

# MODELOS COSMOLÓGICOS

Desde la antigüedad, la humanidad ha concebido distintos modelos de Universo. En las culturas clásicas que se desarrollaron alrededor del Mediterráneo predominaron los siguientes:

El que podríamos llamar "MODELO ARISTOTÉLICO", aunque Aristóteles no fue ni el único ni el primero que lo defendió, fue el más aceptado desde el siglo IV a.C.

El Universo (Cosmos) está encerrado en una gran esfera (esfera de las estrellas fijas o bóveda celeste). Dentro de ella todo está ordenado (Cosmos: orden) mientras que fuera de ella sólo existe el Caos (desorden).

Es un sistema geocéntrico: la Tierra (Gea) es esférica y se encuentra, inmóvil - como podemos apreciar por nuestros sentidos- en el centro del Cosmos.

Hay dos clases de astros: las estrellas fijas y las errantes o planetas (planeta: errante).

Las estrellas fijas reciben este nombre porque ocupan posiciones invariables unas respecto a otras, gracias a lo cual las figuras que forman -constelaciones- son permanentes. Sin embargo se mueven conjuntamente, porque se encuentran en la bóveda celeste, que gira en torno a la Tierra de este a oeste con movimiento circular uniforme.

A las errantes (planetas) se las llama así porque se mueven respecto a las fijas: parecen errar o deambular por los cielos. Los siete planetas de la Antigüedad son, pues: Luna, Mercurio, Venus, Sol, Marte, Júpiter y Saturno. Cada una de ellas se encuentra sobre una esfera transparente. Estas esferas son todas concéntricas (todas tienen como centro el centro del Cosmos, que también es el centro de la Tierra) y también giran de este a oeste en torno a la Tierra pero con distintas velocidades y sobre ejes distintos.

En la Tierra y su atmósfera -mundo sublunar- todo es imperfecto, cambiante, corruptible, perecedero. Todas las cosas están hechas de los cuatro elementos - tierra, agua, aire y fuego- combinados en distintas proporciones.

En los cielos -mundo supralunar- todo es perfecto, invariable, incorruptible, eterno. El único movimiento posible es el movimiento circular uniforme (velocidad constante), que no tiene principio ni fin y que no cambia nunca, por lo que es el más perfecto. Los astros y sus esferas están hechos del "quinto elemento" o "quinta esencia": el éter.

Este modelo no podía explicar varios hechos observados, particularmente dos:

El cambio de tamaño y de brillo de los "planetas", que parecía indicar que unas veces se encontraban más cerca de la Tierra y otras más lejos.

El movimiento retrógrado de algunos planetas: en ocasiones invierten el sentido de su marcha por los cielos durante unos días, y después retoman el sentido habitual.

El "MODELO PTOLEMAICO", propuesto por Claudio Ptolomeo (s. II d.C.) para ofrecer una explicación a lo que el modelo Aristotélico no podía explicar. Este modelo se mantuvo hasta el siglo XVI.

Manténía todas las premisas del modelo anterior, pero además suponía que los planetas se movían sobre unos pequeños círculos -epiciclos- cuyos centros eran puntos que se movían a su vez sobre otros grandes círculos -deferentes- que eran los que giraban en torno a la Tierra. De este modo, la trayectoria aparente de los planetas es circular pero en bucles, lo que explica sus distancias variables y sus cambios de sentido. Manténía la idea de que el único movimiento posible en los cielos era el circular uniforme.

Este modelo funcionaba muy bien, y fue utilizado hasta el s. XVI, pero es un sistema "caprichoso", artificioso, parecía tan sólo un truco, lo que no satisfacía a muchos intelectuales, persuadidos de que las leyes de la Naturaleza "deben ser simples".

El modelo geocéntrico se ajustaba a las observaciones cotidianas:

- El Sol sale, se mueve por el cielo y se pone cada día.
- Las estrellas dan también una vuelta completa en el firmamento cada día, con la Tierra ocupando la posición central en el universo.
- Los planetas siguen una trayectoria determinada en la que se incluye su movimiento retrógrado, resultado de los dos movimientos circulares.

El "MODELO HELIOCÉNTRICO" iniciado por Aristarco de Samos (s. II a.c.). Suponía que era el Sol el que estaba en el centro del Cosmos y que la Tierra y los demás astros giraban en torno a él, por supuesto con movimientos circulares y uniformes. No fue muy aceptado porque nadie "veía que la Tierra se moviera". Conseguía explicar la variación de las distancias de casi todos los planetas respecto a la Tierra, pero no en el caso del Sol.

