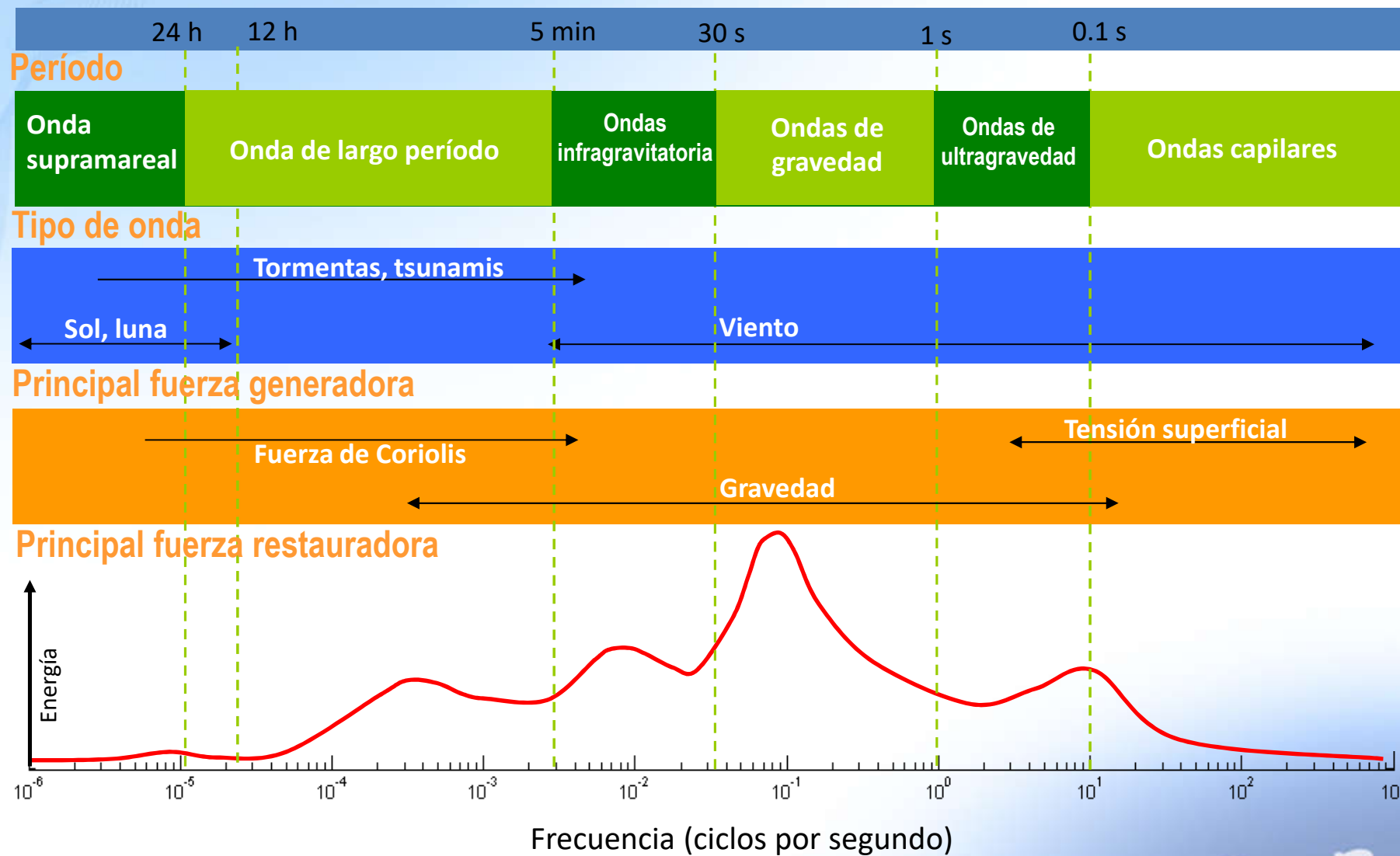


# Ondas en el Mar

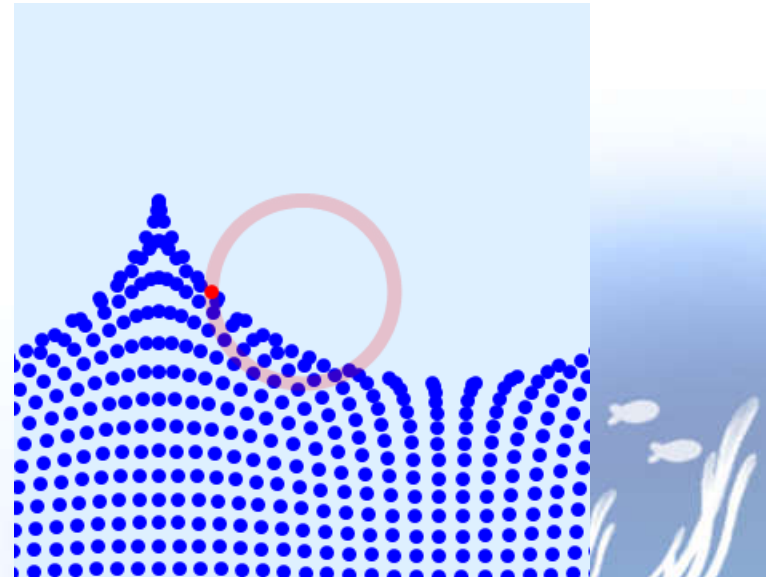
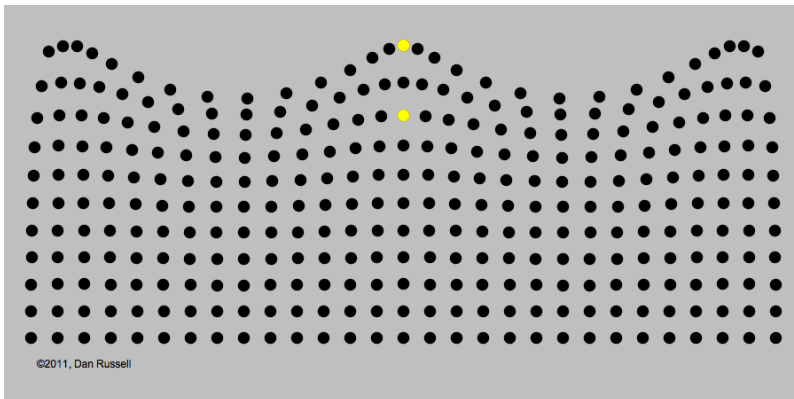
Oceanografía

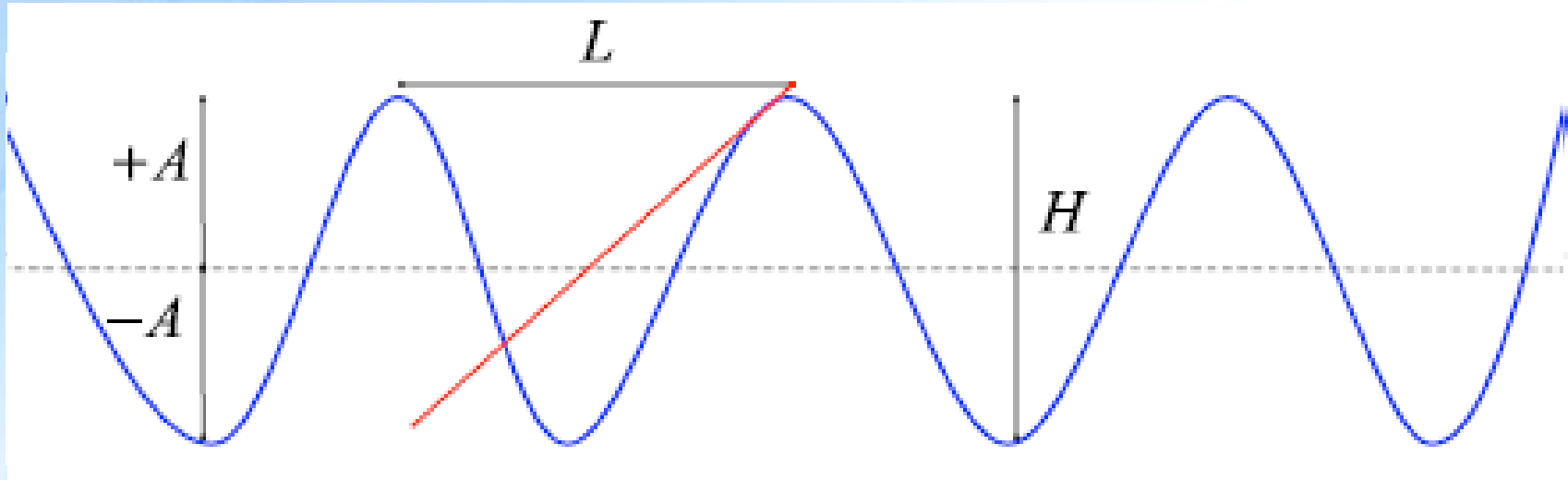




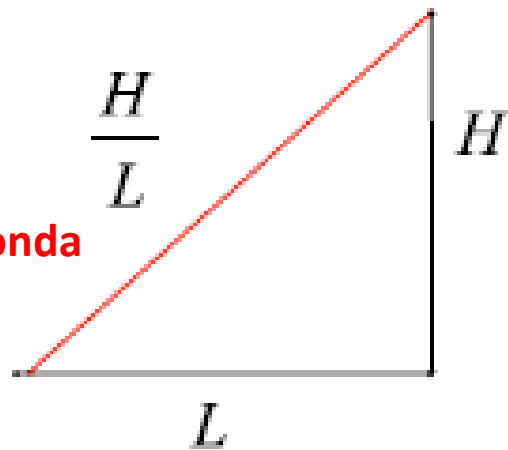
# Propiedades de una onda

- La onda transfiere una perturbación de una parte a otra
- Las perturbaciones son propagadas a través del material sin mayores movimientos de la materia.
- Las perturbaciones son propagadas sin mayores perturbaciones en la forma de la onda.
- La perturbación aparentemente se propaga a velocidad constante





