

Isaac Asimov

# El Universo

De la tierra plana a los cuásares



**Alianza** editorial  
El libro de bolsillo

Título original: *The Universe. From Flat Earth to Quasar*  
Traducción de Miguel Paredes Larrucea  
Revisión científico-técnica de la edición por David Galadí-  
Enríquez

Primera edición: 1973  
Tercera edición: 2012  
Novena reimpresión: 2022

Diseño de colección: Estrada Design  
Diseño de cubierta: Manuel Estrada  
Ilustración de cubierta: Tomasz Dabrowski: *Concept of a Completely Ethereal Planet*  
© Tomasz Dabrowski / Stocktrek Images / Corbis / Cordon Press  
Selección de imagen: Laura Gómez Cuesta

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.

© Isaac Asimov, 1966, 1971  
© Alianza Editorial, S. A., Madrid, 1973, 2022  
Calle Juan Ignacio Luca de Tena, 15  
28027 Madrid  
[www.alianzaeditorial.es](http://www.alianzaeditorial.es)



ISBN: 978-84-206-0944-7  
Depósito legal: M. 26.738-2012  
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

- 13 1. La Tierra
- 13    Introducción
- 15    La Tierra plana
- 19    La Tierra esférica
- 23    El tamaño de la Tierra
  
- 27 2. El sistema solar
- 27    La Luna
- 32    El Sol
- 36    Paralaje
- 42    El tamaño del sistema solar
  
- 52 3. Las estrellas
- 52    La bóveda celeste
- 61    Una multiplicidad de soles
- 66    La busca de los paralajes estelares
- 70    La distancia de las estrellas más cercanas
  
- 78 4. La Galaxia
- 78    La paradoja de Olbers
- 82    La lente de Herschel
- 88    El Sol en movimiento
- 92    Cúmulos estelares
- 96    Estrellas variables

105	5. El tamaño de la Galaxia
105	El efecto Doppler
107	El espectro
115	Líneas espectrales
120	El centro galáctico
126	Las dimensiones galácticas
136	6. Otras galaxias
136	La nebulosa de Andrómeda
143	Novas
149	La galaxia de Andrómeda
155	Las galaxias espirales
161	7. La edad de la Tierra
161	Momento angular
169	La conservación de la energía
175	Energía nuclear
182	8. La energía del Sol
182	La hipótesis planetesimal
186	Constitución del Sol
192	Temperatura de la superficie del Sol
197	Temperatura interna del Sol
204	9. Tipos de estrellas
204	Constitución del sistema solar
209	Tipos espectrales
215	Estrellas gigantes y estrellas enanas
220	El diagrama H-R

225	10. Evolución estelar
225	La relación masa-luminosidad
234	Gas interestelar
243	Más allá de la secuencia principal
250	11. Explosiones estelares
250	Enanas blancas
260	Supernovas
269	Estrellas moribundas
277	Estrellas de la segunda generación
281	12. Evolución de las galaxias
281	La cuestión de la eternidad
285	Clases de galaxias
289	Poblaciones estelares
299	13. La recesión de las galaxias
299	El desplazamiento de las galaxias hacia el rojo
304	Relatividad
312	Cúmulos de galaxias
318	14. El Universo observable
318	De nuevo la paradoja de Olbers
323	La constante de Hubble
327	Revisión de la escala de las cefeidas
336	15. El origen del Universo
336	El «big bang»
344	La formación de los elementos
349	Antes del «big bang»
355	Creación continua

368	16. Bombardeo de partículas
368	Partículas sin masa
376	Rayos cósmicos
382	Fuentes de rayos cósmicos
390	17. Fotones energéticos
390	El espectro electromagnético
394	Estrellas de rayos X
404	Antimateria
414	18. Radioastronomía
414	El Sol
418	Los planetas
425	Las estrellas
431	La Galaxia
439	Púlsares
447	19. El borde del Universo
447	Galaxias en colisión
453	Galaxias en explosión
462	Las radiofuentes lejanas
469	Cuásares
483	Lecturas recomendadas

*A Fred L. Whipple y Carl Sagan, que  
sobre esto saben mucho más que yo.*





# 1. La Tierra

## Introducción

En los últimos años, los descubrimientos que los astrónomos han logrado hacer a distancias inimaginables del espacio exterior han suscitado una curiosidad inusitada no ya en ellos mismos, sino en el público en general.

