

Nicolás Copérnico: *Breve exposición de sus hipótesis acerca de los movimientos celestes (Commentariolus)*

Observo que nuestros predecesores recurrieron a un elevado número de esferas celestes a fin, sobre todo, de poder explicar el movimiento aparente de los planetas respetando el principio de uniformidad. En verdad parecía completamente absurdo que un cuerpo celeste no se moviera uniformemente a lo largo de un círculo perfecto. Pero se dieron cuenta de que mediante distintas composiciones y combinaciones de movimientos uniformes podían lograr que un cuerpo pareciera moverse hacia cualquier lugar del espacio.

Calipo y Eudoxo, que trataron de resolver el problema por medio de círculos concéntricos, no fueron sin embargo capaces de dar cuenta por este procedimiento de todos los movimientos planetarios. No sólo tenían que explicar las revoluciones aparentes de los planetas, sino también el hecho de que tales cuerpos tan pronto nos parezcan ascender como descender, fenómeno éste incompatible con el sistema de círculos concéntricos. Ese es el motivo de que pareciera mejor explicar excéntricas y epiciclos, preferencia que casi todos los sabios acabaron secundando.

Las teorías planetarias propuestas por Ptolomeo y casi todos los demás astrónomos, aunque guardaban un perfecto acuerdo con los datos numéricos, parecían comportar una dificultad no menor. Efectivamente, tales teorías sólo resultaban satisfactorias al precio de tener asimismo que imaginar ciertos ecuantos, en razón de los cuales el planeta parece moverse con una velocidad siempre uniforme, pero no con respecto a su deferente ni tampoco con respecto a su propio centro. Por ese motivo, una teoría de estas características no parecía ni suficientemente elaborada ni tan siquiera suficientemente acorde con la razón.

Habiendo reparado en todos estos defectos, me preguntaba a menudo si sería posible hallar un sistema de círculos más racional, mediante el cual se pudiese dar cuenta de toda irregularidad aparente sin tener para ello que postular movimiento alguno distinto del uniforme alrededor de los centros correspondientes, tal y como el principio del movimiento perfecto exige. Tras abordar este problema tan extraordinariamente difícil y casi insoluble, por fin se me ocurrió cómo se podría resolver por recurso a construcciones mucho más sencillas y adecuadas que las tradicionalmente utilizadas, a condición únicamente de que se me concedan algunos postulados. Estos postulados, denominados axiomas, son los siguientes.

PRIMER POSTULADO

No existe un centro único de todos los círculos o esferas celestes.

SEGUNDO POSTULADO

El centro de la Tierra no es el centro del mundo, sino tan sólo el centro de gravedad y el centro de la esfera lunar.

TERCER POSTULADO

Todas las esferas giran en torno al Sol, que se encuentra en medio de todas ellas, razón por la cual el centro del mundo está situado en las proximidades del Sol.

CUARTO POSTULADO

La razón entre la distancia del Sol a la Tierra y la distancia a la que está situada la esfera de las estrellas fijas es mucho menor que la razón entre el radio de la Tierra y la distancia que separa a nuestro planeta del Sol, hasta el punto de que esta última resulta imperceptible en comparación con la altura del firmamento.

QUINTO POSTULADO

Cualquier movimiento que parezca acontecer en la esfera de las estrellas fijas no se debe en realidad a ningún movimiento de ésta, sino más bien al movimiento de la Tierra. Así, pues, la Tierra -junto a los elementos circundantes- lleva a cabo diariamente una revolución completa alrededor de sus polos fijos, mientras que la esfera de las estrellas y último cielo permanece inmóvil.

SEXTO POSTULADO

Los movimientos de que aparentemente está dotado el Sol no se deben en realidad a él, sino al movimiento de la Tierra y de nuestra

propia esfera, con la cual giramos en torno al Sol exactamente igual que los demás planetas. La Tierra tiene, pues, más de un movimiento.

SÉPTIMO POSTULADO

Los movimientos aparentemente retrógrados y directos de los planetas no se deben en realidad a su propio movimiento, sino al de la Tierra. Por consiguiente, éste por sí solo basta para explicar muchas de las aparentes irregularidades que en el cielo se observan.

