

**Antonio Teodoro Reguera Rodríguez**

Catedrático de Geografía Humana  
Departamento de Geografía y Geología  
Facultad de Filosofía y Letras

**NARANJA O LIMÓN  
POLÉMICAS CIENTÍFICAS  
SOBRE LA FORMA  
DE LA TIERRA.  
UNA BREVE HISTORIA**

**Lección Inaugural del Curso Académico  
2022-2023  
Campus de León**



**universidad  
de león**







ANTONIO TEODORO REGUERA RODRÍGUEZ

*Catedrático de Geografía Humana*

*Departamento de Geografía y Geología*

*Facultad de Filosofía y Letras*

NARANJA O LIMÓN.  
POLÉMICAS CIENTÍFICAS  
SOBRE LA FORMA DE LA TIERRA.  
UNA BREVE HISTORIA







ANTONIO TEODORO REGUERA RODRÍGUEZ  
*Catedrático de Geografía Humana*  
*Departamento de Geografía y Geología*  
*Facultad de Filosofía y Letras*

NARANJA O LIMÓN.  
POLÉMICAS CIENTÍFICAS  
SOBRE LA FORMA DE LA TIERRA.  
UNA BREVE HISTORIA

LECCIÓN INAUGURAL  
CURSO ACADÉMICO  
2022-2023  
CAMPUS DE LEÓN



universidad  
de león



- © Universidad de León  
Área de Publicaciones  
© Antonio Teodoro Reguera Rodríguez

ISBN: 978-84-18490-63-7

Depósito legal: DL LE 260-2022

Diseño y maquetación digitales: David Aller Llamera

Imprime: Gráficas CELARAYN

Impreso en España / *Printed in Spain*

León, Septiembre 2022

*Ars non habet inimicum nisi ignorantem*



## TEMARIO

1. La razón, el cosmos y la ciencia .....	15
2. Las primeras intuiciones sobre una Tierra esférica. La hipótesis pitagórica.....	17
3. La tradición grecolatina de una Tierra esférica .....	27
4. El revisionismo bíblico. La planicie medieval.....	33
5. La experiencia de los grandes viajes. De la Tierra plana al Globo terráqueo .....	41
6. A las puertas de una nueva revolución. De la esfera al esferoide .....	51
7. La guerra de los elipsoides .....	57
8. La forma de la Tierra y la forma de los territorios. Las Cartas Geométricas y los Mapas Topográficos.....	63
9. La medida de una meridiana para medir el metro.....	67
10. Imperios coloniales, revolución industrial y geodesia. Nuevos ajustes en el elipsoide newtoniano.....	71
11. La figura media de la Tierra. El geoide y el meridiano 0 .....	79
12. La formalización tetraédrica.....	87
13. Mirando hacia el fondo del Océano aéreo.....	93
14. Plana y cuadrada. La geometría alternativa de los terraplanistas .....	103
15. La percepción de una Tierra piriforme desde la geodesia espacial .....	109
16. El juego final de dos curvaturas que interaccionan .....	115
Bibliografía .....	119



Sr. Rector

Autoridades

Miembros de la Comunidad Universitaria

Señoras y Señores



## **1. La razón, el cosmos y la ciencia**

---

Cuando, por razones de edad, y siguiendo los criterios reglamentarios, nos llega la ocasión de participar en este acto, como ahora lo estoy haciendo, no hay duda. Es el momento de olvidarse de los años y pensar en los Proyectos. Yo así lo entiendo, y sobre uno de esos Proyectos, que habitualmente me ocupa, quisiera hablarles.

También quisiera, antes de empezar, observar una norma no escrita, relacionada con el protocolo de la sensatez y de la prudencia, implorando su benevolencia, y también si fuere necesario, pidiendo su disimulo.

Esta breve historia, que he tenido la oportunidad de preparar y exponer ante Ustedes, comenzó aproximadamente hace dos mil quinientos años; momento en el que observamos los primeros síntomas de una gran revolución intelectual. La mente humana gana la autonomía suficiente como para prescindir de los dioses, que ella misma había creado, y de las fuerzas sobrenaturales que trataban de explicar el mundo. Causas y efectos conviven juntos en la misma naturaleza. Podemos admitir que existan otros mundos, pero están todos en este.

Sobre este suelo se empieza a construir el primer gran edificio de la filosofía; de la filosofía racional, se entiende. En este edificio se advierte una división departamental que da cobijo al desarrollo embrionario

de las primeras ciencias: la cosmografía, la astronomía, la geometría, la geodesia, la geografía, y por supuesto, las matemáticas (Loria 1914). La idea de *cosmos*, sinónimo de mundo ordenado, mueve esta gran máquina intelectual en sus especulaciones e indagaciones.

El orden cósmico queda visualizado en un modelo geocéntrico, más intuitivo que probado; y sobre todo sentenciado, pues fue tras el pronunciamiento de los grandes maestros, Sócrates, Platón y Aristóteles, cuando quedó cerrada la cuestión por la vía axiomática. Por supuesto, hubo alternativas y debates que ahora no podemos considerar.

Situada la Tierra en el centro de la ordenación cósmica, se entiende que se convirtiera en un objeto preferente de indagación y estudio. Y así fue, en efecto. De modo que podemos hablar de un *Proyecto Tierra*, cargado de contenidos y articulado en torno a preguntas clave sobre su posición, su forma, su tamaño o medida, su configuración, de tierras y mares, y su representación, iniciando el camino de la cartografía científica. Las limitaciones que impone la ocasión hacen que, teniendo que priorizar, centremos nuestra atención en la cuestión de la forma, como hemos anunciado en el título. Sobre el tamaño ya hemos indagado durante algún tiempo, con el resultado de nuestro libro *La medida de la Tierra en la Antigüedad* (Reguera 2015); y en cuanto a la cartografía, hemos hecho algún rastreo, reuniendo testimonios y evidencias de las formas más antiguas de representación espacial en las sociedades primitivas (Reguera 2008).

## **2. Las primeras intuiciones sobre una Tierra esférica. La hipótesis pitagórica**

---

Hay una fase en la representación de la Tierra que hemos llamado “discoidal” (Reguera 2015, 41), por suponer que su forma es la de un disco plano, que flota sobre las aguas o dispone de algún otro tipo de soporte. Enmarcado por la bóveda celeste en forma de cúpula semiesférica, representaba la visión etnocéntrica de cualquier sociedad, que, aun disponiendo de conocimientos empíricos avanzados, no había superado la fase precientífica. Así ocurría en las culturas mesopotámicas, egipcias y de la Grecia arcaica. Deberíamos, no obstante, matizar esta conclusión si en la pintura egipcia que podemos apreciar en la Figura I, el elemento central de la composición fuera un haz de rayos de luz uniendo dos cuerpos redondos, supuestamente esféricos, que serían el Sol y la Tierra.

La versión iconográfica del mito de Atlas, tan reproducida en la historia del arte, también llama nuestra atención. El conocido personaje, rey de los atlantes, díscolo en su comportamiento, es castigado por Zeus a llevar sobre sus hombros la bola del mundo. El sentido general de la escena no escapa a una concepción irracional, mítica; pero al mismo tiempo está mostrando a los griegos y a los pueblos mediterráneos la redondez o la esfericidad del mundo. Véase Figura II.

También en la literatura ha quedado constancia de esta idea en la descripción de un mundo cercano y lejano a la vez, terrestre y cósmico.

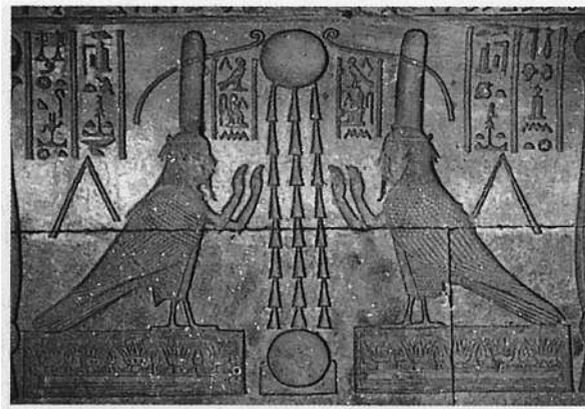


FIGURA I: Los rayos del Sol se proyectan sobre una supuesta Tierra esférica. Pintura de las Tumbas Reales en el Valle de los Reyes, en Egipto.  
(Foto: C. Sagan, 1982, 240)



FIGURA II: Atlas lleva sobre sus hombros la bola del mundo por castigo de Zeus. La figuración del mito contribuye a difundir la idea de la esfericidad de los astros.  
(Museo Arqueológico Nacional, Nápoles, "Atlas Farnesio")

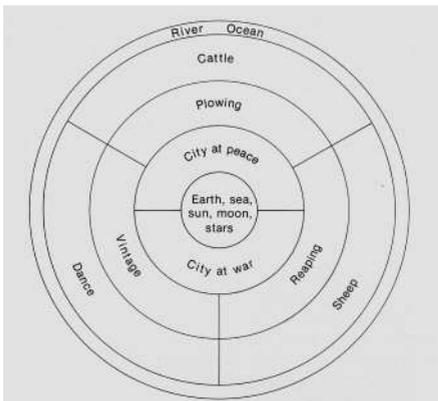


FIGURA III: Ordenación de los contenidos cosmográficos y geográficos grabados en el Escudo de Aquiles, según el Canto XVIII de la Ilíada.  
(The History of Cartography, Vol. I, 1987, 131)

Nos referimos al Canto XVIII de la *Iliada*, en el que se describe lo que Aquiles lleva grabado en su escudo; una representación del mundo: la tierra, el cielo y el mar, el sol, la luna y todos los astros del firmamento (Homero 2001, XVIII, 483-489). Véase la Figura III.

Ya en un contexto de racionalidad avanzada, Pitágoras basaba su pensamiento filosófico en el principio de que el mundo estaba concebido y ordenado en clave matemática. A partir de esta idea se construiría posteriormente la figura del *dios geómetra*, que tantas conjunciones ha producido entre teólogos y matemáticos. Los primeros ponen el acento en el *dios*, y los segundos, en la *geometría*, tolerando fácilmente los atributos. Sostenía igualmente Pitágoras que en el mundo de las formas, la esfera debía ser considerada como la manifestación más perfecta de la acumulación de materia. En consecuencia, hacia el 500 a. C. enseñaba a sus discípulos que la Tierra debía ser una esfera. Era el elemento principal y central del sistema, según los geocéntricos, aunque él no lo era tanto; y no tenía sentido que no tuviera la misma redondez observada en otros astros. Para reforzar su hipótesis sobre la esfericidad de la Tierra habló de la existencia de los antípodas; es decir, de los habitantes del mismo cuerpo esférico que por definición geométrica han de ocupar posiciones diametralmente opuestas. Dice Diógenes Laercio, en una reseña sobre Pitágoras y citando unos *Apuntes pitagóricos*, que de los cuatro elementos, fuego, aire, agua y tierra, que forman los cuerpos sensibles, se origina un universo animado, inteligente, esférico, que rodea a la tierra, que ocupa su centro, siendo también ella esférica y estando habitada. Además, existen los antípodas, y lo que para nosotros es abajo es arriba para ellos” (2007, VIII, 25-26).

La primera polémica estaba servida. Los filósofos de la Escuela de Mileto, llamados los milesios, agrupados en torno al gran maestro, Ta-

les de Mileto, seguían presentando una imagen de un cosmos geocéntrico con una Tierra plana, similar a la base de un cilindro, o con forma de timbal. Aristóteles les identificará como autores que defendían la “teoría de flotación de la tierra”. Para el maestro, Tales, lo hacía como un madero o cosa semejante sobre el agua; y para sus discípulos, Anaxímenes, Anaximandro y Demócrito, lo hacía sobre el aire comprimido e inmóvil (Aristóteles 1996, II, 294a, 30 y 294b, 10-20, y nota 243). Era ciertamente una imagen precientífica del mundo. Una Tierra plana, con un Océano circundante, y orlada por la cúpula estrellada, en la que destaca la órbita aparente del Sol. Llamaba la atención el atraso de los milesios en este punto, pues, por otro lado, habían sido los impulsores de la revolución intelectual que propició la aparición de la filosofía y el primer desarrollo de la ciencia.

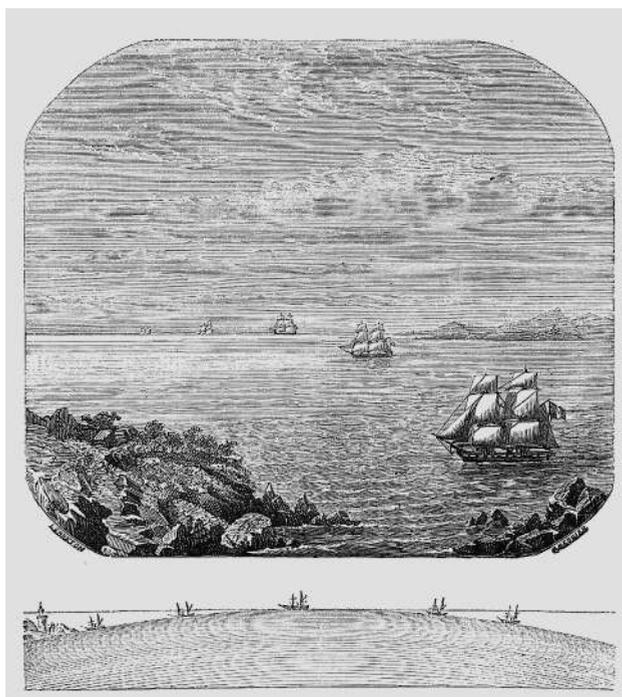


FIGURA IV: Posiciones de un barco respecto a la costa y el horizonte, demostrando la curvatura de los mares.  
(Grabado: L. Meunier)

Con todo, era a los pitagóricos a quienes les correspondía presentar pruebas, al menos indiciarias, que avalaran la hipótesis de la esfericidad. Se suceden varias, que otorgan al tema un gran interés. Las reseñadas a continuación tienen diferente rango científico, pero todas ellas tienen como base la observación geográfica y astronómica.

La primera es muy conocida, se basa en una observación vulgar, asequible a cualquier observador de muelle de puerto o de torre de faro. Sigue figurando como ilustración habitual en los manuales escolares. Cuando los barcos se acercan o se alejan de la costa, la parte visible de los mismos por encima del calado varía en función del acercamiento o del alejamiento. No hay otra explicación que la curvatura de la superficie por la que navegan. Como esta superficie, a pesar de su fluidez y movimientos, es muy homogénea, se necesitan muy pocas millas para apreciar el efecto de la curvatura (Figura IV).

La segunda requiere extremar la observación, si no disponemos de algún instrumento que incluya el cálculo. En las grandes periégesis, siguiendo itinerarios por tierra, el viajero que sigue una trayectoria sur-norte guiado por la estrella polar, observa la elevación aparente de la estrella a medida que avanza hacia el norte. Si llegara al Polo estaría en lo más alto y justo en la vertical, encima de su cabeza. Por el contrario, si se dirige al Ecuador y aquí fuera posible verla, estaría en lo más bajo, rozando la línea del horizonte. Cuando los griegos entienden el significado de este juego de posiciones extremas, han descubierto el concepto de latitud y sus valores de referencia, que son los de un cuadrante terrestre; es decir, de  $0^\circ$  en el Ecuador, y de  $90^\circ$  en el Polo. Pero volvamos al principio, sabiendo que la prueba ha adquirido fundamento matemático. La estrella polar no se eleva para la observación del caminante; es él el que “baja” al caminar por una superficie curva (Figura V).

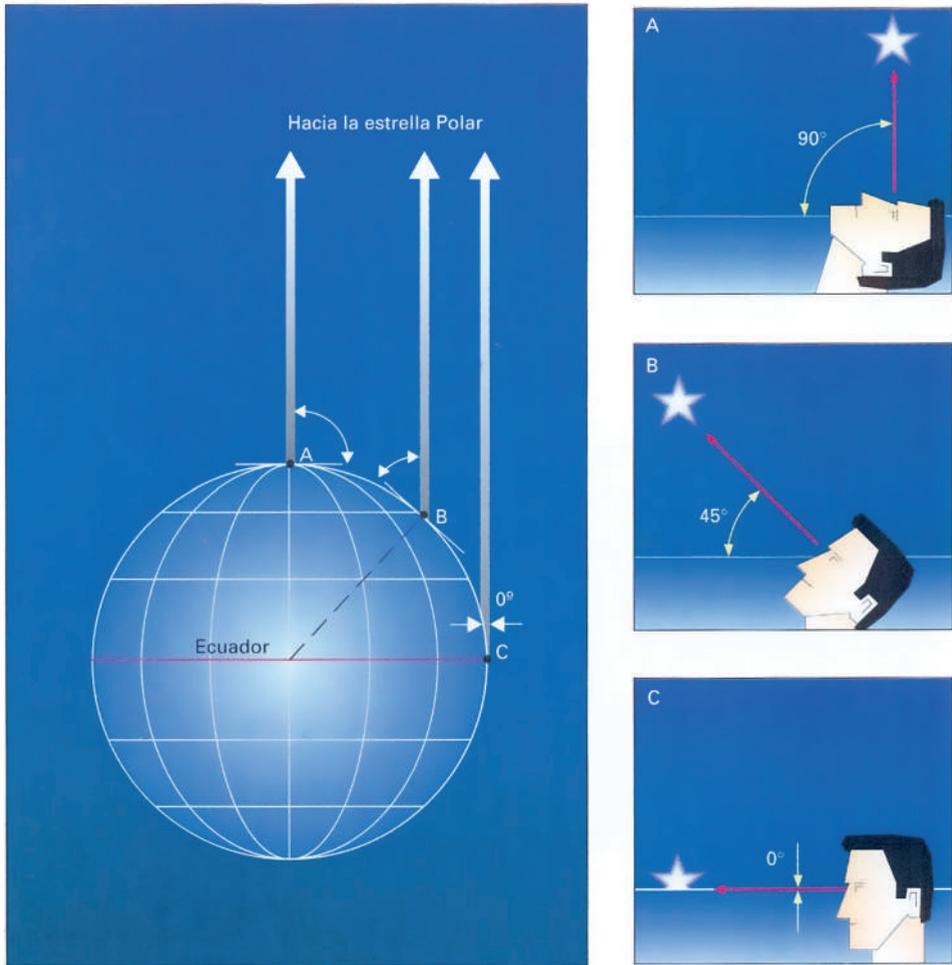


FIGURA V: La altura a la que vemos la estrella polar varía con la latitud, o posición angular y distancia medida sobre la curvatura de la Tierra.  
(Atlas de Astronomía, 1994, 21)

La tercera tiene igualmente fundamentos matemáticos o latitudinales, aunque se construye a partir de contenidos meteorológicos. Con abreviación, se la conoce como la prueba de las zonas térmicas. Los griegos, habitantes de las tierras colindantes con el mar Egeo, disfrutaban de un clima templado que incluso en las clasificaciones modernas se estima que es el de mediterráneo más puro. Conocen la geografía suficiente como para saber que hacia el norte el enfriamiento térmico es progresivo, en el Mar Negro, la Estepa rusa y el país de los Hiperbóreos. Y al contrario, el calor aumenta progresivamente hacia el sur, en la región del Delta del Nilo, en el interior de su valle y en el país de los Etiópes. En consecuencia, esta gradación térmica solo podía tener una explicación. Los rayos del Sol no llegan a una superficie plana, generando siempre el mismo ángulo de incidencia, sino que llegan a una superficie curva, la propia de la Tierra. Así, los ángulos de incidencia varían, de tal forma que sería recta ( $90^\circ$ ) en el Ecuador, oblicua ( $120^\circ$ ) en las latitudes medias, y aproximadamente paralela ( $180^\circ$ ) en las regiones polares. El concepto de clima asociado en un principio a las franjas latitudinales trazadas en la superficie terrestre evolucionará

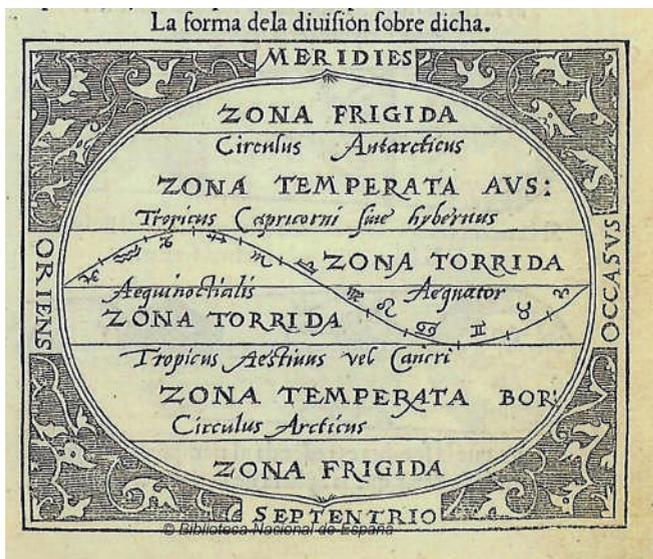


FIGURA VI: Una visión simplificada de la Tierra dividida en zonas térmicas, en una representación del siglo XVI.

(Apiano, 1548, fo. 5)

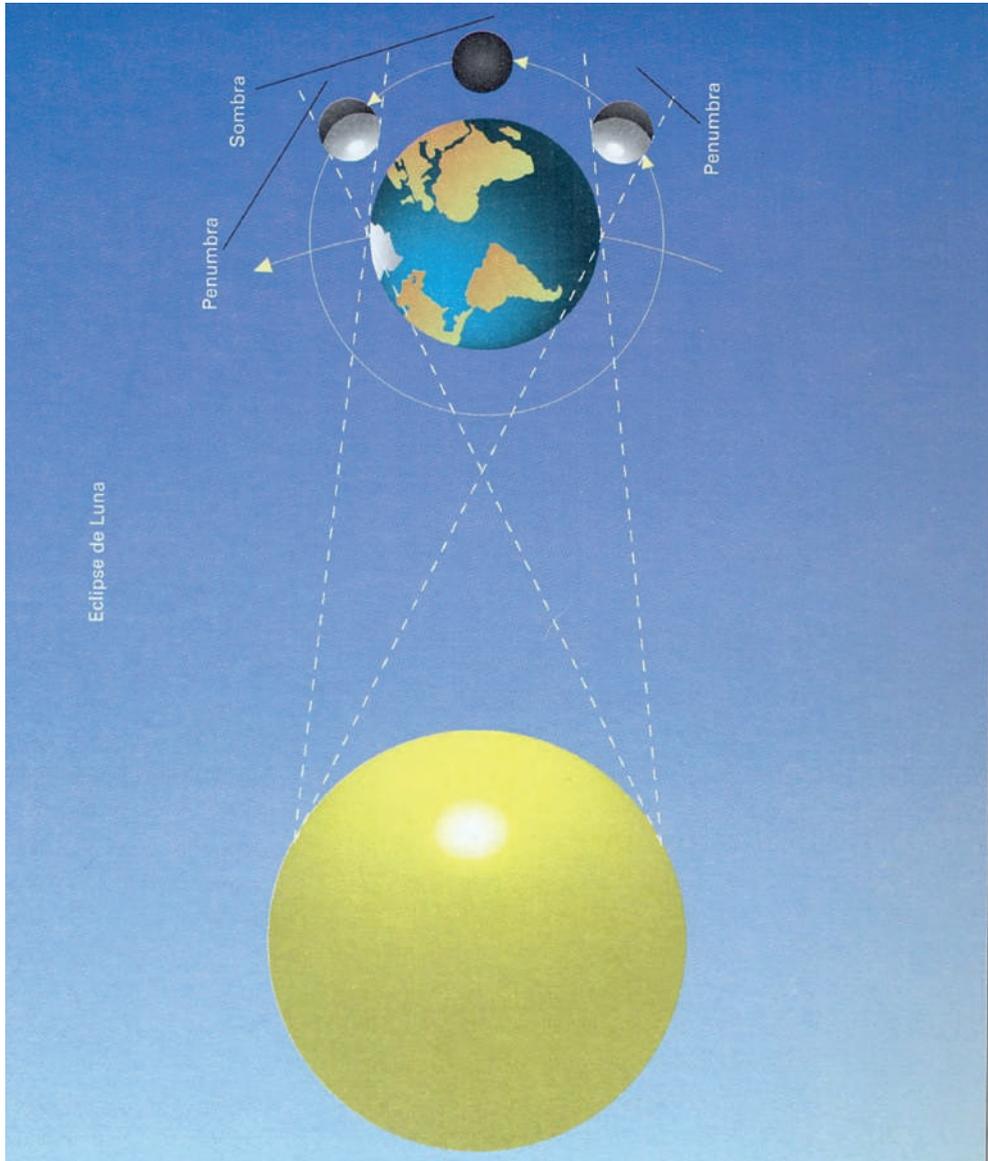


FIGURA VII: Recreación de posiciones de los tres astros implicados en un eclipse de Luna. Entrada, salida y paso de la Luna por el cono de sombra, con la curvatura de la Tierra reflejada. (Atlas de Astronomía, 1994, 54)

hacia un significado meteorológico y finalmente climático. También las palabras y los conceptos compiten por alzarse con la hegemonía semántica (Figura VI).