Conceptos como los cuásares y los púlsares son hoy de la máxima actualidad. Y unos puntos de luz que se encuentran a miles de billones de kilómetros de la Tierra hacen que los científicos se devanen los sesos acerca del pasado remoto y del lejano futuro del Universo.

¿Se extiende el Universo hasta el infinito o existe, por el contrario, un fin en alguna parte? ¿Se expande y contrae el Universo como un acordeón, invirtiendo en cada uno de estos movimientos miles de millones de años? ¿Hubo un momento en que explotó definitivamente? ¿Será que los fragmentos errantes, productos de esta explosión, se están alejando unos de otros, hasta que ese fragmento en que ha-

bitamos se encuentre prácticamente solo en el Universo? ¿Tiene el Universo capacidad de renovarse? ¿Es eterno, sin origen ni fin?

En este aspecto, nuestra generación es una generación afortunada, pues estamos presenciando un período de la astronomía en el que las respuestas a tales preguntas, así como a otras muchas igualmente inquietantes, quizá se encuentren de hecho al alcance de la mano.

Por otro lado, esta situación era totalmente inesperada. Los objetos celestes que están abriendo nuevas posibilidades y perspectivas a los astrónomos eran del todo desconocidos antes de la década de 1960-1969. Los cohetes y satélites que hoy día proporcionan tal abundancia de datos a estos científicos no empezaron a lanzarse sino en los años cincuenta. Y los radiotelescopios, que desvelaron misterios insospechados del Universo, no conocieron su existencia hasta los años 1940-50.

Es más, si retrocedemos 2.500 años y nos situamos hacia el 600 a. C., comprobamos que todo el Universo que conocía el hombre de aquellos tiempos se reducía a un trozo de tierra plana, que, por añadidura, tampoco era demasiado extenso.

Esto es, más o menos, lo que el hombre de nuestros días sigue siendo capaz de percibir de un modo directo: un trozo de tierra plana; sobre su cabeza, naturalmente, el cielo con pequeños objetos luminosos que brillan sobre él. Por otro lado, tampoco parece que el cielo se extienda muy por encima de nuestras cabezas.

Entonces ¿en virtud de qué proceso del raciocinio fueron disipándose en una lejanía cada vez más remota los estrechos límites visibles para el ojo humano, hasta el punto de que no hay ya mente capaz de concebir el tamaño de este Universo al que nos estamos refiriendo ahora, ni siquiera de

imaginar la tremenda insignificancia de nuestro entorno físico al lado de él?

En este libro pretendo seguir los pasos que el hombre ha ido dando con el fin de ampliar y profundizar su comprensión del Universo como un todo («cosmología»), así como del origen y evolución de éste («cosmogonía»).

## La Tierra plana

En el año 600 a. C., el Imperio Asirio acababa de caer. En su época de auge había abarcado una longitud máxima de unos 2.200 kilómetros, extendiéndose desde Egipto hasta Babilonia. Este imperio no tardó en ser reemplazado por otro, el Imperio Persa, que llegó a abarcar una longitud máxima de 4.800 kilómetros, desde Cirenaica hasta Cachemira.

No cabe duda de que las gentes que habitaban en tales imperios carecían en absoluto de toda noción, siquiera vaga, acerca de la extensión de los dominios; se contentaban simplemente con vivir y morir en su terruño y, en ocasiones señaladas, con desplazarse desde la propia aldea a la vecina. No ocurría lo mismo con los mercaderes y soldados, quienes seguramente sí tenían alguna idea de la inmensidad de estos imperios y de la extensión, aún mayor, de las tierras que quedaban más allá de sus fronteras.

En los imperios de la Antigüedad tuvo que haber hombres que se ocuparan de lo que cabría considerar el primer problema cosmológico que se le plantea al erudito: ¿Tiene la Tierra un fin?

Indudablemente, ningún hombre de los tiempos antiguos llegó jamás al fin de la Tierra, por muy lejos que viajara. Algunos llegaban a alcanzar la costa de un océano cuyos lími-

tes se perdían detrás del horizonte, pero una vez embarcados y navegando en alta mar comprobaban que tampoco así llegaban al fin.