Una vez establecidos estos postulados, voy a tratar de mostrar brevemente cómo puede preservarse sistemáticamente la uniformidad de los movimientos. Me ha parecido que, en beneficio de la brevedad, convendría prescindir aquí de las demostraciones matemáticas, que reservo para una obra más amplia. No obstante, en el curso de las explicaciones de los círculos se darán las longitudes de los radios de las esferas y, gracias a ello, cualquiera mínimamente versado en matemáticas podrá advertir con facilidad cuán estrecha es la correspondencia entre esta disposición de círculos y los datos numéricos y las observaciones.

No se crea, pues, que -como los pitagóricos- he afirmado a la ligera el movimiento de la Tierra: en mi exposición acerca de los círculos podrá hallarse un argumento de peso en su favor. De hecho, los argumentos a los que recurren los filósofos naturales para demostrar la inmovilidad de la Tierra se basan por lo común en las apariencias: son estos argumentos los primeros en derrumbarse aquí, puesto que la propia inmovilidad de la Tierra se interpreta como una apariencia.

EL ORDEN DE LAS ESFERAS

Las esferas celestes se inscriben unas dentro de otras según el orden siguiente. La superior es la esfera inmóvil de las estrellas fijas, que contiene a todas las demás cosas y les da un lugar. Inmediatamente después se encuentra la esfera de Saturno, seguida por la de Júpiter y, a continuación, por la de Marte. Debajo de ésta se halla la esfera en la que nosotros giramos, a la cual siguen la esfera de Venus y, finalmente, la de Mercurio. La esfera lunar, por su parte, gira en torno al centro de la Tierra y es arrastrada con ella a la manera de un epiciclo. Idéntico orden guardan asimismo las velocidades de revolución

de las esferas, según sean mayores o menos los círculos que trazan. Así, el período de revolución de Saturno es de treinta años, de doce el de Júpiter, dos el de Marte, un año el de la Tierra, nueve meses el de Venus y tres el de Mercurio.

LOS MOVIMIENTOS APARENTES DEL SOL

La Tierra tiene tres movimientos. En primer lugar, gira anualmente sobre un gran círculo alrededor del Sol, siguiendo el orden de los signos y describiendo siempre arcos iguales en tiempos iguales: la distancia que media entre el centro del círculo y el centro del Sol es de una veinticincoava parte del radio de dicho círculo. Así, pues, dado que se supone que la longitud de este radio es inapreciable en comparación con la altura de las estrellas fijas, parecerá que es el Sol el que gira con este movimiento, como si la Tierra permaneciese estacionaria en el centro del mundo. Sin embargo, no es el movimiento del Sol el responsable de esta apariencia, sino más bien el movimiento de la Tierra, de manera que cuando ésta se encuentra, por ejemplo, en Capricornio, el Sol se verá en la posición diametralmente opuesta, Cáncer, y así sucesivamente. De igual modo, y debido -como ya se ha dicho- a la distancia que separa al Sol del centro del círculo su movimiento no parecerá uniforme, siendo $2\frac{1}{6}^{\circ}$ la máxima desigualdad alcanzada. La línea que va del Sol al centro del gran círculo está invariablemente dirigida al punto del firmamento situado a unos 10° al Oeste de la más luminosa de las dos estrellas centelleantes de la cabeza de los Gemelos. Por lo tanto, el Sol se encontrará a su distancia máxima con respecto a la Tierra cuando ésta se halle en el lugar opuesto a dicho punto y el centro del círculo esté entre ambos cuerpos. Y no es la Tierra la única que gira en ese círculo, puesto que con ella, y al mismo tiempo, lo hace cuanto está incluido en la esfera lunar.

El segundo movimiento de la Tierra, que le es enteramente propio, es la rotación diaria sobre sus polos siguiendo el orden de los signos, es decir, hacia el Este: en virtud de dicho movimiento todo el universo parece girar con una velocidad vertiginosa. La Tierra rota, pues, junto al agua y al aire circundante.

