

## TEMA 3

## ASTRONOMÍA

**Criterio de evaluación nº 3**

Utilizar la ley de la gravitación universal para justificar la atracción entre cualquier objeto de los que componen el Universo y para explicar la fuerza peso y los satélites artificiales.

- ✓ Comprender que el establecimiento del carácter universal de la gravitación supuso la ruptura de la barrera cielos Tierra, dando paso a una visión unitaria del Universo.
- ✓ Comprender la forma en que dicha ley permite explicar el peso de los cuerpos, y el movimiento de planetas y satélites en el sistema solar.

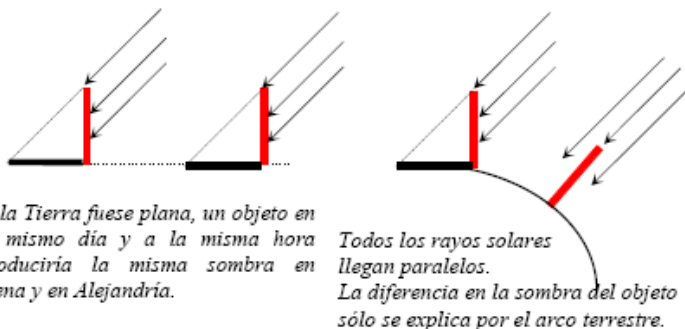
El firmamento es un espectáculo admirable para los hombres de todos los tiempos. El movimiento exactamente predecible de los astros los convertía en dioses, seres apartados de las leyes que gobiernan a los hombres. Su estudio permitió construir calendarios precisos y establecer el momento adecuado de la siembra, para tener éxito en la cosecha. Pero esta ciencia otorgaba poder al que la dominaba, por lo que se convirtió en un conocimiento secreto, llamado **Astrología**. Creían que los astros no sólo tendrían influencia sobre el clima y las cosechas, sino también sobre la suerte o la desgracia de los seres humanos, y de ahí surgió el **horóscopo**, con la finalidad de predecir el futuro. Evidentemente hoy día sabemos que la astrología y los horóscopos, si bien históricamente tuvieron su importancia, no tienen fundamento científico demostrado.

Sin embargo, en el siglo XVI surge otra forma de acercarse al estudio del cielo, siguiendo el método científico: la **Astronomía**, palabra griega que significa “la ley (o la medida) de las estrellas”. La piedra angular de esta ciencia es la **interacción gravitatoria**, pero los primeros conocimientos que podríamos llamar “científicos” provienen de algunos sabios griegos. El desarrollo de la astronomía no sólo es importante por sí mismo, sino que ha ido parejo con el desarrollo de la Física y las Matemáticas.

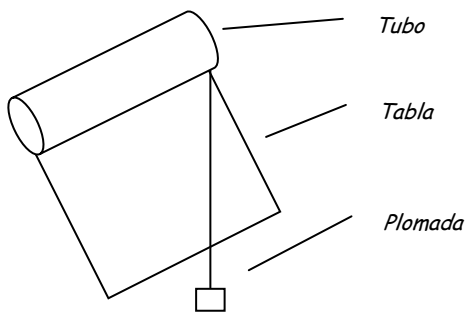
**1. AMPLIACIÓN: ERATÓSTENES DETERMINA EL RADIO DE LA TIERRA**

El estudio científico del cielo ha supuesto más de una vez la ruptura con ideas erróneas muy arraigadas, procedentes de nuestra experiencia limitada. En determinadas épocas de la historia, la ruptura con estos dogmas se pagaba con la reclusión o incluso con la vida. La primera ruptura con una idea ampliamente extendida fue la demostración de la **curvatura de la Tierra**. Incluso nosotros mismos tenemos la sensación es que la Tierra es plana. ¿Cómo se podría demostrar que es una esfera, sin viajar al espacio?

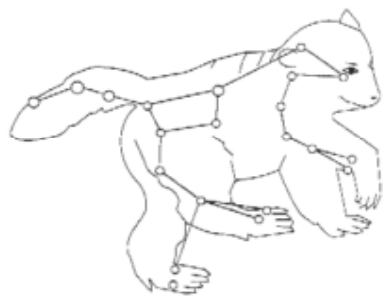
**Eratóstenes de Cirene** (276 - 195 aC) fue un astrónomo y filósofo griego que dirigió el Museo y la Biblioteca de Alejandría. Su principal contribución a la ciencia es el cálculo del radio terrestre. Sin embargo, por desgracia, sus trabajos fueron poco conocidos en su época, y la mayoría de la gente siguió pensando que la Tierra era plana. Se pensaba que esta Tierra plana estaba encerrada dentro de una esfera celeste, donde se situaban el Sol, la Luna y las estrellas.



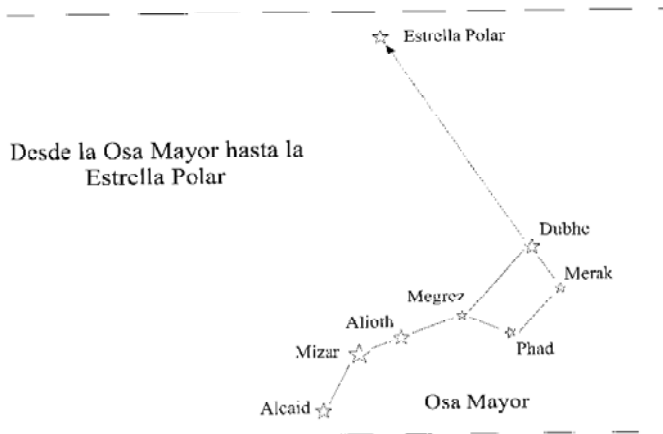
Eratóstenes viajó hacia el sur, y observó que en Siena (la actual Assuan), en el solsticio de verano, un palo vertical no proyectaba sombra ninguna, y el sol iluminaba el agua de los pozos, al mediodía, ya que se encontraba en el CÉNIT. El **cénit** es el punto más alto del cielo, situado encima de nuestras cabezas, formando  $90^\circ$  con el horizonte, y se denomina **mediodía local** al momento en el que el Sol se encuentra más próximo al **cénit**. Esto no ocurría en Alejandría, ya que él conocía muy bien que, ese mismo día, el Sol formaba un ángulo de  $7^\circ$  con el **cénit**. Como se observa en el dibujo, ese hecho se explica si la Tierra es esférica y el Sol se encuentra a gran distancia de nosotros (y sus rayos nos llegan prácticamente paralelos). Por tanto, la distancia Siena - Alejandría (medida por un equipo de mensuradores de terreno), que resultó ser de 5.000 estadios (unos 800 km), equivale a  $7^\circ$  del perímetro terrestre. Si multiplicamos esta distancia por  $360^\circ / 7^\circ$ , el perímetro terrestre calculado por Eratóstenes resultó ser unos 41.000 km, valor muy próximo al auténtico valor de 40.000 km.



Observa que la **altura angular** del Sol **sobre el horizonte suma  $90^\circ$**  con la distancia angular desde el Sol **hasta el **cénit****. Para determinar la altura de un astro (como el Sol) sobre el horizonte, desde antiguo se ha utilizado el **cuadrante** o el **sextante**. Se trata de un cuarto de círculo graduado, con una plomada. Sobre uno de los lados tiene una mirilla, para apuntar al astro. La plomada indica la altura del astro sobre la escala. *Puedes construir uno casero, si tienes materiales a mano.* El sextante es igual, pero sólo abarca un ángulo de  $60^\circ$ . El principal uso de este aparato era conocer la **latitud**, que coincide con la altura de la **estrella Polar**. Para encontrar la estrella Polar lo más fácil es a partir de la constelación del "carro", cuyo nombre científico es *Osa Mayor*, del modo que se explica en el dibujo.

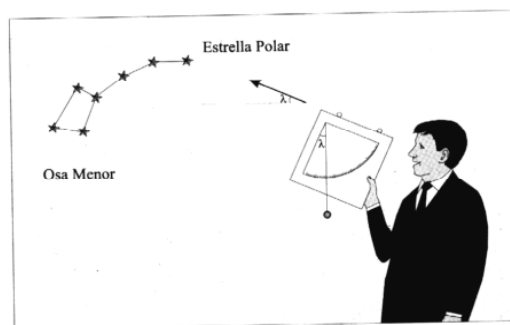


Asterismo de la Osa mayor



**A3.1** La estrella polar se encuentra a una altura angular de unos  $37^\circ$ , medidos desde el horizonte norte, cuando la observamos desde Écija. A ese dato angular se lo conoce como **LATITUD geográfica**. Si nos desplazamos 1000 km hacia el norte, ¿qué ángulo sobre la superficie de la Tierra nos hemos movido (haz una proporción con los  $360^\circ$  y el perímetro de la Tierra)? ¿A qué altura angular se observaría la estrella polar desde dicho punto? (Suponer que la Tierra es perfectamente esférica, de radio 6400 km)

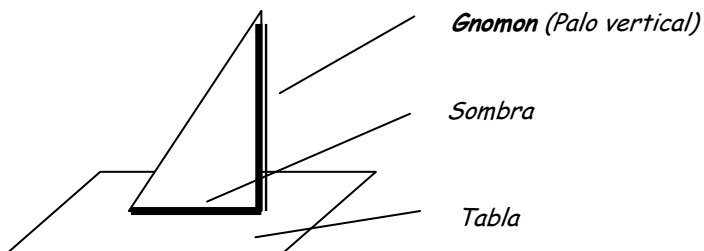
**A3.2** En el día de hoy, el Sol se encuentra a una altura sobre el horizonte sur de  $60^\circ$  a mediodía, en nuestra localidad (cuya latitud es de  $37^\circ$ ). ¿Qué distancia nos tenemos que desplazar hacia el Sur para que el Sol se encuentre en el **cénit**?



