

Masson-Oursel acaba de presentar unas concepciones del mundo en las que el hombre y el mundo forman una unidad indivisa y no están separados y opuestos el uno al otro. Es verdad que en lo que llamamos ciencia —y ciencia cosmológica— nos enfrentamos con una actitud muy diferente, con una cierta oposición entre el hombre en el mundo y el mundo en el que vive.

Si hubiera tomado al pie de la letra el título de mi ponencia: las cosmologías científicas, es decir, las que llevan hasta el fin la separación y, por tanto, la deshumanización del cosmos, verdaderamente no tendría que decir gran cosa y habría debido comenzar en seguida con la época moderna, probablemente con Laplace. A lo sumo habría podido evocar, a modo de prehistoria, las concepciones de las primeras épocas de la astronomía griega, la de Aristarco de Samos, Apolonio e Hiparco; porque las concepciones cosmológicas, incluso las que consideramos científicas, no han sido más que muy raramente — incluso casi nunca— independientes de nociones que no lo son, a saber, las nociones filosóficas, mágicas y religiosas.

Incluso en un Tolomeo, en un Copérnico, en un Kepler e incluso en un Newton, la teoría del cosmos no era independiente de estas otras nociones.

Tomaré, pues, el término «cosmologías científicas» en un sentido más amplio, capaz de englobar las doctrinas de los pensadores que acabo de citar.

Las teorías cosmológicas científicas nos llevan necesariamente a Grecia, pues parece que es en Grecia donde, por primera vez en la historia, aparece la oposición del hombre con el cosmos, que desemboca en la deshumanización de este último.

Sin duda, no ha sido nunca completa, y en sus grandes metafísicas, como las de Platón y Aristóteles, y hasta en la noción misma del cosmos, nos enfrentamos con las ideas de perfección, orden y armonía que calan en él, o con la noción platónica del reino de la proporción tanto en lo cósmico como en lo social y humano, es decir, con concepciones unitarias.

Pero es aquí, en todo caso, donde me parece que ha nacido el estudio de los fenómenos cósmicos en cuanto tales y por ellos mismos.

Podemos preguntarnos, sin duda, si no debemos remontarnos mucho más atrás y si no debemos colocar el principio de la astronomía y de la cosmología científica no en Grecia, sino en Babilonia. Hay, me parece, dos razones para no hacerlo. La una se debe al hecho de que los babilonios no se liberaron de la astrobiología que acaba de evocar Masson-Oursel y de que Grecia logró hacerlo (podría ocurrir además que la astrobiología en Grecia no fuera en modo alguno un fenómeno original, sino, por el contrario, un fenómeno tardío muy posterior al origen de la astronomía). La otra razón es menos histórica: se debe a la noción misma que tenemos de la idea y del trabajo científico. Si en efecto admitiéramos de ella una cierta concepción ultrapositivista y ultrapragmatista, deberíamos decir, sin duda, que fueron los babilonios quienes empezaron; efectivamente, observaron el cielo, fijaron las posiciones de las estrellas y constituyeron sus catálogos, anotando día a día las posiciones respectivas de los planetas. Si hacemos esto cuidadosamente durante algunos siglos, al final llegaremos a tener catálogos que nos revelarán la periodicidad de los movimientos planetarios y nos darán la posibilidad de prever para cada día del año la posición de las estrellas y de los planetas que encontraremos cuando miremos al cielo. Lo cual es muy importante para los babilonios, puesto que de esta previsión de las posiciones de los planetas depende, por la vía de la astrología, una previsión de los acontecimientos que sucederán en la Tierra. Así, si previsión y predicción equivalen a ciencia, nada es más científico que la astronomía babilónica. Pero si se ve en el trabajo científico sobre todo un trabajo teórico, y si se cree —como creo yo— que no hay ciencia allí donde no hay teoría, se rechazará la ciencia babilónica, y se dirá que la cosmología científica tiene sus principios en Grecia, puesto que fueron los griegos quienes por primera vez concibieron y formularon la exigencia intelectual del saber teórico: *superar los fenómenos*, es decir, formu-

* Texto de una ponencia presentada el 31 de mayo de 1948 en la Quatorzième Semaine de Synthèse, *Revue de Synthèse* (París, Albin Michel), nouvelle série, t. 29, julio-diciembre de 1951, pp. 11-22.

lar una teoría explicativa del dato observable; algo que los babilonios no hicieron nunca.