Pendiente de la onda

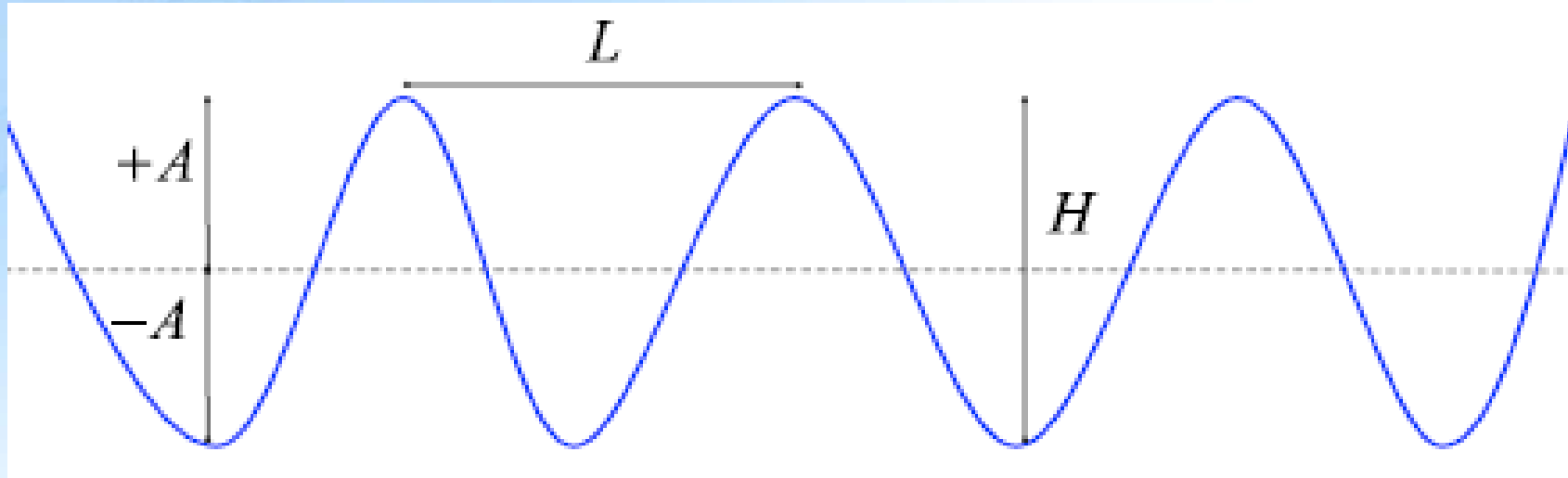


- Número de onda

$$k = \frac{\text{número de picos}}{\text{Longitud}}$$

- Frecuencia

$$\omega = \frac{\text{número de picos}}{\text{Tiempo}}$$

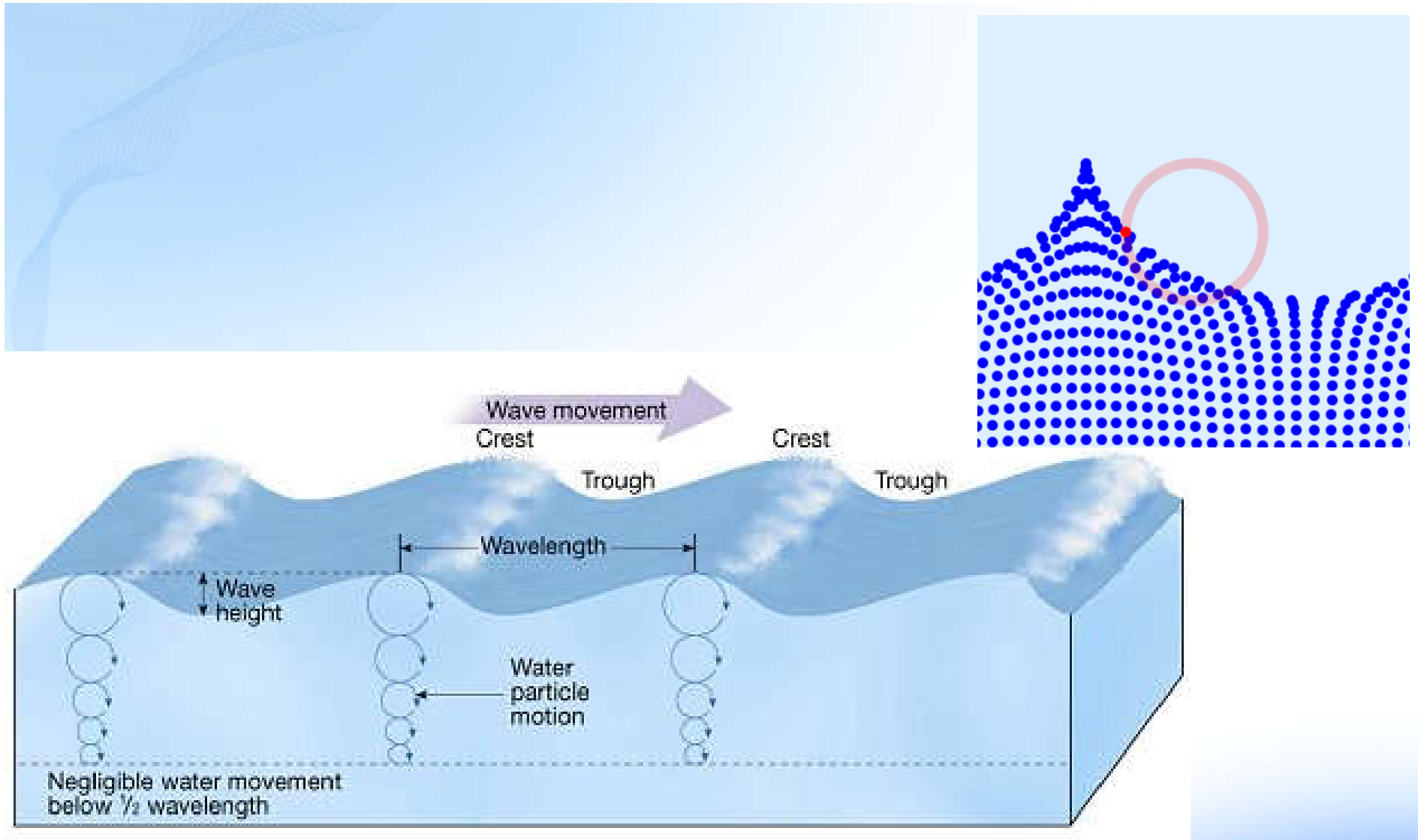


- **Energía de onda**

$$E = \frac{1}{8} \rho h H^2$$

Las ondas del océano existen por dos fuerzas restauradoras:

1. Gravedad
2. Tensión superficial

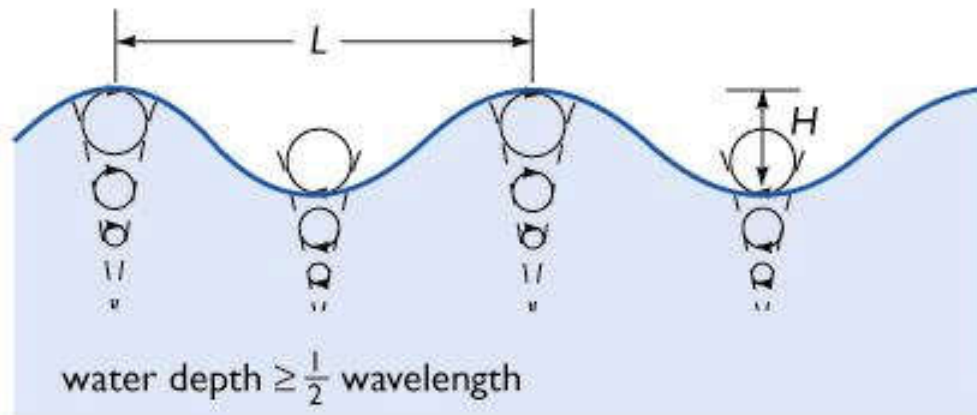


- No se transporta masa, pero las partículas se mueven bajo la influencia de la onda
- La forma en la que orbitan no siempre son círculos



