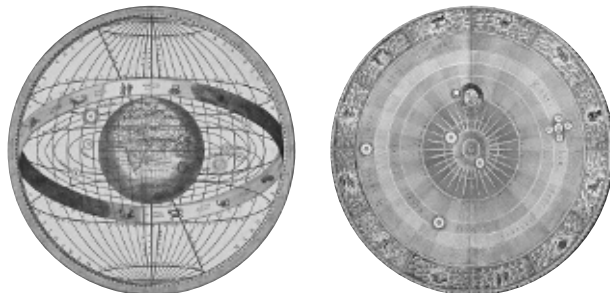


Fuerzas gravitatorias

1. Señala las principales diferencias existentes entre el modelo de Ptolomeo y el modelo de Copérnico.



En el modelo de Ptolomeo la Tierra permanece fija. Por el contrario, en el de Copérnico la Tierra se encuentra en movimiento.

En el modelo de Ptolomeo la Tierra se halla en el centro del universo. Sin embargo, en el modelo de Copérnico es el Sol el que se encuentra en el centro del universo.

2. ¿Cuál es la principal ventaja del modelo de Copérnico sobre el de Ptolomeo?

Copérnico explicó el movimiento de los astros de una forma mucho más sencilla que la propuesta por Ptolomeo. En su modelo heliocéntrico el Sol se encontraba en el centro del universo, y la Tierra y todos los demás planetas giraban a su alrededor en órbitas circulares.

3. ¿Cómo explicaba Copérnico el movimiento retrógrado de los planetas?

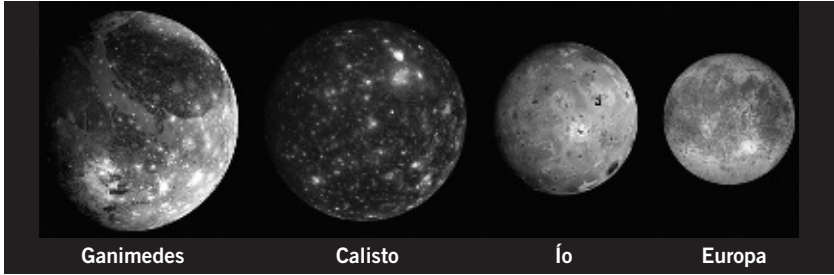
El modelo de Copérnico explica el movimiento retrógrado teniendo en cuenta lo siguiente: como la Tierra se mueve en su trayectoria con una velocidad mayor que la que tiene Marte en su órbita, debido a un efecto óptico, a veces da la impresión de que Marte retrocede. Sin embargo, realmente no es así.

4. A la vista del modelo de Ptolomeo, el monarca castellano Alfonso X el Sabio (1121-1284) dijo que: «Si Dios me hubiese pedido consejo, le hubiese recomendado algo más sencillo». Explica este comentario.

Este comentario se debe a la excesiva complejidad en el movimiento de los astros del universo propuesta por Ptolomeo.

5. Alrededor de Júpiter giran más de 60 satélites de forma similar a como lo hacen los planetas alrededor del Sol. En la tabla siguiente se muestran los datos de los cuatro satélites de Júpiter que descubrió Galileo.

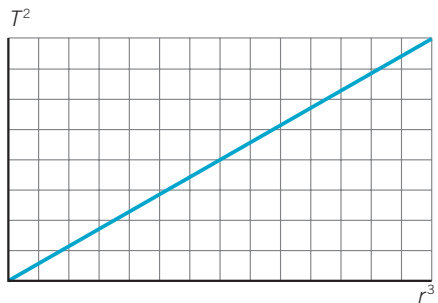
- a) Haz los cálculos que te permitan completar la tabla y representa gráficamente T^2 frente a r^3 .
 b) Compara los resultados con los del Sistema Solar de la página anterior.



a) y b) La tabla completa queda así:

| Satélite de Júpiter | Radio orbital (m) | Periodo (días) | T(s) | T ² (s ²) | r ³ (m ³) | T ² /r ³ |
|---------------------|-------------------------|----------------|-----------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| Ío | 421,6 · 10 ⁶ | 1,769 | 152 841,6 | 2,34 · 10 ¹⁰ | 74 937 949,7 · 10 ¹⁸ | 3,1 · 10 ⁻¹⁶ |
| Europa | 670,9 · 10 ⁶ | 3,551 | 306 806,4 | 9,41 · 10 ¹⁰ | 301 976 658,8 · 10 ¹⁸ | 3,1 · 10 ⁻¹⁶ |
| Ganimedes | 1070 · 10 ⁶ | 7,152 | 617 932,8 | 3,82 · 10 ¹¹ | 1 225 043 000 · 10 ¹⁸ | 3,1 · 10 ⁻¹⁶ |
| Calisto | 1882 · 10 ⁶ | 16,689 | 1 441 930 | 2,08 · 10 ¹² | 6 665 900 968 · 10 ¹⁸ | 3,1 · 10 ⁻¹⁶ |

Se observa que se cumple la tercera ley de Kepler ($T^2/r^3 = \text{constante}$) en los satélites que giran alrededor del planeta Júpiter. La gráfica T^2/r^3 tiene forma de línea recta con una pendiente igual a $3,1 \cdot 10^{-16} \text{ (s}^2/\text{m}^3\text{)}$.



6.

Calcula la fuerza de atracción en los casos siguientes:

- a) Chico de 120 kg y chica de 55 kg separados una distancia de 2 m.

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2} \cdot \frac{120 \text{ kg} \cdot 55 \text{ kg}}{(2 \text{ m})^2} = 1,1 \cdot 10^{-7} \text{ N}$$

- b) Chico de 60 kg y chica de 55 kg separados una distancia de 4 m.

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2} \cdot \frac{60 \text{ kg} \cdot 55 \text{ kg}}{(4 \text{ m})^2} = 1,38 \cdot 10^{-8} \text{ N}$$

- c) Chico de 60 kg y chica de 55 kg separados una distancia de 1 m.

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2} \cdot \frac{60 \text{ kg} \cdot 55 \text{ kg}}{(1 \text{ m})^2} = 2,2 \cdot 10^{-7} \text{ N}$$

Fuerzas gravitatorias

7. ●● A qué distancia tienen que estar un objeto de 120 kg y otro de 55 kg para que se atraigan con una fuerza igual a la que existe entre un chico de 60 kg y una chica de 55 kg que están separados 2 m?