Insisto en la palabra «observable», pues es cierto que el sentido primero de la famosa fórmula $\sigma\acute{\omega}\zeta\epsilon\nu\ \tau\acute{\alpha}\ \phi\alpha\iota\nu\omicron\mu\epsilon\nu\alpha$ quiere decir justamente: explicar los fenómenos, superarlos, es decir, revelar la realidad subyacente, revelar, bajo el desorden aparente del dato inmediato, una unidad real, ordenada e inteligible. No se trata sólo como nos enseña una mala interpretación positivista muy corriente, de unirlos por medio de un cálculo a fin de obtener una previsión: se trata, en realidad, de descubrir una realidad más profunda que proporcione su explicación.

Esto es algo bastante importante, que nos permite comprender la unión esencial, a menudo olvidada por los historiadores, entre las teorías astronómicas y las físicas. Es un hecho que los grandes descubrimientos —o las grandes revoluciones en las teorías astronómicas— han estado siempre en relación con descubrimientos o modificaciones en las teorías físicas.

No puedo hacer un esbozo ni siquiera breve de esta historia extremadamente apasionante e instructiva. Quiero simplemente indicar algunas etapas de la matematización de lo real, que es el trabajo propio del astrónomo.

Ya he dicho que comienza con la decisión de descubrir bajo la apariencia desordenada un orden inteligible; así, encontramos en Platón una fórmula muy clara de las exigencias y presupuestos de la astronomía teórica: reducir los movimientos de los planetas a movimientos regulares y circulares. Programa que poco más o menos es ejecutado por su alumno Eudoxo y perfeccionado por Calipo; éstos, en efecto, sustituyen el movimiento irregular de los astros errantes por los movimientos bien ordenados de las esferas homocéntricas, es decir, encajadas unas en otras.

Se han burlado mucho —menos, ahora— de esta obsesión griega por lo circular, de este deseo de reducir todos los movimientos celestes a movimientos circulares. Yo no encuentro que esto sea ridículo ni estúpido: el movimiento de rotación es un tipo propio y muy notable de movimiento, el único que en un mundo finito se prosigue eternamente sin cambio, y es eso justamente lo que buscaban los griegos: algo que pudiera proseguirse o reproducirse eternamente. El gusto de los griegos por lo eterno es algo muy característico de su mentalidad científica. Los teóricos griegos no hablan nunca del origen de las cosas, o si hablan de ello, es de un modo muy consciente-

mente mítico. En cuanto a la idea de que el movimiento circular es un movimiento *natural*, parece paradójicamente confirmarse en nuestros días: el Sol gira, las nebulosas giran, los electrones giran, los átomos giran, todo gira. ¿Cómo negar que esto sea algo completamente «natural»?

Volvamos ahora a los que han intentado explicar los movimientos celestes como resultado de un encajamiento de esferas que giran unas en las otras. Tuvieron bastante éxito, a excepción de un fenómeno que no se dejaba explicar muy bien —es muy importante ver la atención prestada por los griegos a la necesidad de explicar verdaderamente un fenómeno—, a saber, la variación en la luminosidad de los planetas que tan pronto eran muy brillantes como no lo eran, hecho que no se podía explicar más que admitiendo cambios en sus distancias a la Tierra.

Esto exigió la invención de una teoría explicativa nueva, teoría llamada de los epiciclos, y de las excéntricas, que fue elaborada sobre todo por la escuela de Alejandría, por Apolonio, Hiparco y Tolomeo.

Entre las dos se establece un intermedio extraordinario: un genio de primer orden, Aristarco de Samos, plantea como hipótesis explicativa el doble movimiento de la Tierra alrededor del Sol y sobre sí misma. Es bastante curioso que no haya tenido seguidores. Tuvo un único alumno, parece. Plutarco lo dice: «Aristarco propuso esta teoría como hipótesis y Seleuco la afirmó como verdad.» El texto es importante, pues confirma el deseo y la distinción que hacían los griegos entre una simple hipótesis calculatoria y la hipótesis físicamente verdadera: la revelación de la verdad.

