de *Mulhacen*, contraccion de *Mulahacén*, el haber sido enterrado en aquel cerro un Santon ó sábio ermitaño, antiguo cliente ó vasallo feudal de Príncipe sarraceno, que morase en alguna de las próximas asperezas habitables de la Sierra Nevada; esto es *مولا* (*Mula*, cliente) *حسين* (*Hacén*, nombre propio de varon). Si esto fuese así, este nombre, aceptado por el geógrafo D. Tomás Lopez en su Mapa dado á luz el año de 1795, ha de ser preferible á los demás que al mismo pico se han dado. Pero, atendiendo á que no hay razon bastante que autorice la suposicion del enterramiento, y que en cambio corre en el pais la tradicion de que se veian en aquellas alturas restos de murallas formadas con enormes piedras, podria proponerse como mejor etimología la de *معلية حصين* (*Mula*, elevacion; *hacín*, fortificada).

necesarios para su realizacion. Tambien fué el Sr. Barraquer el Jefe de la brigada geodésica que, por parte de España, concurrió á esta memorable operacion, que Francia confiara al Coronel Perrier, nuestro corresponsal. Uno y otro tuvieron á sus órdenes ilustrados Jefes y Oficiales de Artillería, Ingenieros y Estado Mayor de ambos ejércitos, que han cooperado con éxito sin igual á forjar el inmenso *eslabon geodésico* de la cadena meridiana *anglo-franco-hispano-argelina*.

Però el *eslabon geodésico* no satisfacía ya las aspiraciones científicas del Instituto Geográfico español y del Ministerio de la Guerra de Francia: uno y otro deseaban tantear la manera de establecer además un *eslabon astronómico*, que empalmase uno de los vértices españoles con otro argelino. Fueron los elegidos la *Tetica* de Bacáres y *M'Sabiha*, y en ambos se midió la latitud y un azimut; mas, para determinar la diferencia de longitudes, y á falta de un cable telegráfico que los uniese, se aplicó un nuevo procedimiento, cuyos resultados han sido muy superiores á los que de él se esperaban, y de todo punto comparables en precision á los que proporciona el telégrafo eléctrico. Consistía, para la comparacion de las horas locales, en observar desde cada continente las ocultaciones acompasadas ó rítmicas de la luz eléctrica del otro, producidas por una pantalla movida por un péndulo; ocultaciones que debian quedar automáticamente marcadas en el cronógrafo del vértice de donde procedian. En el vértice en que se observaban, con el auxilio de un potente antejo, quedaban consignadas en el cronógrafo respectivo, de la misma suerte que los pasos de estrellas por los hilos del reticulo, al determinar la hora local. Esto exigia la determinacion de dos ecuaciones personales: una relativa á los pasos de estrellas y otra correspondiente á la observacion de los destellos luminosos; y así se hizo, en efecto. Tan impor-

tante y difícil operacion, que por parte de Francia estaba encomendada al mismo Coronel Perrier, fué dirigida en España por uno de los Académicos aquí presentes, el Astrónomo Señor Don Miguel Merino, al cual se debe, además de las observaciones de la diferencia de longitudes, la difícilísima y arriesgada operacion de montar por primera vez á tan considerable altitud y sobre tales breñas, un péndulo eléctrico y de compensacion de mercurio, que funcionó perfectamente mientras duraron los trabajos.

Si en *Mulhacen*, á 3481<sup>m</sup> sobre el nivel del mar, pusieron los elementos á prueba la perseverancia y el valor de los observadores, perdidos y como abandonados en aquella imponente y salvaje naturaleza, azotados por furiosos huracanes, por nevadas y aguaceros tan copiosos como de fuerza desconocida para el habitante de las llanuras; si hasta el rayo, cayendo en estrepitosa descarga sobre los mismos aparatos eléctricos, hicieron dudar un momento á los geodestas del éxito de la empresa, en la *Tetica* de Bacáres hubieron menester despues los encargados de la parte astronómica, tanta energía, tanta perseverancia y tanto valor como los que habian ocupado la atrevida cresta de la Sierra-Nevada. La tormenta espantosa y prolongada que llevó la desolacion, la miseria y la muerte á las ricas y amenas comarcas de Murcia y Orihuela, se cernió amenazadora sobre el puntiagudo cerro, desencadenándose bien pronto en torrentes de agua, y lanzando descargas de horrible intensidad. Ni el Coronel Barraquer dispuso la retirada de *Mulhacen*, para la cual estaba previamente autorizado, ni el Astrónomo Merino dejó más tarde su puesto de honor, á pesar de las contrariedades que se le presentaban y de lo avanzado de la estacion, mediado ya el mes de octubre. La guarnicion científica de *Mulhacen* completó en aquellos riscos los 71 dias que

la terminacion de sus trabajos exigió, y la de *Tetica* no descendió de su cumbre hasta el 20 de noviembre, cumplidos 50 dias desde el de su ascension.

