

lumna, Demócrito le atribuía la figura de un disco, y Cleantes, creyéndola cóncava, le daba la forma de una barca.

También los primeros conocimientos de la Astronomía, ciencia que cultivaron las naciones más antiguas, debieron contribuir á que se formasen ideas más ó menos exactas respecto de la tierra. Las observaciones más sencillas, como son las del orto, de la culminación y del ocaso de los astros, las diversas apariencias del cielo en distintas localidades, el fenómeno de los eclipses del sol y de la luna, cuyas causas parece que comprendieron algunos de los primeros astrónomos, es probable que hayan producido el mismo resultado. Entre los astrónomos más antiguos se cuenta á Thales de Mileto, quien, según Herodoto, llegó á predecir un eclipse solar hacia el año 585 antes de la era cristiana. Este filósofo atribuía á la tierra la forma esférica y la suponía flotando en las aguas. El filósofo Parménides, según dice Aristóteles, fué el primero en enseñar que la tierra era redonda. El mismo Aristóteles y Arquímedes enseñaban que el mar era esférico, y según Diógenes Laercio, los egipcios tenían los mismos conocimientos desde 400 años antes de J. C.

Entre las naciones más antiguas se hallan también ideas muy avanzadas acerca del movimiento del globo terrestre, aunque probablemente poco generalizadas. Parece que los egipcios tuvieron la primera idea de la rotación de la tierra al derredor de un eje, y que Aristarco la comunicó á los griegos. Orfeo y Pitágoras, según Diódoro, aprendieron de los egipcios la pluralidad de los mundos y la esparcieron en la Grecia. Plutarco dice que Filolao de Crotona, discípulo de Pitágoras, enseñaba 450 años antes de J. C. el movimiento diurno de la tierra, y el de traslación en un círculo al derredor del sol. Lo mismo enseñaba Nicetas de Siracusa, y posteriormente Aristarco de Samos.

Respecto de la magnitud de la tierra, las apreciaciones más antiguas se deben á los caldeos, quienes cinco siglos antes de la era cristiana, decían que un hombre andando continuamente á pie le daría la vuelta en el mismo tiempo que el sol. Esta apreciación me parece muy notable, porque revela un conocimiento bastante exacto del tamaño del globo terrestre. En efecto, siendo su circunferencia de po-

co más de 9000 leguas, resulta que un hombre tendría que andar cosa de 25 cada día para darle la vuelta en un año.

Los geómetras del tiempo de Aristóteles le atribuían 400,000 estadios de circunferencia; y como el estadio equivalía, según parece, á unos 180 metros, esta apreciación es demasiado fuerte, pues casi duplica el valor del radio terrestre. Sin embargo, Aristóteles combatiendo la creencia de Xenofanes de que la tierra era inmensa, dice que por poco que se camine hacia el Norte ó hacia el Sur, se altera el horizonte; porque las estrellas meridionales que se veían en Chipre y en Egipto, no se veían ya en los países septentrionales y vice versa.

Ninguno de los apuntes históricos que he tenido ocasión de consultar indica los procedimientos por cuyo medio se hicieron las anteriores apreciaciones de la magnitud de la tierra. La medida más antigua de que se hace mención es la de Eratóstenes, que vivió cerca de tres siglos antes de la Era cristiana. El método que siguió este filósofo, si bien le dió resultados inexactos por falta de buenos me-

dios de acción, es perfectamente racional, y el que se aplica hasta el día con la perfección que han podido darle el adelanto de las teorías y la exactitud de los instrumentos modernos.

El principio en que se funda es el siguiente: si en dos puntos A y B (fig. 32^a) de la superficie de la tierra, se miden simultánea ó sucesivamente las distancias zenitales ZAS y $Z'BS'$ de un mismo astro, puesto que las direcciones AS y BS' , en que este se observa, pueden suponerse paralelas á causa de su gran distancia á la tierra, tendremos que ZAS es igual á ZDS' .

