

El universo, el sistema solar y la Tierra: origen y movimientos

En Valencia, el Sol del mediodía sube a unos 74° sobre el horizonte en el solsticio de junio y solo a 27° en el de diciembre. En enero la Tierra está unos cinco millones de kilómetros más cerca del Sol que en julio, y aun así es invierno. Explicar por qué, y saber calcular cuánto tarda la Luna en dar una vuelta, es empezar a leer el cielo con las leyes de la física.

POR **Adrián Peinado**, profesor de Física y Química en Secundaria

Material en revisión por el autor. Si ves un error, [avísanos](#).



Duración: 6 sesiones · Saberes: C.1, C.2 · Criterios: 2.2, 4.1, 5.1 ·

Requisitos previos: unidad 1 (medida e incertidumbre) y unidad 3 (los elementos químicos); trigonometría básica (tangente de un ángulo).

No se presupone Física y Química de 1.º. Esta unidad abre el bloque «El sistema Tierra» mirando hacia fuera.



§ 1

El origen del universo

POR **Adrián Peinado**, profesor de Física y Química en Secundaria



Un universo en expansión

En 1912 Henrietta Swan Leavitt publicó que las estrellas variables cefeidas más brillantes de la Pequeña Nube de Magallanes tienen períodos de pulsación más largos. Esa relación período-luminosidad convirtió a las cefeidas en «reglas» para medir distancias.



La «tensión de Hubble»

El valor de H_0 que se deduce de la radiación de fondo ($67,4 \pm 0,5 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$, Planck Collaboration, 2020) no coincide con el que se mide con cefeidas y supernovas en galaxias cercanas ($73,04 \pm 1,04 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$, Riess et al., 2022). La diferencia es mayor que las incertidumbres y todavía no tiene explicación aceptada.



Henrietta Swan Leavitt y la regla para medir el universo

Leavitt trabajaba en el Observatorio del Harvard College midiendo el brillo de estrellas en placas fotográficas. En la circular 173 del observatorio (1912), firmada por el director, Edward Pickering, pero que reconoce que la preparó ella, mostró que en 25 cefeidas de la Pequeña Nube de Magallanes el período crece con el brillo.



§ 2

El origen del sistema solar y de la Tierra

POR **Adrián Peinado**, profesor de Física y Química en Secundaria



La hipótesis nebular

El sistema solar se formó a partir de una nube de gas y polvo que se contrajo por su propia gravedad. Al contraerse giró cada vez más deprisa y se aplanó en un disco protoplanetario, con el protosol en el centro. La idea se remonta a Kant (1755) y Laplace (1796);



Las edades: meteoritos, la Tierra y la Luna

Los materiales más antiguos del sistema solar son unas inclusiones ricas en calcio y aluminio que aparecen en ciertos meteoritos. Su datación con isótopos de plomo da $4567,30 \pm 0,16$ millones de años (Connelly et al., 2012), y se toma como el «tiempo cero» del sistema solar.



§ 3

Las leyes de Kepler

POR **Adrián Peinado**, profesor de Física y Química en Secundaria



Tres leyes empíricas

Johannes Kepler, con las observaciones de Tycho Brahe, formuló entre 1609 y 1619 tres leyes que describen el movimiento de los planetas: Primera ley: las órbitas son elipses, con el Sol en uno de los focos. Las de los planetas son casi circulares; la de la Tierra tiene una excentricidad de 0,0167.



Segunda ley: la línea que une el Sol con el planeta barre áreas iguales en tiempos iguales. El planeta va más deprisa cerca del Sol: la Tierra, a 30,29 km/s en el perihelio y a 29,29 km/s en el afelio (NASA). Tercera ley: el cuadrado del período orbital es proporcional al cubo del semieje mayor de la órbita, $T^2 \propto a^3$.



6.1 · El período de la Luna a partir de la tercera ley de Kepler

Enunciado La Luna describe alrededor de la Tierra una órbita de semieje mayor $a = 3,844 \times 10^8 \text{ m}$.

a) Calcula su período orbital con la tercera ley de Kepler, en segundos y en días. b) Compáralo con el valor medido, 27,3217 días. Dato: $GM(\text{Tierra}) = 3,9860 \times 10^{14} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$ (NASA).

