



Diciembre 2009

EL PROBLEMA DE LA POSICIÓN DE LA TIERRA EN EL UNIVERSO. SISTEMAS GEOCÉNTRICO Y HELIOCÉNTRICO

Francisco Javier Palanco López

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

Palanco López, F.J.: *El problema de la posición de la tierra en el universo. Sistemas geocéntrico y heliocéntrico*, en Contribuciones a las Ciencias Sociales, diciembre 2009. www.eumed.net/rev/cccss/06/fjpl3.htm

El movimiento de los cuerpos celestes ha despertado el interés del hombre desde lo más remoto de los tiempos. La evolución del conocimiento y comprensión por el hombre de los movimientos de los cuerpos celestes ha constituido uno de los procesos más interesantes de la historia de la ciencia y que más ha contribuido en la conformación del método científico.

El Universo en la antigüedad clásica

Para los griegos, la tendencia de los cuerpos a caer hacia la superficie de la Tierra era una propiedad inherente a todos los cuerpos que se encuentran en el dominio terrestre o “sublunar”. El Universo estaría formado por una materia celeste que giraría alrededor de la Tierra. Esta materia tendría su propio movimiento natural, un movimiento perfecto e inmutable sin principio ni fin: el movimiento circular. Era una concepción geocéntrica del Universo.

En la Grecia clásica se conocían siete astros que se movían sobre el fondo estrellado del firmamento. Junto al Sol y la Luna, los denominados planetas (que significa errante): Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno, describían trayectorias irregulares en períodos de tiempo largos. El estudio de este movimiento errático fue una de las principales preocupaciones de los astrónomos hasta el s. XVII.

Eudoxio de Cnidos (s. IV a.C.), discípulo de Platón, imaginó el Universo constituido por 27 esferas concéntricas que giraban en torno a la Tierra. La esfera más exterior correspondía a la bóveda celeste, en la que estaban fijadas las estrellas. Hacia el interior, encontraríamos las esferas en las que se situaban el Sol y los planetas. Estas esferas eran arrastradas en sus

giros unas por otras. Así, disponiendo los ejes según ángulos apropiados y eligiendo velocidades de rotación convenientes, podrían reproducirse los movimientos de estos cuerpos celestes según se observan desde la Tierra.

Aristóteles (S. IV a.C.), completó el modelo de Eudoxio añadiendo 29 esferas más, suponiendo la existencia de un móvil primario que haría girar la bóveda celeste con un ritmo regular de origen divino. A pesar de esta ampliación, quedaba sin explicar el hecho observado de que el Sol y los planetas apareciesen unas veces más cerca y otras más lejos (más o menos brillantes) de la Tierra. Sin embargo, Aristóteles ignoró los argumentos contra su teoría, al ajustarse ésta perfectamente a su Filosofía y su Mecánica.

Aristarco de Samos (s. III a.C.) propuso un esquema del Universo en el que el Sol se encontraba en el centro del mismo, de modo que la Tierra, la Luna y los otros cinco planetas giraban en torno al Sol, en órbitas de distintos radios y velocidades. Además, la Tierra gozaría de una rotación propia sobre su eje lo que explicaría el movimiento de las estrellas fijas. Este cambio de concepción cosmológica (la Tierra, morada de los dioses, ya no era centro del universo), condenó a Aristarco al ostracismo, por lo que el modelo heliocéntrico pasó desapercibido hasta 17 siglos más tarde.

El modelo geocéntrico de Ptolomeo

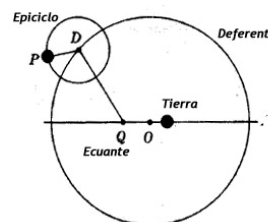
A partir del s. III a.C., se introdujeron modificaciones en el sistema geocéntrico primitivo de esferas concéntricas, intentando explicar las distancias cambiantes entre la Tierra y los planetas, pero manteniendo inmóvil a aquella.

Fue Claudio Ptolomeo de Alejandría (s. II a. C.) quien sintetizó dichas modificaciones en un importante libro de Astronomía que fue transmitido a la Europa occidental por los árabes con el nombre de *Almagesto*. El modelo incluía tres artificios: el movimiento excéntrico, el movimiento en epiciclos y los ecuantes.

El movimiento excéntrico consideraba a la Tierra en reposos pero no exactamente en el centro de rotación uniforme del Sol, la Luna y los planetas. Estos, describirían trayectorias circulares ligeramente excéntricas respecto a la Tierra. Así se explicaban las variaciones de las distancias.

El epiciclo consiste en una trayectoria circular uniforme, de pequeño radio, cuyo centro se desplaza a su vez sobre una circunferencia de mayor radio (deferente) y centrada en la Tierra. Con movimientos y radios diferentes, se pueden explicar las irregularidades de las trayectorias de los planetas.