La cuarta prueba se denomina del eclipse; del eclipse de Luna, para ser más exactos. Se produce cuando la Tierra se interpone entre el Sol y la Luna, generando un cono de sombra que cuando la Luna, girando alrededor de la Tierra, se introduce en él, queda eclipsada (Figura VII). El interés de esta situación a nuestros efectos es que cuando la Luna entra y sale del cono queda parcialmente oscurecida e iluminada. La línea que divide ambas superficies es una línea curva, pues corresponde a la propia superficie de la Tierra, reflejada en la superficie de la Luna. Y un cuerpo que proyecta una sombra redondeada algo nos dice sobre su propia forma. Aristóteles describe esta situación en su tratado *Acerca del cielo*, quedando definitivamente cerrada la cuestión en el seno de la filosofía y la ciencia griega. Dice con abreviación: “(la luna), con ocasión de los eclipses, tiene siempre como delimitación una línea convexa; por consiguiente, dado que se eclipsa debido a la interposición de la tierra, será el perfil de la tierra, al ser esférica, la causa de esa figura” (1996, II, 297b, 25-30).

No obstante, atrás hemos dejado alguna curiosidad sobre la forma de la tierra, fruto de la mera especulación geométrica. Como la anotada por Platón en el *Timeo*, donde describe un Universo esférico en cuyo centro estaba el cuerpo sólido que era la Tierra. Pero a esta no la contempla como una esfera, sino como una “figura cúbica; de esta forma el elemento central del cosmos geocéntrico ganaba en inmovilidad. Su geometrismo esencial le lleva a afirmar que las superficies planas se componen de triángulos y se hacen más complejas formando cuadriláteros, que agrupados crean cuerpos de figura cúbica (Platón 2000, *Diálogos VI*, 53c y 55e).

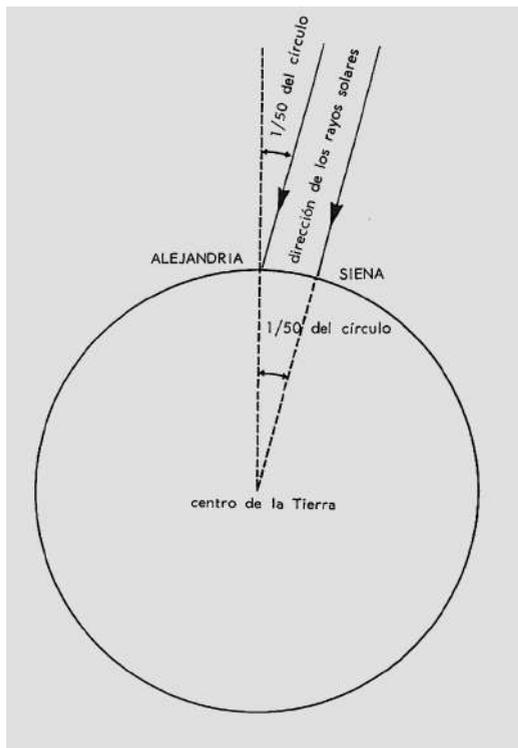


FIGURA VIII: Posiciones geográficas y relaciones geométricas en el procedimiento de Eratóstenes para medir la circunferencia de la Tierra.

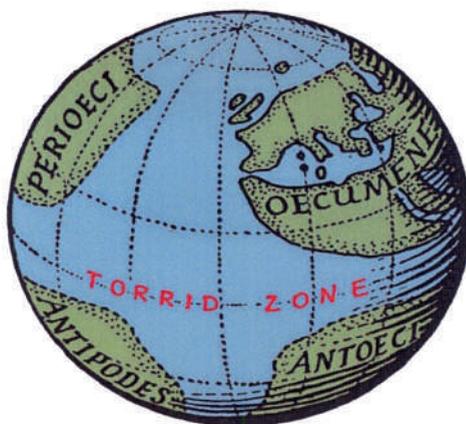


FIGURA IX: El Globo de Crates de Malos, geógrafo del siglo II a. C. La teoría cratesiana sostiene que cuatro grandes continentes-isla habitados ocupan el centro de cada cuadrante de la esfera terrestre. Incluyen los habitantes del ecumene conocido, los periecos, los antecos y los antípodas. ([http://l.bp.blogspot.com/Crates\\_Terrestrial\\_Sphere.png](http://l.bp.blogspot.com/Crates_Terrestrial_Sphere.png))

### 3. La tradición grecolatina de una Tierra esférica

---

Nadie de las generaciones siguientes cuestionará la esfericidad de la Tierra; y menos aún los grandes científicos de la Escuela de Alejandría y del Helenismo, como Arquímedes, Euclides, Eratóstenes, Aristarco de Samos, Crates de Malos (Figura IX) e Hiparco. Estos y otros muchos, sentada la cuestión de la forma de la Tierra, se dedicaron a indagar sobre sus medidas y a experimentar con las primeras proyecciones cartográficas con base matemática, tratando de resolver el complicado problema de representar el cuerpo de tres dimensiones que era la Tierra en un mapa o soporte de dos. Mención especial hemos de hacer del procedimiento ideado por Eratóstenes para medir la circunferencia o perímetro de una Tierra esférica. Fue precisamente la observación de las sombras en Alejandría y Siena, en el valle del Nilo, y las relaciones angulares determinadas por la curvatura entre ambas ciudades las que adicionalmente acreditaban la esfericidad (Figura VIII).

Entre los geógrafos que desarrollaron su obra en todo o en parte en el siglo I, en el contexto del Alto Imperio, Estrabón dedicó los dos primeros libros de su monumental *Geografía* a recuperar lo esencial del conocimiento geográfico acumulado por los griegos. Ninguna duda le plantea la tradición acreditada sobre la forma esférica de la Tierra (II, 5, 4-5). Desarrolla incluso con apariencia de razonamiento propio cómo el movimiento y la observación siguiendo la superficie de navegación en el mar, hasta descubrir progresivamente las zonas costeras,

y el movimiento circular de los cuerpos celestes hacían ostensible la propia curvatura de la Tierra (I, 1, 20).

Por su parte, Séneca, en las *Cuestiones naturales*, quiso igualmente dejar constancia de la forma esférica del universo y de la propia tierra; y ello a pesar de que la prominencia de algunos relieves pudiera ponerlo en duda. Añade la siguiente comparación: “igual que en la pelota los puntos de unión no perjudican nada su redondez, tampoco lo hacen en el globo terrestre las montañas elevadas, cuya altura es ridícula en comparación con el conjunto del universo” (1991 IVB, 11, 1-3).

Al igual que había hecho Estrabón, Plinio recogió en su *Historia Natural* lo esencial del conocimiento geográfico procedente de la tradición griega y helenística. En la cuestión concreta referida a la forma de la Tierra no se aparta del “común acuerdo” sobre su esfericidad, al mismo tiempo que se muestra interesado en añadir algunos comentarios explicativos. Ocupando el centro del universo, dice, “la tierra se expande desde su centro y le imprime a su inmenso globo la forma de una esfera, en virtud de la continua rotación del universo alrededor de ella” (1995 II, 64). Sin embargo, la forma de círculo o curvatura perfecta entendida desde la geografía matemática, o intelectualmente, debía conciliarse con la realidad física que se observaba. Y esta mostraba el perfil de montañas elevadas, grandes llanuras y profundas depresiones. Recoge, en consecuencia, la opinión, dice, de quienes veían la Tierra “como un globo irregular, como si tuviera forma de piña” (1995 II, 65, 161). Ambas percepciones eran compatibles; y sobre la incuestionable esfericidad, a Plinio le interesa especialmente explicar al vulgo, pues los ilustrados ya lo entendían, cómo en una Tierra, habitada por hombres en todas sus partes, era posible la existencia de antípodas, “con los pies de unos opuestos a los de otros”. Entiende que era pre-

ciso superar la percepción física más elemental; y lo mismo ocurría con la aparente gran llanura oceánica. También “la forma en curva se imponía a la superficie de las aguas”, afirma, ofreciendo la siguiente observación: “desde los barcos no se divisa la tierra, a pesar de que es perfectamente visible desde los mástiles, y también de que cuando se va alejando una nave, si se ata en la punta del mástil algo que brille, da la impresión de que se hunde poco a poco hasta que se oculta” (1995 II, 65,164).

En plena hegemonía de la romanización, entendida como fenómeno geopolítico y como trasunto cultural, surge la figura de Claudio Ptolomeo, cuya madurez intelectual se sitúa en la primera mitad del siglo II. Su obra es un producto tardío de la Escuela de Alejandría; pero precisamente por eso cumple un papel excepcional en la transferencia del legado científico de la Antigüedad. Es el efecto “cuello de ampollita” que observamos en los relojes cuando la arena, con pautas, pasa de un seno a otro. En sus obras acopia y sintetiza todo el saber de la Antigüedad en los campos de la Astronomía y de las ciencias geográficas, preparando su tránsito por la sombría Edad Media hacia los albores de la Modernidad. En el catálogo de las grandes obras de la Historia de la Ciencia figura su tratado de Astronomía, conocido como el *Almagesto*, por fonación árabe, y su *Geografía*. En el primero deja definitivamente cerrada la elaboración del modelo geocéntrico, después de la primera síntesis realizada por Aristóteles, con posteriores aportaciones (Ptolemy 1990). De ahí que el modelo se denomine aristotélico-ptolemaico.

La *Geografía* es igualmente un tratado en el que somete la incuestionable esfericidad de la Tierra a un sistema de geometrización o matematismo. Contiene un estudio sobre proyecciones cartográficas, con especial atención a la que podemos denominar estereográfica, de uso

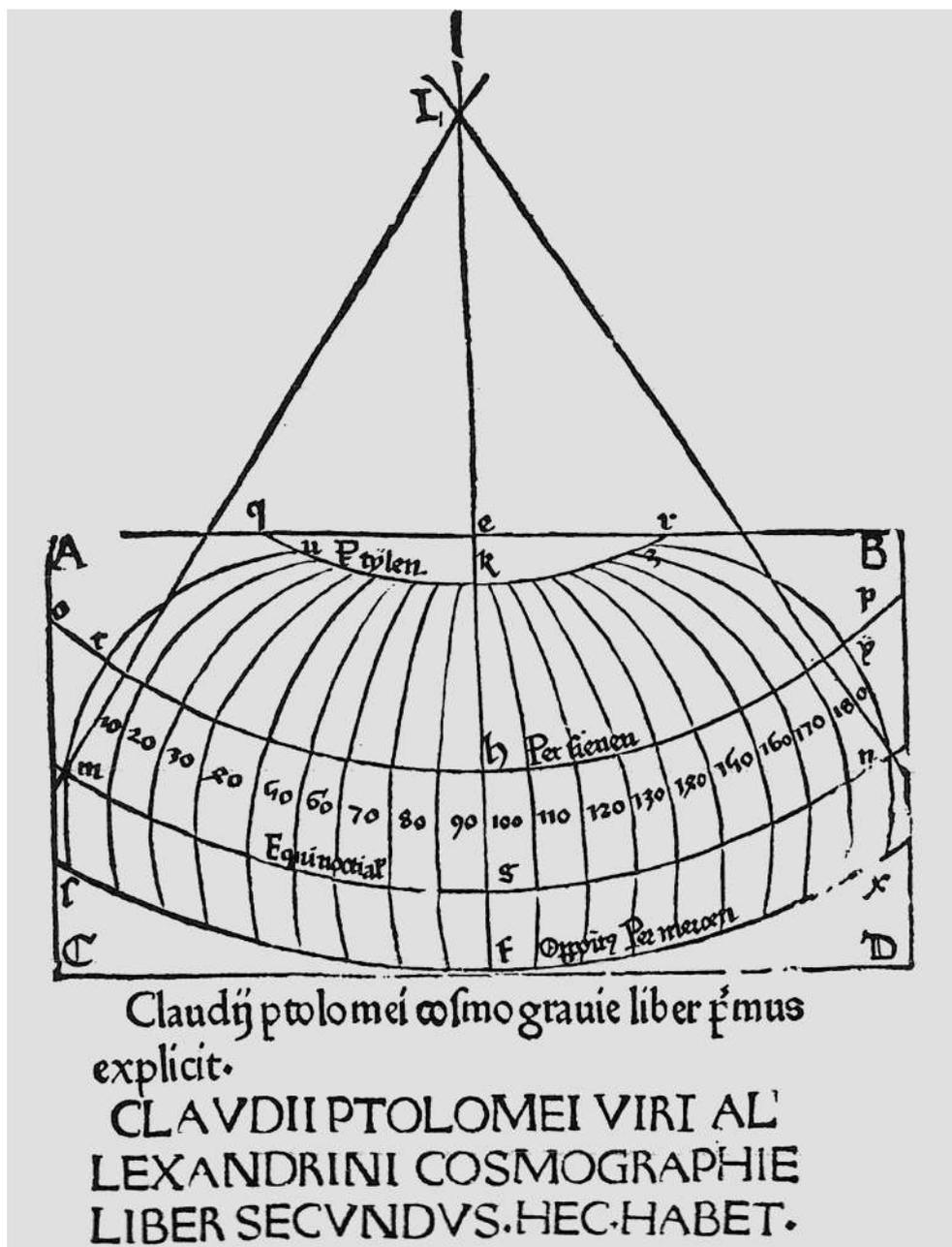


FIGURA X: Estudio de Claudio Ptolomeo para una proyección estereográfica. Ajuste matemático con paralelos y meridianos curvados para representar la esfera terrestre, de tres dimensiones, en un mapa de dos.  
(Ptolomeo, 2001/1486, I, 24)

continuado desde entonces (Figura X); un catálogo con más de ocho mil núcleos de población del mundo conocido entonces, con sus latitudes y longitudes; y finalmente un Atlas, cuyas láminas representan la primera regionalización cartográfica realizada, o que conocemos (Ptolomeo 2001).

La esfera terrestre matematizada por Claudio Ptolomeo representará la síntesis del conocimiento geográfico de la Antigüedad. En el mundo árabe y musulmán, en el medievo, este legado será recibido con gran respeto y fidelidad; pero en el mundo tutelado por la cristiandad suscitará múltiples prevenciones, como veremos. Su difusión protagonizará, en cualquier caso, las primeras décadas de funcionamiento de la Imprenta en la segunda mitad del siglo XV. La posesión de alguno de sus códices manuscritos o impresos prestigia en la actualidad las Bibliotecas de algunas viejas Universidades en su apartado de incunables.



## **4. El revisionismo bíblico. La planicie medieval.**

---

La consunción del Imperio Romano arrumbó el principio de racionalidad que había presidido el curso del intelecto humano durante los mil años anteriores. Se pondrá en evidencia con su caída que la línea que representa la evolución del conocimiento no será constantemente ascendente. Séneca ya había advertido sobre lo difícil y lento que era el progreso del conocimiento humano, no descartándose a veces la decadencia o el retroceso (2013, VII, 30-31). Con el triunfo de las religiones monoteístas, movidas por sistemas de creencias irracionales, la ciencia sufrirá de inmediato la represión y el expurgo. El conocimiento heredado, en forma de códices y otros soportes, se destruye o se almacena, impidiendo el acceso y la consulta. Solo una parte será asumida en forma de copia, resumen o paráfrasis. Aquella que es del todo consecuente con las verdades reveladas y transcritas en los textos sagrados. Por lo tanto, en adelante no sería preciso mirar al mundo para descubrir la verdad. La verdad sobre la Tierra ya estaba escrita y revelada en el modelo geográfico de la Biblia.

Este modelo debió ser revisado y ajustado para su asenso dogmático. Conocidos personajes de la intelectualidad bajo romana, convertidos al cristianismo, agradecieron de esta forma su bautismo. Compensaron la recepción de la buena nueva del Evangelio con la refutación de la vieja ciencia. El ejemplo de Cecilio Firmiano Lactancio es bien conocido. Vivió a finales del siglo III y principios del IV, y había desta-

cado como profesor de Bellas Artes y conocedor de la obra de Cicerón. Tras convertirse al cristianismo, trabajará en la que será su principal obra, las *Instituciones divinas*, concebida como ejercicio de impugnación sistemática del legado científico de la Antigüedad. Baste recordar una de sus afirmaciones nucleares: “la ciencia consiste en conocer a Dios” (Lactancio 1990, VI, 5-19); y por lo que se refiere a la geografía, en su obra podemos encontrar un epígrafe titulado: “error en los que piensan en la redondez de la tierra”. Refiriéndose a la existencia de antípodas, se pregunta con retórica: “¿hay alguien tan ignorante que crea que hay hombres cuyos pies están por encima de sus cabezas?” (Lactancio 1990, III, 24, 1-11).

Como primer representante destacado del fundamentalismo cristiano, Lactancio ha detectado el problema doctrinal que planteaba la existencia de antípodas, y por extensión, la esfericidad de la Tierra. La Biblia no podía dar explicaciones en clave etnográfica de la existencia de otros ecúmenes habitados, pues rompería el principio del origen del género humano en una única pareja, Adán y Eva. En consecuencia, para negar tal problema, se niega la ciencia, defendiendo la idea de una Tierra plana delimitada por el gran Océano y de dimensiones controladas. Formalmente, un disco dividido en tres partes, Europa, África y Asia, que permitía un ajuste perfecto del conocido pasaje bíblico en el que, tras el diluvio, los tres hijos de Noé con su descendencia debían volver a poblar las tres partes del ecumene (Sagrada Biblia 1968, “Génesis”, 8-10).

Es posible que Lactancio, procedente de la intelectualidad pagana, se sintiera en la obligación de hacer méritos especiales ante las máximas autoridades en la exégesis bíblica; pero no era este el caso de San Agustín. Él era ya una de esas máximas autoridades en el

primer tercio del siglo V. En su obra más conocida, *La ciudad de Dios*, concebida como un trasunto metafórico de un Cosmos reordenado en clave bíblica, en el que la ciudad celestial debía imponerse a la ciudad terrenal, cuestiona igualmente la existencia de antípodas, y lo que suponía, la impugnación de la esfericidad de la Tierra. Se apoya exclusivamente en la lógica del creyente: las Sagradas Escrituras no podían mentir en modo alguno, sentencia (San Agustín 1978, *Obras*, XVII, “La ciudad de Dios”, 2º, XVI, 9). Como hombre culto y conocedor del legado científico de la Antigüedad, apostilla que lo “conjeturado por el razonamiento” no se ha podido conocer “por noticia histórica”; en este caso, geográfica. Ciertamente, el conocimiento científico necesita de la prueba; la verdad revelada, no. De ahí que para muchos científicos sea mucho más cómodo tratar con los que dicen que siguen buscando la verdad, que con los que afirman que ya la han encontrado.

Con continuidad van apareciendo en escena nuevos apologistas del relato bíblico. Hacia mediados del siglo VI se conoce la obra de un antiguo navegante, de nombre Cosmas Indicopleustes; literalmente, navegante por el Índico, con la base de operaciones en el puerto de Alejandría. La obra tiene el premonitorio título de *Topografía cristiana*, y en ella acredita un amplio conocimiento de la cultura clásica, que se supone adquirió en esa ciudad, el gran centro científico de la Antigüedad. Debió redactarla hacia el final de su vida; después de su conversión al cristianismo y el ingreso en un monasterio de la Península del Sinaí. Su propósito nuclear era reinterpretar el mundo de acuerdo con los textos bíblicos. Pero el empeño por alcanzar una reputación paradigmática devino en un ejemplo de la más profunda degradación que pudo alcanzar el pensamiento racional en el tránsito de la Baja Antigüedad al Alto Medievo.

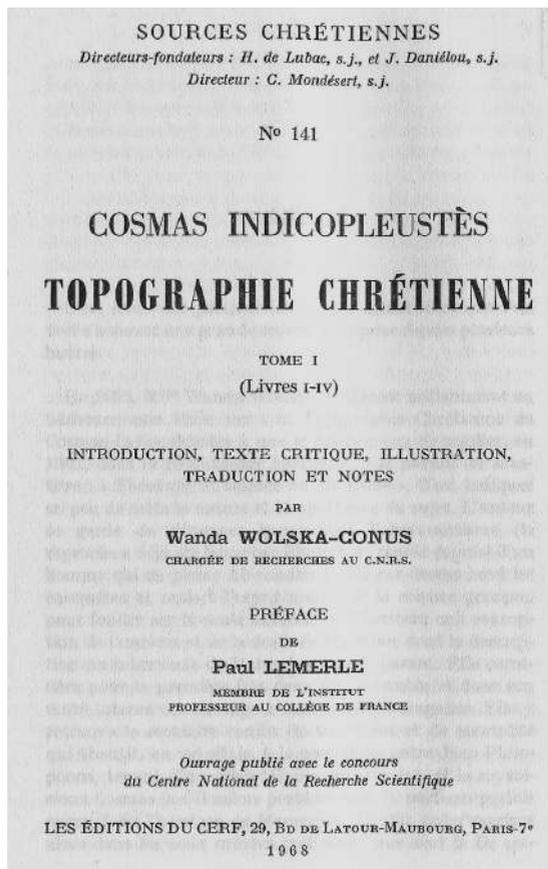


FIGURA XI: Portada de la obra Topografía cristiana, de Cosmas Indicopleustes. Uno de los principales autores en la fijación del dogma de la Tierra plana, en el siglo VI. De una edición contemporánea. (Cosmas, 1968-1973)

FIGURA XII: Modelo básico de discario isidoriano, ilustrando el texto de una edición impresa de las Etimologías. Adviértase la división tripartita del ecúmene, Asia, África y Europa, y la correspondencia de cada una de las partes con los tres hijos de Noé. (San Isidoro, c. 1473, Liber Ethimologiarum...)



El contenido preciso que ahora nos interesa, sobre la cuestión de la forma de la Tierra, delata sin ambages su posición. Defiende el modelo de una Tierra plana, de base rectangular, cubierta por una estructura abovedada ajustada a sus límites (Cosmas 1968, III, 1). Era la impugnación más grosera que se había hecho del modelo esférico, que representaba, en la tradición científica grecorromana, tanto a la Tierra como al conjunto del Cosmos. La figuración que propone es fruto de una indagación muy precisa en el texto bíblico. Encuentra en el libro del Éxodo que Moisés había recibido en el Sinaí el encargo de construir un Tabernáculo o recinto sagrado “a imitación del universo” (Sagrada Biblia 1968, “Éxodo”, 25,27, 36 y 40; y “Hebreos”, 8, 5). Por lo tanto, era la figura de este Tabernáculo a la que se debían de adaptar tanto la representación del Cielo, como la de la Tierra (Cosmas 1968, III, 16). En el suelo del mismo se extendía la forma de la Tierra y en el techo el firmamento. La tierra habitada se dividía en tres partes, Asia, Libia, o África, y Europa, receptoras de la descendencia de los tres hijos de Noé después del diluvio, en consecuencia con el relato bíblico que ya conocemos. Se avanzaba, por tanto, el fundamento de la etnografía del *Génesis*: de Sem, Cam y Jafet derivan los semitas, los camitas y los jafetas.

La radical involución del legado científico que se observa en la obra de Cosmas revelaba las prisas del converso por actualizar su merituario. Diferente en las formas era la actitud de la autoridad creada en el seno de la Iglesia. Lo vimos en el caso de San Agustín, pero ahora queremos recordar a otra gran autoridad en el campo de la exégesis bíblica y la custodia del dogma. Hablamos de San Isidoro, a quien alguna consideración debemos como titular del patronazgo de esta institución. Lo cierto es que a él se atribuye un modelo oficializado de entender la Tierra como realidad físico-matemática y de representarla.

