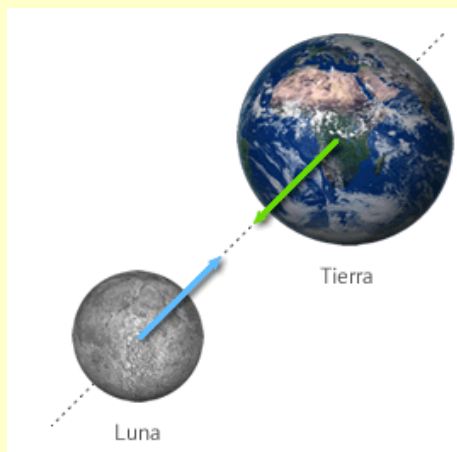


4º E.S.O.

FÍSICA Y QUÍMICA

9. FUERZAS GRAVITATORIAS



R. Artacho
Dpto. de Física
y Química

Índice

CONTENIDOS

1. Revisión de conceptos · 2. La fuerza gravitatoria · 3. El peso y la aceleración de la gravedad · 4. Movimiento de planetas y satélites

CRITERIOS DE EVALUACIÓN

9. Valorar la relevancia histórica y científica que la ley de la gravitación universal supuso para la unificación de las mecánicas terrestre y celeste, e interpretar su expresión matemática.

10. Comprender que la caída libre de los cuerpos y el movimiento orbital son dos manifestaciones de la ley de la gravitación universal.

11. Identificar las aplicaciones prácticas de los satélites artificiales y la problemática planteada por la basura espacial que generan.

ESTÁNDARES DE APRENDIZAJE

9.1. Justifica el motivo por el que las fuerzas de atracción gravitatoria solo se ponen de manifiesto para objetos muy masivos, comparando los resultados obtenidos de aplicar la ley de la gravitación universal al cálculo de fuerzas entre distintos pares de objetos.

9.2. Obtiene la expresión de la aceleración de la gravedad a partir de la ley de la gravitación universal, relacionando las expresiones matemáticas del peso de un cuerpo y la fuerza de atracción gravitatoria.

10.1. Razona el motivo por el que las fuerzas gravitatorias producen en algunos casos movimientos de caída libre y en otros casos movimientos orbitales.

11.1. Describe las aplicaciones de los satélites artificiales en telecomunicaciones, predicción meteorológica, posicionamiento global, astronomía y cartografía, así como los riesgos derivados de la basura espacial que generan.

1.1. Modelos del Universo

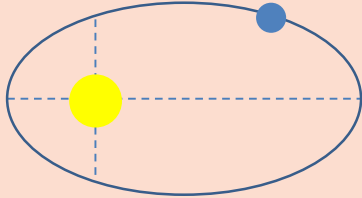
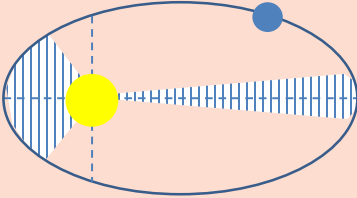
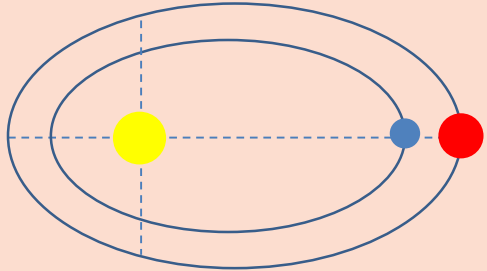
Conclusión de observaciones en la Antigüedad

- ☞ Algunos cuerpos celestes, como el Sol, la Luna y los planetas, giran alrededor de la Tierra dando vueltas que se repiten cada cierto tiempo.
- ☞ Los cuerpos celestes que brillan más están más cerca de la Tierra y los que brillan menos están más alejados.
- ☞ Algunos planetas, como Marte, varían su distancia a la Tierra, pues su brillo cambia según la época del año.
- ☞ Las estrellas son pequeños puntos brillantes. Algunas parecen fijas y se deben encontrar en la parte más alejada de la bóveda celeste.

