

Campo gravitatorio

	
Imagen en COMMONS.WIKIMEDIA de Algarabia bajo licenciaCC	Imagen en COMMONS.WIKIMEDIA de Davidhv22 bajo licenciaCC
	
Imagen en COMMONS.WIKIMEDIA de Armando185 bajo licenciaCC	Imagen en COMMONS.WIKIMEDIA de Juanaedc bajo licenciaCC

Todas estas fotografías tienen algo en común: se refieren a caídas. Y ya sabes que tanto las caídas de objetos y como el movimiento planetario responden a una de las interacciones fundamentales de la naturaleza: la interacción gravitatoria.

Normalmente, solemos pensar que dos objetos diferentes que parten de un mismo punto no caen a la vez, pero si la interacción gravitatoria es la misma deberían caer al unísono. En realidad, los objetos no llegan al suelo al mismo tiempo debido al rozamiento con el aire. Para demostrarte esto puedes ver el siguiente vídeo:



1. Definición de campo



Imagen en COMMONS.WIKIMEDIA de [Andrea Duess](#)
bajo licencia CC

Lo que aquí vamos a exponer no tiene nada que ver con salir al campo un día y hacer una acampada o comida en el campo.

Piensa en la Ley de Gravitación Universal. Con ella se resolvió uno de los grandes enigmas de su tiempo; sin embargo, como la gran mayoría de las grandes teorías e investigaciones, dejaba algunos flecos pendientes.

En una carta a un amigo, Newton ya hacía constatar su preocupación. Él expresó su inquietud con estas palabras (se trata de una traducción): "Es inconcebible que la materia bruta inanimada pueda, sin la mediación de algo más que no sea material, operar y afectar a otra materia sin mutuo contacto,... Que un cuerpo pueda actuar sobre otro a distancia a través del vacío, sin mediación de algo más mediante lo cual sus acciones y fuerzas puedan entrar en contacto, me parece tan absurdo que no creo que nadie competente pueda creer en ello."

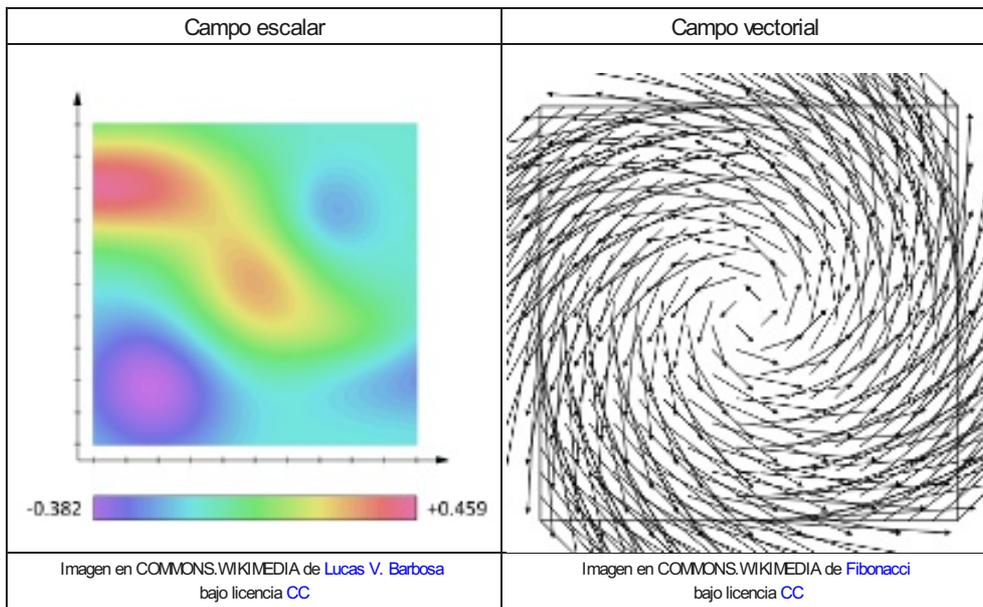
En definitiva, lo que se debe explicar es cómo es posible que las fuerzas gravitatorias actúen a distancia, sin contacto entre la masa que ejerce la fuerza y la masa sobre la que ésta actúa.