Por otra parte el triángulo BCD da la ecuación: $ZDS' = DBC + BCD$; y sustituyendo por ZDS' el ángulo equivalente, se obtiene:

$$BCA = ZAS - Z'BS'$$

lo cual indica que el ángulo de las verticales es igual á la diferencia

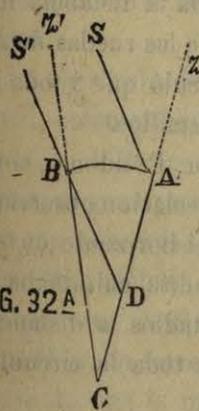


FIG. 32^a

de las distancias zenitales de un astro, medidas en el plano formado por las mismas verticales. Según este principio, si se mide en unidades lineales el arco AB , que expresa la distancia entre los dos puntos de observación, se tendrán los dos valores lineal y angular de AB ; y una simple proporción suministrará la extensión de toda la circunferencia.

Eratóstenes observó que el día del solsticio de estío estaba el sol exactamente vertical sobre la ciudad de Siena en el Alto-Egipto, lo cual dedujo de que á medio día iluminaba hasta el fondo un pozo muy profundo que allí se había construído. En la misma fecha colocó en Alejandría una semi-esfera hueca, con la parte cóncava hacia arriba, provista de una varilla ó estilo vertical cuya longitud era igual al radio de la esfera. Al llegar el sol al meridiano midió el arco interceptado por la sombra del estilo, y halló que era de $7^{\circ} 12'$, el cual representaba evidentemente la distancia del sol al zenit de Alejandría; y como el mismo día pasaba ese astro por el zenit de Siena, dedujo Eratóstenes que las verticales de las dos ciudades formaban un ángulo de $7^{\circ} 12'$, y en consecuencia, que la distancia que las separaba correspondía á ese arco. Midió en seguida la distancia itineraria, según se cree, por el número de vueltas de las ruedas de su carro, y obtuvo 5000 estadios, de cuyos datos calculó que á toda la circunferencia de la tierra correspondían 250000 estadios.

Según Cleomedes, que refiere la medida anterior, Posidonio, contemporáneo de Pompeyo el Grande, hizo otra apreciación observando que en Rodas la estrella *Canopus* tocaba sólo el horizonte en su paso por el meridiano; mientras que en Alejandría culminaba á $7^{\circ} 30'$ de altura. Estimando también en 5000 estadios la distancia entre los dos puntos, le resultaron 240000 para toda la circunferencia.

Desde la época de estas operaciones transcurrieron más de diez siglos en que no se sabe que se haya ejecutado una nueva medida de este género. Hacia el siglo VI de la Era cristiana, los árabes emancipados del yugo romano, fundaron su poderoso imperio de Bagdad, conquistando toda la Siria, parte del África y de la Europa. El Califa Almamoun, hijo del famoso Harum-al-Raschid, y que ascendió

al trono en 814, era un príncipe muy dedicado al estudio de la Astronomía, y mandó ejecutar la medida de un grado del meridiano terrestre, enviando una comisión de astrónomos á las llanuras de Fingar á orillas del Mar Rojo, con orden de que partiendo de un punto fijo, midiesen hacia el Norte y hacia el Sur las distancias necesarias hasta que obtuviesen 1° de variación en la altura meridiana de una estrella. Una de las medidas dió 56, la otra $56\frac{2}{3}$ millas de 4000 cúbitos ó codos; pero no se sabe con exactitud la relación de las medidas árabes de aquella época con las nuestras, y así es que diversos autores han estimado el grado de los árabes desde 47000 hasta 62000 toesas. ⁽¹⁾

Después de esta operación transcurrieron siete siglos para que se volviese á ejecutar otra medida del grado terrestre. En 1550 Juan Fernel, médico y astrónomo francés, midió también por el número de vueltas de las ruedas de su carruaje, una distancia desde Paris hacia el Norte, observando en ambas extremidades las alturas meridianas del sol. La comparación de éstas con la distancia recorrida dió 56746 toesas por valor del grado del meridiano terrestre, resultado que no se aleja mucho de los obtenidos por las medidas modernas.