Como consecuencia, se idearon dos modelos:

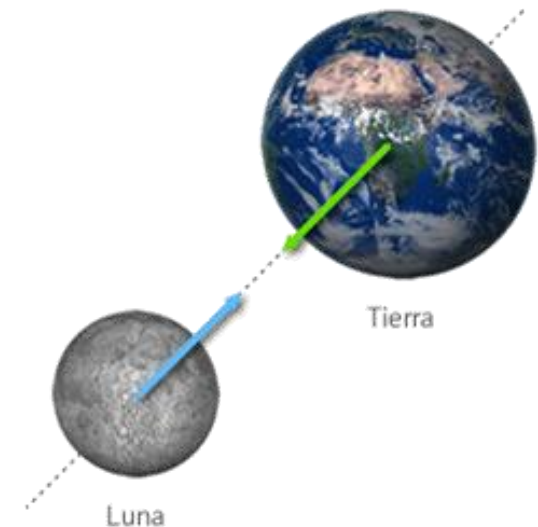
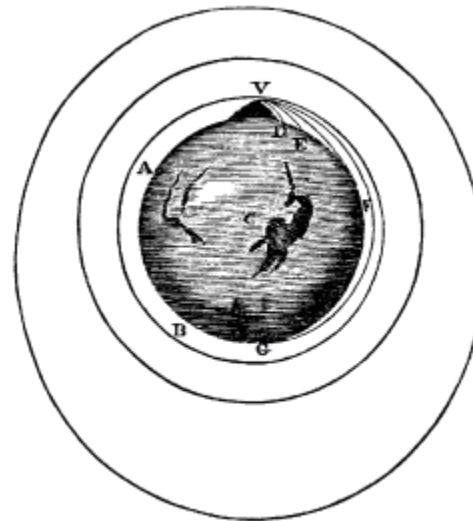
- ✓ **Modelo geocéntrico** donde la Tierra permanece fija en el centro del Universo (Aristóteles, Ptolomeo,..).
- ✓ **Modelo heliocéntrico** donde el Sol es el centro del Universo (Aristarco de Samos, Copérnico,..).

1.2. Leyes de Kepler

1ª Ley	2ª Ley	3ª Ley
 <p>Los planetas giran alrededor del Sol describiendo órbitas elípticas. El Sol está en uno de sus focos.</p>	 <p>Los planetas giran con velocidad areolar constante, es decir, barren áreas iguales en tiempos iguales.</p>	 <p>Existe una relación constante entre la distancia media de un planeta al Sol (d) y el tiempo en completar una vuelta T:</p> $\frac{T^2}{d^3} = cte.$

2. La fuerza gravitatoria

- Las leyes de **Kepler** permiten conocer el movimiento de los planetas pero no la fuerza que origina ese movimiento. Kepler sugirió que eran de carácter magnético que emanaban del Sol.
- Newton** dedujo esta fuerza al observar la caída de una manzana, pensó que la misma fuerza que obligaba a caer a la manzana era responsable del movimiento de la Luna y por extensión de los planetas.



El Sol ejerce sobre los planetas una fuerza de atracción gravitatoria responsable de que los planetas giren en torno a él.

2. La fuerza gravitatoria

ACTIVIDADES

1. **La Luna da una vuelta alrededor de la Tierra cada 27,3 días, describiendo una órbita casi circular de 384 400 km de radio.**
 - a) Dibuja la Luna en un punto de su trayectoria alrededor de la Tierra. Añade los vectores velocidad y aceleración centrípeta de la Luna.
 - b) Calcula la velocidad de la Luna y la fuerza centrípeta que actúa sobre ella.
 - c) Como sería la trayectoria de la Luna si su velocidad fuese la mitad de la obtenida en b)?