¿Significaba esto que tal fin no existía?

La respuesta dependía de la forma general que se atribuyera a la Tierra.

Todos los hombres que vivieron antes de los tiempos de los griegos admitieron el supuesto de que la Tierra era plana, como de hecho parece ser si prescindimos de pequeñas irregularidades como son las montañas y los valles. Si algún ser humano anterior a los griegos pensó de otra manera, su nombre no ha llegado hasta nuestros días, ni su pensamiento, registrado de algún modo, ha logrado sobrevivir.

Ahora bien, si la Tierra fuese efectivamente plana, una de las conclusiones que parece casi inmediata es que tuviese un fin, sea del tipo que fuere. La posibilidad alternativa a este corolario es que se tratase de una superficie plana que se extendiera sin límites; en otras palabras, una superficie de extensión infinita. Pero este concepto es sumamente molesto: a lo largo de la historia, el hombre ha tratado siempre de rehuir el concepto de infinitud, ya sea del espacio o del tiempo, como algo imposible de concebir y entender y, por ende, como un concepto con el que no es fácil trabajar ni razonar.

Por otra parte, si la Tierra tuviera efectivamente un fin –si fuese finita–, surgirían otras dificultades. ¿No se caería la gente al acercarse demasiado a él?

Naturalmente, podría suceder que la tierra firme se encontrara rodeada por completo de océanos, de suerte que nadie pudiera aproximarse al fin, a menos que fletara un barco con este propósito y navegara hasta perder de vista el continente, y más allá aún. Todavía en tiempos de Colón

esta idea constituía, en efecto, un motivo nada irreal de pánico para muchos marineros.

Sin embargo, la idea de una barrera acuática protectora de la humanidad planteaba otro problema. ¿Qué era lo que impedía que el océano se derramase por los bordes, dejando la Tierra en seco?

Una posible solución a este dilema consistía en suponer que el cielo era una coraza resistente –aspecto que, en efecto, tiene a primera vista\*– y que ésta descendía hasta unirse con la Tierra por todas partes, como efectivamente parece ocurrir. En este caso cabría concebir el Universo en su totalidad como una especie de caja cuyos lados y parte superior abombados estuviesen constituidos por el cielo, mientras que el fondo plano fuesen los mares y la tierra firme sobre los que viven y se mueven el hombre y todos los demás seres.

¿Qué forma y tamaño tendría un «Universo-caja» semejante?

A muchos este Universo se les antojaba en forma de tablón rectangular. Un accidente interesante de la historia y de la geografía es que las primeras civilizaciones establecidas en los ríos Nilo, Éufrates y Tigris e Indo estuviesen separadas en este y oeste, no en norte y sur. A esto hay que añadir además el que el mar Mediterráneo se extienda también de levante a poniente. Por ello, los escasos conocimientos geográficos de los primeros pueblos civilizados encontraron menos dificultad para propagarse en dirección este-oeste que en dirección norte-sur. Sobre esta base parece razonable, pues, imaginar el «Universo-caja» como mucho más alargado de este a oeste que de norte a sur.

\* La expresión bíblica «firmamento» atestigua la antigua creencia de que el cielo era un objeto «firme», una sustancia sólida.

Los griegos, en cambio, demostraron poseer un sentido mucho más desarrollado de las proporciones geométricas y de la simetría al concebir la Tierra como un disco circular, con Grecia, naturalmente, en el centro. Este disco plano estaba formado en su mayor parte por tierra firme, con un borde de agua («el Río Océano») a partir del cual el mar Mediterráneo penetraba hacia el centro.

Hacia el año 500 a. C., Hecateo de Mileto (cuyas fechas de nacimiento y muerte se desconocen), el primer geógrafo científico entre los griegos, estimó que el disco circular debía de tener un diámetro de unos 8.000 kilómetros como máximo, lo cual suponía unos 51.000.000 de kilómetros cuadrados para la superficie de la Tierra plana. Por muy grande, e incluso enorme, que les pareciera esta cifra a los contemporáneos de Hecateo, lo cierto es que no representa más que una décima parte de la superficie real de la Tierra.

