



Historia del conocimiento de la forma y tamaño de la Tierra

HISTORY OF KNOWLEDGE OF THE SHAPE AND SIZE OF THE EARTH

JOSÉ SELLÉS MARTÍNEZ 

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES, FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES, PROFESOR TITULAR DEL DEPARTAMENTO DE CIENCIAS GEOLÓGICAS, BUENOS AIRES, CABA, ARGENTINA.

E-MAIL: PEPE@GL.FCEIN.UBA.AR

Abstract: Introduction and Objective. This contribution describes and illustrates the history of ideas and practical research in the process of constructing the image of the planet, with the purpose of being useful to teachers. **Methodology.** To achieve this goal, a series of sources of information from various periods have been analyzed. **Results.** Contrary to the popularized belief about the conception of a flat Earth during the Middle Ages, there is textual and graphic evidence that the spherical model conception continued to be accepted in that period. **Conclusion.** Once the spherical Earth, initially envisaged by the Pythagoreans and Aristotelians is definitively reaffirmed at the end of the Middle Ages, the discussion moves, from then on, to the details that modulate spherical shape, developing the concepts of the ellipsoid and, finally, the geoid.

Resumen: Introducción y Objetivo. Esta contribución describe e ilustra la historia de las ideas y las investigaciones prácticas en el proceso de construcción de la imagen del planeta, con el propósito de ser útil a los docentes. **Metodología.** Para ello se han analizado una serie de fuentes de información de diversas épocas. **Resultados.** Contrariamente a la creencia popularizada sobre la concepción de una Tierra plana durante la Edad Media, existe evidencia textual y gráfica de que el modelo esférico continuó siendo aceptado en ese período. **Conclusión.** Una vez que la Tierra esférica, inicialmente imaginada por pitagóricos y aristotélicos, se reafirma definitivamente a finales de la Edad Media, la discusión pasa, a partir de entonces, a los detalles que modulan la forma esférica, desarrollando los conceptos de elipsoide y, finalmente, de geode.

Citation/Citação: Sellés-Martínez, J. (2024). Historia del conocimiento de la forma y tamaño de la Tierra. *Terræ Didática*, 20(Publ. Continua), 1-10, e024016. doi: 10.20396/td.v20i00.8675382.



Artigo submetido ao sistema de similaridade

Keywords: Terrestrial Globe, Ellipsoid, Geoid, History, Philosophy.

Palabras-clave: Globo Terráqueo, Elipsoide, Geoid, Historia, Filosofía.

Manuscript/Manuscrito:

Received/Recebido: 02/03/2024

Revised/Corrigido: 14/05/2024

Accepted/Aceito: 26/05/2024

Editor responsável: Celso Dal Ré Carneiro 

Revisão de idioma (Inglês): Hernani Aquini Fernandes Chaves 



Introducción

En esta contribución se abordarán las distintas concepciones y representaciones de la forma de la Tierra a lo largo de la historia de la civilización occidental, dejándose constancia que ideas sobre este tema se desarrollaron también en otras culturas y espacios geográficos, y que es recién a fines de la Edad Media y principios del Renacimiento que las mismas empiezan a ser discutidas y compartidas en ámbitos cada vez más amplios a medida que la Ciencia, tal como la concebimos actualmente, es aceptada como un conjunto de saberes de validez universal, cuyas teorías y leyes pueden ser analizadas y comprobadas en cualquier lugar del mundo en forma independiente de las creencias religiosas, filosóficas o políticas que imperen en esos lugares.

Tierras “conceptuales”, “circulares” y “esféricas”

Las primeras representaciones en las que aparece la Tierra son modelos que, de algún modo, resultan más complejos que la simple descripción de una forma, ya que incorporan relaciones entre diferentes divinidades o elementos externos a la propia forma del planeta. Algunas de estas representaciones son tratadas e ilustradas en Youmans (1877). La primera representación “cartográfica” de la Tierra de la que se tiene registro se encuentra en una tablilla de arcilla datada aproximadamente entre los siglos VII y V a.C. En el centro de la figura se ubica la ciudad de Babilonia y dos círculos concéntricos bordean la imagen representando el mar circundante (Fig. 1a). Más o menos para esas fechas comienzan a destacarse las propuestas tradicionales de la cartografía griega,

