

Historia de la Geodesia

Edad Media y Renacimiento hasta la primera mitad del siglo XVIII.

E. Calero

2ª Parte.
Versión 1.0
22-1-2005

1 Edad Media y Renacimiento hasta la primera mitad del siglo XVIII.

Durante el periodo que va desde las primeras invasiones germánicas hasta la época de los grandes descubrimientos, el mundo occidental tiene problemas de supervivencia más importantes que los científicos. La continuación del trabajo iniciado por los griegos pasa al mundo árabe. Hacia el año 800, el califa de Bagdad Aarum al Rachid envía a Carlomagno un reloj de pesas bastante perfeccionado. Su hijo **Al-Mamum** favorece la traducción de los manuscritos griegos, construye observatorios y promueve una nueva medida del meridiano siguiendo el método de Eratóstenes. Utilizan una regla de madera para medir, alineando sucesivamente el aparato, una longitud de $56 \frac{2}{3}$ de millas arábicas, que se corresponde con un grado. Las medidas se realizaron hacia el año 827 en la llanura de Palmira, próxima a Bagdad, y dieron un resultado de 119.000 metros para el grado. Un valor que difiere del actual en un 3.6 %.

En 1080, **Azarquiel** publicó en Toledo unas tablas astronómicas que servirían para la elaboración de las tablas alfonsies.

Hacia el siglo X el testigo pasa al Califato de Córdoba, iniciándose el proceso de transmisión de la ciencia griega al mundo occidental, tras algunos viajes esporádicos a Córdoba de estudiosos cristianos, el proceso se oficializa con la creación por **Alfonso X**, rey de Castilla, de la Escuela de Traductores de Toledo. El rey publica, en 1280, con los medios de la época, el Libro del Saber de Astronomía.. Las tablas de cuerdas de Alfonso X, Tablas alfonsies, fueron utilizadas por Kepler.

Alhazen escribe un tratado de óptica, donde se habla de los vidrios que agrandan los objetos.

Ya en el siglo XIII, comienza en occidente a dar sus frutos el contacto de ambos mundos: **Roger Bacon** (1214 - 1294) escribe un tratado de óptica,

estudia la refracción y considera las mareas oceánicas como el resultado de la atracción de la Luna. Los viajes de Marco Polo, introducen el uso de la brújula.

La era de los Descubrimientos **Colón**, **Vasco de Gama**, **Magallanes-Elcano** resuelve definitivamente el problema de la Tierra como un cuerpo aislado en el espacio y plantea la necesidad de la determinación de la longitud en el mar. En el viaje de Magallanes, siempre hacia el oeste, ya se encontró que habían medido un día menos que los que quedaron en tierra, la línea de cambio de fecha.

Copérnico (1472 - 1543). En 1543 aparece la obra: "Nicolai Copernici Torinensis, de revolutionibus orbium celestium libri VI " estableciendo el Sol como centro del universo. La hipótesis heliocéntrica suscitó una agria polémica científica y religiosa que dio lugar a la inclusión del libro en el Índice de libros prohibidos por la Iglesia Católica en 1616. Tycho Brahe, astrónomo danés (1546 - 1601) también la rechazaría, no así su discípulo **Kepler**.

Neper (1550 - 1617) inventa los logaritmos, su amigo **Briggs** publicará en 1626 la primera tabla con 14 decimales, los que hoy conocemos como logaritmos neperianos fueron introducidos por Euler en 1748. El sistema se aplica pronto a las líneas trigonométricas. Los logaritmos representaron en su época lo que los ordenadores en la nuestra, la posibilidad de realizar los largos cálculos astronómicos y geodésicos con un medio que los hacía practicables.

En 1582 se introduce la reforma Gregoriana del calendario.

La invención del telescopio parece deberse a **Porta** hacia 1580, fue difundido por el óptico holandés **Jansen**, y **Galileo** construye uno hacia 1616 basándose en algunas indicaciones no muy precisas.

Lo que los logaritmos y el telescopio representaban para el avance de la Geodesia y la Astronomía, no escapó a mentes como las de **Kepler** y **Galileo**. El primero utilizó los logaritmos en sus cálculos, el segundo enfocó el telescopio hacia cielo.

Galileo (1564-1642). Los resultados de la observación del cielo con el telescopio son: el descubrimiento de los satélites de Júpiter, que permitía la determinación de las diferencias de longitudes, la extraña forma de Saturno, las fases de los planetas interiores, las montañas y cráteres de la Luna, las estrellas de la Vía Láctea.