El tercer movimiento es el de la declinación. En efecto, el eje de rotación no es paralelo al eje del gran círculo, sino que en nuestros días guarda una inclinación de $23\frac{1}{2}^{\circ}$ con respecto a éste. Por consiguiente, mientras que el centro de la Tierra yace siempre en el plano de la eclíptica (esto es, sobre la circunferencia del gran círculo), sus polos rotan, describiendo pequeños círculos alrededor de centros

equidistantes del eje del gran círculo. El período de revolución es de aproximadamente un año, casi igual al del gran círculo. Pero el eje de éste mantiene una orientación invariable hacia ciertos puntos de la esfera de las estrellas fijas denominados polos de la eclíptica. Del mismo modo, el movimiento de declinación, combinado con el movimiento anual, mantendría a los polos de rotación orientados siempre hacia los mismos puntos del cielo si los períodos de revolución de dichos movimientos fueran exactamente iguales. Pero, sin embargo, con el paso del tiempo se ha evidenciado que esta inclinación de la Tierra con respecto a las estrellas fijas es variable; ésa y no otra ha sido la fuente de la opinión generalizada según la cual la propia esfera de las estrellas estaría dotada de diversos movimientos conforme a una ley aún no suficientemente comprendida. Ahora bien, el movimiento de la Tierra permite explicar estos fenómenos de forma menos sorprendente. No me corresponde a mí decir a qué están fijos los polos. Sé muy bien que, en las cosas más mundanas, una aguja de hierro imantada apunta siempre en la misma dirección. No obstante, me ha parecido preferible explicar este fenómeno mediante una esfera, cuyo movimiento afecta al de dichos polos; tal esfera deberá ser, sin duda, una esfera sublunar.

LOS MOVIMIENTOS UNIFORMES NO DEBEN REFERIRSE A LOS EQUINOCCIOS, SINO A LAS ESTRELLAS FIJAS

Dado que los equinoccios y los otros puntos cardinales del universo se desplazan considerablemente, todo aquel que trate de establecer a partir de ellos una duración constante de la revolución anual está necesariamente abocado al error. En efecto, a lo largo del tiempo se han realizado numerosas observaciones que han puesto de relieve cómo tal duración es desigual. Hiparco la estimó en $365 \frac{1}{4}$ días, mientras que Albategnius el caldeo consideró que era de 365 días, 5 horas y 46 minutos, esto es, $13\frac{3}{5}$ ó $13 \frac{1}{3}$ minutos menos que el valor establecido por Ptolomeo. El Hispalense, en cambio, incrementó en una veinteava parte de una hora la duración estimada por Albategnius, puesto que computó un año trópico de 365 días, 5 horas y 49 minutos.

Que nadie crea, sin embargo, que estas diferencias se deben a errores de observación, puesto que, si se examinan cuidadosamente todas ellas, se descubrirá que la base de la discrepancia siempre ha estado en el desplazamiento de los equinoccios. Así, cuando los puntos cardinales se desplazaban un grado cada cien años, tal y como se vio

que sucedía en la época de Ptolomeo, la duración del año era efectivamente la señalada por éste. Ahora bien, cuando en los siglos sucesivos estos puntos llegaron a desplazarse con mayor rapidez, puesto que se oponían a movimientos más lentos, el año ha acabado siendo tanto más corto cuanto mayor es el desplazamiento de los puntos: debido a la más rápida recurrencia de los equinoccios, el movimiento anual se lleva a cabo en un lapso de tiempo más breve. Por lo tanto, convendrá referir la duración constante del año a las estrellas fijas. Eso es lo que yo he hecho, eligiendo la Espiga de Virgo, y he podido constatar que el año [sidéreo] siempre ha sido de 365 días, 6 horas y -aproximadamente- 10 minutos, lo cual coincide con la estimación que hicieron los antiguos egipcios. Este mismo principio debe aplicarse también a los demás movimientos planetarios, ya que sus ápsides, también fijos con respecto a las estrellas, nos permiten conocer -mediante un testimonio veraz- las leyes de aquellos movimientos, así como el cielo mismo.

LA LUNA

La Luna tiene, a mi modo de ver, cuatro movimientos, además de la revolución anual ya mencionada. Así, gira una vez al mes sobre su deferente alrededor del centro de la Tierra y siguiendo el orden de los signos. Este deferente transporta a su vez el epiciclo que habitualmente se conoce como epiciclo de la primera desigualdad o argumento, pero al que yo me voy a referir como primer epiciclo o epiciclo mayor. El período de revolución de este epiciclo, que en su parte superior gira en sentido contrario al deferente, es de poco más de un mes; acoplado a él hay un segundo epiciclo. La Luna, emplazada en este segundo epiciclo, efectúa, por último, dos revoluciones al mes en sentido contrario al epiciclo mayor, de manera que siempre que el centro de éste corte la línea que partiendo del centro del gran círculo pasa por el centro de la Tierra (a la cual denomino radio de la gran esfera), la Luna estará en su posición más próxima al centro del epiciclo mayor: esto sucede cuando hay luna nueva y luna llena. Por el contrario, en las cuadraturas, es decir, a medio camino entre estas dos posiciones, la Luna se hallará en su posición más alejada del centro del epiciclo mayor. La razón entre el radio del epiciclo mayor y el radio del deferente es de $1\frac{1}{18}$: 10, en tanto que la razón entre aquél y el radio del epiciclo menor es de $4\frac{3}{4}$.