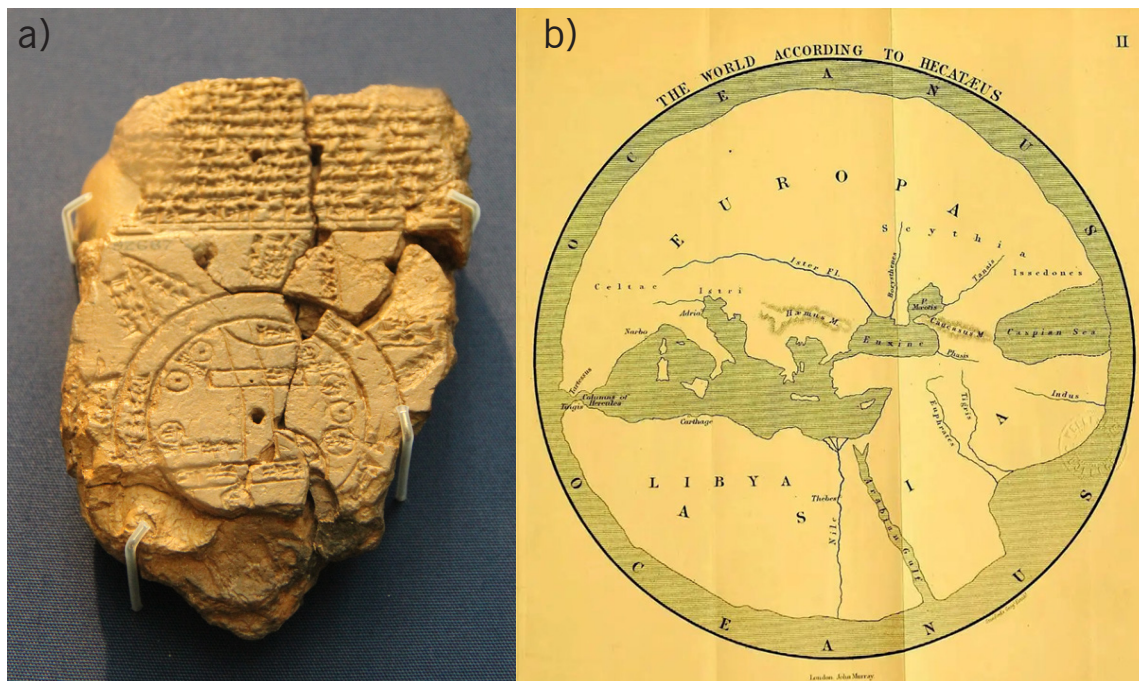


Figura 1. a) Tablilla babilónica con la representación de la ciudad de Babilonia en su centro y el océano circundante. b) Reconstrucción del mapa de Anaximandro. Fuentes: a) https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo: Babylonian_Map_of_the_World,_700-500_BC.jpg; b) <https://www.thecollector.com/who-was-anaximander-9-facts/>

comenzando con la concepción de los pitagóricos (siglo VI aC) que habrían argumentado, al colocar la Tierra en el centro del sistema cosmológico (que ya admitía un universo compuesto por esferas concéntricas y órbitas circulares), que la Tierra debía ser una esfera puesto que esta es la forma geométrica con mayor perfección, que debía ocupar el centro por cuanto era el sitio de honor y que debía estar en reposo, por cuanto el reposo era más digno que el movimiento. Tales de Mileto [624-546 aC] consideraba la Tierra como un círculo rodeada por un océano, Anaximandro [610-546 aC] diseñó un mapa que ilustraba esa idea (Fig. 1b) y si bien según una escuela de pensamiento se sostiene que consideró que era un cilindro que flotaba en el centro del universo y en cuya cara circular superior estaba la Tierra, autores más modernos indican que la suponía de forma esférica. Hecateo [550-476 aC] agregó al mapa de Anaximandro numerosos datos adicionales. Aristóteles [384-322 aC] impone entre sus contemporáneos y seguidores la idea de que la Tierra es esférica. El primero y más conocido de quienes midieron su tamaño es Eratóstenes [276-194 aC], quién calculó el radio del planeta con una precisión sorprendente: el error cometido fue menor del 1%. Sin embargo, este resul-

tado debe ser considerado fortuito si se tiene en cuenta que el mismo Eratóstenes obtiene valores diferentes en cálculos posteriores. La razón de la variabilidad en los resultados radica en que, uno de los valores fundamentales para el cálculo, la distancia entre Alejandría y Siena (la actual Asuán), ciudades ubicadas a casi 850 km de distancia, era estimada a partir del número de pasos caminados, tarea que estaba a cargo de personas especializadas denominadas “bematistas”, o bien a partir del tiempo que demoraban los camellos en recorrerla, lo cual introducía numerosos errores que sólo podían reducirse calculando el promedio del mayor número de determinaciones posibles.

En la Figura 2 se reproduce la reconstrucción del mundo conocido en la época a partir de las tablas de datos de latitud y longitud estimados para un gran número de ciudades y lugares compilados por Eratóstenes, dejándose constancia de que hasta la actualidad no se ha encontrado ningún mapamundi original de tiempos griegos o romanos, si bien las crónicas relatan la existencia, incluso, de algunos globos terrestres.

Otro geógrafo de la antigüedad clásica que debe destacarse es Claudio Tolomeo [100-170]. Su obra fue muy extensa y relevante y ejerció una fuerte influencia en los cartógrafos de fines de la



Figura 2. Reconstrucción del mapa de Eratóstenes. Fuente: <http://www.mapas-historicos.com/mapa-eratostenes.htm>

Edad Media y el Renacimiento, los que utilizaron sus tablas para dibujar nuevamente los mapas que se habían perdido durante el período de decadencia que siguió a la caída del imperio romano. Fue un extraordinario geógrafo y su influencia fue tal que, hasta casi el final de la Edad Media, nadie se atrevió a modificar el valor equivocado (por defecto) que Tolomeo había calculado para la longitud del grado de latitud, lo que lo llevó a considerar la Tierra de un tamaño notablemente menor que el que realmente tiene... lo que motivaría el entusiasmo de Colón por ir a oriente por occidente y también el rechazo de la propuesta por parte del comité de sabios de Salamanca, muchos de los cuales tenían claro entonces que la Tierra era esférica y más grande de lo que Colón creía y que no había posibilidades de acumular en una nave suficiente alimento y agua potable como para recorrer esa distancia.