La fuerza de atracción tiene que tener un módulo de $5,5 \cdot 10^{-8}$ N. Sustituyendo todos los datos en la ecuación matemática de la ley de la gravitación universal de Newton:

$$F = 55 \cdot 10^{-8} \text{ N} = G \cdot \frac{M \cdot m}{d^2} \rightarrow$$

$$\rightarrow d^2 = G \cdot \frac{M \cdot m}{55 \cdot 10^{-8} \text{ N}} = 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{\cancel{\text{N}} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2} \cdot \frac{120 \text{ kg} \cdot 55 \cancel{\text{kg}}}{55 \cdot 10^{-8} \cancel{\text{N}}} \rightarrow$$

$$\rightarrow d^2 = 8 \text{ m}^2 \rightarrow d = 2,83 \text{ m}$$

8. ●● Teniendo en cuenta el resultado de las actividades anteriores, completa las frases:

- a) Cuando dos cuerpos de la misma masa se separan al cuádruple de distancia, la fuerza entre ellos _____.
- b) La fuerza entre dos cuerpos que están separados una determinada distancia se _____ si la masa de uno de ellos se duplica.

Como la fuerza es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que separa a dos cuerpos:

- a) Cuando dos cuerpos de la misma masa se separan al cuádruple de distancia, la fuerza entre ellos **disminuye dieciséis veces (F16) su valor**.

Como la fuerza de atracción entre dos cuerpos es directamente proporcional a su masa:

- b) La fuerza entre dos cuerpos que están separados una determinada distancia se **duplica** si la masa de uno de ellos se duplica.

9. ● Calcula la fuerza con que la Tierra atrae a un chico de 50 kg conociendo los siguientes datos:

- Masa de la Tierra = $5,98 \cdot 10^{24}$ kg.
- Radio de la Tierra = 6370 km.

Aplicando la ley de la gravitación universal:

$$F = G \cdot \frac{M \cdot m}{d^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \cancel{\text{m}^2}}{\text{kg}^2} \cdot \frac{5,98 \cdot 10^{24} \cancel{\text{kg}} \cdot 50 \cancel{\text{kg}}}{(6,370 \cdot 10^3)^2 \cancel{\text{m}^2}} =$$

$$= 491,5 \text{ N}$$

10. ● Calcula la fuerza con que se atraen la Tierra y la Luna conociendo los siguientes datos:

- Masa de la Tierra = $5,98 \cdot 10^{24}$ kg.
- Masa de la Luna = $7,20 \cdot 10^{22}$ kg.
- Distancia de la Tierra a la Luna = $3,84 \cdot 10^5$ km.

Aplicando la ley de la gravitación universal:

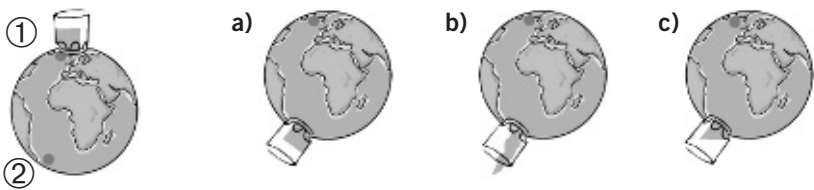
$$\begin{aligned}
 F &= G \cdot \frac{M \cdot m}{d^2} = \\
 &= 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2} \cdot \frac{5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg} \cdot 7,20 \cdot 10^{22} \text{ kg}}{(3,84 \cdot 10^8)^2 \text{ m}^2} = \\
 &= 1,95 \cdot 10^{20} \text{ N}
 \end{aligned}$$

11. ● **¿Por qué no gira la Tierra alrededor de la Luna, si la fuerza con que la Tierra atrae a la Luna es igual a la fuerza con que la Luna atrae a la Tierra?**

La Tierra no gira alrededor de la Luna debido a que, aunque la fuerza de atracción entre ambos cuerpos es de la misma intensidad, la masa de ambos no es igual. Al ser la masa de la Tierra unas cien veces mayor que la de la Luna, es el satélite el que se mueve alrededor de la Tierra, y no al revés. De la misma forma que al dejar caer una manzana no se mueve la Tierra hacia la manzana, sino que es la manzana la que cae sobre la Tierra, aunque la fuerza de atracción que sufren ambos es de la misma intensidad.

12. ● **Si el vaso de agua colocado en 1 se llevara a 2, ¿qué sucedería con el líquido?**

Pista: imagina que en la posición ① hay una persona. ¿Cómo estará en la posición ②?



El líquido es atraído por igual en todos los puntos de su superficie. Por tanto, la figura correcta es la a), en la que la superficie del líquido es horizontal.

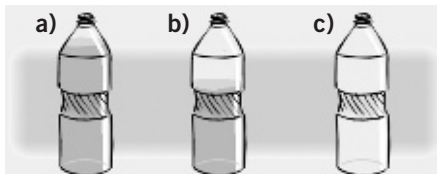
13. ●● **Cuando los grandes barcos de carga van de vacío, llenan sus depósitos de agua. Explica por qué lo hacen.**

La estabilidad de los barcos se basa en que el centro de gravedad se encuentre suficientemente bajo. Por eso los barcos descargados cargan tanques de lastre (agua) para que su centro de gravedad se encuentre lo más bajo posible, mejorando la estabilidad y el equilibrio, y dificultando el vuelco.

Fuerzas gravitatorias

14. ●● ¿Cuál de las botellas es más estable? ¿Por qué?

La botella que se encuentra medio llena (b) será la más estable. Tiene el centro de gravedad más bajo y próximo a la superficie de apoyo y es más difícil que la vertical que pasa por su centro de gravedad quede fuera de la base de sustentación. La que se encuentra vacía es la más inestable. Tiene el centro de gravedad más alejado de la superficie de apoyo y es más fácil que la vertical que pasa por su centro de gravedad, debido a una oscilación producida por una fuerza, caiga fuera de la base de sustentación.



15. ●● Realiza en tu casa el montaje que tienes debajo (corcho con dos tenedores clavados) y explica lo que sucede al colocarlo sobre tu dedo.