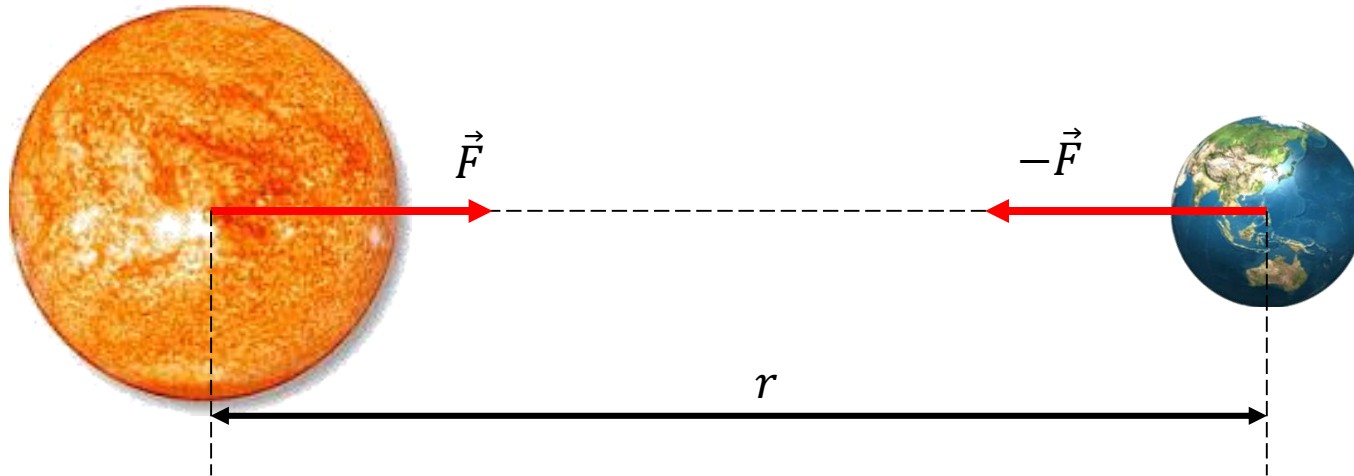
Dato: $M_{\text{Luna}} = 7,35 \cdot 10^{22} \text{ kg}$

2. La fuerza gravitatoria

2.1. Ley de la gravitación universal

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

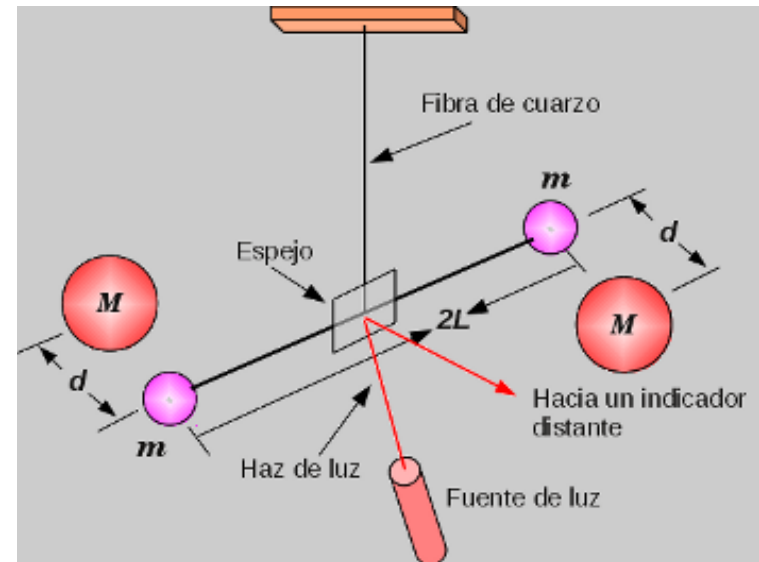
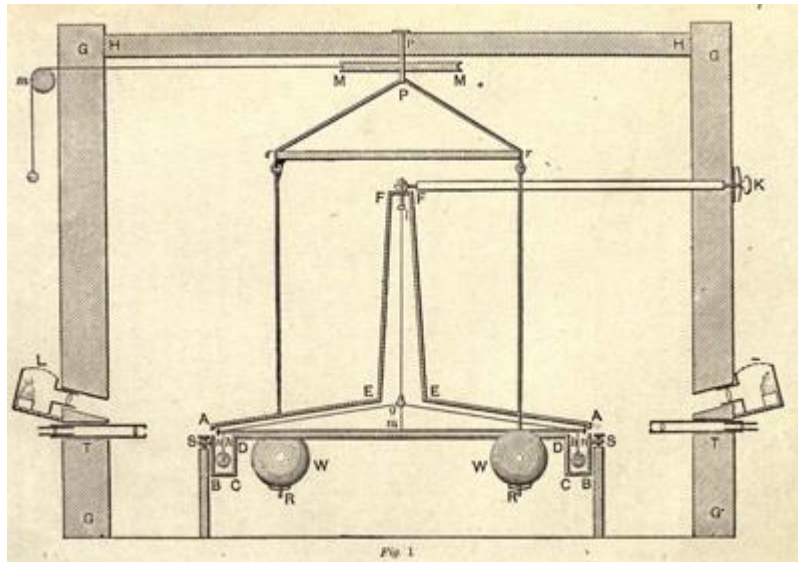
$$F_G = G \frac{M \cdot m}{r^2}$$