Su *opera magna* es muy conocida, las *Etimologías*. El propósito que se anuncia en este título es muy evidente; es un tratado sobre los étimos; es decir, una búsqueda del origen de las palabras, que son conceptos con los que hacemos una primera identificación de la realidad para iniciar el conocimiento y hacerla inteligible. Más allá del título, la obra revela el profundo conocimiento del autor del legado filosófico y científico de la Antigüedad. Pero su misión no es conservarlo y difundirlo, y menos cultivarlo, sino expurgarlo. Las *Etimologías* son el resultado de un gran cribado de los saberes transmitidos desde la Antigüedad, haciéndolos compatibles con las Sagradas Escrituras. Sobre la forma de la Tierra, no podía dudar de su planicie, tal y como se contempla en la Biblia. Con su nombre se generalizó un modelo, llamado isidoriano, que representa la Tierra plana en forma de disco, dividido en tres partes, Europa, Asia y África; por supuesto adaptado al episodio bíblico relacionado con la descendencia de Noé, como ya hemos reiterado. Estas representaciones llamadas *discarios* se generalizaron durante la Edad Media, y constituyen un capítulo destacado en la Historia de la Cartografía. Carecen por completo de interés científico, pero transmiten mensajes muy útiles, de naturaleza ideológica, para que los creyentes no necesiten mirar al mundo; solamente creer. En su concepción suelen acomodarse a formas redondeadas o discoidales. Reparemos, no obstante, en una notable excepción. Podemos verla en la Figura XIII. Se trata de un *discario* con forma rectangular, en el que se aprecia la división tripartita, Europa, Asia y Libia, de inspiración bíblica, con referencias a los tres hijos de Noé, como era habitual. De alguna forma nos recuerda el Tabernáculo de Cosmas. Forma parte de las ilustraciones que contiene el Códice de la Colegiata de San Isidoro denominado *Biblia visigótico-mozárabe*. Un fásimil del mismo se exhibe como es sabido en la recepción de la Biblioteca Central de esta Universidad.

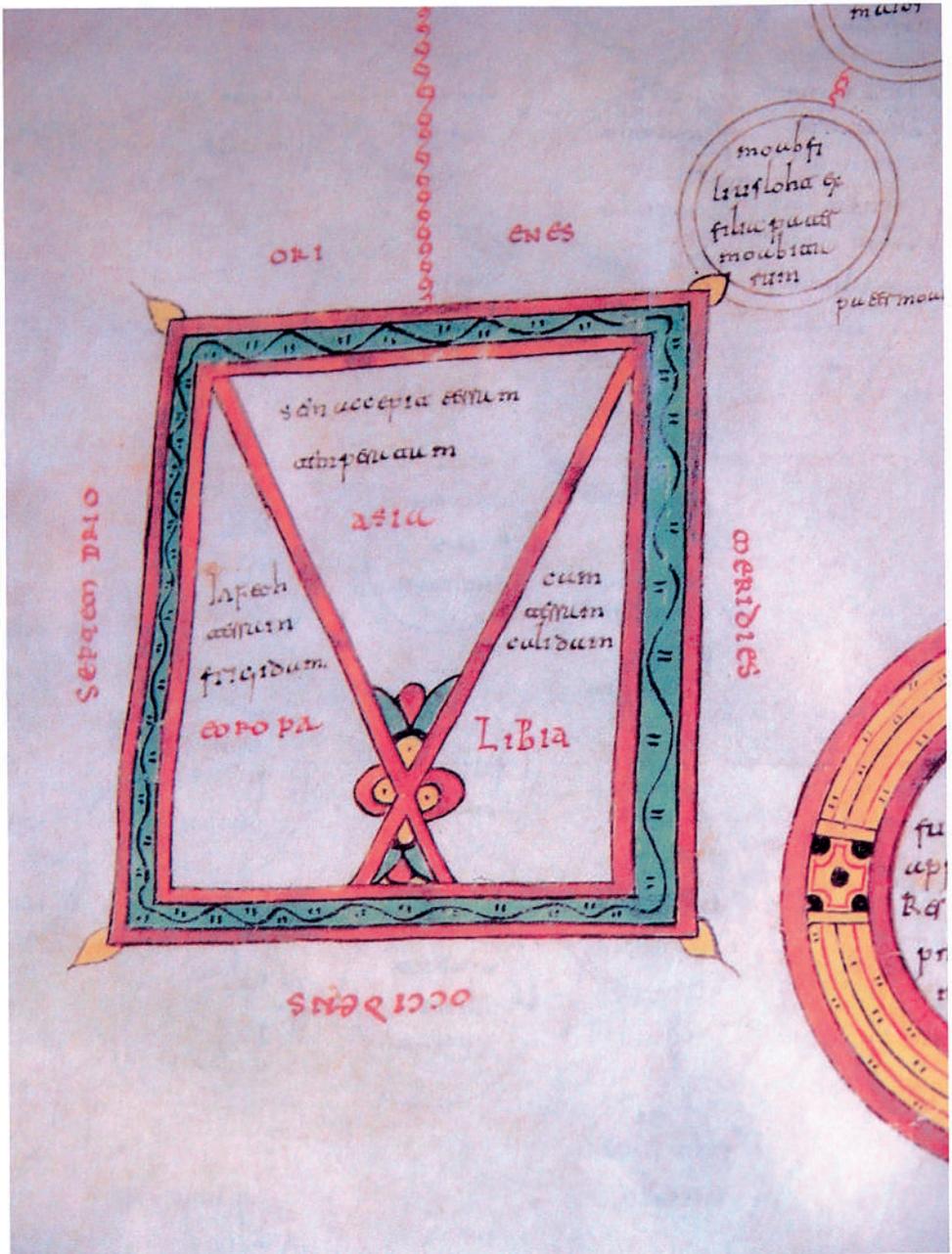


FIGURA XIII: Discario con forma cuadrangular. Representa igualmente una Tierra tripartita, con el ajuste etnográfico que establece la Biblia a partir de la descendencia de Noé. (Biblia visigótico-mozárabe. Codex biblicus legionensis, 1997, f. 6v.)



## 5. La experiencia de los grandes viajes. De la Tierra plana al Globo terráqueo

---

Las sociedades dominadas por sistemas de creencias irracionales, como las medievales europeas han de soportar una permanente contradicción. La defensa del dogma propicia visiones del mundo cerradas, como la representación de la Tierra contenida en un disco plano. Pero al mismo tiempo, no renuncian al proselitismo bajo diferentes modalidades, como el fomento ocasional de viajes de largas distancias, la práctica sistemática de las peregrinaciones, o esa conducción agresiva denominada “guerra santa”. Y es entonces cuando el mundo comienza a abrirse y a poner en evidencia nuevas realidades que comportarán nuevos saberes; o la recuperación de aquellos que se habían perdido u ocultado.

Tomemos un ejemplo que hace al caso, extraído de ese paradigma de la literatura de viajes que es el *Libro de las maravillas*, de Marco Polo. El joven comerciante veneciano, con su propósito de llegar a la corte del Gran Kan, abre sin duda una vía de comunicación entre Occidente y Oriente. La ida por tierra y el regreso por mar. Entre el mar de la China y las latitudes ecuatoriales, en Indonesia, adonde llega, la nave sigue una trayectoria meridiana, llevando como referencia, a popa, la estrella de la Tramontana. Consciente de ello, Marco Polo observa y apunta periódicamente la altura en brazas a la que ve la estrella sobre la línea del horizonte. Lógicamente, cada vez la ve más baja, a medida

que se va acercando al Ecuador, con latitud 0°. En consecuencia, nos dejó un testimonio con cálculo basado en la observación directa sobre la redondez de la Tierra. El aparente cambio de posición de la estrella se traduce en un gradiente latitudinal porque la nave se mueve por una superficie curva. Este episodio, asequible a la observación vulgar, cobra una gran relevancia a finales del siglo XIII, cuando se produce, y cuando estaba en pleno vigor la doctrina oficial de la Iglesia sobre la forma de la Tierra, que seguía afirmando su planicie.

Pero a pesar de esta doctrina oficial, en el mundo de la ciencia y de la técnica, astrónomos, navegantes, viajeros en general, se mantiene la idea de una Tierra esférica proporcionada por el estudio y la experiencia. En el seno de la propia Iglesia, excepcionalmente, algunos autores sostuvieron ideas claramente contrarias a la doctrina oficial. Es muy señalado el caso de Nicolás de Cusa, obispo y cardenal que en el siglo XV habló de una Tierra que no estaba en el centro del Cosmos, que se movía, que era una esfera, aunque no perfecta, y que existían los antípodas (Cusa 1973, 150-156).

Con Marco Polo se inicia la era de los grandes viajes que acabarán descubriendo los Nuevos Mundos: el interior de África, América, Australia, la Antártida, imposible de situar en la planicie de un *discario*. Ninguno de sus protagonistas, los viajeros árabes, los navegantes portugueses o Cristóbal Colón, podían admitir una Tierra que no fuera esférica. Conocedores de las ciencias relacionadas con su profesión, saben apreciar a cada paso el efecto de la curvatura. Recordemos que los portugueses llegaron a la India circunnavegando África; y que en la mente de Colón el extremo occidental y el oriental del viejo mundo debían coincidir en un mismo brazo de mar. Era el punto adonde él quería llegar. El episodio definitivo, pues tiene el valor de la primera

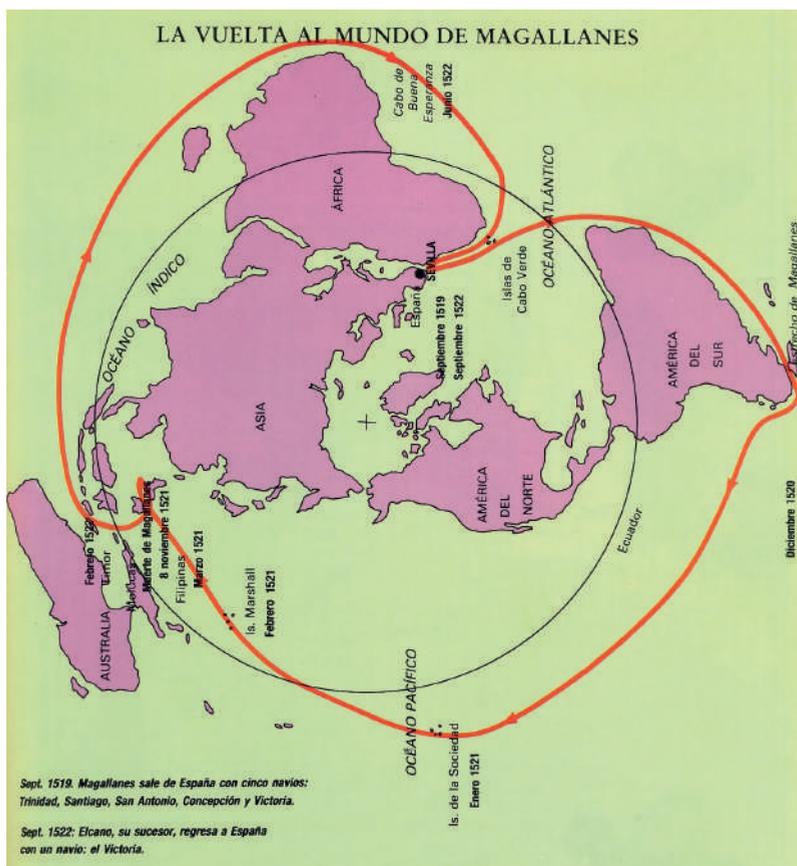


FIGURA XIV: Mapa que representa la derrota del primer viaje de circunnavegación terrestre. Prueba experimental de la redondez de la Tierra. (Chaliand y Rageau, 1986, 107)

prueba experimental de la esfericidad, se lo debemos a Fernando Magallanes y a Juan Sebastián Elcano, principio y fin del primer viaje de circunnavegación terrestre.

Estos hechos, que la propia Iglesia bendice con el propósito de universalizar la buena nueva del Evangelio, ocasionarán una rápida mutación epistemológica. En muy poco tiempo, finales del siglo XV y principios del XVI, se pasa de la idea medieval dominante de “tierra plana” a la del “globo terráqueo”; es decir, a la de una esfera formada

por tierra y agua (*terra et aqua*). Sin embargo, la Iglesia se resiste a admitir sin réplica un arrumbamiento tan flagrante de sus teorías, que solo eran dogmas. Sus exégetas difunden la llamada “teoría de las dos esferas” (Randles 1990, 79). Ahora admiten la esfericidad de la Tierra, pero no habría solo una esfera, sino dos: la de la tierra y la del agua. De esta forma, creían interpretar correctamente el conocido pasaje del *Génesis* donde se dice que Dios separó las aguas de la tierra para hacer posible sobre esta las formas de vida de los reinos animal y vegetal (Sagrada Biblia 1968, “Génesis”, 1, 9-10). Formalmente se traducía en una esfera de la Tierra más pequeña, flotando sobre una esfera del Agua más grande.

Ningún viajero o navegante con conocimientos científicos básicos pudo nunca verificar la teoría de las dos esferas. Y no era difícil probarlo, pues ambas, con diferentes tamaños, debían tener curvaturas diferentes, y en consecuencia el valor del grado en cada una de ellas sería también diferente. Los grandes viajes por tierra y por mar, periégesis y periplos, demostraron la existencia de una curvatura única con idéntico valor del grado. Es decir, la existencia de una única esfera con un único centro que se denominó globo terráqueo, formando el mismo cuerpo.

Debemos, no obstante, dejar constancia de una nueva curiosidad sobre la forma de la Tierra muy significada. Se la debemos a Cristóbal Colón, quién navegando en el entorno del Caribe, en su tercer viaje, descubre la tierra firme, observando la “disformidad” que le lleva a intuir una Tierra en forma de pera. El testimonio figura en una carta fechada en 31 de agosto de 1498, que envía a los Reyes, en la que después de recordar la general aceptación de la esfericidad de la Tierra desde la Antigüedad, afirma:

“agora vi tanta disformidad como ya dixen; y por esto me puse a tentar esto del mundo y halle que no hera redondo en la forma que escriven, salvo qu’es de la forma de una pera que sea toda muy redonda, salvo allí donde tiene el pezón, que allí tiene más alto, o como quien tiene una pelota muy redonda y en un lugar d’ella fuese como una teta de mujer allí puesta, y qu’esta parte d’este pezón sea la más alta e más propincua al çielo, y qu’esta sea debajo de la línea equinoçial, y en esta mar oçéana en fin de Oriente” (Colón 1992, XXX, 376-377).

La “disformidad” o prominencia que le daba a la Tierra en su redondez general una forma de pera debía corresponder a la elevación donde se suponía que se encontraba el Paraíso Terrenal, libre por tanto de la inundación del diluvio. Cuando navega por la “mar dulce”, el entorno de la desembocadura del Orinoco, intuye que esta gran corriente debe provenir de esta gran elevación localizada a la altura del Ecuador. Ver Figura XV.

Durante estos dos siglos, el XV y el XVI, estamos asistiendo a un momento crítico en nuestra historia intelectual. Reparemos en los significados que habitualmente otorgamos a la palabra Renacimiento. Tal vez la acepción más divulgada sea la de movimiento cultural que con preferencia atiende a las manifestaciones artísticas. Sin embargo, el investigador de procedencia multidisciplinar está más empeñado en la búsqueda etiológica, comprobando que lo que *renace* es la cultura clásica en todas sus manifestaciones. A nosotros nos interesan en especial las filosóficas y las científicas, todas ellas con el correspondiente soporte textual. Por lo tanto, valoramos el Renacimiento como un fenómeno esencialmente filológico, de recuperación de textos, su traducción, interpretación y edición, aprovechando la oportunidad providencial que empieza a brindar la Imprenta.

Por lo que se refiere a la ciencia, el Renacimiento pone en marcha una estrategia muy clara: sacar a la divinidad del centro del conoci-

miento. Aplicado a nuestro tema, las acciones son consecuentes y los efectos inmediatos. Recuperados, traducidos y publicados los Códices de la *Geografía* de Ptolomeo, se recupera la idea de una Tierra esférica completamente matematizada. El paso siguiente será sacar a la Tierra del discurso geográfico de la Biblia, y reiniciar su observación y estudio como realidad física autónoma.

Algunas pruebas del interés multidisciplinar que despierta el tema de la forma de la Tierra las encontramos en autores habitualmente clasificados en otros ámbitos del conocimiento. Podemos citar a Antonio de Nebrija, humanista recordado y celebrado, en el año en curso, por sus trabajos filológicos y gramaticales sobre la lengua castellana. Pero si ahora aparece en nuestra memoria es por otra de sus obras menos conocida, un *Tratado de cosmografía*, fechado en torno al 1500 (Nebrija 2000). Era el resultado del interés que siendo estudiante había mostrado en Salamanca por la astronomía y las matemáticas, y del conocimiento que tuvo en Italia, en el Colegio Español de Bolonia, de la *Geografía* de Ptolomeo. Frente a la teoría de las dos esferas, sostenida en los círculos de la exégesis bíblica, Nebrija defiende la Tierra como esfera única, formada por tierra y agua. Era la idea que empieza a generalizarse de globo terráqueo.

En este interés por la *Geografía* de Ptolomeo y sus fundamentos matemáticos, centrados en el interés práctico del sistema de coordenadas, latitudes y longitudes, acompaña a Nebrija el humanista Miguel Servet, quien se ocupó de hacer dos ediciones, en 1535 y 1541, de dicha obra. Quería recuperar la herencia científica de la Antigüedad y someterla a revisión en lo que procedía, dados los nuevos conocimientos que de la Tierra se tenían. En el proceso de enmienda y crítica que sigue se atrevió a contradecir la conocida afirmación bíblica de Pales-

tina, la tierra prometida, como una tierra de bondades, que manaba leche y miel. Sus fuentes, que eran mercaderes, peregrinos y exploradores, que conocían bien la región, informan de que Palestina era básicamente un desierto, “una tierra inculta, estéril y carente de toda comodidad”. Así lo reflejó, y pagaría por ello. Esta discrepancia, que se atrevió a sostener, figuraría como prueba de cargo en el proceso por el que fue condenado a muerte.

En el mismo propósito, recuperar la idea de una Tierra esférica, destacan los geógrafos que trabajan en el entorno de la *Geografía* de Ptolomeo tratando de adaptar sus ediciones a los nuevos descubrimientos geográficos. Comparten, por tanto, objetivos con los cartógrafos, ocupados en representar la nueva imagen del mundo. Citamos dos casos, Gerard Mercátor y Abraham Ortelio. Sus obras, denominadas

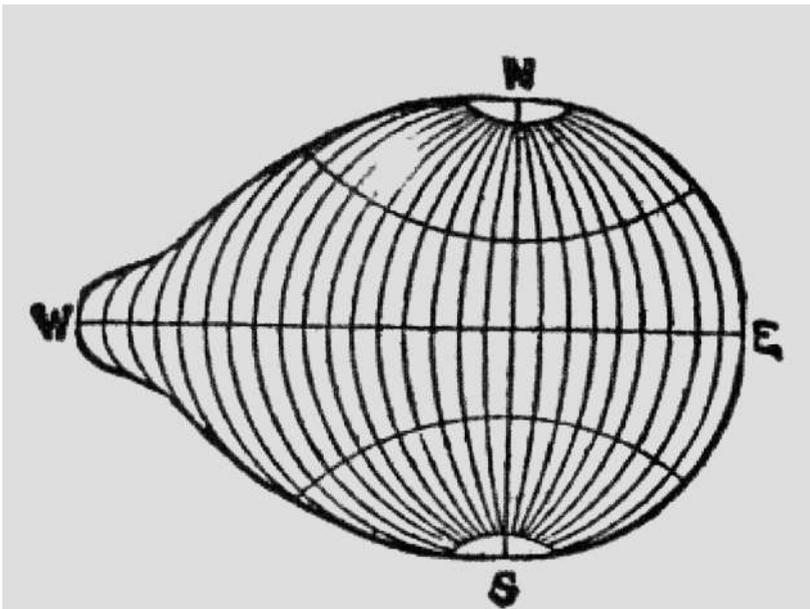


FIGURA XV: La Tierra con forma de pera. Una esfera con la prominencia supuesta y descrita por Cristóbal Colón.  
(<http://francis.naukas.com/cristobalcolon-la-forma-de...>)

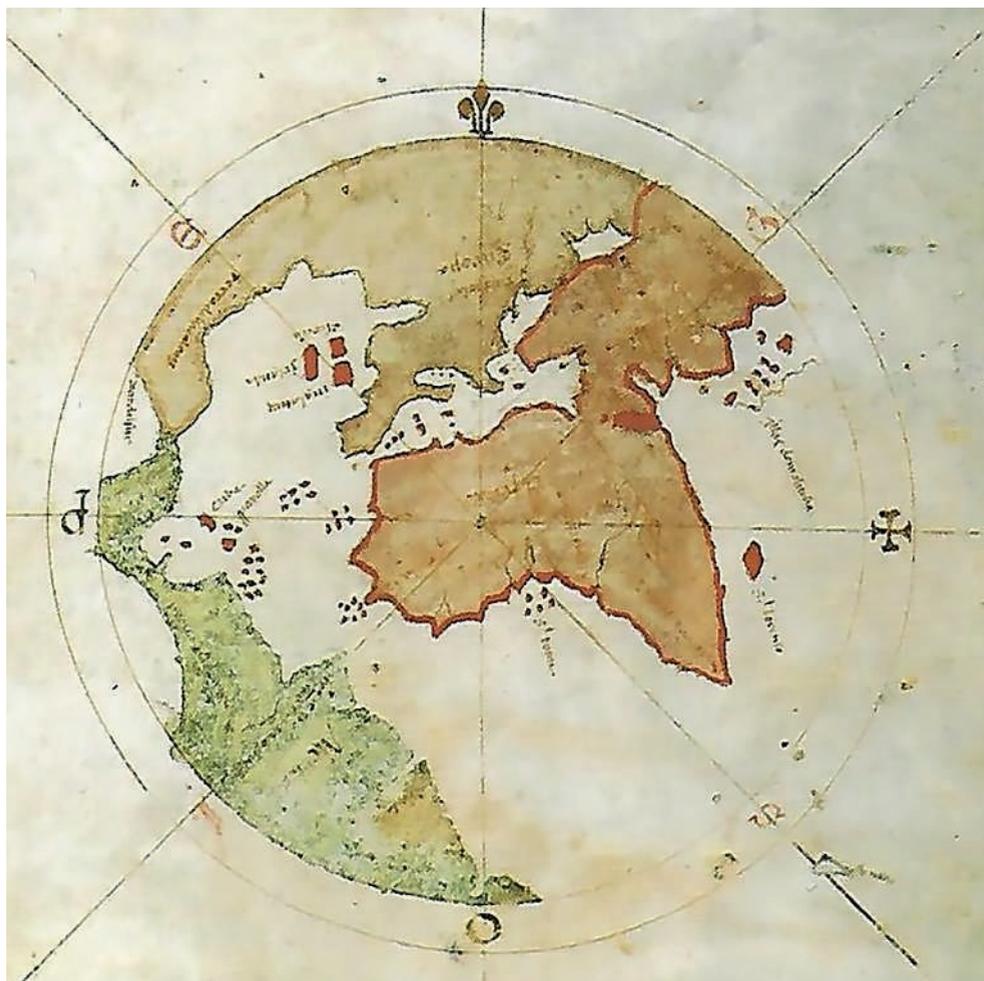


FIGURA XVI: Una representación de la esfera terrestre con las cuatro partes conocidas. (Ferrer, 1992, 21)

en terminología culta “Theatra” (*Theatrum Orbis Terrarum*) se convertirán desde entonces en los conocidos y populares *Atlas*; denominación esta que recuerda al mítico rey castigado por Zeus a llevar sobre sus hombros la bola del mundo. Un Atlas es una reunión o colecta de mapas que representan la totalidad de la Tierra o alguna de sus partes. En el Atlas de Vicente Prunes, de 1600, se recrea la idea de la esfera,

añadiendo a la representación de la parte visible de la misma un perfil del Nuevo Mundo (Figura XVI).

En nuestro libro, *Los geógrafos del Rey*, hemos tratado ampliamente sobre la parte que en este proceso les corresponde a los geógrafos españoles en la fase de mayor proyección de la España Imperial. En el término “geógrafos”, por sus implicaciones y afinidades con el estudio de la Tierra, se incluyen cosmógrafos, cronistas, astrónomos, matemáticos y cartógrafos (Reguera 2010).