La resolución de esta cuestión y otras análogas (como las fuerzas existentes entre cargas eléctricas y entre imanes, que también son a distancia) se desarrolló a lo largo del siglo XIX al

introducir la idea de **campo**.

Pero, ¿qué es un campo? Desde luego, no es un lugar para plantar o divertirse con una merienda. Para los físicos, es una región o zona donde es posible medir cierta magnitud, y que el valor medido dependa exclusivamente del punto considerado.

Si la propiedad mensurada es un número como la temperatura o la presión, se dice que en dicha región del espacio hay un **campo escalar**. Si, por el contrario, la propiedad en cuestión es vectorial, como fuerza o velocidad, se habla de **campo vectorial**.



En el caso de que un campo vectorial sea debido a fuerzas, se denominan **campos de fuerzas**. (Es rara la película de ciencia ficción relacionada con viajes en el espacio en la que no se hable de campos de fuerzas).

Importante

La definición de campo puede quedar de esta forma:

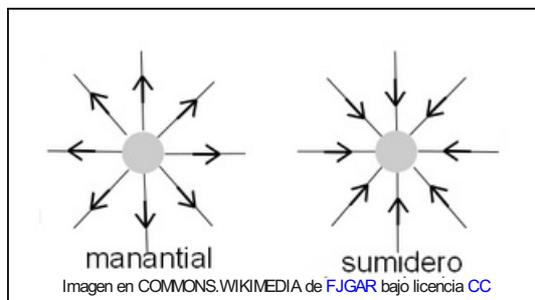
A toda región de un espacio a la que se le puede asignar un valor único de una propiedad física se le denomina **campo**.

Cuando se trata de representar un campo vectorial en un papel, se dibujan líneas de campo. Las **líneas de campo** son líneas imaginarias que se dibujan de tal forma que el vector que define el campo es tangente a ellas en todos los puntos.

Estas líneas presentan una serie de propiedades:

- Su sentido de recorrido y el vector que representa el campo coinciden en cada punto. (Es decir, las puntas de las flechas indican la dirección del campo).
- Pueden existir líneas cerradas o abiertas.
- El espacio entre cada línea indica el valor del campo. En los puntos o zonas donde las líneas están más juntas o tienden a converger el campo es más intenso, mientras que donde están muy separadas el campo es muy pequeño.
- Las líneas de campo no se pueden cortar, porque si lo hicieran en un punto habría dos valores distintos de intensidad de campo. Si el campo es uniforme (ver apartado 1.3), las líneas de campo son rectas paralelas e igualmente espaciadas.
- Si las trayectorias de las líneas salen de un punto, al punto de donde proceden se le llama **manantial o fuente**. Si todas las líneas llegan a un punto, éste se conoce por **sumidero**.

Puedes entender esto último mejor con el siguiente dibujo:



Puedes aclararte un poco más con la animación de esta [página](#).

Reflexiona

¿Pueden cortarse dos líneas de campo?

[Mostrar retroalimentación](#)

1.1 El valor del campo gravitatorio

Nos vamos a centrar ahora en el **campo gravitatorio** o campo gravitacional.

Si se dispone en cierta región del espacio una masa M , el espacio alrededor de M adquiere ciertas características que no disponía cuando no estaba M . Por el simple hecho de estar ahí, la masa M distorsiona el espacio que lo rodea dotándolo de una propiedad que antes no poseía y que sólo afectará a la materia que posea la misma propiedad. Este hecho se puede comprobar acercando otra masa m (que se conoce con el nombre de masa testigo) y constatando que se produce la interacción. A la situación física que produce la masa M se la denomina campo gravitatorio. Este campo gravitatorio viene dado por un campo vectorial de fuerzas. Realmente, es el campo gravitatorio creado por la fuente M el que realmente interacciona con la masa testigo.