Medida de la inclinación sobre el horizonte a la que se encuentra la estrella Polar

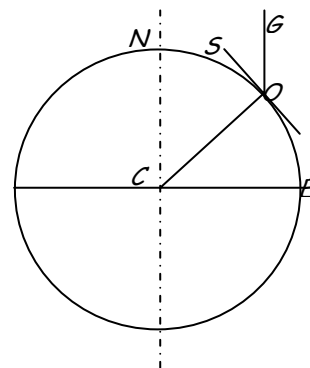
**2.- AMPLIACIÓN: RELOJES DE SOL**

Una vez demostrado que la Tierra es redonda y que el movimiento aparente del Sol es debido a la rotación de nuestro planeta sobre su eje, se puede comprender el funcionamiento de los **relojes de Sol**. Los relojes de sol proporcionan la **hora solar local**, que no coincide con la hora oficial. Actualmente, grandes extensiones de la Tierra (por ejemplo Europa Occidental) tienen la misma hora oficial, para facilitar las comunicaciones internacionales, mientras que cada ciudad tiene su propia hora solar local. La diferencia entre la hora solar y la hora oficial fue utilizada en la antigüedad para conocer la **longitud** sobre la esfera terrestre. **En España utilizamos la hora solar local centroeuropea, que se diferencia en una hora y 20 minutos con la hora solar local en Écija.** Además, en verano (desde el último sábado de marzo hasta el último sábado de octubre) sumamos otra hora más.

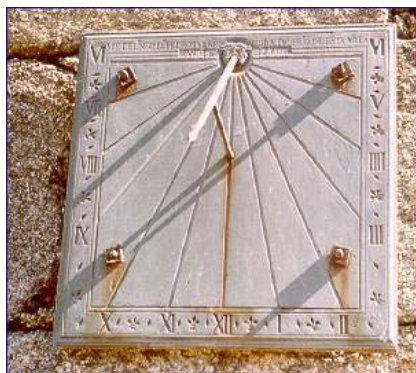
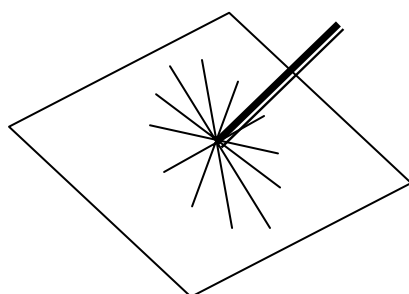


o utilizado por Eratóstenes puede utilizarse en principio como reloj de sol. Básicamente se trata de un palo (**gnomon**) que proyecta una sombra sobre una superficie horizontal. Si el gnomon está vertical, el aparato no puede proporcionar una hora exacta, salvo al mediodía, que es el momento en que la sombra es más corta, ya que a una misma hora, la sombra no apunta siempre al mismo lugar, depende de la época del año.

Para que la hora marcada por el reloj sirva todos los días del año hay que orientar el **gnomon** hacia la **estrella polar**, que es el único punto del firmamento (en el hemisferio norte) que aparentemente no se mueve, porque **coincide con la prolongación del eje terrestre**. De ese modo, todos los demás astros (sol, luna y planetas incluidos) giran 360° en 24 horas, lo que supone un giro de **15 grados por hora**. El **gnomon**, por tanto, es paralelo al eje terrestre, como observamos en el dibujo de la derecha, por lo que **su inclinación respecto al horizonte norte debe coincidir con la latitud** del lugar donde se coloca el reloj.



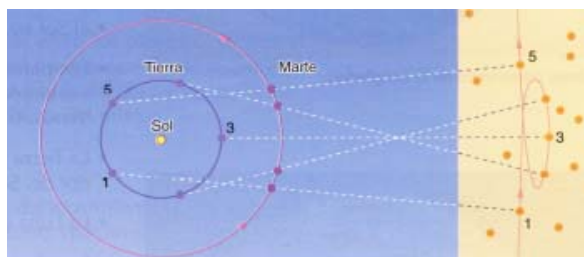
Para marcar las horas, podemos colocar un plano perpendicular al **gnomon** y dibujar sobre él líneas cada 15 grados (dibujo de la izquierda), de modo que cada línea marca una hora, la misma en todos los días del año. Se pueden construir relojes de sol con otros planos diferentes, pero en ese caso las líneas no están separadas por una misma distancia angular (fotografía central). Lo más difícil de un reloj de sol casero es orientar correctamente el **gnomon**. Para resolver este problema de una forma sólida, el **gnomon** puede ser la hipotenusa de un triángulo rectángulo, como en la foto de la derecha.



**ACTIVIDAD PRÁCTICA:** elige tu modelo y construye tu reloj de sol.

### 3. MODELO HELIOCÉNTRICO

El círculo se consideraba una figura perfecta, desde la antigüedad. Por eso se explicaba que los astros fueran todos circulares, y que sus caminos en el cielo también lo fueran. Dado que a veces unos astros eclipsan a otros, se estableció que el Sol, la Luna y los planetas se encontraban en círculos concéntricos. Por fuera de todos estos círculos estaba la esfera de las estrellas. Parecía evidente que la Tierra estaba en el centro del Universo, y a distancias crecientes se situaban las órbitas de la Luna, el Sol, Venus, Mercurio, Marte, Júpiter y Saturno. Estos objetos se movían por sí mismos, sin que se viera necesaria ninguna fuerza para ello. Esta concepción del Universo, que recibe el nombre de modelo **geocéntrico**, pues considera a la Tierra el centro del Universo, perduraría hasta el siglo XVI.



No obstante, este modelo no explicaba correctamente el **movimiento retrógrado** de algunos planetas como Marte. Si observamos su trayectoria a lo largo de un año, en ocasiones parece retroceder para luego seguir su camino. Fue en el siglo III a. C. cuando **Aristarco de Samos** ideó un nuevo modelo, que explicaba correctamente esta observación. En este caso, el Sol ocupaba el centro del universo, con lo que la Tierra y el resto de los planetas giraban alrededor de él. Este

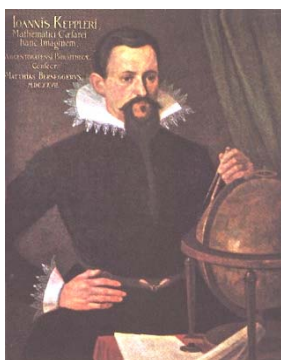
modelo se denominó **heliocéntrico**, pero no se divulgó, y sólo quedó en algunos escritos.

El movimiento retrógrado se explicaba por el movimiento de la propia Tierra. Siendo la Tierra un planeta más interior que Marte, cuando la Tierra “adelanta” a Marte, da la impresión de que Marte se mueve hacia atrás. A pesar de las evidencias, la autoridad y la fama de los filósofos como Aristóteles hicieron que el modelo heliocéntrico tardase diecisiete siglos en ser aceptado.

Pero en el siglo XVI comenzó a resurgir la idea del modelo heliocéntrico, en un proceso que ya no tendría marcha atrás. **Nicolás Copérnico**, un clérigo y matemático polaco, considerado hoy día como el fundador de la astronomía moderna, propuso el modelo heliocéntrico para calcular las posiciones de los planetas, pero por temor a la Iglesia, fue publicada cuando se hallaba en su lecho de muerte, en 1543. La obra que cambió el rumbo de la historia, *De revolutionibus orbium coelestium* (*Sobre las revoluciones de las esferas celestes*), juega con la palabra “revolución” en un doble sentido.



Nicolás COPÉRNICO  
(1473-1543)



**Tycho Brahe** (1546-1601) fue un rico caprichoso, aficionado a la Astronomía. Mandó construir aparatos de notable precisión y anotó cuidadosamente las posiciones de los planetas, vistos desde la Tierra, durante años. Guardó celosamente sus datos, para que nadie le robara su fama, pero sólo **Johannes Kepler** tenía el genio necesario para sacarles partido. Una vez muerto Brahe, su familia cedió los datos a Kepler, y con ellos demostró ser cierto el modelo heliocéntrico de Copérnico, aunque con algunas modificaciones, que él describe como “leyes del movimiento planetario”. La contribución de Kepler fue fundamental, al basar por primera vez las teorías sobre el universo en observaciones precisas. Fue una contribución semejante a la de su contemporáneo Galileo, en otro campo de la física.

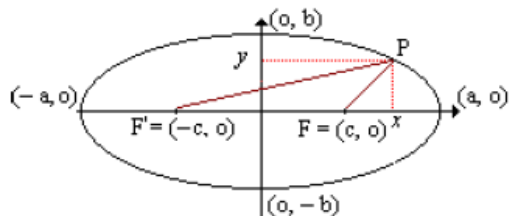
Hoy día, los datos que obtienen los científicos son publicados en revistas internacionales para que otros puedan hacer uso de ellos. Por este motivo, una parte de la comunidad científica se opone a las patentes, por el freno que supone al desarrollo del conocimiento, aunque por otra parte estimulan la inversión en investigación.

**ACTIVIDAD PRÁCTICA:** construye una maqueta demostrando algún aspecto del Sistema Solar (leyes de Kepler, fases de la Luna, eclipses, etc.)

#### 4. AMPLIACIÓN: PRIMERA LEY DE KEPLER

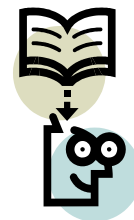
Kepler tuvo el arrojo de desechar el círculo como la figura que gobierna los cielos. Después de ensayar con círculos excéntricos, o con óvalos (formados por arcos circulares), las observaciones de Tycho Brahe solamente encajaban con **órbitas elípticas**. Kepler creía en las órbitas circulares y en la perfección de los cielos como dogma de fe, pero, en vez de desechar los datos de Brahe, que quizás no eran correctos, se atrevió a encontrar una solución nueva en 1605:

**“Los planetas se mueven en elipses en torno al Sol, que ocupa uno de sus focos”**



*a: semieje mayor                      b: semieje menor  
F, F': focos                      c: distancia foco-centro  
Ley de la elipse: Distancia (F-P-F) = 2a*

Una **elipse** es una curva que cumple la siguiente condición: si tomamos un punto de la elipse *P*, la suma de distancias a dos puntos *F* y *F'*, llamados **focos**, es **CONSTANTE** e igual al eje mayor. Se puede trazar con un trozo de cuerda (igual al eje mayor), atando sus extremos a dos puntos (los focos), y deslizando un lápiz sobre la cuerda, manteniéndola tensa.