Inmediatamente despues de citar las observaciones hechas en lo alto del *Mulhacen*, la más elevada montaña de los dominios españoles, parece llegado el momento de llamar vuestra atencion hácia las irregularidades ó accidentes que constituyen el *relieve* de la superficie terrestre, sobre otra *matemática* de comparacion general, y de apuntar lo que la NOVÍSIMA GEODESIA ha hecho en orden á la medicion de alturas, parte tan principal del estudio y conocimiento de nuestro planeta. Desde que Bessel definió, y con tal claridad explicó, en 1838, lo que es la *superficie matemática* de la Tierra, á la que es perpendicular en todos sus puntos la resultante de todas las fuerzas de atraccion y de la fuerza centrífuga, ó la supuesta prolongacion de los mares al través de los continentes, como si se pusiesen aquellas masas de agua en comunicacion unas con otras por medio de una red de canales imaginarios, ya no ha cabido duda acerca de cuál es la superficie á que se llega cuando se determina la forma y dimensiones del Globo. Pero es forzoso estudiar y medir el relieve de su corteza sobre esa superficie de comparacion; y esto, que se hacía ya de una manera imperfecta en las épocas de la antigua y de la nueva geodesia, es lo que ha recibido notables perfeccionamientos en la época actual.

El procedimiento trigonométrico de determinar las diferencias de nivel ó alturas de unos puntos sobre otros, haciendo entrar, como principal elemento, la distancia zenital, traía siempre consigo los errores que provienen de la variabilidad de la refraccion terrestre; inconveniente que se trató de disminuir haciendo recíproca y simultánea la observacion de las distan-

cias zenitales entre los dos puntos. Vino despues Biot, en 1842, partiendo de la ecuacion diferencial de la trayectoria luminosa de Laplace, á facilitar una sencilla fórmula, para la práctica de las nivelaciones geodésicas, por medio de la cual se calculan en cada caso las trayectorias luminosas, valiéndose de observaciones barométricas y termométricas oportunamente recogidas. El conocimiento de las trayectorias especiales constituía ya un gran paso, porque hacía innecesaria la hipótesis, errónea á todas luces, de la igualdad de la refraccion en dos puntos distantes entre sí, aunque la observacion de las distancias zenitales fuese simultánea. Pero todo esto estaba muy por debajo de lo que ha hecho la Asociacion geodésica internacional, al prescribir la formacion de la extensísima, compacta y precisa red hipsométrica de Europa. La nivelacion geométrica, que ántes se aplicaba únicamente á trabajos especiales y de extension relativamente corta, se ha perfeccionado notablemente, teniendo en cuenta todas las causas de error, y, con el nombre de *nivelaciones de precision*, cubre ya una parte considerable del continente, y avanza sin cesar hasta que sus polígonos, cada vez más divididos y subdivididos, formen una nueva envoltura del territorio europeo, á la manera que la red geodésica se ciñe á los pliegues de la corteza terrestre.

Mas ¿cómo referir ese cúmulo de altitudes á la superficie de los mares sin hacer ántes en éstos un estudio detenido, constante y tan preciso como las nivelaciones mismas? De aqui la extension dada á la determinacion del nivel medio de los mares y á su comparacion. Tambien data del origen de la NOVÍSIMA GEODESIA el único procedimiento conocido para determinar el nivel medio de los mares, que es el uso del *mareógrafo*. Palmer lo empleó en 1831 al emprender sus estudios en los docks de Lóndres, y desde entónces se han hecho en él repetidas modi-

ficaciones, hasta llegar á conseguir que salgan del aparato las curvas diurnas que representan, no solamente el nivel medio general en aquel paraje, sino el movimiento mismo de las olas: datos preciosísimos, pero que, una vez obtenidos, han menester todavía cálculos prolijos para deducir de ellos la altura media diurna del mar. Al Ingeniero hamburgués, Sr. Reitz, se debe el reciente perfeccionamiento del mareógrafo, por medio de cuya innovacion, sin dejar de proporcionar la curva del movimiento del mar, excusa todo cálculo para deducir de la curva la altura media de las aguas, la cual se obtiene del aparato mismo. Dos tan sólo se han construido hasta ahora, de los cuales uno está funcionando á la proximidad del puerto de Cádiz.

Determinada con los mareógrafos, y por espacio de algunos años, la altura media de los mares en varios puntos de las costas, y enlazados los mismos puntos por medio de líneas de nivelaciones de precision, toda la hipsometría de cada continente tendrá una referencia comun, y solamente de esta suerte se puede estudiar el relieve de la superficie del Globo.

En las costas de Europa funcionan hoy más de 60 mareógrafos, y en la mayor parte de las naciones marítimas se observan tendencias al aumento del número de estaciones mareográficas, que en España lo son á la vez meteorológicas, con el fin de estudiar aquellos elementos que pueden influir más ó ménos directamente en la altura media de los aguas.