El campo gravitatorio actúa así como una especie de *portador de fuerza*. Buscando una analogía cinematográfica, aunque incorrecta, sería como la fuerza de los Jedis en Star Wars, dado que es el que permite que la masa fuente interactúe con la masa testigo a través de él.

Por tanto, la intensidad del campo se puede expresar como la fuerza soportada por la masa testigo entre el valor de la misma.

El campo \vec{g} creado por una distribución de masa esférica se puede expresar como la fuerza soportada por la masa testigo entre el valor de la misma. Este campo viene dado, en cada punto fuera de la esfera, por un campo vectorial que apunta hacia el centro de la esfera:

$$\vec{g} = \frac{\vec{F}}{m} = -G \cdot \frac{M}{R^2} \vec{u}_r$$

El signo menos indica que el campo gravitatorio tiene carácter atractivo.

Es importante que te des cuenta de que, tal como se ha definido, el campo gravitatorio en un punto **no depende** del valor de la masa " m " que lo soporta; de hecho, el campo existe aunque la masa " m " no se encuentre allí. Por el contrario, el valor del campo **sí depende** de la masa que lo crea (M) y la distancia a la posición de ésta (R).

Plantéate el siguiente ejemplo: Piensa en algo que estés viendo en este momento, por ejemplo, un lápiz. El valor del campo gravitatorio en ese punto es aproximadamente 9.8 N/kg (hablamos del módulo de g), y ese valor no depende de si está el lápiz allí o no, sólo depende de la masa que creó el campo (la Tierra, M_T) y el lugar donde se mide (cerca de la superficie, R_T).



Imagen en FLICKR de NASA bajo licencia CC

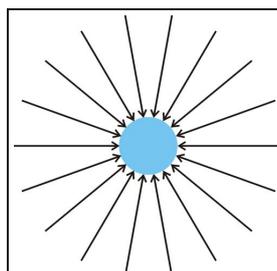


Imagen de Wikimedia Commons

bajo licencia CC BY-SA 3.0.

Ejercicio resuelto

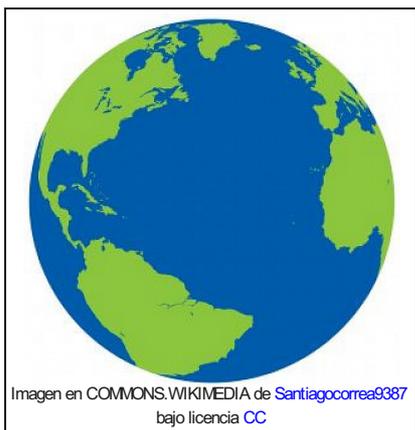


Imagen en COMMONS.WIKIMEDIA de Santiagocorrea9387 bajo licencia CC

Fijate en la imagen de la representación del planeta Tierra. Nuestro planeta tiene una masa de $5.972 \cdot 10^{24} \text{ kg}$. Comparada con tu masa, es un valor de muy distinta magnitud, ¿verdad?

Compara el campo gravitatorio, es decir, la intensidad de campo, que crea la Tierra sobre un cuerpo situado a una distancia de 20000 km . Calcula también la intensidad que creas tú, suponiendo que tu masa es de 70 kg , a un metro de distancia de ese mismo cuerpo.

Mostrar retroalimentación

1.2 El principio de superposición



Piensa un momento en la siguiente situación: si un caballo tira de un carro, éste adquiere movimiento; pero, evidentemente, si son dos caballos los que tiran del carro, éste se podrá mover con mayor velocidad y así sucesivamente al aumentar el número de equinos. La fuerza que ejercen los animales sobre el carro se ve incrementada con la participación adicional de un animal.

Si extendemos este hecho a la existencia del campo gravitatorio, podemos llegar a la siguiente conclusión: la presencia de una masa perturba una zona del espacio donde ésta se encuentra; pero, si añado otra, ésta también afectará a esa región, acumulando su efecto. A esta situación se le conoce por **principio de superposición**.