2. La fuerza gravitatoria

2.1. Ley de la gravitación universal

Experimento de Cavendish para determinar G



$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{kg}^2}$$



2. La fuerza gravitatoria

ACTIVIDADES

2. Calcula el valor de la fuerza de atracción gravitatoria entre dos chicas de 60 y 55 kg separadas a una distancia de 2 m. Valora el resultado.

Dato: $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$

3. ¿Cuál debe ser la masa de un cuerpo para que, encontrándose a 2 m de un chico de 60 kg, le atraiga con una fuerza de 1 N?

Dato: $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$

2. La fuerza gravitatoria

Ejemplo resuelto

Para jugar al baloncesto se utiliza un balón de unos 600 g. Supón que uno de estos balones está suspendido a 2 m del suelo. Utilizando los datos que se indican:

- Dibuja la fuerza de atracción gravitatoria entre el balón y la Tierra y calcula su valor.
- Calcula la aceleración que la fuerza gravitatoria comunica al balón.
- Calcula la aceleración que la fuerza gravitatoria comunica a la Tierra.

Datos: $M_{\text{Tierra}} = 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$; $R_{\text{Tierra}} = 6370 \text{ km}$; $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$

a)



$$F_G = G \frac{M_T \cdot m}{R_T^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{5,97 \cdot 10^{24} \cdot 0,6}{(6370 \cdot 10^3 + 2)^2} = 5,9 \text{ N}$$

b)

$$a_{\text{balón}} = \frac{F_G}{m_{\text{balón}}} = \frac{5,9}{0,6} = 9,8 \text{ m/s}^2$$

c)

$$a_{\text{Tierra}} = \frac{F_G}{m_{\text{Tierra}}} = \frac{5,9}{5,97 \cdot 10^{24}} = 9,9 \cdot 10^{-25} \text{ m/s}^2$$

2. La fuerza gravitatoria

ACTIVIDADES

4. Dos cuerpos *A* y *B*, separados una distancia *d*, se atraen con una fuerza *F*. Razona cuál será el valor de la fuerza entre ambos cuerpos si:
- La masa de *A* se duplica y el resto sigue igual.
 - La distancia entre los cuerpos se duplica y el resto sigue igual.
 - Se duplica la masa de *A* y la distancia entre los cuerpos y se mantiene la masa de *B*.
 - Se duplica la masa de *A*, la masa de *B* y la distancia entre los cuerpos.
5. Sabiendo que la distancia media de la Tierra a la Luna es de $3,84 \cdot 10^5$ km, calcula:
- La fuerza con que se atraen la Tierra y la Luna.
 - La aceleración que esa fuerza le comunica a la Luna y a la Tierra. Explica, basándote en ello, porqué la Luna gira alrededor de la Tierra y no al revés.
- Datos: $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$; $M_{\text{Tierra}} = 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$; $M_{\text{Luna}} = 7,35 \cdot 10^{22} \text{ kg}$

3. El peso y la aceleración de la gravedad

El **peso** es la fuerza de atracción gravitatoria que ejerce un cuerpo celeste sobre los cuerpos que están en sus proximidades.

☞ En la superficie terrestre:

$$\left. \begin{array}{l} P = m \cdot g \\ F_G = G \cdot \frac{M_T \cdot m}{R_T^2} \end{array} \right\} \longrightarrow g = G \cdot \frac{M_T}{R_T^2}$$

☞ A una altura h en la superficie terrestre:

$$g = G \cdot \frac{M_T}{(R_T + h)^2} \quad \text{si } h \ll R_T \quad g \approx G \cdot \frac{M_T}{R_T^2}$$

☞ En general, en la superficie de cualquier cuerpo celeste:

$$P = m \cdot g \quad \text{donde} \quad g = G \cdot \frac{M}{R^2}$$

3. El peso y la aceleración de la gravedad

Ejemplo resuelto

Calcula el peso de un balón de 600 g suspendido a 2 m sobre la superficie de la Luna. Compáralo con su peso en la Tierra, hallado en el ejemplo anterior resuelto.