## 6. A las puertas de una nueva revolución. De la esfera al esferoide.

---

La espiral del conocimiento no se detiene. Llegará el año 1543, muy señalado en la historia de la ciencia, pues apareció publicada la obra de Nicolás Copérnico, *Sobre la revolución de los orbes celestes*. Como es de conocimiento público, en ella el autor saca a la Tierra del centro del cosmos.

A la consolidación de la idea de una Tierra esférica contribuyeron físicos y matemáticos, como William Gilbert, que vivió en la segunda mitad del siglo XVI. Destacaron sus estudios sobre el magnetismo, y tras sus experimentos sobre la piedra imán y los cuerpos magnéticos, concibió la Tierra como un enorme imán esférico (*De magno magnete tellure*), hablando por primera vez de los términos “polo magnético” y “electricidad” (Gregory s. f., 10). Publicó en 1600 el *Tratado sobre la piedra imán, los cuerpos magnéticos y el gran imán de la Tierra* (Gilbert 1628).

No finalizará el siglo XVI sin que se perciban los primeros síntomas de la gran revolución científica de la época moderna, desarrollada en los siglos XVII y XVIII. Asistiremos a una espiral de cambios que abren el mundo al conocimiento en todas las direcciones. La mutación epistemológica será general, y tiene su fundamento en el principio básico de la mecánica moderna; a saber, que el movimiento es una propiedad inherente de la materia. Veremos, ya en el siglo XVIII, los primeros

GUILIELMI GILBERTI

ambitum extenditur pro formâ lapidis. Veluti in longiore lapide A, vigor extenditur ad terminum ambientem E. C. D. æquidistantem undiq; à lapide A.

CAP. IIX.

DE TELLURIS, ET TERRELLÆ  
*geographiâ.*

**D**E circulis etiam, & terminis magneticis jam dicenda quædam sunt: ut melius quæ sequuntur intelligi possint. Astronomi, ut errorum motum, & volubilitatem Cœli, ratione comprehendere & observare, tum ut cœlestem fixarum stellarum ornatum describere certius possent circulos quosdam, & terminos in Cœlo constituerunt certos [ quos etiam imitantur Geographi ] ut varia telluris facies, regionumq; pulchritudo delinearetur. Nos verò aliter atq; illi terminos illos circulosq; agnoscimus, invenimusq; plurimos naturâ certos, non imaginatione tantum conceptos. tam

in tellure, quàm in terrellâ nostrâ. Orbem terrarum distinguunt præcipuè per æquatorem F. & polos, A. B. atq; isti quidem termini à naturâ ordinati sunt & distincti meridiani etiam directas indicant semitas à polo in polum, per distinctos in æquatore punctos, quâ viâ virtus magnetica dirigit & incedit. Tropici verò & arctici circuli, ut paralleli, in tellure non sunt positi termini naturales, sed circuli omnes paralleli convenientiam quandam inter se indicant terrarum in eadem latitudine existentiam, aut è diametro ad-versantium. Quibus omnibus convenienter utuntur Mathematici, in globis & chartis pingendis. Perindè & in terrellâ hi omnes desiderantur, non tamen ut Geographicè delineetur exterior facies, eam magis undiq; perfectus, æqualis, & uniformis esse possit.

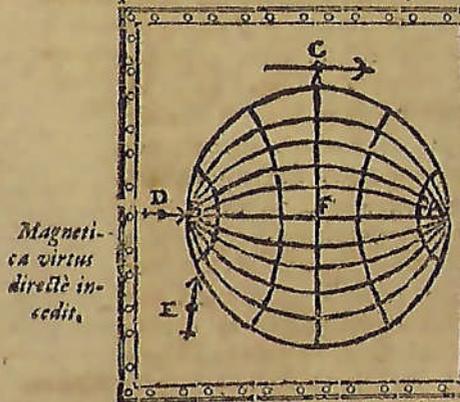


FIGURA XVII: Página de la obra de W. Gilbert (Tractatus... de magno magnetè tellure), mostrando la concepción de la esfera terrestre como un gran imán.  
(Gilbert, 1628)

síntomas de un Universo en expansión, que desembocarán en el “todo es relativo”, erróneamente atribuido a Albert Einstein.

Pero volvamos a la época moderna en la que podemos observar como ejemplos de los grandes cambios una sucesión de descentralizaciones, sinónimo siempre de mutaciones profundas. Ya citamos la de Copérnico sacando a la Tierra del centro del sistema solar, y añadimos otra descentralización crucial: Galileo y Newton sacan al propio hombre del centro de la mecánica, llegando a entender por qué la máquina de vapor se mueve sola, dejando atrás el carro que solo se mueve si tira de él el caballo. También veremos, en otro campo, a la aristocracia desplazada del centro de la sociedad y del centro del sistema político. A esto lo llamamos Revolución Francesa.

De una Tierra recuperada como esfera, pero descentralizada y sometida a la doble dinámica de la traslación y la rotación sobre su propio eje, también cabía esperar mutaciones de importancia. En los años 1672 y 1673 el astrónomo francés Jean Richer, observando las oscilaciones del péndulo en su expedición a la isla de Cayena, y comparándolas con el comportamiento en París, dedujo que la gravedad o fuerza de atracción de la Tierra era diferente según los lugares, y que ello tenía como causa su achatamiento hacia los Polos (Ten 1996, 54). Con este precedente, a partir de 1687 se empezó a divulgar la conocida formulación hipotética de Newton. En esta fecha se publicó la primera edición de su gran obra, los *Principios matemáticos de la filosofía natural*; con abreviación, los *Principia*. En su Libro III “Sobre el Sistema del Mundo” figura la Proposición que nos concierne sobre la forma de los planetas del sistema solar, y en particular, sobre la forma de la Tierra. Dice así:

“Los ejes de los planetas son menores que los diámetros trazados perpendicularmente a los ejes”

Con el siguiente razonamiento:

“La igual gravitación de las partes situadas en todos los lados de los planetas les daría una forma esférica si no fuera por su revolución diurna en círculo. Ese movimiento circular hace que las partes que se alejan del eje pugnen por ascender cerca del ecuador; como consecuencia de ello, si la materia está en estado fluido, al ascender al ecuador aumentará allí los diámetros y al descender hacia los polos acortará el eje. Por tanto, el diámetro de Júpiter (por observaciones coincidentes de los astrónomos) resulta ser más corto entre polo y polo que de este a oeste. Y, a tenor de la misma argumentación, si nuestra Tierra no fuera más alta en el ecuador que en los polos, el mar se hundiría en las proximidades de los polos y, elevándose hacia el ecuador, anegaría cuanto allí hubiera” (Newton 1982, 687-688).

De donde se sigue que la Tierra no podía ser una esfera perfecta, con identidad de radio y curvatura única. Debía aproximarse a un esferoide. Newton, que era físico, además de astrónomo y matemático, sabe que las formas son funciones de las fuerzas. La diferencia de ejes se debía a que la Tierra rota y lo hace a gran velocidad, generando una fuerza centrífuga que desplaza las masas desde las partes altas (latitudes polares), hacia las bajas (latitudes ecuatoriales).

Estas masas eran rocas fundidas, magma, en la fase primigenia de formación de la Tierra, cuando su superficie superaba aún los mil grados de temperatura. En fases posteriores, tras el progresivo enfriamiento, con la formación de la atmósfera y la consolidación del ciclo del agua, las masas que se desplazan por la fuerza centrífuga son rocas en proceso de formación, sedimentos y el agua de los Océanos, ya presentes en la superficie de la Tierra. El resultado formal de este proceso es que la Tierra se achataba en los entornos polares, y se abombaba en el Ecuador, dando como resultado la diferencia de ejes y la figura del elipsoide.

Resulta muy interesante en términos científicos el razonamiento adicional que hace Newton para reforzar el aval de su hipótesis. Si el diámetro ecuatorial no fuera mayor que el polar, y el Ecuador no estuviera abombado, el agua de los Océanos inundaría por completo las regiones del entorno ecuatorial. Si observamos un planisferio podemos advertir fácilmente las consecuencias: no existirían como tierras emergidas ni las cuencas del Amazonas y del Congo, ni las selvas de Indonesia. Considerando que son los tres grandes pulmones del planeta, el ecosistema Tierra sería completamente diferente.

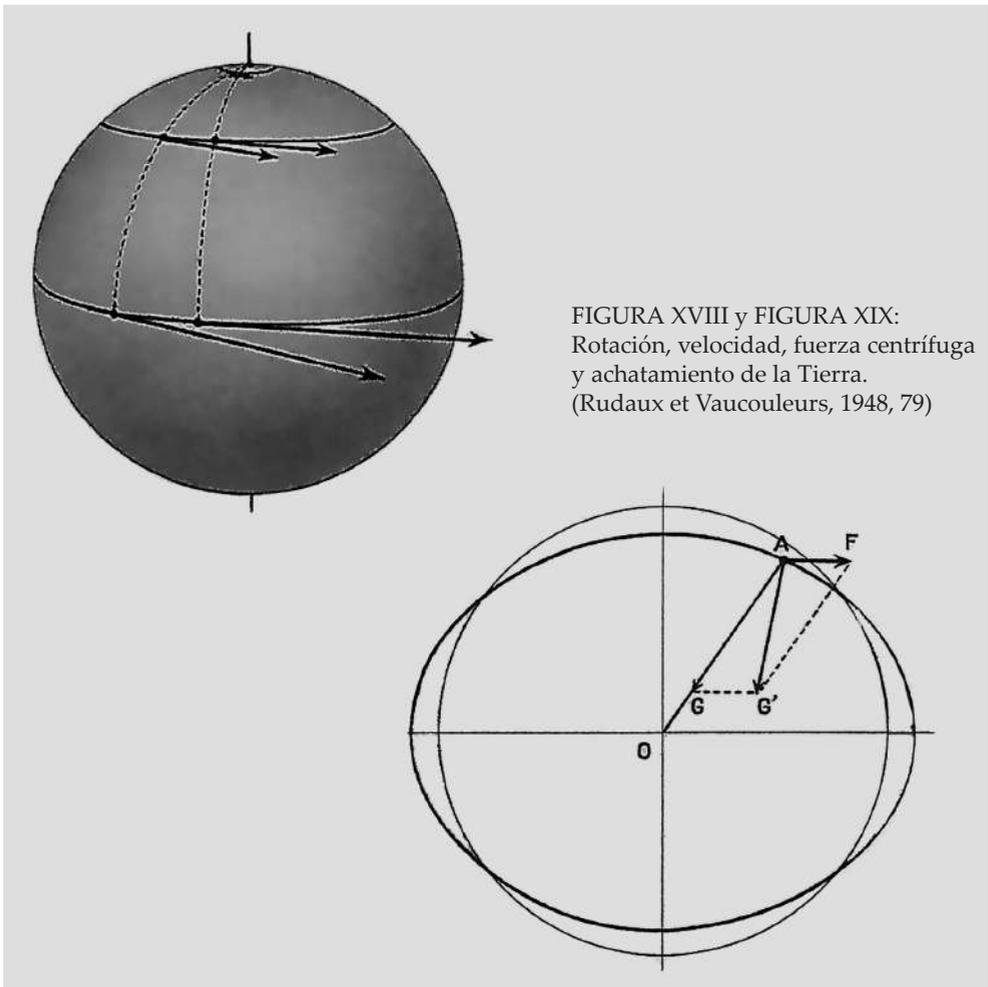


FIGURA XVIII y FIGURA XIX:  
Rotación, velocidad, fuerza centrífuga  
y achatamiento de la Tierra.  
(Rudaux et Vaucouleurs, 1948, 79)



## 7. La guerra de los elipsoides

---

La obra de Newton causó un gran impacto en el mundo de la ciencia, en especial en el grupo de las ciencias exactas y las naturales; pero no solo. En realidad, conmovió los fundamentos de cualquier intelección y de toda forma de pensar, también en la literatura, el arte y las creencias irracionales. Podemos recordar el caso del Padre Feijoo, quien conoció la obra de los *Principia*, primero compendiada y de forma indirecta, y después leyendo directamente de ella (Reguera 2001-2002, 305 y ss.). Pero lo más importante es que se hizo acreedor al famoso “yo hablo como newtoniano” (Browning 1981, 221-230), cuando su discípulo, el Padre Martín Sarmiento, aún ponía en duda, décadas más tarde, el movimiento de rotación de la Tierra (Reguera 2006, 221 y ss.). Una ilustración mucho más avanzada acreditaba el Conde de Penaflorida, Francisco Javier Munibe e Idiáquez, fundador de la Sociedad Vascongada de Amigos del País y del Seminario Patriótico de Vergara. Tras su periodo de estudios en Francia, donde se interesó por la física moderna, publicó en 1758 la obra *Los aldeanos críticos*, donde explica los fundamentos del elipsoide newtoniano; es decir, “de la nueva figura de la tierra, negando su perfecta esfericidad y haciéndola chata por los polos”. Y recuerda lo ya dicho por Feijoo sobre Newton y su obra (Munibe e Idiáquez, 1758, 44-45). Otro caso memorable lo encontramos en las *Cartas a una princesa alemana sobre temas de física y filosofía*, escritas por Leonhard Euler, entre 1760 y 1762; una exquisitez de la divulgación científica que el gran matemático dirige a la sobrina de Federico II, rey de Prusia, explicándole los fundamentos del globo newto-

niano achatado por los polos, de la gravedad o pesantez y de la aparente complejidad de la existencia de los antípodas (Euler, 1985, Cartas 48, 49 y 50). Se extendía así un principio universal que aproximadamente dice que lo que es bueno para la educación de príncipes y princesas también ha de serlo para la de los aldeanos.

Respecto a la cuestión de la forma de la Tierra, la obra de Newton suscitó una gran polémica científica que perduró durante las décadas centrales del siglo XVIII. Fue tan relevante para la ciencia en general y para la geografía matemática en particular que hemos querido llamar expresamente la atención sobre ella con la simplificación figurativa que aparece en el Título de esta exposición. Me refiero a la “Naranja” y al “Limón” (Ferrer 1992, 57-71). También se ha visualizado la comparación entre el “melón” y la “sandía” (Lafuente y Delgado 1984, 21-22). Veamos de qué se trata.

El astrónomo de origen italiano, Jacques Cassini, que trabaja en París para el rey Luis XIV, se percató de la importancia de la obra de Newton tras su publicación. Él mismo era un gran científico que el rey Sol había puesto al frente de dos grandes instituciones, el Observatorio Astronómico y la Academia de las Ciencias de París. Entendió las explicaciones de Newton, desde la física, para determinar la forma del elipsoide, aunque discrepó del resultado final. El encadenamiento de la rotación, la velocidad, la fuerza centrífuga y el desplazamiento de la masa no concluía con el achatamiento polar y el abombamiento ecuatorial como proponía Newton. Debía ocurrir lo contrario, decía Cassini. La masa se desplazaría de las partes bajas, del Ecuador, hacia las altas, los Polos. En consecuencia, el abombamiento se produciría en los Polos, mientras que el Ecuador se achataba. En otros términos, para Newton era “Naranja”, y para Cassini era “Limón”. Véase la Figura XX.

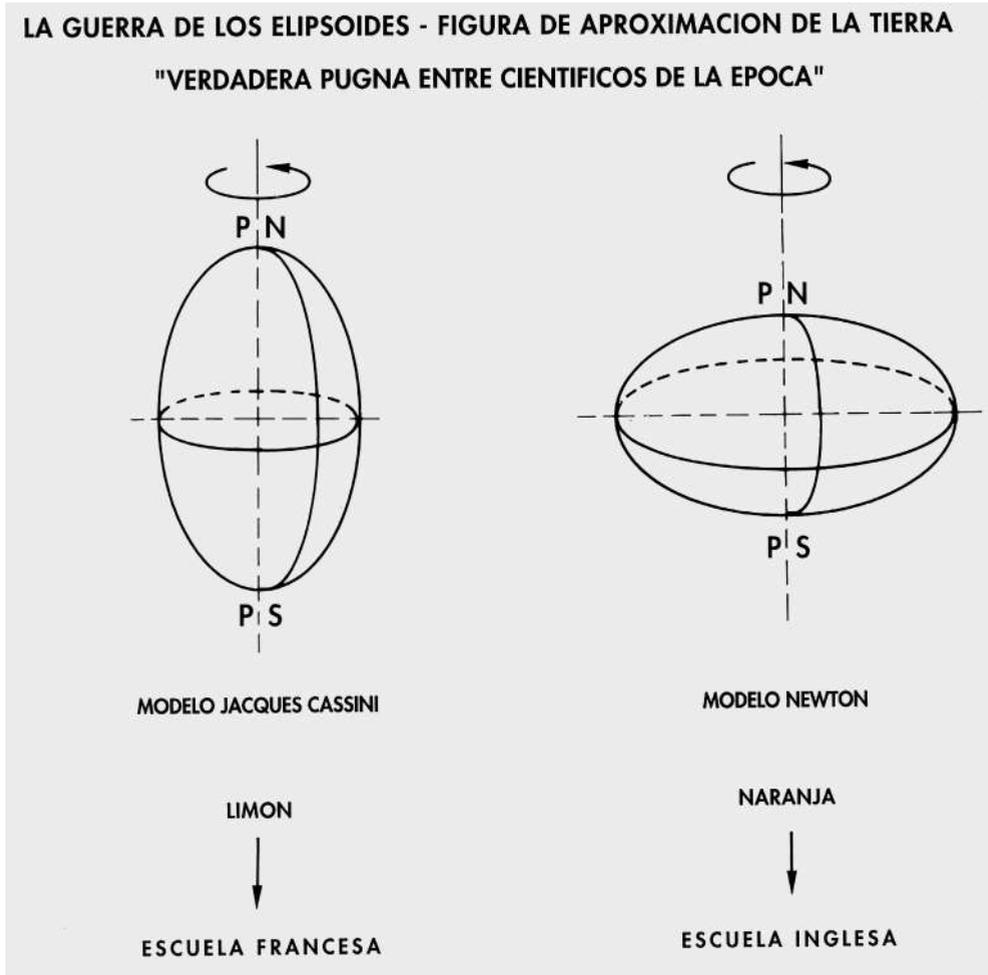


FIGURA XX: La guerra de los elipsoides. Naranja o Limón. Newtonianos contra cassinistas. (Ferrer, 1992, 62)

Quedaba abierta la llamada “guerra de los elipsoides” (Ferrer 1992, 62); que de alguna forma implicó a los grandes científicos de la época. Los campos de exhibición y de discusión fueron en principio las Academias. Aunque la confrontación fue exclusivamente científica, no es difícil advertir un cierto sesgo nacionalista, en la medida en que ambos científicos representan a las escuelas inglesa y francesa, como ha sido puesto de manifiesto (Lafuente 1983). Los dos imperios competían por

la hegemonía mundial en varios frentes, y el de la ciencia no ofrecía una importancia menor. Sin embargo, nada era más empobrecedor que darle a la ciencia una tintura nacionalista. Destaquemos al respecto el caso de Voltaire, primer gran defensor y divulgador en la propia Francia de la obra newtoniana, al mismo tiempo que su compañera, la marquesa de Châtelet, hacía la traducción al francés de los *Principia* para su primera edición en Francia, aparecida en 1756 y precedida de un elogio del propio Voltaire.

La enmienda que había planteado Cassini a la hipótesis de Newton sobre el elipsoide no se podía dirimir en los salones de las Academias. Era preciso salir a medir curvaturas, eligiendo los emplazamientos adecuados. Y esto es exactamente lo que decide la Academia de Ciencias de París, preparando dos Expediciones Geodésicas, que deberían trabajar en las proximidades de los Polos y en el propio Ecuador; donde se podría medir y comprobar las alteraciones de la curvatura que la teoría preveía. La Academia puso al frente de ambas Expediciones a científicos franceses, pero dada la trascendencia de lo que se dirimía, tuvo la prudente y sabia precaución de incluir a reputados científicos de otros países.

La Expedición polar se dirigió al norte de Europa, realizando sus trabajos en Laponia, en las proximidades de la frontera entre Finlandia y Suecia, por encima del círculo polar ártico, en Pello (66° 48'). En estos momentos no era posible el acceso al Polo o a una mayor proximidad al mismo. Pero se estimaba que cualquiera que fuera la alteración de la curvatura polar, a esta altura latitudinal ya se podría comprobar. La Expedición ecuatorial eligió el mismo Ecuador; es decir, en latitud 0°, a su paso por el continente americano. Este equipo visitó la Corte española para solicitar el correspondiente permiso del

Rey, pues se desplazaban al Virreinato del Perú para trabajar en las inmediaciones de Quito. Lo obtienen, pero Felipe V pone como condición que en la Expedición se han de integrar dos científicos españoles. Fueron elegidos dos jóvenes estudiantes de la Academia de Guardias Marinas de Cádiz, que ya destacaban en el campo de las matemáticas. Eran Jorge Juan y Antonio de Ulloa, que después de distinguirse por su gran contribución a los trabajos de la Expedición, llegarían a ser grandes referentes de la ciencia española en el siglo XVIII.

Los trabajos se llevaron a cabo entre los años 1736 y 1740, y consistieron básicamente en la experimentación de dos métodos, el geodésico y el gravimétrico. El primero, para medir varios grados de meridiano en ambas curvaturas, esperando resultados concluyentes; y el segundo, observando el péndulo que bate segundos, tomando como referencia el comportamiento del mismo en París, con sesenta oscilaciones en un minuto. Como ya se conocían las leyes del péndulo, que había enunciado Galileo, y la cuarta ley relacionaba el tiempo de una oscilación con la intensidad de la gravedad (F. T. D. s. f.,74-75), cualquier variación con respecto al modelo parisino determinaba la necesidad de alargar o acortar la propia longitud del péndulo, y en consecuencia, las variaciones de la gravedad. Esta, a su vez, tenía que ver con la longitud de los radios, el polar y el ecuatorial; y estos finalmente, con el achatamiento o abombamiento de la curvatura de la Tierra.

Los resultados, simplificados pero concluyentes, daban un valor del grado de meridiano en el Ecuador de 110.613,7 ms., y de 111.948,6 ms. en el Polo; y en medidas originales en toesas, de 56.753 y 57.437,9, respectivamente (Huguet del Villar 1928, 95). En otras fuentes hay alguna diferencia en las cifras: 56.751 y 57.422, respectivamente (La fuente y Delgado 1984, 260 y 263). Teniendo en cuenta que habitual-

mente trabajamos con un grado medio de 111.111 ms., resultante de repartir los 40.000 Km. redondeados del perímetro de la Tierra entre 360º, no había duda. El valor menor del grado en el Ecuador era fruto del abombamiento de la curvatura en esta latitud. Si la curvatura se abomba, ha de corresponder a una circunferencia menor, y por tanto el grado valdrá menos. Por el contrario, si la curvatura se achata, corresponderá a una circunferencia mayor, y el grado valdrá más. Tal como ocurría en el Polo. Por otro lado, la gravedad era mayor en el Polo. Con el achatamiento disminuye el radio polar, y por tanto la distancia al centro de la Tierra. En la fórmula universal  $g$  (gravedad) será mayor si  $d$  ( $d^2$ ) (distancia) disminuye. En conclusión, los resultados de ambas Expediciones, cuyo trabajo es independiente, avalaban de forma incuestionable la hipótesis newtoniana. La Tierra era "Naranja".

## **8. De la forma de la Tierra a la forma de los territorios. Las Cartas Geométricas y los Mapas Topográficos.**

---

Superada la polémica, se impuso la idea y la forma del elipsoide newtoniano, pero no por ello quedó cerrada la cuestión de la forma de la Tierra. Podemos decir incluso que fue un estímulo para subsiguientes investigaciones, como veremos de inmediato. De momento, el afinamiento en los métodos geodésicos sirvió para que diferentes países se propusieran medir con rigor sus propios territorios. Es decir, la razón científica también se proyecta como razón práctica. Fueron pioneros los franceses, iniciando el levantamiento del Mapa moderno de Francia a comienzos del siglo XVIII. Cuando comienza la Revolución en 1789 concluyen la publicación de su famosa *Carta geométrica* (Vayssièr 1980, 252 - 265).