Kepler (1571-1630). Adopta en 1609 el sistema de **Copérnico** y utilizando las observaciones de **Tycho**, exactas al minuto, enuncia sus dos primeras leyes del movimiento planetario que comprueba tras inmensos cálculos al decir de sus contemporáneos. La tercera ley se publicará en 1619.

1.1 Introducción de la triangulación.

La idea de la triangulación fue concebida por **Tycho Brahe** quién la utilizó (1578) en el levantamiento de la isla de Hven donde tenía su observatorio y en la unión geodésica con la costa danesa.



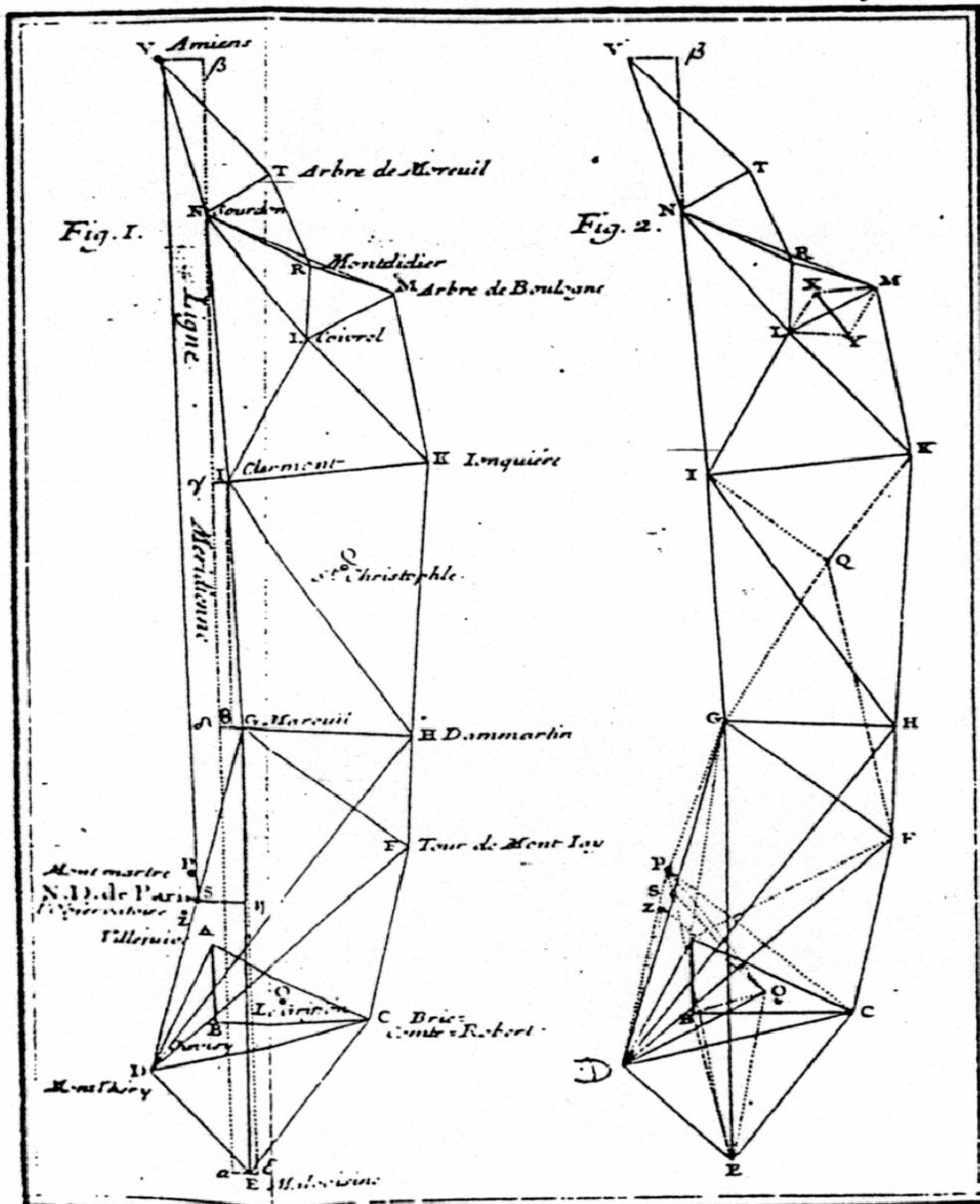
En 1616 el matemático holandés **Willebrord van Roijen Snell**. (1591-1616) usó una red de 33 triángulos para medir un arco de meridiano entre Alkmaar y Bergen op Zoom (Holanda) y midió una base en la región de Leyden. Los triángulos no tenían una buena conformación y no midió el tercer ángulo. Los resultados numéricos no fueron buenos, pero el método quedaba consolidado.

Junto con Descartes, enunció las leyes de la refracción de la luz.