Mediante el mecanismo del ecuante, el centro del epiciclo del planeta P, giraría alrededor de la deferente en un movimiento circular centrado en un punto O no coincidente con la Tierra (trayectoria excéntrica). Sin embargo, dicho movimiento no era uniforme respecto al punto O sino a otro punto en el espacio denominado ecuante (Q). Es decir, el ángulo formado por la Tierra, el ecuante y el centro del epiciclo (EQD) es el que varía uniformemente con el tiempo. El movimiento es circular respecto a O y uniforme respecto al ecuante.



Con estos tres artificios, Ptolomeo construyó un modelo geocéntrico que sería válido para astrónomos y navegantes durante más de 14 siglos, con tal de corregir de vez en cuando algún radio o velocidad, o añadir un epiciclo sobre otro.

El modelo heliocéntrico de Copérnico

En el siglo XVI, el moje polaco Nicolás Copérnico elaboró un sistema cosmológico en el que el Sol ocupaba el centro del Universo y los planetas (incluida la Tierra) recorren órbitas circulares a su alrededor. Tan solo la Luna seguía girando alrededor de la Tierra. Las estrellas fijas estarían en una esfera inmóvil con una rotación aparente debida a la rotación real del Tierra sobre su eje polar.

El sistema copernicano supuso la ruptura definitiva con la cosmología aristotélica, pero la publicación de su obra, *De Revolutionibus Orbium Celestium* (1543) tras su muerte, provocó una fuerte oposición tanto por parte de las autoridades religiosas (católicas, protestantes y

judías) como del mundo científico. Su obra fue prohibida por la Iglesia y sus defensores fueron perseguidos, encarcelados (Galileo) e incluso quemados en la hoguera (Giordano Bruno).

Además de las consecuencias religiosas, la teoría heliocéntrica fue puesta en duda por los hombres de ciencia de la época, pues aparte de su aparente simplicidad, no presentaba ninguna ventaja frente a la vieja teoría, ni tampoco había una sola observación que no pudiese ser explicada por ambas teorías. Habría que esperar más de un siglo para la aceptación definitiva del heliocentrismo.

Las Leyes de Kepler

La controversia generada por el modelo copernicano estimuló las observaciones astronómicas. Tycho Brahe (S. XVI) pasó parte de su vida dedicado a la observación de los astros con grandes sextantes y brújulas que le permitieron registrar las posiciones de planetas y estrellas con bastante precisión.

Brahe con aceptó la teoría heliocéntrica, y propuso un modelo mixto en el que la Tierra seguía siendo el centro del Universo, con un Sol y una Luna girando alrededor de ella, pero con el resto de planetas girando alrededor del Sol. Aunque estaba equivocado, Brahe dejó un catálogo muy completo con la descripción rigurosa de los movimientos de los planetas durante 20 años de observaciones.

Los datos recopilados por Brahe fueron estudiados, analizados e interpretados por su discípulo Johannes Kepler (ss. XVI-XVII), el cual no sólo aceptó la teoría copernicana sino que su principal preocupación fue su perfeccionamiento. Sus trabajos se dirigieron a reproducir los movimientos de los planetas de acuerdo con los datos de su maestro. Comprobó que al intentar ajustar esos datos a las órbitas, aparecían diferencias. Por ello, reelaboró los datos y descubrió que la velocidad de los planetas no es constante, o sea su trayectoria no es circular y además estableció una relación entre el tamaño de las órbitas y el período de revolución de los planetas alrededor del Sol. Sus trabajos se resumen en las tres leyes que enunció así:

1ª Ley. *Todos los planetas se mueven en órbitas elípticas alrededor del Sol, ocupando éste la posición de uno de sus focos.*

2ª Ley. *El vector posición de cada planeta respecto al Sol barre áreas iguales en tiempos iguales (velocidad areolar constante).*

3ª Ley. *Los cuadrados de los períodos de revolución de los planetas en su movimiento alrededor del Sol son proporcionales a los cubos de los semiejes mayores de sus órbitas elípticas.* Es decir, la relación: $T^2/a^3 = constante$

Las leyes de Kepler son empíricas, se deducen directamente de observaciones experimentales. Pero aunque constituyen una descripción cinemática del Sistema Solar, no explican las causas de sus movimientos.

Los trabajos de Galileo

Galileo Galilei (ss. XVI-XVII) estaba convencido de que la teoría de Copérnico era correcta y se dedicó a la observación del universo con el telescopio que el mismo construyó. Sus descubrimientos, como los satélites de Júpiter, los cráteres y rugosidades de la Luna o las manchas solares, aportaron pruebas indiscutibles de la validez del modelo heliocéntrico.