Así, pues, a consecuencia de estos movimientos, la Luna tan pronto parece descender como ascender, unas veces deprisa y otras más lentamente: a esta primera desigualdad el movimiento del epiciclo menor añade otras dos irregularidades. En efecto, impide el movimiento uniforme de la Luna sobre la circunferencia del epiciclo mayor, alcanzando la máxima desigualdad un valor de $12\frac{1}{4}$ de una circunferencia de la misma longitud o diámetro. Además, tan pronto aproxima la Luna al centro del epiciclo mayor como la aleja del mismo, siempre dentro de los límites del epiciclo menor. Por consiguiente, y dado que la Luna describe círculos irregulares alrededor del centro del epiciclo mayor, la primera desigualdad experimenta variaciones considerables: mientras que en las conjunciones y las oposiciones con el Sol su valor máximo no excede de $4^{\circ} 56'$, en las cuadraturas llega hasta $7^{\circ} 36'$.

Aquéllos que piensan que es posible dar cuenta de esta variación por medio de un círculo excéntrico no sólo introducen un movimiento no uniforme, sino que incurren en dos errores manifiestos. Efectivamente, de su teoría se sigue -en virtud del análisis matemático- que cuando la Luna está en una cuadratura y se halla al mismo tiempo en la parte inferior del epiciclo, debería parecer casi cuatro veces más grande (al menos si toda ella resplandeciera) que durante la luna nueva y la llena, salvo que se afirme imprudentemente que su tamaño realmente aumenta y disminuye. Del mismo modo, puesto que el tamaño de la Tierra resulta apreciable en comparación con su distancia a la Luna, la paralaje lunar debería aumentar enormemente en las cuadraturas. Pero basta observar con la suficiente atención para poder constatar que tanto el tamaño aparente como la paralaje de la Luna difieren muy poco en las cuadraturas y en las fases de la luna nueva y luna llena; de ahí que no se pueda poner fácilmente en duda que mi teoría sea la más próxima a la verdad.

Así, pues, con estos tres movimientos en longitud, la Luna pasa por los puntos de su movimiento en latitud. Los ejes de los epiciclos son paralelos al eje de la esfera y, en consecuencia, la Luna no se aparta nunca del plano de ésta. Ahora bien, el eje de la esfera lunar está inclinado con respecto al eje del gran círculo o eclíptica, razón por la cual la Luna sí que se separa del plano de ésta. Dicha declinación viene determinada por el ángulo resultante de una intersección de 5° con la circunferencia de un círculo. Los polos de la esfera lunar giran paralelamente al eje de la eclíptica, de forma muy similar a cuanto acerca de la declinación se ha explicado más arriba. No obstante, ahora se mueven en sentido contrario al orden de los signos y su

velocidad es mucho menor, invirtiendo 19 años en cada revolución. Se suele creer que este movimiento tiene lugar en alguna esfera superior, a la cual estarían acoplados los polos de manera que pudieran girar en la forma que se acaba de describir. Tal parece ser, pues, el mecanicismo de los movimientos de la Luna.

LOS TRES PLANETAS SUPERIORES: SATURNO, JÚPITER Y MARTE.