La operación de este género que se practicó después se debe á Snell, quien publicó sus resultados en la obra titulada "*Eratosthenes Batavus, de Terræ ambitus vera quantitate.*" En esta operación dió su autor un gran paso hacia la perfección, sustituyendo por la primera vez con una cadena de triángulos la medida material de la distancia itineraria, método que con toda la exactitud á que se presta la ciencia moderna, es el que se sigue hasta hoy. El valor que Snell halló para el grado terrestre es el de 55100 toesas, demasiado pequeño á causa de que la medida angular no correspondió en precisión á la lineal; pero rectificadas posteriormente la primera, se ha hallado que aquel valor debió ser de 57033 toesas, que concuerda bien con los resultados recientes.

En 1634, el P. Riccioli, de la Compañía de Jesús, midió una dis-

(1) La toesa francesa equivale á 1.^o94904.

tancia entre Módena y Bolonia, que comparó después con la amplitud correspondiente para obtener el valor del grado, que le resultó de 61500 toesas próximamente, á consecuencia de la poca precisión de sus operaciones. Parece que este geómetra, en lugar de medir astronómicamente el elemento angular, lo dedujo de la observación de las distancias zenitales recíprocas de las extremidades de su línea, pues es fácil cerciorarse de que la suma de éstas es suplementaria del ángulo de las verticales.

De 1633 á 1635 Ricardo Norwood midió el arco comprendido entre la ciudad de York y la Torre de Londres, haciendo uso de una cadena metálica; y por observaciones del sol halló que la diferencia de latitud entre los dos puntos era de $2^{\circ} 28'$, de lo que dedujo que el grado tenía por valor 57423 toesas.

En 1669 hizo Picard una triangulación entre Sourdon, cerca de Amiens, y Malvoisine en las inmediaciones de Paris, y comparada la distancia total con su amplitud regular, halló 57060 toesas por valor de un grado. La parte astronómica fué repetida por Maupertuis y Clairaut en 1739, y en virtud de las rectificaciones que le hicieron, resulta el grado de 57183 toesas.

101.—Tal era el estado de la cuestión hacia la época en que Newton estableció su célebre teoría de la gravitación universal. Hasta este tiempo creo que nadie había dudado de la perfecta esfericidad del globo terrestre, aunque parece extraño que las discordancias halladas en el valor del grado no hubiesen inducido á los geómetras á formar otras hipótesis, sobre todo en una época en que se hicieron tantas respecto de todos los ramos de las ciencias físicas. Después de mucho tiempo de trabajo y de meditación, Copérnico había restablecido desde 1543 el sistema de Pitágoras relativo al doble movimiento de rotación y de traslación de la tierra, y aunque combatido por Tycho-Brahe á principios del siglo XVII, fué adoptado por Galileo, y según toda probabilidad por la mayor parte de los astrónomos de la época; pero la ignorancia y el fanatismo religioso vieron en el nuevo sistema un ataque al texto de las Escrituras, y en consecuencia, lo condenaron como herético, llevando la exageración hasta el grado de obligar á Galileo en

1634 á que hiciese una pública abjuración de sus doctrinas astronómicas. ⁽¹⁾

El gran principio de la gravitación universal, las teorías de Huygens sobre la fuerza centrífuga y la del movimiento de la sierra que cada día se iba robusteciendo no obstante la prohibición de que era objeto, vinieron á modificar las ideas generalmente recibidas acerca de la figura del globo terrestre, y á dirigir la atención de los geómetras hacia nuevas investigaciones. Combinando Newton la pesantez con la fuerza centrífuga que adquiere un cuerpo girando al derredor de un punto, hizo ver en su obra titulada "*De principia*," publicada en 1687, que la tierra no debía ser esférica sino esferoidal; y suponiendo que en el origen de los tiempos hubiera tenido un estado de fluidez homogénea, demostró que la forma que debió adquirir por la rotación es la de un esferoide cuyos radios polar y ecuatorial estuviesen en la relación de 229 á 230, ó cuyo aplanamiento fuese de $\frac{1}{230}$. Fundándose en los mismos principios, presentó como consecuencia necesaria de la atracción ejercida por el sol y la luna sobre la prominencia ecuatorial del globo, el fenómeno de la precesión de los equinoccios, que descubierto por Hiparco 18 siglos antes, había sido reconocido por todos los astrónomos, aunque sin explicación satisfactoria.

