

Alain Riazuelo

# Por qué la Tierra es redonda

Traducción de Miguel Paredes Larrucea



**Alianza** editorial  
El libro de bolsillo

Título original: *Pourquoi la Terre est ronde*

Diseño de colección: Estrada Design

Diseño de cubierta: Manuel Estrada

Fotografía de Javier Ayuso

Reservados todos los derechos. El contenido de esta obra está protegido por la Ley, que establece penas de prisión y/o multas, además de las correspondientes indemnizaciones por daños y perjuicios, para quienes reprodujeren, plagiaren, distribuyeren o comunicaren públicamente, en todo o en parte, una obra literaria, artística o científica, o su transformación, interpretación o ejecución artística fijada en cualquier tipo de soporte o comunicada a través de cualquier medio, sin la preceptiva autorización.



© Éditions humenSciences / Humensis, 2019  
© de la traducción: Miguel Paredes Larrucea, 2025  
© Alianza Editorial, S. A., 2025  
Calle Valentín Beato, 21  
28037 Madrid  
[www.alianzaeditorial.es](http://www.alianzaeditorial.es)

ISBN: 978-84-1148-843-3

Depósito legal: M. 22.951-2024

Printed in Spain

Si quiere recibir información periódica sobre las novedades de Alianza Editorial, envíe un correo electrónico a la dirección: [alianzaeditorial@anaya.es](mailto:alianzaeditorial@anaya.es)

# Índice

- 9 Introducción
- 13 1. La forma de los astros
- 29 2. La búsqueda de precisión
- 79 3. Y, sin embargo, la Tierra gira
- 107 4. Una esfera, pero ante todo un objeto físico
- 139 5. Vista desde (muy) lejos, la Tierra ya no es redonda,  
no es más que un punto
- 153 Índice onomástico
- 155 Bibliografía



# Introducción

La escena tiene lugar en el invierno de 2017, en Estados Unidos, en algún lugar cerca de Cleveland. El jugador de baloncesto Kyrie Irving mantiene una conversación desbordante con dos de sus compañeros de equipo, Richard Jefferson y Channing Frye. Están hablando sobre la vida extraterrestre y diversas teorías conspirativas cuando, de pronto, Kyrie Irving afirma que la Tierra es plana. Ante la incredulidad de sus compañeros, insiste tres veces en que «es plana, es plana, es plana», sin dar ningún argumento convincente. La discusión, poco interesante y privada, podría haber quedado en nada más que eso; pero los tres jugadores están grabando un podcast para la NBA, organizadora del campeonato norteamericano de baloncesto profesional. Además, Kyrie Irving no es un cualquiera. Considerado uno de los mejores jugadores de baloncesto del mundo, se encuentra en ese momento en la cima de la gloria, tras haber anotado una canasta crucial al final del último partido del campeo-

nato de la NBA del año anterior. Puestos a hacer una comparación, su fama es sin duda equiparable a la de Antoine Griezmann o Paul Pogba en Francia, por lo que la publicación de esta discusión en la red y su contenido surrealista le confieren inmediatamente una visibilidad de alcance mundial, con su dosis —es de imaginar— de reacciones consternadas. Molesta con la situación, la NBA duda entre distanciarse de los comentarios del jugador, a riesgo de violar el principio —sagrado en Estados Unidos— de la libertad de expresión, o dejar correr el asunto y verse acusada de difundir contenidos inapropiados. Otros jugadores, al ser preguntados por el tema, se muestran también avergonzados, y algunos admiten torpemente que *no saben* si la Tierra es plana o redonda.