Datos: $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$; $R_{\text{Luna}} = 1740 \text{ km}$; $M_{\text{Luna}} = 7,35 \cdot 10^{22} \text{ kg}$

Calculamos el valor de g en la Luna y el peso del balón:

$$g_L = G \cdot \frac{M_L}{R_L^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{7,35 \cdot 10^{22}}{(1740 \cdot 10^3)^2} = 1,62 \text{ N/kg}$$

$$P_L = m \cdot g_L = 0,6 \cdot 1,62 = \mathbf{0,97 \text{ N}}$$

La masa del cuerpo es la misma en cualquier sitio, pero su peso es mucho mayor en la Tierra (5,9 N) que en la Luna (0,97 N).

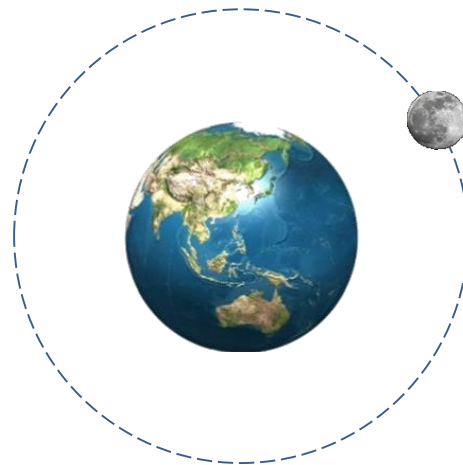
3. El peso y la aceleración de la gravedad

ACTIVIDADES

6. Utiliza el análisis dimensional para comprobar que las unidades en las que se puede expresar g (m/s^2 o N/kg) son equivalentes.
7. Un balón de 600 g, suspendido a 2 m del suelo de Marte, pesa 2,3 N. Calcula:
- El valor de g en Marte.
 - La masa de Marte si su forma es aproximadamente una esfera de 3,38 millones de metro de radio.
- Datos: $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$

4. Movimiento de planetas y satélites

- ☞ Newton demostró que la fuerza gravitatoria que ejerce el cuerpo que está en el centro, alrededor del cual giran otros, es también la fuerza centrípeta responsable de ese movimiento.
- ☞ Podemos comprobar que los datos medidos por astrónomos como Kepler acerca de la distancia de los planetas al Sol y sus periodos orbitales coinciden con los que se obtienen relacionando la fuerza gravitatoria y la fuerza centrípeta.



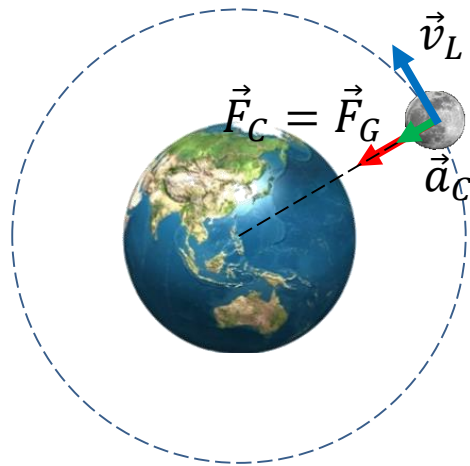
$$F_G = F_C = m_S \cdot a_C$$

$$F_G = P = m_S \cdot g$$

Ejemplo resuelto

La Luna es el satélite de la Tierra y gira a su alrededor describiendo una órbita casi circular de 384 000 km de radio. Teniendo en cuenta los datos que se indican, comprueba que la Luna da una vuelta completa alrededor de la Tierra cada 27,3 días.