Las elipses pueden ser más o menos redondeadas. Esta característica, denominada **excentricidad** (*e*) viene dada por el cociente entre la distancia entre los focos y el eje mayor:  **$e = c/a$**

Como  $c < a$ , la excentricidad es un número comprendido entre 0 y 1, que son los casos extremos. Así, si  $e = 0$ , la elipse se transforma en una circunferencia, y si  $e = 1$ , la elipse se alarga hasta convertirse en un segmento.

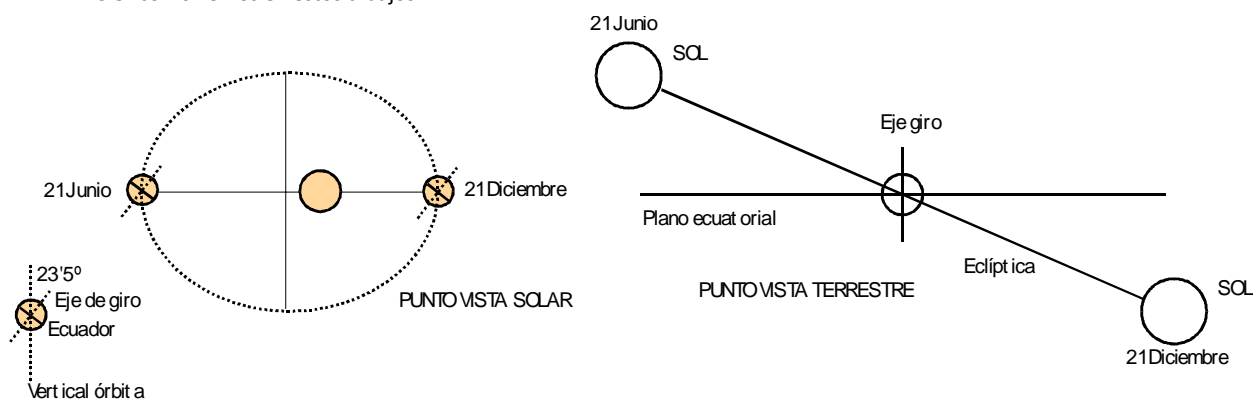
Pues bien, **para la mayoría de los planetas, la excentricidad es muy próxima a cero**, por lo que sus órbitas se aproximan a circunferencias. Al ser sus órbitas elípticas, los planetas estarán unas veces más cerca del Sol (**perihelio**) y otras, más alejados (**afelio**). Por ejemplo, la Tierra está más cerca del Sol en Enero y más lejos en Julio durante su viaje por su órbita elíptica.

**A3.3** La excentricidad de la órbita terrestre es 0,017. Si en su perihelio (el 4 de enero), la Tierra se encuentra a 147.500.000 km del Sol, ¿a qué distancia se encuentra en su afelio?

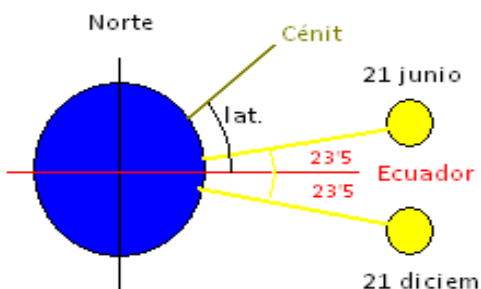
- La órbita del cometa Hale-Boop tiene una excentricidad de 0'995. Si su semieje mayor es 186 UA, ¿a qué distancia del sol se encuentra en su perihelio? ¿Cruza la órbita de la Tierra en algún momento?

#### 5. AMPLIACIÓN: LAS ESTACIONES

La primera ley de Kepler NO es lo que explica las distintas estaciones, sino la **inclinación del eje de giro de la Tierra en unos 23.5°** como vemos en estos dibujos.



- **En el solsticio de verano** (21 de junio aproximadamente) el hemisferio norte está más soleado que el hemisferio sur, lo que produce que en el norte sea verano y en el sur sea invierno.
- **En el solsticio de invierno** (21 de diciembre aproximadamente) el hemisferio norte está menos soleado que el hemisferio sur, por lo que es invierno en el norte y verano en el sur.
- **En los equinoccios de primavera y otoño** (21 de marzo y 23 de septiembre) los dos hemisferios están igualmente iluminados, ya que el día tiene 12 horas de luz y 12 horas de noche en toda la tierra (*equi* = igual)



En el dibujo de la derecha vemos que, desde el punto de vista terrestre, la "trayectoria del Sol alrededor de la Tierra", (llamada **eclíptica**), se encuentra inclinada  $23'5''$  con respecto al **plano ecuatorial** terrestre. En los **EQUINOCIOS**, el Sol atraviesa el **plano ecuatorial**, encontrándose en la vertical del Ecuador. Por eso el Sol se ve en el **cénit** en el Ecuador sólo en los equinoccios (siempre nos referimos al mediodía). En los restantes puntos de la Tierra, en esta fecha, **la LATITUD coincide con la distancia angular desde el Sol hasta el cenit**, como se ve en el siguiente dibujo. Según esto, en los polos (latitud  $90^\circ$ ), el Sol apenas debe asomar por encima del horizonte.

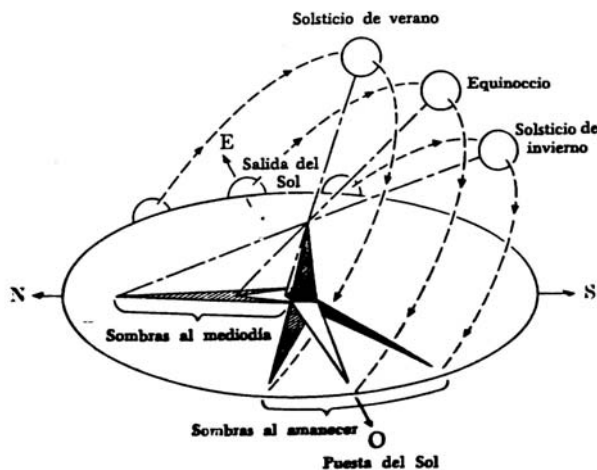
Al moverse a lo largo de la eclíptica, el ángulo del sol con respecto al plano ecuatorial (llamado **declinación**) va aumentando en dirección hacia el polo norte (estrella polar). Por tanto, en un día cualquiera, deberemos **RESTAR** la **LATITUD** menos la **DECLINACIÓN** del eje terrestre, si queremos conocer distancia angular del Sol hasta el cenit (como siempre, a mediodía). En el **SOLSTICIO DE VERANO**, el día de su máxima declinación ( $23'5''$ ), el Sol se encuentra en la vertical de los puntos situados en el **trópico de cáncer** (llamado así porque el Sol entra en el signo zodiacal de cáncer en esta fecha). Precisamente por ello, el trópico de Cáncer tiene una latitud de  $23'5''$ . Ese mismo día, los lugares situados dentro del **círculo polar antártico** están a oscuras las 24 horas del día. *Deduce qué latitud tiene el círculo polar antártico.*

El Sol continúa su recorrido a lo largo de la eclíptica, atravesando de nuevo el plano ecuatorial el 23 de septiembre. A partir de este momento, la declinación es **negativa** (el Sol se encuentra por debajo del plano ecuatorial), por lo que ahora hay que sumar la latitud "más" la declinación (restar un número negativo equivale a sumar). En el **SOLSTICIO DE INVIERNO**, la declinación del Sol es  $-23'5''$ , y el Sol alcanza su mínima altura (en nuestro hemisferio norte). Sin embargo, en el hemisferio sur, el Sol se encuentra en la vertical del **trópico de capricornio**, situado a una latitud precisamente de *menos*  $23'5''$ . En esta misma fecha, los lugares situados dentro del **círculo polar ártico** están a oscuras. En resumen, podemos calcular la distancia del Sol hasta el cenit con esta fórmula:

$$90 - H = \lambda \pm dec$$

donde  $\lambda$  es la **latitud**,  $H$  la **altura** angular del Sol sobre el horizonte y  $dec$  la **declinación** del Sol (que se puede consultar en tablas o en internet).

No sólo varía la altura angular a mediodía, sino también el lugar de salida y puesta del Sol, y la duración del día, según puedes ver en la ilustración de la derecha. Toda esta información se contiene en la maqueta **SOLAR MOTION**. *Si el profesor puede proporcionarte la plantilla, constrúyela.*



**Todos estos factores influyen en el clima**, ya que a mayor altura del Sol, y a mayor longitud del día, mayor cantidad de energía se recibe del Sol, y las temperaturas van en aumento. Aunque se haya superado el solsticio de verano, las temperaturas siguen aumentando en el hemisferio norte, hasta que la energía evacuada se iguale con la energía recibida. Pero las estaciones son básicamente una cuestión **astronómica** más que climática.

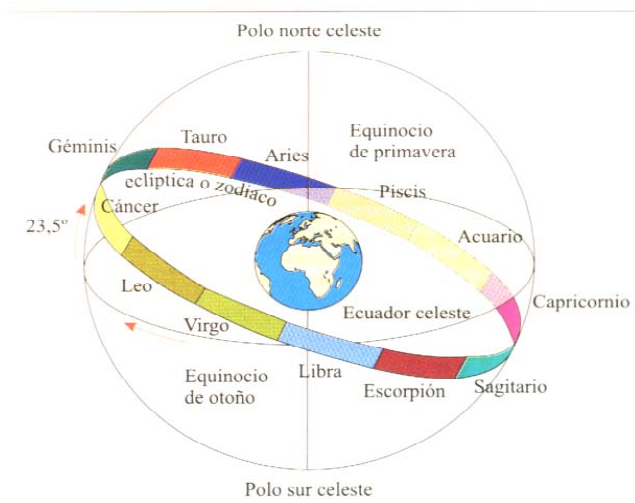
La inclinación de los rayos solares influye directamente también sobre el **índice ultravioleta (UV)**. Este índice (que se mueve en una escala de 0 a 20) nos da idea del tiempo que podemos estar expuestos al Sol sin quemarnos la piel, o del factor de protección que debemos utilizar. Además de la inclinación de los rayos del sol, también influye la altitud, la nubosidad y la reflexión de la luz en el suelo (en la nieve por ejemplo, aumenta el índice UV).