Sin embargo, no fueron los franceses los primeros en presentar resultados. Por ironías de la vida y de la propia ciencia, fue la Iglesia de Roma la que se adelantó en el uso de los nuevos métodos geodésicos para hacer el levantamiento de los territorios de su Diócesis; es decir, de los llamados Estados Pontificios. Siendo aún muchas de sus autoridades, desde cardenales hasta titulares de parroquia, militantes del terraplanismo; sin embargo, el Papa Benedicto XIV encargó a dos respetados matemáticos, Roger J. Boscovich y Christopher Mair, jesuitas y profesores del Colegio Romano, hacer la triangulación geodésica de los territorios pontificios, y levantar un mapa exacto de los

mismos. Los resultados se publicaron en 1755, en una *Memoria* (Mair et Boscovich, 1755), cuya portada, con datos de interés se reproduce como Figura XXI. Como es bien sabido, a mediados del siglo XVIII los llamados Estados Pontificios incluyen una gran parte del centro de la península Itálica (Duby 1987, 152-155), debiendo interpretar la decisión del Pontífice no como una contribución a la teoría y a la práctica científicas, sino como un gesto de afirmación de la identidad geográfica de un patrimonio cuya soberanía quiere afianzar. Hablamos del nuevo Mapa como cédula de propiedad.

Por estos mismos años, a raíz de la rebelión de los *highlanders*, los montañeses de Escocia, controlada en 1745, Inglaterra comprendió la necesidad de emprender los trabajos geodésicos, es decir, las triangulaciones que permitirían elegir posiciones estratégicas y de comunicación militar, de conocimiento del territorio y especial de su relieve. La necesidad, en suma, de levantar el mapa topográfico de la gran isla (Ibáñez 1881, 454).

La administración borbónica en España seguía con frecuencia pautas de sus parientes en Francia. Desde principios del reinado de Felipe V se pensó en una Carta o Mapa de España similar a la Carta Geométrica francesa. El Marqués de la Ensenada, mientras pudo ejercer el poder, entre 1743 y 1754, impulsó este Proyecto, tratando de poner al frente del mismo a los dos matemáticos, Jorge Juan y Antonio de Ulloa, que habían regresado de su misión geodésica al Ecuador (Reguera 2001, 359-375 y 2017, 183-199). Pero con su caída en desgracia arrastró todo cuanto de él dependía, incluido el Proyecto del Mapa. Sin embargo, el conocimiento riguroso del propio territorio era algo irrenunciable. Por eso, en los años ochenta un grupo de científicos en el seno de la Armada reconocerá el litoral peninsular, haciendo las correspondientes triangulaciones y el

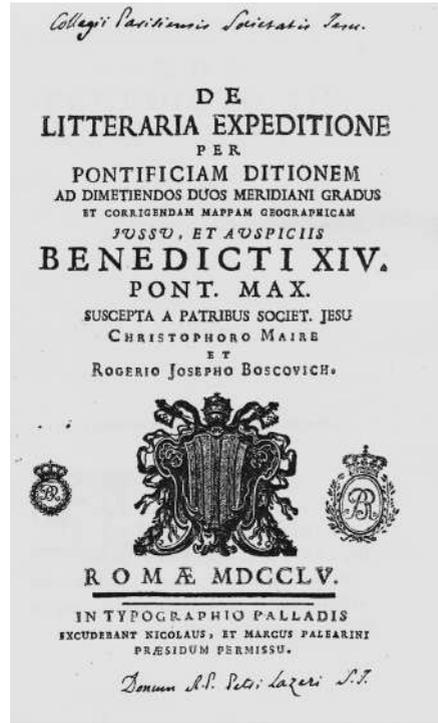


FIGURA XXI: Portada de la Memoria con los trabajos y los resultados de la operación geodésica encargada por el Papa Benedicto XIV para medir los territorios de los Estados Pontificios. (Mair et Boscovich, 1755)



FIGURA XXII: Atlas Marítimo de España. Un equipo formado por científicos de la Armada reconstruye el perfil peninsular utilizando por primera vez métodos de triangulación geodésica. (Tofiño, 1989/1789)

levantamiento cartográfico final. Con los resultados se publicó el *Atlas Marítimo de España* (Tofiño 1789/1989), donde se puede ver por primera vez científicamente reconstruido el perfil peninsular. El interior debería esperar más de medio siglo, hasta ver construida la red geodésica, base del futuro Mapa Topográfico Nacional.

En otros países, con más o menos retraso, se sigue la misma pauta respecto al conocimiento y la representación del propio territorio. La ciencia de la geodesia y la topografía lo permitía, y la ideología del Estado Nacional, prodigada a lo largo del siglo XIX, lo promovía.

## 9. La medida de una meridiana para medir el metro

---

Esta deriva práctica que había tomado el desarrollo de la geografía matemática no impedirá que, solventada la polémica del elipsoide, se vuelvan a plantear cuestiones formales. Del elipsoide newtoniano habían quedado fijadas las medidas de los radios y de los diámetros, y las dimensiones de las curvaturas en el Ecuador y en el Polo, a través del cálculo del grado de meridiano. Pero nadie se había preguntado a mediados del siglo XVIII cómo sería la curvatura de la Tierra en las latitudes medias; o en otros términos, cuál sería el valor del grado de meridiano a la altura del paralelo 45. Serán de nuevo científicos franceses quienes se sientan concernidos por esta pregunta. Y lo harán movidos por la ciencia, y al mismo tiempo, por un interés nacional, cuando el plan se concreta en la medida de la meridiana que pasando por París recorría Francia desde Dunkerque hasta Barcelona. Los límites latitudinales de Francia la situaban en pleno centro de la zona en cuestión. De modo que los mismos trabajos contribuían a dos objetivos: el general, la curvatura de la Tierra, y el particular, la meridiana francesa. Y en la práctica ambos servían al gran objetivo científico de la Francia revolucionaria, que era el de crear un sistema métrico decimal de valor universal, que empezaría “midiendo el metro” (Ten 1996).

Esta expresión cobra su pleno sentido considerando que la unidad básica del sistema, el *metro*, se obtiene de la propia medida de la Tierra. Como es sabido, un metro es en su origen la diezmillonésima par-

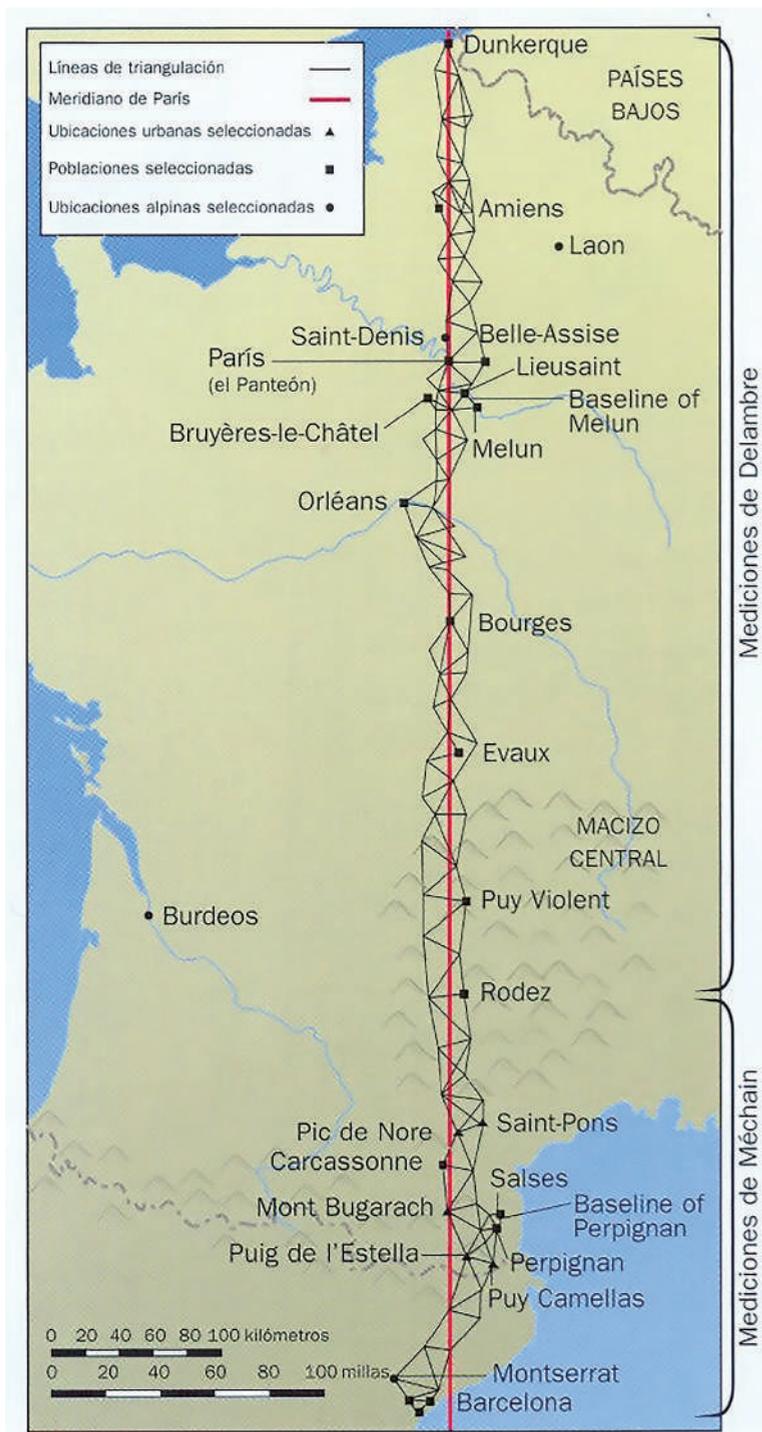


FIGURA XXIII: Medida de la meridiana francesa, desde Dunkerque hasta Barcelona en una primera fase. Base del Sistema Métrico Decimal. (Robinson, 2007, 27)

te de un cuadrante terrestre. La unidad llamada *metro* se obtiene de la medida de un grado de meridiano a la altura del paralelo de 45°, cuyo resultado era de 57.027 toesas. La diezmillonésima parte de la misma quedaría en 0,513243 toesas, que subdivide hasta ajustarla a la medida de 3 pies, 11 líneas 44/100 (Ten 1996, 85-86). A esta medida se le llamó *metro*; que con gran aproximación equivale a la mitad de una toesa (= 1,946 metros).

Fue esta una determinación provisional, a la espera de los resultados de la medida de la meridiana de París que entre Dunkerque y Barcelona practicaban los astrónomos franceses Pierre André Méchain y Jean Baptiste Delambre, entre los años 1792 y 1799. Posteriormente se amplió la meridiana por el Sur, hasta las Baleares, con el propósito de culminar el enlace con Argelia, y al mismo tiempo disponer de una mayor amplitud de medidas de grados en meridiano antes de decidir el valor del metro definitivo.

Para cumplir con este propósito, decidir la medida universal que se buscaba, el Instituto de Francia convoca en 1798 un Congreso Internacional de matemáticos, invitando a especialistas de varios países con los que Francia mantenía relaciones o se distinguían por su neutralidad (Ten 1996, 88-89). Debían estudiar los datos obtenidos de la citada meridiana. Lo hicieron y comprobaron las variaciones en el valor de los grados en función de la latitud. Resultaba muy difícil entonces obtener un valor único que pudiera ser elevado a la categoría de *medida*, identificada con una *constante universal*, como se pretendía. Y lo que en última instancia se ponía de manifiesto eran las irregularidades de la propia curvatura del elipsoide en el tramo de las latitudes medias; es decir, entre el achatamiento y el abombamiento ecuatorial. En la Figura XXIV se pueden apreciar otras variaciones de la curvatura, además

de las polares y las ecuatoriales, relacionadas con cambios en la atracción gravitatoria en diferentes partes de la Tierra. El elipsoide “naranja” o “limón” se parece ahora a una “patata”, o a una “calabaza”.

No fue posible aislar la medida buscada, basada en el rigor matemático. El denominado “metro prototipo internacional” (Ibáñez 1881, 465) no es más que una aproximación al criterio inicial para su medida, la diezmillonésima parte de un cuadrante terrestre. Sin embargo, quedaba fuera de toda duda la utilidad social del nuevo sistema métrico, basado en la uniformidad de pesos y medidas. Se creaba un nuevo lenguaje para el cálculo, el conocimiento y la transacción, manifestación inequívoca de progreso frente a la barbarie que representaban los viejos sistemas. Este es el ideario que pretende difundir el matemático Gabriel Císcar, representante español en la Comisión Científica del Metro, cuando regresa a España y publica la *Memoria elemental sobre los nuevos pesos y medidas decimales fundados en la naturaleza*, en el año 1800 (La Parra López 1995, 128-132).

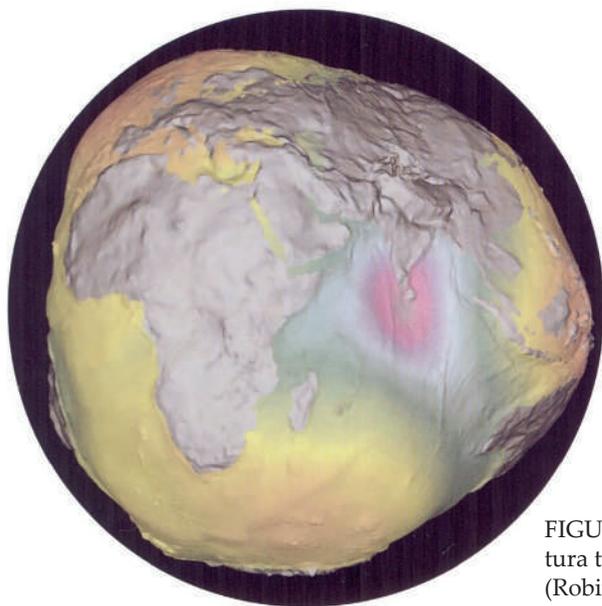


FIGURA XXIV: Variaciones de la curvatura terrestre en diferentes latitudes. (Robinson, 2007, 26)

## 10. Imperios coloniales, revolución industrial y geodesia. Nuevos ajustes en el elipsoide newtoniano

---

El siglo XVIII había concluido con la aceptación general del elipsoide newtoniano. Verificado el achatamiento polar se abre una nueva etapa en la historia reciente de la determinación de la forma de la Tierra que se denominó de “Novísima Geodesia” (Ibáñez 1881, 438). La “Nueva” se había desenvuelto en torno a la polémica referida entre newtonianos y cassinistas; y la “Antigua” comprende la relación de precedentes que remontan a la Antigüedad, en la que hemos encontrado el propio origen del concepto. Que sepamos fue Aristóteles quien por primera vez utilizó el término “geodesia”. Lo hizo en su obra *Metafísica* (1982, II, 2, 997b, 25-30), cuando diferenció una geometría ocupada de “cosas no sensibles” de una geografía matemática que trataba del estudio de la forma y medida de la Tierra. Pero esta medida en esos momentos solo podía ser por partes o secciones, que es lo que significa la palabra “geodesia” (geo-daisia/as) en su origen.

Como hemos visto, el dominio intelectual sobre la esfera terrestre avanzó con rapidez. Solo dos generaciones después de Aristóteles, hacia mediados del siglo III a. C., Eratóstenes protagonizó en la Escuela de Alejandría ese episodio tan relevante en la historia de la ciencia que fue la medida por primera vez con gran aproximación de la circunferencia de la Tierra. Ahora, a comienzos del siglo XIX, después de haber validado sus medidas, las de una Tierra de 40.000 Km., y admi-

tida la formalidad newtoniana, los nuevos geodestas se ocuparán de reiterar las comprobaciones sobre el valor de los radios. Era una forma de ajustar la curvatura del elipsoide mediante la generalización de los métodos gravimétricos, basados en la observación del péndulo, llamado el “compás del tiempo” (Barraquer 1881, 408).

Autoridad		Radio ecuatorial	Radio polar	Achatamiento
		m	m	
?	(1799)	6375739	6356650	<sup>1</sup> /334,00
Walbeck	(1819)	6376895	6355832	<sup>1</sup> /302,78
Schmidt	(1829)	6376959	6355522	<sup>1</sup> /297,48
Bessel	(1841)	6377397	6356079	<sup>1</sup> /299,15
Airy	(1849)	6377480	6356175	<sup>1</sup> /299,33
Struve	(1860)	6378298	6356657	<sup>1</sup> /299,73
James	(1863)	6378230	6356562	<sup>1</sup> /294,36
Clarke	(1880)	6378249	6356515	<sup>1</sup> /293,47
Helmert	(1907)	6378200	6356818	<sup>1</sup> /298, 3
Hayford	(1909)	6378388	6356909	<sup>1</sup> /297, 0

TABLA I: Relación de valores del elipsoide terrestre obtenidos entre los años 1799 y 1909 (Anuario del Observatorio de Madrid para 1925, 1924, 72)

En la Tabla I podemos ver una relación de valores sobre las dimensiones del elipsoide terrestre, obtenidos entre los años 1799 y 1909. Incluyen el valor de los radios, el ecuatorial y el polar, y el índice achatamiento. El achatamiento absoluto se aproxima siempre a los 21 Kms., salvo en el primer caso, el de 1799, en el que no se identifica al autor.

La Conferencia Internacional de Efemérides Astronómicas, celebrada en París en 1911, adoptó el valor del achatamiento de Hayford,  $1/297,0$ , y los parámetros básicos del elipsoide de Helmert con los siguientes resultados:

Circunferencia ecuatorial: .....40. 0 75.404 m.

Cuarto de meridiano elíptico:.....10. 002.067 m.

Longitud media del arco de  $1^\circ$  de meridiano:.....111.134,1m.

Radio ecuatorial: .....6. 378.200 m.

Radio polar: .....6. 356.818 m.

Radio de una esfera equivalente a la Tierra: .....6. 371.064 m.

Más adelante veremos la Tabla III más completa, que incluye las medidas, ya con un ajuste “milimétrico” realizadas a lo largo del siglo XX.

En el siglo XIX, al mismo tiempo que se hacían comprobaciones y ajustes para determinar los parámetros de un elipsoide de referencia, los geodestas se ocuparon de la medida de grandes arcos de meridiano. Aparte de los incentivos científicos que promueven las operaciones, estas no son ajenas a los intereses de las grandes potencias. El mantenimiento y la gestión de los dominios imperiales, la revolución industrial y la organización colonial determinan la necesidad de un conocimiento territorial riguroso, que en la práctica se traduce en localizaciones, generales y estratégicas, itinerarios y rutas de navegación, identificación de yacimientos de materias primas y trazados fronterizos.

Sobre la base del arco de meridiano entre Dunkerque y Barcelona, Francia e Inglaterra acordaron unir sus triángulos en 1817 para subir la cadena hasta las islas Sethland, a una altura de polo próxima a los 61°. Con anterioridad Francia y España ya habían empezado a trabajar en la prolongación de la meridiana hacia el Sur, desde Barcelona a las islas Baleares. Y el propósito era establecer el enlace con Argelia. Con este último eslabón geodésico se completaba la llamada “cadena meridiana anglo-franco-hispano-argelina” (Ibáñez 1881, 449), con un arco próximo a los 25°.

Superaba los 25° el arco que se comienza a medir en Rusia en 1816, para enlazar el Danubio con el mar Glacial. El principal protagonista de esta triangulación fue el astrónomo ruso de origen alemán Friedrich Struve, un referente principal de la geodesia europea en la primera mitad del siglo XIX. A su contemporáneo, Friedrich Bessel, cuyo centro de trabajo estaba en la Universidad y Observatorio de Königsberg, que él mismo había fundado, se debe la medida del arco que lleva su nombre en los años treinta, uniendo las triangulaciones de la meridiana francesa con las del arco ruso, a través de una cadena oblicua de triángulos que atravesaba Alemania (Huguet del Villar 1928, 97-98).

La Europa de los Imperios llena su propio territorio de triángulos, donde radican sus metrópolis; y la geodesia debía ser el esqueleto que sustentara el levantamiento de los Mapas Topográficos Nacionales. Pero al mismo tiempo mira hacia sus colonias, que es tanto como decir al resto del mundo. En pura lógica científica nada era más ajeno a la cuestión de la forma y la medida de la Tierra que el pensar y el proceder etnocéntrico. Los británicos empezarán la triangulación de la India a principios del siglo XIX. Al comandante Lambton se debe esta labor pionera, que incluyó cinco arcos de meridiano y tres de paralelo.

El principal, el “arco grande”, de  $24^{\circ}$ , comenzaba en el extremo meridional y llegaba hasta las primeras estribaciones del Himalaya. Fallecido Lambton, en 1830 continuará al frente de los trabajos el capitán Everest (Ibáñez 1881, 454-455).

En África solamente se habían planteado conexiones de triangulación con puntos de la franja norte, como la prevista con Argelia al prolongar hacia el Sur la meridiana del metro. Despertaba un gran interés para los geodestas la medida de un arco al sur del Ecuador. En el fondo se buscaba la reiteración o simetría hemisférica. A propósito, no debemos olvidar que a finales del siglo XVIII la Expedición de Malaspina y Bustamante, promovida por el Gobierno español, llevaba el encargo de observar el comportamiento del péndulo en latitudes australes. Se trataba de aportar datos para el debate planteado sobre la semejanza de la figura de la Tierra en uno y otro hemisferio (Barraquer 1881, 423). Los británicos, adueñados de la región más meridional del continente, proyectan la medida del arco de meridiano del Cabo de Buena Esperanza, operación que completarán entre los años 1838 y 1857. A pesar de las limitaciones del arco, de  $4^{\circ} 36' 49''$ , crearon una amplia base de estaciones geodésicas y astronómicas, junto con una red hipsométrica de 152 puntos (Ibáñez 1881, 457).

Antes del siglo XIX en América se habían llevado a cabo experimentos de gran interés geodésico. Recordemos las observaciones de Richer en Cayena sobre el comportamiento del péndulo, dando pie a la conjetura de que los cuerpos en las proximidades del Ecuador pesarían menos, la gravedad sería menor y, por tanto, la Tierra estaría achatada por los Polos. La confirmación del abombamiento ecuatorial con un mayor valor del radio y un menor valor del grado, tras la medida de un arco de meridiano, fue la principal conclusión de la Expedición

geodésica enviada por la Academia de Ciencias de París al Virreinato del Perú, en las inmediaciones de Quito. En la América del Norte, en pleno desarrollo de la que hemos llamado *novísima geodesia*, la fuerza expansiva del joven estado, conocido como Estados Unidos, determinará avances correlativos en la formalización geodésica. La primera implantación territorial del nuevo ente soberano correspondía al modelo de un Estado “encabalgado”; es decir, asentado a ambos lados de la cadena de los Apalaches (Vicens Vives 1956, 135). Pero al mismo tiempo, quedan abiertos dos frentes geopolíticos secuenciados: el medio y el lejano oeste. Podemos así entender mejor el gran objetivo geodésico de medida del arco del paralelo 39, que atravesaba el país de mar a mar (Huguet del Villar 1928, 99). Era una especie de dorsal geométrica que unifica y articula el territorio de Este a Oeste. Esta empresa había sido precedida por la triangulación de la costa atlántica, en correspondencia con su prioridad defensiva y comercial.

Hacia mediados del siglo XIX la geodesia norteamericana podía reclamar el reconocimiento por una aportación novedosa y relevante. El reputado pintor Samuel Morse, más conocido tal vez por su código telegráfico de puntos y rayas, desarrolló la idea del telégrafo eléctrico, en la que se ocupaban también otros investigadores. Su prototipo aspiraba a transmitir mensajes a grandes distancias; lo que despertó el interés de las autoridades de su país, al igual que lo haría la gran dorsal geométrica. Lo cierto es que el Congreso de los Estados Unidos aprobó en 1843 la construcción de la primera línea telegráfica, entre Washington y Baltimore. Al año siguiente entró en funcionamiento, y desde entonces se empezó a considerar sus aplicaciones geodésicas. Se podría averiguar la diferencia de longitudes geográficas entre las dos ciudades, determinando de forma precisa el tiempo que tarda la corriente eléctrica entre los dos puntos unidos por el hilo telegráfico.

Tras varios experimentos en América, en Europa y entre ambas, fue reconocido como el “método” o “sistema americano” para el cálculo de longitudes (Ibáñez 1881, 443-444).