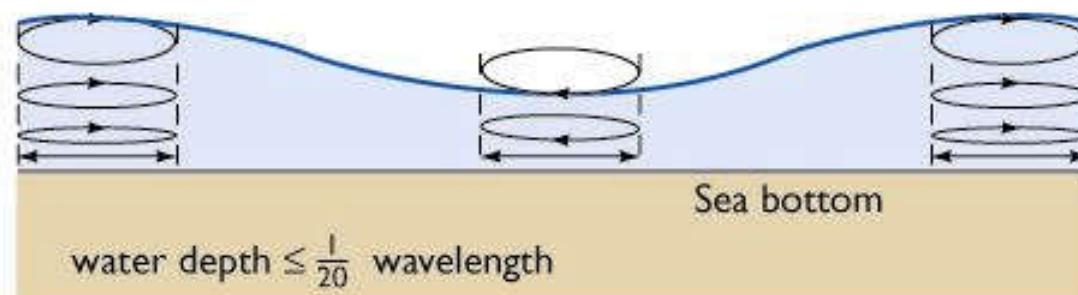


➔ Direction of wave motion



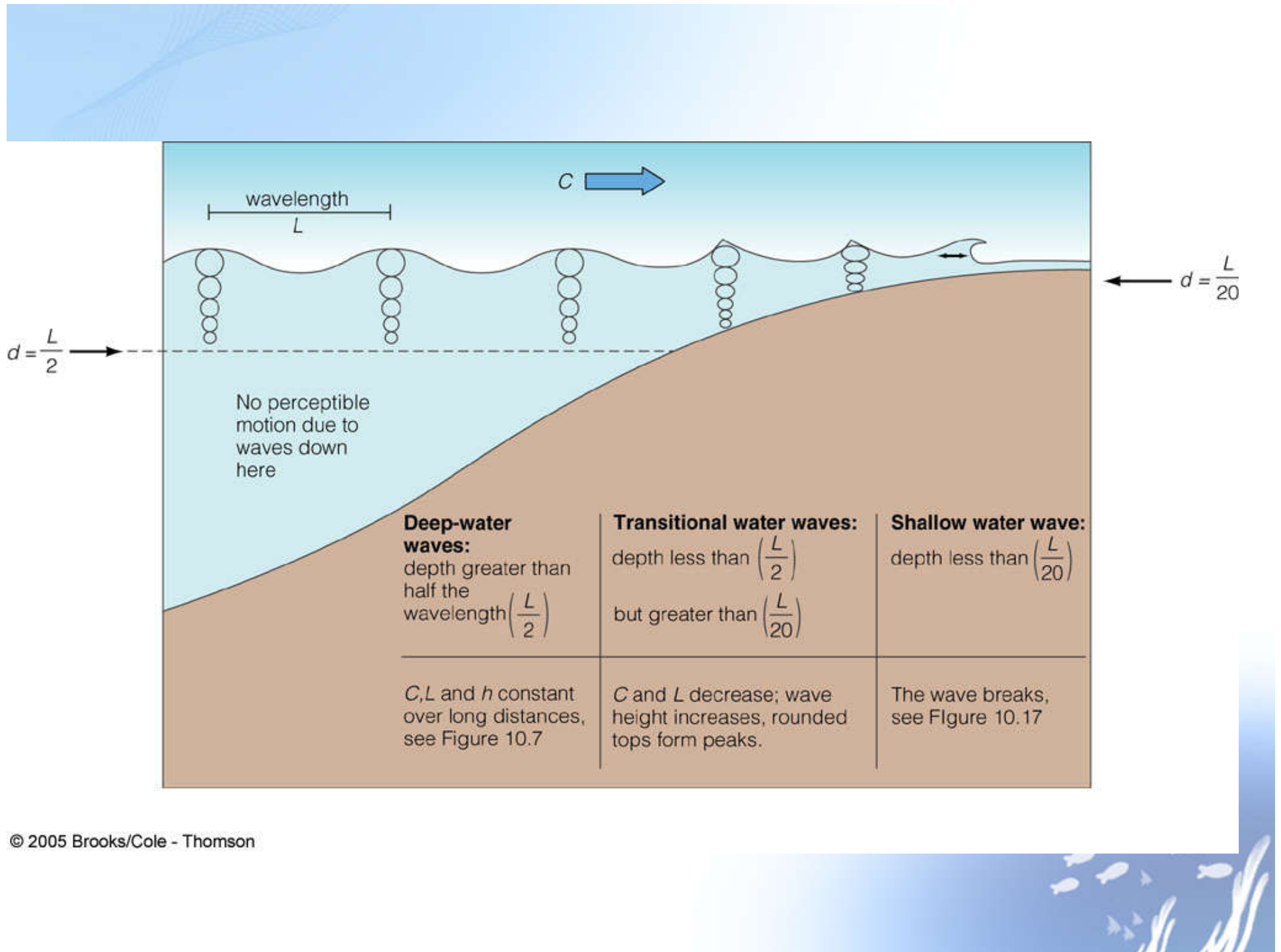
(a) DEEP-WATER WAVE

➔ Direction of wave motion

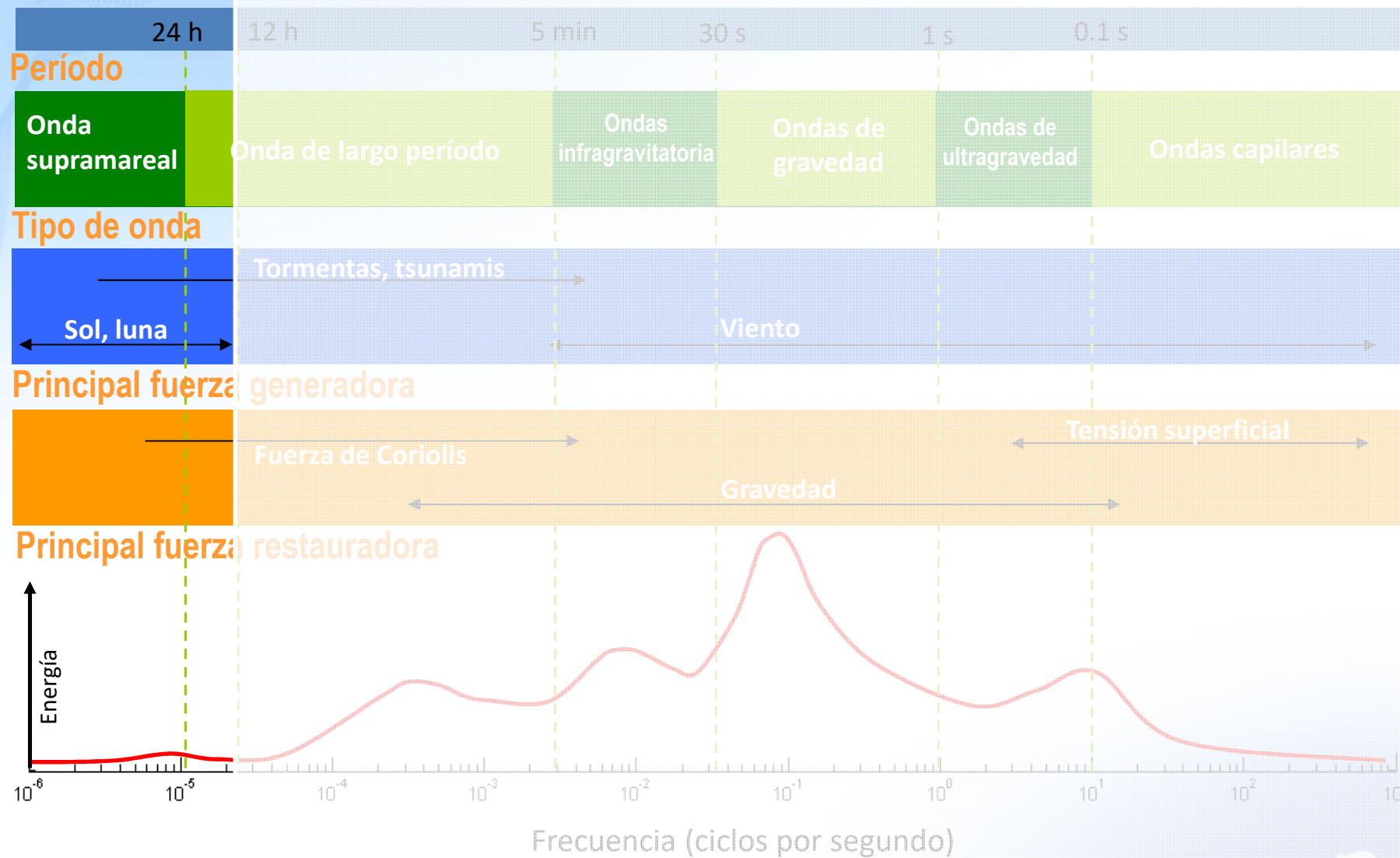


(b) SHALLOW-WATER WAVE









# ¿Qué causa las mareas?

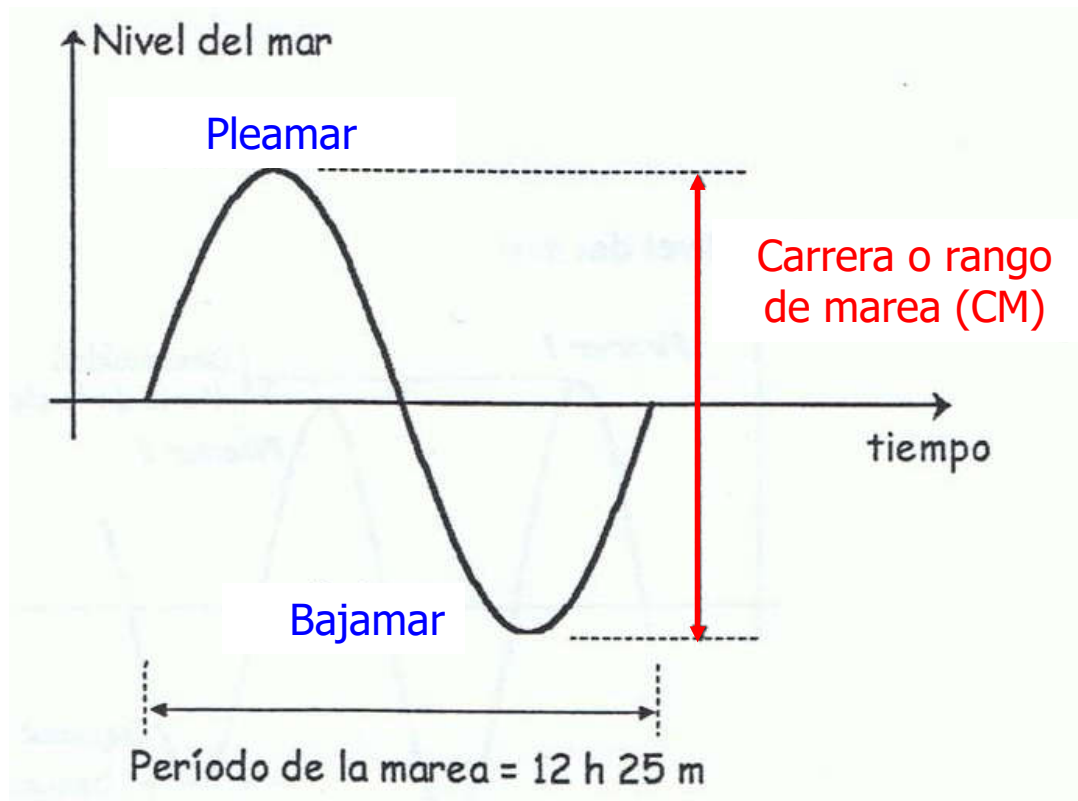
- Las mareas son creadas por el desequilibrio entre dos fuerzas:
  1. La fuerza gravitatoria de la Luna y el Sol en la Tierra
    - ✓ Si aumenta la masa (↑), fuerza aumenta entonces gravitacionales (↑)
    - ✓ Si aumenta la distancia (↑), a continuación, la fuerza gravitacional disminuye considerablemente (↓↓)
  2. Fuerza centrípeta que se requieren para mantener los cuerpos en órbitas casi circulares



## CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MAREA

### ¿Qué es la marea astronómica?

Movimientos regulares de ascenso y descenso del nivel del mar con periodos próximos a las 12 o 24 horas que se producen por los efectos gravitacionales del sistema Tierra-Sol-Luna



La amplitud del movimiento depende del lugar de la tierra considerado:

- Océano  $\sim 50$  cm
- Costas y estuarios  $\eta$   $\uparrow\uparrow$ 
  - o Bahía Fundy: CM=15 m
  - o Cantábrico: CM=4 m

**Diapositivas por Cristian Ortiz**



## CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MAREA

### ¿Cómo se estudia la marea astronómica?

#### 1) TEORÍA DEL EQUILIBRIO:

Basado en las fuerzas generadoras de la marea.

#### 2) TEORÍA DINÁMICA:

Resolución de las ecuaciones fundamentales de la hidrodinámica.

#### 3) ANÁLISIS ARMÓNICO:

Basado en las componentes periódicas de la marea.



## CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MAREA

### ¿Cómo se estudia la marea astronómica?

#### 1) TEORÍA DEL EQUILIBRIO:

Newton(1686): ayuda a comprender cualitativamente la marea.

Basado en las **fuerzas generadoras** de la marea.

#### 2) TEORÍA DINÁMICA:

Resolución de las ecuaciones fundamentales de la hidrodinámica.

#### 3) ANÁLISIS ARMÓNICO:

Basado en las componentes periódicas de la marea.



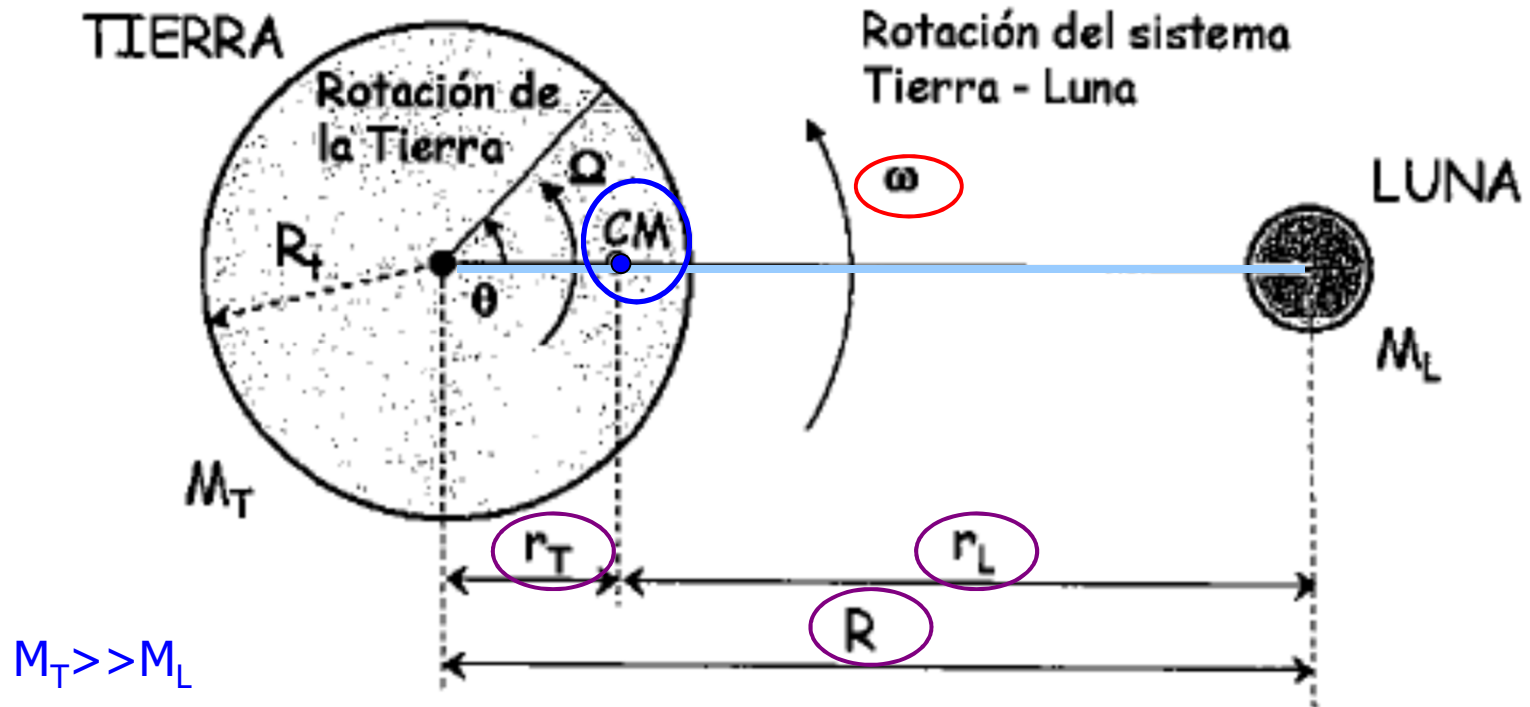
# CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MAREA

## Fuerzas generadoras de marea. Sistema Tierra-Luna

### Sistema de rotación Tierra-Luna

Para simplificar:

- ❑ Consideramos en primer lugar el sistema Tierra-Luna
- ❑ Consideramos que **la tierra no gira sobre su eje**





