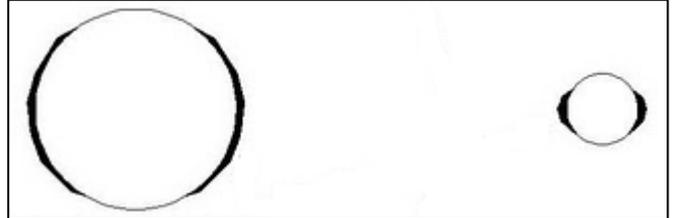


Fuerzas de marea (Concepto y estimación de su valor en la Tierra)

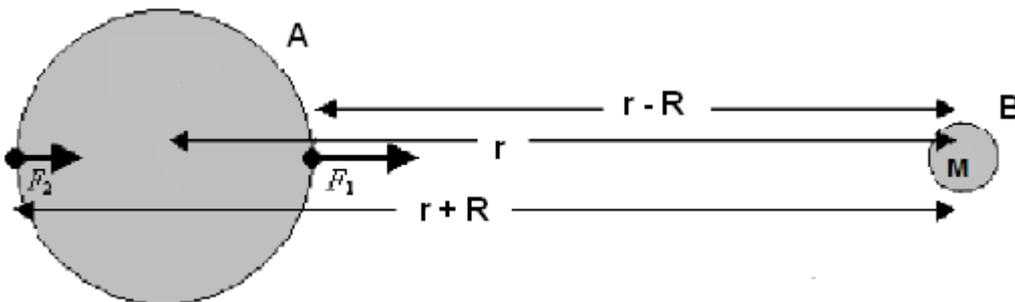
Concepto de fuerzas de marea

La interacción gravitatoria entre dos objetos celestes implica una diferencia en la intensidad de la fuerza gravitatoria entre el extremo cercano y el lejano (en la línea del eje entre ambos), a la que denominamos fuerza de marea. Suponiendo que inicialmente ambos cuerpos tengan forma esférica, la fuerza de marea entre ambos tiende a distorsionarlos, convirtiéndolos en elipsoides. Recíprocamente, estas distorsiones generadas en cada cuerpo, afectan a los parámetros orbitales del otro, hasta que se establezca una condición de estabilidad mutua.



Las fuerzas de marea se denominaron así por ser responsables del fenómeno de las mareas oceánicas, pero, como vemos, son un fenómeno gravitatorio general, que es responsable de otros muchos efectos. Ciñéndonos, a nuestro sistema solar, las fuerzas de marea determinan la presencia, localización y parámetros orbitales de los satélites alrededor de los planetas y propician características especiales en éstos, como calentamiento, sistemas de anillos o cambios climáticos.

Comprobación del efecto de las fuerzas de marea en la distorsión de los cuerpos celestes



En un cuerpo celeste A, la fuerza gravitatoria ejercida por una masa distante M de un cuerpo B en cualquier elemento de masa m de A

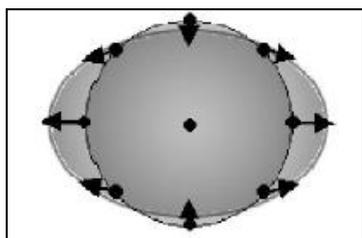
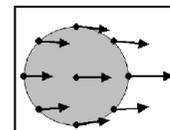
varía según cambia la posición relativa entre ambos. Si el cuerpo A tiene un radio R , sobre el elemento de masa m situado en el punto de A más cercano a B se ejerce una fuerza gravitatoria dada por:

$$F_1 = G \frac{m \cdot M}{(r - R)^2}$$

Mientras que en el elemento de masa m situado punto más lejano de A respecto a B se ejerce una fuerza dada por:

$$F_2 = G \frac{m \cdot M}{(r + R)^2}$$

Así, tal como se indica en el dibujo adjunto, sobre los puntos cercanos al eje que une los cuerpos se ejerce una fuerza mayor y sobre los más lejanos se ejerce una fuerza más débil.



Restando el vector de fuerza central a cada vector de fuerza local, se obtiene la distribución de fuerzas relativas al centro del cuerpo. Esta distribución (figura adjunta), enseña que dichas fuerzas diferenciales o fuerzas de marea estiran al cuerpo lateralmente y lo comprimen en la dirección perpendicular, con lo que pasa de una forma esférica a un elipsoide cuyo eje mayor se orienta en la dirección de la fuerza de marea.

Cálculo de la fuerza de marea

La diferencia entre las fuerzas ejercidas en un punto cercano y uno lejano es lo que se llama *fuerza de marea* ΔF . Como es lógico, la máxima fuerza de marea tiene lugar entre dos elementos de masa m en puntos diametralmente opuestos del cuerpo A en el plano que une los centros de ambos cuerpos A y B:

$$\Delta F = F_2 - F_1 = G \frac{m \cdot M}{(r + R)^2} - G \frac{m \cdot M}{(r - R)^2} = \frac{G \cdot m \cdot M}{r^2} \left[\left(1 + \frac{R}{r}\right)^{-2} - \left(1 - \frac{R}{r}\right)^{-2} \right]$$

Para el caso más usual en el que $r \gg R$, la fuerza de marea máxima resulta:

$$\Delta F \approx \frac{4 \cdot G \cdot m \cdot M \cdot R}{r^3}$$

En la Tierra las fuerzas de marea son debidas a la Luna y, en menor medida, al Sol. El mecanismo que da lugar a estas fuerzas de marea es algo más elaborado que, simplemente, la atracción gravitatoria, ya que se ha de tener en cuenta, por ejemplo, el efecto de la rotación de cada uno de los cuerpos involucrados sobre ejes propios. Sin considerar este factor, se puede realizar con la fórmula anterior la siguiente estimación de las fuerzas de marea ejercidas entre Sol, Tierra y Luna:

La Luna siente debido a la Tierra una fuerza de marea máxima del orden de $1.8 \cdot 10^8$ N

La Tierra siente debido a la Luna una fuerza de marea máxima del orden de $6.69 \cdot 10^8$ N

La Tierra siente debido al Sol una fuerza de marea máxima del orden de $3.02 \cdot 10^8$ N

Es decir, la fuerza de marea generada por la Luna en la Tierra es 2.2 veces más intensa que la que genera el Sol, a pesar de que la atracción del Sol es unas 178 veces mayor que la de la Luna. Esto es porque, aunque el Sol es mucho más masivo, está mucho más lejos de la Tierra. Además, la Tierra siente 3.5 veces más fuerza que la Luna en su interacción mutua, dado que la masa de la Tierra mayor y, por ello, también sufre una fuerza diferencial mayor.