Dando punto en lo referente á Europa, y ántes de hacer algunas observaciones acerca de la influencia de la NOVÍSIMA GEODESIA en otras partes del mundo, conviene resumir y hacer constar, á manera de despedida, lo alcanzado en órden á trabajos encaminados á la nueva medicion del Globo, no solamente en Europa, sino en las vecinas comarcas septentrionales

de Africa (1): las abrasadas arenas del Desierto de Sahara pueden darse ya por enlazadas geodésicamente con las últimas islas de la Noruega, en las heladas regiones del Polo; los septentrionales islotes de la poética Escocia, con las meridionales montañas de la Sicilia; el imponente *Mulhacen*, vigilante centinela de nuestra rica vega de Granada, con los montes Urales, más ricos aún por los tesoros que en su seno depositó Naturaleza; el Mar Mediterráneo, con el Océano Artico; el Mar del Norte, con el Negro; el Adriático, con el Báltico. Desde unos á otros se extiende no interrumpida red de triángulos esferoidales, que fijan y determinan la posición de sus vértices sobre el esferoide *matemático* terrestre, y, por separado, hip-sométrica red que proporciona la tercera coordenada de los mismos puntos, entre los cuales se cuentan todos los observatorios astronómicos.

Un suceso político, la rebelion de los montañeses de Escocia (*highlanders*), sofocada en 1745, habia sido origen de los trabajos geodésicos en Inglaterra. Sintió ésta la precisión de triangular el Reino-Unido, con el fin de elegir posiciones estratégicas y de establecer medios militares de comunicacion; de conocer en sus pormenores el terreno, tanto en su proyeccion horizontal como en su relieve; de poseer, en una palabra, el mapa topográfico del país. Las mismas necesidades estratégicas y tácticas que el Gobierno inglés, tuvo la Compañía de las Indias para disponer, á fines del pasado siglo, la triangulacion de aquel vasto territorio; y el arco de meridiano en él medido excede en otro tanto al de Inglaterra.

Con el principio de siglo coincidió el de la red índica; y el

---

(1) Véase la lámina.



comandante Lambton fué el que plantó en aquella apartada region la bandera geodésica. Desde entónces, y hasta que el capitán Everest, que por fallecimiento le sucedió en la direccion, continuó en 1830 los trabajos, despues de iniciado, con ocasion de un viaje á Europa, en los adelantamientos que abrieron la época de la geodesia actual, todo lo hecho pertenece á la NUEVA GEODESIA, puesto que lo mismo en Asia, que en América, que en Africa y que en Europa, la NOVÍSIMA comienza simultáneamente en el final del primer tercio del siglo. Por esta razon, los entónces apreciables trabajos de Lambton han corrido la misma suerte que los de los ilustres Delambre, Mechain, Biot y Arago: unos y otros han sido rehechos con mejores aparatos, instrumentos, señales y métodos de observacion y de cálculo.

Si Lambton, una de las víctimas de acendrado amor á la ciencia, hubiese tenido á su disposicion en aquellas inhospitalarias regiones los elementos de trabajo que despues acumuló el capitán Everest, hubiera dejado resultados imperecederos, debidos á su gran perseverancia y á su extremada habilidad de observador: era una de las grandes dificultades con que luchaba, la de no poder distinguir las señales geodésicas ordinarias á través de aquella atmósfera, sino en la época de las lluvias, circunstancia que le obligaba á desperdiciar las estaciones más sanas y más favorables para el trabajo del hombre; con el heliotropo, que más tarde inventó Gauss y aprovechó Everest, hubiera, como éste, variado por completo las épocas de los trabajos, reforma que por sí sola fué una verdadera revolucion que cambió la faz de la geodesia india.

El contingente que ésta ha suministrado á la moderna medicion del Globo es de gran valia en todos conceptos: por su posicion geográfica, por su gran extension y por la delicadeza y esmero con que se han hecho sus observaciones, y se están

llevando á cabo sus prolijos cálculos de compensacion. Hé aquí los elementos de que podemos ya disponer: Un arco de meridiano, conocido con el nombre de *arco grande*, de 24° de amplitud, con más de 30 estaciones astronómicas y cinco bases geodésicas, que parte del punto más meridional de la Península y llega hasta los piés del Himalaya, en los confines del Indostan; otros cuatro extensos arcos de meridiano; tres arcos de paralelo, de los cuales uno alcanza 24° de amplitud; multitud de cadenas que enlazan unos con otros los mencionados arcos; y, por último, una interminable cadena envolvente, que comprende más de 8.000 kilómetros de extension. Para dar idea del estado de adelantamiento de aquellos trabajos, basta decir que desde 1872 se emplea ya el telégrafo eléctrico para la determinacion de la diferencia de longitudes geográficas. En punto á relieve, ofrece tambien la India copiosos datos recogidos en sus extensas y excelentes nivelaciones geométricas comenzadas en 1858, que alcanzan hoy una extension de más de 6.000 kilómetros lineales, y que se enlazan con multitud de vértices geodésicos, de los cuales hay algunos que cuentan más de 6.000 metros de altitud.