Al colocar el dedo en un punto del corcho los tenedores permanecen en equilibrio y no se caen. Esto se debe a que la línea que pasa por el centro de gravedad del sistema formado por los tenedores y el corcho se encuentra dentro de la base de sustentación del dedo.

16. ●● ¿Qué satélites tardan menos tiempo en dar una vuelta alrededor de la Tierra, los que giran en órbitas altas o los que giran en órbitas bajas?

Cuanto más alta sea la órbita del satélite, más grande será el periodo, el tiempo que emplean en dar una vuelta completa a la Tierra. Los satélites que giran en órbitas bajas tardarán menos tiempo en dar una vuelta alrededor de la Tierra y su periodo será menor.

17. ●● ¿Cuál es el periodo de revolución de un satélite geoestacionario?

Los satélites que se mueven en órbitas geoestacionarias presentan la misma velocidad angular que la Tierra e igual periodo de revolución. Emplean un día (24 h) en dar una vuelta completa.

18. ●● Indica cuál es la ventaja de utilizar satélites para cartografiar la superficie terrestre.

Los satélites toman fotografías para obtener imágenes reales de la superficie terrestre, lo que permite realizar mapas muy exactos y precisos.

19. ●● ¿Por qué se envían satélites con telescopios, como el telescopio espacial Hubble, si son más caros que los telescopios terrestres? ¿Cuál es la ventaja de observar el cielo desde fuera de la atmósfera?

Los telescopios espaciales permiten una observación espacial más clara y nítida de planetas, nebulosas y galaxias, al no existir elementos que perturben la visión (nubes, polvo atmosférico). Esto favorece la investigación del universo.

20. ●● ¿En qué regiones del Sistema Solar se sitúan preferentemente los cuerpos pequeños?

Los cometas (del griego *kometes*, para Aristóteles «estrellas con cabello») son pequeños astros que proceden principalmente de dos lugares:

- La nube de Oort, para los cometas de largo periodo. Esta zona recibe su nombre en honor del astrónomo Jan Hendrick Oort. Está situada a enormes distancias del Sol, entre 50 000 y 100 000 UA del Sol, formada por restos de la condensación de la nebulosa que dio origen al Sistema Solar.
- El cinturón de Kuiper, propuesto por Gerard Kuiper para explicar el origen de los cometas de corto periodo, como el Halley, localizado más allá de la órbita de Neptuno.

21. ●● En la órbita de Júpiter hay muchos pequeños astros, llamados asteroides troyanos. ¿Por qué entonces no se considera a Júpiter como un planeta enano según la nueva definición?

Júpiter se considera un planeta porque, aunque tenga alrededor de su órbita astros, estos son pequeños y de tamaño no comparable a Júpiter.

22. ●● Busca información en la web <http://www.astored.net/nueveplanetas> y escribe el nombre de algunos satélites de Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno. Recoge tus resultados en forma de tabla. ¿Por qué crees que la web se llama *Nueve planetas*?

Hasta hace poco se consideraba que el Sistema Solar estaba formado por nueve planetas, actualmente son ocho porque Plutón se ha clasificado como planeta enano.

23. ●● ¿Qué será más fácil detectar, un planeta extrasolar que orbita muy cerca de su estrella o uno que orbita a más distancia? ¿Por qué? (Pista: ten en cuenta la ley de la gravitación universal.)

Según la ley de la gravitación universal, los planetas también atraen a su estrella, y cuanto más cerca estén, debido a la mayor fuerza de atracción gravitatoria entre ambos, sus movimientos son más fáciles de detectar desde los observatorios astronómicos situados en la Tierra.

Fuerzas gravitatorias

24. ●● **¿Por qué podemos considerar que el descubrimiento del alejamiento de las galaxias apoya la teoría de la gran explosión?**

Como se ha analizado y comprobado mediante observaciones con telescopios, las galaxias del universo se encuentran separándose continuamente. Se puede deducir que hace muchos millones de años toda la materia del universo se encontraba concentrada en un punto que, debido a su gran inestabilidad, experimentó una gran explosión o *big bang*.

25. ● **Calcula la distancia (en millones de años luz) a la que se encuentra una galaxia que se aleja de nosotros con una velocidad de 500 km/s. $H_0 = 20$ (km/s)/millón de años luz.**

Según la ecuación que representa la ley de Hubble:

$$v = H_0 \cdot d$$

Donde H_0 es la constante de Hubble, que tiene un valor de: 20 (km/s)/millón de años luz.

Si la velocidad de recesión es de 500 km/s, despejando d se obtiene la distancia de la galaxia:

$$d = \frac{v}{H_0} = \frac{500 \text{ km/s}}{20 \text{ (km/s)/millón de años luz}} = 25 \text{ millones de años luz}$$

26. ● **La Tierra es:**

- a) Un planeta. c) Una galaxia.
b) Una estrella. d) Un asteroide.

La Tierra es un planeta: opción a.

27. ● **El Sol es:**

- a) Un planeta. c) Una galaxia.
b) Una estrella. d) Un asteroide.

El Sol es una estrella: opción b.

28. ● **Indica si son verdaderas o falsas las afirmaciones sobre la Luna.**

- a) Es un planeta.
b) Emite luz propia.
c) La rotación sobre sí misma y la rotación alrededor de la Tierra determinan la intensidad de las mareas.
d) Provoca las mareas.
- a) Falsa. c) Verdadera.
b) Falsa. d) Verdadera.

29. Haz una línea de tiempo y señala en ella los distintos modelos de universo que se han visto en esta unidad. Marca en rojo los modelos geocéntricos, y en azul, los heliocéntricos.

Siglo III a.C. → Modelo heliocéntrico de Aristarco.

Siglo II → Modelo de Ptolomeo (geocéntrico).

Siglo XVI → Modelo heliocéntrico de Copérnico.

Siglo XVII → Descubrimientos de Galileo.

Siglo XVII → Leyes de Kepler.

Siglo XVIII → Leyes de Newton.

Siglo XX → Teoría del *big bang*.

30. Como recordarás del curso anterior, el *método científico* es el procedimiento que siguen las personas de ciencia para estudiar los problemas y llegar a conclusiones ciertas que explican hechos observados o predicen fenómenos nuevos.