En 1669 **Jean Picard**, astrónomo francés, primero en utilizar el telescopio provisto de retículo para las medidas angulares, midió una red de 13 triángulos al norte de París. El valor del radio obtenido fue utilizado por Newton para probar que la atracción terrestre es la fuerza principal que gobierna el movimiento de la Luna en su órbita. El arco estaba comprendido entre Sourdon y Malvoisine. Midió una base entre Villejuif y Juvisy y realizó observaciones de latitud entre los dos extremos. Obtuvo un valor para el grado de 57.000 toesas (1 toesa = 1.949 metros).

En 1673 **Christiaan Huyghens** (1629-1695) publica su *Horologium oscillatorium* donde establece la teoría mecánica completa del péndulo. Utiliza el péndulo para la regulación de los relojes de pesas, inventando el escape. Ya se dispone en tierra de un guarda tiempos preciso. Los astrónomos y geodestas van adquiriendo un conjunto de herramientas basadas en la óptica, la mecánica de precisión, y las matemáticas. Sobre estas tres grandes líneas se basará el progreso de la instrumentación geodésica, hasta la inclusión de la electrónica y los satélites artificiales entrado el siglo XX.

1697 **Sir Isaac Newton** publica *Principia mathematica philosophiae naturalis*. Deduce las leyes de Kepler a partir de la Ley de la gravitación universal que constituirá la base de la Mecánica celeste, la geodesia dinámica, etc. Establece las fórmulas sobre la atracción de las esferas y otros cuerpos, deduce el valor



34 *Mesure de la Terre,*
 qui ne donnoient les minutes que de six
 en six, ils n'ont pas laissé d'approcher de
 la justesse autant qu'il étoit nécessaire,
 pour faire voir qu'on ne s'étoit pas trompé
 aux conclusions.

I. TRIANGLE ABC.
 Pour connoître le côté AC.

CAB..... $54^{\circ}4'35''$.
 ABC..... $95^{\circ}6'55''$.
 ACB..... $30^{\circ}48'30''$.
 AB..... 5663 Toises de mesure actuelle.
 Donc AC..... 11012 Toises 5 pieds.
 Et BC..... 8954 Toises.

II. TRIANGLE ADC.
 Pour DC & AD.

DAC..... $77^{\circ}25'50''$.
 ADC..... $55^{\circ}0'10''$.
 ACD..... $47^{\circ}34'0''$.
 AC..... 11012 Toises 5 pieds.
 Donc DC..... 13121 Toises 3 pieds.
 Et AD..... 9912 Toises 2 pieds.

III. TRIANGLE DEC.
 Pour DE & CE.

DEC..... $74^{\circ}9'30''$.
 DCE..... $40^{\circ}34'0''$.
 CDE..... $65^{\circ}16'30''$.
 DC..... 13121 Toises 3 pieds.
 Donc DE..... 8870 Toises 3 pieds.
 Et CE..... 12389 Toises 3 pieds.

par M. l'Abbé Picard. 35

IV. TRIANGLE DCF.
 Pour DF.

DCF..... $113^{\circ}47'40''$.
 DFC..... $33^{\circ}40'0''$.
 FDC..... $32^{\circ}32'20''$.
 DC..... 13121 Toises 3 pieds.
 Donc DF..... 21658 Toises.

Notez que dans ce quatrième triangle, l'angle DFC a été augmenté de $10''$, qui manquoient à la somme des trois angles.

V. TRIANGLE DFG.
 Pour DG & FG.

DFG..... $92^{\circ}5'20''$.
 DGF..... $57^{\circ}34'0''$.
 GDF..... $30^{\circ}20'40''$.
 DF..... 21658 Toises.
 Donc DG..... 25643 Toises.
 Et FG..... 12963 Toises 3 pieds.

Ensuite de ces cinq triangles, il a été facile de conclure la distance GE entre Malvoisine & Marcueil, sans supposer aucune nouvelle Observation.

del achatamiento terrestre ($1/231$) en la hipótesis de una Tierra homogénea, da una fórmula de la variación de la gravedad con la latitud.

Ya en 1683 se propone al Rey de Francia prolongar el arco de meridiano de Picard por el norte hasta Dunquerque y por el sur hasta Collioure. Después de algunas interrupciones, el trabajo se completó entre 1700 y 1718 por **Jacques Cassini, Maraldi y La Hire**. Los resultados del cálculo contradecían las conclusiones de Newton y Huyghens, originándose una agria polémica entre los partidarios de Newton y los de Cassini: Para los primeros la Tierra tiene la forma de un elipsoide achatado por los polos, para los segundos achatado en el ecuador. Esta polémica trascendió el ámbito puramente científico alcanzando casi la categoría de conflicto franco-británico. El eco que alcanzó en la opinión pública está reflejado, con una gran dosis de sarcasmo, en *Los Viajes de Gulliver* (1726) del vitriólico **Jonathan Swift**.