El primer globo terráqueo de los tiempos modernos

El popularmente denominado “Erdapfel” (en alemán: “Manzana terrestre”) es el primer globo terráqueo de que se tienen referencias para los tiempos modernos. Fue fabricado por Martin Behaim [1459-1507] hacia 1492 y es el globo terráqueo más antiguo que se conserva (Fig. 3),

aunque se discute si el globo conservado es el original o el mismo se ha perdido y se trata de uno de los facsímiles que se han conservado. Este globo, que por la fecha de realización no incluye referencias a las costas americanas, tiene el tamaño asignado por Claudio Ptolomeo y la configuración cartográfica de la Tierra concordantes con la concepción de Paolo del Pozzo Toscanelli [1397-1482], por lo que el occidente de Europa y el Oriente de Asia, al faltar el continente americano, se encuentran mucho más próximos que en la realidad.

Es interesante destacar que, a lo largo del Renacimiento, así como se hacen habituales las representaciones de mapas y planisferios en los muros de las salas de honor de los grandes palacios, también se destaca la inclusión de globos terráqueos en los cuadros que retratan a intelectuales, hombres de ciencia o personajes poderosos o, simplemente, en las naturalezas muertas. Pueden citarse como ejemplos destacados de los primeros el Palacio Farnesio en Caprarola o la sala de los mapas en el Vaticano, y entre los segundos, el *Retrato de Jean de Dinteville y Georges de Selve* realizado en 1533 por Hans Holbein “el joven” [1497-1543] y la *Naturaleza muerta con un globo terrestre, un libro, conchillas, una serpiente y mariposas*, una de las muchas variaciones sobre el tema que pintara Carstian Luyckx [1623-1658].

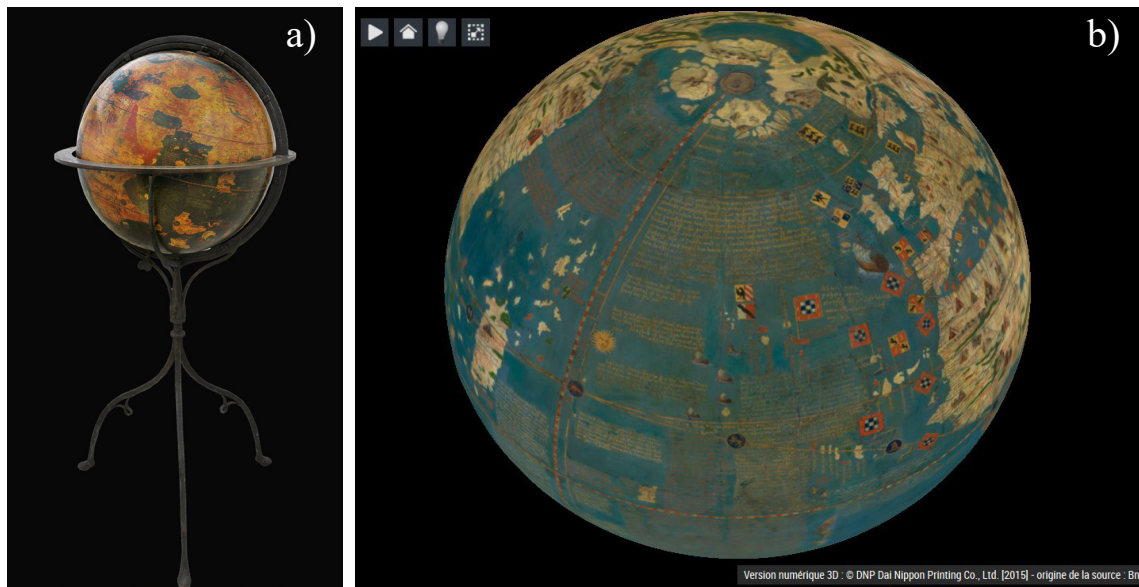


Figura 3. a) Globo terráqueo de M. Behaim, b) Detalle que permite apreciar como la distancia entre Europa-África y Asia se encuentra notablemente reducida al desconocerse tanto la existencia de América como las verdaderas dimensiones de los océanos Atlántico y Pacífico. Fuentes: a) <https://crouchrarebooks.com/product/instrument/the-oldest-surviving-terrestrial-globe/>, b) https://twitter.com/shona_gon/status/702657271118110721/photo/1

Terraplanistas de la antigüedad... y del presente

Debe señalarse que no era tan común que las personas instruidas de la sociedad medieval consideraran que la Tierra era plana, aunque es cierto que los legos (que sin duda eran la gran mayoría incluso en las clases dirigentes) podían confundir los mapas de contorno circular con la idea de un disco. Necios, que ya no legos, que consideran que la Tierra es plana, existen también hoy en número escandalosamente grande... y a nadie se le ocurriría calificar a los geógrafos, geólogos o geofísicos actuales como terraplanistas por culpa de ellos. Aparentemente, sólo dos autores de la antigüedad se oponen tácitamente a la esfericidad de la Tierra en sus obras. Uno es Lactancio [c. 245 - c. 325], que es anterior al comienzo de la Edad Media (período que se extiende del 476 al 1492), y el otro es Cosmas Indicopleustes, quien viviera en el siglo VI. Hacia el año 550 Cosmas (*“el navegante del Índico”*, según su apodo), escribió una obra llamada *“Topografía Cristiana”* en la que asigna a la Tierra forma plana y la encierra en un tabernáculo. Lactancio, por su parte, plantea las siguientes preguntas