Las propias teorías sirvieron á Newton para explicar un hecho reciente, que había llamado mucho la atención de los geómetras: en 1671 el astrónomo Richer fué enviado á Cayena con el fin de practicar algunas observaciones, y con este objeto arregló un péndulo en Paris antes de su partida; pero al llegar á Cayena vió que atrasaba más de 2 minutos cada día. Este hecho, que casi constituía una prueba experimental de la rotación del globo, se explicaba perfectamente por la disminución de la pesantez hacia el ecuador originada por la

⁽¹⁾ El ilustre anciano se vió obligado por la Inquisición á firmar la siguiente retractación: "*Yo Galileo, á los 70 años de mi edad, constituido preso, arrodillado y teniendo ante mí vista los Santos Evangelios que toco con mis manos, con una fe y un corazón sincero, abjuro, maldigo, detesto el error y la heregía del movimiento de la tierra, etc.*" Se refiere que al levantarse, no pudiendo por más tiempo traicionar sus convicciones adquiridas por tantos años de estudio, exclamó: "*¡E pur si muove!*" (¡Y, sin embargo, se mueve!)

mayor distancia al centro de atracción, por la existencia de la fuerza centrífuga, ó por ambas causas á la vez.

Como era de esperarse, las ideas de Newton encontraron una fuerte oposición, y se suscitó entre los geómetras una controversia sostenida por argumentos más ó menos ingeniosos, conforme al espíritu de la época, más bien que por medio de pruebas obtenidas por la experimentación directa. Quizá las creencias religiosas más que las científicas contribuyeron á mantener la discusión; porque es claro que aceptando la existencia de la fuerza centrífuga para explicar el hecho del decremento de la pesantez, se tenía que admitir la rotación diurna del globo, condenada entonces por la Iglesia.

Este estado guardaban las cosas cuando Cassini ejecutaba la medida del meridiano de Francia; trabajo que, emprendido en 1684 bajo la protección de Colbert, ministro de Luis XIV, vino á terminarse hasta 1718, habiendo sufrido una interrupción á la muerte del mismo Colbert. Los astrónomos y los geómetras esperaban ansiosos el resultado de esta medida, porque era el que debía poner término á la cuestión de la forma de la tierra. En efecto, si el globo era realmente aplanado hacia los polos, los grados del meridiano deberían tener extensiones crecientes á medida que aumentase la latitud; mientras que siendo esférico, estos grados deberían ser exactamente los mismos en cualquiera latitud; y como la operación de Cassini, ejecutada con un esmero desconocido hasta entonces, abrazaba varios grados cuyas extensiones se podrían determinar individualmente, se creyó con fundamento que sería segura la resolución experimental al terminarse la medida.

Sin embargo, el resultado de ésta, lejos de resolver el problema, vino á complicarlo, desconcertando completamente á todos los que habían tomado parte en tan acalorada discusión. El arco comprendido hacia el Sur de Paris, entre esta ciudad y Collioure dió 57097 toesas para el grado; mientras que el comprendido hacia el Norte, entre Paris y Dunquerque, le asignó 56960, indicando, por consiguiente, una forma del todo opuesta á la calculada por Newton; pues el decremento de los grados á medida que aumentaba la latitud, sólo podía convenir á un esferoide prolongado hacia los polos.

Un resultado tan contrario al que se deducía de las doctrinas de Huygens y de Newton, hizo crecer naturalmente la oposición que se les hacía; pero el gran geómetra inglés no cejó en sus teorías. Newton es cierto que tenía en su contra el resultado de la medida de Cassini; pero también tenía en su favor el decremento de la gravedad en el ecuador, que entretanto se había comprobado con numerosas experiencias. En ese tiempo también se había ya puesto fuera de duda la rotación del planeta Júpiter, y aun se conocía su fuerte aplanamiento polar; natural era que apoyándose en este nuevo hecho, el vasto ingenio de Newton no viese una prueba decisiva en una operación geométrica sujeta á errores que, por pequeños que fuesen, bastarían quizá para conducir á una conclusión contraria á la verdad; puesto que admitiendo él mismo que la forma de la tierra debía diferir muy poco de la esférica, la desigualdad de los grados, por ser muy pequeña, podría confundirse fácilmente con los errores inevitables de las observaciones geodésicas y astronómicas.