Grandes han sido las penalidades que los ingleses hubieron de soportar en la India, y las dificultades vencidas por ellos: la lucha constante con la insalubridad del clima, lucha en que han sucumbido muchos oficiales beneméritos; los impenetrables bosques á través de los cuales era preciso abrir anchas sendas; las horribles avalanchas que, desprendiéndose desde lo alto de las cimas, cortaban toda comunicacion á los geodestas; la falta de medios de transporte, que obligaba á elegir entre la conduccion á brazo ó el empleo de grandes carabanas de elefantes; la carencia de personal auxiliar, que obligaba á confiar los instrumentos y aparatos de menor importancia á una advenediza multitud, reclutada en diversas comarcas, y compuesta de me-

nestrales pertenecientes á toda clase de oficios, y áun de sacerdotes, que se presentaban con los trajes más singulares; el pánico que á estas gentes producía la idea de contribuir á unos actos inspirados por la mágia, y contrarios á su religion, y cuyo temor les ha hecho en varias ocasiones abandonar espantados los objetos que de los geodestas habian recibido; todas estas circunstancias contribuyen á que la geodesia índica sea una de las más difíciles que el hombre haya intentado y llevado á cabo. Los nombres de Lambton, Everest, Waugh y del General Walker, Director actual de aquellos vastos trabajos, así como los de todos los oficiales que en ellos han tomado parte, merecen el respeto y la consideracion de los geodestas de las edades futuras.

Como en Europa y en Asia, comienza en los Estados-Unidos del Norte de América la NOVÍSIMA GEODESIA al terminar el primer tercio de nuestro siglo. La ley relativa á la representacion de las costas de la República, promulgada en 1807, fué letra muerta, con motivo de la guerra de 1812, y de vacilaciones administrativas, hasta 1832, en que, revalidada por los poderes públicos, tomó un carácter eficaz y permanente.

Los fines que se querian alcanzar eran, ante todo, satisfacer las necesidades de la navegacion y las de la defensa de las costas, y establecer á lo largo de ellas una red de triángulos que, en su dia, pudiese servir á cada uno de los Estados de base para la formacion de su mapa respectivo; pero al lado de estos beneficios de inmediata utilidad pública, tenia tambien la alta geodesia su participacion, porque al proyectar tan dilatada red, y al proponerse llevarla á cabo con todos los adelantamientos de la época, se allegaban valiosos datos para la determinacion de la forma y dimensiones de la Tierra.

Y así ha sido en efecto: prescindiendo ahora de las invenciones del método de determinar la diferencia de longitudes geográficas y del cronógrafo, que debe la geodesia á los norteamericanos, como queda indicado, ha recibido de ellos incalculable presente con la red de gran precision que comprende una faja de 220.000 kilómetros cuadrados, con 13 bases medidas, más de 400 estaciones astronómicas, y sus correspondientes nivelaciones de precision. Loo á los ilustres geodestas del Nuevo Mundo, desde el insigne Hassler, nacido en las montañas de la Helvecia, hasta nuestros contemporáneos los Patterson, Hilgard, Gould, Peirce y otros, por la impeccedera obra que han levantado allende los mares.

Volviendo al Africa, de la cual tan sólo sus costas septentrionales habian sido visitadas por la NOVÍSIMA GEODESIA, llega el momento de citar el arco de meridiano del Cabo de Buena-Esperanza. De este famoso punto, cuya importancia en la historia del comercio del mundo no es necesario encarecer aquí, decia el abate de La Caille, que su verdadera situacion ofrecia tales dudas, que los Geógrafos más célebres diferian en unas *cien leguas*; y tanto para desvanecer esta vergonzosa duda, cuanto con el fin de realizar interesantes determinaciones astronómicas y la medicion de un arco de meridiano terrestre por debajo del Ecuador, se ofreció el mismo Astrónomo á establecerse en aquellas latitudes, en donde midió, desde 1751 hasta 1753, un pequeño arco de un grado y un cuarto, con toda la precision que en aquella época se podia alcanzar. Pero cuando el Cabo se habia ya convertido en colonia inglesa, y contaba con un Observatorio astronómico dirigido por Maclear, acometió éste la empresa de medir un nuevo arco de meridiano de mayor amplitud con los recursos y procedimientos de la NOVÍSIMA GEODESIA; y, á pesar de las numerosas dificultades que

se opusieron á sus propósitos, consiguió este infatigable y perseverante observador terminar en el espacio de 19 años, que comenzaron en 1838, todos los trabajos que abraza la medicion de un arco de meridiano de  $4^{\circ} 36' 49''$ ; bellísima operacion que comprende una base, 46 estaciones geodésicas, 6 astronómicas y una red hipsométrica, compuesta de 152 puntos, cuyas diferencias de altitud exceden alguna vez de 2.000 metros.