¿Dicen algo interesante aquellos que piensan que existen antípodas opuestos a las plantas de nuestros pies? ¿Hay alguien tan ignorante que crea que hay hombres cuyos pies están por

encima de sus cabezas? ¿O que todo lo que hay a nuestro lado puede estar al revés: que las plantas y los árboles crezcan al revés y que la lluvia, la nieve y el granizo caigan hacia arriba sobre la tierra? ¿Se va a admirar ya alguien de que entre las siete maravillas se hable de jardines colgantes, cuando los filósofos convierten en colgantes a los campos, a las ciudades, a los mares y a los montes? (Lactancio, c 305, p 323)

Puede verse claramente en este párrafo que en esa época no se tenía claro que lo que hoy se conoce como “atracción gravitatoria” no era algo generado desde el exterior al planeta, sino que se originaba en él.

La causa principal de la extendida idea que en la Edad Media se consideraba al mundo plano podría estar en la consideración superficial de los mapas que muestran a la Tierra como un disco (mapas denominados “T en O” o más simplemente “OT”). Es imprescindible señalar que estos mapas OT, no eran concebidos como objetos utilitarios, como si lo eran los portulanos (que se desarrollan a partir del siglo VIII), ni “geográficos” en el sentido actual del término, sino como representaciones en las que se superponían conceptos geográficos, filosóficos y teológicos.

Sin la intención de profundizar en el tema puede señalarse que los recién mencionados portulanos eran “cartas planas” que, al contrario de las “cartas

esféricas”, no se basaban en representaciones de puntos de latitud y longitud, sino que se construían fundamentalmente en base a direcciones medidas con la brújula y distancias calculadas de diversos modos. La frecuencia con que se realizaban viajes que recorrían distintos puertos de Europa, y con mayor intensidad del Mediterráneo, hicieron que se contara con una enorme base de datos que, al ser promediados e ir ajustando las distancias cada vez con mayor precisión, permitió realizar cartas que no se alejan demasiado de los mapas posteriores realizados en base a métodos cada vez más precisos en la medición de las distancias y basados en cartografías esféricas. Una circunstancia que contribuyó eficazmente a la fidelidad de los portulanos mediterráneos es el hecho de que este mar se desarrolla en sentido latitudinal, lo cual reducía los errores en el diseño que surgen como consecuencia de la distorsión de la escala con la variación de la latitud, un problema básico de la cartografía. Una profunda y excelentemente ilustrada historia de los portulanos puede encontrarse en De la Ronciere & Mollat du Jourdin (1984).

Los mapas “T en O”

No sólo la forma de la Tierra fue objeto de representación en los manuscritos “no cartográficos” de la Edad Media, también lo fue la distribución de las tierras emergidas y de las aguas que las separaban y rodeaban. Si bien otros autores (como Macrobius, [¿370-439?]) utilizaron el modelo, quién sienta las bases para el estereotipo más extendido durante la Edad Media es Isidoro de Sevilla [560-636]. En su extensa obra “*Etimologías*” incluye una descripción física del mundo (Fig. 4). Esta tipología cartográfica, denominada “T en O” y en forma abreviada “OT”, se estandariza (con algunas variantes) y pervive hasta el comienzo del Renacimiento. La **O** se corresponde con la “mar océano” circundante y hace alusión también a las palabras latinas “*orbis*” y la **T**, que alude a “*terrarum*”, La ciudad de Jerusalén ocupa el centro de la representación y el Este (localización del Paraíso) se coloca en su parte superior (el *oriente*, y no el norte o *septentrión*, fueron la clave para la orientación de los mapas en el mundo medieval). La **T** está constituida por tres rasgos hídricos y define aproximadamente la situación de los continentes: Europa, sobre el lado izquierdo, está separada de Asia por el río Don, el Nilo separa *África* de Asia, que ocupa el sector superior del mapa, y el Mediterráneo atraviesa la parte central en forma vertical.

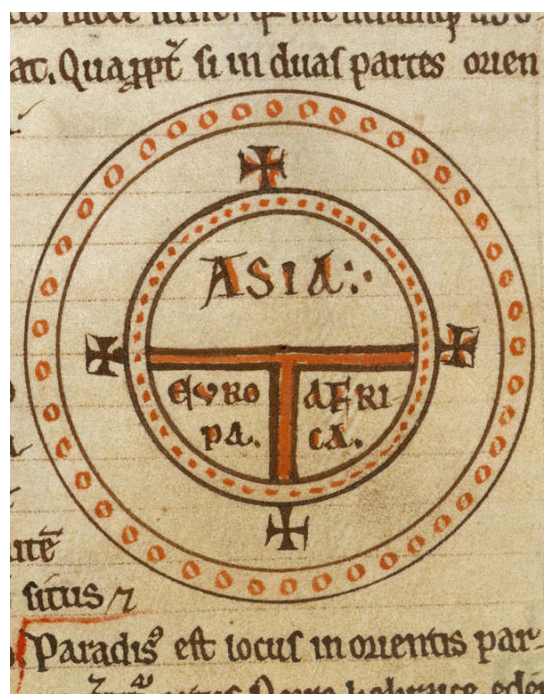


Figura 4. Una de las formas más simples de los mapas “T en O” tal como figura en un manuscrito del siglo XII que reedita las “Etimologías” de San Isidoro. Fuente: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/01/Diagrammatic_T-O_world_map_-_12th_century.jpg