Hay que decir que, aun sin fiarse de la opinión de nadie, es fácil saber que la Tierra es redonda, o al menos que su superficie es curva. En efecto, a poco que se piense, se ve que desde el siglo XIX ya había tecnología suficiente para proporcionar una prueba directa de la redondez del planeta. Tras la invención del telégrafo eléctrico, que va unida al nombre de Samuel Morse (1791-1872), fue fácil comprobar que el Sol no se pone a la misma hora en todas partes, cosa que sería imposible si la superficie del planeta fuese plana. Y aun en el caso de que no hubiese nadie al otro lado del mundo con quien conversar, la simple observación de la diferencia horaria, perceptible en cuanto se recorren mil o dos mil kilómetros de longitud, basta para convencerse de ello. Volviendo al señor Irving, y habida cuenta de su profesión, que le lleva a cruzar Estados Unidos a lo largo y a lo ancho y en todas direcciones, no cabe ninguna duda de que ha tenido muchas oportunidades de observarlo.

Por supuesto, es fácil decir que las divagaciones de Irving ejemplifican los fallos del sistema educativo norteamericano, notoriamente desigualitario. Sin embargo, los sondeos de opinión muestran que en Francia una parte considerable de la población afirma hoy día no saber si la Tierra es plana o redonda. Hace unos años, un desafortunado concursante del programa de televisión *¿Quién quiere ser millonario?* se vio ante la pregunta «¿Qué gravita alrededor de la Tierra?», con las posibles respuestas de: la Luna, el Sol, Venus o Marte. No conociendo la respuesta, o no entendiendo bien la pregunta (efectivamente mal planteada, porque habría sido más claro preguntar «¿Qué se halla en órbita (o qué gira) alrededor de la Tierra?»), el concursante pidió el comodín del público, posibilidad prevista en el juego, y decidió fiarse de él. Tras el usual «Es mi última palabra», el concursante quedó eliminado. Un 56 % de los miembros del público, a los que se les pidió que solo se pronunciaran si estaban seguros de saber la respuesta, había dicho que la respuesta correcta era... ¡el Sol! Es cierto que un sondeo de este tipo podría considerarse poco convincente. Como queda dicho, la pregunta estaba torpemente formulada, y siempre es posible que algunos graciosos del público quisieran deliberadamente inducir a error al candidato. Pero el fenómeno no era nuevo. En 2005, en un sondeo muy amplio realizado en toda la Unión Europea, más Suiza, Islandia, Noruega y Turquía, solo el 66 % de los encuestados (de un total de 25 000) dijo que la frase «El Sol gira alrededor de la Tierra» era falsa. Francia, que salió bastante bien parada en otras preguntas científicas de la encuesta, quedó aquí muy por debajo de la media europea: un 55 % de los encuestados dijo que la afirma-

ción era falsa, frente a un 38 % que contestó que era cierta y un 7 % NS/NC...

Esto demuestra que enunciar un hecho científico sin insistir en cómo se ha establecido no basta para que sea aceptado. Detrás de todas las verdades científicas se esconde una búsqueda, a veces larga, en la que el ingenio y la tenacidad humana se han puesto gloriosamente de manifiesto. Y saber cómo se llegó a conceptualizar la forma de la Tierra, a predecirla y luego a verificarla en sus más mínimos detalles y, más allá de su forma, a determinar su masa, su movimiento o su historia, es embarcarse en un largo viaje que nos lleva a surcar los siglos, las culturas y los países y a visitar, además de la Tierra, otras regiones del cosmos.

# 1. La forma de los astros

## De la Luna a la Tierra

Antes de preguntarse sobre la forma de la Tierra, parece ser que fue el filósofo griego Anaxágoras (*ca.* 500-428 a. C.) quien hizo las primeras reflexiones sobre la forma de la Luna. El hecho de que siempre parezca circular, el hecho de que su cara iluminada esté permanentemente vuelta hacia el Sol y el hecho de que esta porción iluminada sea tanto más pequeña cuanto más cerca está nuestro satélite del Sol, todo ello contribuía a asegurar que la Luna es un objeto esférico iluminado por el Sol. Semejante idea no repugnaba a los filósofos griegos, que amaban la geometría por encima de todo y que consideraban que el círculo y la esfera eran las formas geométricas más perfectas que podían existir. Era agradable imaginar que en el cielo, dominio de los dioses y de la perfección, los astros fuesen esferas. Si la naturaleza nos hubiera dotado de mejor vista, nuestros antepasados habrían

tenido una prueba aún más inmediata de la esfericidad de la Luna por observación directa. Plagada de cráteres, la Luna muestra relieves cuyas sombras varían en función de la iluminación del Sol, cosa que cualquiera puede ver hoy con unos simples prismáticos.