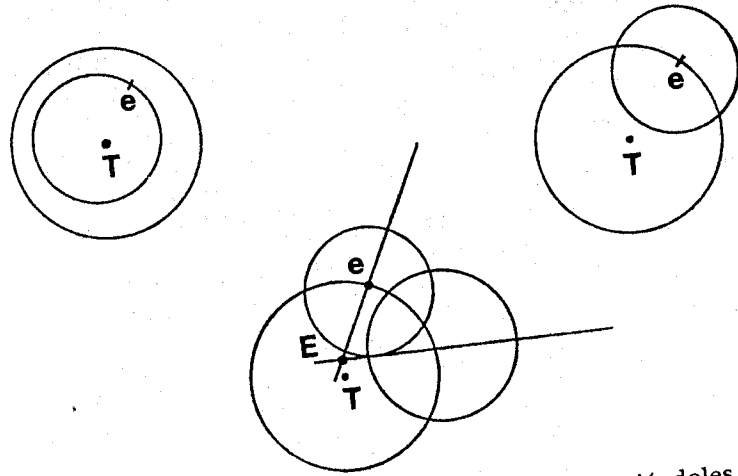
Aristarco no tuvo éxito y no se sabe por qué. Se ha dicho a veces que la idea del movimiento de la tierra contradecía demasiado las concepciones religiosas de los griegos. Pienso que fueron más bien otras razones las que determinaron el fracaso de Aristarco, las mismas sin duda que desde Aristóteles y Tolomeo hasta Copérnico se oponen a toda hipótesis no geocéntrica: la invencibilidad de las objeciones físicas contra el movimiento de la Tierra. Hay, ya lo he dicho, una relación necesaria entre el estado de la física y el estado de la astronomía. Ahora bien, para la física antigua, el movimiento circular (rotacional) de la Tierra en el espacio parecía —y debía parecer— oponerse a hechos indiscutibles, y contradecir la experiencia diaria; en resumen, una imposibilidad física. Otra cosa más constituía un obstáculo para la aceptación de la teoría de Aristarco, a saber, la grandeza desmesurada de su Universo; pues

si los griegos admitían que el Universo era bastante grande en relación a la Tierra —era incluso muy grande!—, de todas formas las dimensiones postuladas por la hipótesis de Aristarco les parecían inconcebibles. Supongo que era así, puesto que en pleno siglo XVII parecía aún imposible a mentes muy sensatas admitir tales proporciones. Se decía también —y esto es algo completamente razonable— que si la Tierra giraba alrededor del Sol, esto se vería por la observación de las estrellas fijas; que si no se aprecia ninguna paralaje es que la Tierra no gira. Admitir que la bóveda celeste sea tan grande que las paralajes de las fijas sean inobservables, parecía contrario al sentido común y al espíritu científico.

La astronomía llamada de los epiciclos debe su origen a un gran matemático Apolonio y fue desarrollada por Hiparco y Tolomeo. Reinó en el mundo hasta Copérnico e incluso mucho después. Constituye uno de los mayores esfuerzos del pensamiento humano.

Algunas veces se ha hablado mal de Tolomeo y se ha tratado de rebajarle con relación a sus predecesores: creyendo que sin razón. Tolomeo hizo lo que pudo; si no inventó, desarrolló las ideas astronómicas de su tiempo y calculó de un modo admirable los elementos del sistema. Y si rechazó la doctrina de Aristarco, lo hizo por razones científicas.

Echemos una ojeada a la teoría en cuestión. Se había comprendido bien que la distancia de los planetas a la Tierra no era siempre la misma; era necesario, por tanto, que los planetas en su recorrido pudieran aproximarse y alejarse de la Tierra; además, era necesario explicar las irregularidades de sus movimientos —unas veces parecen ir hacia delante, otras se paran, otras van hacia atrás—: por eso se pensó en hacerles girar no en torno a un círculo, sino a dos o tres en gancho al primer círculo otro más pequeño, o colocando el mismo círculo grande en torno a uno más pequeño. El círculo que soporta se llama deferente; el círculo soportado, epiciclo. Se puede igualmente, para simplificar el mecanismo, sustituir el círculo que soporta y el epiciclo soportado por un único círculo, descentrado con relación a la Tierra, es decir, que si la Tierra se encuentra en un punto T, el gran círculo gira no alrededor de la Tierra, sino alrededor de un punto excéntrico a éste. Las dos formas de representar los movimientos celestes son absolutamente equivalentes y pueden combinarse una con otra. Nada impide, por ejemplo, colocar un epiciclo en una excéntrica.