A medida que los mapas “T en O” incorporan información geográfica más realista, introduciendo nombres de regiones, países, ciudades y pueblos, y van adicionando, además, textos que describen lugares y relatan historias, el diseño de la T va haciéndose más difícil de reconocer. La Figura 5 reproduce la reconstrucción fotográfica (el original sobre pergamino fue destruido en la Segunda Guerra Mundial) del mapamundi que albergaba el convento de monjas de Ebstorf y medía tres metros y medio de lado. Su autor habría sido Gervasio de Ebstorf, de quién se carece de otra información, y su realización se estima para el fin del siglo XIII o principios del XIV. Resulta de interés señalar aquí que la datación de los mapas antiguos es generalmente difícil y sólo aproximada, ya que si no existen datos provenientes de su inclusión en algún registro (acta testamentaria, catálogo de una biblioteca, etc.) generalmente no se encuentran fechados. Una de las estrategias que ayudan a asignar una fecha mínima concreta es la inclusión de lugares que van siendo “descubiertos” por los europeos en sus viajes e incorporados a los mapas o los nombres de ciudades cuya fecha de fundación se conoce.



Figura 5. Mapamundi de Ebstorf, según la reconstrucción fotográfica del original realizado sobre paneles de pergamino, en su centro se encuentra la ciudad de Jerusalén. Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Mapamundi_de_Ebstorf#/media/Archivo:Ebstorferstich2.jpg

Referencias gráficas y textuales a la esfericidad de la Tierra en el medioevo

La inclusión de formas claramente esféricas, que aparecen no sólo en algunos manuscritos ilustrados sino también en referencias textuales e incluso -y de modo indiscutible- en su representación en obras escultóricas, es contemporánea con el desarrollo de los mapas OT y no deja espacio para la discusión acerca de qué forma se pensaba que tenía el mundo en esos tiempos. El denominado “orbe crucífero” reemplaza al de la antigüedad clásica que, en la mano de dioses o emperadores (y naturalmente sin la cruz), es símbolo de su poder sobre el mundo. La iglesia cristiana sustituye la estatua de Atenea Niké, símbolo de la victoria, por la cruz. En Europa su uso está atestiguado desde los tiempos del emperador Teodosio II en la primera mitad del siglo V. El globo con la cruz fue incorporado también a la imaginería religiosa y a numerosas coronas y cetros reales e imperiales europeas.

En muchos manuscritos iluminados que describen el Génesis, se representa a Dios como creador, en el rol de Gran Arquitecto o Gran Geómetra según las diferentes interpretaciones. Se lo muestra en esos casos con un compás que utiliza para dar al mundo la forma perfecta, es decir la esfera. Tiene el instrumento en su mano izquierda, ya que utiliza la derecha para bendecir. Entre los textos que expresan en forma inequívoca que en esos tiempos

se considera a la Tierra un cuerpo esférico, puede mencionarse a San Agustín de Hipona [354-430], uno de los doctores de la iglesia, quién si bien argumentó en contra de que hubiera habitantes en las antípodas, defendió la presunción de la esfericidad de la Tierra. Esto queda claramente expresado en capítulo IX del libro XVI de su monumental obra *La Ciudad de Dios*, escrita desde el 412 al 426:

En cuanto a la existencia de los antípodas; es decir, de hombres que marcan sus huellas contrarias a nuestros pies por la parte opuesta de la Tierra, donde sale el sol cuando se nos oculta a nosotros, no hay razón alguna que nos fuerce a creerlo. Nadie dice que haya conocido esto por noticia histórica alguna, sino que se conjetura por el razonamiento, ya que la Tierra está suspendida en la bóveda celeste, y para el mundo es lo mismo el lugar ínfimo que el lugar medio. Por ello piensan algunos que la otra parte de la Tierra, que está debajo, no puede estar sin habitantes. No prestan atención a que, aunque el mundo tenga una forma esférica y redonda, y aun demostrado esto con algún argumento, no se sigue de ahí que la Tierra por esa parte esté libre de la avalancha de las aguas; y aunque estuviera seca, no por ello se ve la necesidad de que esté habitada. Porque la Escritura no puede mentir en modo alguno, y con la narración de las cosas pasadas garantiza el cumplimiento de las predicciones. Sería demasiado inverosímil la afirmación de que algunos hombres, a través de la inmensidad del océano, hayan podido navegar y llegar a la otra parte, de suerte que también allí se estableciera el género humano procedente del primero y único hombre (Agustín, 426).

Varios siglos después, en el año 1246, Gauthier (también Gautier o Gossouin), un monje de Metz (ciudad del noreste de Francia) escribió una recopilación de autores anteriores, denominada “*L’Image du monde*” (La imagen del mundo) que se hizo muy popular en la época y en la que puede leerse:

La Tierra es redonda, y si no hubiera obstáculos, un hombre podría recorrerla como una mosca vuela alrededor de una manzana. Dos hombres podrían separarse marchando en direcciones opuestas, uno hacia el Este y otro hacia el Oeste, de forma que se encontrarían en las antípodas” (Gauthier, 1246).

Por si quedara alguna duda en la interpretación del texto, el concepto está, además, acompañado de la ilustración correspondiente.