Comprende una serie de pasos que, aplicados al estudio de problemas astronómicos, son: 1. Observación; 2. Elaboración de hipótesis; 3. Toma de datos; 4. Análisis de resultados; 5. Definición de leyes y teorías.

Repasa los modelos astronómicos vistos en esta unidad y completa el cuadro con las fases del método científico que se han cubierto en cada uno de ellos:

| Modelo | Observación | Hipótesis | Toma de datos | Análisis de resultados | Leyes |
|-------------|-------------|-----------|---------------|------------------------|-------|
| Aristóteles | ✓ | ✓ | | | |
| Aristarco | ✓ | ✓ | | | |
| Ptolomeo | ✓ | ✓ | | | |
| Copérnico | ✓ | ✓ | | | |
| Galileo | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | |
| Kepler | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Newton | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

31. El método científico incluye la experimentación como un paso importante. Explica por qué ese paso no está presente en los estudios astronómicos.

La experimentación normalmente se realiza en los laboratorios y centros de investigación, pero en los estudios astronómicos no es posible reproducir los experimentos a la escala reducida de un laboratorio.

Fuerzas gravitatorias

32. Aunque los cuatro primeros modelos astronómicos son muy simples, desde el punto de vista del método científico unos se basan solo en ideas filosóficas y otros tienen una base matemática. Señala qué modelos pertenecen a un grupo y cuáles a otro.

Modelo de Aristóteles: basado en ideas filosóficas.

Modelo de Aristarco: basado en ideas filosóficas.

Modelo de Ptolomeo: basado en ideas con base matemática que posteriormente se comprobaron incorrectas con el método científico propuesto por Galileo.

Modelo de Copérnico: basado en hipótesis con base matemática que posteriormente se comprobaron como ciertas con el método científico.

33. Realiza un comentario crítico sobre el siguiente texto:

La astrología es a la vez una ciencia y un arte que estudia la influencia de los astros sobre los acontecimientos acerca de la vida en la Tierra. La posición de los astros en el momento exacto del nacimiento de una persona, animal, país, empresa o cualquier otra entidad, tiene gran influencia sobre su personalidad, salud, profesión y, por tanto, en su destino.

La astrología no es una ciencia porque no basa sus conclusiones en el método científico, sino en una serie de ideas sin fundamento ni base científica. Sin embargo, la astronomía se basa en observaciones y leyes que son objetivas y científicas.

34. Completa la tabla sobre los modelos del universo.

| Modelo | Científico que lo propuso | Centro del universo | Papel de la Tierra |
|---------------|---------------------------|---------------------|--|
| Geocéntrico | Ptolomeo | Tierra | Fija. Los demás astros giran a su alrededor. |
| Heliocéntrico | Copérnico | Sol | Gira alrededor del Sol. |

35. Explica los siguientes conceptos utilizados en el modelo geocéntrico. Elabora esquemas para aclarar tu respuesta.

a) Epíclicos. b) Deferente. c) Movimiento retrógrado.

a) Epíclicos: pequeñas circunferencias que describen los planetas al girar sobre sí mismos y moverse alrededor de la Tierra en una órbita circular.

- b) Deferente: es la circunferencia que describen los epiciclos de los planetas al desplazarse alrededor de la Tierra.
- c) Movimiento retrógrado: es un movimiento aparente de retroceso que describen los planetas en algunos de los puntos de su órbita como consecuencia de los giros epiciclos y deferente.

36. El modelo heliocéntrico se oponía a lo que se observaba directamente.



A veces, las apariencias engañan y parece que la Tierra está quieta y que es el Sol el que gira.

- a) **¿Qué significa que un movimiento es relativo? ¿Y absoluto?**
- b) **¿Por qué no percibimos sensación de movimiento a pesar de que la velocidad orbital media de la Tierra es de 29,8 km/s?**
- c) **¿Existe algún punto en el universo totalmente fijo?**

a) Movimiento relativo es el que se toma como referencia respecto a un punto que no se encuentra en reposo.

Movimiento absoluto es aquel que toma como referencia un punto que se encuentra en reposo respecto a todos los demás, punto que realmente no existe en el universo.

b) La Tierra tiene una capa protectora, la atmósfera, que se mueve a la vez que todos los cuerpos que se encuentran sobre su superficie. Por eso, aunque estemos girando a gran velocidad orbital no apreciamos los movimientos del aire.

c) No existe ningún punto en el universo que se pueda considerar como fijo. Por esta razón todos los movimientos son relativos.

37. Completa la frase:



La _____ es el único _____ de la Tierra, cada 28 _____ se repiten sus fases: _____ llena, _____ creciente, luna _____ y cuarto _____.

La **Luna** es el único **satélite** de la Tierra, cada 28 **días** se repiten sus fases: **Luna** llena, **cuarto** creciente, Luna **nueva** y cuarto **menguante**.

38. Si miras el cielo una noche sin nubes, puedes observar unos puntitos luminosos que describen órbitas moviéndose lentamente. ¿Qué crees que son?



- a) **Estrellas lejanas.**
- b) **Satélites artificiales.**
- c) **Aviones de pasajeros.**
- d) **Ovnis.**

Los puntos luminosos que se pueden observar moviéndose lentamente en el cielo suelen ser generalmente: b) Satélites artificiales.

39. La estrella más cercana al Sol se encuentra a una distancia de 4,2 años luz.



- ¿Qué es un año luz?
- Expresa este dato en km.
- ¿Cuánto tiempo tarda la luz del Sol en llegar hasta la Tierra?

La distancia media Sol-Tierra es 1 UA (unidad astronómica), que equivale a 149 675 000 km.