1. Ley: $T^2 = 4\pi^2 a^3 / (GM)$, así que $T = 2\pi \sqrt{a^3 / GM}$.
2. Cubo del semieje: $a^3 = (3,844 \times 10^8 \text{ m})^3 = 5,680 \times 10^{25} \text{ m}^3$.
3. Cociente: $a^3 / GM = 5,680 \times 10^{25} \text{ m}^3 / 3,9860 \times 10^{14} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2} = 1,425 \times 10^{11} \text{ s}^2$.
4. Período: $T = 2\pi \times \sqrt{1,425 \times 10^{11} \text{ s}^2} = 2\pi \times 3,775 \times 10^5 \text{ s} = 2,372 \times 10^6 \text{ s}$.
5. En días: $T = 2,372 \times 10^6 \text{ s} / 86\,400 \text{ s/día} = 27,45 \text{ días}$.



6.2 · A qué altura está un satélite geoestacionario

Enunciado Un satélite geoestacionario está siempre sobre el mismo punto del ecuador. Para eso su período debe ser igual al de rotación de la Tierra respecto a las estrellas, el día sidéreo: 23,9345 h = 86 164 s (NASA). Calcula el radio de su órbita y su altura sobre la superficie. Datos: $GM(\text{Tierra}) = 3,9860 \times 10^{14} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$;

1. Despeje: de $T^2 = 4\pi^2 r^3 / (GM)$, $r = \sqrt[3]{(GM T^2 / 4\pi^2)}$.
2. Sustitución: $GM T^2 = 3,9860 \times 10^{14} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2} \times (86\,164 \text{ s})^2 = 2,959 \times 10^{24} \text{ m}^3$. Dividido entre $4\pi^2 = 39,48$: $7,496 \times 10^{22} \text{ m}^3$.
3. Raíz cúbica: $r = \sqrt[3]{(7,496 \times 10^{22} \text{ m}^3)} = 4,2164 \times 10^7 \text{ m} = 42\,164 \text{ km}$.
4. Altura: $h = r - R = 42\,164 \text{ km} - 6378 \text{ km} = 35\,786 \text{ km}$.



§ 4

Forma y movimientos de la Tierra

POR **Adrián Peinado**, profesor de Física y Química en Secundaria



La forma: una esfera ligeramente achatada

Que la Tierra es redonda se sabe desde la Antigüedad. Aristóteles lo argumentó con la sombra siempre circular que la Tierra proyecta sobre la Luna en los eclipses, y con que al viajar hacia el sur aparecen estrellas que no se ven desde el norte. En el siglo III a. C. Eratóstenes estimó su tamaño.



Las estaciones no dependen de la distancia al Sol

«En verano hace calor porque la Tierra está más cerca del Sol».
Falso. En julio está en el punto más lejano de su órbita. Además, si fuera la distancia, sería verano a la vez en los dos hemisferios, y en Argentina o Australia es invierno cuando en España es verano. «En verano los rayos llegan más directos, y por eso queman más».



La dirección del eje tampoco es eterna: describe un cono muy lento, la precesión de los equinoccios, con un período de unos 26 000 años. Dentro de unos milenios la estrella Polar ya no señalará el norte.



§ 5

La Luna: fases, eclipses y mareas

POR **Adrián Peinado**, profesor de Física y Química en Secundaria



Las fases

La Luna no emite luz: siempre tiene iluminada la mitad que mira al Sol. Las fases dependen de qué parte de esa mitad iluminada se ve desde la Tierra: Luna nueva: la Luna está entre la Tierra y el Sol; su cara iluminada mira hacia el otro lado y no se ve. Cuarto creciente: la Luna forma un ángulo recto con la línea Tierra-Sol;



se ve iluminada la mitad derecha del disco desde el hemisferio norte.
Luna llena: la Tierra está entre el Sol y la Luna, y se ve entera la cara iluminada. Cuarto menguante: de nuevo en ángulo recto, iluminada la mitad izquierda. Las fases no se deben a la sombra de la Tierra.



España, eclipses de 2026 y 2027

El 12 de agosto de 2026 se produjo un eclipse total de Sol cuya franja de totalidad cruzó el Ártico, Groenlandia, Islandia y España, a última hora de la tarde y con el Sol muy bajo. Fue el primer eclipse total visible desde la península en más de un siglo.



Puente con la gravitación y con las capas fluidas

La Luna también deja su huella en los océanos. La marea se debe a que la Luna atrae con más fuerza el agua del lado de la Tierra que mira hacia ella que el centro de la Tierra, y a este más que al agua del lado opuesto. Por eso se forman dos abultamientos y hay, en general, dos pleamares al día.



El Sol produce un efecto parecido, más débil. Cuando los dos se alinean (luna nueva y luna llena), las mareas son más amplias: son las mareas vivas. La explicación cuantitativa requiere la ley de la gravitación, que se estudia en la unidad 14; sus efectos en las costas y en la dinámica de los océanos se retoman en la unidad 8.

Hasta aquí la teoría

Continúa en el libro de la unidad.