Las constelaciones del zodiaco que el Sol va atravesando en su camino anual son grupos de estrellas que desde antiguo se les ha visto un parecido con una figura mitológica. Estas estrellas no están agrupadas en realidad, sino que unas están por detrás de las otras, aunque se ven desde la Tierra en la misma región del cielo. Desde antiguo se pensaba que estas constelaciones eran las responsables de los cambios que se producen en las estaciones, y se les atribuyó incluso influencia

sobre el comportamiento de las personas. Aún hoy, muchas personas consultan su horóscopo antes de tomar alguna decisión.

Si tienes ocasión visita la siguiente dirección de Internet donde puedes ver la tierra girando, y qué parte del hemisferio norte está iluminada en las distintas fechas del año:

[http://www.cs.sbcc.net/%7Ephysics/flash/Lengt\\_hofDay.html](http://www.cs.sbcc.net/%7Ephysics/flash/Lengt_hofDay.html)



**A3.4** ¿Cuándo es mayor la sombra de un objeto: a mediodía de un día de agosto o a mediodía de un día de junio?

- ¿Tiene algo que ver este hecho con la temperatura ambiente?
- ¿En cuál de las dos fechas hay que utilizar una crema solar con un factor más alto?
- Si dejamos el coche aparcado a la sombra de un árbol, ¿hacia dónde se moverá la sombra al cabo de algunas horas?

**A3.5** Cuando es verano en nuestro hemisferio, ¿dónde estará la Tierra: más cerca o más lejos del sol? ¿Es cierto que los habitantes del hemisferio Sur celebran las Navidades en mangas cortas y en las piscinas?

**A3.6** Deduce cuál es la latitud del círculo polar ártico, sabiendo que en el solsticio de invierno el sol se encuentra a la altura del horizonte.

- ¿En qué puntos de la Tierra se encuentra el Sol en el cénit al mediodía del 21 de junio?
- ¿Y al mediodía del 21 de diciembre?
- Deduce en qué círculo importante de la Tierra se encuentra la ciudad de Siena (vuelve a leer la historia de Eratóstenes).
- ¿Cómo son las noches en los polos? Explica la respuesta.

**A3.7** Determinar la altura máxima sobre el horizonte que alcanzará el Sol el día 21 de Junio en las siguientes ciudades (buscar sus latitudes en un atlas o en internet): Sevilla, Londres, Río de Janeiro, Hong-Kong, Singapur.

- Repetir los cálculos para los días 21 de marzo, 23 de septiembre y 21 de diciembre e indicar en todos los casos hacia qué horizonte habrá que mirar para localizar al Sol.

## 6. AMPLIACIÓN: SEGUNDA LEY DE KEPLER

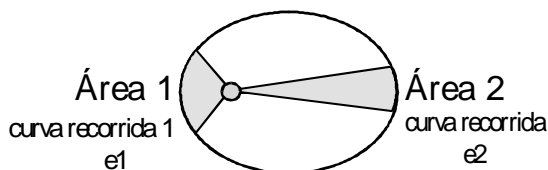
El análisis detallado de las distancias recorridas por los planetas, en su movimiento alrededor del sol y en un determinado tiempo, hizo ver a Kepler que **la velocidad de los planetas no es constante**. En concreto, la velocidad de los planetas es mayor cuando se encuentran más cerca del Sol (perihelio). El efecto es más notable en los cuerpos celestes que tienen órbitas con excentricidad grande, como los cometas.



La descripción exacta es la que sigue: **el área barrida por la línea que une el SOL con el PLANETA en un determinado tiempo es constante.**

Si te fijas en el dibujo, las áreas 1 y 2 son iguales, porque han sido barridas en el mismo tiempo. De esta manera, cuando el planeta se encuentra más alejado del Sol, el "triángulo" tiene una mayor altura, y su "base"  $e_2$  es menor que  $e_1$ .

Esto significa que recorre menos espacio, en el mismo tiempo, y por tanto su velocidad es más pequeña.



**A3.8** La órbita de la Luna alrededor de la Tierra es elíptica. Basándote en este hecho, responde razonadamente:

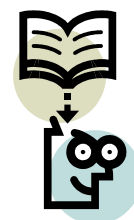
- ¿Tendrán la misma duración las cuatro fases de la Luna: nueva, creciente, llena, menguante?
- ¿Se ve la Luna siempre del mismo tamaño?
- ¿Son las mareas altas siempre de la misma altura?
- ¿Por qué a veces se dan eclipses de Sol "anulares", en los que la Luna no es lo suficientemente grande para tapar todo el Sol?

**A3.9** Si según las leyes de Kepler, la Tierra se mueve más deprisa cuando está cerca del Sol (Enero) que cuando está más alejada (Julio), ¿cómo será la duración del invierno y del verano en los distintos hemisferios?

- ¿Hay el mismo número de días desde el 21 de marzo al 23 de septiembre que desde el 23 de septiembre al 21 de marzo?

## 7. AMPLIACIÓN: TERCERA LEY DE KEPLER

Comparando el movimiento de los distintos planetas, observamos que cuanto más cerca se encuentra un planeta del Sol, tarda menos tiempo en dar la vuelta alrededor del sol (es lo que se llama **periodo de revolución T**).



$$T^2 = K \cdot R^3$$

En la fórmula de Kepler aparece el semieje mayor de las elipses. Pero si aproximamos las elipses a círculos, el semieje mayor se aproxima al RADIO (R) de las órbitas. La letra K es la llamada **constante de Kepler** y es **un número que SOLO DEPENDE DE LA MASA DEL CUERPO CENTRAL AL QUE LOS OBJETOS ORBITAN** (dan vueltas), por lo que **todos los cuerpos que giren en torno a un mismo objeto tendrán el mismo valor de K**.

El periodo de la Tierra es de un año (365,24 días), y la distancia media entre la Tierra y el Sol, unos 149'6 millones de km (es lo que se denomina **unidad astronómica**, U.A.). Partiendo de estos datos, si se conoce el periodo de revolución de cualquier planeta se podrá conocer la distancia del planeta al Sol.

De un modo parecido, la revolución de la Luna alrededor de la Tierra dura 27 días y 7 horas y la distancia media a la Tierra es de 384.000 km. Estos datos nos pueden servir para relacionar el periodo y el radio de la órbita de cualquier satélite que gire alrededor de la Tierra.

Un pequeño sistema de este tipo está al alcance de cualquier telescopio de aficionado a la Astronomía. El 7 de enero de 1610, **Galileo Galilei** (1564-1642), gracias al telescopio diseñado y construido por él mismo, descubrió alrededor de Júpiter cuatro satélites perfectamente visibles: Io, Europa, Ganímedes y Calisto (llamados satélites *galileanos*). Los periodos de rotación son fácilmente medibles, al igual que las distancias relativas al planeta; de manera que el sistema resulta idóneo para la comprobación de la tercera Ley de Kepler. *Completa la tabla siguiente y comprueba que la constante K es la misma en los cuatro casos:*

SATÉLITE	DISTANCIA A JÚPITER (km)	PERÍODO (horas)	$K = T^2 / R^3$ (h <sup>2</sup> / km <sup>3</sup> )
IO	422.000	42,5	
EUROPA	671.000	85,2	
GANÍMEDES	1.070.000	171,8	
CALISTO	1.880.000	400,6	

**A3.10** Mercurio se encuentra a una distancia de 0,387 UA del Sol. Busca los datos que necesites para calcular:

- ¿Cuántos días tiene un año mercuriano?
- La velocidad orbital de mercurio y de la Tierra.

**A3.11** La ISS orbita a 400 km de altura de la superficie terrestre. Comparándola con la Luna, ¿cuántas horas tardará en dar la vuelta a la Tierra?

- Cada día pierde 150 metros de altura. ¿Qué variación supone esto en el periodo, aumentará o disminuirá?

## 8. LEY DE GRAVITACIÓN UNIVERSAL



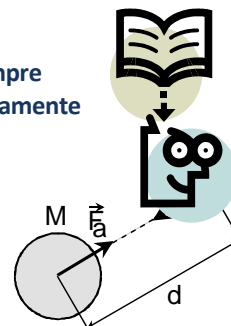
Casi con toda seguridad, la primera interacción *impactante* en nuestra vida ha sido la **interacción gravitatoria** (cuando nos caímos por primera vez XD). Se dice que **ISAAC NEWTON (1642-1727)** descubrió esta interacción cuando le cayó una manzana sobre la cabeza, mientras meditaba en su huerto de Inglaterra a la sombra de un manzano. Puede ser sólo una leyenda, pero lo que sí es cierto es que se planteó la pregunta ¿por qué se cae una manzana y no se cae la Luna?

En la respuesta que encontró, demostró que los cuerpos terrestres y los cuerpos celestes se rigen por las mismas leyes físicas. Esto, que hoy nos parece obvio, fue una auténtica revolución en su época, ya que desde antiguo se pensaba que la gravedad sólo afectaba a los objetos terrestres, y que los objetos del cielo eran poco menos que divinos.

El descubrimiento de Newton no partió desde cero, sino que se basó en las **leyes de Kepler**, las cuales sólo constituyen la ‘cinemática’ del sistema solar, pues describen los movimientos de los planetas, pero no explican las causas que los producen. La solución de este problema fue una ley **universal**, válida para dos objetos cualesquiera, celestes o terrestres:

“Entre dos masas cualesquiera del universo existe una **INTERACCIÓN GRAVITATORIA**, siempre atractiva, cuya intensidad es directamente proporcional al producto de las dos masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre sus centros”

$$F_{A,B} = G \cdot \frac{M_A \cdot M_B}{R_{A,B}^2}$$



Esta FUERZA tiene las siguientes características:

- Como todas las fuerzas, es una interacción que aparece siempre entre DOS CUERPOS, es decir, no existe una fuerza aislada actuando en un solo cuerpo. TODA FUERZA QUE ACTÚA SOBRE UN CUERPO (**ACCIÓN**) TIENE SU CORRESPONDIENTE PAREJA QUE ACTÚA EN EL OTRO CUERPO (**REACCIÓN**).
- Su DIRECCIÓN es la recta que une a los dos cuerpos.
- Su SENTIDO es atractivo, es decir, la fuerza que actúa sobre cada cuerpo se dirige al otro.
- Su MÓDULO viene determinado por la expresión anterior.