## 11. La figura media de la Tierra. El geoide y el meridiano 0

---

En un siglo en el que se están multiplicando las experiencias geodésicas y gravimétricas, enraizadas en la vieja polémica sobre el elipsoide terrestre, era previsible que los resultados se particularizaran en forma de Mapas Topográficos Nacionales. Pero al mismo tiempo también cabría esperar resultados que con carácter general contribuyeran al conocimiento científico de la Tierra. La medida de los grandes arcos europeos había puesto de manifiesto la necesidad de actuaciones coordinadas entre los diferentes países. En consecuencia, se crea la Asociación Geodésica Internacional, cuyo funcionamiento desde los primeros años sesenta se centra en la discusión científica y la ordenación de nuevas operaciones de medida. Se revisan y amplían las anteriores, al mismo tiempo que se proyectan nuevos trabajos en zonas, hasta la fecha, desconocidas o inaccesibles. Piénsese en la importancia de averiguar el valor de los grados en las proximidades de los Polos, en el centro mismo del tramo de curvatura que determinaba la figura del elipsoide. Por acuerdo de la Asociación, entre los años 1898 y 1902, se midió un arco de  $5^\circ$  en las Spitzberg, en la latitud más elevada hasta la fecha. Y seguirían otras, como un arco de meridiano de  $50^\circ$  desde México hasta Canadá, o la prolongación del arco ruso hasta El Cabo (Huguet del Villar 1928, 99).

Aunque se afianzaba la idea de que la figura de la Tierra se aproximaba a la de un elipsoide, cuyo índice relativo de achatamiento no la

alejaba de la propia esfera; sin embargo, el plan continuado de investigaciones y medidas revelaban constantes irregularidades, tanto en la medida de los arcos, como en el comportamiento de la gravedad, que pedían una nueva medición de la Tierra. Este es el objetivo estratégico de la Asociación, que en términos científicos no tiene otra explicación que el progresivo descubrimiento de una creciente complejidad.

Han transcurrido dos siglos de hipótesis, debates, investigaciones y resultados referidos a la forma de la Tierra y a sus dimensiones. El elipsoide newtoniano se ha revelado como una cuestión principal en el ámbito de las ciencias de la Tierra, y en particular, en el de la geografía matemática. Las implicaciones multidisciplinares que ha concitado nos han permitido entender la relación entre la teoría y la práctica. La Tierra es una realidad física y de su estudio se ocupa una Geografía con esta especificidad; sin embargo, llevamos siglos reduciéndola a una realidad matemática, con el propósito de comprenderla en su esencia. El elipsoide es el producto intelectual más logrado. Pero para que la fiesta de la razón sea completa, no solo ha de quedar reducida a la comunidad científica; debe ser universalizada, diríamos incluso, vulgarizada. Ya vimos como los apóstoles de la Razón, en el contexto científico y cultural de la Revolución Francesa, propusieron un referente de medida universal, llamado *metro*, válido para todos y para siempre, extraído de la forma y las dimensiones del elipsoide terrestre. Ha sido un ejemplo notable de vulgarización al servicio del cálculo, del conocimiento y de la transacción, decíamos.

Este notable episodio de conexión entre la teoría y la práctica no hacía sino abrir la puerta a una relación fluida e intensa entre la geografía matemática y la geografía física. La curva del elipsoide nos permite entender lo que es la Tierra, pero lo que de esta vemos y pisamos

es su curva hipsográfica; es decir, su realidad topográfica. También mencionamos más arriba cómo en plena polémica sobre el elipsoide, algunos países, sin olvidar la cuestión central que era la de la forma de la Tierra, se preocuparon de la forma y representación de sus propios territorios. El célebre matemático Henri Poincaré explicó con acierto y brevedad esta lógica cuando afirmó que no puede haber grandes trabajos públicos sin un buen mapa del territorio en cuestión; y no habrá un mapa bueno sin geodesia, sin triangulaciones, sin una medida rigurosa del territorio (Poincaré 1963, 206).

En esta proyección cartográfica que se anuncia, derivada de la pura teoría científica, era preciso resolver una cuestión esencial que afectaba a la tercera dimensión representada en los mapas. Hablamos de la hipsometría. Se trataba de solucionar el problema de ajustar la curvatura del elipsoide, que es una realidad matemática, como ya sabemos, al perfil topográfico real que presenta la corteza terrestre; lo que hemos llamado curva hipsográfica. Dependiendo de este ajuste, calculamos la tercera dimensión, en sus dos apartados, el altimétrico y el batimétrico. Entonces, teniendo en cuenta que la diferencia entre la cima de la mayor eminencia topográfica, que es la del Chimborazo, y la fosa más profunda, que está en el Ártico, se aproxima a los veinte kilómetros, por dónde, en qué punto exacto ha de cortar la curva del elipsoide a la curva hipsográfica para determinar los niveles altimétricos y los batimétricos, y poder de esta forma hacer mapas con curvas de nivel (isohipsas) y con curvas de profundidad (isóbatas).

En la realidad se está planteando uno de los capítulos de mayor interés práctico relacionado con la forma de la Tierra. Tanto es así que el elipsoide terrestre recibirá el nombre específico de *geoide*, identificando un elipsoide topográficamente ajustado. El criterio, convertido en

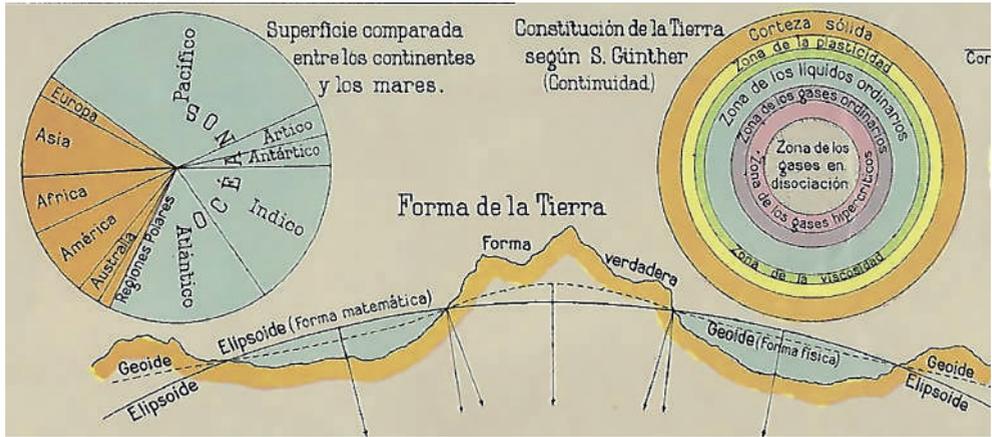


FIGURA XXV: Formas de la Tierra: real, física (geoide) y matemática (elipsoide).  
(Salinas Bellver, 1962)

convención generalmente aceptada a efectos cartográficos y otros, es el siguiente. Se considera que la superficie de los mares presenta una forma esferoidal perfecta que se puede prolongar indefinidamente hacia el interior de los continentes, generando así una figura de equilibrio que puede ser utilizada como punto de comparación (Lapparent 1884, 98 y 99). Por lo tanto, el geoide sería el elipsoide terrestre ajustado a la superficie media de los océanos, cubriendo el 71% de agua y el 29% de tierra que forman la parte superior de la corteza terrestre. Los mareógrafos distribuidos por las costas registran los movimientos del agua, permitiendo determinar su nivel medio. Se obtiene así la denominada "superficie de nivel de comparación", que permite la práctica de las nivelaciones, y nos proporciona la "figura media actual de la tierra" (Lallemand 1889, 388).

Esta "figura media actual" establece un nivel 0 para la hipsometría, relativizando de esta forma las medidas correspondientes a la tercera dimensión. Podemos entonces aclarar algunas dudas suscitadas tal vez con la cita precedente del Chimborazo como la mayor eminencia

topográfica de la Tierra. Y en efecto lo es. Su cumbre dista del centro de la Tierra 1.065 metros más que la del Everest; y ello se debe a que, teniendo una altitud de 6.268 metros sobre el nivel del mar, su localización geográfica, muy cercana al Ecuador, coincide con el radio más grande del elipsoide terrestre. Y por lo mismo, la cuestión del achataamiento y el menor radio polar, la fosa oceánica más cercana al centro de la Tierra, con una diferencia aproximada de 13 Kilómetros, no será la de las Marianas, sino que estará en el Ártico.

Concluamos esta pequeña digresión sobre la relativización de las medidas, y cómo nos permiten matizar la percepción que tenemos de la forma de la Tierra. La del elipsoide newtoniano, de base matemática, y la del elipsoide, que llamamos geoide, ajustado al nivel del mar y al desarrollo topográfico. Y lo hagamos diciendo que siguen en vigor nuestras referencias escolares. Con el geoide sobre la mesa, veremos que el Everest sigue teniendo 8.848 metros, y el Chimborazo, 6.268, medidos desde el nivel del mar, como ya sabemos.

Entre las operaciones especiales que a lo largo del siglo XIX intentaron dar una proyección práctica al conocimiento en materia de geografía matemática, debemos recordar otra convención, la adoptada para la elección de un meridiano 0, o primer meridiano que debía reemplazar a los que cada país usaba como referencia propia.

Veinticinco países, reunidos en la Conferencia Internacional de Washington, en octubre de 1884, decidieron que el meridiano de origen para las longitudes fuera “el que pasa por el centro del anteojo meridiano del Observatorio de Greenwich” (De Motta 1884, 304-305). Con la lógica que determina la política se impusieron el criterio y los deseos británicos. Frente a la hegemónica estructura de poder británi-

ca quedaron relegadas otras opciones, más geográficas, como la muy considerada de la isla de Hierro. Con la elección del primer meridiano, se fijaba también el concepto de “día solar medio” y la hora universal, contada desde las 0 hasta las 24 horas, a partir de medianoche. Y por último, quedó establecido igualmente el Mapa de Husos Horarios, con la secuencia de una hora cada 15°. La navegación marítima de entonces y la aérea posterior, en el sentido de las longitudes, serían las grandes beneficiadas.

Después de poner en común un conocimiento científico, por lo tanto, general, sobre la forma y dimensiones de la Tierra, carecía de toda lógica que cada país referenciara las longitudes de sus mapas a un meridiano particular. La Tierra debía ser representada y entendida en su globalidad, simplificando la lectura de sus coordenadas. La existencia de un primer meridiano único es también una forma de lenguaje universal, que debemos incluir en el proceso de unificación de las medidas, iniciado ya hacía un siglo en la Francia revolucionaria.

Finalmente, no debemos olvidar el péndulo de Foucault. La forma del elipsoide terrestre, como hemos dicho, había sido determinada por el movimiento de rotación de la Tierra, cuya demostración mediante el conocido experimento fue uno de los acontecimientos científicos más relevantes del siglo XIX. El astrónomo y matemático Jean Bernard Foucault, con una bola de 28 kilogramos, sujeta a un hilo de 67 metros que pende de la cúpula del Panteón de París, demostró en 1851 que observado el fenómeno de la rotación inversa, por el que aparentemente el péndulo gira en sus oscilaciones, lo que realmente se produce es que permaneciendo fijo el plano de oscilación del péndulo, quien gira es la Tierra debajo de él.

En la actualidad el experimento se puede ver recreado en Observatorios Astronómicos, Planetarios y Casas o Museos de la Ciencia. Y en alguna Iglesia, motivo por el cual nos permitimos imaginar el placer de una visita guiada por el propio Galileo. Está muy cercano de aquí el pueblo palentino de Becerril de Campos con su Iglesia de San Pedro de origen medieval, desde hace algunos años restaurada y convertida en un Aula de Astronomía, para hacer de la divulgación científica un momento de disfrute. En su abside se ha instalado un péndulo de Foucault; en su bóveda se recrean las constelaciones del hemisferio norte; la nave está atravesada por el trazado de una meridiana en la que el reflejo del disco solar permite determinar el ritmo anual de las estaciones, y algunos elementos más ligados a la tradición astronómica popular. Que esta nota informativa sirva para situar a una pequeña administración municipal en el lugar que le corresponde en el universo de la ciencia.



## 12. La formalización tetraédrica

---

Conocemos desde la Antigüedad el origen y la pervivencia de una tradición geometrizar que, aplicada a la descripción de las formas geográficas, permitía apreciar algo esencial de las mismas. Recordemos la percepción tan simple del triángulo siciliano, o del pentágono peninsular ibérico. Fue Eratóstenes, parafraseado por Estrabón, quien colocó en su primer mapa con meridianos y paralelos el cuadrilátero del mundo habitado. Y en este, a su vez dividido en partes bien diferenciadas, las llamadas *esfrágides*, identifica una India “de figura romboidal”, y una Ariane con “forma perfecta de paralelogramo”. Sin embargo, para la Península Arábiga hubo de atenerse a su “forma irregular” (Estrabón, II 5, 6, 22 y 32).

Platón, recordemos, ya había hablado de una Tierra de “forma cúbica”, globalmente considerada, inaugurando la búsqueda de las simplificaciones basadas en figuras regulares. En los dos últimos siglos, XVIII y XIX, como hemos visto, la geodesia no ha dejado de hacer aproximaciones al elipsoide terrestre; pero siempre en clave matemática y elevando la Tierra a figura astronómica. El roce con la realidad física de la misma, con su corteza, abría el campo de las comparaciones a otros resultados, observando de cerca la litosfera. ¿Sería posible, entonces, hallar una forma regular?

En el permanente debate sobre las formas, la condensación a la que han estado expuestos los materiales que forman la corteza terrestre de-

bía producir adaptaciones y deformaciones, que habrían dado como resultado la formación de un dodecaedro (Ricart Giralt 1912, 59). Pero la figura que ha suscitado más atención es la del tetraedro. Ambas formaban parte del grupo de los cinco sólidos perfectos de los que hablaban Pitágoras y Platón. El cubo, sosteniendo un dodecaedro, representaba a la Tierra y los Cielos. En las crónicas sobre hechos geográficos destacados a principios del siglo XX se hablaba con la siguiente familiaridad: “Peary ha sentado su pie en los hielos del océano Glaciar Ártico, en las cercanías del mismo Polo, y Sackelton ha recorrido el continente austral hasta pocas millas del vértice del Tetraedro” (Ricart Giralt 1912, 25). Pero, ¿qué era el Tetraedro, hablando de la forma de la Tierra, pues se menciona como algo suficientemente explicado?

A. de Lapperant, presidente de la Sociedad Geológica de Francia, expuso en una conferencia titulada “La corteza terrestre y su relieve” (1884, 88-113) cómo la noción de tetraedro nos permitía entender la disposición de los grandes trazados topográficos de la Tierra, como continentes y cuencas oceánicas. Con la ayuda de las Figuras XVI y XVII observamos que tres caras triangulares de la figura apuntan hacia el Sur y se corresponden con tres grandes masas: el océano Atlántico, el océano Pacífico y la gran llanura de la Siberia occidental. Intercaladas están otras tres grandes masas: ambas Américas, Europa-África y Asia-Australia. Las tres tienen una amplia extensión en el hemisferio norte y se prolongan en punta en el del sur. A su vez las masas oceánicas que las bordean se ensanchan en el hemisferio sur, y se prolongan en punta en el del norte. El resultado es que solo un tercio de las masas continentales se encuentran en el hemisferio austral. La cuarta cara del tetraedro representa la gran cuenca polar ártica, replicada en el otro extremo del globo por la punta del tetraedro que se corresponde con el continente antártico.

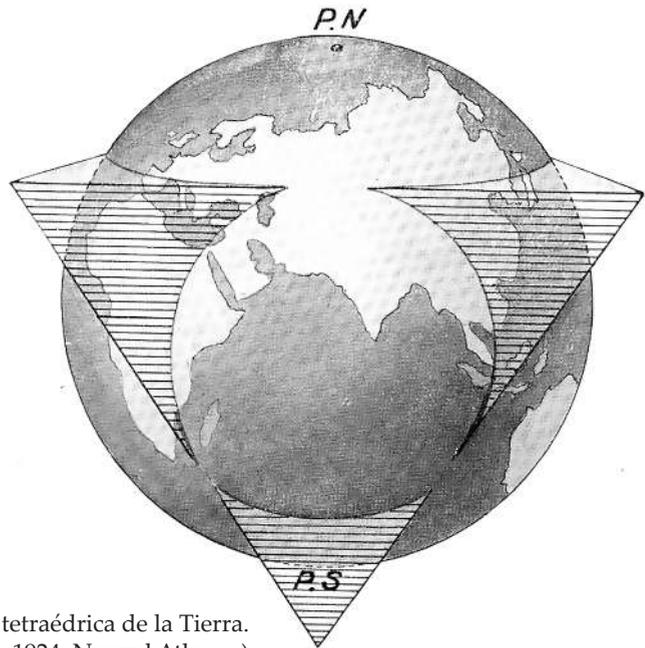


FIGURA XXVI: Una visión tetraédrica de la Tierra.  
(Abensour, 1924, *Nouvel Atlas...*)

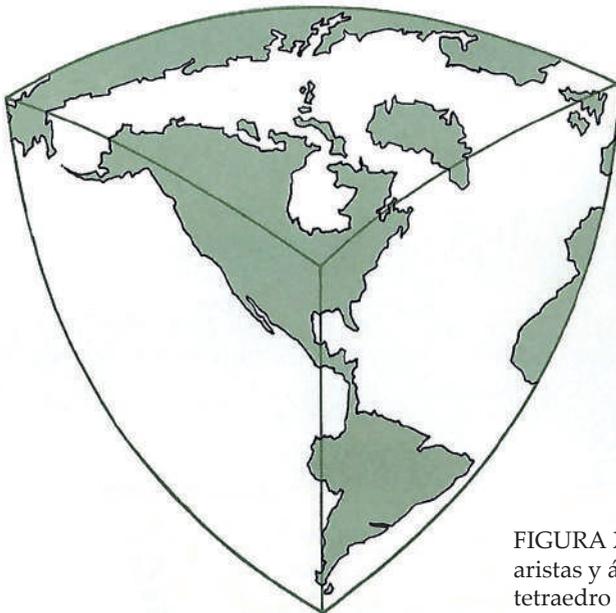


FIGURA XXVII: Relación entre continentes,  
aristas y ángulos, y entre mares y caras en el  
tetraedro terrestre.  
(Clayton, 1968, 59)

La intersección de la esfera y el tetraedro debió producir otros efectos. La corteza terrestre en la fase inicial se enfría, se contrae y se fractura; al mismo tiempo que por el efecto de rotación se aplana el polo Norte y se abomban las regiones ecuatoriales. Hacia el sur el polo austral se alarga en punta, dando a la Tierra la forma de “una peonza poligonal”, o de “un ovoide deformado”. La mayor velocidad de rotación hacia el Este en las latitudes abombadas determina la torsión del ovoide, hasta provocar rupturas que dividen las grandes masas continentales. Así, en esta línea de ruptura, identificamos tres grandes depresiones, que coinciden con el Caribe, entre las dos Américas, con el Mediterráneo, entre Europa y África, y con la depresión indonesia, entre Asia y Australia. Concluye Lapparent afirmando “que todas las grandes líneas de la geografía las contiene en germen la hipótesis tetraédrica”; y que “el tetraedro era a la esfera lo que el triángulo al plano, de tal suerte que es muy admisible que el aplastamiento de una esfera pueda dar origen a un tetraedro” (Lapparent 1884, 112).

Después de admitir la figura del geoide, cuando fue preciso reducir las formas del relieve terrestre a una superficie de comparación, siguió la búsqueda de una figura regular que representara a su vez los grandes componentes de la geografía física. Se buscó el ajuste con las caras de un tetraedro; pero el descubrimiento de una complejidad creciente en la historia geológica pone en entredicho el propósito de las simplificaciones formales.

Comienza el siglo XX con la exposición de la teoría de la deriva continental que, tras el enfriamiento y las rupturas de la corteza terrestre pone el acento en el desplazamiento de las grandes masas continentales (Wegener 1983). Pero lo que desbarata por completo la figuración tetraédrica será la tectónica de placas, basada en una nueva división

estructural de la corteza terrestre, superadora de la división tradicional básica de tierras y mares. Seis grandes placas sin proceso ni composición regular apreciable parecen responder a un principio de evolución azarosa en la conformación de la corteza terrestre.

El siglo XX comienza anunciándonos que llegaremos a saber mucho más sobre la compleja figura de la Tierra, y al mismo tiempo que no va a ser fácil la reducción de su forma a modelos simplificados. Y necesitamos las dos cosas: manejar modelos simples y abordar la complejidad.



### 13. Mirando hacia el fondo del Océano aéreo

---

El hombre, sobrado de ambición cual joven Ícaro, primero le disputó a los dioses el acceso a las cumbres de las más altas montañas, sus recintos sagrados. Ya en los albores de la geografía matemática, constituyó capítulo destacado la medida con procedimientos científicos de las montañas más altas de Grecia. Al geógrafo Dicearco, discípulo de Aristóteles, se le cita en esta labor (Gémino 1993, XVII, 5 y Plinio el Viejo 1995, II, 65). Comenzaba así uno de los grandes retos de la Geografía, reducido en principio a una dimensión topográfica, pero que abría la mente humana al cultivo de otras muchas ciencias, empezando por la meteorología. Pero recordemos, lo que el intrépido Ícaro pretendía era remontar el vuelo; desafiar la menor pesantez del aire. Con el margen que queda entre la imaginación y el fiasco, ninguna época histórica careció de propuestas y de intentos, como se puede ver en el capítulo inicial de las historias de la navegación aérea. Entre los dibujos de Leonardo da Vinci figuran algunos de alas de pájaros que muestran su interés por el análisis de la dinámica del vuelo, ya en los primeros años del siglo XVI (Reti ed. 1975, 52). Debía formar parte de los estudios previos para poder construir una máquina voladora. Con un nivel comparable de importancia siguieron en la segunda mitad del siglo XVII los experimentos del jesuita italiano Francesco Lana sobre el vacío en globos esféricos y su capacidad de ascenso (Navarro Márquez 1970, 13-19).

Los protagonistas del movimiento ilustrado, con figuración y sin ella, fueron los primeros en remontar el vuelo realmente. Cual asalto sacrílego, iniciaron la conquista de los cielos; lo que visto desde la física romántica, podemos dejarlo en la travesía de los aires. A los hermanos Montgolfier, Joseph y Etienne, les debemos la experiencia inicial, fechada el 5 de junio de 1783, por la que un globo hueco de papel y tela se eleva debido a la fuerza ascensional del aire contenido en su interior, enrarecido por la combustión de una mezcla de paja y lana (Flammarion 1983, VIII-IX). Comenzaba la historia de la “máquina aerostática”, rápidamente divulgada por toda Europa. En España el pintor Antonio Carnicero inmortalizó la que pudo ser la primera experiencia aerostática en un conocido cuadro, “Ascensión de un globo Montgolfier en Aranjuez”, fechada el 5 de junio de 1784, exactamente un año después de la primera ascensión de los Montgolfier (Figura XXVIII). También se le atribuye a Goya, o a su taller, otra pintura sobre el mismo tema, “Globo aerostético” (Noguer-Rizzoli Editores 1976, 128), probablemente relacionada con la ascensión que se hizo en el Parque del Retiro de Madrid en agosto de 1792. Para nuestros efectos, la novedad era tan maravillosa, como inquietante. Pronto se alcanzarán alturas de vuelo de varios miles de metros, convirtiendo la superficie de la Tierra en el fondo de un océano aéreo, y en un nuevo objeto de observación y de estudio. Ahora desde fuera de la propia Tierra.

Comenzaba una etapa en la historia de la percepción humana en la que la Tierra, vista desde su espacio orbital, se empequeñecía, al mismo tiempo que se ensanchan las dimensiones del Cosmos. En su momento llegará la observación y la captación fotográfica de su total redondez; pero de momento se iban abriendo paso las posibilidades geográficas que a lo largo del siglo XIX ofrecían los *montgolfiers*. El astrónomo francés, Camille Flammarion nos ha de-



FIGURA XXVIII: Ascensión de un montgolfier en Aranjuez, en junio de 1784.  
Óleo del pintor Antonio Carnicero.  
(Museo del Prado, Sala 093)

jado las “impresiones de viaje” escritas en algunas de sus travesías en globo, fechadas entre los años 1867 y 1880; aunque la mayoría corresponden a ese primer año (Flammarion 1983). Son importantes porque nos muestran el nuevo campo que se ha abierto para la descripción geográfica. Él mismo se ocupa de resaltar su interés topográfico, y la ayuda que pueden prestar para la realización de mapas y planos. Lógicamente también se presentaba una ocasión, desconocida hasta la fecha, para la observación de la curvatura terrestre.