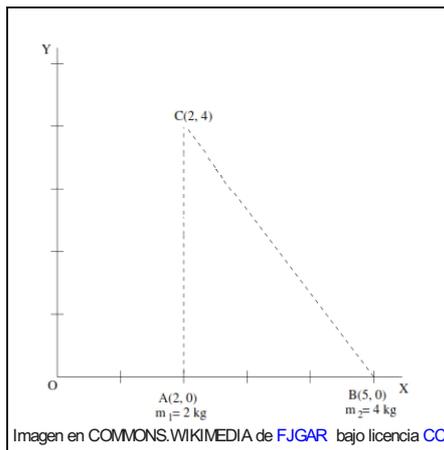
Para aclarar tus ideas, te aconsejo que practiques con los siguientes ejercicios.

Ejercicio resuelto

GeoGebra

Animación de [onio72](#) en [GeogebraTube](#) bajo licencia [CC-BY-SA](#)

Ejercicio resuelto



La imagen de la derecha representa esta situación. En un punto A de coordenadas (2,0) con respecto a un sistema de referencia se sitúa una masa de 2 kg y en otro punto B (5,0) se coloca otro cuerpo de masa igual a 4 kg. Las coordenadas están expresadas en metros.

Determina la intensidad de campo o campo gravitatorio resultante en el punto C cuyas coordenadas son (2,4).

Mostrar retroalimentación

Se puede aplicar el principio de superposición también para calcular la fuerza de atracción gravitatoria debida a dos masas en un tercer punto. En este caso, habrá que tener en cuenta la expresión de la Ley de Gravitación Universal, que ya viste en el tema anterior. Puedes practicar estos cálculos con la siguiente animación:

Calcula la fuerza ejercida por las masas m_1 y m_2 sobre la masa m_3 . Los valores de las masas están dados en kilogramos y las posiciones en metros.

$m_1 = 2$	(3, 3)
$m_2 = 2$	(3, -3)
$m_3 = 4$	(6, 0)

Puedes cambiar el valor de las masas entre 0 y 10 kg. También puedes colocar las masas en otras posiciones arrastrando con el ratón los puntos.

Muestra solo la solución
 Muestra el desarrollo
 Muestra vectores

Animación de [onio72](#) en [GeogebraTube](#) bajo licencia [CC-BY-SA](#)

1.3 Tipos de campos



A continuación vamos a hacer una distinción entre diferentes campos, dependiendo de las características que éstos presentan.

1.3.1 Campos uniformes



Puede que hayas visto alguna vez la imagen de tu derecha o alguna similar, por ejemplo, si has visto un desfile militar por la televisión el día de las fuerzas armadas. Lo asombroso es lo ordenados que van, todos al unísono, en filas perfectas; prácticamente, no se observa ninguna variación.

Esa situación es análoga a la que puede acontecer en un campo en el que se cumpla que todos los puntos del espacio que perturba el agente causante del citado campo presentan un mismo valor de módulo, dirección y sentido. En tal situación el campo recibe el nombre de **campo uniforme**.



Imagen en COMMONS.WIKIMEDIA de [Arpingstone](#) bajo licencia [dominio público](#)

Importante

En los campos uniformes, los vectores intensidad de campo tienen el mismo módulo, dirección y sentido en todos los puntos del espacio que están situados sobre la misma superficie perpendicular al campo.