Y aquí daré por terminado el viaje á cuatro partes del mundo, que, abusando de vuestra paciencia, emprendí ha poco, para recordaros cuál ha sido el resultado de los esfuerzos hechos por la generacion actual con el grandioso fin de *medir* la Tierra; pero permitidme que, ántes de indicar lo realizado para determinar por otro procedimiento la *forma* de nuestro planeta, ponga de relieve aquí el carácter distintivo de la *NOVÍSIMA GEODESIA*, en lo que á la medicion de arcos de meridiano y de paralelo terrestres se refiere: entre todos los perfeccionamientos que han producido tan notable aumento de precision en las observaciones y en los resultados definitivos, descuella la idea capital de las *condiciones superabundantes*, la cual conduce, por medio de la resolucion de numerosas ecuaciones, á *valores únicos*, desapareciendo de esta suerte todas las contradicciones que se presentaban en los antiguos procedimientos de cálculo. En las primitivas *triangulaciones*, cada cuatro puntos daban tan sólo lugar á cinco líneas y á dos triángulos, que eran las condiciones *suficientes*; mientras que en las modernas *redes* se utilizan seis líneas y cuatro triángulos por cuadrilátero, y aumenta rápidamente su número con el de los lados de los polígonos. Para las nivelaciones se establecian ántes líneas aisladas, que proporcionaban el correspondiente perfil del terreno y las diferencias de nivel de todos los puntos de cada línea, como condicion *suficiente*; al paso que actualmente se cierran

grádes polígonos con las mismas líneas, lo cual da lugar á condiciones *superabundantes*, que han de quedar rigurosamente satisfechas. Al determinar diferencias de longitud geográfica, se ligaban solamente de dos en dos los puntos elegidos, y hoy se disponen inmensos polígonos en que entran diferentes estaciones, y ofrecen igualmente condiciones geométricas *superabundantes* que se deben satisfacer para que exista la compensacion general de los errores.

A Bessel es forzoso acudir de nuevo para encontrar el origen de las modernas investigaciones sobre la *figura* de la Tierra, por medio de la determinacion de la intensidad de la gravedad con el péndulo, aplicando el fecundo teorema de Clairaut. Las profundas investigaciones que, desde 1825 hasta 1828, llevó á cabo el ilustre astrónomo de Königsberg, y la determinacion de la longitud del péndulo simple de segundos que hizo en Berlin siete años despues, forman época en la historia de la ciencia, y determinan el tránsito de la NUEVA á la NOVÍSIMA GEODESIA. El péndulo de *inversion*, en el estado en que hoy lo utilizan los geodestas, se le debe en gran parte; porque ni Bohnenberger, al inventarlo, ni Kater al emplearlo, desde 1818, le dieron los perfeccionamientos que han resultado de las preciosas indicaciones de Bessel, cuyas notables modificaciones lo han convertido en uno de los admirables instrumentos que maneja el observador moderno.

Construido en 1864 por el célebre Repsold, comenzó á usarlo en 1865 el Sr. Plantamour, y con él se ha medido la intensidad de la fuerza de la gravedad en seis estaciones de la red geodésica suiza, observando los pasos por la vertical, y registrándolos por medio del cronógrafo eléctrico. Siguiendo el ejemplo dado por esta nacion, y bajo el patrocinio de la Aso-

ciacion geodésica internacional, emprenden Austria, Baviera, Prusia, Rusia y Sajonia las determinaciones de la gravedad en sus respectivos territorios, y elevan el número de estaciones hasta 39, en la mayoría de las cuales se ha empleado el método de las coincidencias; pero los resultados en ellas obtenidos, aunque de una precision en armonía con los adelantamientos modernos, no pueden considerarse más que como provisionales, porque los observadores no han tenido en cuenta una causa que ejerce gran influencia en la duracion de las oscilaciones y en la longitud del péndulo simple: el movimiento que la oscilacion del péndulo comunica á su trípode, y, por lo tanto, á su plano de suspension.

Se disponía España á emprender las observaciones definitivas del péndulo, cuando el geodesta norte-americano, Sr. Peirce, comenzó una série de experimentos destinados á medir y tener en cuenta el error que proviene del movimiento del plano de suspension mientras duran las oscilaciones; interesante investigacion, á la que se dedicaron tambien con gran diligencia los Sres. Hirsch y Plantamour, en Suiza, y en España el nuevo Académico, como encargado de las determinaciones de la intensidad de la gravedad, en nombre del Instituto Geográfico y Estadístico.

Provisto el Sr. Barraquer de un delicado aparato de reflexion, que amplifica con facilidad hasta *tres mil veces*, midió con el mayor esmero la correccion que debe sufrir la longitud del péndulo simple por la mencionada causa de error, cuando el aparato de inversion se halla montado sobre su trípode metálico especial, y obtuvo una cantidad considerable, dada la pequeñez absoluta de los elementos que se miden en ese linaje de experimentos. Y no contento con esta investigacion, que le condujo á resultados concordantes con los obtenidos por los geodestas americano y suizos ántes citados, preparó otro experi-

mento que elimina por completo la falta de resistencia y estabilidad del trípode, puesto que el plano de suspension del péndulo se hallaba sólidamente asegurado, por medio de un resistente brazo de bronce, á un pilar de una sola piedra de grandes dimensiones, sin descansar en el trípode. El movimiento perturbador se redujo de esta suerte á la décima parte del anterior; pero su influencia excede todavía mucho á cuanto es permitido tolerar en una determinacion tan delicada y tan trascendental.