Ciertamente el punto, o altura, de observación podía ser muy cambiante; razón por la cual a unos centenares de metros los objetos de la superficie se reducen, a la vez que se alejan, pero Flammarion escribe que “la superficie de la tierra es llana. No hay montañas, ni valles, sino un llano regular y finamente coloreado, magnífica y rica miniatura” (1983, 17). Sin embargo, a tres mil metros la “impresión” es mucho más compleja, tal y como recoge en la descripción del tercer viaje, realizado a mediados del mes de julio de 1867:

“El aspecto geométrico de la tierra parece paradójal. Siendo la tierra un globo esférico, parece que elevándose encima de la superficie debería percibirse paulatinamente esta esfericidad, mas lejos de ser así, se observa un efecto totalmente opuesto a medida que se va ascendiendo. En vez de elevarse debajo de nosotros, según la teoría enseña, el globo se achata y se contrae, de tal suerte que nos encontramos insensiblemente en medio de dos cristales cóncavos, el cielo y la tierra, que se unen a nuestro horizonte, pero cuya doble concavidad es muy acentuada tanto bajo nosotros como encima. Este efecto se explica por la perspectiva, pareciendo mantenerse constantemente el horizonte a la altura del ojo” (1983, 36).

Este efecto óptico que invertía la curvatura terrestre, de convexa a cóncava, no podía negar su esfericidad; la hacía ostensible. Flammarion deja constancia de esta percepción inversa cuando ha alcanzado una altitud en la que el espectáculo visual tan grandioso empezará a verse afectado por una alteración de las funciones vitales; tales como “la falta de equilibrio, el aceleramiento de los pulsos, los dolores de los oídos, la sequedad de la garganta, el embarazo de los pulmones...” (1983, 100). Pero habiendo ascendido mil metros más, hasta los cuatro mil, se ocupa de recordarnos una relación matemática de especial interés para nuestro tema:

“A medida que nos elevamos de la superficie terrestre, el horizonte se amplía, de manera que el diámetro del casquete esférico crece, aproximadamente como la raíz cuadrada de la altitud. A 300 metros de altitud la vista alcanza hasta 68 kilómetros, que equivalen a una extensión de 136 kilómetros de diámetro; desde lo alto del Mont Blanc, a 4807 metros, la vista se extiende en día despejado, hasta 270 kilómetros, teniendo en cuenta la refracción” (Flammarion 1963, 61).

Trescientos metros era la altura de la torre Eifel, en su estructura principal sin otros añadidos, por lo que en este primer nivel de observación la relación matemática podía verse afectada por incidencias topográficas. En cualquier caso, la relación es aproximada. En la Tabla que adjunta en la descripción de su Noveno Viaje incluye una relación de valores que nos permiten apreciar la variación del radio de visibilidad en función de la altitud.

Podemos apreciar la apertura de horizontes que para la observación geográfica realizó la aeroestación durante más de un siglo. El globo aerostático se incorporaba así, como instrumento de prueba, a la percep-

ción y estudio de la curvatura terrestre. En 1858 se documenta la primera toma de fotografías aéreas de París, hechas por el artista y aficionado a la aeronáutica Félix Nadar (Conby 1965, 14). Era una aportación del máximo interés científico, en un momento en el que el curso de la navegación aérea se precipitaba por los aledaños de la literatura romántica.

Altitud del observador (metros)	Radio de visibilidad (kms.)
300	60
785	100
1000	113
2000	159
3000	196
4000	227
5000	254
6000	278
7000	300

Tabla II. Extensiones de diferente radio que se descubren con la variación de alturas (Flammarion 1983, 101)

Como de asaltar los cielos se trataba, la empresa no dejará de registrar récords. El máximo registrado proporcionaba un radio de visibilidad de 538 kilómetros, lo que requería una altitud aproximada del globo de 23.000 metros (Rudaux et Vaucouleurs 1948, 77). Entramos ya en las dimensiones de una segunda fase protagonizada por la aviación autopropulsada, y por una conquista científica y técnica de primer nivel: la ascensión con aparatos más pesados que el aire. En este caso los progresos los incentivó la guerra, las dos guerras mundiales. Pero cuando los aparatos dejaron de transportar bombas, lo hicieron con pasajeros, con servicios postales y con equipamiento científico.

Desde los años veinte se sistematiza la captación de fotografías aéreas con fines geodésicos y topográficos. Era el comienzo de la Fotogrametría, entendida como un conjunto de técnicas que captan desde el aire la forma y medida de los territorios que se quieren cartografiar. Como los aviones no dejan de batir el récord de altura alcanzada, superando los 20.000 metros en los años cincuenta, para prototipos normales con despegue terrestre, las sucesivas ascensiones van incrementando el radio visual de los casquetes esféricos en cada caso percibidos. Tales representaciones figuran hoy como una prueba de la redondez de la Tierra, con una difusión escolar similar a la que tradicionalmente se ha tenido de la de los barcos navegando en las proximidades de la costa.

En esta fase de la navegación aérea, algunos aparatos experimentales, lanzados desde aeroplanos, se han aproximado por la altura alcanzada a los límites de la homósfera, unos 90 kilómetros. Era el anuncio de otra etapa, la de la astronáutica, con las misiones circun-terrestres y lunares. Estas comenzaron con la puesta en órbita del primer satélite, el *Spútnik* ruso, el día 4 de octubre de 1957. En los anales de los pioneros le seguiría algunos años después, en 1961, el *Vostok*, también ruso, el primer vuelo orbital tripulado. Estando en juego la hegemonía en la llamada carrera espacial, en los años sesenta se seguirían las misiones *Apolo* norteamericanas. De interés para nuestro tema destacamos las posibilidades que se abrían de objetivar la imagen de la Tierra desde una lejanía hasta la fecha desconocida. De las imágenes de casquetes esféricos de radios crecientes, a medida que ganaban altura los vuelos en la aeronáutica, se pasó a las imágenes hemisféricas de la Tierra tomadas por satélites que superaban la magnetosfera; es decir, a varias decenas de miles de kilómetros.

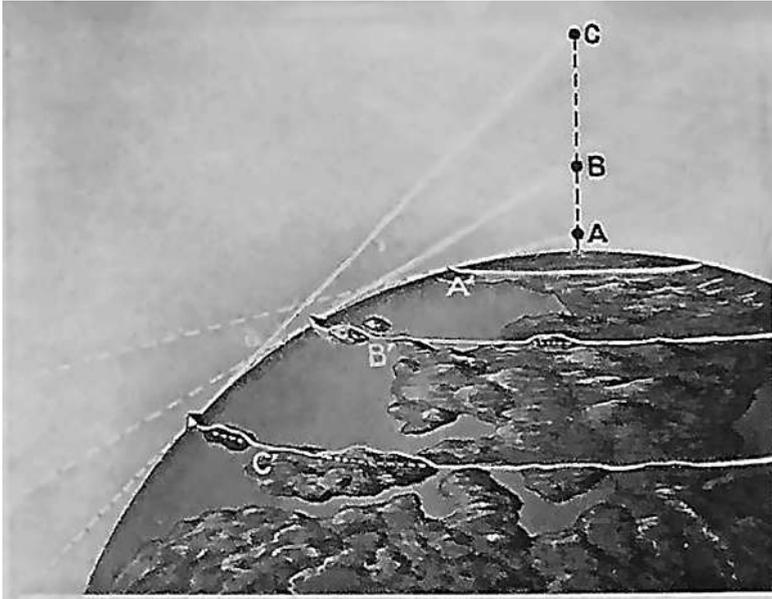


FIGURA XXIX: Ampliación de la línea del horizonte en función de la altitud.  
(Rudaux et Vaucouleurs, 1948, 77)



FIGURA XXX: La canica azul.  
Fotografía de la Tierra desde un satélite. Viaje del Apolo XVII.  
(Foto: NASA, 1972)

Hoy es una imagen tónica, dentro de la iconografía terrestre, la fotografía, popularmente conocida como la *canica azul*, proporcionada por la Agencia Espacial Norteamericana (NASA). Fue tomada por el Apolo XVII en su misión a la Luna en el año 1972, a 29.000 kilómetros de altitud (Figura XXX). Muestra, en efecto, una visión hemisférica de la Tierra con la evidencia cromática de sus principales elementos naturales, como tal realidad física: el agua, la tierra, la vegetación y los gases de la atmósfera. La evidencia de su forma esférica no alcanza, sin embargo, a matizar la diferencia de sus radios. El achatamiento polar, como ya sabemos, es de 21 kilómetros en términos absolutos. Pero culminaba más de un siglo de observaciones de la curvatura de la Tierra desde el aire, primero desde el aerostato, después desde el avión, y finalmente desde el satélite.

Cada vez se hacía más difícil entender cualquier veleidad terraplanista; sin embargo, nada parece impedir a la irracionalidad humana la autocomplacencia. Veamos el siguiente epígrafe.



## 14. Plana y cuadrada. La geometría alternativa de los terraplanistas

---

Cuanto mayores son las evidencias acreditadas por la ciencia, más se refuerza el carácter sectario de los terraplanistas. Con ramificaciones, forman una especie de cofradía de lo paranormal, estimulándose a sí mismos en contra del conocimiento científico en lo que tiene de descubrimiento y de esperanza. Y lo mismo que con la Tierra, hacen con la teoría de la evolución, con el cambio climático o con las vacunas. Su ignorancia los nivela con la inutilidad; pero cuidado, disponen de medios, y sobre todo, pueden ser peligrosos si consiguen autoridad. En el contexto de este trabajo es conveniente una identificación básica de su *modus operandi*.

En el siglo XIX, en pleno desarrollo de la geodesia más avanzada para ajustar el elipsoide newtoniano al cómputo del tiempo, a los husos horarios, al meridiano cero, al geoide o a la cartografía estatal, se produce un acontecimiento excepcional en el curso de la ciencia. Nos referimos a la publicación de la obra de Darwin sobre el origen y la evolución de las formas de vida. El impacto intelectual se dejó sentir en todos sus grupos: las exactas, las físico-naturales y las sociales. Los principios de la evolución no solo explicaban la vida orgánica, también eran aplicables a la vida de las estrellas, de las civilizaciones o a la historia de las lenguas. Y como la Tierra también se movía y una serie de fuerzas determinaban su forma, era el momento más adecua-

do para inmovilizar esta lógica y resucitar el paradigma creacionista. Y para ello no había mayor argumento de autoridad que volver a la Biblia; y en nombre de las creencias rechazar los avances de la ciencia.

El británico Samuel Birley Rowbotham, contemporáneo de Darwin, aficionado a la astronomía, teórico curandero y hervidor de jabones, entre otras ocupaciones, fue el más conocido defensor del terraplanismo en la segunda mitad del siglo XIX. En 1849 publicó un opúsculo de título inequívoco, *The Earth not a globe*, convertido en libro en 1864 (Rowbotham 1865). No tiene otros fundamentos que el recuerdo de prescripciones bíblicas directamente alusivas a la forma de la Tierra; aunque también intentó proveerse de algún aval experimental, como el denominado “Experimento del nivel del Bedford”.

El río Bedford en el Cambridgeshire inglés, durante seis millas, unos diez kilómetros de su recorrido, atraviesa una llanura pantanosa con cauce completamente recto y aguas en calma. Rowbotham pensó que la situación era muy apropiada para demostrar la planicie terrestre. Desde 1838 empezó con el primer experimento, observando con mira telescópica como un objeto flotante conservaba aparentemente la misma altura visible en todo el trayecto del canal de navegación. Si la superficie de la Tierra fuera curva, a lo largo del trayecto referido, la convexidad de la misma haría que el cuerpo flotante fuera ocultándose progresivamente. Como esto no ocurría, según Rowbotham, no había duda, la Tierra era plana. Pasaron años, décadas incluso, con reiteraciones del experimento, siendo utilizados sus resultados como argumento de los terraplanistas. Como hemos indicado, en 1865 apareció su famoso libro.

Uno de los seguidores de Rowbotham, tan terraplanista como él, John Hampden, retó con elevada recompensa de quinientas libras, en

1870, a que alguien pudiera contravenir los resultados del experimento, y refutar la teoría de la planicie. Aceptó el reto el conocido naturalista Alfred Russel Wallace, que comparte con Darwin fundamentos y experimentos que de forma independiente condujeron a la teoría de la evolución (Gregory s. f., 26). Wallace tenía formación y experiencia como topógrafo y agrimensor, por lo que en la observación y medida que realizó del mismo fenómeno pudo descubrir los errores de Rowbotham, quien no había tenido en cuenta el efecto de la refracción atmosférica. La visual lanzada por Wallace desde un extremo al otro del trayecto no podía pasar por el centro de una diana colocada hacia la mitad del mismo. Lo haría si, en efecto, el trayecto de la navegación fuera completamente recto. Pero ahora la diana se elevaba por encima de la visual; y lo hacía porque estaba sobre una superficie curva.

Tras varias comprobaciones y verificaciones neutrales, Wallace ganó la apuesta y demostró la curvatura de la Tierra. Sin embargo, los seguidores de Rowbotham, que murió en 1884, crearon una Sociedad para seguir defendiendo la doctrina de la Tierra plana; ahora ya totalmente desacreditada en el mundo científico, pero no por ello acomplejada en su difusión. Después de la exposición textual que había realizado en su libro, *The Earth not a globe*, las ideas de Rowbotham recibirán la correspondiente plasmación cartográfica.

El profesor Orlando Ferguson, de Dakota del Sur, Estados Unidos, figura como autor en 1893 de un mapa titulado “Map of the square and stationary Earth” (Brooke-Hitching 2017, 102-105). Representa una Tierra plana, cuyo centro está en el Polo Norte, con un formato discoidal inscrito o enmarcado en una estructura cuadrangular. Cuatro figuras aladas (ángeles) ocupan los ángulos del cuadrilátero, reconociendo de esta forma el inequívoco referente bíblico de la com-

posición. Cortado todo vínculo con la teoría y la práctica científicas, algunos pasajes de la Biblia son interpretados literalmente. La figura cuadrangular ya había sido utilizada por Cosmas Indicopleustes en su “Tierra-Tabernáculo”, al igual que hizo el autor del Mapa que figura en la *Biblia visigótico-mozárabe*, que ya hemos visto.

En “Isaías” (11,12), el reino del Mesías, en un Israel liberado, “alzará su estandarte en las naciones, y reunirá a los dispersos de Israel, y juntará a los dispersos de Judá de los cuatro confines de la tierra”. Esta Tierra cuadrada de prescripción bíblica quedará igualmente formalizada en “Apocalipsis” (7,1), en donde Dios revela o descubre cómo es el mundo: “vi cuatro ángeles que estaban en pie sobre los cuatro ángulos de la tierra, y retenían los cuatro vientos de ella para que no soprase viento alguno sobre la tierra, ni sobre el mar, ni sobre ningún árbol”. Por tanto, la cuadratura (*square*) como forma básica define una Tierra que también es inmóvil (*stationary*). Son los astros, el Sol, la Luna, otros planetas y las estrellas, los que se mueven en su entorno, tal y como se representa en la Figura XXXI.

Tras los textos y el mapa, que dan soporte al ideario terraplanista, llegará la ocasión para su defensa y su difusión. Desde principios del siglo XX podemos hablar de un movimiento asociativo caracterizado por el encadenamiento de experiencias personales, en la que un líder, con cierta capacidad de atracción sectaria, desenvuelve sus negocios personales al mismo tiempo que difunde su ideario. En algún caso, el líder en cuestión puede gozar de reconocimiento institucional.

Cuando Rowbotham murió en 1884 sus seguidores fundaron una Sociedad de terraplanistas, publicando una revista con el mismo título que el libro: *The Earth not a globe review*. Pero a principios del siglo

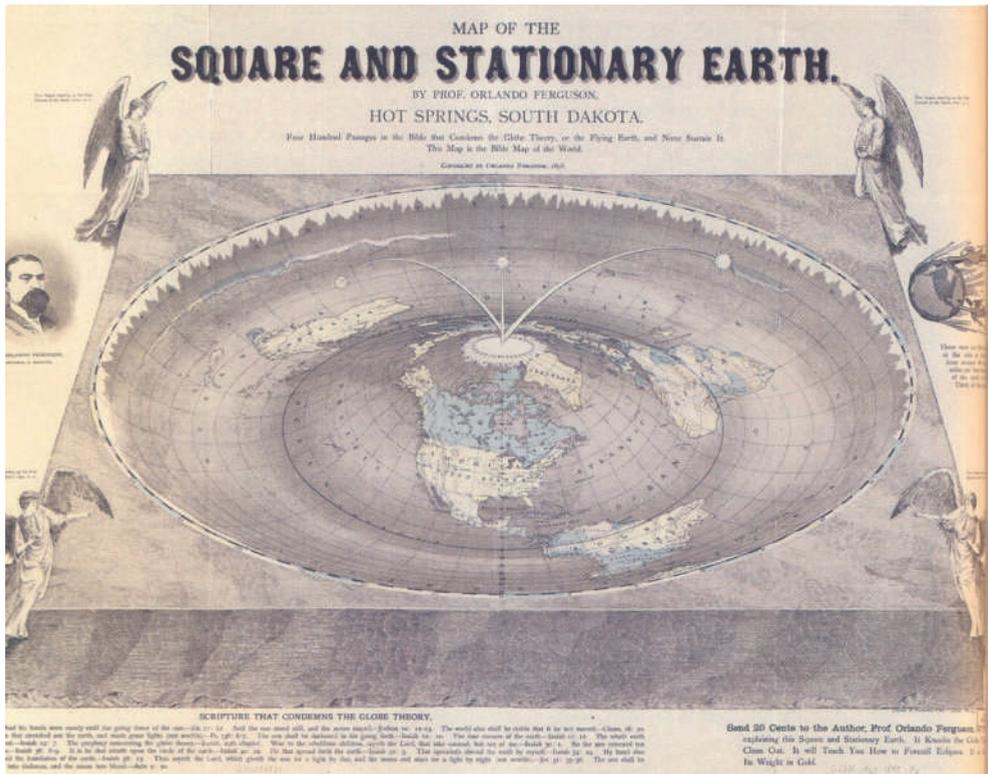


FIGURA XXXI: La Tierra plana, cuadrada e inmóvil de Orlando Ferguson.  
(Brooke-Hitching, 2017, 102)

XX el ambiente científico que se vivía en Europa no era nada propicio para saldar una cuestión física y cosmológica tan relevante con la simple lectura bíblica. Sin embargo, las ideas de Rowbotham serían muy bien recibidas en Norte América. Una secta creada por un curandero escocés, identificada como Iglesia Católica Cristiana, se dedicará durante la primera mitad del siglo XX a difundir el ideario de la Tierra plana; hasta que su propia situación económica acabó con ella.

Un miembro de la Real Sociedad Astronómica y de la Real Sociedad Geográfica de Londres, Samuel Shenton, quiso asociar su nombre al terraplanismo, fundando en 1956 una Sociedad Internacional de la

Tierra Plana. No tenía otro fundamento que el recuerdo y la revitalización de la antigua Sociedad inspirada en los textos de Rowbotham. Tuvo que afrontar en estos años el despegue de la carrera espacial y los resultados que para el caso aportaban las experiencias orbitales, y las primeras imágenes con la curvatura de la Tierra objetivada. A Shelton, que no estaba dispuesto a negarse a sí mismo, no le quedaba otra salida que negar la veracidad de los hechos: los viajes espaciales, el alunizaje, la objetividad fotográfica. Sus seguidores, tras su muerte en 1971, se refugiaron en la autoridad que para los creyentes debían de tener los textos bíblicos. La Sociedad de la Tierra Plana seguirá existiendo hasta finales de siglo.

Y tras el comienzo del siguiente, el XXI, en pleno desarrollo de la denominada “Era Google Earth” (Costa 2010), Daniel Shenton, sin parentesco con Samuel, refundará en 2009 la Sociedad de la Tierra Plana. De este modo demostraba que para las creencias irracionales no hay límites; sin embargo, sostiene que la ciencia sí debe investigar y demostrar sus postulados. Después de dos mil quinientos años, el de la esfericidad de la Tierra aún no le consta, nada más que como una imposición, o tal vez una impostura, de los científicos.

## 15. La percepción de una Tierra piriforme desde la geodesia espacial

---

En última instancia los terraplanistas contribuyen a validar lo que tratan de refutar. Al comenzar el siglo XX triunfaba una visión racional del mundo articulada en múltiples ramas de la ciencia. Tan fructífero era su desarrollo que al mismo contribuían nuevos problemas y nuevas incertidumbres. Pensemos en algunos ejemplos: la radioactividad, la estructura atómica de la materia y, por supuesto, pensemos en la relatividad. Su teoría especial de 1905 (Einstein 2002) modifica la física hasta el punto de superar la idea de espacio absoluto. Tres años más tarde, en 1908, con la publicación de su conocido libro, *Ciencia y método*, Henri Poincaré explicaba por qué la expresión “espacio absoluto” carecía de sentido. Había estado un día en la plaza del Panteón de París y no podría volver al día siguiente a este mismo sitio. La Tierra, pasado un día, ya había recorrido más de dos millones de kilómetros en su ruta de traslación (Poincaré 1963, 72-73). Y se elevarían a 20 millones si consideramos el movimiento del Sol en el entorno de la Vía Láctea. Bajo el principio de que “todo es relativo”, un Universo en constante expansión determina que la relación entre lo observado y el observador venga determinada por la localización de este. La cuestión nos concierne directamente, pues lo observado puede ser la propia Tierra, y el observador, la geodesia.

En cierto modo, las investigaciones experimentales, con un curso de más de ciento cincuenta años, sobre el elipsoide terrestre, siguen susci-

tando interés. Los problemas e incertidumbres de los que hablábamos, en el caso de la Tierra y su forma, se concretan ahora en las variaciones tanto de la gravedad, como de la curvatura terrestre, cada vez más compleja. Sin embargo, ello no quiere decir que unas nuevas medidas modifiquen los parámetros fundamentales del elipsoide, como eran los radios y el índice de achatamiento. Como principales operaciones se citan la medida de sendos arcos de meridiano, entre los años 1898 y 1907; uno, en las proximidades del Ecuador, entre Colombia y Perú, por geodestas franceses; y el otro, más cercano al Polo, hacia los 80º de latitud norte, en el entorno de las Spitsberg, por suecos y rusos (Ruiz Morales y Ruiz Bustos 2000, 243-244). Recuerdan sin duda las misiones geodésicas enviadas por la Academia de Ciencias de París para hacer las primeras averiguaciones sobre el elipsoide newtoniano en los años treinta del siglo XVIII. Se seguía buscando un modelo de mayor ajuste; pero la base de operaciones seguía siendo la misma: una geodesia *de superficie*.

La novedad que comienza a abrirse paso es la de una geodesia *de fondo*. Tras la progresiva exploración y conocimiento del fondo de los océanos, estos también se convertirán en objeto de estudio geodésico. Y tras fijar este nuevo límite para la corteza terrestre, la determinación de la forma de la Tierra era algo más complejo que cuando el elipsoide normal o geoide se ajustaba al nivel superficial de los océanos.

En 1924, la Unión Geodésica y Geofísica Internacional, reunida en Madrid, adoptó como forma y medidas oficiales de la Tierra el llamado “elipsoide internacional”, de J. F. Hayford, con un radio ecuatorial de 6.378,388 kilómetros, y de 6.356,909 para el polar; y un índice relativo de achatamiento de 1/297 (Ruiz Morales y Ruiz Bustos 2000, 253). En el ajuste de medidas cada vez más milimétrico se confirma que el achatamiento terrestre era menor en el hemisferio

norte que en el sur. Igualmente, con la variación de la longitud de los radios entre el Ecuador y los Polos, variaba la gravedad en función de la latitud.

año	nombre	radio ecuat. $R_e$ (m)	radio polar $R_p$ (m)	inverso del achat., $1/f$
1783	Bouguer, Maupertuis	6397300	6367800	216,8
1800	Delambre	6375653	6356564	334,0
1841	Bessel	6377397,155	6356078,963	299,152813
1860	Struve	6378298,3	6357018,2	299,73
1866	Clarke	6378206,4	6356583,8	294,978698
1880	Clarke	6378249,145	6356514,966	293,4663
1907	Helmert	6378200	6356818	298,3
1909	Internacional (Hayford)	6378388	6356912	297,00
1942	Krassovsky	6378245	6356863	298,3
1964	IAU (Kaula)	6378160	6356775	298,25
1967	GRS	6378160	6356774,516	298,24716743
1972	WGS	6378135	6356751	298,26
1976	IAU	6378140	6356755	298,257
1980	GRS	6378137	6356752	998,25722210
1983	Estándares MERIT	6378137	6356752	298,257
1984	WGS	6378137	6356752	298,25722356
1989	IERS	6378136	6356751	298,257

Tabla III: Dimensiones del elipsoide terrestre, 1783-1989.  
Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid para 1998, 1997, 260

Al igual que la configuración oceanográfica tenía consecuencias geodésicas, otro tanto debía ocurrir con el fenómeno geológico de la isostasia. La búsqueda del equilibrio isostático entre los grandes bloques constitutivos de la corteza terrestre provoca que las montañas, que pierden masa y peso tras el ciclo de erosión, tiendan a elevarse; mientras que lo contrario ocurre con las grandes cuencas, receptoras

en el mismo ciclo de gran cantidad de sedimentos. En consecuencia, al modificarse las grandes líneas del relieve, también se producirán variaciones en los valores de la gravedad.