Aunque sus trabajos no fueron tan importantes como los de Kepler, resultaron decisivos para dismantelar la Física escolástica (de tradición aristotélica) y sentar las bases para una Física Moderna basada en el método científico de observación y experimentación.

TEORÍA DE LA GRAVITACIÓN UNIVERSAL

Tras la aceptación del modelo planetario heliocéntrico, basado en las leyes de Kepler, el problema fundamental de la Física del siglo XVII era responder a la siguiente pregunta: *¿qué fuerzas son las que actúan sobre los planetas para dar lugar a las trayectorias observadas en sus movimientos?*

La respuesta fue dada por Isaac Newton (1642-1727) con la *Ley de la Gravitación Universal*, que superaba la descripción cinemática de Kepler y desarrollaba una dinámica planetaria. Newton fue capaz de explicar el movimiento planetario y el de caída libre de los

cuerpos sobre la superficie terrestre con un concepto común (la fuerza gravitatoria). Unificando de este modo las mecánicas terrestre y celeste.

La hipótesis de partida de Newton es que todos los cuerpos del Universo se ejercen entre sí una fuerza gravitatoria igual a la que existe entre la Tierra y un objeto que cae sobre ella, por tanto, las fuerzas sobre los planetas son fuerzas centrales gravitatorias ejercidas por el Sol. Esta fuerza sería la responsable de la aceleración que sufre el planeta.

Como esto también ha de ser válido para el movimiento de la Luna alrededor de la Tierra, Newton se centró en el caso de nuestro satélite. Ya desde tiempos de los griegos se conocía el valor del radio de la Tierra y que la relación entre este y la distancia media entre el centro de la Tierra y el centro de la Luna es aproximadamente $R_L/R_T = 60$. Puesto que el periodo de revolución de la Luna alrededor de la Tierra es conocido (aproximadamente 27,3 días), se puede evaluar la aceleración centrípeta de la Luna en su movimiento circular,

$$a_L = 2.72 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$$

Si comparamos este valor con el valor de la gravedad sobre la superficie terrestre, encontramos que: $a_L/g = (R_T/R_L)^2$. Esta expresión la podemos interpretar como que la atracción de la Tierra sobre un objeto decrece como el cuadrado de la distancia. Entonces, la fuerza que ejerce la Tierra sobre la Luna es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa.

Podemos suponer que este resultado es válido para la fuerza de atracción del Sol y cada planeta y es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia. En este punto, la tercera ley de Newton entra en juego, razonando que si el Sol atrae a un planeta por la fuerza gravitatoria, el planeta deberá ejercer una fuerza igual y opuesta al Sol. Esta idea de interacción entre ambos cuerpos da forma definitiva a la Ley de la gravitación universal:

$$F = GMm/r^2$$

El enunciado general de esta ley sería: *La fuerza gravitatoria entre dos partículas de masas m y M que están separadas una distancia r de sus centros, es una fuerza de atracción a lo largo de la línea que los une y es directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.*

IMPORTANCIA DE LA UNIFICACIÓN DE LA GRAVITACIÓN TERRESTRE Y CELESTE

La gran aportación de Isaac Newton a la física fue la unificación de la mecánica terrestre y la mecánica celeste. Newton produjo la primera síntesis de teorías que describen la naturaleza: la fuerza que hace caer las cosas sobre la superficie terrestre, la gravedad, es también responsable del movimiento de la Luna alrededor de la Tierra, y del movimiento de ésta y de los demás planetas alrededor del Sol.

Desde el punto de vista científico la importancia de la teoría de Newton ha quedado suficientemente clara en los párrafos anteriores. Pero probablemente tan importante fue su repercusión en la concepción del mundo. Los éxitos de la teoría de Newton dieron paso a una visión mecanicista de mundo en la que se consideraba que todos los fenómenos podrían tener una interpretación mecanicista: el universo se comportaba como una máquina perfecta. En esta teoría del universo, cada vez tenía menos cabida la idea del libre albedrío y en definitiva de Dios y conducía directamente al ateísmo. La concepción del mundo que los filósofos e ideólogos del los siglos posteriores a Newton introdujeron en el pensamiento social, quedó definitivamente marcada por este hecho.

BIBLIOGRAFÍA

- Asimov, I.: *Momentos estelares de la Ciencia*. Salvat, Barcelona, 1984.
Gamov, G.: *Biografía de la Física*. Alianza Editorial, Barcelona 1983.
Tatón, R.: *Historia General de las Ciencias*. Orbis, Barcelona, 1988.
Tipler, P.A.: *Física*. Editorial Reverté, Barcelona, 1992.