Pero prescindiendo de su tamaño y de su forma, ¿cómo se sostenía el Universo-caja en un sitio fijo? En la concepción de la Tierra plana, que es la que ahora nos ocupa, «abajo» indica una dirección concreta; todos los objetos pesados y terrenos caen «hacia abajo». ¿Por qué no ocurre entonces lo mismo con la Tierra?

Cabría suponer que el material del que está compuesto la Tierra plana, el suelo que pisamos, se extiende hacia abajo sin límite. Pero en este caso nos veríamos enfrentados de nuevo con el concepto de infinito. Con el fin de soslayarlo, puede imaginarse la Tierra apoyada sobre algo. Los hindúes, por ejemplo, la concebían sustentada por cuatro pilares.

Mas ello no hacía sino posponer la dificultad. ¿Sobre qué se apoyaban los cuatro pilares? ¡Sobre elefantes! ¿Y sobre

qué descansaban estos elefantes? ¡Sobre una tortuga gigante! ¿Y la tortuga? Nadaba en un océano gigantesco. Y este océano...

En resumen, la hipótesis de una Tierra plana, por más que pareciera pertenecer al terreno del sentido común, planteaba de un modo inevitable dificultades filosóficas sumamente serias.

## La Tierra esférica

De hecho, para alguien que tuviese los ojos bien abiertos la idea de una Tierra plana no podía resultarle de sentido común. Pues si esto fuera así, desde cualquier punto de esta Tierra plana deberían observarse las mismas estrellas en el cielo (quizá con pequeñas diferencias debidas a la perspectiva). Ahora bien, una de las experiencias registradas por todo navegante es que cuando el barco llevaba rumbo norte, ciertas estrellas desaparecían detrás del horizonte meridional y otras nuevas aparecían por el septentrional. Cuando se navegaba rumbo al sur, la situación era la inversa. Este fenómeno admitía una explicación muy sencilla suponiendo que la Tierra se curvaba en la dirección norte-sur. (El hecho de si existía o no un efecto similar en dirección este-oeste quedaba oscurecido por el movimiento general este-oeste del cielo, que describía una vuelta completa cada veinticuatro horas.)

De acuerdo con estas observaciones, el filósofo griego Anaximandro de Mileto (611-546 a. C.) sugirió que los hombres vivían sobre la superficie de un cilindro curvado hacia el norte y hacia el sur. Según los conocimientos actuales, él fue el primero en sugerir para la superficie de la Tie-

rra una forma distinta de la plana. Esta idea surgió posiblemente hacia el año 550 a. C.

Pero la idea de la Tierra cilíndrica tampoco bastaba. Un hecho observado por quienes vivían a orillas del mar y trabajaban continuamente con barcos era el siguiente: los barcos que navegaban rumbo a alta mar no iban reduciéndose de tamaño paulatinamente hasta desvanecerse en un punto infinitesimal, como cabría esperar si la Tierra fuese plana, sino que desaparecían cuando aún poseían un tamaño sensiblemente mayor que el de un simple punto; y lo primero que desaparecía era el casco, como si el barco estuviese descendiendo por una colina. Esto era, ni más ni menos, lo que cabría esperar si la superficie de la Tierra fuese curva. Pero había más, y es que los barcos desaparecían de modo muy similar cualquiera que fuese el rumbo que llevaran. En consecuencia, la Tierra se curvaba no sólo en dirección nort-sur, sino en todas direcciones por igual. Y la única superficie que se curva en todas direcciones por igual es la de la esfera.

Por otro lado, los astrónomos griegos también pensaron que la mejor forma de explicar los eclipses de Luna era suponiendo que ésta y el Sol ocupaban lados opuestos de la Tierra y que era la sombra de este planeta la que, proyectada por el Sol, caía sobre la Luna y la eclipsaba. La proyección de esta sombra siempre era circular, independientemente de las posiciones que la Luna y el Sol ocupasen respecto a la Tierra. El único cuerpo sólido que proyecta una sombra con sección transversal circular en todas direcciones es la esfera.