La esfericidad de la Tierra en la cartografía árabe medieval

La ciencia cartográfica árabe de la época, además de avanzada, es también ilustrativa de que las representaciones circulares del mundo no necesariamente deben interpretarse como concepciones discoidales de la forma del planeta. Cabe señalar aquí que, así como las obras de la antigüedad clásica ejercieron una fuerte influencia en el desarrollo de la geografía y la astronomía árabes, la obra de los filósofos e investigadores árabes resultó de muy grande influencia en la Europa medieval.

Entre los astrónomos y cartógrafos árabes que consideraban y representaban la Tierra como esférica puede mencionarse a Al-Idrisi [1100-1165], quién en su obra *Las recreaciones del que aspira a recorrer el mundo* ilustra claramente la contemporaneidad entre las representaciones de la Tierra que proyectan la esfera a una forma circular y las que la proyectan como un rectángulo. El autor sostiene, como para que no quede lugar a dudas:

La tierra es redonda, como una esfera... las criaturas son estables en la superficie de la tierra, ésta atrae lo que es pesado, mientras que lo ligero es atraído por el aire... de este modo las cosas se mantienen en un equilibrio natural. (Al-Idrisi, 1154).

Nótese la diferencia conceptual entre la concepción de la atracción gravitatoria de estos autores y la expresada por Lactancio unos ochocientos años antes.

De la perfección de la esfera al error conceptual de la “patata cósmica”

Los avances en el conocimiento científico y el perfeccionamiento de los instrumentos y las técnicas de medición fueron abriendo el camino para que la imagen de una Tierra esférica comenzara a resultar insuficiente. Es así que, ya desde el paso del siglo XVII al XVIII, comienza a instalarse la discusión acerca de los detalles de su forma y aparecen nuevas figuras basadas en el resultado de cálculos como la longitud del grado de meridiano y, finalmente, por la estimación de su forma a partir de la medición del campo gravitatorio desde instrumental colocado en los satélites que la orbitan.

¿Esférica, oblada o prolada? Esta es la cuestión...

Giovanni D. Cassini [1625-1712] e Isaac Newton [1643-1727] fueron los principales pro-

tagonistas de la primera polémica que podríamos llamar “científica” sobre la forma de la Tierra. Cassini, si bien realizó una muy importante contribución en varios aspectos de la astronomía, no estaba muy convencido de las propuestas que estaban rediseñando la mecánica del sistema solar en estos tiempos y tampoco aceptaba la teoría de la gravedad de Newton. Esto lo llevó a proponer que el radio terrestre era menor en el Ecuador que en los Polos (elipsoide prolado), contrariamente a lo que Newton proponía, que era una forma de elipsoide oblado, es decir con un diámetro polar menor que el diámetro ecuatorial. La Academia de Ciencias francesa, con el propósito de definir esta controversia, envió, en el año 1735, dos expediciones, una a Quito (Virreinato del Perú) y otra a Laponia (en el reino de Suecia) con el fin de medir la longitud del grado de meridiano. Estas ubicaciones fueron elegidas, naturalmente en función de su cercanía al Ecuador y al Polo Norte respectivamente. Los trabajos en Laponia, bajo la dirección de Pierre L. Maupertuis [1698-1759] duraron aproximadamente un año, pero los resultados debieron revisarse posteriormente pues se cometieron errores importantes. Por el contrario, el trabajo en el Virreinato del Perú, bajo la dirección de Charles M. de la Condamine [1701-1774] y en el que participaron los científicos franceses por Louis Godin [1704-1760] y Pierre Bouguer [1698-1758], junto a los españoles Antonio de Ulloa [1716-1795] y Jorge Juan [1713-1773], se extendió desde 1736 a 1744 y produjo un sinnúmero de excelentes resultados además de la medición de la longitud del grado de meridiano a esas latitudes. Los aportes de los entonces jóvenes integrantes de la Comisión fueron luego fundamentales para el progreso de la geodesia en diferentes aspectos.

Las determinaciones actuales del radio polar y ecuatorial arrojan valores de 6.357 km para el primero y 6.378 km para el segundo, una diferencia que parece ínfima y es imperceptible cuando se observa la Tierra desde el espacio, pero que no carece de importancia en otros aspectos científicos. Una interesante consecuencia de estos trabajos sobre el Sistema Métrico Decimal fue que la unidad de medida *metro* inicialmente definida como *la diezmillonésima parte de un cuarto de meridiano terrestre*, tuvo que ser abandonada con el paso del tiempo dado que el aumento en la precisión de las mediciones modificaba permanentemente ese valor.

La Tierra tiene forma de Tierra

El paso del “elipsoide” al “geoide” implica también un cambio radical en los fundamentos de las técnicas de medición, no se trata ya de la definición de una forma a través de métodos que llevan implícitos cálculos geométricos y la medición de distancias y ángulos, sino que refiere a mediciones de la atracción gravitatoria sobre la superficie del planeta. La idea del “geoide”, que etimológicamente significa “*forma de la Tierra*”, fue inicialmente propuesta por Carl F. Gauss [1777-1855] y según su propuesta se trataba de una superficie suave, pero irregular, correspondiente a isovalores del campo gravitatorio. El cálculo del valor en cada punto se realizaba con instrumentos de muy compleja construcción y delicada operación denominados gravímetros (de los cuáles el de péndulo es el más antiguo) por lo que, hasta el desarrollo de la medición del valor del campo con instrumental a bordo de satélites, la reconstrucción de la forma del geoide era muy difícil.