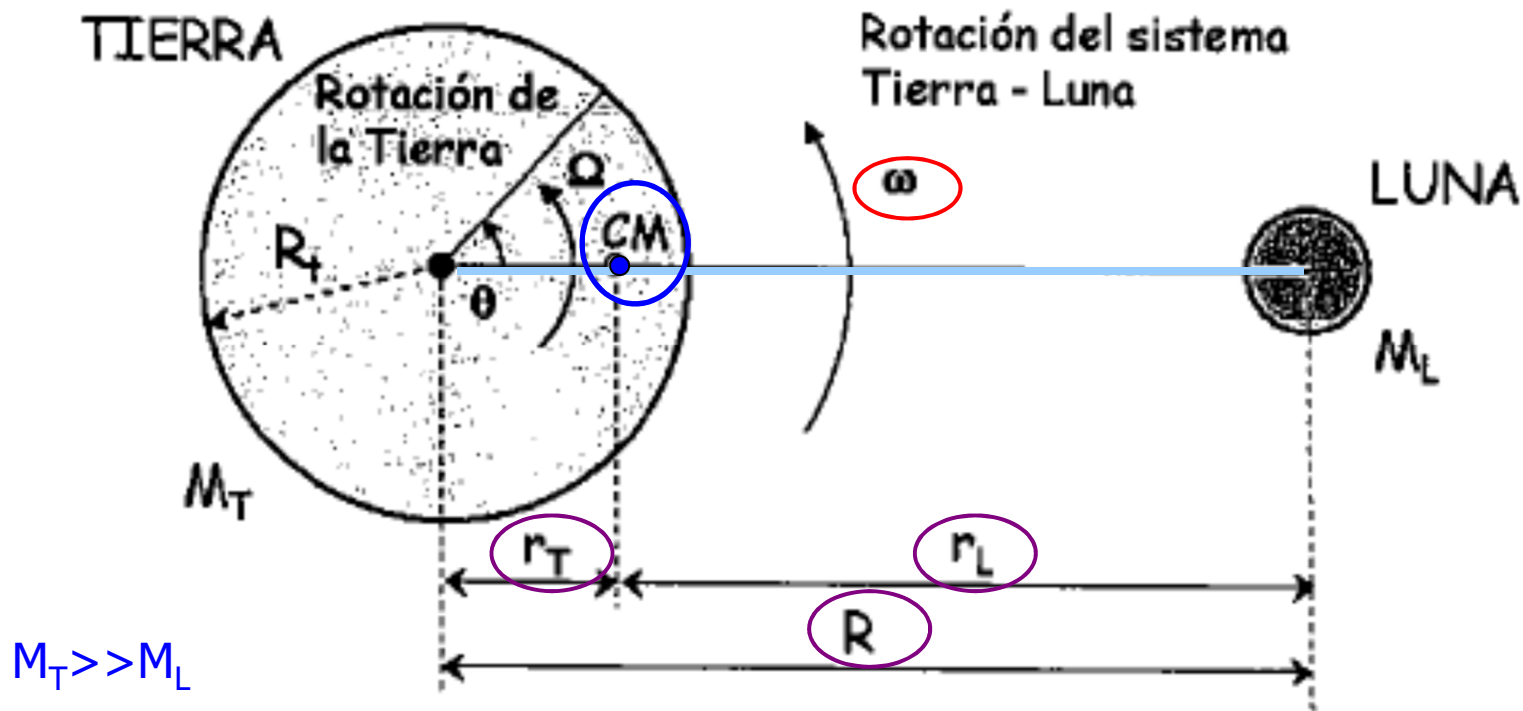
# CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MAREA

## Fuerzas generadoras de marea. Sistema Tierra-Luna

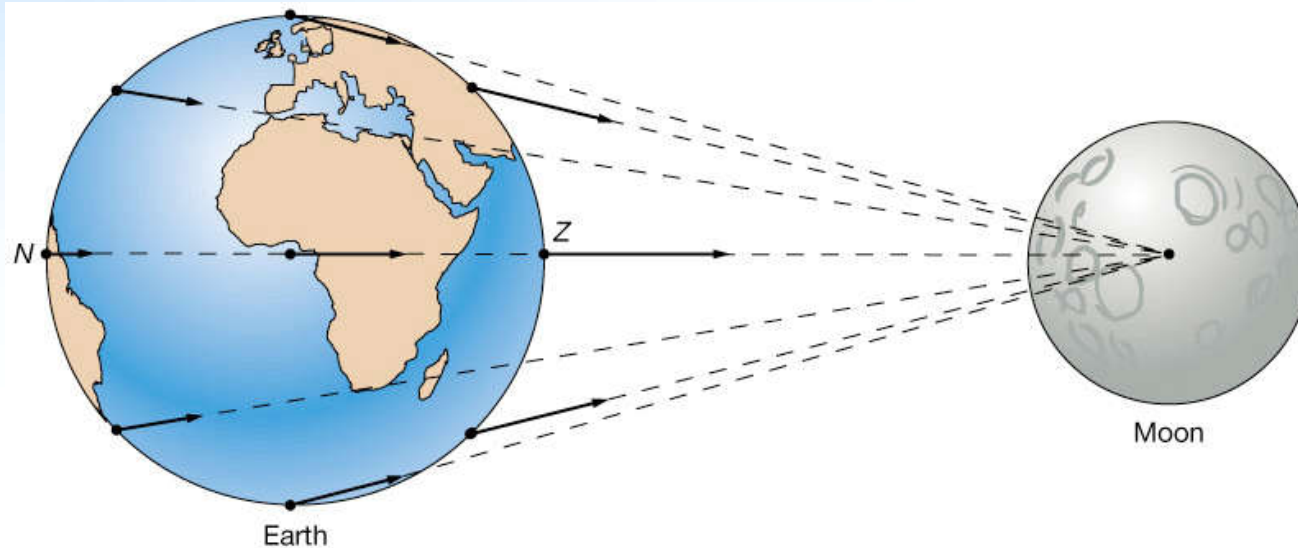
### Sistema de rotación Tierra-Luna

#### Fuerzas:

- ❑ Fuerza **centrífuga**
- ❑ Fuerza de **atracción** del sistema Tierra-Luna (Ley de gravitación universal de Newton)



# Las fuerzas gravitacionales de la Tierra debido a la Luna



- Disminuye al aumentar la distancia
- Se dirige hacia el centro de la masa de la Luna





## CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MAREA

### Fuerzas generadoras de marea. Sistema Tierra-Luna

#### TIERRA:

(1) Fuerza **centrífuga** en la Tierra  $\longrightarrow f_{CT} = M_T \omega^2 r_T$

(2) Fuerza de **atracción** del sistema Tierra-Luna  $\longrightarrow F_G = G \frac{M_T M_L}{R^2}$

Equilibrio entre (1) y (2):

$$G \frac{M_T M_L}{R^2} = M_T \omega^2 r_T \quad \longrightarrow \quad r_T = G \frac{M_L}{R^2 \omega^2}$$

Distancia del centro de la Tierra  
al centro de masas



## CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MAREA

### Fuerzas generadoras de marea. Sistema Tierra-Luna

#### LUNA:

(1) Fuerza **centrífuga** en la Luna  $\longrightarrow f_{CL} = M_L \omega^2 r_L$

(2) Fuerza de **atracción** del sistema Tierra-Luna  $\longrightarrow F_G = G \frac{M_T M_L}{R^2}$

Equilibrio entre (1) y (2):

$$G \frac{M_T M_L}{R^2} = M_L \omega^2 r_L \quad \longrightarrow \quad r_L = G \frac{M_T}{R^2 \omega^2}$$

Distancia del centro de la Luna  
al centro de masas

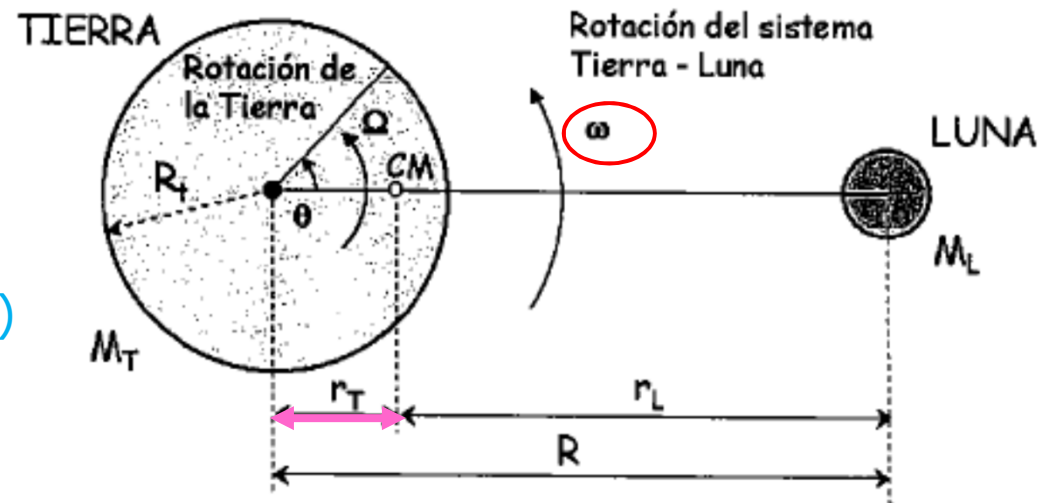


# CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MAREA

## Fuerzas generadoras de marea. Sistema Tierra-Luna

Velocidad de rotación del sistema Tierra-Luna

$$\omega = \sqrt{G \frac{M_L}{R^3} \left( 1 + \frac{M_T}{M_L} \right)} \quad (1)$$



$$G = 6.672 \cdot 10^{11} \text{ Nm}^2 \text{ Kg}^{-2}$$

$$R = 384329 \text{ km}$$

$$M_L = 7.34 \cdot 10^{22} \text{ kg}$$

$$M_T = 5.98 \cdot 10^{24} \text{ kg}$$

Sustituimos en (1)

$$\omega = 2.667 \cdot 10^{-6} \text{ rad/s}$$

$$r_T = G \frac{M_L}{R^2 \omega^2}$$

$$r_T = 4660 \text{ km}$$

$$\omega = 2\pi/T$$

$$T = 27.3 \text{ días}$$

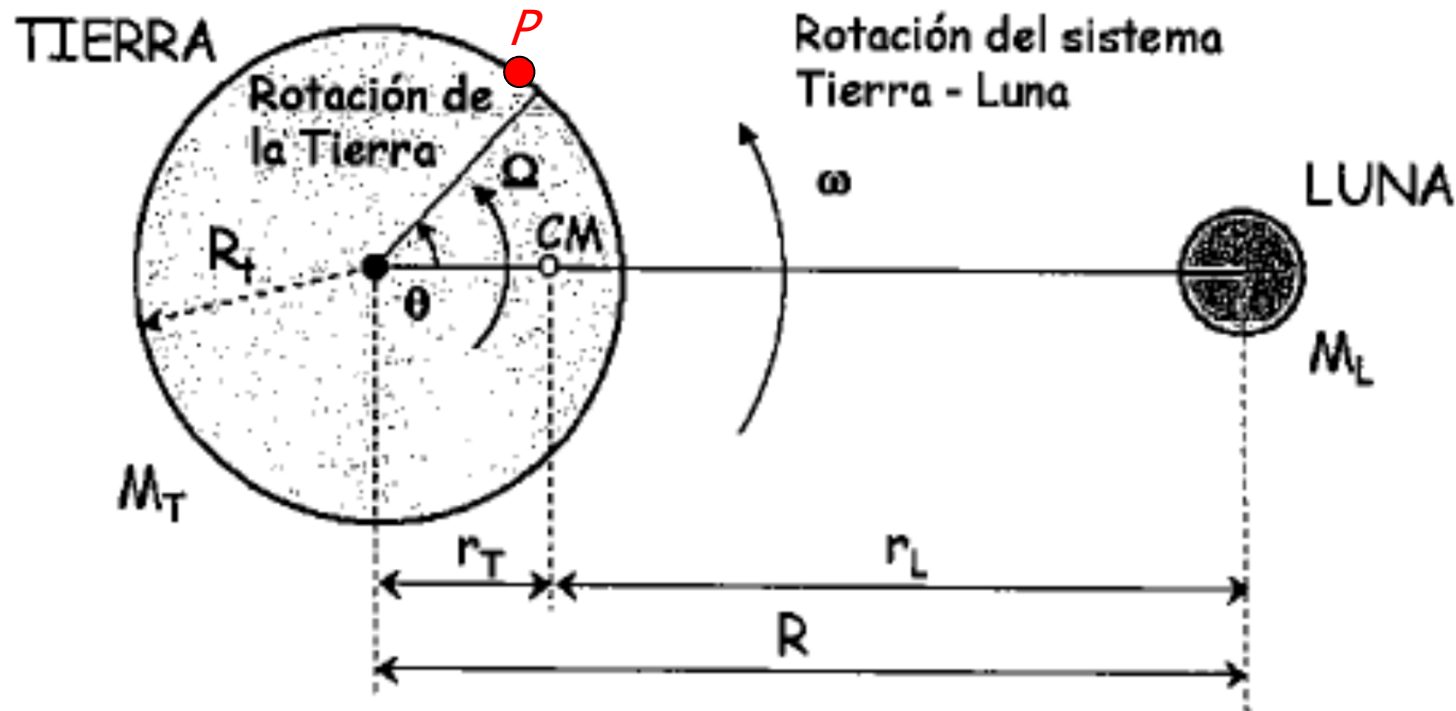
Período de rotación del sistema Tierra-Luna



## CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MAREA

### Fuerzas generadoras de marea. Sistema Tierra-Luna

Cualquier punto  $P$  (masa unidad) de la superficie de la tierra va a estar sometido a la acción de la **Fuerza centrífuga** y la **Fuerza de atracción gravitatoria**.





## CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MAREA

### Fuerzas generadoras de marea. Sistema Tierra-Luna

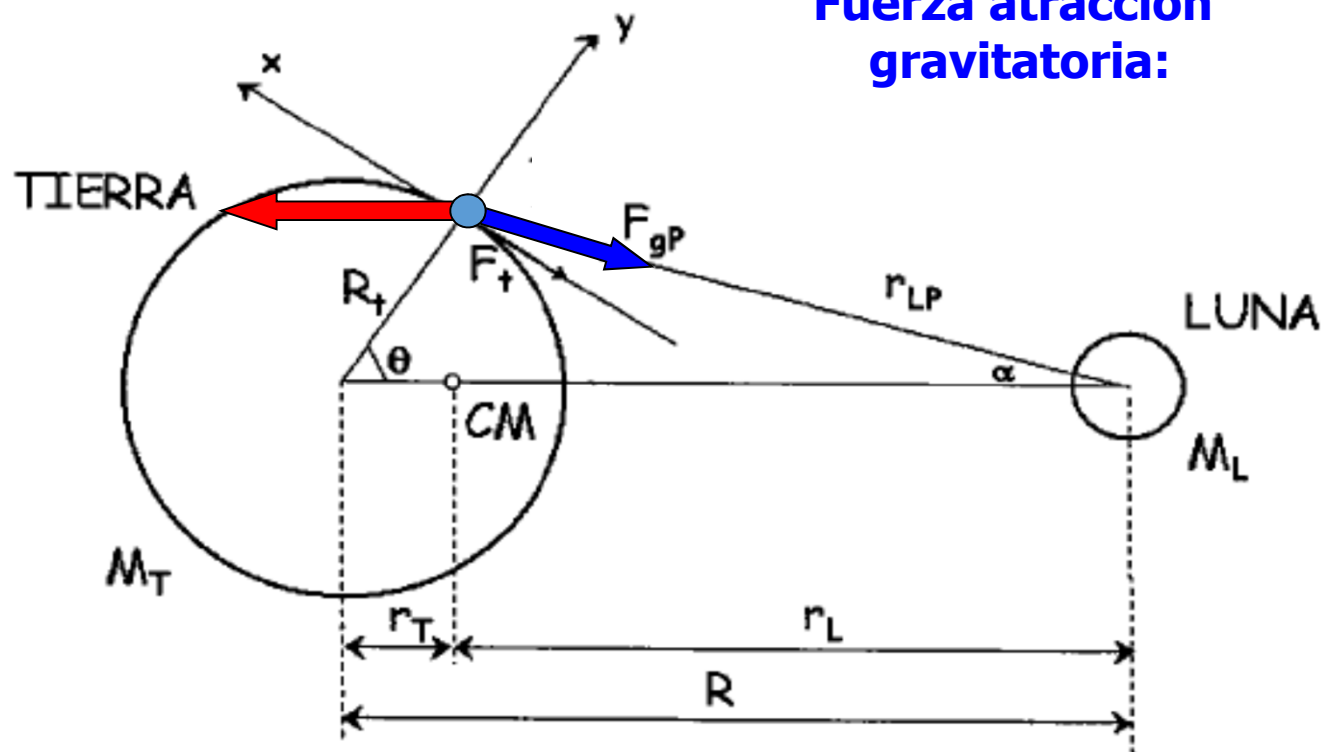
En el punto  $P$  hay equilibrio entre:

**Fuerza centrífuga:**

$$F_{CP} = G \frac{M_L}{R^2}$$

**Fuerza atracción gravitatoria:**

$$F_{GP} = G \frac{M_T M_L}{R^2}$$

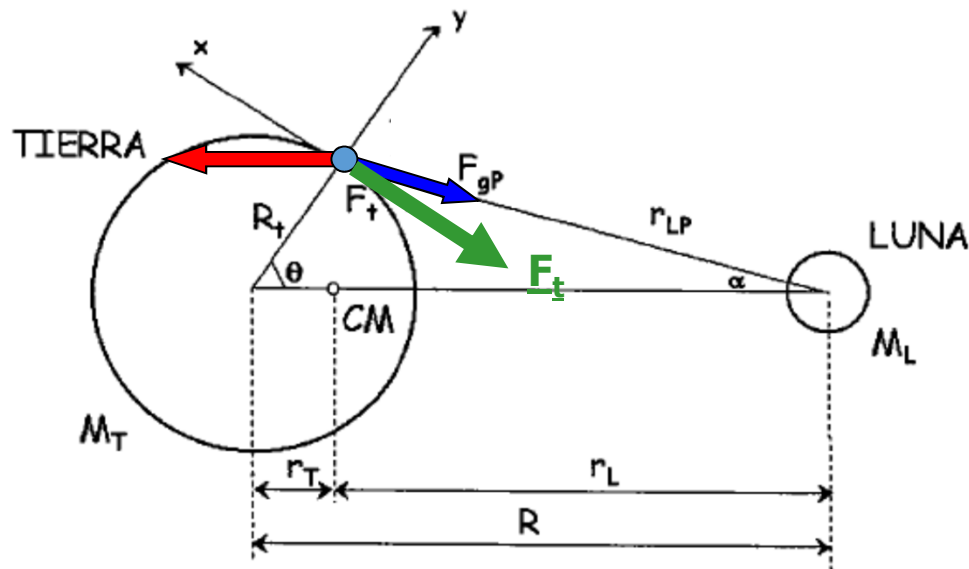




## CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MAREA

### Fuerzas generadoras de marea. Sistema Tierra-Luna

**Fuerza generadora de la marea:** resultante de la fuerza gravitatoria + fuerza centrífuga del sistema T-L



- ❑ Componente vertical:  
despreciable frente a  $g$
- ❑ Componente en  $x$  = Fuerza tractora (origina la marea)

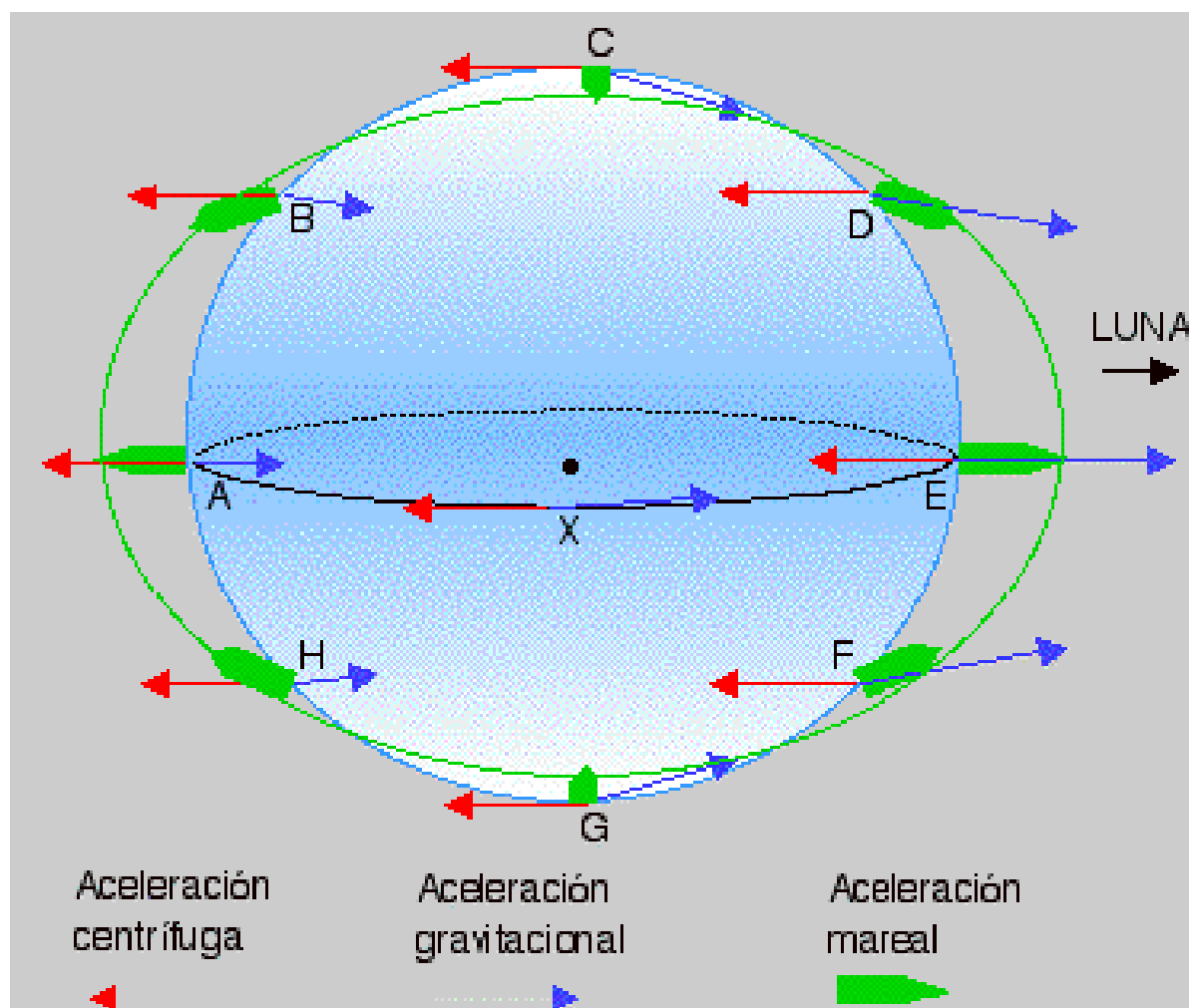
$$F_t = \frac{3}{2} G M_L \frac{R_t}{R^3} \sin 2\theta$$