Y si la Luna es esférica, ¿qué pasa con la Tierra? Cuando pregunto a los alumnos cómo se sabe que la Tierra es redonda en las conferencias de introducción a la astronomía que doy en las escuelas, a menudo hacia el final de la escuela primaria o el principio de la secundaria, la respuesta no se hace esperar: «Se coge un cohete para ver la Tierra de lejos». Esto es perfectamente cierto y lógico: es más fácil conocer la forma de la Luna, que podemos ver de lejos, que la de nuestro planeta, en cuya superficie el hombre ha estado condenado a evolucionar desde hace mucho tiempo. Sin embargo, la idea de que la Tierra podía ser redonda apareció muy pronto en la historia. La primera mención escrita se remonta al año 1500 antes de nuestra era, en un texto sagrado hindú, el Rigveda, pero siguen siendo los eruditos griegos los autores de las reflexiones más logradas sobre el particular, y parece que los primeros fueron Parménides (*ca.* 515-450 a. C.) o, antes, Pitágoras (*ca.* 572-479 a. C.). Parménides también comprendió que, si la Tierra era esférica, el clima no podía ser el mismo en todas partes: las zonas polares recibían mucho menos calor que las zonas templadas, que a su vez estaban menos calentadas que la zona ecuatorial. Parménides llegó a la conclusión de que las zonas polares y ecuatoriales eran probablemente inhabitables, unas por demasiado frías y las otras por demasiado cálidas.

Posteriormente, lo que era solo una hipótesis recibió una notable confirmación a través del razonamiento. Las prue-

bas de la redondez de la Tierra se deben a Platón (*ca.* 428-348 a. C.) y a Aristóteles (384-322 a. C.), aunque no está claro si fueron ellos los autores o simplemente los redactores del saber de su época.

En primer lugar, se sabía, sin duda desde la prehistoria, que en el transcurso de la noche las estrellas parecen desplazarse por el cielo (el mismo fenómeno se produce por supuesto durante el día para el Sol). Inmóviles unas con respecto a otras, describen arcos de circunferencia concéntricos, con centro en una dirección precisa que hoy corresponde aproximadamente a la posición de la Estrella Polar. Los científicos griegos comprendieron que esto era señal de un movimiento global de rotación de la bóveda celeste en relación con la superficie de nuestro planeta. Además, el eje de esta rotación estaba inclinado con respecto a la vertical; en Atenas la inclinación era de unos treinta y ocho grados sobre el horizonte, pero estos eruditos no ignoraban que el ángulo dependía del lugar de observación. Cuanto más se iba hacia el sur, mayor era la inclinación del eje, de modo que estrellas que no se veían desde Atenas empezaban a aparecer sobre el horizonte meridional en Chipre, y aún otras más cuando se observaban desde Egipto. Si la Tierra fuese plana, se habrían observado las mismas estrellas en todas partes. El hecho de que aparezcan nuevas estrellas a medida que uno se desplaza hacia el sur indica que la superficie de la Tierra es curva, al menos en la dirección norte-sur. Pero esta observación no basta para demostrar que la Tierra es esférica. Podría ser cilíndrica, con una superficie horizontal en dirección este-oeste y curvada a lo largo de un eje norte-sur. Para estar seguros hacía falta otra serie de observaciones.