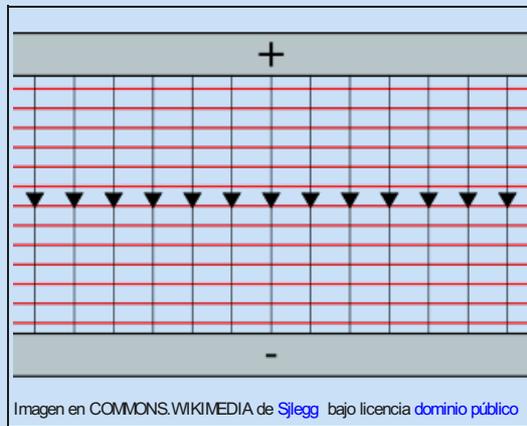


Imagen en COMMONS.WIKIMEDIA de [Sjlegg](#) bajo licencia [dominio público](#)

1.3.2 Campos estacionarios



Si te fijas en los paisajes te parecerá que a través de ellos no pasa el tiempo. Por otro lado, en la vida cotidiana empleamos palabras como estación de autobuses (como la de la fotografía de la derecha) para referimos a un lugar donde los transportes están cierto tiempo quietos, es decir, estacionados.

En Física, a las situaciones en las que no hay variación con respecto a la magnitud temporal se las conoce como **situaciones estacionarias**.

Si aplicamos la invariabilidad temporal a los campos se habla de **campos estacionarios o campos estáticos**. Nuestro hogar, la Tierra, no presenta un campo estacionario debido a que la Tierra se mueve alrededor del Sol.



Imagen en COMMONS.WIKIMEDIA de [Américo Toledano](#) bajo licencia [CC](#)

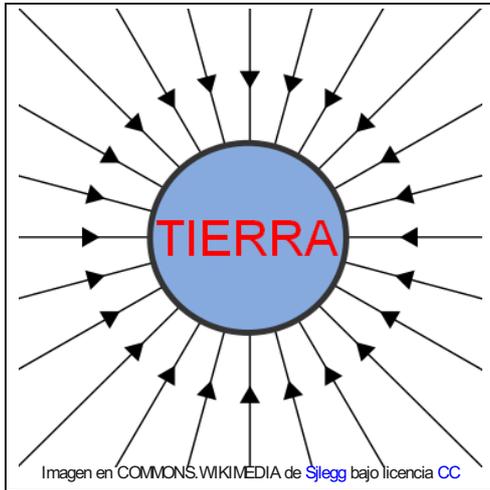
Reflexiona

¿Dónde se podría encontrar un campo estático?

[Mostrar retroalimentación](#)

1.3.3 Campo central variable





Existen una serie de campos donde la zona de perturbación es un tanto particular, ya que provocan una acción atractiva o repulsiva hacia el centro de la distorsión.

Esto hace referencia a que todos los vectores que representan a las fuerzas del campo convergen en un punto. El modulo de los vectores citados son dependientes únicamente de la distancia del punto considerado al centro del campo. Se trata de un **campo central variable**.

Un ejemplo de esta situación es el campo gravitatorio de nuestro planeta, que se puede representar con el esquema que se muestra a la izquierda.

Ejercicio resuelto

Imagina un campo de fuerza que viene expresado por la siguiente expresión en el Sistema Internacional de Unidades:

$$\vec{X} = \frac{100}{y} \vec{j}$$

Completa la siguiente tabla:

Posición (m)	Campo (N/m)
2	
10	
1000	
1000000	
10000000000	

¿Qué conclusión se puede extraer de los valores obtenidos?

Mostrar retroalimentación

2. El campo gravitatorio terrestre

Para poder establecer el valor del campo gravitatorio creado por un planeta cualquiera o astro, al ser éste muy grande, debemos intentar simplificar la situación. En su momento, Newton estuvo en la misma situación. Y llegó a la conclusión de que el efecto gravitatorio producido por una esfera maciza, uniforme y homogénea es el mismo que el creado por una masa puntual que estuviese situada en el centro de la esfera.



Newton pensó que el planeta o astro en cuestión era como una esfera constituida por capas concéntricas muy finas. Sería como la imagen de la cebolla de más abajo con todas sus capas. El efecto total sería el resultado de sumar el efecto de todas esas capas.