- Es una unidad de medida que se utiliza para medir distancias astronómicas. Se define el año luz como la distancia que recorre la luz en un año.
- Tomando como valor de la velocidad de la luz en el vacío es $3 \cdot 10^8$ m/s, y como 31 557 600 s el equivalente a los segundos de un año (365,25 días):

$$4,2 \text{ años luz} \cdot \frac{31\,557\,600 \text{ s}}{1 \text{ año}} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} = 3,976\,257 \cdot 10^{16} \text{ m} = 3,976\,257 \cdot 10^{13} \text{ km}$$

- velocidad de la luz = distancia media Sol-Tierra/tiempo:

$$t = \frac{149\,675\,000\,000 \text{ m}}{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 498,92 \text{ s} = 8 \text{ min } 18,92 \text{ s}$$

40. Lee el párrafo siguiente y expresa todas las magnitudes en el Sistema Internacional y con notación científica.



La Tierra es el tercer planeta más cercano al Sol, se encuentra a una distancia de 149 600 000 km de él. Emplea 365,256 días en viajar alrededor del Sol y 23,9345 horas en describir una revolución completa alrededor de su eje.

$$\text{Distancia Tierra-Sol} = 149\,600\,000 \text{ km} = 149\,600\,000\,000 \text{ m} = 1,496 \cdot 10^{11} \text{ m}$$

$$\text{Tiempo o periodo de rotación} = 365,256 \text{ días} = 31\,558\,118,4 \text{ s} = 3,155\,81 \cdot 10^7 \text{ s}$$

$$\text{Revolución completa} = 23,9345 \text{ h} = 86\,164,2 \text{ s} = 8,616\,42 \cdot 10^4 \text{ s}$$

41. Indica razonadamente la veracidad de las siguientes leyes:



- La Tierra y cada uno de los planetas describen una órbita circular alrededor del Sol.
- Todos los planetas se mueven con la misma velocidad alrededor del Sol.
- El planeta Tierra se mueve con velocidad lineal constante alrededor del Sol.
- Los planetas más alejados del Sol se mueven más deprisa y, por tanto, tardan menos tiempo en dar una vuelta completa.

- a) Falso. La órbita es elíptica.
- b) Falso. Cada planeta se mueve con velocidad areolar constante, pero diferente a la de otros planetas.
- c) Falso. Los planetas se mueven más rápido cuando están próximos al Sol que cuando están más alejados.
- d) Falso. Los planetas más alejados del Sol tardan más tiempo (recorren una distancia mucho mayor).

42. Completa los datos que faltan en la tabla y explica la ley de Kepler que se cumple.

El cociente T^2/d^3 se puede considerar constante e igual a $3 \cdot 10^{-19}$. Se cumple la tercera ley de Kepler:

| Planeta | $d(m)$ | $T(s)$ | T^2/d^3 |
|----------|----------------------|-------------------|-----------------------|
| Tierra | $1,50 \cdot 10^{11}$ | $3,16 \cdot 10^7$ | $2,97 \cdot 10^{-19}$ |
| Marte | $2,27 \cdot 10^{11}$ | $5,94 \cdot 10^7$ | $2,97 \cdot 10^{-19}$ |
| Venus | $1,08 \cdot 10^{11}$ | $1,94 \cdot 10^7$ | $2,98 \cdot 10^{-19}$ |
| Mercurio | $5,79 \cdot 10^{10}$ | $7,60 \cdot 10^6$ | $2,97 \cdot 10^{-19}$ |

43. Calcula el valor de la fuerza de atracción gravitatoria entre dos trozos de basura espacial que están separados una distancia de 100 m y tienen una masa de 3 toneladas cada uno.

Aplicando la ley de la gravitación universal:

$$F = G \cdot \frac{M \cdot m}{d^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \cancel{\text{m}^2}}{\cancel{\text{kg}^2}} \cdot \frac{3000 \cancel{\text{kg}} \cdot 3000 \cancel{\text{kg}}}{10^4 \cancel{\text{m}^2}} = 6 \cdot 10^{-8} \text{ N}$$

44. Completa las palabras que faltan de la ley de la gravitación universal.

Todos los cuerpos se atraen con una fuerza que es _____ proporcional al _____ de sus _____ e _____ proporcional al _____ de la _____ que los separa.

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

45. Indica cómo varía la fuerza de atracción entre dos cuerpos de igual masa (m) situados a una distancia (d) cuando:

- a) La masa de uno de ellos se duplica.
- b) La distancia entre ellos se duplica.
- c) La masa de uno de ellos se duplica y la distancia se duplica.
- d) La masa de ambos se triplica y la distancia se triplica.

Fuerzas gravitatorias

- La fuerza de atracción se duplica ($2F$), al ser directamente proporcional la fuerza a la masa.
- La fuerza de atracción se reduce a la cuarta parte ($F/4$), al ser la fuerza inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.
- La fuerza disminuye hasta la mitad ($F/2$).
- La fuerza, por un lado, se multiplica por 9; y, por el otro, se divide entre 9, por lo que la fuerza no varía.

46. ●● ¿Qué masa deberías tener para sentirte atraído con una fuerza de 10 N hacia otra persona de 60 kg situada a tu lado a un metro de distancia?

Tomando como 1 m la distancia entre las dos personas:

$$\begin{aligned}
 F &= G \cdot \frac{M \cdot m}{d^2} \rightarrow M = \frac{F \cdot d^2}{G \cdot m} = \\
 &= \frac{10 \text{ N} \cdot (1 \text{ m})^2}{6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2} \cdot 60 \text{ kg}} = 2,5 \cdot 10^9 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

47. ●● Calcula la fuerza con que la Tierra atrae a una manzana de 200 g situada en un árbol.

- ¿Con qué fuerza atrae la manzana a la Tierra?
- ¿Con qué aceleración caerá la manzana? ¿Y la Tierra?

Datos: $M_T = 5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg}$; $R_T = 6370 \text{ km}$.

Suponiendo que la manzana se encuentra sobre la superficie de la Tierra:

$$R = 6,37 \cdot 10^6 \text{ m} \rightarrow R^2 = 40,6 \cdot 10^{12} \text{ m}^2$$

Entonces:

$$\begin{aligned}
 F &= G \cdot \frac{M \cdot m}{d^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \cancel{\text{m}^2}}{\text{kg}^2} \cdot \frac{5,98 \cdot 10^{24} \cancel{\text{kg}} \cdot 0,2 \cancel{\text{kg}}}{40,6 \cdot 10^{12} \cancel{\text{m}^2}} = \\
 &= 1,97 \text{ N}
 \end{aligned}$$

48. ●● Indica cuál de las siguientes afirmaciones sobre la fuerza gravitatoria es incorrecta:

- Depende de las masas.
- Es universal, porque actúa en cualquier punto del espacio.
- Puede ser atractiva o repulsiva.
- No es posible aislar un cuerpo de la influencia gravitatoria de otro.
- Depende de la distancia.