Y no se crea que miéntras dura la oscilacion de un péndulo se comunica tan sólo el movimiento al trípode, ó, si éste no existe, al pilar: enseña un reciente experimento hecho en la colina sobre la que se asienta el observatorio astronómico del Canton de Neuchâtel, que el movimiento de oscilacion del péndulo de inversion se trasmite además, ¿quién hubiera podido imaginarlo? á la roca misma que sustenta el edificio.

No hay, por lo tanto, duda alguna en que es forzoso *medir* en cada estacion los movimientos de que depende la correccion, ó eliminar sus efectos. Esto último se consigue por el procedimiento que el matemático ginebrino, Sr. Cellérier, ha propuesto recientemente, de hacer oscilar uno despues de otro, sobre el mismo trípode, dos péndulos, de los cuales el uno pese próximamente la mitad que el otro, pero cuya distancia entre los cuchillos sea en ambos la misma. Como el efecto perturbador de que se trata, es proporcional á la masa del péndulo que oscila, se podrá de esta suerte eliminar aquél, como lo ha probado el autor en la teoría matemática del procedimiento, presentada por él á la Asociacion geodésica internacional reunida en Munic, en donde acaba de alcanzar general aprobacion. Nuevo programa de observaciones se presenta, pues, á la infatigable perseverancia de los geodestas: duplicar el trabajo de las oscilaciones, observando dos péndulos en vez de uno, ó medir en cada caso, con un aparato especial, la influencia de las



oscilaciones del plano de suspension, para introducir en los resultados las correcciones correspondientes.

Véase cuán difíciles y ocasionadas á graves errores son las observaciones que conducen á la determinacion de la intensidad de la gravedad por medio del péndulo, y cuánto es el mérito científico de los geodestas que se consagran á tan penosos experimentos. Aunque el péndulo de inversion tiene la inapreciable cualidad de eliminar la resistencia que el aire opone á las oscilaciones, se han hecho con él estudios bajo presiones próximas al vacío, y variando sucesivamente la presion dentro de la cámara en que oscilaba el péndulo. Objeto de concienzudo estudio y profundas investigaciones han sido las diversas causas que podrian ocasionar errores, y que, por lo tanto, hacen introducir correcciones en la duracion de la oscilacion observada: la del tiempo, la de la amplitud de la oscilacion, las de la presion y temperatura del aire, la de la dilatacion de los metales, la del resbalamiento de los cuchillos, la de su deformacion por el uso, la de la falta de igualdad de los mismos, la de la diferencia de estiramiento de la varilla cuando el disco lleno está arriba ó está abajo, la de las oscilaciones del plano de suspension, la relativa á la altitud de la estacion en que se observa, y, por último, la que proviene de las respectivas influencias del Sol, de la Luna y de las mareas.

Las cinco partes del mundo han sido testigos de las investigaciones hechas por el hombre con el péndulo para determinar el aumento ó disminucion de sus oscilaciones á diferentes latitudes: más de 150 estaciones han ofrecido sus respectivos contingentes á la determinacion de la figura de la Tierra; y si bien Europa posée la mitad de ellas, hay region, como la India inglesa, que cuenta con un número considerable de determinaciones, modernas todas, y de un interés excepcional, tanto por la posicion geográfica de aquellas comarcas, como por la

proximidad de la gran cordillera del Himalaya, sobre cuyas elevadísimas mesetas ha oscilado hace apenas diez años el péndulo europeo, designado ya por el autor del Cosmos con el nombre de instrumento geognóstico.

Una de esas elevadas mesetas del Himalaya, en los confines del Tibet chino, y cuya altitud excede de 5200 metros, vió sucumbir á uno de los geodestas más distinguidos del ejército inglés, el capitán Basevi, mártir de su ardiente abnegacion por la ciencia, el cual, arrostrando todos los peligros de tan arriesgada ascension y los de la estancia de algunos dias en tan espantable altura, subió á ella para determinar la intensidad relativa de la gravedad, sin conseguir otra cosa que morir en aquellas neveras, á centenares de kilómetros de todo auxilio, y ántes de cumplir la edad de 40 años.

El Sr. Barraquer ha enumerado los grandes servicios prestados ya por el péndulo á la determinacion de la forma del Globo; mas como resta muchísimo que hacer con el fin de allegar los numerosos elementos que demanda la solucion de tan complicado problema, preséntase anchuroso campo donde aplicar el precioso instrumento, con todas las precauciones y perfeccionamientos debidos á la NOVÍSIMA GEODESIA, principalmente en aquellas regiones en que, como en las vastas superficies oceánicas, no es posible establecer redes geodésicas para medir arcos terrestres. Las innumerables islas del Pacífico, por ejemplo, están convidando al geodesta á que sitúe convenientemente un sistema de estaciones de péndulo, cuyos resultados arrojarían vivísima luz en medio de las tinieblas en que yacen varios puntos esenciales de la geodesia.