Si aceptamos que la Luna debe su brillo a que está iluminada por el Sol, es fácil comprender el mecanismo de los eclipses. Los eclipses lunares, que se producen sistemáticamente en el momento de la luna llena, se deben a que la Tierra se interpone entre el Sol y su satélite, privando a este último de su fuente de luz durante dos o tres horas. Como la Luna está a la sombra de la Tierra durante el eclipse, al principio y al final de este se ve a la primera entrar y luego salir de la sombra de la segunda, mostrando así la forma de esta sombra. La observación de todos los eclipses de Luna conocidos revela que la porción de sombra terrestre proyectada sobre la Luna es siempre y sistemáticamente redondeada, cualquiera que sea la hora del día en que se observe, es decir, cualquiera que sea la orientación de la Tierra con respecto al Sol. Este último punto basta para asegurar que nuestro planeta, que proyecta siempre una sombra circular cualquiera que sea la dirección desde la que se lo ilumine, es necesariamente esférico.

Así pues, fue hace poco más de 2 300 años cuando se determinó la forma general de la Tierra. ¿Fin de la historia? Por supuesto que no. La ciencia es una búsqueda perpetua de conocimiento, y el hecho de tener la respuesta a una pregunta fundamental —la forma de la Tierra— no significa que se haya agotado el tema. Al contrario, se podría decir que, una vez respondida esta pregunta, queda establecido el marco general, pudiendo entonces comprender mejor todo lo que queda por descubrir: ¿qué tamaño tiene la Tierra? ¿Cómo es en comparación con la Luna? ¿O con el Sol? ¿A qué distancia está la Tierra de la Luna y del Sol? ¿El movimiento aparente del Sol se debe en realidad a un desplazamiento del Sol o a un desplazamiento de la Tierra? ¿La aparente

inmutabilidad de los ciclos diurno y nocturno es perfectamente regular? Y la Tierra, ¿es realmente redonda o tiene una forma ligeramente diferente?

## La primera medida

En su demostración de la esfericidad de la Tierra, Aristóteles indicó su circunferencia: cuatrocientos mil estadios, es decir, unos sesenta y cuatro mil kilómetros, pero sin especificar cómo había llegado a ese resultado, y no está claro si era fruto de una medición objetiva o de la simple observación. Lo cierto es que un viaje de algunas semanas en dirección norte-sur, como una travesía por el Mediterráneo o una navegación por el Nilo, es suficiente para observar la lenta variación del eje de rotación de la bóveda celeste, lo que demuestra que la curvatura de la Tierra se manifiesta en escalas de distancia humanamente accesibles.

Si hay un nombre inseparable de la forma y sobre todo del tamaño de la Tierra es el de Eratóstenes de Cirene (276-194 a. C.), el primero en desarrollar un método para determinar la circunferencia de la Tierra. Eratóstenes había señalado que bastaba con medir una porción de la circunferencia si previamente se había determinado a qué fracción de la circunferencia correspondía esa porción. No era necesario medir toda la circunferencia terrestre, bastaba por ejemplo con conocer la distancia del polo al ecuador y multiplicar el resultado por cuatro. Pero esa distancia seguía siendo demasiado grande, por no hablar de que en aquella época el polo era completamente inaccesible y que lo siguió siendo durante más de dos mil años. Eratóstenes comprendió que

