

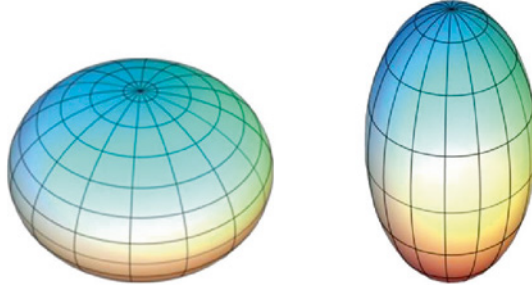
LA TIERRA ACHATADA POR EL ECUADOR, UN MODELO DEFENDIDO POR BENITO JERÓNIMO FELJOO

Cuando este monje benedictino publicó su *Teatro crítico universal, o Discursos varios en todo género de materias para desengaño de errores comunes* (1726-1739), sentó las bases necesarias para que años después pudiera ser considerado como el verdadero impulsor de la ilustración española. Su monumental obra vio la luz en un periodo convulso para las Ciencias de la Tierra, ya que estaba en todo su apogeo la mayor controversia científica que marcó el siglo XVIII: la existente entre los partidarios del elipsoide oblato frente a los que defendían el prolato, como modelo matemático para nuestro planeta.

Los partidarios del primero seguían los postulados defendidos por Newton y por Huyghens, apoyados no solo en sus consideraciones teóricas. En efecto, también lo hicieron basándose en los resultados obtenidos al haberse medido la intensidad de la gravedad en la isla francesa de Cayena y comprobar que su valor era mayor que el obtenido en París, con un péndulo similar. En cambio los partidarios del elipsoide prolato se apoyaban en los resultados de las mediciones efectuadas a lo largo del meridiano de Francia, que evidenciaban como el desarrollo de un grado de meridiano decrecía al aumentar la latitud. Si a ello se une que Descartes no tardó en tomar partido por los segundos, el conflicto científico y geopolítico estaba servido.

Las mediciones de meridiano en Francia fueron protagonizadas por los Cassini, una dinastía de astrónomos relacionados con el Observatorio de París y con gran predicamento en aquel reino desde que Luis XIV llamase a su corte al gran Cassini I. La llamada se produjo a instancias del abate Jean Picard, uno de los socios fundadores de la Academia de Ciencias de París y el fundador de la geodesia moderna; a él se debió la primera determinación rigurosa del radio de la Tierra, asegurándose que su valor le sirvió a Newton para comprobar la bondad de su ley de gravitación universal. La contrapartida de la fí-

sica a la geodesia la proporcionó él mismo, cuando aseguró que la Tierra en rotación tenía que presentar aplastamiento polar.



Dos modelos del elipsoide terrestre: oblató y prolato. En el primer caso se supone que las elipses meridianas tienen su eje mayor sobre el plano del ecuador, de modo que el menor es el que une los dos polos. En el segundo, el eje mayor de la elipse coincidiría con el eje del mundo. Ambas elipses engendrarían los dos elipsoides al girar cada una alrededor de su eje mayor.

La ruptura del modelo esférico previo necesitaba verificarse sobre el terreno, de ahí que la Academia decidiera prolongar el meridiano en los dos sentidos, para ver como variaba el desarrollo del grado. El encargo recayó en Giovanni Domenico Cassini (Jean-Dominique Cassini, el primer director del Observatorio de París), aunque pronto delegara la tarea en su hijo Jacques Cassini. La prolongación del meridiano enlazó las ciudades de Dunkerque, al Norte, y de Perpignan, al Sur. Los resultados de tales trabajos los incluyó en el libro *De la Grandeur et de la Figure de la Terre* (Paris, 1723), comprobando que el desarrollo del grado de meridiano decrecía al aumentar la latitud. Fue entonces cuando se expresó con rotundidad en los siguientes términos: *Ainsi, il parait avec assez d'évidence que les degrés d'un Meridien sont plus grands, plus ils sont près de l'Equateur, & diminuent, au contraire, à mesure qu'ils s'approchent du Pole, d'où l'on peut conclure que la circonférence de la Terre n'est pas de figure Spherique.*