- a) Correcta.
- b) Correcta.
- c) Incorrecta, la fuerza gravitatoria siempre es atractiva.
- d) Correcto, no existen pantallas antigravitatorias.
- e) Correcto, es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.

49. Un cuerpo situado sobre la superficie terrestre a una altura igual a la distancia del radio de la Tierra:

- a) Tiene la misma masa que en la superficie.
- b) Cae con una aceleración constante de $9,8 \text{ m/s}^2$.
- c) Pesa la mitad que en la superficie.
- d) Pesa cuatro veces menos que en la superficie.
- e) No pesa nada.

- a) Correcto. La masa no depende de la posición respecto a la Tierra.
- b) Falso. A medida que aumenta la distancia a la superficie de la Tierra la aceleración disminuye.
- c) Falso. El peso disminuye a la cuarta parte.
- d) Correcto.
- e) Incorrecto.

50. Sabiendo que la Tierra no es esférica, sino que está ligeramente achatada por los polos, ¿dónde pesarías menos? Razona la respuesta.

- a) En el Polo Norte.
- b) En España.
- c) En el Polo Sur.
- d) En el ecuador.

Actualmente se sabe que la Tierra está achatada por los polos, que es un elipsoide de revolución cuyo semieje mayor (ecuador) mide 6378 km, y el menor, 6357 km. Estos 21 km de diferencia determinan el achatamiento terrestre. La gravedad en los polos vale $9,8322 \text{ m/s}^2$, y en el ecuador, $9,7803 \text{ m/s}^2$. También existe una pequeña diferencia cuando ascendemos respecto al nivel del mar.

Una persona situada en los polos tiene una gravedad mayor que en el ecuador y pesaría más, al estar más próximo al centro de la Tierra. La misma persona situada en el ecuador pesaría algo menos, al ser la gravedad menor que en los polos.

51. Calcula el peso de una persona de 60 kg en:

- a) La superficie de la Tierra.
- b) La cima del Everest, situada a 8848 m.
- c) Un punto situado a una altura de 3000 km sobre la Tierra.
- d) La superficie de la Luna ($g_{\text{Luna}} = g_{\text{Tierra}}/6$).

Fuerzas gravitatorias

a) $\text{Peso} = m \cdot g_{\text{Tierra}} = 60 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 = 588 \text{ N}$.

b) La distancia total se obtiene sumando al radio de la Tierra la altura de la cima del Everest:

$$R = 6,37 \cdot 10^6 \text{ m} + 8848 \text{ m} = 6378848 \text{ m} \rightarrow R^2 = 4,07 \cdot 10^{13} \text{ m}^2$$

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

$$= 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2} \cdot \frac{5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg} \cdot 60 \text{ kg}}{4,1 \cdot 10^{13} \text{ m}^2} = 588,2 \text{ N}$$

c) La distancia total se obtiene sumando al radio de la Tierra la distancia de 3000 km:

$$R = 6,37 \cdot 10^6 \text{ m} + 3 \cdot 10^6 \text{ m} = 9,37 \cdot 10^6 \text{ m} \rightarrow R^2 = 8,78 \cdot 10^{13} \text{ m}^2$$

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

$$= 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2} \cdot \frac{5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg} \cdot 60 \text{ kg}}{8,78 \cdot 10^{13} \text{ m}^2} = 272,6 \text{ N}$$

d) $\text{Peso} = m \cdot g_{\text{Luna}} = 60 \text{ kg} \cdot (9,8/6) \text{ m/s}^2 = 98 \text{ N}$.

52.



¿A qué altura sobre la superficie terrestre pesaría la mitad que en la superficie? ¿Habría variado tu masa?

La distancia total será igual al radio de la Tierra más la altura h sobre la Tierra:

$$h + R_{\text{Tierra}} = R_{\text{Total}}$$

A partir de la aplicación de la ley de Newton de la gravitación universal a las dos condiciones propuestas se tiene la relación entre ambas distancias:

$$F_2 = \frac{F_1}{2} \rightarrow G \cdot \frac{M \cdot m}{R_{\text{Total}}^2} = G \cdot \frac{M \cdot m}{2 \cdot R_{\text{Tierra}}^2} \rightarrow$$

$$\rightarrow R_{\text{Total}}^2 = 2 \cdot R_{\text{Tierra}}^2 \rightarrow R_{\text{Total}} = \sqrt{2} \cdot R_{\text{Tierra}}$$

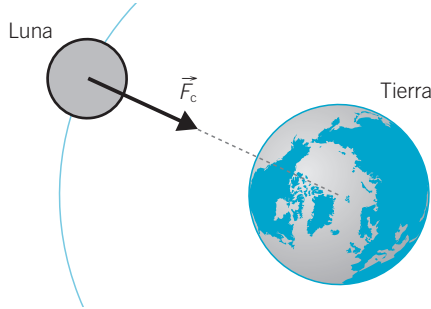
La distancia total debe ser igual a $\sqrt{2}$ veces el radio de la Tierra:

$$R_{\text{Total}} = 1,41 \cdot R_{\text{Tierra}} \rightarrow h = 1,41 \cdot R_{\text{Tierra}} - R_{\text{Tierra}} = 0,41 \cdot R_{\text{Tierra}}$$

La altura debe ser 0,41 veces el radio de la Tierra. Al sustituir en la ecuación de la ley de la gravitación universal de Newton, la fuerza de atracción se reduce exactamente a la mitad y una persona pesaría la mitad.

La masa es una propiedad de la materia que no depende de la altura sobre la superficie terrestre.

53. Dibuja un esquema de la Luna en su órbita alrededor de la Tierra y de la fuerza centrípeta indicando su dirección y sentido.



54. Los satélites geostacionarios se llaman así porque vistos desde la Tierra da la impresión de que están siempre en el mismo punto. La realidad es que describen su órbita en el plano del ecuador y tardan un día en dar una vuelta completa. Calcula a qué distancia de la superficie de la Tierra se encuentran estos satélites y cuál es su velocidad de giro.