le bastaba con determinar la inclinación del eje de rotación de la bóveda celeste en dos lugares, lo que le permitiría determinar sus respectivas latitudes. En la práctica prefirió proceder de otro modo, operando, no de noche, sino de día. Desde la prehistoria se sabe que cada día el sol sale por el este, culmina por el sur y se pone por el oeste. La dirección exacta de la salida y la puesta de sol, así como su punto culminante, dependen de la estación del año. Para un lugar situado al norte del trópico de Cáncer, esta altura es máxima el día del solsticio de verano. En la ciudad egipcia de Siena (la actual Asuán), situada en este trópico, el Sol estaba realmente en su cenit ese día. Las columnas y los obeliscos no proyectaban en ese momento ninguna sombra, y el reflejo del astro diurno podía verse en el agua al fondo de un pozo. Más al norte, en Alejandría, el Sol no pasaba nunca por el cenit, y la sombra de los obeliscos indicaba el norte cuando el Sol culminaba a mediodía. Determinar la altura del Sol es difícil, pero en cambio es fácil medir las sombras y determinar en qué momento son más cortas. Repitiendo la observación durante varios meses, se puede saber qué día la sombra es más corta al mediodía. La longitud de esta sombra puede entonces medirse y compararse con la altura del obelisco, que se puede medir tranquilamente con toda precisión. La relación entre estas dos longitudes permite determinar, mediante una sencilla operación matemática, la desviación angular del Sol con respecto a la vertical<sup>1</sup>. Eratóstenes calculó que en el solsticio el Sol está a solo  $7,2^\circ$  del cenit en Alejandría, mientras que en Siena está en el cenit. Esto significa que Alejandría está  $7,2^\circ$  más al norte que Siena.  $7,2^\circ$

1. Esta relación de longitudes es igual a la tangente del ángulo buscado.

es exactamente la cincuentava parte de  $360^\circ$ . Por tanto, la distancia entre Siena y Alejandría es igual a la cincuentava parte de la circunferencia terrestre. La medición de la primera informa inmediatamente sobre la segunda mediante una simple multiplicación. En aquella época, la medición, en la práctica, de esa distancia era bastante difícil porque esta última es muy grande, del orden de la distancia entre París y Marsella.

No se sabe con certeza qué método utilizó Eratóstenes para establecer la distancia entre Siena y Alejandría, porque no se han conservado sus escritos. La fuente más antigua que los menciona es la de Cleomedes, un filósofo que vivió hacia el año 100 a. C. y que, en una obra titulada *Movimientos de los cuerpos celestes*, se refiere a las conclusiones de Eratóstenes, sin dar detalles de sus mediciones. Según una leyenda muy asentada, el filósofo procedió en dos etapas: primero basándose en el número de días que tardaba una caravana de camellos en ir de una de las ciudades a la otra, y en segundo lugar midiendo directamente la distancia recorrida por un camello en un día. Este método no deja de ser adecuado, ya que los camellos son conocidos por su marcha extremadamente regular.

Pero puede ser que Eratóstenes utilizara otros procedimientos. En aquella época, la vida de los habitantes de las riberas del Nilo discurría al ritmo de las crecidas anuales del río; estas aportaban un fértil limo a los campos inundados y, después de cada inundación, era necesario volver a fijar las lindes de las parcelas cultivadas. Para ello la civilización egipcia había desarrollado una serie de técnicas, y existían oficios especializados (entre ellos el de bematista, término derivado del griego *bema*, que significa «paso») cuya función era

simplemente la de medir distancias contando el número de pasos necesarios para recorrerlas. Por lo demás, sabemos que los conocimientos técnicos de esta época eran especialmente sofisticados: durante la conquista de Asia Menor, Alejandro Magno (356-323 a. C.) iba acompañado de dos bematistas, Diognetus y Baeton, que calcularon la distancia recorrida por Alejandro y su ejército desde la orilla sur del mar Caspio hasta la India, es decir, más de tres mil quinientos kilómetros.

Comparadas con las medidas modernas de la ruta que probablemente siguió Alejandro, las de la época parecen notablemente precisas, con un error inferior al 5 %. Por este motivo, hay historiadores que opinan que los dos bematistas utilizaron algún mecanismo montado sobre ruedas que, mediante diversos engranajes, convertía el número de vueltas de las ruedas en distancia recorrida, es decir, lo que se llama un odómetro. Se sabe con certeza que tales instrumentos existían al menos desde el siglo I antes de nuestra era, ya que el ingeniero romano Vitruvio (*ca.* 90-20 a. C.) hizo una descripción precisa del que él utilizaba, y un autor posterior, Herón de Alejandría, que probablemente vivió a finales del siglo I de nuestra era, también fabricó uno él mismo. Además, recientemente se ha descubierto que ya en el siglo III antes de nuestra era los griegos eran capaces de construir sistemas mecánicos de impresionante complejidad, el más conocido de ellos la máquina de Anticitera, un mecanismo del tamaño de una caja de zapatos pero compuesto por un gran número de engranajes y otras piezas mecánicas con el fin de reproducir los movimientos de la Luna y el Sol en relación con la Tierra y con los demás planetas. Este mecanismo, del que probablemente se construyeron varios ejem-