Datos: $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$; $M_{\text{Tierra}} = 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$; $M_{\text{Luna}} = 7,35 \cdot 10^{22} \text{ kg}$



$$F_G = F_C \rightarrow G \cdot \frac{M_T \cdot m_L}{d_{T-L}^2} = m_L \cdot \frac{v_L^2}{d_{T-L}}$$

$$v_L = \sqrt{G \cdot \frac{M_T}{d_{T-L}}} = \sqrt{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{5,97 \cdot 10^{24}}{384\,000 \cdot 10^3}}$$

$$v_L = 1018,64 \text{ m/s}$$

$$v_L = \frac{2\pi \cdot d_{T-L}}{T} \rightarrow T = \frac{2\pi \cdot d_{T-L}}{v_L} = \frac{2\pi \cdot 384\,000 \cdot 10^3}{1018,64} = 2,37 \cdot 10^6 \text{ s} = 27,4 \text{ días}$$

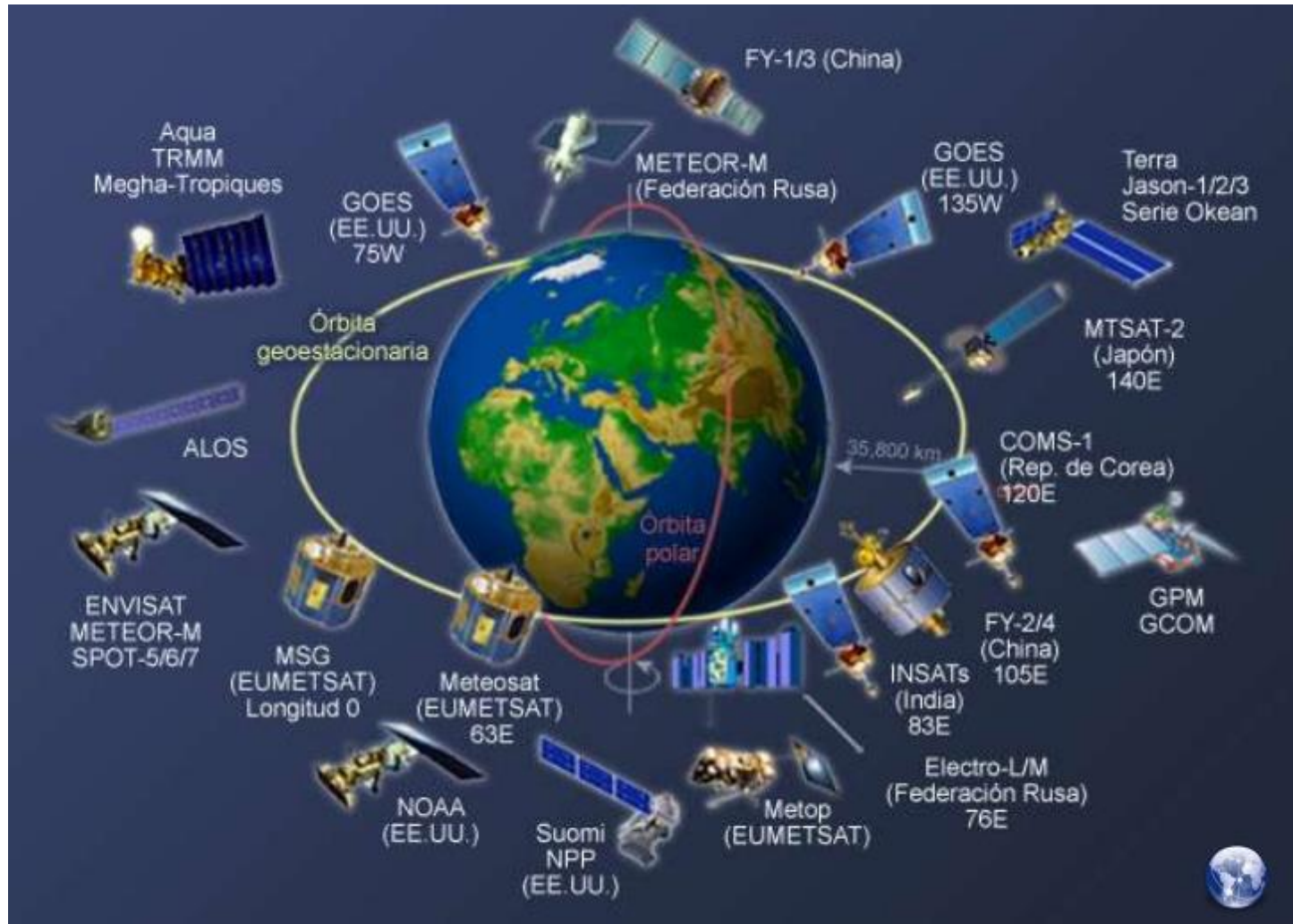


ACTIVIDADES

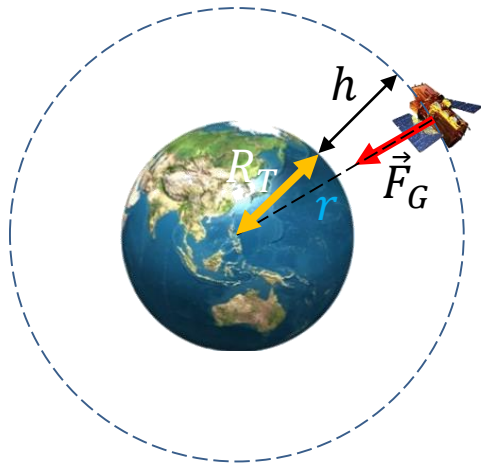
8. La Tierra tarda 365,24 días en completar su órbita alrededor del Sol. Teniendo en cuenta los datos que se indican, calcula la distancia media entre la Tierra y el Sol.

Datos: $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$; $M_{\text{Sol}} = 1,99 \cdot 10^{30} \text{ kg}$

4.1. Satélites artificiales



4.1. Satélites artificiales en movimiento



$$F_G = F_C$$

$$F_G = G \cdot \frac{M_T \cdot m}{r^2} \quad \text{donde } r = R_T + h$$

$$G \cdot \frac{M_T \cdot m}{r^2} = m \cdot \frac{v^2}{r} \quad \rightarrow \quad v = \sqrt{G \cdot \frac{M_T}{r}} \quad \text{Velocidad orbital}$$

Cálculo del periodo orbital de un satélite

$$G \cdot \frac{M_T \cdot m}{r^2} = m \cdot \frac{v^2}{r} \quad \rightarrow \quad v^2 = G \cdot \frac{M_T}{r} \quad \rightarrow \quad v = \frac{2\pi \cdot r}{T}$$