La fuerza de estas razones decidió á la Academia de Ciencias de Paris á promover una nueva experimentación, eligiendo para medir arcos del meridiano, dos lugares muy distantes en latitud, á fin de hacer más perceptible de esa manera cualquiera diferencia que se encontrase en las extensiones de los grados correspondientes. Acogido favorablemente el pensamiento por Maurepas, ministro de Luis XV, se organizó la memorable expedición de Bouguer, Lacondamine y Godin al ecuador, y la de Maupertuis, Clairaut, Lemonnier y Outhier á Laponia, cuyas operaciones dieron definitivamente la victoria á Newton.

102.—La primera de estas comisiones, auxiliada en sus trabajos por los astrónomos españoles D. Jorge Juan y D. Antonio de Ulloa, midió cerca de Quito un arco de más de 3° , obteniendo la extensión de 56748 toesas para el grado ecuatorial. La segunda halló en Laponia que un grado tenía 57422, ó sea 674 toesas más que el del ecuador. Entretanto se repitió la medida del meridiano de Francia, descubriéndose en esta segunda operación algunos errores que fueron la causa de la conclusión á que había llegado Cassini.

Los arcos de América, Francia y Suecia indicaron, como he dicho, un incremento en la extensión de los grados, desde el ecuador hacia los polos; pero los tres valores no concordaron en la asignación de las magnitudes relativas de los diámetros ecuatorial y polar. La comparación del arco americano con el sueco da $\frac{1}{213}$ por aplanamiento, mientras que comparado con el francés produce $\frac{1}{314}$. La exactitud con que se practicaron estas operaciones no permite quizá atribuir la discordancia á errores puramente de observación; y por otra parte, el arco de Laponia que se volvió á medir de 1801 á 1803 por Swamberg con algún aumento de amplitud, aunque está más de acuerdo con el resto de las medidas practicadas posteriormente, no produce, sin embargo, exactamente el mismo aplanamiento que el que da el arco de Francia comparado con el de América.

Tanto por estas discordancias, como porque una vez impreso el primer movimiento hacia la experimentación directa, los geómetras de todos los países quisieron contribuir con sus trabajos á la resolución completa de un problema tan interesante, casi en todas las naciones se emprendieron con este fin operaciones geodésicas y astronómicas. Haré una rápida mención de las principales. Desde 1750 los PP. jesuitas Boscovich y Lemaire midieron un arco de Roma á Rimini. En 1752 Lacaille midió otro en el Cabo de Buena-Esperanza; Liesganig en 1762 en las inmediaciones de Viena; y el P. jesuita Beccaria en la Lombardía, hacia la misma época. En 1764 los astrónomos Mason y Dixon midieron en Pensilvania un arco casi de grado y medio de amplitud; y en 1786 el general Roy prolongó el meridiano de Francia al través de la Inglaterra. En el año de 1791 y los siguientes repitió la medida del meridiano de Francia el célebre Delambre en compañía de Mechain, el cual prolongaron más tarde (1806) Biot y Arago hasta las islas Baleares. Este arco en su totalidad abraza más de 12°, y con su ayuda se calculó la extensión del cuadrante del meridiano, que, como se sabe, es la distancia que se tomó por tipo para establecer el sistema decimal francés de pesas y medidas.

Además de estas operaciones, se han medido, especialmente en

Francia é Inglaterra, arcos de paralelos al ecuador; y otras veces se han combinado las extensiones de arcos del meridiano con arcos de paralelo. Todos los resultados, sin excepción, indican un aplanamiento polar; pero por lo general no concuerdan exactamente con el valor de éste. Las discordancias son á la verdad muy pequeñas; pero no han podido desaparecer, no obstante la precisión de los instrumentos que se han empleado en las operaciones y el límite casi insensible á que han podido reducirse los errores de observación.