Saturno, Júpiter y Marte tienen un sistema de movimientos similar, puesto que sus deferentes circunscriben por completo al gran círculo del movimiento anual y siguen asimismo el orden de los signos en sus revoluciones en torno a un centro común, que no es sino el centro del gran círculo. Ahora bien, la esfera de Saturno tarda 30 años en cada revolución, doce la de Júpiter y 23 meses la de Marte, como si el tamaño de las esferas redundara en una menor velocidad de revolución. En efecto, si dividiéramos en 25 partes el radio del gran círculo, el radio de Marte equivaldría a 38 de las mismas, el de Júpiter a $130\frac{5}{12}$ y el de Saturno a $230\frac{5}{6}$. Por radio entiendo la distancia que media entre el centro del deferente y el centro del primer epiciclo. Cada deferente tiene, en efecto, dos epiciclos, uno de los cuales transporta al otro, de forma muy parecida a cuanto se ha dicho a propósito de la Luna, aunque de acuerdo con una disposición distinta. El primer epiciclo gira en sentido contrario al deferente, pero sus períodos de revolución son iguales. Por su parte, el segundo epiciclo, que es el que transporta al planeta, gira en sentido contrario al primero con una velocidad de revolución dos veces mayor, de forma tal que siempre que este segundo epiciclo se encuentre a su distancia máxima o mínima respecto del centro del deferente, el planeta estará en una posición más próxima al centro del primer epiciclo; por el contrario, cuando el segundo epiciclo se halle a un cuarto de círculo de las posiciones precedentes, esto es, a medio camino entre ambas, el planeta alcanzará su distancia máxima con respecto al centro del primer epiciclo. De la composición de estos movimientos del deferente y de los dos epiciclos, así como de la igualdad de sus revoluciones, resultará que el máximo alejamiento y la máxima aproximación acaecen siempre en lugares fijos por referencia a la esfera de las estrellas y que en todos los puntos de sus trayectorias los planetas se ajustan a esquemas de movimiento invariables. A consecuencia de ello, sus ápsides permanecen fijos: el de Saturno, cerca de la estrella conocida como el codo de Sagitario; el de Júpiter,

a 8° al Este de la estrella conocida como el extremo de la cola de Leo; el de Marte, a $6\frac{1}{2}^{\circ}$ al Oeste del corazón de Leo.

Por lo que respecta a las dimensiones de los epiciclos, son las siguientes. Tomando como unidad la veinticincoava parte del radio del gran círculo, diremos que el radio del primer epiciclo de Saturno es de 19,41 unidades, en tanto que el segundo epiciclo tiene un radio de 6,34 unidades. Por lo que respecta a Júpiter, su primer epiciclo tiene un radio de 10,6 unidades y de 3,22 el segundo. En Marte, el radio del primer epiciclo es de 5,34 unidades y el del segundo de sólo 1,51. Así, pues, en todos estos casos el radio del primer epiciclo es unas tres veces mayor que el del segundo. A esta desigualdad producida en el deferente por el movimiento de los epiciclos se le ha dado en llamar primera desigualdad; ésta, como ya se ha dicho, tiene siempre lugar en puntos de sus trayectorias invariables con respecto a las estrellas fijas.

Existe una segunda desigualdad, en virtud de la cual el planeta parece a veces experimentar retrogradaciones, y en muchas ocasiones, detenerse. La razón de ello no ha de buscarse en el propio movimiento del planeta, sino en el de la Tierra a medida que cambia de posición a lo largo del gran círculo. Puesto que el movimiento terrestre es más rápido que el movimiento del planeta, el radio visual que pasa por éste se desplaza en sentido retrógrado -teniendo como referencia la esfera de las estrellas fijas- y el movimiento de la Tierra aventaja al planeta. Todo esto resulta mucho más evidente cuando la Tierra está en su posición más cercana al planeta, es decir, cuando -en la aparición vespertina de éste- aquélla se encuentra entre el Sol y el planeta. Por el contrario, durante el ocaso vespertino o el orto matutino el movimiento de la Tierra hace que el radio visual que pasa por el planeta se desplace en sentido directo. Pero cuando el radio visual se desplaza en sentido contrario al del movimiento del planeta y con igual velocidad, éste parece estacionario, habida cuenta de que los movimientos opuestos se anulan entre sí; esto generalmente acontece cuando el ángulo formado por el Sol, la Tierra y el planeta en cuestión es de 120° . En todos estos casos la desigualdad resulta tanto mayor cuanto inferior sea la posición del deferente sobre el que se mueve el planeta; de ahí, pues, que sea menor en el caso de Saturno que en el de Júpiter y que todavía aumente más en Marte, proporcionalmente a la razón entre el radio del gran círculo y los radios de los respectivos deferentes. La desigualdad alcanza su valor máximo en cada caso cuando la línea visual que pasa por el planeta es tangente a la circunferencia del gran círculo. Por eso nos parece errar estos tres planetas.