Con excelente acuerdo os ha mencionado el nuevo Académico una de las más grandiosas aplicaciones de utilidad ge-

neral que proporciona la geodesia: es á saber, la de servir como de cuadrícula ó referencia en que se encajonan los trabajos de la Topografía para producir los Mapas de las naciones. Ya todas las de la culta Europa, excepto nuestra España, se hallan en posesion de una joya que el vulgo no aprecia bastante todavía, pero que las inteligencias superiores de todas las edades han sabido valorar. Y para probar que nunca han faltado en España hombres de este linaje, me bastará completar la cita del Sr. Barraquer, añadiendo que Jovellanos dijo ya: Mapa «sin cuya luz la política no formará un cálculo sin error, no »concebirá un plan sin desacierto, no dará sin tropiezo un sólo »paso: sin cuya direccion la economía más prudente no podrá, »sin riesgo de desperdiciar sus fondos ó malograr sus fines, »emprender la navegacion de un rio, la abertura de un canal »de riego, la construccion de un camino ó de un nuevo puerto, »ni otro alguno de aquellos designios que, abriendo las fuentes »de la riqueza pública, hacen florecer las provincias y aumentan el verdadero esplendor de las naciones.»

Así lo han estimado, por fortuna, el Gobierno y los Representantes del país, á todos los cuales agradece esta Real Academia el impulso dado en los últimos diez años á los trabajos geodésicos y topográficos que han conducido, por fin, á la publicacion de las primeras hojas de nuestro deseado Mapa nacional que, con perseverancia, y sin desatentadas impaciencias, vendrá un dia á llenar el vergonzoso vacío que existe, en punto á representacion topográfica del suelo europeo, y ya no habrá solucion de continuidad en la coleccion de innumerables hojas que se ofrecen al estudio del Estadista, del General, del Ingeniero, del Agricultor, y que presentarán una imagen del terreno desde el antiguo Peñon de Calpe hasta las costas septentrionales de la Noruega; desde las bocas del Danubio hasta los occidentales islotes de Irlanda.

De la NOVÍSIMA GEODESIA ha nacido la metrología de precisión. Era un tiempo en que se buscaban en la Naturaleza los prototipos lineales: quién en una parte alicuota del meridiano terrestre; quién en la longitud del péndulo de segundos, medida en una latitud geográfica determinada. Desde Bessel se sabe ya que es vano empeño el querer fundar un sistema de pesas y medidas en un módulo ó prototipo lineal, que no se pierda ni altere jamás, por provenir del Globo terráqueo, y al cual se pueda acudir en todo tiempo para reconstruir el origen del sistema, si desapareciese; porque la NOVÍSIMA GEODESIA ha demostrado que las irregularidades del *cuerpo terrestre* y la falta de conocimiento de su densidad, hacen de todo punto imposible la adopción de un módulo fundado en las llamadas *constantes naturales*, tal cual lo imaginaron, apoyados en los conocimientos geodésicos de aquella época, los legisladores franceses de 1795; pero el empeño de éstos, que pretendían tener en el *metro* la diezmillonésima parte del cuadrante de meridiano terrestre, y el de los ingleses que insistían en sacar del *péndulo* su módulo de medir, han sido abundosas fuentes en que han bebido y se han regenerado, á fuerza de investigaciones sin cuento, la geodesia misma y la metrología, con lo que se han ensanchado prodigiosamente los horizontes de la ciencia pura. Otra de las ventajas que la falsa definición del metro ha producido á la humanidad, es que á ella se debe la adhesión de los pueblos á un sólo sistema, el métrico-decimal, únicamente francés en su origen, y adoptado hoy por 19 naciones de Europa y de América, en diplomático convenio asociadas, y que juntas comprenden 400 millones de habitantes.

Abandonado el principio de los módulos naturales, forzoso ha sido volver al antiguo sistema: el medio de tener una medida universal, consiste en constituir una Asociación de las naciones que quieran adoptarla; preparar una medida, que por la

materia de que esté construida sea lo más resistente á la accion de los agentes naturales, y por su forma y definicion se halle exenta de alteraciones en el uso; conservarla esmeradamente entre todos los interesados; rodearla de *testigos* representados por tipos lineales de idéntica materia; mantenerla con ellos á temperatura constante en subterráneo depósito; compararla periódicamente, valiéndose de aparatos y personal adecuados; y, además de todas estas precauciones, distribuir á los Gobiernos asociados ejemplares auténticos que difieran muy poco del *prototipo internacional*, y cuyas diferencias á él, estén escrupulosamente determinadas por los medios más precisos que se conozcan en la época en que se opere ('). Esto es lo que se está