El valor de la **constante universal G** sólo depende del sistema de unidades utilizado. En **el SISTEMA INTERNACIONAL (S.I.) DE UNIDADES** (donde la unidad de masa es el KILOGRAMO y la unidad de longitud el METRO, resultando el valor de la fuerza en NEWTONS) el valor de G es:

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

Este valor, como se ve, es muy pequeño, el *orden de magnitud*\* es  $10^{-11}$ . Así, aunque teóricamente todo par de objetos del universo se atraen (por ejemplo, tú y tu compañera ;-)) en la práctica la atracción gravitatoria entre dos masas solo se nota cuando al menos una de ellas es muy grande, como por ejemplo la masa de un planeta o de un satélite.

\* Orden de magnitud: es la potencia de 10 que acompaña a una cantidad y nos da idea de lo grande o pequeña que es.

**A3.12** Determina la fuerza de atracción existente entre la Tierra y el Sol, y entre la Tierra y la Luna. Ojo con las unidades  
 DATOS MASAS: TIERRA ( $5,97 \times 10^{27}$  g) SOL ( $1,999 \times 10^{33}$  g) LUNA ( $7,343 \times 10^{22}$  kg)  
 DISTANCIAS MEDIAS: TIERRA-SOL (149,6 millones km) TIERRA-LUNA (384.400 km)

- Compara los resultados y razona: ¿cuál de las dos interacciones influye más sobre las mareas de la Tierra?
- Calcula la resultante de las dos fuerzas (vectores) que actúan sobre la Tierra, según en qué fase se encuentre la luna: Nueva, Llena o Cuarto (creciente o menguante, es igual). Razona: ¿en qué fase serán más intensas las mareas?

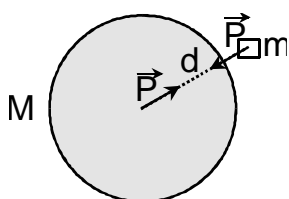
**A3.13** Utilizando la Ley de Gravitación Universal, determina la fuerza de atracción entre tú y la Tierra. Supón una masa de 50 kg. El radio de la Tierra es 6370 km. Compara el resultado con el obtenido con la fórmula  $P = m \cdot g$

- Determina la fuerza de atracción gravitatoria entre tú y tu compañera. Supón una masa de 50 kg para cada uno, y una distancia de 1 m. Compara el resultado con el obtenido anteriormente: ¿en cuántos órdenes de magnitud\* se diferencian?

**A3.14** Un astronauta de masa  $m$  se encuentra entre la Tierra y la Luna. Dibuja y nombra las fuerzas de atracción gravitatoria ejercidas sobre el astronauta. Determina el punto entre la Tierra y la Luna en el cual la resultante es nula. Teniendo en cuenta el movimiento de la Luna, ¿permanecerá en reposo el astronauta en dicho punto?

## 9. GRAVEDAD Y PESO

El peso de un cuerpo es la fuerza de atracción gravitatoria entre dicho cuerpo y el planeta (o satélite) sobre el que se encuentra.



Esto significa que podemos igualar la conocida fórmula del peso  $P = m \cdot g$ , con la nueva fórmula de interacción gravitatoria:

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

Como el cuerpo de masa  $m$  se encuentra en la superficie del planeta, la **distancia  $d$**  (distancia entre centros) **coincide con el radio del planeta ( $R$ )**, teniendo en cuenta que el tamaño del objeto es minúsculo comparado con el tamaño del planeta. Además, observa que podemos cancelar la masa del objeto, que se encuentra multiplicando en los dos miembros de la ecuación, quedando:

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

Esta ecuación permite calcular la **ACELERACIÓN DE LA GRAVEDAD  $g$**  en cualquier planeta, si conocemos su masa  $M$  y su radio  $R$ .



### Diferencia entre masa y peso

#### Masa

Cantidad de materia que posee un objeto, independientemente del lugar donde se encuentre. Se mide por la tendencia que tienen los objetos a conservar su estado de movimiento o de reposo. También, cuanto más masa tengan, mayor atracción gravitatoria experimentan.

Se mide con la **balanza**. Su unidad en el S.I. es el **kilogramo**. Es una magnitud **escalar**.

#### Peso

Es la fuerza con que la Tierra interacciona con los objetos.

Depende del lugar en el que está situado el objeto.

Se mide con el **dinamómetro** (o cualquier otro aparato que contenga un resorte en su mecanismo, como por ejemplo una **báscula**). Su unidad en el S.I. es el **Newton**. Es una magnitud **vectorial**.

**A3.15** Sabiendo que la aceleración en la Luna es  $1'6 \text{ m/s}^2$ , comprueba que la masa de la Luna es  $7,343 \cdot 10^{22} \text{ kg}$ , sabiendo que el radio lunar es 1738 km. Utiliza unidades internacionales.

**A3.16** ¿Qué pesa más: 100 kg de oro en la superficie de la Tierra o 500 kg de papel en la superficie de la Luna?

**A3.17 AMPLIACIÓN:** El récord del mundo de salto de altura lo ostenta Javier Sotomayor (Cuba) desde 1993, con 2,45 m. Si intentara batirlo en la superficie de la luna, con la misma velocidad inicial, ¿qué altura alcanzaría? Aceleración de la gravedad en la Luna:  $1'6 \text{ m/s}^2$ .

- Para saltar en la Luna, Javier necesita un traje especial, lo cual aumenta considerablemente su masa. Aunque la aceleración es la misma para todos los cuerpos, independientemente de su masa, podemos intuir que con el traje alcanzará una altura menor. ¿Puedes explicarlo desde el punto de vista de la Física?
- En la Luna observamos que los objetos caen más despacio que en la Tierra. Por tanto, podemos pensar que en la Luna será suficiente con colocar una colchoneta más delgada para amortiguar la caída después del salto. ¿Crees que es correcto? Razónalo desde el punto de vista de la Física.

**A3.18** ¿Pesa exactamente lo mismo una persona en la cima del Everest que al nivel del mar? Y su masa, ¿es la misma? Por tanto, ¿es cierto que, al aumentar la altitud, cada vez le cuesta menos trabajo subir? EXPLICACIONES.

**A3.19** Un astronauta que en la Tierra pesa 1100 N (con todo el equipo) observa que en un planeta desconocido su peso es de 1400 N. ¿Cuánto vale la gravedad en ese planeta? Si el planeta tiene el mismo radio que la Tierra, su masa ¿será mayor, menor o igual que la de la Tierra? Cálculala.

**A3.20.** Un globo aerostático tiene un volumen tal que el empuje equilibra perfectamente a su peso, en la Tierra. Supongamos que lo trasladamos a la Luna. ¿Qué ocurrirá?

- Supongamos ahora que lo trasladamos a otro planeta con una atmósfera igual de densa que la Tierra, pero con mayor aceleración de la gravedad. ¿Qué ocurrirá?
- Explica cómo se vería afectado el peso de los cuerpos si de repente desapareciera la atmósfera terrestre.

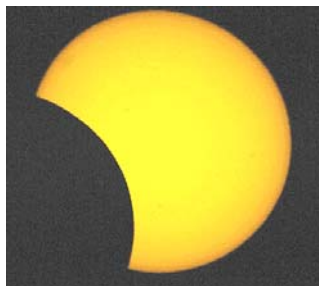
## 10. LA LUNA Y LOS SATÉLITES ARTIFICIALES

La Luna es un astro que no emite luz propia, sino que la refleja del Sol. Según la parte de la Luna que esté iluminada, se dice que la Luna se encuentra en **fase** nueva, creciente (foto), llena o menguante. A diferencia de la Tierra, su superficie está plagada de *cráteres de impacto* de meteoritos (no de origen volcánico). Es de suponer que en la Tierra habrán caído al menos tantos meteoritos como en la Luna, pero allí las marcas de los impactos no se borran aunque pasen millones de años, porque no hay viento ni lluvia que los erosionen.



La Luna describe una órbita elíptica alrededor de la Tierra, aunque aproximadamente podemos considerarla un círculo. Tarda 27 días y 7 horas en dar una vuelta a la Tierra (tomando como referencia a las estrellas lejanas). Pero en ese tiempo la Tierra se ha desplazado un cierto ángulo alrededor del Sol (unos  $30^\circ$ ), por lo que debemos esperar unos dos días más para que se repita la fase lunar, exactamente 29 días y 12 horas. Este periodo, llamado *lunación*, era utilizado antiguamente para medir largos periodos de tiempo, y es el origen de los **meses**. De hecho, en un año, la Luna da doce vueltas a la Tierra, aunque hay un desfase de 11 días, lo cual obligaba a introducir un decimotercer mes algunos años (a decisión de los sacerdotes, que eran los que controlaban el tema de la astrología, en aquel tiempo).

La rotación de la Luna está acompañada con su traslación, de manera que siempre muestra la misma cara hacia la Tierra. Los seres humanos hemos tenido que esperar hasta 1959 para observar la *cara oculta* de la Luna por primera vez, cuando una **sonda** (nave no pilotada), enviada por la antigua Unión Soviética, observó que la cara oculta que tiene muchos más cráteres que la cara visible.