103.—Antes de hacer mención de las principales operaciones geodésicas que se han practicado en este siglo también con el fin de determinar la figura de la tierra, indiquemos otros procedimientos que igualmente se han aplicado al mismo objeto. Todos ellos están fundados, de una manera más ó menos directa, en el principio de la atracción. En 1740 presentó Maclaurin á la Academia de Ciencias una memoria referente á este asunto, en la cual demuestra que si la tierra hubiera sido al principio formada por un fluido homogéneo, el aplanamiento que ha debido tomar sería igual á los $\frac{5}{4}$ de la relación entre la fuerza centrífuga y la pesantez en el ecuador. Como esta relación se estima en $\frac{1}{289}$, se deduce del teorema de Maclaurin: $a = \frac{5}{1156} = \frac{1}{231}$, que es casi el mismo resultado de Newton.

En 1743 publicó Clairaut una obra con el título de "*Figura de la tierra*," en la cual aplica las condiciones de que depende el equilibrio de una masa fluida para descubrir la forma que esta debe tomar, ya sea en la hipótesis de que el fluido, siendo homogéneo, tenga por núcleo una materia de diversa densidad, ya suponiendo heterogénea toda la masa. En ambas circunstancias, con todas las diversas combinaciones de que son susceptibles, resulta que la forma es la de un elipsoide; que la extensión de los grados crece como los cuadrados de los senos de las latitudes, y que el aplanamiento polar es igual á los $\frac{5}{2}$ de la relación que existe entre la fuerza centrífuga y la gravedad en el ecuador, menos el incremento de pesantez del ecuador al polo. Siendo este incremento de $\frac{1}{192}$ próximamente en el globo terrestre, resulta según el último teorema: $a = \frac{5 \times 1}{2 \times 289} - \frac{1}{192} = \frac{1}{290}$.

Laplace en su "*Mecánica celeste*" indicó también un medio de hallar el aplanamiento ó compresión polar, demostrando que la pro-

minencia ecuatorial de la tierra debería producir alguna alteración en el movimiento de la luna. Hallada, en efecto, por la observación la pequeña irregularidad del movimiento de nuestro satélite, la cual asciende á unos 8'', se ha podido tomar como elemento para determinar la prominencia que la origina, resultando del cálculo $a = \frac{1}{301}$ con muy poca diferencia.

También se ha procurado determinar la forma de la tierra por medio de numerosas observaciones del péndulo. El fundamento de este método se comprenderá fácilmente recordando que el tiempo que dura la oscilación de un péndulo depende tanto de su longitud como de la intensidad con que obra la pesantez en el lugar de la experiencia; y como la acción de esta fuerza crece del ecuador á los polos á consecuencia de la forma aplanada del globo terrestre, resulta que midiendo en dos ó más lugares las longitudes de los péndulos que oscilen en determinado tiempo, por ejemplo, en un segundo, la comparación de esas longitudes podrá servir para hallar el valor de la compresión polar.

Muy numerosas han sido las observaciones del péndulo. Hice ya mención de las experiencias de Richer, que dieron á conocer por la primera vez la variación de la gravedad. Además de éstas, hizo Deshayes otras varias en las Antillas y en algunos puntos de las costas Sur-Americanas. Croyère observó el péndulo en Arcángel; Campbell, Lacondamine, Godin y Bouguer en las inmediaciones del ecuador; Maupertuis en Suecia; Lacaille en el cabo de Buena-Esperanza; Legentil en varios lugares de Asia; Malaspina en las costas de América; y por último, muchos observadores modernos como Kater, Ross, Parry, Hall, Brisbane, Sabine, Warren, Goldingham, Foster, Freycinet, Duperrey, Biot, Arago, Rumker, Fallows, Baily, etc., han medido la longitud del péndulo en diversos puntos del globo.

104.—Además de muchas observaciones del péndulo, se han ejecutado en el siglo actual varias operaciones geodésicas de la mayor exactitud, entre las cuales superan por su extensión á cuanto se había hecho anteriormente, las medidas practicadas en la India por los geógrafos ingleses Lambton y Everest, y en Rusia por Hansteen,

Selander, Struve y Tenner. El arco de la India se midió de 1802 á 1843, y comprende más de 21°. El arco ruso se comenzó á medir en 1820; hasta 1851 iban medidos más de 25°, y en 1857 inició Struve su prolongación al través del territorio turco, la cual acaso se ha llevado á efecto.