Datos: $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$; $M_{\text{Tierra}} = 5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg}$;
 $R_{\text{Tierra}} = 6370 \text{ km}$.

Para que sean geostacionarios su periodo debe coincidir con el periodo de rotación de la Tierra, es decir, 24 horas, que equivalen a 86400 s.

La fuerza que sufren es la fuerza centrípeta, ejercida por la Tierra:

$$F = G \cdot \frac{m_T \cdot m}{r^2} = m \cdot \frac{v^2}{r}$$

Simplificamos en esta ecuación:

$$G \cdot \frac{m_T}{r} = v^2$$

En su órbita el satélite sigue un movimiento circular uniforme.

La velocidad lineal es igual a la longitud de la órbita dividido entre el periodo de rotación:

$$\begin{aligned} v &= \frac{2\pi \cdot r}{T} \rightarrow G \cdot \frac{m_T}{r} = \left(\frac{2\pi \cdot r}{T}\right)^2 \rightarrow G \cdot \frac{m_T}{r} = \frac{4\pi^2 \cdot r^2}{T^2} \rightarrow \\ &\rightarrow G \cdot m_T = \frac{4\pi^2 \cdot r^3}{T^2} \rightarrow \frac{G \cdot m_T \cdot T^2}{4\pi^2} = r^3 \rightarrow \\ \rightarrow r &= \sqrt[3]{\frac{G \cdot m_T \cdot T^2}{4\pi^2}} = \sqrt[3]{\frac{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 5,98 \cdot 10^{24} \cdot (86400)^2}{4\pi^2}} \rightarrow \\ r &= 42\,250\,474 \text{ m} = 42\,250,474 \text{ km} \end{aligned}$$

Fuerzas gravitatorias

Esta es la distancia desde el satélite al centro de la Tierra.

Para calcular la distancia hasta el suelo:

$$d = r - R_T = 42\,250 \text{ km} - 6\,370 \text{ km} = 35\,880 \text{ km}$$

Ahora podemos calcular la velocidad de giro:

$$v = \frac{2\pi \cdot r}{T} = \frac{2\pi \cdot 42\,250 \text{ km}}{86\,400 \text{ s}} = 3,07 \text{ km/s} \sim 11\,000 \text{ km/h}$$

55. Contesta:



a) ¿Dónde pesa más un lingote de 12,5 kg?

- A nivel del mar.
- En los polos.
- En la cima del Everest.

b) ¿Sería buen negocio comprar oro en los polos y venderlo en el Everest?

- a) Dado que la Tierra no es exactamente una esfera, sino que está achatada por los polos, la aceleración de la gravedad es algo mayor en los polos, donde el radio terrestre es menor, que a nivel del mar, en el ecuador o en la cima del Everest, donde el radio de la Tierra es mayor. Como consecuencia, un lingote pesará más en los polos, ya que depende del valor de la aceleración de la gravedad, y esta es mayor.
- b) Aunque la diferencia en el valor de la aceleración de la gravedad es muy pequeña, si compramos oro en los polos, como el peso del lingote es algo mayor que el peso en el Everest, al venderlo pesaría menos, nos pagarían menos y perderíamos dinero.

56. Indica qué características corresponden al peso y cuáles a la masa:



- a) Cantidad de materia que posee un cuerpo.**
- b) No depende del lugar en el que está situado el cuerpo.**
- c) Fuerza con que la Tierra atrae a los cuerpos.**
- d) Es una magnitud escalar.**
- e) Se mide en $\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$.**

- a) Masa.
- b) Masa.
- c) Peso.
- d) Masa.
- e) Peso.

57. Observa la tabla de datos.



- a) Calcula tu peso en cada uno de los planetas del Sistema Solar.**
- b) Calcula la velocidad (m/s y km/h) de un cuerpo que cae verticalmente desde una altura de 1 m en cada planeta.**

Suponiendo una masa de 50 kg:

| Planeta | $g(\text{m/s}^2)$ | Peso (N) | $v = (2g \cdot h)^{1/2}$ (m/s) | v (km/h) |
|----------|-------------------|----------|--------------------------------|------------|
| Mercurio | 2,65 | 132,5 | 2,3 | 8,3 |
| Venus | 8,50 | 425 | 4,1 | 14,76 |
| Tierra | 9,81 | 490,5 | 4,43 | 15,9 |
| Marte | 3,72 | 186 | 2,73 | 9,8 |
| Júpiter | 25,89 | 1294,5 | 7,2 | 25,9 |
| Saturno | 11,48 | 574 | 4,79 | 17,25 |
| Urano | 9,03 | 451,5 | 4,25 | 15,3 |
| Neptuno | 14,13 | 706,5 | 5,3 | 19,1 |

58. El peso de una persona en la Tierra es de 500 N, y en Júpiter, de 1321 N.



- ¿Cuál será su masa?
- ¿Cuál será la gravedad en Júpiter?
- ¿Qué masa tendría que tener en Júpiter para que pesase lo mismo que en la Tierra?

a) Peso en la Tierra = $m \cdot g = m \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 = 500 \text{ N}$
 $m = 51 \text{ kg}$

b) Peso en Júpiter = $m \cdot g = 51 \text{ kg} \cdot g = 1321 \text{ N}$
 $g = 25,9 \text{ m/s}^2$

c) Peso en la Tierra = $500 \text{ N} = m \cdot g_{\text{Júpiter}}$
 $500 \text{ N} = m \cdot 25,9 \text{ m/s}^2 \rightarrow m = 19,3 \text{ kg}$

59. Marte es el planeta elegido por los escritores de ciencia ficción como sitio más favorable del Sistema Solar para ser habitado por el ser humano.



- ¿Cuál es la aceleración de la gravedad en Marte?
- ¿Cómo te sentirías: más ligero o más pesado?
- ¿Cuál sería tu peso en Marte?