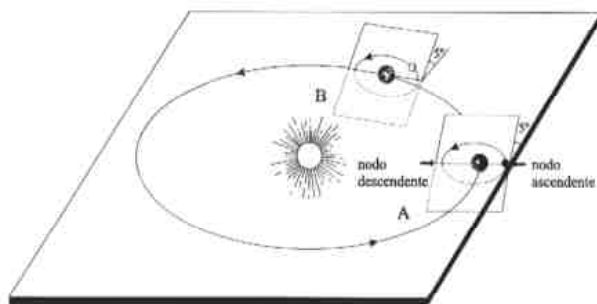


El **eclipse de Sol** es la ocultación del Sol cuando la Luna se pone delante. Es posible gracias a que el tamaño aparente del Sol y de la Luna es casualmente el mismo. Es decir, el Sol está unas 500 veces más lejos que la Luna, y al mismo tiempo es unas 500 veces más grande. ¡Qué casualidad! Sin embargo, la Luna no gira en el mismo plano que la órbita terrestre. Si así fuera, habría eclipse de Sol y de Luna todos los meses (cada  $29 \frac{1}{2}$  días para ser exacto). Por el contrario, la Luna atraviesa la eclíptica\* dos veces cada vez que da una vuelta, en unos puntos llamados **nodos**. Estos nodos van girando lentamente alrededor de la Tierra. Sólo puede haber eclipse cuando uno de los nodos apunta hacia el Sol (esto suele ocurrir dos veces al año), y que dé la casualidad de que precisamente ese día la Luna se encuentra en dicho punto, o en sus proximidades. Si no se da esta coincidencia, la Luna pasa un poco por encima o por debajo del Sol, sin llegar a ocultarlo. De todos modos, el eclipse de Sol no es visible desde todos los puntos de la Tierra, sólo en los puntos situados dentro de la sombra de la Luna.

En el **eclipse de Luna**, por el contrario, es la Tierra la que proyecta su sombra sobre la Luna. Como el tamaño de la Tierra es mayor que el de la Luna, no es difícil que esto ocurra, por lo que los eclipses de Luna son más frecuentes que los de Sol. Además, estos eclipses son visibles desde todos los puntos de la Tierra en los que sea de noche.

*RAZONA 1: ¿En qué fase de la Luna se producen siempre los eclipses de Luna?*

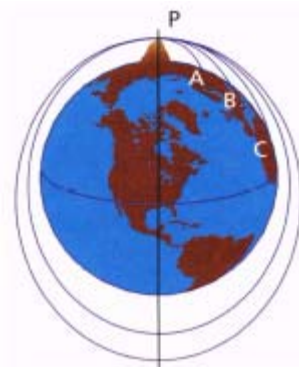
*RAZONA 2: ¿Por qué los eclipses de Luna se observan siempre de noche, si la Luna también es visible muchas veces durante el día?*



El problema de la caída de la Luna no se lo plantearon en la antigüedad, porque pensaban que los cuerpos celestes no estaban hechos con la misma materia que los cuerpos terrestres. Galileo con su telescopio observó montes y valles sobre nuestro satélite, llegando a pensar que está formado por rocas ordinarias, como han confirmado los astronautas que han puesto su pie sobre ella. Newton fue el primero en preguntarse por qué no se cae la Luna.

El principio de la inercia dice que si sobre la Luna no actuara ninguna fuerza, se movería en línea recta y con velocidad constante. Sin embargo la Luna describe un movimiento circular alrededor de la Tierra, y para ello es necesaria una fuerza que la desvíe continuamente hacia la Tierra.

Para aclarar esta idea, Newton propuso el siguiente ejemplo: cuando lanzamos un proyectil desde cierta altura (ver dibujo), la fuerza peso va doblando su trayectoria, hasta que cae al suelo. Pero si lanzamos el proyectil cada vez con más velocidad inicial, llegará el caso en que el cuerpo volverá a su punto de lanzamiento, sin tocar el suelo (despreciando la influencia del rozamiento con el aire, por supuesto).



\* *Eclíptica*: plano donde está situado el Sol y la órbita de la mayoría de los planetas. Desde la Tierra, el plano de la eclíptica se ve de canto, es decir, como una línea. Su nombre proviene de la palabra "eclipse".

Por tanto, ante la pregunta *¿por qué no se cae la Luna?*, la respuesta es que **la Luna está en continua caída** hacia la Tierra. Pero a medida que cae, el suelo de la Tierra se va curvando bajo él. El resultado es que la Luna cae, pero nunca llega al suelo porque éste se curva en igual medida.

Una vez comprendido el movimiento de la Luna, del mismo modo se comprende también el movimiento de los planetas alrededor del Sol. Y también Newton nos ha abierto la posibilidad de lanzar **satélites artificiales** que orbiten alrededor de nuestro planeta. Basta con dotarlos de una rapidez suficiente como para que su caída siga una órbita circular. Los satélites artificiales tienen numerosas aplicaciones:

- ✓ **Telecomunicaciones:** repiten la señal de radio o televisión que les llega, para que ésta pueda alcanzar puntos lejanos del mundo. Esto nos permite ver en directo acontecimientos que ocurren en otros continentes.
- ✓ **Observación:** desde los satélites espías, pasando por satélites de observación climática, hasta satélites que permiten elaborar mapas precisos y detallados de los cultivos, nuestro planeta está siendo constantemente fotografiado desde el espacio.
- ✓ **Sistemas de posicionamiento global (GPS):** una serie de satélites situados estratégicamente, reciben la señal emitida por un aparato desde la Tierra, y se la devuelven. El aparato calcula la distancia hasta los satélites a partir del tiempo que tarda la señal en volver. Si se conoce la distancia a tres satélites, se puede determinar con total exactitud la posición del aparato. Esto es de gran ayuda en el transporte (*navegadores*).
- ✓ **Estudios científicos:** el telescopio espacial *Hubble* (en honor del astrónomo Edwin Hubble) ha revolucionado la observación del cielo, ya que al estar en órbita no se ve afectado por la atmósfera, obteniendo imágenes de un gran detalle. Por otra parte, la *Estación Espacial Internacional* (ISS), aún en construcción, permitirá realizar experimentos “en ausencia de gravedad”, lo cual es imposible en la Tierra.

La ausencia de gravedad en los astronautas que se encuentran en órbita es sólo *aparente*. Tanto la nave, como sus pasajeros, y todos los objetos que hay en su interior o exterior, se encuentran constantemente “cayendo”, pero todos caen con la misma aceleración, independientemente de su masa, lo que da la sensación de inmovilidad. Como **no hay ningún punto de referencia para darnos cuenta de que estamos cayendo**, la sensación es como si flotáramos ingravidos. La misma sensación de “ingravedez” la observaríamos si cayéramos dentro de un ascensor en caída libre (como en algunas atracciones de la feria).

Para que un objeto siga una trayectoria circular, es necesario siempre aplicarle una **fuerza centrípeta**: es decir, una fuerza dirigida en todo momento al centro de la circunferencia. La fuerza centrípeta no es una nueva interacción, sino que cualquiera de las fuerzas estudiadas en el tema anterior puede dar lugar a un movimiento circular:

- En el caso del lanzador de martillo de la ilustración, la fuerza centrípeta coincide con la **tensión** de la cuerda. Cuando el lanzador suelta la cuerda, la bola continúa moviéndose en línea recta (hasta que la gravedad la desvía).
- En el caso de un vehículo que toma una curva, la fuerza que lo hace girar es la fuerza de **rozamiento** entre las ruedas y el suelo. Si el vehículo patina por diversas causas (hielo, aceite, grava suelta, etc.) continuará moviéndose en línea recta y se saldrá de la carretera.
- En el caso de los planetas o los satélites, que giran en círculos, la fuerza **gravitatoria** es la que hace el papel de fuerza centrípeta.



En cualquier caso, el módulo de la fuerza centrípeta viene dado por la expresión:

$$F = m \cdot v^2 / R$$

siendo  $m$  la masa del cuerpo,  $v$  la velocidad lineal y  $R$  el radio de giro. Es decir, la fuerza que actúa sobre un cuerpo que gira es directamente proporcional al cuadrado de la rapidez, e inversamente proporcional al radio de giro.

Por ejemplo, un coche que toma una curva, necesita ejercer mayor fuerza (de rozamiento con la carretera) cuanto más rápido vaya y cuanto más cerrada sea la curva (menor  $R$ ). Es notable que la velocidad está al cuadrado, por lo que si tomamos una curva al doble de velocidad permitida, se necesitará cuatro veces más fuerza. Como la fuerza de rozamiento depende directamente del peso del vehículo, y éste de su masa, resulta que la velocidad máxima para una determinada curva **no depende de la masa del coche** (aunque los vehículos de mayor tamaño, como los camiones, tienen un mayor riesgo de volcar), sino sólo del radio de la curva y **de las condiciones del asfalto y de las ruedas**. De ahí la importancia de cambiar las ruedas del vehículo cuando se gasta el dibujo que tienen en su superficie.

Si igualamos esta fórmula con el segundo principio de la dinámica  $F = m \cdot a$ , obtenemos la **aceleración centrípeta**, la cual no depende de la masa:

$$a = v^2/R$$

Esta **aceleración centrípeta coincide con la aceleración de la gravedad** en el caso de los objetos situados en órbita.

**A3.21** *Calcula la aceleración de caída de la Luna hacia la Tierra. Consulta los datos necesarios en el problema 4.12.*

- **AMPLIACIÓN:** *Calcula qué distancia "cae" la Luna en 1 segundo. Compárala con la distancia que cae una manzana en un segundo.*
- *Calcula qué velocidad debe llevar la Luna para mantenerse en órbita.*
- *Calcula qué velocidad debería llevar una manzana para mantenerse en órbita, a poca altura sobre el suelo y fíjate en el orden de magnitud.*
- *Calcula y expresa en días el tiempo que invierte la Luna en dar una vuelta alrededor de la Tierra, teniendo en cuenta que se trata de un movimiento uniforme, y utilizando la fórmula de la circunferencia  $2 \cdot \pi \cdot r$ .*

**A3.22** *Calcula la aceleración de la gravedad a la altura a la que se encuentra la estación espacial internacional (ISS), unos 400 km sobre la superficie terrestre, teniendo en cuenta el radio de la Tierra, 6370 km.*

- *Si se suelta un tornillo de la ISS, ¿con qué aceleración se aleja?*
- *Determina la velocidad a la que se debe mover la ISS para mantenerse en órbita.*
- *Calcula cuántas horas tarda la ISS en dar la vuelta a la Tierra. Compara el resultado con el obtenido en el problema 4.11.*

**A3.23** **AMPLIACIÓN:** *Se desea lanzar un satélite "geoestacionario" que tarde 24 horas en dar una vuelta a la Tierra. Utiliza la tercera Ley de Kepler para calcular el radio de su órbita. Busca los datos que necesites en otros problemas.*

- *¿A qué velocidad se mueve?*
- *¿Cómo se observaría el movimiento de dicho satélite desde la superficie terrestre?*

**A3.24** *Un camión de 4000 kg puede tomar una curva de 200 m de radio a una velocidad máxima de 60 km/h, o de lo contrario derraparía. ¿Qué fuerza de rozamiento máxima ejercen las ruedas? Si tomara una curva de 400 m de radio a 120 km/h, ¿derraparía?*

**A3.25** *Se sabe que hace millones de años, la Luna estaba situada más cerca de la Tierra. Entonces ¿tardaba más o menos tiempo en completar una vuelta alrededor de nuestro planeta? ¿Cómo serían las mareas? Justifica tus respuestas con alguna fórmula.*

**A3.26** *Dibuja cómo se ven la Luna y el Sol en el momento en que comienza un eclipse de Sol y en qué posición se encuentran en el momento en que finaliza el eclipse. Observa que la Luna se ha desplazado dos veces el diámetro del Sol.*

- *¿En qué fase se encuentra la Luna siempre en un eclipse de Sol?*



- Sabiendo que el Sol tiene un diámetro aparente de 32 minutos de arco (1 grado = 60 minutos), calcula la duración de un eclipse total de Sol. Realiza una proporción, teniendo en cuenta que la Luna tarda 29 días y 12 horas en girar 360º (respecto al Sol).