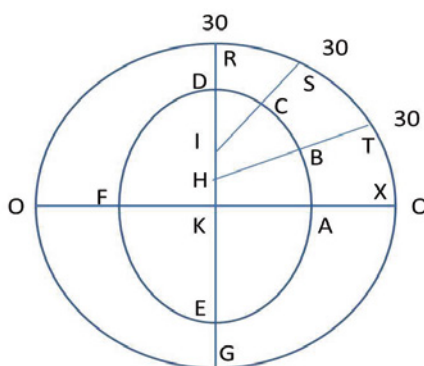
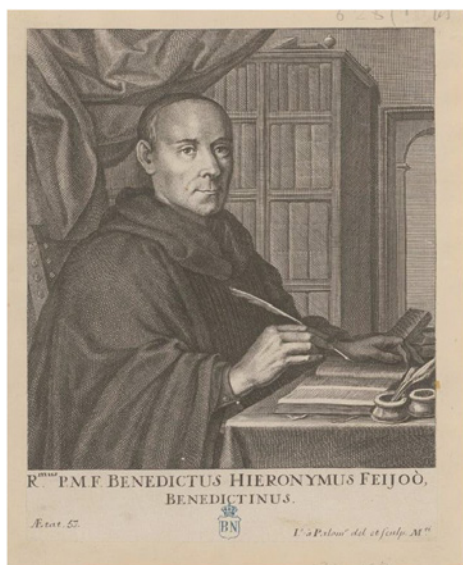
Feijoo, que estaba al tanto de las mediciones que se estaban efectuando en Francia, no dudó en abrazar los resultados anteriores, y así quiso dejar constancia de los mismos en el tomo tercero de su *Teatro*, publicado por primera vez en el año 1729, y más concretamente en el séptimo discurso. El título elegido para el mismo fue el siguiente: *Paradojas Matemáticas*, dedicando a la cuestión que nos ocupa el epígrafe *Geografía §. VII La tierra no es de figura Esférica* (Puntos 46 al 56). Antes de entrar en materia, hizo una interesante aproximación a las primeras conjeturas sobre la forma de la Tierra, realizadas por los filósofos griegos; citando por ejemplo el modelo plano de Tales de

Mileto, el de tambor, defendido por Leucipo, para terminar con el de Heráclito, quien lejos de suponerla convexa la «fingió cóncava a la manera de un barco». Llama la atención que Feijoo no citara al gran Aristóteles cuando se refirió a que todos aquellos supuestos quedaron superados cuando se concluyó que la Tierra debería ser redonda, a tenor de la sombra de la misma proyectada sobre la Luna en el instante del eclipse. En el punto 48 ya se refiere a la implantación definitiva del modelo esférico que «estuvo en pacífica posesión por más de veinte siglos».

Conocida su forma se procedió de inmediato a tratar de hallar su tamaño, el método no podía ser más simple: hallar el desarrollo de un grado de meridiano y trasladarlo a los 360 que tiene la circunferencia terrestre. Recuerda Feijoo los supuestos intentos de Eratóstenes de Cirene, de Hiparco y de Posidonio. No hay constancia documental sobre la medida de la Tierra atribuida a Hiparco, aunque sería sorprendente que llegase a fijar la distancia de la Tierra a la Luna y al Sol, usando como unidad el radio de la primera, sin haberlo determinado antes. El relato no hace referencia alguna a las medidas atribuidas a los árabes y se refiere seguidamente a algunas de las medidas modernas, citando solamente las realizadas por Jean Fernel en Francia, médico real, entre París y Amiens; la de Willebrord Snell van Royen (Snellius), profesor de matemáticas en la Universidad de Leyden, entre las ciudades holandesas de Alkmaar y Bergen op Zoom; la del astrónomo jesuita Giovanni Battista Riccioli en los alrededores de Bolonia, usando un novedoso método propuesto por Kepler. La última medida recogida por Feijoo, la atribuyó al «señor Picardo, de la Academia Real de las Ciencias», en clara alusión al abate francés Jean Picard.