Poniendo los círculos unos sobre otros y haciéndoles girar a velocidades diferentes, se puede dibujar cualquier curva cerrada. Y poniendo un número suficiente de ellos se puede dibujar todo lo que se quiera: se puede incluso dibujar una línea recta o un movimiento en elipse. Evidentemente, hay que acumular a veces un número considerable de círculos, lo que complica los cálculos, pero esto, en teoría, siempre está permitido.

La teoría de los epiciclos es una concepción de una profundidad y de una potencia matemática extraordinaria, y se necesitaba todo el genio de los matemáticos griegos para poder formularla.

No había en esta teoría más que un solo punto o un solo hecho difícilmente aceptable: para no aumentar indefinidamente el número de círculos, Tolomeo debió renunciar al principio del movimiento circular uniforme, o más exactamente, encontró un medio aparente de conciliar la aceptación del principio con la imposibilidad de seguirlo realmente. Se ha dicho que se puede salir adelante admitiendo que el movimiento es uniforme, no con relación al centro del círculo mismo —los círculos no giran de un modo uniforme con relación a sus propios centros—, sino con relación a un cierto punto interior excéntrico, punto que él llamó *ecuante*.

Esto era algo muy grave, pues al abandonar el principio del movimiento circular uniforme, se abandonaba la explicación física de los fenómenos. Es justamente a partir de Tolomeo cuando

do encontramos una ruptura entre la astronomía matemática y la astronomía física.

En efecto, mientras que los filósofos y los cosmólogos continuaban admitiendo que los cuerpos celestes se movían por movimientos uniformes de los orbes corporales, insistiendo en el valor de esta concepción desde el punto de vista físico, los astrónomos matemáticos respondían que el problema físico no les importaba y que su finalidad era determinar las posiciones de los planetas sin ocuparse del mecanismo que los llevaba al lugar determinado por el cálculo.

Yo, por mi parte, pienso que Tolomeo se decide por esta ruptura entre la astronomía física y la matemática porque cree en la astrología y porque desde el punto de vista astrológico, como desde el punto de vista práctico, era efectivamente inútil saber cómo, física y realmente, los planetas llegan a un lugar dado. Lo que es importante es saber calcular sus posiciones para poder deducir sus consecuencias astrológicas.

No quiero extenderme en este problema aunque sea importante, y aunque la divergencia entre las dos astronomías haya subsistido durante largo tiempo, en realidad hasta Copérnico y Kepler. Los astrónomos árabes, en la Edad Media, muy razonablemente, intentaron restablecer la unidad, sustituyendo las esferas u orbes corporales por los círculos puramente matemáticos de Tolomeo. En el mundo cristiano sucedió lo mismo. Cito al gran astrónomo Peurbach, quien logró constituir un modelo de los movimientos planetarios (sin poder reducir, sin embargo, estos movimientos planetarios a revoluciones uniformes), y, con un número relativamente muy pequeño de esferas materiales, explicar todos sus movimientos.

La gran revolución que desplazó a la Tierra del centro del universo y la lanzó al espacio, data de hace poco; y, sin embargo, es muy difícil comprender los motivos que guiaron el pensamiento de Copérnico. Es cierto que, por un lado, hubo un motivo físico. La imposibilidad de una explicación física, mecánica, de la astronomía de Tolomeo, ese famoso ecuante que introducía en los cielos un movimiento no uniforme, le parecía verdaderamente inadmisibles; por eso su discípulo Rético nos dice que la gran ventaja de la nueva astronomía consiste en el hecho de que nos libera de los ecuantos, es decir, que nos da al fin una imagen coherente de la realidad cósmica, y no dos imágenes, una la de los filósofos y otra la de los astrónomos matemáticos, que, por lo demás, no concordaban entre sí.

Además, esta nueva imagen simplificaba la estructura general del universo explicando —y vean que es siempre la misma

tendencia: búsqueda de la coherencia inteligible de lo real, que explique el desorden del propio fenómeno— las irregularidades aparentes de los movimientos planetarios, reduciéndolos justamente a puras «apariencias» irreales; efectivamente, estas irregularidades aparentes (paraos, retrogradaciones, etc.) la mayoría de las veces resultaban ser simples efectos secundarios, a saber, proyecciones en el cielo de los movimientos de la Tierra misma.

Una tercera ventaja de esta teoría era la relación sistemática que establecía entre los fenómenos celestes por el hecho de que las apariencias, es decir, los datos de la observación relativos a los diversos planetas, se encontraban explicados, por lo menos en parte, por un único factor, el movimiento de la Tierra. Por tanto, se podía deducir de ella más fácilmente los movimientos verdaderos y los movimientos reales.