Los planetas presentan además una doble desviación en latitud. Como quiera que las circunferencias de los epiciclos permanecen siempre en el mismo plano que su deferente, habrán de estar consiguientemente inclinadas con respecto a la eclíptica. Esta inclinación es idéntica a la inclinación de los polos, los cuales –a diferencia de lo que sucedía en el caso de la Luna, donde giraban en torno a sí mismos– guardan una orientación invariable por referencia a una misma región del cielo. Por lo tanto, las intersecciones del deferente y la eclíptica –llamadas nodos– mantienen asimismo posiciones fijas en el firmamento. Así, el nodo a partir del cual el planeta comienza a ascender hacia el Norte está, en el caso de Saturno, a $8\frac{1}{2}^{\circ}$ al Este de la estrella situada en la cabeza del más oriental de los Gemelos; para Júpiter, a 4° al Oeste de esta misma estrella; y, para Marte, a $6\frac{1}{2}^{\circ}$ al Oeste de las Pléyades. En consecuencia, cuando un planeta se encuentra en uno cualquiera de sus nodos no tiene latitud. Sin embargo, su latitud es máxima, que tiene lugar a un cuarto de círculo de los nodos, experimenta una notable desigualdad. En efecto, la inclinación de los ejes y de los círculos parece oscilar en torno a la línea de los nodos; de hecho, alcanza su valor máximo cuando la Tierra está en su posición más próxima al planeta, esto es, durante la aparición vespertina de éste. El eje presenta entonces una inclinación de $2\frac{2}{3}^{\circ}$ en el caso de Saturno, $1\frac{2}{3}^{\circ}$ para Marte. Esta desigualdad es, pues, especialmente manifiesta en las latitudes máximas, decreciendo a medida que el planeta se acerca a sus nodos: dicha desigualdad aumenta y disminuye uniformemente con la latitud.

Constatamos asimismo que el movimiento de la Tierra a lo largo del gran círculo produce las variaciones observadas en las latitudes, dado que su proximidad o lejanía con respecto al planeta hace que aumenten o disminuyan los ángulos de la latitud aparente, conforme el análisis matemático requiere. Ahora bien, puesto que este movimiento de libración se produce según una línea recta, no será difícil ver cómo puede componerse a partir de los movimientos de dos esferas: siendo éstas concéntricas, la superior hace girar, a medida que ella misma se mueve, los polos de la esfera inmediatamente inferior, cuyo eje está inclinado, en tanto que esta otra –que gira en sentido contrario a aquélla y con una velocidad doble– imprime su movimiento a los polos de la esfera que transporta a los epiciclos. Además, el eje de éstos presenta, en relación al eje de los polos de la esfera inmediatamente superior, una inclinación igual a la del eje de los polos de esta última con respecto al eje de los polos de la esfera superior a todas.

Hasta aquí lo que se refiere a Saturno, Júpiter y Marte, así como a las esferas que rodean a la Tierra.

VENUS

Queda aún por exponer la teoría de aquellos planetas circunscritos por el gran círculo, es decir, Venus y Mercurio. Venus presenta un sistema de círculos muy parecido al de los planetas superiores, pero sus movimientos responden a una regla diferente. El deferente y su epiciclo mayor tienen un período de revolución idéntico, nueve meses, tal y como se dijo más arriba. En virtud de su movimiento compuesto, el epiciclo menor es conducido a lo largo de una trayectoria invariable con respecto a la esfera de las estrellas fijas y su ápside superior es fijado en aquel punto en dirección al cual el Sol -como ya se ha apuntado- se separa del centro del gran círculo. Por otra parte, el período de revolución del deferente y del epiciclo mayor, pero guarda una relación constante con el movimiento del gran círculo. Por cada revolución de éste, aquél lleva a cabo dos revoluciones completas; así, siempre que la Tierra se encuentre en la línea que prolonga el diámetro que pasa por el ápside, el planeta estará en su posición más cerca al centro del epiciclo mayor, mientras que alcanzará su posición más distante cuando la Tierra, situada sobre la perpendicular al diámetro que pasa por los ápsides, se halle a un cuarto de círculo de las posiciones precedentes. El epiciclo menor se comporta pues, en relación al Sol de forma muy similar a como lo hace el epiciclo menor de la Luna. La razón entre el radio del gran círculo y el radio del deferente de Venus es de 25 a 18; el valor del epiciclo mayor es de $\frac{3}{4}$ de una unidad y el del epiciclo menor de $\frac{1}{4}$.