Ya en el siglo XVI de nuestra era, el astrónomo polaco Nicolás Copérnico, en su obra *De Revolutionibus Orbium Coelestium*, en 1543, propuso de nuevo un modelo Heliocéntrico. Este modelo fue declarado herético por la iglesia católica, que prohibió leer y divulgar las obras de Copérnico.

Este modelo sitúa al Sol en el centro del universo. El Sol está inmóvil en el centro del universo; la Tierra y los planetas describen trayectorias circulares a su alrededor; las estrellas están en posiciones fijas a distancias muy grandes del Sol, y la Tierra tiene un movimiento de rotación sobre su propio eje que tarda un día en completarlo.

El modelo heliocéntrico justifica de una forma más sencilla los fenómenos de la alternancia de los días y de las noches, las estaciones, las fases de la Luna y el movimiento retrógrado de los planetas, pero no realizaba predicciones tan exactas como las del modelo geocéntrico.

El físico italiano Galileo Galilei (1564 - 1642), gracias a la construcción y utilización de los primeros telescopios en la observación del firmamento, asentó el modelo heliocéntrico.

Galileo y otros intelectuales sufrieron persecución y represión por defenderlo. Sin embargo, este nuevo modelo fue rápida y ampliamente aceptado, sobre todo después de que Galileo Galilei aportara argumentos en su favor:

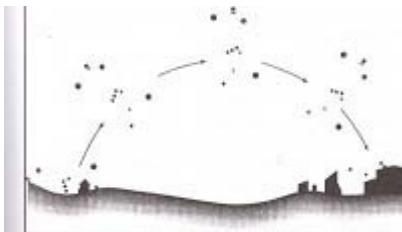
Galileo fue el primero que usó el telescopio para observar sistemáticamente los astros. Descubrió montañas y valles en la Luna, y manchas en el Sol, lo que ponía en cuestión que en los cielos "todo fuera perfecto".

Descubrió cuatro satélites de Júpiter, las "Lunas Jovianas" o "Lunas Medíceas". Al poner de manifiesto que giraban en torno a Júpiter, demostró que no todos los astros tenían que girar alrededor de la Tierra.

Descubrió que Venus presentaba fases como la Luna (Venus creciente, llena, menguante y nueva), lo que sólo es posible si Venus gira en torno al Sol.

Rebatió la falsa idea de que si la Tierra se moviera, los objetos caerían detrás de la vertical del punto en que se soltasen, proponiendo el experimento del saco que cae desde lo alto del mástil de un barco en movimiento.

Por su actitud de conceder más importancia a las pruebas experimentales que a la "lógica o sentido común" y que a la fama o autoridad de los grandes pensadores y de las religiones, se considera a Galileo el fundador del método científico y el "padre de la ciencia".



El uso del telescopio se generalizó, y se realizaron más y mejores observaciones astronómicas. Analizando estos datos, Johannes Kepler, descubrió y publicó entre 1609 y 1619 que los planetas se mueven en torno al Sol en órbitas no circulares, sino elípticas. Así terminó para siempre con el viejo mito de que el movimiento de los astros tenía que ser circular y uniforme.

Todavía quedaba pendiente una cuestión fundamental: ¿Qué fuerzas eran las que hacían que los astros se movieran así? La solución a este problema la aportó Isaac Newton, quien a finales del s. XVII enunció la Ley de Gravitación Universal y los tres Principios de la Dinámica. Estas leyes explican tanto los movimientos circulares o elípticos de los astros como los movimientos rectilíneos de caída de los cuerpos en la Tierra. De este modo Newton acabó con la pretendida separación o

diferencia fundamental entre cielos y Tierra, unificando los "dos mundos" bajo unas mismas leyes que lo gobiernan todo. Por este logro, y por el resto de su obra, Newton es considerado el científico más importante de la historia.

Los MODELOS ACTUALES del Universo no son geocéntricos ni heliocéntricos. La Tierra y todos los astros del Sistema Solar giran en torno al Sol, pero éste tan sólo es una estrella más entre los cientos de miles que hay en nuestra galaxia, la Vía Láctea. Y ésta tan sólo es una entre muchos millones de otras galaxias en el Universo. No hay ningún punto que sea "el centro", o lo que es lo mismo, cualquier punto puede ser considerado el centro.