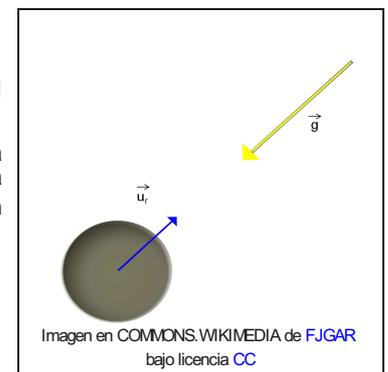
De esta forma el campo creado por un planeta en general vendría expresado por:

$$\vec{g} = -G \frac{M}{r^2} \vec{u}_r$$

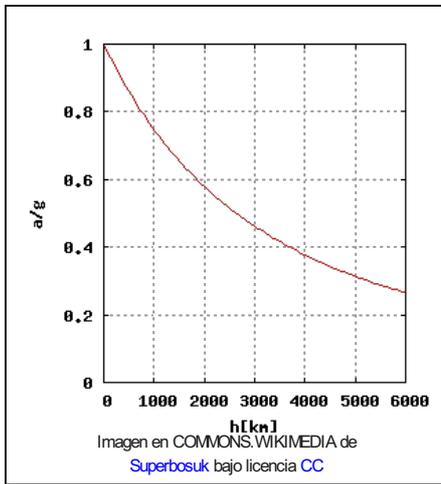
donde M es la masa del planeta y r la distancia del centro del planeta al punto donde se está calculando el campo.

La expresión anterior es vectorial; la dirección del vector se halla sobre la recta que une el centro del planeta y el punto donde se está calculando el campo. Y el signo menos indica que el sentido del campo es "hacia la masa" (esto es así porque el vector \vec{u}_r está dirigido "hacia afuera"). Por otra parte, debes saber que en más de una ocasión nos bastará con conocer el módulo de g, esto es:

$$g = \frac{GM}{r^2}$$



2.1 Valor en la superficie terrestre



Para determinar el valor del campo gravitatorio terrestre, sólo tenemos que sustituir valores en la ecuación del campo. Podemos omitir el carácter vectorial, debido a que sólo nos interesa la variación del módulo.

Para esta situación, vamos a considerar un punto situado en la superficie terrestre o fuera del mismo.

En el caso de la superficie terrestre, si sustituimos los valores correspondientes en la expresión del módulo de g tenemos:

$$g = G \frac{M_T}{R_T^2} = 6.67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{5.98 \cdot 10^{24}}{(6.37 \cdot 10^6)^2} = 9.83 \frac{m}{s^2} = 9.83 \frac{N}{kg}$$

Para valores superiores, basta con sustituir el radio terrestre por la distancia entre el centro de la Tierra y el punto que se esté estudiando. Podemos comprobar que los resultados obtenidos para g irán disminuyendo conforme aumenta la distancia entre el punto y el centro de la Tierra. Una situación interesante sería en el infinito; el campo en el infinito podría resolverse al extrapolar a través de un límite.

$$g_{\infty} = \lim_{r \rightarrow \infty} G \cdot \frac{M_T}{r^2} = 0 \frac{N}{kg}$$

Comprueba lo aprendido

Un cuerpo se coloca a una distancia equivalente a dos veces el radio terrestre de la Tierra. ¿Qué valor tendrá el campo gravitatorio sobre ese punto?

- Como el campo es uniforme, el valor será la mitad del que se posee en la superficie.
- El valor será el mismo en cualquier punto no depende de la distancia.
- Será un valor igual a un cuarto del campo sobre la superficie.

2.2 Valor en el interior



Para conocer como varía la gravedad en el interior de nuestro planeta, se debe hacer la siguiente suposición con el fin de simplificar los cálculos. Imagina que la densidad de la Tierra es constante por ser homogénea y sus materiales constituyentes están distribuidos por igual. Además, supondremos que la Tierra es una esfera perfecta.