En ocasiones también parece Venus experimentar ciertas retrogradaciones, sobre todo cuando se encuentra más cerca de la Tierra, exactamente igual que sucede en el caso de los planetas superiores, aunque por la razón contraria. Efectivamente, mientras que las retrogradaciones de éstos se deben a la mayor rapidez del movimiento terrestre, la velocidad de revolución de Venus supera a la de la Tierra; además, ahora la esfera terrestre circunscribe a la de Venus y no a la inversa (como era el caso de los planetas superiores). De ahí que Venus no esté nunca en oposición al Sol, dado que es imposible que la Tierra se interponga entre ambos; puede, sin embargo, moverse a uno y otro lado del Sol dentro de límites invariables, distancias que vienen determinadas por las tangentes a su circunferencia trazadas desde el centro de la Tierra y que nunca

exceden de 48° en nuestras observaciones. Este es el conjunto de movimientos que hace que Venus se desplace en longitud.

Su latitud también varía, debido a una doble razón. El ángulo de inclinación del eje de su esfera es de $2\frac{1}{2}^\circ$, en tanto que el nodo a partir del cual el planeta se eleva hacia el Norte coincide con su ápside. Aunque en sí misma tal inclinación sea única e invariable, a nosotros la desviación resultante nos parece ser de dos formas distintas. En efecto, cuando la Tierra se encuentra en la línea que pasa por los nodos de Venus, las desviaciones hacia arriba y hacia abajo a nosotros nos parecen transversales y reciben el nombre de reflexiones. Cuando, sin embargo, la Tierra está a una distancia de un cuarto de círculo de la línea de los nodos, las que se observan son las propias inclinaciones naturales del deferente, denominadas declinaciones. En todas las restantes oposiciones de la Tierra, estos dos tipos de latitud se confunden y se combinan entre sí: tan pronto supera una a la otra como a la inversa, sumándose o neutralizándose dichas latitudes conforme sean semejantes o diferentes.

La inclinación del eje presenta una libración variable, que -a diferencia de lo que sucedía en el caso de los planetas superiores- no depende de los nodos, sino de algunos otros puntos móviles que llevan a cabo revoluciones anuales con respecto al planeta. Como consecuencia de ello, siempre que la Tierra esté en oposición al ápside de Venus, la libración alcanzará su valor máximo para el planeta, con independencia de cuál pueda ser la posición de éste sobre el deferente. Esa es cierta latitud, ni en su ápside ni en el punto diametralmente opuesto; incluso encontrándose en los nodos presentará alguna latitud. La inclinación va disminuyendo hasta que la Tierra pasa a estar a un cuarto de círculo de la posición precedente, momento en que -debido a la igualdad de sus movimientos- el punto de máxima inclinación estará a la misma distancia del planeta: no cabe encontrar entonces el menor indicio de tal desviación. Posteriormente continúa produciéndose la oscilación en la desviación, descendiendo de Norte a Sur el punto inicial de la misma y alejándose constantemente del planeta hasta alcanzar una distancia igual a la que separa a la Tierra del ápside. De ese modo el planeta llega a aquella parte de su circunferencia que antes se encontraba al Sur, pero que ahora, sin embargo, en virtud de la ley de oposición, ha pasado a estar al Norte, donde permanece hasta que de nuevo alcanza su punto de mayor elevación, una vez recorrida la mitad del círculo de libración. Y entonces la desviación vuelve a ser idéntica a la inicial, e incluso en el mismo sentido, por lo que nuevamente cobra su valor máximo. Después, a lo largo del semicírculo restante, la desviación

sigue variando de forma exactamente igual a la primera mitad de su trayectoria. Ese es el motivo de que esta latitud, a la que generalmente se denomina desviación, no sea nunca austral.

También en este caso parece razonable suponer que estos fenómenos son producidos por dos esferas concéntricas de ejes oblicuos, tal y como ya expliqué a propósito de los planetas superiores.

MERCURIO

De todos los fenómenos celestes el más sorprendente es sin duda alguna el movimiento de Mercurio, que recorre caminos casi imposibles de seguir, hasta el punto de que no resulta nada fácil proceder a su estudio. A ello ha de añadirse aún otra dificultad, a saber, que su trayectoria permanece casi siempre invisible entre los rayos del Sol y en consecuencia el planeta sólo puede observarse durante un número muy reducido de días. No obstante, y a condición de que se agudice un poco más el ingenio, también se podrán llegar a comprender el movimiento de Mercurio.