plares, es mencionado por Cicerón, que atribuye su autoría a Arquímedes (*ca.* 287-212 a. C.) o a Posidonio de Rodas (135-51 a. C.). Por tanto, podría ser anterior a Eratóstenes, con lo cual este habría dispuesto de un aparato relativamente sofisticado para calcular distancias.

Sea como fuere, Eratóstenes estimó la distancia entre Siena y Alejandría en cinco mil estadios egipcios. Multiplicada por 50, esta cifra da un valor de doscientos cincuenta mil estadios egipcios para la circunferencia terrestre, valor que él redondeó a doscientos cincuenta y dos mil estadios, sin duda con el fin de que la cifra tuviese un mayor número de divisores. Para comprender el resultado de Eratóstenes, basta con conocer el valor de un estadio egipcio, al que los especialistas atribuyen 157,5 de nuestros metros, lo que al final da 39 690 kilómetros para la circunferencia terrestre, es decir, algo menos de 13 000 kilómetros para el diámetro, un resultado notablemente cercano al verdadero valor, que se iría estableciendo gradualmente ¡más de dieciocho siglos después!

No cabe duda de que este notable resultado ha contribuido grandemente a que Eratóstenes haya pasado a la posteridad, aunque, sin embargo, merece un examen crítico. Porque, en efecto, su razonamiento se basa en la suposición de que Siena y Alejandría están situadas en el mismo meridiano, lo que es indispensable si se quiere utilizar la diferencia de latitud entre las dos ciudades para determinar qué porción de la circunferencia terrestre representa el arco que une una con otra. Sin embargo, el Nilo fluye a lo largo de un eje sursudeste-nornoroeste, por lo que las dos ciudades están de hecho separadas por tres grados de longitud. Esto implica que la distancia en línea recta entre las dos ciudades es

aproximadamente un 10 % mayor de lo que habría sido si hubieran estado en el mismo meridiano, cosa que Eratóstenes no sabía. Afortunadamente, también subestimó la distancia entre las dos ciudades en un 10 %. En otras palabras, cometió dos errores (o, digamos, dos imprecisiones) que se compensan casi exactamente entre sí, dando así retrospectivamente la impresión de un resultado muy preciso. He aquí algo con lo que uno puede soñar si se equivoca en un examen.

## De la Tierra a la Luna

Conociendo el tamaño de la Tierra, ¿se puede deducir el de la Luna? Este problema —que al menos a primera vista parece aún más difícil de resolver— lo abordó uno de los predecesores de Eratóstenes, el astrónomo y matemático Aristarco de Samos (*ca.* 310-230 a. C.), quien desarrolló un método geométrico muy elegante para determinar el tamaño y la distancia de la Luna, utilizando de nuevo los eclipses. Su razonamiento fue retomado y mejorado posteriormente por Hiparco (*ca.* 190-120 a. C.).

Desde tiempos inmemoriales se sabía que la Luna giraba alrededor de la Tierra y que el intervalo entre dos lunas llenas era, por término medio, de veintinueve días y medio. Este dato no basta por supuesto para determinar el tamaño de la Luna o su distancia a la Tierra. La Luna podría muy bien ser un objeto relativamente cercano (a cinco mil kilómetros de la superficie de nuestro planeta, por ejemplo), de pequeño tamaño y con un movimiento relativamente lento (en este caso, de 100 km/h para efectuar una vuelta com-