En 1929 Edwin Hubble descubrió que el Universo se encuentra en expansión, por lo que, extrapolando hacia atrás en el tiempo, se piensa que debió iniciarse desde un solo punto, en una gran explosión -el Big Bang- que debió ocurrir hace unos quince mil millones de años. Puede que el Universo continúe expandiéndose eternamente o puede que llegue un momento en que la fuerza de gravedad frene la expansión y el Universo comience a contraerse hasta concentrarse en un solo punto o "gran agujero negro". La ciencia sigue investigando esta cuestión, y también sigue buscando la "gran Teoría Unificada" que consiga explicar todas las fuerzas y fenómenos del Universo.

## MOVIMIENTO DE LOS PLANETAS ALREDEDOR DEL SOL LEYES DE KEPLER

Las ideas de Copérnico fueron calando entre los astrónomos de la época. Uno de ellos fue el danés Tycho Brahe (1546 - 1601), quien realizó multitud de medidas sobre las posiciones de los planetas con una precisión casi increíble, pese a que Galileo no había inventado aún el telescopio.

El astrónomo alemán Johannes Kepler (1571 - 1630), entusiasmado por las ideas de Copérnico y utilizando los precisos datos astronómicos sobre el planeta Marte que le proporcionó su maestro Brahe, llegó a la conclusión de que las observaciones no se adaptaban a una supuesta órbita circular. Dedujo que los datos encajaban con la elipse, y estableció lo que se conoce como primera ley de Kepler o ley de las órbitas:

- Los planetas se mueven en órbitas elípticas, con el Sol situado en uno de sus focos.

Kepler publicó esta ley en 1609, en su libro "Astronomía Nova" junto con la segunda ley o ley de las áreas:

- La línea recta imaginaria que une cada planeta con el Sol (radio vector) barre áreas iguales en tiempos iguales.

Esto implica que el movimiento de los planetas no es uniforme, van más rápidos en las proximidades de Sol (perihelio) y más lentos en la zona más alejada del Sol (afelio)

Kepler publica en 1616 otro libro titulado "Sobre la armonía del mundo", que contenía su **tercera ley o ley de los períodos**:

- Los cuadrados de los períodos de revolución (T) de los planetas son proporcionales a los cubos de sus distancias medias al Sol (R)

$$\frac{T^2}{R^3} = K$$

Esta tercera ley, deducida por Kepler para el sistema solar, es válida para cualquier conjunto de satélites con su astro central. Lógicamente, cada sistema tiene valores distintos de la constante, pues esta depende del astro central. Esta ley permite conocer la distancia relativa entre los planetas, ya que el tiempo que tarda un planeta en recorrer su órbita se conoce desde la antigüedad.

Las tres leyes de Kepler constituyen la primera descripción cinemática del movimiento planetario, sin plantear nada sobre la causa que hace que esos movimientos sean así. Hubo que esperar sesenta años para que Newton estableciera dicha causa: la gravitación.

## LA FUERZA DE GRAVEDAD

La fuerza de gravedad es una de las interacciones básicas de la naturaleza.

Como está muy presente en nuestra experiencia conviene estudiarla un poco más a fondo

¿Por qué los cuerpos caen?

Newton descubrió en 1665 la llamada **Ley de Gravitación Universal**. Según esta:

**“Los cuerpos se atraen con una fuerza directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa.”**

La expresión matemática de esta ley es:

$$F = G \frac{m M}{d^2}$$

Masas de los cuerpos en kg

Fuerza de atracción gravitatoria. Si se consideran cuerpos grandes la fuerza apunta hacia el centro de los mismos.

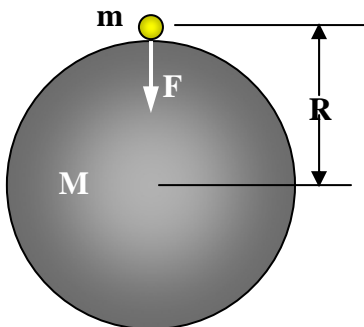
Distancia entre los cuerpos en metros. Si son cuerpos grandes la distancia se toma entre los centros.

Constante de Gravitación Universal. Tiene el mismo valor para todo el Universo.

Para el S.I:  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2}$

Debido a la pequeñez de la constante de gravitación la fuerza de gravedad sólo es apreciable entre cuerpos cuya masa sea muy grande (planetas, estrellas...)

Combinando la Ley de Gravitación con  $F = m a$ , podemos deducir cuál será la aceleración con que se mueve un cuerpo situado en la superficie de un planeta sometido a la acción de la fuerza gravitatoria:



$$F = m a ; F = G \frac{m M}{R^2}$$

$$m a = G \frac{m M}{R^2} ; a = g = G \frac{M}{R^2}$$

Observa que el valor de la aceleración, no depende de la masa del cuerpo, sino de datos propios del planeta que consideremos tales como su masa y su radio.