¿Cómo llegó Copérnico a su concepción? Es muy difícil de decir, porque lo que él mismo nos cuenta no lleva a su astronomía. Nos dice que encontró testimonios relativos a los autores antiguos que habían intentado explicar las cosas de un modo distinto a como lo hace Tolomeo, los cuales principalmente habían propuesto hacer del Sol el centro de los movimientos de los planetas inferiores (Venus y Mercurio) y que se dijo que se podía intentar hacer lo mismo para los otros.

Pero esto le habría llevado a constituir una astronomía del tipo de la que Tycho Brahe desarrolló después de él. Además, es curioso constatar que nadie intentó hacer esto antes que Copérnico. Esto es algo que lógicamente debería colocarse entre Tolomeo y Copérnico. Lo cual nos enseña que la historia del pensamiento científico no es enteramente lógica. Por eso, para comprender su evolución hay que tener en cuenta factores extralógicos. Así, una de las razones —probablemente la más profunda— de la gran reforma astronómica operada por Copérnico, no era del todo científica.

Pienso, por mi parte, que si Copérnico no se detuvo en el estadió tycho-brahiano —admitiendo que lo hubiera considerado alguna vez—, fue por una razón de estética o de metafísica, por consideraciones de armonía. Siendo el Sol la fuente de la luz, y siendo la luz lo más bello y mejor del mundo, le parecía conforme a la razón que rige al mundo y que lo crea, que esta luminaria estuviera colocada en el centro del universo que se encarga de iluminar. Copérnico lo dice expresamente y creo que no hay ninguna razón para no creer en su adoración al Sol, sobre todo cuando el gran astrónomo que es Kepler, el que

inaugura verdaderamente la astronomía moderna, es todavía más heliolatra que Copérnico.

No puedo dejar de mencionar a Tycho Brahe, cuyo sistema astronómico, que habría debido aparecer antes de Copérnico, es un exacto equivalente de este último, con la diferencia de que Tycho Brahe admite que la Tierra es inmóvil y que el Sol, con todos los planetas que giran alrededor de él, gira alrededor de la Tierra.

¿Qué razones tenía para retroceder con relación a Copérnico? Creo que se vio llevado por dos clases de consideraciones de orden muy diferente: sus convicciones religiosas, por un lado, que no le permitían aceptar una doctrina contraria a las Sagradas Escrituras, y, por otro, la imposibilidad de admitir el movimiento de la Tierra desde el punto de vista de la física. Por eso insiste en las objeciones físicas contra este movimiento, en lo que, por otro lado, tiene razón: las objeciones físicas contra el movimiento de la Tierra eran irrefutables antes de la revolución científica del siglo XVII.

Me queda aún hablar de Kepler, cuya obra tampoco es enteramente científica y que está profundamente inspirada en la idea de la armonía, en la idea de que Dios ha organizado el mundo según las leyes de la armonía matemática; esto es para Kepler la clave de la estructura del Universo. En cuanto a los lugares respectivos que atribuye al Sol y a la Tierra es, por supuesto, copernicano y por la misma razón que Copérnico: el Sol para él representa a Dios, es el Dios visible del universo, símbolo del Dios creador que se expresa en el universo creado, y es por esto por lo que es necesario que esté en el centro de éste.

Sobre esta base metafísica Kepler edifica su obra científica, la cual, tanto en sus intenciones como en sus resultados, supera con mucho la de Copérnico. En efecto, la finalidad que persigue Kepler es muy ambiciosa y muy moderna: quiere reconstituir (o, más exactamente, establecer) la unidad de la concepción científica del mundo, la unidad entre la física y la astronomía. Por ello, la gran obra astronómica, la obra fundamental de Kepler, consagrada al planeta Marte, se llama *Astronomia nova Aιτιολογήτος seu physica coelestis* (La astronomía nueva o física celeste).

El razonamiento de Kepler está guiado por la idea de la explicación causal: si el Sol se encuentra en el centro del mundo, es necesario que los movimientos de los planetas no estén ordenados con relación a él de un modo geométrico u óptico —como en Copérnico—, sino que lo estén también de un modo

físico y dinámico. El esfuerzo de Kepler consiste de este modo en encontrar no sólo una concepción astronómica que permita ordenar y «superar» los fenómenos, sino también una concepción física que permita explicar por causas físicas el movimiento real de los cuerpos celestes en el mundo.