Datos: $M_{\text{Marte}} = 6,4 \cdot 10^{23} \text{ kg}$; diámetro = 6780 km.

a) A partir de la expresión de la aceleración de la gravedad:

$$g = \frac{G \cdot M}{R^2} = \frac{6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2 \cdot 6,4 \cdot 10^{23} \text{ kg}}{(3,39 \cdot 10^6 \text{ m})^2} = 3,7144 \text{ m/s}^2$$

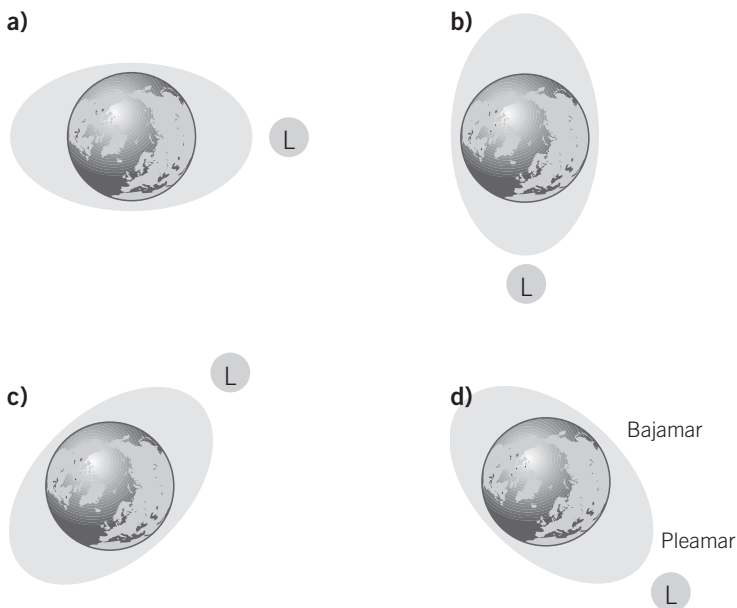
b) El valor de la aceleración es aproximadamente tres veces menor que en la superficie de la Tierra; por tanto, nos sentiremos mucho más ligeros.

c) Supuesta una masa de 60 kg, el peso sería:

$$\text{Peso} = m \cdot g_{\text{Marte}} = 60 \text{ kg} \cdot 3,7 \text{ m/s}^2 = 222,8 \text{ N}$$

Fuerzas gravitatorias

60. Dibuja la posición de la Luna en los siguientes esquemas que reflejan la situación de las mareas en la Tierra:



La Luna, al estar mucho más cerca de la Tierra que el Sol, es la causa principal de las mareas. La Luna controla siempre la hora de la marea alta y de la marea baja, mientras que el Sol modifica el grado de ascenso o de descenso del nivel del agua.

La explicación es que el agua en el lado de la Tierra más cercano a la Luna es atraída por la fuerza gravitatoria de la Luna con mayor intensidad, mientras que el agua del lado de la Tierra más alejado de la Luna es atraída con menor intensidad que la Tierra. El efecto es que se forman salientes en el agua en lados opuestos de la Tierra.

En las zonas perpendiculares al eje de las mareas altas se producen fases de marea baja.

61. Indica la principal diferencia entre un planeta, un planeta enano y un asteroide.

Los planetas son astros que giran en torno al Sol al igual que los planetas enanos, pero estos últimos no han despejado su órbita de otros astros con un tamaño comparable al suyo. Los asteroides son objetos rocosos demasiado pequeños para ser considerados como planetas.

62. Lee atentamente el texto y responde a las cuestiones:



Los módulos *Viking* llevaron a cabo en 1977 diversos experimentos para determinar la posibilidad de existencia de vida en Marte. Los resultados no fueron concluyentes, pero la mayor parte de los científicos cree que no mostraron ninguna evidencia de vida en Marte.

- ¿Por qué crees que las naves enviadas a Marte hasta ahora no llevan tripulación?
- ¿Cuál es la finalidad de estas misiones espaciales?
- ¿Qué importancia tendría el descubrimiento de agua en Marte?
- ¿Crees que puede haber vida en Marte?

- Las misiones a Marte no van tripuladas debido a la gran distancia que existe y al excesivo tiempo que llevaría el viaje de ida y regreso a la Tierra, lo que complica la supervivencia de los tripulantes.
- Realizar investigaciones sobre el origen del Sistema Solar y sobre la posibilidad de que haya existido o pueda existir vida en Marte de forma semejante a la Tierra.
- De descubrirse agua supondría que se podrían establecer campamentos base para iniciar la vida vegetal y animal en Marte.
- Con las pruebas actuales no se puede afirmar que haya vida en Marte ni en ningún otro planeta del Sistema Solar.

63. Completa la columna de la distancia entre los planetas y el Sol.



Una unidad astronómica equivale a la distancia media entre la Tierra y el Sol: $1 \text{ UA} = 1,497 \cdot 10^{11} \text{ m}$.

| Planeta | Distancia al Sol (UA) | Distancia al Sol (km) |
|----------|-----------------------|-----------------------|
| Mercurio | 0,387 | $5,79 \cdot 10^7$ |
| Venus | 0,723 | $1,0 \cdot 10^8$ |
| Tierra | 1,000 | $1,467 \cdot 10^8$ |
| Marte | 1,524 | $2,28 \cdot 10^8$ |
| Júpiter | 5,203 | $7,79 \cdot 10^8$ |
| Saturno | 9,515 | $1,42 \cdot 10^9$ |
| Urano | 19,165 | $2,87 \cdot 10^9$ |
| Neptuno | 30,027 | $4,59 \cdot 10^9$ |

RINCÓN DE LA LECTURA

1. ● **Redacta un resumen del primer texto. ¿Por qué «ha aparecido en escena» la energía oscura?**

La energía oscura ha aparecido porque los últimos estudios indican que la expansión del universo se está acelerando.

2. ●● **En ambos textos se habla de un universo en expansión acelerada. ¿Cómo lo entiendes?**

La expansión acelerada quiere decir que la velocidad a la que se alejan las galaxias lejanas va aumentando a medida que pasa el tiempo.

3. ●● **En las últimas líneas del primer texto se comenta la idea que hasta hace muy pocos años se tenía de la expansión del universo, que iniciada con la gran explosión debería ser cada vez más lenta debido al freno impuesto por la atracción gravitatoria de la materia existente. Explícalo de otra forma.**

Como la materia ejerce una fuerza de atracción sobre la demás materia del universo, tras la gran explosión inicial la expansión debería ir frenándose debido precisamente a esta fuerza de atracción gravitatoria existente entre dos masas cualesquiera presentes en el universo.