Todas estas operaciones indican la existencia de la compresión polar; pero subsisten aún pequeñas discordancias respecto de su valor, no obstante la magnitud de las medidas modernas y la suma precisión con que se han practicado. La falta de armonía entre los resultados que se obtienen comparando diversos arcos, se ha explicado de varias maneras. Una de las causas del error, acaso la más influyente, es la atracción que ejercen las montañas, la cual combinándose con la atracción general de la tierra, produce ligeras desviaciones en la dirección de la gravedad; y como esta dirección es la que sirve para medir astronómicamente las amplitudes de los arcos, resulta que todo el efecto de una atracción anormal entra como error en el elemento angular ó astronómico. En el día parece bien comprobado que algunas montañas hacen desviar más de 5'' la dirección de una plomada, y este pequeño ángulo originaría un error equivalente á más de 150^m en el elemento lineal; puesto que cada segundo contado en el meridiano excede de 30^m. Por otra parte, la tierra puede no ser exactamente un sólido de revolución, ó aun cuando lo sea en su conjunto, es posible que tenga irregularidades locales, ya sea en cuanto á la forma, ya en cuanto á la densidad de las substancias que la constituyen.

En vista de la imposibilidad de coordinar con entera precisión los resultados de todas las medidas practicadas hasta hoy, lo que han hecho muchos geómetras, especialmente Walbek, Schmidt, Bessel, Airy y últimamente (1868) Fischer, es investigar cuál es la figura que se aviene mejor con el conjunto de las operaciones dignas de más confianza. El resultado general de estas discusiones manifiesta que, sin error de importancia, se puede considerar á la tierra como un elipsoide de revolución al derredor de su eje polar. Con el fin de que se comprenda hasta qué grado de exactitud ha podido alcanzarse en la apreciación de los elementos que caracterizan al

elipsoide, pongo á la vista los valores que han obtenido algunos geómetras.

	Radio ecuatorial.	Radio polar.	Aplanamiento.
Walbek.....	6376746 ^m	6355785	$\frac{1}{304.2}$
Schmidt.....	6376959	6355523	$\frac{1}{297.5}$
Bessel.....	6377397	6356079	$\frac{1}{299.2}$
Fischer.....	6378328	6356230	$\frac{1}{288.6}$

Esta comparación demuestra que es relativamente muy pequeña la incertidumbre que aún queda en las dimensiones del globo terrestre; y que cualquiera de los valores precedentes debe proporcionar cuanta exactitud práctica demanden la mayor parte de las aplicaciones usuales. En la Parte Primera de esta obra adopté los elementos de Bessel, que son los que se emplean más generalmente.

Se han hecho también diversas discusiones de las medidas del péndulo, aplicando diferentes procedimientos de cálculo. Los resultados son, por lo general, más acordes entre sí que los de las medidas geodésicas, aunque dan por aplanamiento una cantidad notablemente mayor que estas últimas. La compresión que se deduce de las experiencias del péndulo puede extimarse en $\frac{1}{285}$, variando entre los límites $\frac{1}{285}$ y $\frac{1}{291}$.

105.—En 1859 publicó Schubert en San Petersburgo una memoria con el título de “*Essai d'une détermination de la véritable figure de la terre.*” La novedad de las consecuencias que deduce este astrónomo me obligan á dar una idea de su método de discusión y de sus resultados. En todas las investigaciones anteriores se han admitido las tres hipótesis siguientes: 1ª Los meridianos son elípticos. 2ª El diámetro polar es también el eje de rotación de la tierra. 3ª Todos los meridianos terrestres son iguales. Aunque en todo rigor ninguna de ellas esté suficientemente comprobada, Schubert es de opinión que las dos primeras son sumamente probables; pero no así la última, que, por el contrario, parece falsa. En consecuencia, aceptando

nada más las dos primeras, se vale de los dos grandes arcos de la India y de Rusia para calcular el semi-eje menor de la tierra, que es común á todos los meridianos. En seguida, por medio de los arcos más notables calcula los radios ecuatoriales que les corresponden, y hallando diversos resultados, deduce que el ecuador no es exactamente circular, sino ligeramente elíptico. Para determinar esta elipse bastan tres de sus radios y los ángulos que forman entre sí, ó sean sus diferencias de longitud; y así es que calculando los tres radios por medio de otros tantos arcos bien elegidos, encuentra el escritor los siguientes elementos para la elipse ecuatorial:

Semi-eje mayor del ecuador.....	6378554 metros.
Semieje menor del ecuador.....	6377837 „
Elipticidad ó aplanamiento del ecuador.....	$\frac{1}{8898}$
En cuanto al radio polar de la tierra, resulta de.....	6356721 „

Los meridianos que cortan al ecuador según los ejes mayor ó menor de éste, serán, en consecuencia, el mayor y el menor meridianos de la tierra respectivamente, cuyas elipticidades estima Schubert de este modo:

Compresión polar del mayor meridiano.....	$\frac{1}{292.1}$
Compresión polar del menor meridiano.....	$\frac{1}{302.0}$

El menor de estos meridianos pasa al Este de la Siberia, y en este hemisferio por Terranova y cerca de las costas orientales de América. El mayor por la Europa oriental, no muy lejos del gran arco medido en Rusia. Convendría ciertamente que en todos esos países se hiciesen nuevas operaciones geodésicas con el fin de averiguar hasta qué punto son ciertas las consecuencias de la discusión de Schubert.

Se ve, pues, que según este geómetra, aparece la tierra como un esferoide de tres ejes. A un resultado semejante ha llegado el capitán inglés Mr. Clarke en una publicación hecha en 1866. Comparando las medidas geodésicas de Europa, incluyendo el arco ru-

so, con las del Cabo, del Perú y con el gran arco de la India, halla:

Semi-eje mayor del ecuador	6378294 ^m
Semi-eje menor del ecuador	6376350
Semi-eje polar de la tierra.....	6356068

En cuanto á los meridianos máximo y mínimo, fija al primero la longitud de 15° 34' al Este de Greenwich, posición que es casi la de Mesina; y al segundo la longitud de 74° 26' al Oeste, la cual corresponde con poca diferencia á la de New-York en el hemisferio americano, y á la de Irkoutsk (Siberia), y de Singapore en el hemisferio asiático. Todos estos resultados manifiestan que, aun aceptando las conclusiones de Schubert y Clarke, es sumamente pequeña la diferencia que existe entre la forma que asignan á la tierra estos geómetras y la más sencilla de un elipsoide de revolución. Por consiguiente, puede tenerse por cierto que, sean cuales fueren los progresos futuros que se alcancen en cuanto á la asignación de la figura real de nuestro planeta, es indudable que en la mayor parte de las aplicaciones será suficientemente exacto suponerlo un elipsoide de revolución al derredor de su eje polar.

CAPITULO II.

INVESTIGACIÓN DE LA FORMA DE LA TIERRA POR MEDIO DEL PRINCIPIO DE LA GRAVITACIÓN.

106.—Por extensa que sea esta materia, y por numerosas que hayan sido las aplicaciones á que ha dado origen el fecundo principio de la gravitación universal para determinar la figura de la tierra, creo indispensable presentar una breve exposición de los principales procedimientos, para dar una idea de las investigaciones teóricas y de los métodos de experimentación directa que se han aplicado á aquel objeto.

Los principios de la Mecánica, aplicados á los fluidos y combinados con las propiedades características de éstos, han dado á conocer las condiciones que deben reunirse para que subsista el equilibrio en una masa fluida. Desde luego la presión que sufre un punto cualquiera de la masa en una dirección determinada, debiendo transmitirse en todos sentidos, es necesario que sea destruída por la resultante de las demás presiones que se ejerzan en el mismo punto. Si se designan por x, y, z las coordenadas de un punto de la masa fluida, referidas á tres planos rectangulares, y llamamos F la fuerza que produce la presión en ese punto, podremos descomponer ó resolver la fuerza F en otras tres X, Y, Z , dirigidas en el sentido de cada uno de los ejes, y siendo ρ la densidad del fluido, la primera condición matemática del equilibrio requiere que sea una diferencial exacta la expresión $\rho(X dx + Y dy + Z dz)$, cuya integral