---

(') Para dar una idea de lo que era la metrología anterior á los últimos progresos, conviene citar las palabras que siguen del célebre Baily en un informe presentado á la Sociedad Real de Lóndres. «He tenido oportunidad de ver el curioso prototipo del Ministerio de Hacienda de Inglaterra, del cual no es posible hablar con suficiente burla ni desprecio. Un hurgon ordinario de cocina, limado en los extremos del modo más basto, por el más chapucero de los artesanos, haria el mismo papel que el prototipo. Este se encuentra hoy partido por medio, y los dos pedazos están unidos á cola de milano, pero tan groseramente, que las junturas tienen tanto juego como un par de tenazas. No he podido averiguar cuándo fué la rotura, pues el hecho debió ocurrir en tiempo que no ha llegado á la noticia de ninguno de los actuales empleados del Ministerio (Exchequer). Y, sin embargo, hasta hace diez años, han estado circulando por Europa y América, para vergüenza de este país, copias de tal medida con un certificado en pergamino, que las acompañaba, cuyos derechos, sin incluir los personales de los contrastadores, ascendian á tres libras y tres chelines, y en el cual se aseguraba hallarse contrastadas conforme al prototipo inglés.

»En 1742, la Academia de Ciencias de Paris y la Sociedad Real de Lóndres, quisieron comparar los prototipos ingleses y franceses, y entónces Inglaterra mandó construir una yarda oficial de laton, que se habia de custodiar en la Torre de Lóndres, de donde desapareció, sin saber cómo ni cuándo.»

llevando á cabo con el metro de platino iridiado, *terminado por trazos*, en el observatorio metrológico internacional, fundado y sostenido cerca de París por las naciones asociadas, con objeto tan civilizador como es el de unificar los instrumentos de medir y de pesar que emplean la ciencia, la industria y el comercio del mundo.

*Metro prototipo internacional* se llamará el origen ó base del nuevo sistema; pero no se pretenderá que tenga relacion alguna con las dimensiones de nuestro planeta, ni que sea otra cosa que la representacion *material* de la unidad del sistema.

Si la metrología de precision ha necesitado los auxilios de la NOVÍSIMA GEODESIA, ésta no puede ya seguir prosperando sin el concurso de la metrología actual. ¿Cómo expresar en funcion de una sola unidad todas las mediciones de arcos terrestres, y todas las determinaciones de la fuerza de la gravedad con el péndulo, si la metrología no crea una unidad comun, adoptada y respetada por todas las naciones civilizadas, y si además no compara, con gran precision, á la misma unidad todas las reglas de medir bases geodésicas, y todas las varillas de péndulo que hasta ahora se han usado ó se usen en el porvenir? Solamente cuando esta série de comparaciones metrológicas esté terminada con un error probable de una fraccion de milésima de milímetro, ó de *micron* ( $\mu$ ), como se ha convenido en decir, podrá la NOVÍSIMA GEODESIA ligar unos con otros los trabajos de las diferentes naciones, y proclamar despues el resultado de la última medicion del Globo.

Hasta entónces forzoso es contentarse con determinaciones parciales de longitud que conexionen entre sí los resultados obtenidos en diferentes experimentos, como lo ha hecho hasta aquí el nuevo Académico en las comparaciones metrológico-geodésicas que han estado á su cargo, y en la que verá en

breve la luz pública, que enlaza la geodesia con la metrología comercial de España.

Enumerados brevemente quedan los títulos científicos que la Academia tuvo en cuenta cuando eligió unánimemente al Sr. Barraquer para ocupar un sitial vacante en esta Corporación. Bienvenido, pues, el ingeniero militar y consumado geodesta á reforzar nuestras filas, harto mermadas por los estragos de la muerte. Hace ya más de veinte años que sigo paso á paso los trabajos del nuevo Académico, con un interés que se explica por los estrechos y agradables vínculos, del discípulo al maestro, que me unieron á su difunto padre, el venerable General D. Joaquin Barraquer, uno de los ilustres Jefes del Cuerpo de Ingenieros que guiaron mi juventud al estudiar las ciencias en la celebrada, y para mí muy querida, Escuela de Guadalajara. Ya os figurareis, Señores, mi alegría, cuando dentro de algunos instantes veamos sobre el pecho del Coronel Barraquer el emblema del más alto galardón á que puede aspirar quien consagra su existencia al estudio de las ciencias exactas, físicas y naturales.



# RED GEODÉSICA EUROPEA

PARA LA

DETERMINACION DE LA FIGURA Y DIMENSIONES DE LA TIERRA.

AÑO DE 1881.

Escala de 1:10.000.000.

### Nota.

Por encargo de la Asociación geodésica internacional, hizo este trabajo, con los materiales facilitados por las diferentes naciones, el señor Coronel del Ejército italiano D. Anibal Ferrero Excepluan. se las triangulaciones de Suecia y una parte de la Argelia, que han sido agregadas por el Instituto Geográfico y Estadístico de España.