**A3.27** Habrás observado que la Luna llena no tiene siempre el mismo tamaño. ¿A qué crees que es debido? ¿Qué consecuencias tendrá esto sobre los eclipses?

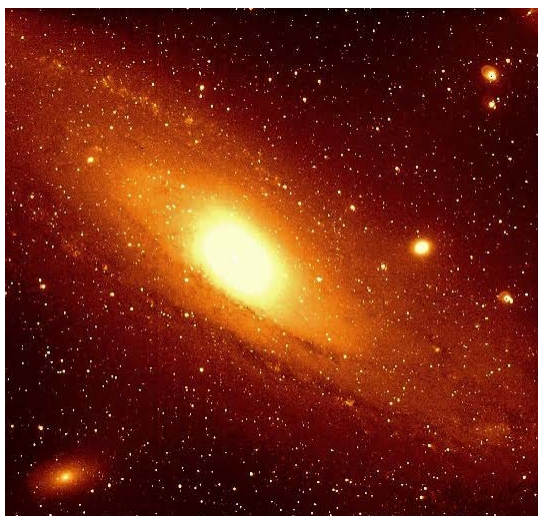
## 11. VISIÓN ACTUAL DEL SISTEMA SOLAR Y DEL UNIVERSO



- En Agosto de 2006, los científicos de la Unión Astronómica Internacional decidieron que **Plutón ya no sea considerado un planeta**, reduciendo así a ocho el número total de planetas: cuatro sólidos y cuatro gaseosos. Aunque tiene forma esférica y orbita alrededor del Sol, existen numerosos objetos en sus proximidades que no han sido atraídos por Plutón, debido a su pequeño tamaño y baja gravedad. De hecho, el tamaño de Plutón (2300 km) es aún más pequeño que nuestra Luna (3400 km), y atraviesa el *Cinturón de Kuiper*, una región del Sistema Solar donde abundan objetos de composición similar a los cometas, algunos de ellos incluso mayores que el propio Plutón. Si Plutón siguiera considerándose un planeta, habría que incluir también a *Ceres*, el mayor de los objetos del *Cinturón de Asteroides*. Los científicos han decidido que Plutón, *Ceres* y los mayores objetos del cinturón de Kuiper pasen a denominarse, a partir de ahora, como **planetas enanos**. En este mismo año, la NASA ha enviado una sonda para explorar Plutón y otros objetos del Cinturón de Kuiper, a donde llegará el año 2015.
- En 1999 se lanzó la sonda *Stardust* con el propósito de estudiar uno de los muchos **cometas** que orbitan alrededor del Sol. La sonda recolectó partículas de polvo de la cola del cometa en 2004, y regresó a la Tierra para su análisis en 2006. La **cola** de un cometa es material que se evapora de su **núcleo**, debido al *viento solar*, una ráfaga constante de partículas que parte del Sol en todas las direcciones. Es la primera vez que se trae a la Tierra material del espacio, aparte de las rocas lunares. Este material es muy interesante porque se piensa que ha permanecido inalterado desde la formación del Sistema Solar. Además del hielo, polvo y gas, que eran los materiales esperados, se encontraron una gran variedad de sustancias, como minerales formados a gran temperatura o **sustancias orgánicas complejas**. El material de los cometas ha debido formarse cerca de alguna estrella y luego ser arrastrado hasta el Cinturón de Kuiper, donde durante millones de años se forman los núcleos de los cometas, hasta que la gravitación desequilibra sus órbitas y caen hacia el Sol. Las partículas de la cola del cometa quedan flotando en el espacio durante años, y cuando la Tierra las atraviesa, caen en forma de **estrellas fugaces**. El hielo que forma estas pequeñas partículas se evapora debido al rozamiento con la atmósfera, y rara vez llegan al suelo. Sin embargo, cada vez hay más científicos que creen que **esta fina lluvia de partículas de cometas que ha regado la tierra durante millones de años, ha proporcionado las moléculas básicas para que se inicie la vida**.



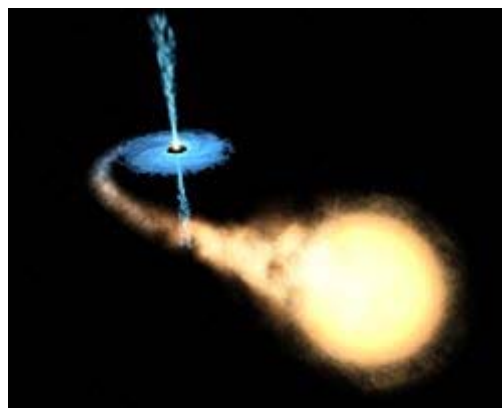
- Hasta 1924 se creía que todos los objetos del universo (como estrellas, nebulosas, etc.) estaban uniformemente distribuidos en forma de globo esférico o de disco, que se denominó **galaxia**. Pero ese año, el astrónomo estadounidense **Edwin HUBBLE**



descubrió que, lo que se creían nebulosas cercanas, eran aglomeraciones de estrellas mucho más alejadas que las estrellas observables, y formaban por tanto otras galaxias diferentes de la nuestra. La más cercana de todas, la de Andrómeda (foto), que se encuentra a 2'2 millones de años-luz, es visible incluso a simple vista como una pequeña estrella borrosa. (Un **año luz** es la distancia recorrida por la luz durante un año). Además, en 1929 Hubble comprobó que la distancia a la mayoría de las galaxias estaba en constante aumento. Y lo que es más, las galaxias más alejadas se mueven a una velocidad mucho mayor. La única explicación de este extraño fenómeno es la **expansión del**

**universo**, lo cual implica que en el pasado el universo era mucho más pequeño. De hecho, actualmente se ha calculado que hace 13.700 millones de años el universo estaba reducido a un punto enormemente caliente, que se denomina **Big-Bang**. En el *Big-Bang* surgió el espacio, el tiempo, la materia y la energía, todo lo que la ciencia estudia, por lo que es imposible responder a preguntas como *¿qué había antes del Big-Bang?* Pero los científicos sí intentan responder a la pregunta *¿cuál es el futuro del universo?* Podría ser una aceleración frenada por la gravedad, o incluso el Universo podría volver a contraerse hasta un estado parecido al *Big-Bang*, aunque se necesitaría mucha más materia de la actualmente observada para que esto se produjera. En 1933, se demostró que el universo debe contener mucha más materia que la que se observa, lo que se denominó **materia oscura**. Por ejemplo, en nuestra Galaxia, la Vía Láctea, se calcula que el 90% de la materia es oscura, es decir, no forma parte de las estrellas. Una parte de esta materia oscura pueden ser los planetas, agujeros negros, gases interestelares, etc, pero otra gran parte de esta materia permanece inexplicable. Teniendo en cuenta esta materia oscura, el universo debería ralentizar su expansión, pero en 2006, mediciones realizadas por satélites han confirmado que el universo está en expansión *acelerada*. Esto significa que, además de materia oscura, nuestro universo contiene grandes cantidades de energía desconocida, lo que se ha bautizado como **energía oscura**. En definitiva, el estudio de la Astronomía nos depara aún muchas sorpresas.

- La idea de un cuerpo tan masivo que ni la luz pueda escapar de él proviene del siglo XVIII, y se desprende de los estudios de Newton sobre la velocidad de escape necesaria para despegar de un objeto celeste. Cuando se comprobó en el siglo XIX la naturaleza ondulatoria de la luz, se descartó la existencia de tales objetos, pero en su *Teoría General De La Relatividad*, **Albert EINSTEIN** demostró que la luz se ve influenciada por la gravedad, ya que en realidad la gravedad es consecuencia de la deformación del espacio-tiempo de cuatro dimensiones. En 1930 se demostró que una estrella supermasiva (más de 2'5 veces la masa del Sol), una vez agotada su energía nuclear, colapsaría sobre sí misma hasta formar un **agujero negro**. Justo antes de tal colapso, la estrella sufre una explosión violentísima, llamada **supernova**, la cual es el origen de los elementos químicos más pesados que el hierro. Por tanto, nuestro sistema Solar se ha formado a partir de los desechos de estrellas que existieron anteriormente: "somos polvo de estrellas". El tamaño de un agujero negro sería virtualmente cero, pero existe una distancia a su alrededor tal que si se sobrepasa, nada puede escapar de



ella. Antes de atravesar dicha frontera, los objetos atraídos por la inmensa gravedad del agujero negro se ven estrujados y deformados, de modo que alcanzan temperaturas inimaginables, emitiendo grandes cantidades de rayos X y rayos gamma, que permiten localizarlos. Cuando absorben materia, los agujeros negros aumentan de tamaño y masa de forma ilimitada. En 1995 se demostró que en el centro de nuestra galaxia existe un agujero negro supermasivo con una masa de 4'5 millones de Soles, que sostiene la estructura de toda la galaxia. Por el contrario, el menor agujero negro conocido mide sólo 24 km de diámetro, y puede haber muchos en nuestra Galaxia. Los chorros de plasma emitidos por los polos de los agujeros negros supermasivos permiten ver objetos extremadamente alejados de nosotros en el espacio y en el tiempo, los **quásar** (del inglés *quasi star*). El *quásar* más lejano de que se tiene noticia está a 13.000 millones de años-luz, es decir, se formó al comienzo de la historia del Universo, ya que la luz que ahora recibimos salió de él hace 13.000 millones de años.