“ Los dos grandes imperios de Lilibut y Blefuscu, estas dos poderosas potencias, como iba diciendo, llevan enzarzadas en una guerra obstinadísima desde hace treinta y seis lunas. Empezó por el siguiente motivo: todo el mundo está de acuerdo en reconocer que la manera primitiva de partir huevos antes de comerlos era rompiéndolos por el extremo más ancho, pero el abuelo de Su Majestad actual, siendo muchacho, una vez que iba a comer un huevo, lo rompió de acuerdo con la práctica antigua y por casualidad se cortó un dedo. Tras esto su padre, el Emperador, publicó un edicto ordenando a sus súbditos, bajo penas severas, que rompieran los huevos por el extremo más delgado. La población se ofendió tanto ante esta ley, que según nuestras crónicas ha habido seis sublevaciones a cuenta de ello, en una de las cuales perdió la vida un emperador y otro la corona.” (pp 49-50. Edición del PAIS. 2004).

Hacia 1735 la Academia de Ciencias de Francia solicita al Canciller **Maurepas** se envíen dos expediciones a Laponia y el Ecuador para resolver la polémica entre cassinianos y newtonianos. El objetivo era medir un arco de meridiano de un grado en las proximidades del ecuador y del polo norte.

La expedición de Laponia estaba dirigida por **Maupertuis**, acompañado por **Clairaut, Camus, Outhier** y **Celsius**. Se mide el arco y también la gravedad. Los instrumentos fueron fabricados por el mecánico inglés **Graham**. Al cabo de seis meses regresó la expedición, aprovechándose la nueva instrumentación para repetir las medidas astronómicas del meridiano de Picard. El primer resultado es de 57438 toesas para el grado de meridiano en Laponia.

Entre 1739 y 1740, **Cassini de Thury** y **La Caille** remiden el Meridiano de Francia. Los resultados obtenidos dan la razón a la teoría de Newton.

La expedición del Virreinato del Perú, formada por **Bouger, Godin, Jorge Juan, La Condamine** y **Ulloa**, midió un grado en las proximidades del Chimborazo (hoy República del Ecuador) y también el valor de la gravedad. Bouger da cuenta de las desviaciones de la vertical por la atracción de las montañas próximas, aunque el valor encontrado $7''{,}5$ sólo encuentra explicación

si el Chimborazo posee grandes cuevas en su interior.<< ce qui ne s'explique que si cette montagne recéle de grandes concavités>>. Bouguer dió como resultado 56753 toesas. La Condamine 56749 toesas (Un cálculo posterior hecho por Delambre, con los datos de La Condamine dió 56737). Los cálculos de Godin y los españoles dieron 56768 toesas. Estos datos se fueron comunicando en el período 1749-1751. Esta expedición tiene especial importancia en la historia de la Geodesia por los importantes resultados científicos obtenidos y por la discusiones entre sus miembros relativas a los resultados de los cálculos. (J.J. Levallois las califica de homéricas).

En el periodo 1750 a 1754, **La Caille** determina un arco de un grado en las proximidades del Cabo de Buena Esperanza, las medidas hechas con un extremo cuidado, dan un resultado anormal de 57037 toesas. Posteriormente **Everest** demostraría que este resultado es consecuencia de una desviación de la vertical. Transcurrida la primera mitad del siglo XVIII se empieza a concluir que el problema de la forma de la Tierra es un problema físico y no un problema geométrico, como los trabajos de **Clairaut** demostrarán.

Clairaut y su *Théorie de la figure de la terre*.(1743).

Esta obra marca el comienzo de la llamada Geodesia Física, en ella deduce el valor del achatamiento del elipsoide en función de las variaciones relativas de la gravedad, la variación de la gravedad con la latitud y las condiciones de equilibrio de las masas fluidas internas. Teniendo presente en todos los casos la rotación terrestre.

La obra tenía precedentes en los trabajos de **Newton**, **Maclaurin** y **Thomas Simpson** y no fue superada hasta la publicación de los trabajos de **Legendre** y **Laplace**. El hecho fundamental, que marca el comienzo de una época, es la posibilidad de calcular el achatamiento terrestre usando medidas de gravedad. Los resultados son más precisos que los que se obtienen con el método de los arcos y ponen de manifiesto la importancia de conocer el campo gravitatorio terrestre como vía indispensable para la determinación de la forma de la tierra.