$\theta$ : latitud

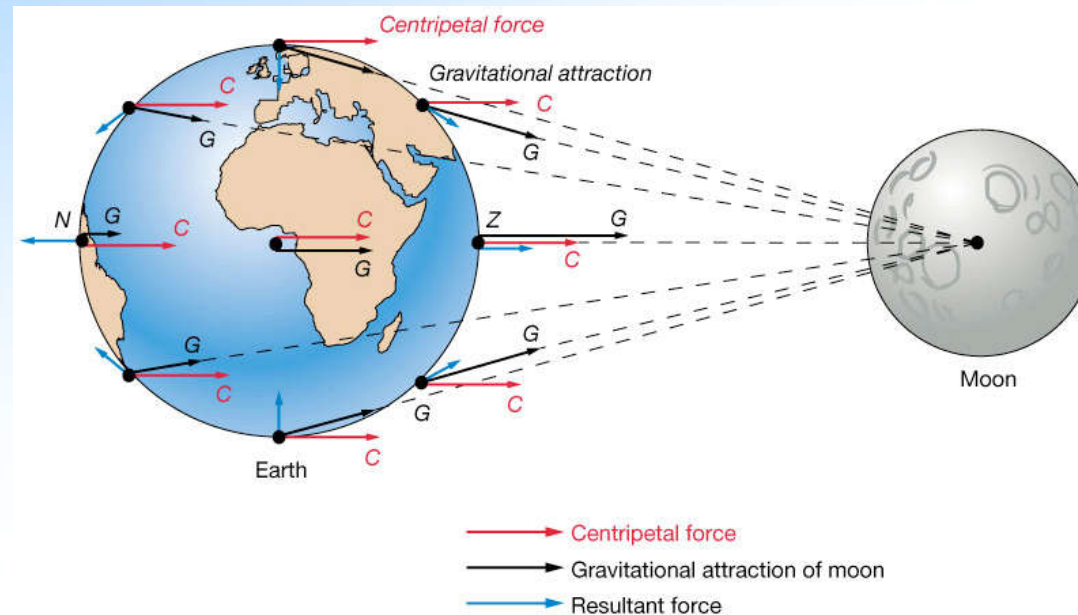


## CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MAREA

### Fuerzas generadoras de marea. Sistema Tierra-Luna



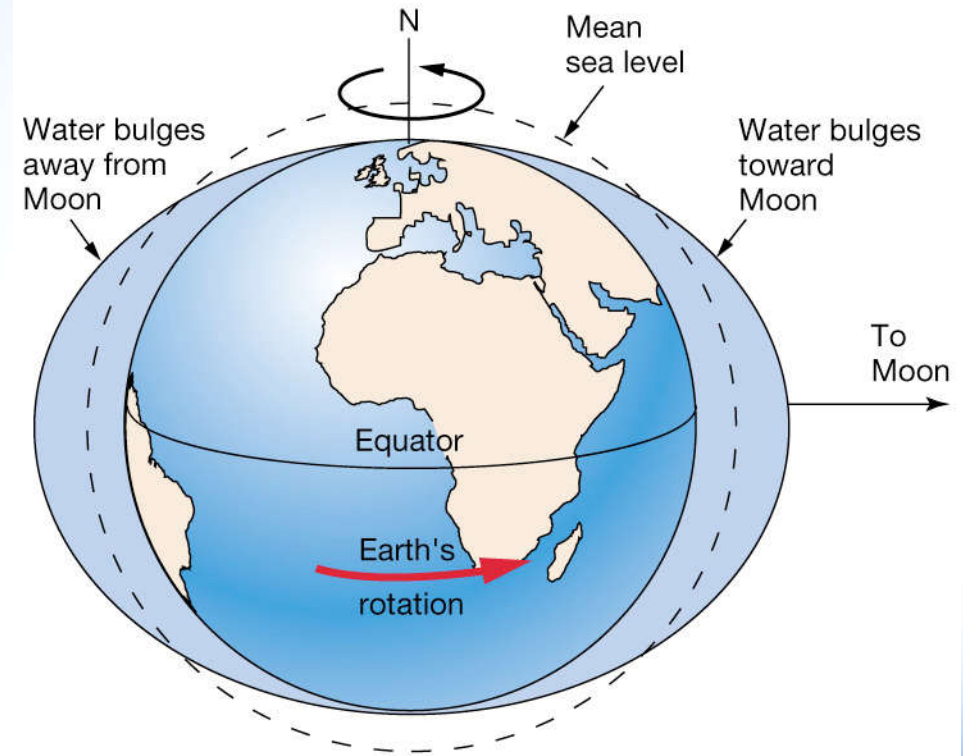
# Fuerzas resultantes



- Las fuerzas resultantes son:
- La diferencia entre las fuerzas gravitacionales (G) y centrípetas (C)
  - Dirigida lejos de la luna en el lado opuesto de la Tierra Luna
  - Dirigido a la Luna en el lado de la Tierra hacia la Luna



- Fuerzas generadoras de mareas producen 2 protuberancias:
  - En el lado opuesto de la Tierra Luna
  - En el lado de la Tierra hacia la Luna
- Tierra gira dentro y fuera de protuberancias de marea, creando mareas altas y bajas





## CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MAREA

### TEORÍA DEL EQUILIBRIO:

Newton (1686) : relación entre las **fuerzas generadoras** y la variación de la superficie libre.

#### **Hipótesis:**

- ❑ Los océanos cubren la superficie terrestre completamente, de tal forma que las partículas de agua se moverán hasta a alcanzar una superficie de equilibrio.
- ❑ La respuesta de la capa de agua es instantánea (se desprecia la inercia)



**Marea de equilibrio  
(elipsoide de equilibrio)**



## CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MAREA

### TEORÍA DEL EQUILIBRIO:

- ☐ La realidad no se ajusta a las hipótesis de la Teoría de Equilibrio.
- ☐ Efectos de contorno y las fuerzas inerciales tienen una gran importancia.
- ☐ Las amplitudes y las fases no se predicen correctamente (pero los periodos sí).
- ☐ Teoría que ayuda a comprender los efectos cualitativos de la marea
- ☐ Teoría que permite conocer los períodos de las componentes armónicas de la marea (que se utilizarán posteriormente en el análisis armónico).



## CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MAREA

### TEORÍA DEL EQUILIBRIO:

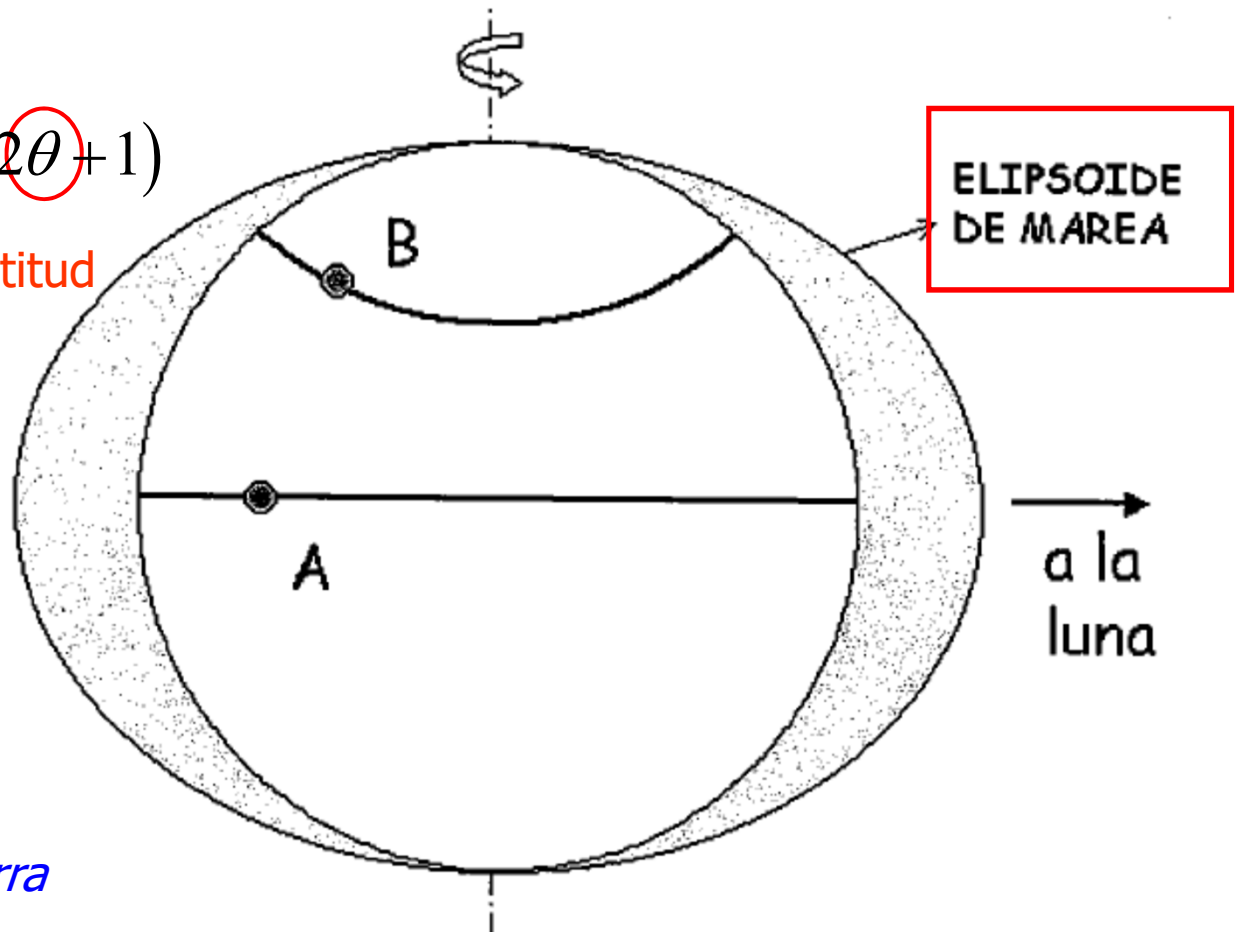
**TEORÍA DE EQUILIBRIO:** las fuerzas tractoras se compensan con gradientes de  $\eta$

$$\eta_t = \frac{1}{4} \frac{G}{g} M_L \frac{R_T^2}{R^3} (3 \cos 2\theta + 1)$$

Latitud

- Variación de  $\eta$  con la latitud
- La marea es mayor en el ecuador que en los polos

*Ojo: sin rotación de la tierra*





# CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MAREA

## Efecto de la rotación de la Tierra

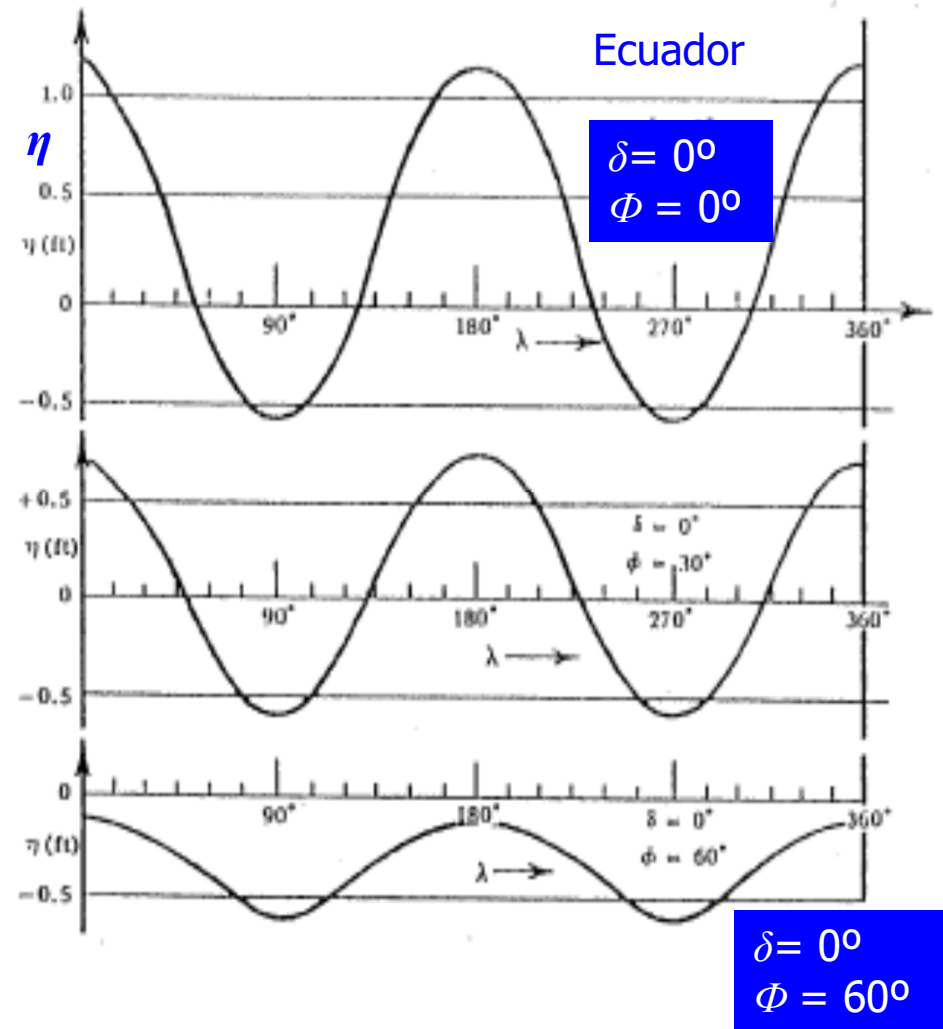
- Tierra gira alrededor de su eje con  $\Omega_T$  y  $T_T=24h$
- Luna orbita alrededor de la Tierra con  $\Omega_L$  y  $T_L=27.32$  días
- Supongamos que la luna se encuentra en el plano del ecuador (declinación  $\delta=0^\circ$ )