Todos estos ajustes en la definición del elipsoide se habían ido produciendo en la primera mitad del siglo XX, con la práctica de una geodesia de superficie, que incluía también el fondo oceánico. Pero con el inicio de la carrera espacial a finales de los años cincuenta surgirá en paralelo una nueva geodesia, la llamada geodesia *espacial*. Los satélites artificiales que orbitan la Tierra ofrecían puntos de apoyo para determinar posiciones en la propia superficie terrestre. Hacían la función de vértices geodésicos en altura, que permitían la triangulación móvil con estaciones terrestres. Las localizaciones eran mucho más precisas, después de haber introducido, frente a las medidas tradicionales, las señales luminosas y los instrumentos de medida electromagnéticos.

Una nueva red geodésica mundial apoyada en cuarenta y cinco estaciones, y la creación de los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) han permitido calcular un nuevo geoide. Ya con medidas muy estables en los calculados entre 1960 y 1989, pues el radio ecuatorial oscila entre 6.378,13 y 6.378,16 kilómetros, y el índice de achatamiento, entre 1/298,24 y 1/298,30, la principal confirmación es la de un radio de unos cuarenta metros más corto en el polo Sur que en el polo Norte. Insignificante diferencia para la percepción gruesa, incluso para la geodesia tradicional, pero apreciable para la geodesia espacial y la era de las medidas electromagnéticas. Tanto como para concluir con una nueva figuración: la forma *piriforme* de la Tierra (Ruiz Morales y Ruiz Bustos 2000, 285-290).



FIGURA XXXII: La denominada Tierra piriforme, con un ligero sobrebombamiento en el Polo Norte. (Atlas del Cielo, s. f., 28)

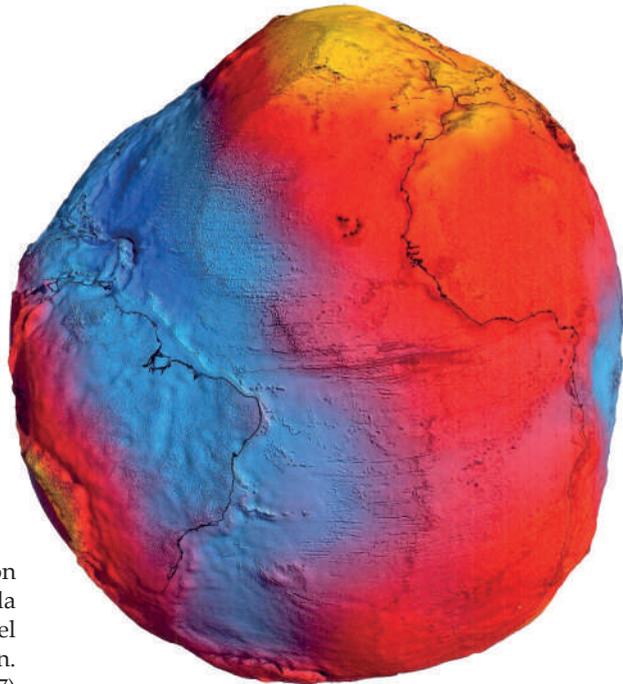


FIGURA XXXIII: Deformación de la corteza terrestre por la influencia de la gravedad y el movimiento de rotación. (Bonnett, 2018, 37)

Nada tenía que ver esta figuración piriforme calculada por la geodesia de finales del siglo XX con la Tierra en forma de pera que había imaginado Colón en su tercer viaje. Pero sí encontramos un antecedente mucho más próximo en el tiempo en el “sólido piriforme” de Poincaré. En el mundo de los hechos concretos de los que se ocupa el geodesta, hablaba de “la existencia de una pequeña joroba sobre el geoide terrestre” (Poincaré 1963, 218).

## 16. El juego final de dos curvaturas que interaccionan

---

El tiempo que ha debido pasar, algo más de dos siglos, para tener una percepción muy aproximada del elipsoide newtoniano no será suficiente para verlo sensiblemente modificado; pero los primeros síntomas de que algunos cambios han empezado a producirse se hacen cada vez más evidentes. Debemos, en cualquier caso, considerar que la duración de nuestras vidas, observando fenómenos naturales que se suceden según escalas geológicas, convierten nuestras ideas, estudios y conclusiones en meras hipótesis. Así todo, bienvenidas sean, porque abren caminos nuevos y nos pueden alertar sobre nuestros tránsitos por los equivocados.

No parece muy evidente a simple vista qué pudiera relacionar la forma de la Tierra con las fuerzas que han desencadenado el cambio climático; o con el cambio climático constituido en fuerza propia. Una cuestión de pura geometría, con una cuestión de física ambiental, o de pura meteorología. Y, sin embargo, el elipsoide newtoniano está siendo modificado por ese movimiento epirogénico que denominamos isostasia, a su vez inducido o acelerado por el sobrecalentamiento terrestre. Podemos formalizarlo en los siguientes términos: la curva que representa la elevación de la temperatura media de la Tierra, con un perfil cóncavo por la aceleración reciente, modificará la convexidad de la curvatura terrestre en el entorno de los casquetes polares, alterando el parámetro del achatamiento.

Hace ya varias décadas que las pequeñas diferencias observadas en los valores de la gravedad en diferentes puntos o regiones de la curvatura terrestre se relacionaron no solo con la cantidad de masa y su densidad, también con los movimientos que experimenta la corteza terrestre. Esta, flotando con su solidez sobre la viscosidad del manto, tiende a la búsqueda del equilibrio entre sus partes. Es la llamada isostasia, o nivelación de posiciones (Clayton 1968, 60-61). De esta forma, los grandes sistemas montañosos, tajados por valles profundos por los que se transportan gran cantidad de materiales hacia las llanuras de sedimentación, compensarán la pérdida con la tendencia a elevarse. Y lo contrario ocurrirá en aquellas zonas con acumulación de sobrecargas, que tenderán hacia el hundimiento; con carácter general, la cuenca baja de los grandes ríos. Y como comprobación particular, los casos de grandes ríos cuyo contacto con el mar ha generado un gran delta. La excepcional acumulación sedimentaria que ha formado el del Nilo, ya descrita por Herodoto hace dos mil quinientos años, iniciando la historia de la geodinámica (Herodoto 1987, II, 5-18)), ha llegado a alcanzar en su núcleo o zona central los 3.000 metros de espesor; sobrecarga que ha hundido la corteza terrestre en la zona 1.500 metros (Clayton 1968, 63 y 65).

Pero además de tener en cuenta el componente rocoso de la corteza terrestre para medir la relación entre la isostasia, la gravedad y la forma de la Tierra, se ha considerado igualmente la existencia de grandes masas de hielo que sobrecargan algunas regiones de la Tierra. Por su tamaño y continuidad la observación se ha centrado en los entornos circumpolares, tratando de relacionar las masas de hielo conservadas desde el final del último periodo glacial con el movimiento isostático. En el gran bloque que forma la península Escandinava, el levantamiento isostático de la misma se asocia a la pérdida progresiva de la

sobrecarga de hielo. Ocurriendo lo mismo en el bloque canadiense. Y la disminución del achatamiento habrá de continuar en los entornos más próximos a los Polos con una fusión más acelerada de las masas de hielo por causa del sobrecalentamiento de la Tierra en la reciente era industrial.

Estas revelaciones, que debemos sobre todo a la geodesia espacial y su capacidad para determinar localizaciones y desplazamientos centimétricos de masas y bloques de la corteza terrestre, nos da pie para recordar la causa que Newton alegaba para explicar el achatamiento polar, como la principal deformación que había sufrido la Tierra. Se debía, en efecto, al desplazamiento de masas por el movimiento de rotación y la fuerza centrífuga que genera. Pero a finales del siglo XVII no era posible el acceso a los entornos circumpolares, y el desconocimiento geográfico impedía tener en cuenta el efecto geodésico de las enormes masas de hielo retenidas precisamente sobre la parte de la curvatura de la Tierra más hundida. Por otra parte, el desarrollo y el conocimiento de la teoría de la isostasia, aunque estén fundamentados en el principio de flotación de Arquímedes, se producen en el siglo XX. Entonces debemos concluir que al achatamiento polar han contribuido varias causas. En su origen operan las fuerzas físicas alegadas por Newton y admitidas por quienes con él polemizarán por la forma final de la Tierra. Pero en la evolución posterior, la Tierra ha estado sometida a cambios climáticos, de los que se conocen los producidos en el último millón de años. Comportaban alteraciones profundas en el ciclo del agua y en la configuración geográfica, con grandes cantidades retenidas y ejerciendo presión sobre la corteza en los casquetes polares. Por lo tanto, a la geología le cabe determinar qué parte o proporción del achatamiento ha de ser considerada como isostática

Probablemente debemos admitir que, producida la deformación inicial asociada a la propia concreción de la esfericidad, la isostasia ha de ser considerada como un movimiento de vaivén de segundo orden. Como una tendencia a la nivelación de masas que da a la forma de la Tierra una gran complejidad. Véase en la Figura XXXIII el resultado formal de un modelo recientemente construido en el que se tiene en cuenta la gravedad y el movimiento de rotación.

En cualquier caso, estamos sugiriendo una llamada de atención sobre nuestras actividades y nuestros modos de vida en el tiempo presente. Reparemos en la intensidad de nuestro comportamiento agresivo, que no solo se muestra capaz de alterar el ecosistema Tierra, modificando las constantes climáticas, también alterará la propia curvatura del elipsoide.

No puedo concluir este trabajo, que sigue abierto, como quisiera, invocando la vieja expresión de los clásicos, *finis coronat opus*. Lo haré como lo haría un adicto a la duda metódica, afirmando con prudencia cartesiana: *de omnibus dubitandum*.

## Bibliografía

---

- ABENSOUR, León, 1924, *Nouvel Atlas Larousse*. Paris, Librairie Larousse.
- Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid para 1998, 1997*, Madrid, Instituto Geográfico Nacional.
- Anuario del Observatorio de Madrid para 1925, 1924*. Madrid, Imprenta de Samarán y Compañía.
- APIANO, Pedro, 1548, *Cosmographicus liber*. Enveres (sic), En Casa de Gregorio Bontio.
- ARISTÓTELES, 1982, *Metafísica*. Edición trilingüe de Valentín García Yebra. Madrid, Editorial Gredos.
- ARISTÓTELES, 1996, *Acerca del cielo*. Introducción, traducción y notas de Miguel Candel. Madrid, Editorial Gredos.
- Atlas de Astronomía*, 1994. Madrid, Cultural de Ediciones.
- Atlas del Cielo*, s. f. Madrid, Susaeta Ediciones.
- BARRAQUER Y ROVIRA, Joaquín, 1881, “El uso del péndulo en la investigación de la figura de la Tierra”. Discurso de recepción pública en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. *Boletín de la Sociedad Geográfica de Madrid*, X, 6, 401-437.
- Biblia visigótico-mozárabe. Codex biblicus legionensis*. León, Real Colegiata de San Isidoro, 1997. Edición facsímil.
- BONNETT, Alastair, 2018, *Atlas de mapas físicos, políticos y culturales*. Barcelona, Blume.
- BROWNING, John D., 1981, “Yo hablo como newtoniano: el P. Feijoo

- y el newtonianismo”, en *II Simposio sobre el Padre Feijoo y su siglo, I*. Oviedo, Cátedra Feijoo, 221-230.
- BROOKE-HITCHING, Edward, 2017, *El Atlas fantasma. Grandes mitos, mentiras y errores de los mapas*. Barcelona, Blume.
- CHALIAND, G., RAGEAU, Jean-Pierre, 1986, *Atlas del descubrimiento del mundo*. Madrid, Alianza Editorial.
- CLAYTON, Keith, 1968, *La corteza terrestre*. Pamplona, Salvat Ediciones.
- COLÓN, Cristóbal, 1992, *Textos y documentos completos*. Edición de Consuelo Varela y Juan Gil. Madrid, Alianza Editorial.
- CONBY, Courtlandt, 1965, *Historia de la aeronáutica*. Madrid, Editorial Continente S. A.
- COPÉRNICO, Nicolás, 1982, *Sobre la revolución de los orbes celestes*. Madrid, Editora Nacional.
- COSMAS INDICOPLEUSTES, 1968-1973, *Topographie chrétienne*. I-III. Paris, Les Éditions du Cerf.
- COSTA, Jordi, 2010, “Miedo a un planeta esférico. La Sociedad de la Tierra Plana renace en la era Google Earth”, *EP3*, 19-III-2010.
- CUSA, Nicolás de, 1973, *La docta ignorancia*. Buenos Aires, Aguilar Argentina.
- DUBY, George, 1987, *Atlas histórico mundial*. Madrid, Editorial Debate.
- EINSTEIN, Albert, 2002, *Sobre la teoría de la relatividad especial y general*. Barcelona, RBA.
- Enciclopedia Práctica Jackson*, VI, 1952, Buenos Aires, W. M. Jackson Inc. Editores.
- ESTRABÓN, 1991, *Geografía, Libros I-II*. Madrid, Editorial Gredos.
- EULER, Leonhard, 1985, *Reflexiones sobre el espacio, la fuerza y la materia*. Madrid, Alianza Editorial. Contiene las Cartas citadas.
- F. T. D., s. f., *Elementos de Física*. Zaragoza, Editorial F. T. D.
- FERRER, Rafael, 1992, “La forma de la Tierra (1630-1750)”, en *La ima-*

- gen del mundo. 500 años de cartografía.* Madrid, Fundación Santillana, 57-71.
- FLAMMARION, Camille, 1963, *Astronomía popular.* Barcelona, Montaner y Simón S. A.
- FLAMMARION, Camille, 1983, *Viajes en globo.* Palma de Mallorca, José J. de Olañeta.
- GÉMINO, 1993, *Introducción a los fenómenos.* Madrid, Editorial Gredos.
- GILBERT, William, 1628, *Tractatus sive physiologia nova de magnete, magneticisque corporibus et de magno magnete tellure.* Typors Gotrianis.
- GREGORY, Richard, s. f., *Los científicos británicos.* London, Adprint Limited.
- HARLEY J. B. & WOODWARD, D. (Eds.), 1987, *The History of Cartography. Vol. I. Cartography in prehistoric, ancient and medieval Europe and the Mediterranean.* Chicago, University of Chicago.
- HERODOTE, 2000, *Historia. Libros I-II.* Madrid, Editorial Gredos.
- HOMERO, 2001, *Ilíada.* Madrid, Editorial Gredos.
- HUGUET DEL VILLAR, Emilio, 1928, *Geografía General.* Madrid, Espasa Calpe.
- IBÁÑEZ E IBÁÑEZ DE IBERO, Carlos, 1881, “Discurso de contestación” (Al de Joaquín Barraquer y Rovira sobre “El uso del péndulo en la investigación de la figura de la Tierra”), *Boletín de la Sociedad Geográfica de Madrid*, X, 6, 437-466.
- LACTANCIO, 1990, *Instituciones divinas. Libros I-III.* Madrid, Editorial Gredos.
- LACTANCIO, 1990, *Instituciones divinas. Libros IV-VII.* Madrid, Editorial Gredos.
- LAERCIO, Diógenes, 2007, *Vidas de los filósofos ilustres.* Madrid, Alianza Editorial.
- LAFUENTE, A., 1983, “Los elementos de un debate científico durante

- la primera mitad del siglo XVIII: la cuestión de la figura de la Tierra", *Geo-Crítica*, nº 46.
- LAFUENTE A. y DELGADO, A. L., 1984, *La geometrización de la Tierra. Observaciones y resultados de la Expedición Geodésica Hispano-francesa al Virreinato del Perú (1735-1744)*. Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- LAFUENTE, A. y MAZUECOS, A., 1987, *Los caballeros del punto Fijo. Ciencia, política y aventura en la expedición geodésica hispanofrancesa al Virreinato del Perú en el siglo XVIII*. Barcelona, Ediciones del Serbal/CSIC.
- LALLEMAND, M., 1889, "Sobre el nivel medio del mar y sobre la Superficie general de comparación de las alturas", *Boletín de la Sociedad Geográfica de Madrid*, XXVII, julio, 387-390.
- LA PARRA LÓPEZ, Emilio, 1995, *El Regente Gabriel Císcar. Ciencia y revolución en la España romántica*. Madrid, Compañía Literaria.
- LAPPARENT, M., 1884, "La corteza terrestre y su relieve", *Boletín de la Sociedad Geográfica de Madrid*, XVII, 2, 88-113.
- LORIA, Gino, 1914, *Le scienze esatte nell'antica Grecia*. Milano, Ulrico Hoepli.
- MAIRE, Ch. et BOSCOVICH, R. J., 1755, *De literaria expeditione per pontificiam ditionem ad dimitendos duos meridiani gradus et corrigendam mappam geographicam, iussus et auspiciis Benedicti XIV Pont. Max. Romae*, In Typographio Palladis.
- MARCO, Polo, 1987, *La descripción del mundo*. Barcelona, Ediciones Orbis.
- MOTTA, Alfonso de, 1884, "El primer meridiano y la hora universal", *Boletín de la Sociedad Geográfica de Madrid*, XVII, 6, 304-505.
- MUNIBE e IDIÁQUEZ, Francisco Javier, 1758, *Los aldeanos críticos o cartas críticas sobre lo que verá*. Impreso en Évora, Año de MDCCLVIII.

- NAVARRO MÁRQUEZ, Ernesto, 1970, *Historia de la navegación aérea*. Madrid, Alianza Editorial.
- NEWTON, Isaac, 1982, *Principios matemáticos de la filosofía natural*. Madrid, Editora Nacional.
- NEBRIJA, E. A., 2000, *Introductorium cosmographiae*. En Virginia Bonmatí Sánchez, *Elio Antonio de Nebrija, cosmógrafo*. Cádiz, Hermandad de los Santos de Lebrija y Agija Ediciones.
- NOGUER-RIZZOLI EDITORES, 1973, *La obra pictórica completa de Goya*. Barcelona, Editorial Noguer S. A.
- ORTELIUS, Abraham, 1588, *Teatro de la Tierra Universal*. Anvers, Impreso por Cristóbal Plantino.
- PLATÓN, 2000, *Diálogos VI: Timeo, Critias*. Madrid, Editorial Gredos.
- PLINIO EL VIEJO, 1995, *Historia Natural. Libros I-II*. Madrid, Editorial Gredos.
- POINCARÉ, Henri, 1963, *Ciencia y método*. Madrid, Espasa-Calpe.
- PTOLEMY, 1990, *The Almagest, in Great Books of the Western World*. London, Encyclopaedia Britannica Inc., XI-XIV + 1-478.
- [PTOLOMEO, Claudio], 1535, *Claudii Ptolemaei alexandrini geographicae enarrationis libri octo*. Lugduni, Ex Officina Melchioris et Gasparis Trechsel. Edición de Miguel Servet.
- PTOLOMEO, Claudio, 2001, *Cosmografía*. Barcelona, EBRISA. Reproducción facsimilar de la *Cosmographiae* de Ptolomeo impresa por Johannes Réger en Ulm, en 1486.
- RANGLES, W. G. L., 1990, *De la tierra plana al globo terrestre. Una rápida mutación epistemológica, 1480-1520*. México, Fondo de Cultura Económica.
- REGUERA RODRÍGUEZ, A. T., 2001, "La cuestión de la forma de la Tierra y la 'descripción exacta' de España: debates y proyectos", en *Estudios de Historia das Ciencias e das Técnicas*, V. I, Pontevedra, SEHCT, 359-375.

- REGUERA RODRÍGUEZ, A. T., 2001-2002, "Newton y Feijoo. Un episodio en la historia de la difusión de las ideas científicas (I y II)", *Contextos*, XIX-XX (37-40), 283-344.
- REGUERA RODRÍGUEZ, A. T., 2008, "Un capítulo menor de la historia de la cartografía. Testimonios escritos sobre la existencia y el uso de mapas en el periodo preptolemaico", *Mapping. Revista Internacional de Ciencias de la Tierra*, 128, 70-86.
- REGUERA RODRÍGUEZ, A. T., 2010, *Los geógrafos del Rey*. León, Universidad de León, Instituto de Humanismo y Tradición Clásica.
- REGUERA RODRÍGUEZ, A. T., 2015, *La medida de la Tierra en la Antigüedad*. León, Universidad de León, Instituto de Humanismo y Tradición Clásica.
- REGUERA RODRÍGUEZ, A. T., 2017, *La carta geométrica. Los antecedentes del Mapa Topográfico Nacional*. León, Universidad de León, Instituto de Humanismo y Tradición Clásica.
- RETI, Ladislao (ed.), 1975, *El Leonardo desconocido*. Madrid, Ediciones Taurus.
- RICARD GIRALT, José, 1912, "Influencia de la enseñanza de la Geografía en la política exterior de las naciones", *Boletín de la Real Sociedad Geográfica*, LIV, 1912, enero, 7-64.
- ROBINSON, Andrew, 2007, *Metrum. La historia de las medidas*. Barcelona, Ediciones Paidós Ibérica.
- ROWBOTHAM, Samuel B., 1865, *Zetetic Astronomy. The Earth not a globe*. Bath, Printed by S. Hayward.
- RUDAUX, Lucien y VAUCOULEURS, G., 1948, *Astronomie. Les Astres, l'Universo*. Paris, Librairie Larousse.
- RUIZ MORALES, Mario y RUIZ BUSTOS, Mónica, 2000, *Forma y dimensiones de la Tierra. Síntesis y evolución histórica*. Barcelona, Ediciones del Serbal.
- SAGAN, Carl, 1982, *Cosmos*. Barcelona, Editorial Planeta. *Sagrada Bi-*

- bliá, "Génesis", "Éxodo", "Hebreos", "Isaías", "Apocalipsis". Versión de E. Nácar Fuster y A. Colunga. Madrid, La Editorial Católica, 1968.
- SALINAS BELLVER, Salvador, 1962, *Atlas de Geografía Universal*. Madrid, Salinas Editor.
- SAN AGUSTÍN, 1978, *Obras de (...)*, XVI y XVII, *La ciudad de Dios* (1<sup>o</sup> y 2<sup>o</sup>). Madrid, La Editorial Católica.
- (SAN ISIDORO), c. 1473, *Liber Ethimologiarum Isidori Ispalensis episcopi*. Strasburg, Johannes Mentelin.
- SAN ISIDORO DE SEVILLA, 1983, *Etimologías I y II*. Madrid, La Editorial Católica.
- SÉNECA, 2013, *Cuestiones naturales*. Madrid, Editorial Gredos.
- TEN, Antonio E., 1996, *Medir el metro. La historia de la prolongación del arco de meridiano Dunkerque-Barcelona, base del Sistema Métrico Decimal*. Valencia, Universitat de Valencia-CSIC.
- TOFIÑO, Vicente, 1989, *Atlas Marítimo de España*. Cádiz, Instituto Hidrográfico de la Marina. Edición facsímil (1789).
- VAYSSIÈRE, Bruno-Henri, 1980, "La Carte de France", en *Cartes et Figures de la Terre*. Paris, Centre George Pompidou, 252-265.
- VICENS VIVES, J., 1956, *Tratado general de geopolítica*. Barcelona, Editorial Teide.
- WEGENER, Alfred, 1983, *El origen de los continentes y océanos*. Madrid, Ediciones Pirámide.









**Lección Inaugural del Curso Académico  
2022-2023  
Campus de León**



**SERVICIO  
DE PUBLICACIONES  
UNIVERSIDAD DE LEÓN**

ISBN: 978-84-18490-63-7



9 788418 490637