**Llamamos peso a la fuerza con que los cuerpos son atraídos por la Tierra (u otro planeta)**

El peso de un cuerpo vale:  $P = m \cdot g$  y se mide en newtons (N)

Para la Tierra  $g = 10 \text{ m/s}^2$

Para Marte  $g = 3,7 \text{ m/s}^2$

**Diferencia claramente entre masa y peso.** La masa es una propiedad del cuerpo; el peso, depende del valor de  $g$ . Como éste es distinto para cada planeta el peso de un cuerpo, o fuerza con que es atraído, varía de un planeta a otro. Un cuerpo de 1 kg de masa tendría la misma masa aquí y en Marte, pero su peso sería de 10 N en la Tierra y de 3,7 N en Marte. Marte lo atrae más débilmente.

Los conceptos de masa y peso se confunden en el lenguaje normal.

## FUERZA DE GRAVEDAD EJERCICIOS

### Ejemplo1.

Calcular la fuerza con que se atraen dos masas de 100 y 1000 kg. situadas a una distancia de 20 m.

**Solución:**

$$F = G \frac{m M}{d^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N m}^2}{\text{kg}^2} \frac{100 \text{ kg} \cdot 1000 \text{ kg}}{20^2 \text{ m}^2} = 1,67 \cdot 10^{-8} \text{ N}$$

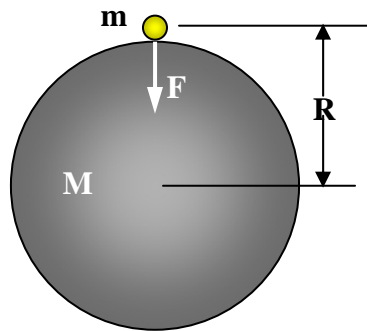
Como se puede observar debido a la pequeñez de la constante de gravitación, la fuerza de atracción es muy débil, prácticamente inapreciable.

### Ejemplo2.

Calcular la fuerza con que la Tierra atrae a un cuerpo de 50 kg. situado en su superficie.

Datos:  $M_{\text{Tierra}} = 6 \cdot 10^{24} \text{ Kg}$  ;  $R_{\text{Tierra}} = 6400 \text{ km}$

**Solución:**



Como se puede apreciar en la figura, siempre que la altura a la que se encuentre el cuerpo sea despreciable frente al valor del radio de la Tierra, se puede tomar  $d = R_{\text{Tierra}}$

$$F = G \frac{m M}{R^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N m}^2}{\text{kg}^2} \frac{50 \text{ kg} \cdot 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}}{(6,4 \cdot 10^6)^2 \text{ m}^2} = 488,5 \text{ N}$$

En este caso, y debido a que la masa de la Tierra es muy grande, la fuerza de atracción es considerable. Observar que, en realidad, la ecuación que da el valor de la fuerza de gravedad se puede escribir separando la masa del cuerpo de los datos propios del planeta (en este caso la Tierra) de esta manera:

$$F = m \left( G \frac{M}{R^2} \right) = 50 \text{ kg} \left( 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N m}^2}{\text{kg}^2} \frac{6 \cdot 10^{24} \text{ kg}}{(6,4 \cdot 10^6)^2 \text{ m}^2} \right) = 50 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 488,5 \text{ N}$$

El término encerrado entre paréntesis, tiene un valor fijo e igual a  $9,8 \text{ m/s}^2$ , que es el valor de la aceleración de la gravedad o, también llamado, valor del campo gravitatorio.

De aquí que la fuerza con que un cuerpo es atraído por la Tierra (u otro planeta), **peso**, puede escribirse de forma más sencilla:  $\mathbf{P} = \mathbf{m g}$ , donde g es el valor de la aceleración de la gravedad:

$$g = G \frac{M}{R^2}$$

A partir de esta ecuación podemos calcular el valor de g para cualquier cuerpo celeste si conocemos sus datos. Por ejemplo para Marte:

$$R_{\text{Marte}} = 3400 \text{ km} \quad M_{\text{Marte}} = 6,5 \cdot 10^{23} \quad g_{\text{Marte}} = G \frac{M}{R^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N m}^2}{\text{kg}^2} \frac{6,5 \cdot 10^{23} \text{ kg}}{(3,4 \cdot 10^6)^2 \text{ m}^2} = 3,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$