También insiste en el prefacio de la *Astronomia nova* en la necesidad de esta unificación de la física celeste y de la física terrestre, en el hecho de que el Sol no es simplemente el centro del mundo y que no se limita a iluminar dejando marchar fuera e independientemente de él los mecanismos motores de los planetas, cada uno completo en sí mismo, sino que debe ejercer una influencia física en los movimientos de los cuerpos astrales.

No tengo, desgraciadamente, tiempo de decirles más sobre la estructura del pensamiento de Kepler y la elaboración técnica de su doctrina. Lo que es curioso y divertido es que Kepler, en la deducción de las famosas leyes que llevan su nombre y que todo el mundo conoce, a saber, que los cuerpos celestes se mueven en elipses y que los espacios barridos por sus radios vectores son proporcionales al tiempo, comete un doble error. Pero los errores se compensan, de forma que su deducción llega a ser exacta gracias precisamente a este doble error.

Probablemente porque Kepler quería, desde el principio, encontrar una solución nueva al problema de los movimientos planetarios, una física celeste, una astronomía causal (*Aιτιολογήτος*), no intentó —lo que era factible—, después de haber encontrado que la trayectoria real de Marte era una elipse, reproducir esta elipse por una combinación de círculos, sino que sustituyó en seguida el mecanismo de los círculos, esferas u orbes que guían y transportan los planetas por la idea de una fuerza magnética que, emanando del Sol, dirige sus movimientos.

Se podría decir, lanzando una mirada de conjunto a la evolución del pensamiento astronómico, que se esforzó primeramente en descubrir la realidad ordenada de los movimientos de los astros subyacente en el desorden de las apariencias. Para hacerlo, los griegos emplearon los únicos medios matemáticos y físicos que les permitía el estado de los conocimientos científicos de su época, es decir, la idea del movimiento natural circular; de ahí la necesidad de explicar los movimientos aparentes por una superposición y acumulación de movimientos circulares. El fracaso de Tolomeo acabó por necesitar una transformación de la física misma, y la astronomía no triunfó con Kepler y tampoco con Newton más que fundándose en una física nueva.

Se podría concebir igualmente esta evolución bajo el aspecto del estudio de las dimensiones del Universo. Ya he dicho que el universo griego, el cosmos griego (y medieval) era finito; era sin duda bastante grande —con relación a las dimensiones de la Tierra—, pero no lo suficiente como para poder alojar en él una Tierra móvil, una Tierra que gira alrededor del Sol. La concepción de la finitud necesaria del universo estelar, del universo visible, es completamente natural: vemos una bóveda celeste; podemos concebirla como muy lejana, pero es extremadamente difícil admitir que no existe y que las estrellas están distribuidas en el espacio sin orden, sin ton ni son, a distancias inverosímiles y diferentes las unas de las otras. Esto implica una verdadera revolución intelectual.

Las objeciones a la infinitud e incluso a la extensión desmesurada del universo son de un alcance considerable; por eso se encuentran a lo largo de toda la historia de la astronomía. Así, Tycho Brahe objeta a Copérnico que en su sistema, la distancia entre el Sol y las estrellas sería *como mínimo* 700 veces la distancia del Sol a la Tierra, lo que le parece absolutamente inadmisibles y en absoluto requerido por los datos de la observación (no armada de telescopios). Ahora bien, es en virtud de razones análogas por lo que Kepler, que admite el movimiento orbital de la Tierra y en consecuencia está obligado a extender las dimensiones de nuestro universo en la medida necesaria para explicar la ausencia de paralajes de las estrellas fijas, no puede de todos modos admitir la infinitud del mundo. La bóveda celeste o nuestro mundo celeste sigue siendo para él necesariamente finito. El mundo celeste es inmensamente grande; su diámetro equivale a seis millones de veces el diámetro terrestre, pero es finito. La infinitud del mundo es metafísicamente imposible. Además, no parece imponerla ninguna consideración científica.

Giordano Bruno es casi el único en admitirla; pero justamente Bruno no es ni astrónomo ni sabio; es un metafísico cuya visión del mundo se adelanta a la de la ciencia de su tiempo. Pues sólo con Newton, por razones científicas, sin duda, puesto que la física clásica, la física galileana, postula la infinitud del universo y la identidad del espacio real con el de la geometría, pero también por razones teológicas, se encuentra afirmada la infinitud del universo astral.