Así pues, una observación más minuciosa revelaría que la superficie de la Tierra no es plana sino esférica. El hecho de que parezca plana se debe únicamente a que la



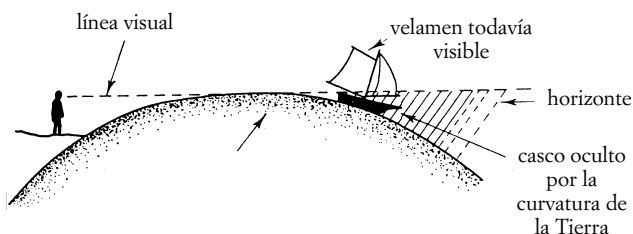


Fig. 1. Efecto de la curvatura terrestre.

esfera es tan grande que la curvatura de la pequeña porción visible a simple vista es demasiado suave para detectarla.

Según los conocimientos actuales, la primera persona que sugirió que la Tierra era una esfera fue el filósofo griego Filolao de Tarento (480-? a. C.), quien formuló esa idea hacia el año 450 a. C.

El concepto de la Tierra esférica acabó de una vez para siempre con todos los problemas relativos al «fin» de este planeta, y ello sin introducir el concepto de infinito. La esfera tiene una superficie de tamaño finito, pero esta superficie no posee un fin; es finita pero ilimitada.

Aproximadamente, un siglo después de Filolao, el filósofo griego Aristóteles de Estagira (384-322 a. C.) hizo un compendio de las consecuencias que se derivaban de la esfericidad de la Tierra.

El concepto «abajo» debía considerarse no como una dirección fija y precisa, sino como una dirección relativa. Pues si se tratase de una dirección fija, como a veces pensamos que es cuando señalamos hacia nuestros pies, entonces cabría esperar que la esfera entera de la Tierra se desplomase hacia abajo indefinidamente, o bien hasta llegar a des-

cansar sobre algo que fuera sólido y tuviera una extensión infinita en dirección hacia abajo.

Supongamos, por el contrario, que nos limitamos a definir la palabra «abajo» como la dirección que apunta hacia el centro de la Tierra. Al decir que, en virtud de las leyes naturales, los objetos «caen hacia abajo», queremos significar que su tendencia natural es a caer hacia el centro de la Tierra. En tal caso, los objetos no caerían fuera de la Tierra, ni los antípodas tendrían la sensación de andar cabeza abajo.

La Tierra en sí tampoco puede desplomarse, pues todas y cada una de sus partes han caído ya el máximo posible, es decir, se han aproximado al máximo al centro de la Tierra. De hecho, ésta es la razón de que la Tierra tenga que ser una esfera, pues este cuerpo geométrico se caracteriza por la propiedad de que la distancia total de todas y cada una de sus partes al centro de dicho cuerpo es menor que en cualquier otro sólido del mismo tamaño pero forma distinta.

Así pues, podemos afirmar que hacia 350 a. C. ningún científico dudaba ya de que la Tierra fuese una esfera. Desde entonces, este concepto ha sido admitido en todo momento por cualquier hombre culto del mundo occidental.

La idea era tan satisfactoria y estaba tan exenta de paradojas que fue aceptada aun en ausencia de pruebas de carácter directo. Una prueba de este tipo no llegaría hasta el 1522 d. C. (dieciocho siglos después de Aristóteles), cuando la única nave que logró sobrevivir a una expedición mandada en principio por el navegante Fernando Magallanes (1480-1521) arribó al puerto, tras haber descrito por primera vez una vuelta a la Tierra: de este modo quedaba demostrado de una manera directa que aquélla no era plana.

Hoy día se ha demostrado la esfericidad de la Tierra sobre el principio real de «ver es creer». Durante los últimos años de la década de 1940-49 se consiguió lanzar cohetes a una altura suficiente para tomar fotografías de vastas porciones de la superficie terráquea; estas fotografías demostraron de un modo visible la curvatura esférica\*.

### El tamaño de la Tierra

Una vez establecido el carácter esférico de la Tierra, el problema de su tamaño adquiriría una importancia mayor que nunca. Determinar las dimensiones de una Tierra plana y finita habría supuesto una tarea en extremo ardua, como no fuese que alguien se la recorriera de punta a punta. Una Tierra esférica, en cambio, produce efectos que varían directamente con el tamaño de la esfera.