La patata cósmica

Los refinamientos en la medición y el cálculo del valor del campo gravitatorio han alcanzado una precisión tal que actualmente se conoce que su desviación con respecto a un elipsoide regular oscila entre los 85 m por encima de esa superficie en la zona de Islandia y 106 m por debajo de la misma en el sur de la India. Es importante recalcar en este punto que la superficie del geoide es determinable a través de mediciones, pero no es visible ni tangible como si lo es el relieve topográfico que, de algún modo, es parte definitoria de la forma “material” de la Tierra. Los 191 m de desvío entre los puntos más altos del geoide contrastan con los 19,800 m que separan el punto más alto sobre la superficie del mar (Monte Everest, 8,800 m) del punto más profundo (Fosa de las Marianas, 11.000 m). Las superficies del elipsoide, del geoide y la topográfica raramente coinciden en un mismo punto, siendo la última la más rugosa y la primera la más regular. Como dato curioso puede señalarse que el punto más alejado del centro del geoide no es el Monte Everest sino el volcán Chimborazo que se encuentra aproximadamente 2 km más lejos de dicho centro.

Como consecuencia de las últimas mediciones difundidas en los medios de comunicación de todo el mundo, se hizo popular la imagen de un globo terrestre (Fig. 6) en el que se destacan hoyos y protuberancias y que dio origen a expresiones

como *la patata cósmica* y a comentarios tan absurdos como *los científicos nuevamente nos habían engañado, la Tierra tiene forma de papa* de frecuente aparición en la internet. Estas expresiones surgen de no comprender dos cosas fundamentales: a) que lo que se está representando no es la forma material de la Tierra sino la de una superficie equipotencial del campo gravitatorio, que se elige como próxima al nivel medio del mar y b) que los notables hoyos y protuberancias sólo son perceptibles porque han sido exagerados miles de veces para ser apreciables en el tamaño del dibujo.

Puede decirse, para cerrar este tema que, así como la expedición de Hernando de Magallanes [1480-1521] y Sebastián Elcano [1486-1526] fue la primera “comprobación experimental” de que la Tierra era esférica y podía circunnavegarse, (experiencia que insumió casi tres años, desde el 10 de agosto de 1519 al 8 de septiembre de 1522), la posibilidad de lanzar naves tripuladas al espacio permitió obtener imágenes fotográficas del planeta desde suficiente distancia como para que su forma resultara indiscutible. Es así que el 12 de abril de 1961 el astronauta ruso Yuri Gagarin [1934-1968] permanece 108 minutos en el espacio siendo el primero en llegar al espacio y orbitar la Tierra y poco después, el 18 de marzo de 1965 Alexei Leonov [1934-2019], también ruso, se convierte en el primer cosmonauta que sale de la nave y flota en

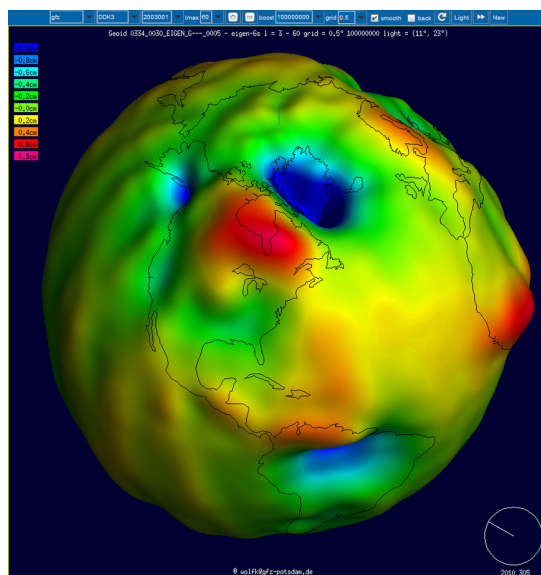


Figura 6. El geoide de Postdam, en el cual se han exagerado las desviaciones con respecto al elipsoide regular. Fuente: <https://www.gfz-potsdam.de/en/section/global-geomonitoring-and-gravity-field/data-products-services/icgem>

el espacio. Según sus propias palabras, *al abrir la escotilla vi un cielo lleno de estrellas brillantes y la Tierra completamente redonda* (Uncuyo, 2019). Las misiones espaciales y lunares que les siguieron hicieron habituales las imágenes de la Tierra con su envoltura de nubes y, luego, las de los “amaneceres o puestas de Tierra” sobre el horizonte lunar. Los progresos en la concepción de la “fuerza de gravedad” y los refinamientos en las técnicas de medición y cálculo llevaron al concepto de elipsoide y de geoide y, así como la Teoría de la Gravedad de Newton dejó de ser cierta con la llegada de la Teoría de la Relatividad de Einstein, la forma de la Tierra dejó de ser una esfera perfecta en el sentido con que los filósofos de la antigüedad la concibieron para convertirse en una forma cuasi esférica modelada tanto por las consecuencias de la rotación como de la distribución de masas en su interior y, en mayor detalle, por la erosión de los materiales expuestos en su superficie.