### ACTIVIDADES DE REPASO

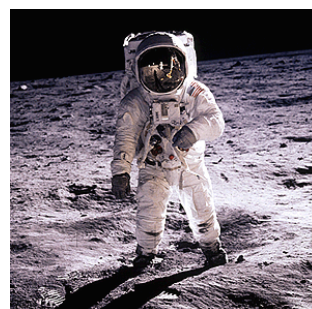
1. **AMPLIACIÓN:** La Luna dista 384.000 km de la Tierra y tarda 28 días en dar una vuelta completa alrededor de ella.
  - a. Calcula la constante de Kepler para la Tierra y sus satélites.
  - b. Determina el radio de giro de un satélite que tarda 8 horas en dar una vuelta completa a la Tierra. ¿A qué altura de la superficie terrestre se encuentra? (radio terrestre : 6.378 km).



2. Se desea poner en órbita un satélite a unos 35000 km del centro de la Tierra. A) ¿Cuál será la aceleración gravitatoria en esa órbita? B) ¿Qué tiempo empleará el satélite en dar un giro completo?
3. Un astronauta, que en la Tierra pesa 780 N, llega a un planeta desconocido y observa que allí el peso es de 350 N. Si la masa de ese planeta es prácticamente igual a la Tierra, calcula su diámetro.
4. El planeta Venus es aproximadamente del mismo tamaño que la Tierra, pero la aceleración de la gravedad en su superficie es sólo de  $8'87 \text{ m/s}^2$  ¿A qué se deberá? Realiza los cálculos correspondientes.
5. ¿Qué ocurre al intentar beber agua en situación de ingravidez? ¿Y si intentamos beberla con pajita? Explica la respuesta.
6. Un cerdo, que en la Tierra pesa 1290 N, ¿cuánto pesaría en la ISS, a 400 km de altura desde la superficie terrestre?
7. ¿A qué distancia desde el centro de la Tierra la gravedad se reduce a la mitad de su valor en la superficie?
8. **AMPLIACIÓN:** Lanzamos un objeto de 3 kg verticalmente y hacia arriba con una rapidez de 8 m/s. ¿Qué tiempo emplearía en caer si este experimento lo hacemos en la Tierra y si lo pudiéramos hacer en Júpiter, donde la aceleración es  $23 \text{ m/s}^2$ ? ¿Pesaría lo mismo en los dos planetas?
9. Un lanzador de martillo da varias vueltas sobre sí mismo antes de soltarlo. ¿En qué momento debe soltarlo, si desea lanzarlo hacia adelante? Explicáte con un dibujo.
10. ¿Piensas que las constelaciones del Zodíaco pueden tener alguna influencia sobre el comportamiento de las personas? ¿Por qué?
  - ¿Piensas que si formulas un deseo al ver una estrella fugaz, se puede cumplir?



11. Una alumna razona del siguiente modo: "En la Luna no hay aire, y por eso allí los objetos ni pesan ni caen." ¿Qué le dirías?
12. Un cuerpo pesa 250 N en la Tierra. En otro planeta el mismo cuerpo pesa 80 N.  
 a. ¿Cuál es el valor de la gravedad del planeta?  
 b. Si la circunferencia del planeta es 24.500 km, ¿cuál es la masa del planeta?
13. Luis razona con Ángela de la siguiente manera: "Aunque un objeto se hunda en el agua, aquí en la Tierra, puede ser que en la Luna flote, porque allí pesa menos." ¿Es correcto el razonamiento?
14. REPASO: Si transportamos un globo inflado desde la Tierra hasta la Luna, ¿qué cambios observaremos en su volumen y en su peso?
15. Una astronauta preocupada por su línea se lleva la báscula de baño de su casa hasta la Luna. En la Tierra, la báscula marcaba 48 kg. En la Luna, sólo marca 8 kg. ¿Cómo es posible que haya adelgazado tanto durante el viaje?
16. Un astronauta con su equipo tiene una masa total de 100 kg. Se sube a una báscula situada en la superficie lunar, observando que su peso es 166 N. Después coloca la báscula en el fondo de una bañera que contiene 200 litros agua, elevándose dicho nivel hasta 280 litros.  
 a. Calcula el valor de la gravedad en la superficie lunar.  
 b. Dibuja y nombra las fuerzas que actúan sobre el astronauta sumergido.  
 c. Calcula el valor señalado por la báscula después de la inmersión.  
 DATOS:  $G (6,67 \cdot 10^{-11} \text{ S.I.})$  MASA LUNAR  $(7,343 \cdot 10^{22} \text{ kg})$  RADIO LUNAR (1738 km)
17. AMPLIACIÓN: En un planeta un cuerpo tarda en caer 3 s desde una altura de 10 m. ¿Cuánto pesará en dicho planeta un cuerpo de masa 20 kg? Si el perímetro del planeta es 34.200 km, ¿cuál es la masa del planeta?
18. AMPLIACIÓN: Dado que la órbita de la Luna es elíptica, ¿tendrán la misma duración las cuatro fases Lunares?
19. Explica tres descubrimientos astronómicos que hayan roto con la idea que se tenía sobre el Universo, uno en la antigüedad, otro desde el siglo XVI al XIX y otro en el siglo XX.
20. AMPLIACIÓN: ¿Cómo podían saber los marinos de la época de Cristóbal Colón en qué punto de la esfera terrestre estaban situados (latitud y longitud)?
21. Por 3400 euros se puede viajar a Moscú y realizar un vuelo en un avión experimentando la ingravidez. El avión asciende a máxima potencia con una inclinación de 42°, alcanzando una aceleración de 2 g en el interior del avión. Luego apaga los motores, y durante varios minutos sus ocupantes experimentan la ingravidez. Explica el fundamento físico de esta experiencia.
22. ¿Por qué se afirma "somos polvo de estrellas"?  
 • ¿Cuál es el probable origen de la vida en la Tierra?
23. Sabiendo que hay dos mareas diarias, ¿qué tiempo transcurre entre la marea baja y la siguiente marea alta? Si la Luna tarda 29'53 días en repetir la fase, ¿cuántos minutos se retrasa la salida de la Luna cada día, y cuánto se retrasan las mareas, por tanto?
24. Un cuerpo de 80 kg tiene un peso de 670 N en un planeta X. Un vehículo, a velocidad constante de 100 km/h, tarda 28 horas en dar una vuelta completa alrededor del planeta. Determina:  
 a. gravedad del planeta  
 b. volumen del planeta  
 c. densidad del planeta



**ACTIVIDADES PARA REFUERZO. (Buscar los datos que precisés)**

1. El peso de un cuerpo en la superficie de la Luna es 6 kgf. Expresa la masa del cuerpo en kg, recordando que el kgf es la fuerza con la que la Tierra atrae a un cuerpo de 1 kg situado en su superficie.
2. ¿A qué distancia deberían estar dos cuerpos de 1 y 4 Toneladas para que se atrajeran con una intensidad de  $2,6 \cdot 10^{-6}$  N?
3. Calcula la fuerza con que atrae la Tierra a una persona de 80 kg de masa. Calcula también la fuerza con que esa persona atrae a la Tierra. (Busca los datos que necesites) ¿Por qué, si esta persona salta desde un balcón, es ella la que cae hacia la Tierra y no al revés?
4. REPASO ¿Dónde cuesta más trabajo inflar un globo, en la Luna o en la Tierra?
5. Si comparamos el peso de una persona al nivel del mar y en la cima del Everest (altura 9 km aproximadamente sobre el nivel del mar) ¿Qué reducción de peso experimenta, en porcentaje?
6. Determina la velocidad a la que se mueve la Luna, si la distancia que la separa de la Tierra es de unos 360.000 km y tarda 28 días en realizar una vuelta completa.
7. Un satélite de 1450 kg de masa está situado a 30 000 km de altura sobre la superficie terrestre. ¿Cuál será su peso allí? ¿Por qué no cae el satélite a la Tierra?
8. Un astronauta, que en la Tierra pesa 780 N, llega a un planeta desconocido y observa que allí el peso es de 350 N. Si la masa de ese planeta es prácticamente igual a la Tierra, calcula su diámetro.



9. Se dice que Saturno es tan poco denso que podría flotar en un océano lo suficientemente grande. ¿Sería eso cierto incluso si en ese océano no hubiera gravedad?
10. ¿Pesa la Tierra? Explicación.
11. Determina la aceleración de la gravedad en un punto del espacio situado a una distancia del centro de la Tierra igual a 4 veces el radio de ésta. Radio de la Tierra: 6370 km
12. Un atleta es capaz de saltar con una pértiga (objeto elástico gobernado por la ley de Hooke) una altura de 6 metros en la Tierra. Si el salto lo realiza en la Luna, ¿la fuerza ejercida por la pértiga será la misma? ¿Y la altura alcanzada? Razona las respuestas.
13. AMPLIACIÓN En un planeta un cuerpo tarda en caer 3 s desde una altura de 10 m. ¿Cuánto pesará en dicho planeta un cuerpo de masa 20 kg? Si el perímetro del planeta es 34.200 km, ¿cuál es la masa del planeta?
14. AMPLIACIÓN El planeta Marte dispone de dos satélites: Fobos (foto) y Deimos. El primero está situado a una distancia de 9.380 km del planeta y tiene un período de rotación de 7 horas y 41 minutos. El segundo se encuentra a 23.500 km del planeta. Determina el período de rotación de Deimos. Calcula la velocidad orbital de cada satélite. ¿Es la misma constante que en el caso de los cuatro satélites galileanos? ¿Por qué?
15. Santiago Martínez, en 2006, batió el récord de España de levantamiento de pesas, con 209 kg en dos tiempos. ¿Cuántos kg podría levantar en la Luna?