En este caso  $\eta$ :

$$\eta_t = \frac{1}{2} \frac{G}{g} M_L \frac{R_T^2}{R^3} (3 \cos^2 \theta \cos^2 \lambda + 1)$$

Longitud

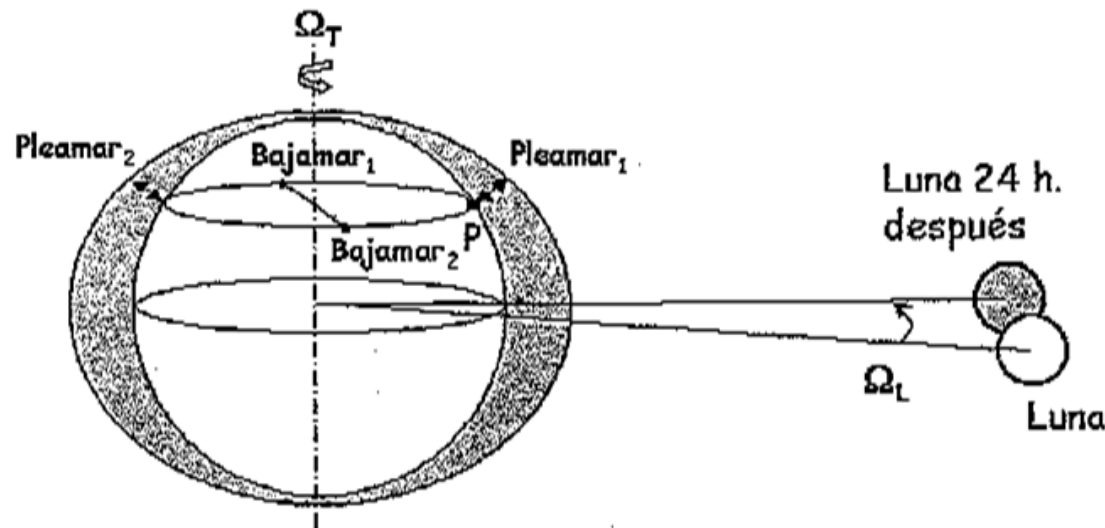
Variación de la marea con la longitud





## CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MAREA

### Efecto de la rotación de la Tierra



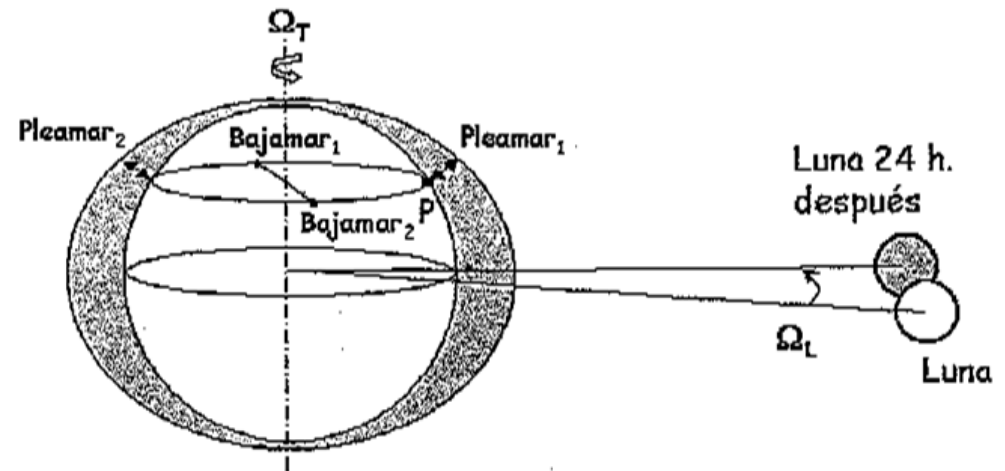
- En un ciclo de rotación nos encontramos con **dos bajamares y dos pleamares**.
- El **periodo de rotación de la Tierra** es 24 h.
- El sistema **Tierra-Luna** rota con un período de **27.3 días (655.2 horas)**.
- Cuando la Tierra rota la Luna se ha desplazado un poco.



# CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MAREA

## Efecto de la rotación de la Tierra

Tiempo que necesita un punto de la Tierra para que esté alineado con la Luna después de dar una vuelta sobre su eje:



$$\omega_T = 15.41^\circ / h$$

$$\omega_L = 0.549^\circ / h$$

$$2T = \frac{2\pi}{\omega_T - \omega_L} = 24.84h$$

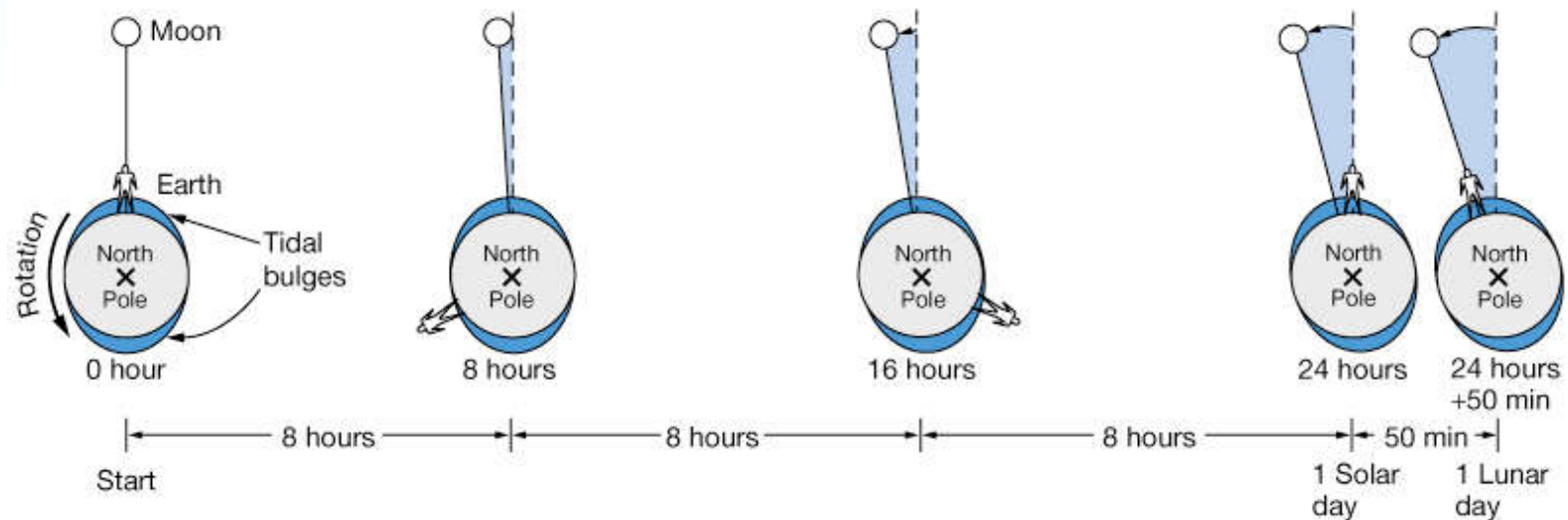


$$T = 12.42 h = 12 h 25'$$

**Periodo de la marea semidiurna**

# El día lunar

- Las protuberancias de marea siguen la Luna a medida que gira alrededor de la Tierra
- El día lunar es 50 minutos más largo que un día solar







## CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MAREA

### Efecto de la rotación de la Tierra

Declinación ( $\delta$ ): es el ángulo con respecto al segmento Tierra-Luna asumiendo que la Luna está en el plano del Ecuador.

- Hasta ahora hemos asumido que la Luna está en el plano del ecuador ( $\delta = 0^\circ$ ).
- La Luna presenta una **declinación** que **varía en el tiempo**. A medida que la Luna se desplaza en su órbita alrededor de la Tierra, va variando su declinación entre  $18.5^\circ$  y  $28.5^\circ$

18.61 años  
**Variación nodal**



## CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MAREA

### Efecto de la declinación de la Luna

$$\delta = 0^\circ$$

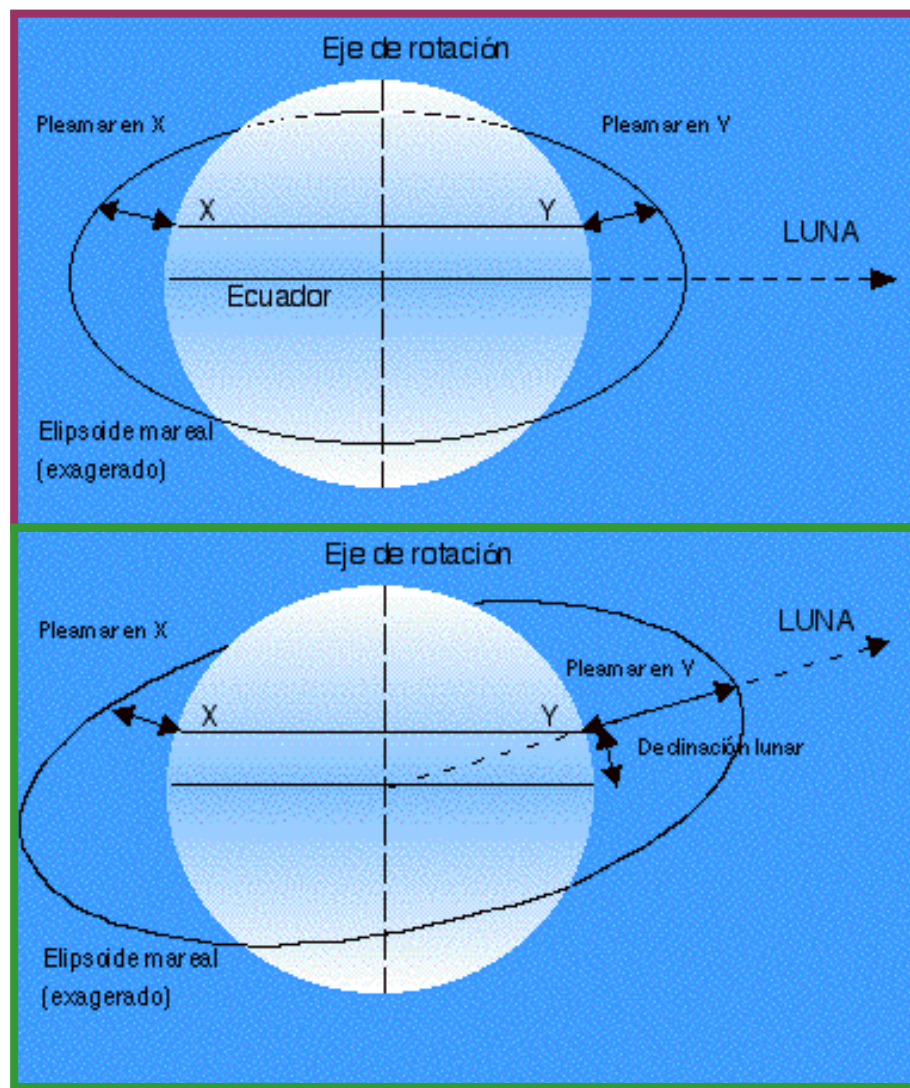


Mareas semidiurnas en  
todos los puntos

$$\delta = 28.5^\circ$$

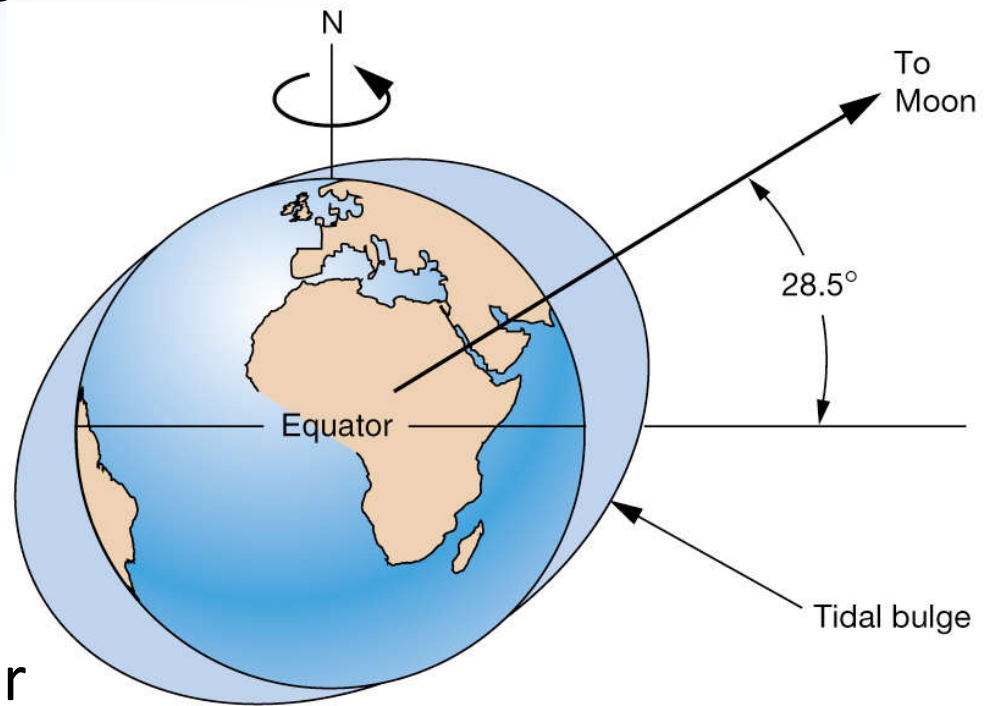


Mareas diurnas en  
latitudes altas



# Efecto de la declinación

- El plano de la órbita de la Luna está inclinado  $5^\circ$  con respecto a la eclíptica
- El centro de las protuberancias de marea puede ser de hasta un máximo de  $28.5^\circ$  desde el ecuador