Como en el caso de Venus, es preciso atribuir a Mercurio dos epiciclos que giran sobre su deferente. Los períodos de revolución del epiciclo mayor y del deferente son iguales, tal y como sucedía con Venus, mientras que el ápside se fija a $14\frac{1}{2}^{\circ}$ al Este de la Espiga de Virgo. Por su parte, el epiciclo menor lleva a cabo una doble revolución, si bien se ajusta a una ley opuesta a la que rige el movimiento de Venus: así cuando la Tierra se encuentra por encima del ápside de Mercurio o en posición diametralmente opuesta al mismo, el planeta estará a su distancia máxima del centro del epiciclo mayor; por el contrario, se hallará en su posición más próxima cuando la Tierra esté a un cuarto de círculo del ápside. Ya señalé que la esfera de Mercurio invierte tres meses en cada revolución, 88 días para ser exactos, en tanto que su radio equivale a $9\frac{2}{5}$ unidades sobre las 25 antes estipuladas para el radio del gran círculo. Por lo demás, el radio del primer epiciclo contiene 14,1 unidades, siendo el valor del segundo epiciclo aproximadamente un tercio del de aquél, esto es, unas 0,34 veces de una unidad.

Pero tal combinación de círculos, suficiente en el caso de otros planetas, no lo es en el de Mercurio. Así, cuando la Tierra se encuentra con respecto al ápside en las posiciones señaladas más arriba, el planeta parece moverse sobre una circunferencia mucho menor de lo que requeriría el sistema de círculos apuntado y, a la inversa, sobre una circunferencia considerablemente mayor cuando la

Tierra está a un cuarto del círculo del ápside. Como quiera que, sin embargo, no se observa ninguna otra desigualdad en longitud, cabe concluir que la causa de este fenómeno reside en algún movimiento rectilíneo de acercamiento y alejamiento con respecto al centro del deferente. Dicho movimiento ha de estar necesariamente producido por dos pequeños círculos acoplados, cuyos ejes son paralelos al del deferente; el centro del epiciclo mayor, o del propio deferente, se encuentra a una distancia del centro del pequeño círculo contiguo exactamente igual a la que separa a éste del centro del pequeño círculo situado en una posición más exterior. Se ha estimado que esta distancia equivale a $14\frac{1}{2}$ minutos de una de las 25 unidades que me han servido como referencia para medir los tamaños de todas las esferas. El pequeño círculo exterior efectúa dos revoluciones en un año trópico, mientras que el pequeño círculo interior –que gira en sentido contrario con una velocidad doble– completa cuatro revoluciones en ese mismo lapso de tiempo. El movimiento compuesto hace que el centro del epiciclo mayor se desplace a lo largo de una línea recta, como ya se señaló a propósito de las libraciones en latitud. Por lo tanto, cuando la Tierra se halla en las posiciones relativas al ápside que antes se indicaron, el centro del epiciclo mayor estará en su posición más próxima al centro del deferente; su posición más alejada advendrá cuando la Tierra se encuentre a un cuarto de círculo del ápside. Ahora bien, cuando ocupe cualquiera de las posiciones intermedias –es decir, a 45° de las posiciones precedentes– el centro del epiciclo mayor coincidirá por completo con el centro del pequeño círculo exterior. La amplitud de este movimiento de acercamiento y alejamiento es de 29 minutos de una de las unidades previamente estipuladas. Hasta aquí la explicación del movimiento de Mercurio en longitud.

Su movimiento en latitud es exactamente igual al de Venus, aunque siempre en sentido contrario: mientras Venus va hacia el Norte, Mercurio lo hace hacia el Sur. La inclinación de la esfera de Mercurio con respecto a la eclíptica es de 7° ; presenta asimismo una desviación, siempre austral, que no excede nunca de $\frac{3}{4}^\circ$. Respecto a todo lo demás, y a fin de evitar la repetición de las mismas cosas, bastará con remitir a cuanto se ha dicho acerca de la latitud de Venus.

Así, pues, el movimiento de Mercurio requiere un total de siete círculos; cinco el de Venus; tres el de la Tierra; cuatro el movimiento de la Luna en torno a ésta; y cinco círculos cada uno los de Marte, Júpiter y Saturno. Por consiguiente, treinta y cuatro círculos son suficientes para explicar toda la estructura del universo y toda la danza de los planetas.