Conclusiones

Los párrafos anteriores nos han permitido explorar el desarrollo del conocimiento de la forma y tamaño del planeta Tierra, desde un inicio basado fundamentalmente en especulaciones teóricas hasta las comprobaciones en base a mediciones, y dejan como enseñanza que el progreso del conocimiento, si bien no exento de altos y bajos, es un proceso histórico cuya construcción, contrariamente a la imagen popularizada del “sabio inspirado”, es una acción colectiva que se nutre en las controversias entre diferentes modelos y demuestra, también, que los científicos aciertan en determinadas cuestiones y erran en otras, sin que por ello deban desmerecerse sus aportes.

En Stevenson (1921) puede encontrarse una muy amplia y detallada descripción de la historia

de los globos terrestres y resulta de interés destacar que, dado que la mayor parte de las obras de la antigüedad griega se han perdido y se conocen por referencias y descripciones en las obras conservadas o en obras a veces muy posteriores a las originales, existe una controversia acerca de muchas de las asignaciones que se realizan con respecto a si determinados filósofos consideraban a la Tierra como un disco o como una esfera. Un profundo e interesante análisis de la concepción de la forma del mundo y su inserción en el Universo en tiempo griegos puede encontrarse en García González (2019), por otra parte, una relación detallada y muy bien ilustrada de los progresos de la cartografía desde la antigüedad puede encontrarse en Aguilar (1967) y en múltiples obras de carácter similar.

Finalmente, y dado que este artículo está dirigido especialmente a los docentes, el autor se permite traducir un párrafo de Youmans (1877) que considera de gran vigencia aún, cuando están por cumplirse casi 150 años de su publicación. Dice este autor:

Estamos demasiado propensos, en estos tiempos en que se ha popularizado la educación y la difusión del conocimiento puede realizarse en forma económica, a olvidar el costo de la verdad científica. Formulamos un hecho o principio y lo enseñamos en el aula, sin tener en cuenta la circunstancia de que pueda haber costado miles de años de trabajo descubrirlo y establecerlo. Hemos descubierto, por ejemplo, mucho sobre la figura, los movimientos y las relaciones astronómicas de la Tierra, con tal exactitud que, como nos dice el profesor Young, conocemos el radio de nuestro globo en el Ecuador dentro de doscientos pies (aproximadamente 660 m), y dar la vuelta al mundo es ahora una mera diversión; y todo este conocimiento se le da a los niños en una hora de lección. Pero ¡cuán pocos aprecian la larga lucha del intelecto humano para llegar a estos simples resultados! (Youmans, 1877, p. 542).

Taxonomía CRediT: • Contribución del autor: Concepción; Curadoría de datos; Análisis formal; Investigación; Metodología; Validación; Visualización; Escritura – rascunho original; Escritura – revisión y edición: José Sellés-Martínez. • Conflictos de interés: El autor certifica que no tiene interés comercial o asociativo que representa un conflicto de intereses en la relación al manuscrito. • Aprobación ética: No aplicable. • Disponibilidad de datos y material: disponible en el propio texto. • Reconocimientos: Se desea agradecer al editor y a los árbitros de la revista por sus correcciones y sugerencias. • Financiamiento: No aplicable.

Referencias

Aguilar, J. (1967). *Historia de la Cartografía*. Buenos Aires: Ed. Códex. 240p.
Agustín (1426). *Ciudad de Dios*. Madrid: Ed. Gredos. ISBN 9788424940034. URL: <https://www.augustinus.it/spagnolo/cdd/>. Acceso 26.5.2024.
De la Ronciere, M., & Mollat du Jourdin, M. (1984).

Les Portulanes. Swisse: Ed. Nathan. 295p
García González, J. A. (2019). El problema de la forma de la Tierra en Anaximandro. *Geocentrismo y esfericidad*. *Llull*, 42(86), 15-41. URL: <https://recyt.fecyt.es/index.php/LLUL/article/view/76620/64838>. Acceso 20.12.2023.
Gauthier (1246), *L' image du Monde*. Paris., Librairie Payot & Cie. 215p. URL: <https://fr.wikisource>.

- org/wiki/L%E2%80%99Image_du_monde. Acceso 26.5.2024
- Lactancio, L. C. F. (305). *Instituciones Divinas*. Obra completa. Tomo I. Madrid: Ed. Gredos. 351p. ISBN 84-249-1413-9. URL: <https://ia800200.us.archive.org/17/items/LACTANCIOInstitucionesDivinasIII/LACTANCIO%20Instituciones%20Divinas%20I-III.pdf>. Acceso 26.5.2024.
- Stevenson, E. L. (1921). *Terrestrial and celestial globes their history and construction*. T 1. Yale University Press. 218 p. URL: <https://archive.org/details/terrestrialceles01stev/page/217/mode/1up?view=theater>. Acceso 20.12.2023.
- Youmans, E. L. (1877). How the Earth was regarded in Old Times. *The Popular Science Monthly*. 542-552. URL: <https://archive.org/details/popularsciencemo10newy/page/n8/mode/1up?view=theater>. Acceso 20.12.2023.
- Universidad Nacional de Cuyo (Uncuyo). (2019). *Primer paseo espacial*. Universidad Nacional de Cuyo. URL: <https://www.uncuyo.edu.ar/ices/primer-paseo-espacial#:~:text=%20Al%20abrir%20la%20escotilla%20vi,rara%2C%20imposible%20de%20imaginar%20>. Acceso 27.5.2024.