$$\frac{(2\pi)^2 \cdot r^2}{T^2} = G \cdot \frac{M_T}{r} \quad \rightarrow \quad T = \sqrt{\frac{(2\pi)^2 \cdot r^3}{G \cdot M_T}}$$

Ejemplo resuelto

Para la observación meteorológica se usan satélites geoestacionarios es decir, satélites que orbitan en el plano del ecuador y cuyo periodo coincide con el periodo de rotación de la Tierra. Calcula a qué distancia sobre la Tierra se encuentran estos satélites.

Datos: $M_T = 5,97 \cdot 10^{24}$ kg; $R_T = 6370$ km; $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ N·m²/kg²

$$G \cdot \frac{M_T \cdot m}{r^2} = m \cdot \frac{v^2}{r} \rightarrow v^2 = G \cdot \frac{M_T}{r} \rightarrow v = \frac{2\pi \cdot r}{T}$$

$$\frac{(2\pi)^2 \cdot r^2}{T^2} = G \cdot \frac{M_T}{r} \rightarrow r = \sqrt[3]{G \cdot \frac{M_T \cdot T^2}{(2\pi)^2}}$$

$$r = \sqrt[3]{G \cdot \frac{M_T \cdot T^2}{(2\pi)^2}} = \sqrt[3]{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{5,97 \cdot 10^{24} \cdot (24 \cdot 3600)^2}{(2\pi)^2}} = 4,22 \cdot 10^7 \text{ m}$$

$$h = r - R_T = 4,22 \cdot 10^7 - 6370 \cdot 10^3 = 3,59 \cdot 10^6 \text{ m}$$



ACTIVIDADES

9. La Estación Orbital Internacional orbita la Tierra a unos 400 km sobre la superficie. ¿Cuánto tarda en completar una vuelta alrededor de la Tierra?

Datos: $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$; $M_T = 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$; $R_T = 6370 \text{ km}$

4.2. La basura espacial

Se llama **basura espacial** a cualquier objeto artificial sin utilidad que orbita la Tierra. Está formada por restos de cohetes, satélites obsoletos, fragmentos producidos en explosiones, etc.