A partir de ese momento es cuando Feijoo se pronuncia con rotundidad sobre la forma de la Tierra. Afirmando que las desavenencias evidentes entre los diferentes valores atribuidos a su radio, habían *«hecho advertir que a proporción que las observaciones se habían hecho a menor distancia de la Equinoccial, daban mayor distancia a los grados del Meridiano, tomados en la superficie de la tierra; y menor a proporción de las observaciones hechas en mayor latitud, o distancia de la Equinoccial»*. En otras palabras: que el desarrollo de los grados aumentaba en las proximidades del ecuador y disminuía en la de los polos. Dado que el desarrollo del arco es inversamente proporcional a la curvatura del mismo, la conclusión era obvia: el radio de la Tierra parecía ser menor en los polos que en el ecuador. En el punto 50 de su artículo se expresaba aún con más rotundidad, pues afirmaba que al no tratarse de una figura esférica los espacios abarcados por los grados sobre su superficie *«solo pueden comprender espacios desiguales con*

la proporción explicada, siendo la tierra de figura Elíptica, u oval, en que degenera de la esférica, prolongándose algo hacia los Polos; de suerte que el diámetro de la tierra que se toma de Polo a Polo sea más largo que el que se toma entre dos puntos opuestos de la Equinoccial; en cuya suposición también es preciso que las líneas que determinan los grados en la superficie de la tierra, no se terminen en su centro, sino en varios puntos del eje, o diámetro que se toma de Polo a Polo».



Para fijar mejor los conceptos, Feijoo ilustró sus comentarios con una figura idéntica a la adjunta. Se trata de una sección meridional de la esfera celeste que envuelve al elipsoide terrestre. La línea OAF O representa por tanto a la equinoccial, R es el Polo norte celeste («el polo ártico tomado en el Cielo»), D es el polo norte («el polo ártico tomado en la Tierra»), G sería el polo sur celeste y E su homólogo terrestre; evidentemente DE sería «el diámetro mayor, o eje de la Tierra», en palabras de Feijoo. A continuación dividió el cuadrante celeste en tres arcos de 30° , y trazó sendas perpendiculares desde los puntos de la esfera al elipsoide, hallando sobre este a los siguientes: A, B, C y D. La conclusión del mismo fue obvia:

«hallaráse que la porción de los treinta grados que se toma hacia la Equinoccial desde B a A, es mayor que la que se toma desde C a B, y ésta mayor

que la que se toma desde D a C: hallaráse también que las líneas perpendiculares que entre el Polo, y la Equinoccial se tiran desde el círculo a la Elipse, prolongadas, no paran en el centro, sino en varios puntos del eje». Feijoo cerró este apartado con una obviedad, al señalar que si la Tierra en lugar de elipsoidal fuese esférica, los espacios asociados a los 30° serían idénticos y las prolongaciones de las perpendiculares se cortarían en el centro de la Tierra (el punto K).

En el punto 53 intentó Feijoo explicar el modus operandi de las operaciones en que se pretendía medir grados de meridiano, aunque no lo lograra; por quedarse anclado en los procedimientos más remotos. Las medidas de la Tierra fueron operaciones matemáticas complejas, que tenían básicamente dos componentes bien diferenciadas, aunque fuesen complementarias. Una de ellas era eminentemente astronómica, pues se trataba de calcular las latitudes de los dos extremos del arco mediante observaciones estelares, de manera que la amplitud angular del arco medido sería el incremento de latitudes correspondiente. La complementaria era exclusivamente topográfica, en tanto que se pretendía determinar el desarrollo lineal del arco comprendido entre tales puntos; a partir de que lo hiciese Snellius, fue la triangulación el procedimiento elegido: proyectando los lados de los triángulos sobre el meridiano en cuestión. De hecho en la obra de Jacques Cassini se detallan las triangulaciones que realizó sobre el meridiano de Francia, sin que Feijoo llegase a referirlas en ningún momento.