Por ejemplo, si la esfera terráquea fuese enorme, los efectos producidos por su esfericidad serían demasiado pequeños para detectarlos de un modo fácil. La visión de las estrellas no cambiaría sensiblemente cuando el observador se trasladase unos cuantos cientos de kilómetros hacia el norte o hacia el sur; los barcos no desaparecerían por el horizonte cuando el observador estuviera percibiendo todavía una imagen suficientemente grande para ser visible, ni éste vería ocultarse primero el casco y luego el velamen; y, por último, la proyección de la sombra de la Tierra sobre la Luna parecería recta, pues la curvatura de dicha sombra sería muy pequeña y, por tanto, indetectable.

\* Ciertamente que la Tierra no es exactamente esférica, pero la diferencia es demasiado pequeña para ser percibida a simple vista. Observada desde el espacio, la Tierra ofrece el aspecto de una esfera perfecta.

En otras palabras, el mero hecho de que los efectos de la esfericidad *fuesen* perceptibles significaba que la Tierra era una esfera, pero también que se trataba de una esfera de tamaño más bien moderado: ciertamente grande, pero no gigantesco.

Ahora bien, ¿cómo podría medirse este tamaño con cierta precisión? Los geógrafos griegos lograron establecer un límite inferior. Hacia el año 250 a. C., estos hombres sabían por experiencia que hacia poniente la Tierra se extendía algo más allá del estrecho de Gibraltar, y que hacia levante llegaba hasta la India, con una distancia máxima de unos 9.600 kilómetros (cifra muy superior a la estimación, aparentemente generosa, que hiciera Hecateo dos siglos y medio antes). Puesto que al cabo de dicha distancia la superficie de la Tierra no había vuelto, evidentemente, al punto de partida, el perímetro del planeta tenía que ser superior a los 9.600 kilómetros; pero cuánto mayor era algo que no podía precisarse.

El primero en sugerir una respuesta basada en la observación fue el filósofo griego Eratóstenes de Cirene (276-196 a. C.). Este filósofo sabía (o se lo comunicaron) que en el solsticio de verano, el 21 de junio, cuando el sol de mediodía se encuentra más cerca del cenit que en ningún otro día del año, este astro pasaba justamente por el cenit sobre la ciudad de Syene, en Egipto (la moderna Asuán). Este hecho podía constatarse sin más que clavar un palo vertical en el suelo y observar que no proyectaba sombra alguna. Por otro lado, repitiendo la misma operación en Alejandría, situada unos 800 kilómetros al norte de Syene, el palo proyectaba una corta sombra, la cual venía a indicar que en aquel lugar el sol de mediodía se encontraba algo más de 7 grados al sur del cenit.

Si la Tierra fuese plana, el Sol luciría simultáneamente sobre Syene y Alejandría, prácticamente en línea perpendicular sobre ambas. El hecho de que el Sol brillase justo encima de una pero no de la otra demostraba de por sí que la superficie de la Tierra se curvaba en el espacio que mediaba entre ambas ciudades. El palo clavado en una de las ciudades no apuntaba, por así decirlo, en la misma dirección que el otro. Uno de ellos apuntaba al Sol, el otro no.

Cuanto mayor fuese la curvatura de la Tierra, mayor sería la divergencia entre las direcciones de los dos palos y mayor también la diferencia entre las longitudes de ambas sombras. Aunque Eratóstenes demostró cuidadosamente todos sus cálculos por métodos geométricos, nosotros prescindiremos de esta demostración y diremos simplemente que si una diferencia de algo más de 7 grados corresponde a 800 kilómetros, una diferencia de 360 grados (una vuelta completa alrededor de una circunferencia) debe representar cerca de 40.000 kilómetros si queremos conservar una proporción constante.

Conocida la circunferencia de una esfera, también se conoce su diámetro. El diámetro es igual a la longitud de la circunferencia dividida por  $\pi$  («pi»), cantidad que vale aproximadamente 3,14. Eratóstenes concluyó, por tanto, que la Tierra tenía una circunferencia de unos 40.000 kilómetros y un diámetro de unos 12.800 kilómetros.

El área de la superficie de tal esfera es de 512.000.000 de kilómetros cuadrados, aproximadamente, cifra que equivale por lo menos a seis veces la superficie máxima conocida en los tiempos antiguos. Evidentemente, la esfera de Eratóstenes se les antojaba algo desmesurada a los griegos, pues cuando más tarde los astrónomos repitieron las observaciones y obtuvieron cifras más pequeñas (29.000 kilóme-