Por consiguiente, podemos expresar el valor de la densidad de la esfera terrestre mediante la siguiente expresión (sustituyendo V por el **volumen general de una esfera**):

$$d = \frac{M_T}{V} = \frac{M_T}{\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R_T^3}$$

Si consideramos una porción esférica interior a la Tierra, la densidad sería la misma que la anterior, aunque la masa y el volumen corresponderían a dicha esfera concéntrica y no a la de la Tierra. Ambas esferas estarían constituidas por el mismo material, por lo que tendrían la misma densidad, de manera que podrían igualarse la densidad de la Tierra y de esta porción esférica interior:

$$d = \frac{M}{V} = \frac{M}{\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3} = \frac{M_T}{\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R_T^3} = \frac{M}{\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3}$$

Despejando la masa de esfera interior, tenemos:

$$M = \frac{M_T}{\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R_T^3} \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3 = \frac{M_T \cdot R^3}{R_T^3}$$

Sustituyendo el valor de M en la expresión del módulo del campo podrías determinar el valor del mismo a una distancia R del centro de la Tierra:

$$g = G \cdot \frac{M}{R^2} = G \cdot \frac{\frac{M_T \cdot R^3}{R_T^3}}{R^2} = G \cdot \frac{M_T}{R_T^3} \cdot R$$

Reflexiona

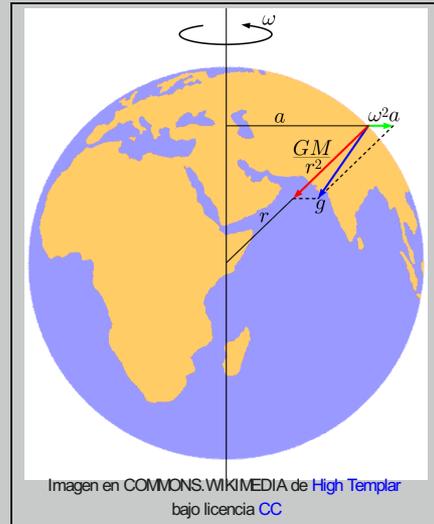
¿Podría usarse un ascensor para viajar en el interior de la Tierra que requiera un bajo coste?

Mostrar retroalimentación

Para saber más

En realidad, el valor de la gravedad no es constante en toda superficie terrestre por varias razones. La más obvia es que la Tierra no es una esfera perfecta. Por otro lado, la Tierra tiene un movimiento de rotación y, por tanto, debemos añadir a la gravedad otra aceleración adicional, que dependerá de la latitud.

Para aclararte, puedes acceder al siguiente [enlace](#).



3. Especial P.A.U.



Ejercicio resuelto

Suponga que la Tierra redujese su radio a la mitad manteniendo su masa.

a) ¿Aumentaría la intensidad del campo gravitatorio en su nueva superficie?

Mostrar retroalimentación

b) ¿Se modificaría sustancialmente la órbita de la Tierra alrededor del Sol? Justifique las respuestas.

Mostrar retroalimentación

Ejercicio resuelto

Razone la veracidad o falsedad de las siguientes afirmaciones:

a) El peso de un cuerpo en la superficie de un planeta con el mismo radio y mitad de masa que la Tierra sería la mitad de su peso en la superficie de la Tierra.

Mostrar retroalimentación

b) El estado de "ingravidez" de los astronautas en el interior de las naves espaciales orbitando alrededor de la Tierra se debe a que la fuerza que ejerce la Tierra sobre ellos es nula.

Mostrar retroalimentación

Ejercicio resuelto

Suponga que un cuerpo se deja caer desde la misma altura sobre la superficie de la Tierra y de la Luna.

$$M_T = 81 M_L ; R_T = (11/3) R_L ; g = 10 \text{ ms}^{-2}$$

a) Explique por qué los tiempos de caída serían distintos y calcule su relación.

Mostrar retroalimentación

b) Calcule la altura que alcanzará un cuerpo que es lanzado verticalmente en la superficie lunar con una velocidad de 40 ms^{-1} .

Mostrar retroalimentación