No obstante ha de señalarse que si reconocía su dificultad a tenor de como inició el punto siguiente: *«Pero sin embargo de que el método en lo teórico es fácil, la práctica es trabajosa, y difícil, y pide una extrema exactitud, para que en las observaciones no haya alguna falencia. Por esta razón, aun después de notada la desigualdad de espacios terrestres, comprendidos de los diferentes grados del Meridiano, según las observaciones de antiguos, y modernos; los Matemáticos, que no son gente de tan fáciles creederas como los Filósofos, no asintieron a la figura Elíptica de la tierra; pareciéndoles que era menester proceder en esta materia con más atento, y severo examen»*. Para insistir a continuación en la bondad del elipsoide prolato: *«...se halló que en los ocho grados de latitud que tiene la Francia, hay la proporción dicha de comprender mayor espacio de tierra, según son más Meridionales; y menor según son más Septentrionales. Estas observaciones, ejecutadas con la mayor exactitud por los más*

célebres Matemáticos¹ que entonces tenía la Francia, quitaron toda la duda; y abandonada la antigua sentencia de la redondez de la tierra, se dio la posesión a la nueva de la figura Elíptica».

Sorprende que Benito Feijoo no continuase interesado en esa cuestión, ya que la polémica científica se reavivó más a raíz de la medida y de las conclusiones de Cassini. Las controversias eran tan vivas que la Academia de Ciencias de París decidió intervenir para solucionar definitivamente el problema. Curiosamente decidió aceptar indirectamente la propuesta que había hecho Newton: medir dos arcos en latitudes muy dispares y comparar los desarrollos respectivos del grado. Efectivamente, en el año 1735 acordó subvencionar el proyecto que le presentó el astrónomo Louis Godin para medir grados de meridiano en el Ecuador. Poco tiempo después fue el geómetra Pierre Louis Moreau de Maupertuis el que propondría realizar una operación parecida en la zona polar, siendo también aceptada su proposición. De esa manera quedaría definitivamente resuelta la polémica ya que el radio de curvatura del meridiano elíptico sería mínimo en el primer caso y mucho mayor en el segundo (máximo en los polos). El ministro Maurepas fue el encargado de realizar las gestiones diplomáticas ante los gobiernos de España y Suecia para conseguir las autorizaciones pertinentes, y poder así realizar los trabajos en el virreinato de Perú y en el golfo de Botnia. El pronunciamiento formal de Maupertuis tuvo lugar el 13 de noviembre de 1737 ante la Academia reunida en sesión pública y solemne, añadiendo que sus medidas probaban con toda claridad que la Tierra estaba considerablemente achatada por los polos. Voltaire dijo entonces, con su habitual sarcasmo, que Maupertuis no solo había aplastado la Tierra sino que también había hecho lo propio con los Cassini.

Termino trayendo a colación una reflexión de Feijoo, especialmente interesante. Se refirió a la conveniencia de estudiar la simetría del elipsoide en el hemisferio sur y comprobar «si hacia el otro Polo se observa la misma desigualdad de grados que hacia el nuestro». Asimismo debo añadir que Feijoo debió comprender a tiempo que no estaba en lo cierto, así parece desprenderse de su alocución latina *adhuc sub iudice lis est*. Añadiendo después: «*Usamos en lo que dijimos entonces de las noticias que había con buena fe. Mas pues la Academia Real de las Ciencias, no teniendo por prue-*

¹ La nómina de matemáticos interesados en esta rama de las Ciencias de la Tierra es realmente extensa, sirva de ejemplo la selección siguiente. Newton (1689), Huygens(1690), Cassini (1701), Maupertuis (1732), Clairaut (1733), Euler (1740), Mac Laurin(1742), D'Alembert (1756), Lagrange (1759), Laplace (1772), Legendre (1784), Monge(1787), Poisson (1811), Gauss (1813), Cauchy (1815), Jacobi (1834), Stokes (1849), Dirichlet (1857), Dedekind (1860), Riemann (1860), Poincaré (1885), Darwin (1906, el hijo de Charles Darwin), Jeans (1917), Cartan (1924), Chandrasekhar (1960), y otros

bas seguras de que la figura de la tierra sea una Elipse prolongada hacia los Polos, las observaciones hechas hasta el año de diez y siete, o de diez y ocho, ha continuado investigación más exquisita sobre el asunto: suspendamos el asenso hasta ver su última resolución».

Mario Ruiz Morales