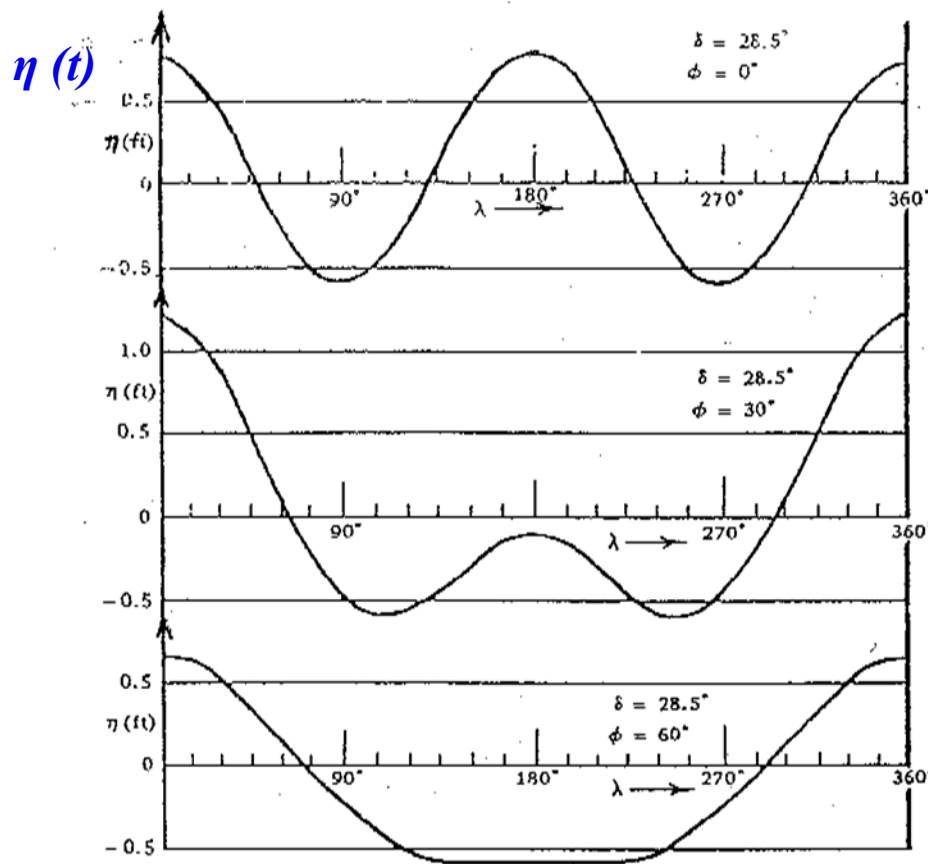


# CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MAREA

## Efecto de la declinación de la Luna

$$\eta_t = \frac{1}{2} \frac{G}{g} M_L \frac{R_T^2}{R^3} \left[ (3 \sin^2 \theta \sin^2 \lambda - 1) + \frac{3}{2} \sin 2\theta \sin 2\delta \cos \lambda + 3 \cos^2 \theta \cos^2 \delta \cos^2 \lambda \right]$$

Declinación



$\delta = 28.5^\circ$   
 $\phi = 0^\circ$

Ecuador: mareas semidiurnas



$\theta$  (latitud)

$\delta = 28.5^\circ$   
 $\phi = 60^\circ$

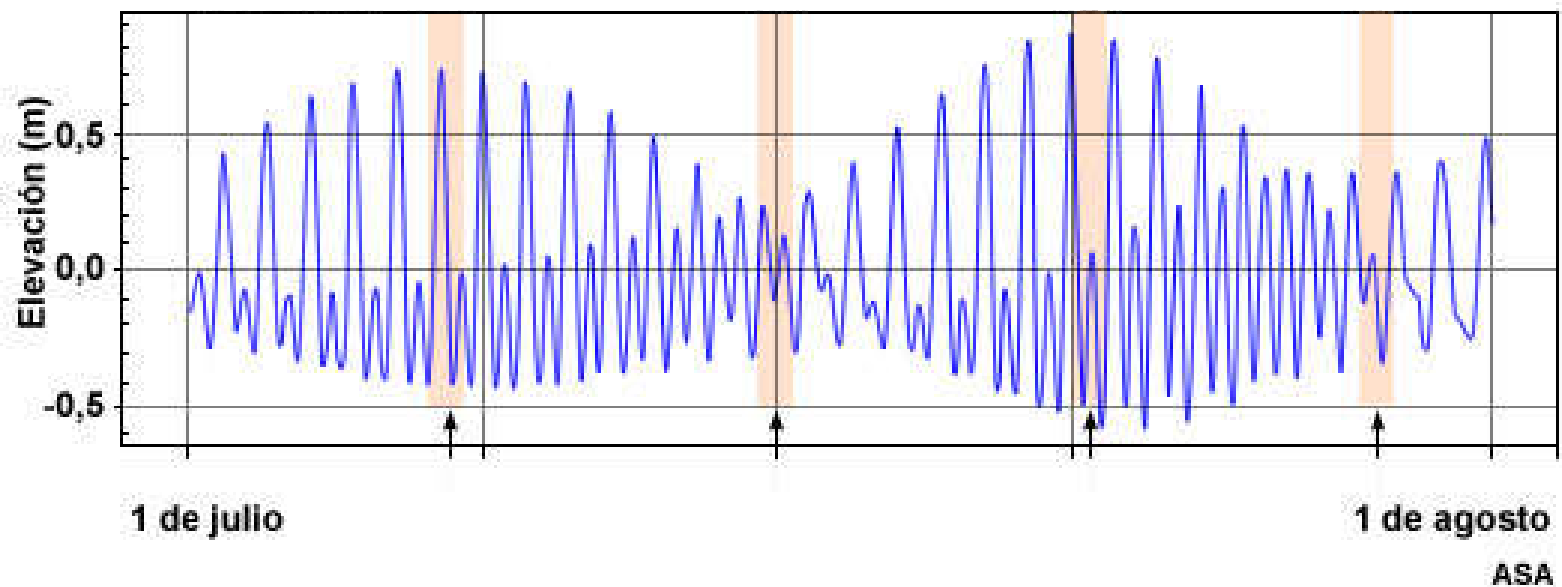
Mareas diurnas



## CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MAREA

Sistema Tierra-Sol-Luna

***MAREAS VIVAS Y MAREAS MUERTAS***



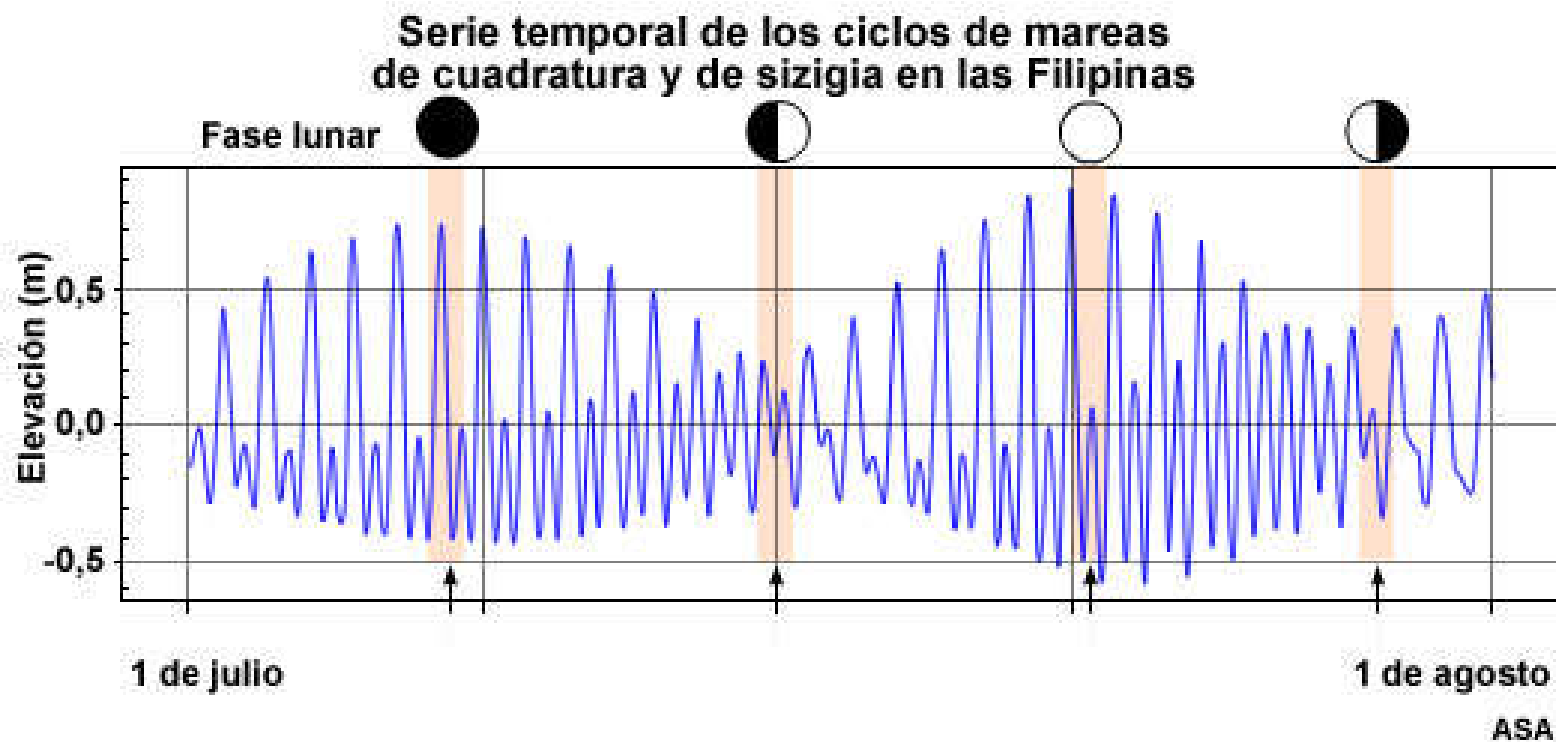
***¿Cuál es el periodo de las mareas vivas y muertas?***



## CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MAREA

Sistema Tierra-Sol-Luna

***MAREAS VIVAS Y MAREAS MUERTAS***



***¿Cuál es el periodo de las mareas vivas y muertas?***



# CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MAREA

## Sistema Tierra-Sol-Luna

### LUNA NUEVA

#### Mareas vivas

Sol-Luna: en fase

### CUARTO CRECIENTE

#### Mareas muertas

Sol-Luna: desfasados

### LUNA LLENA

#### Mareas vivas

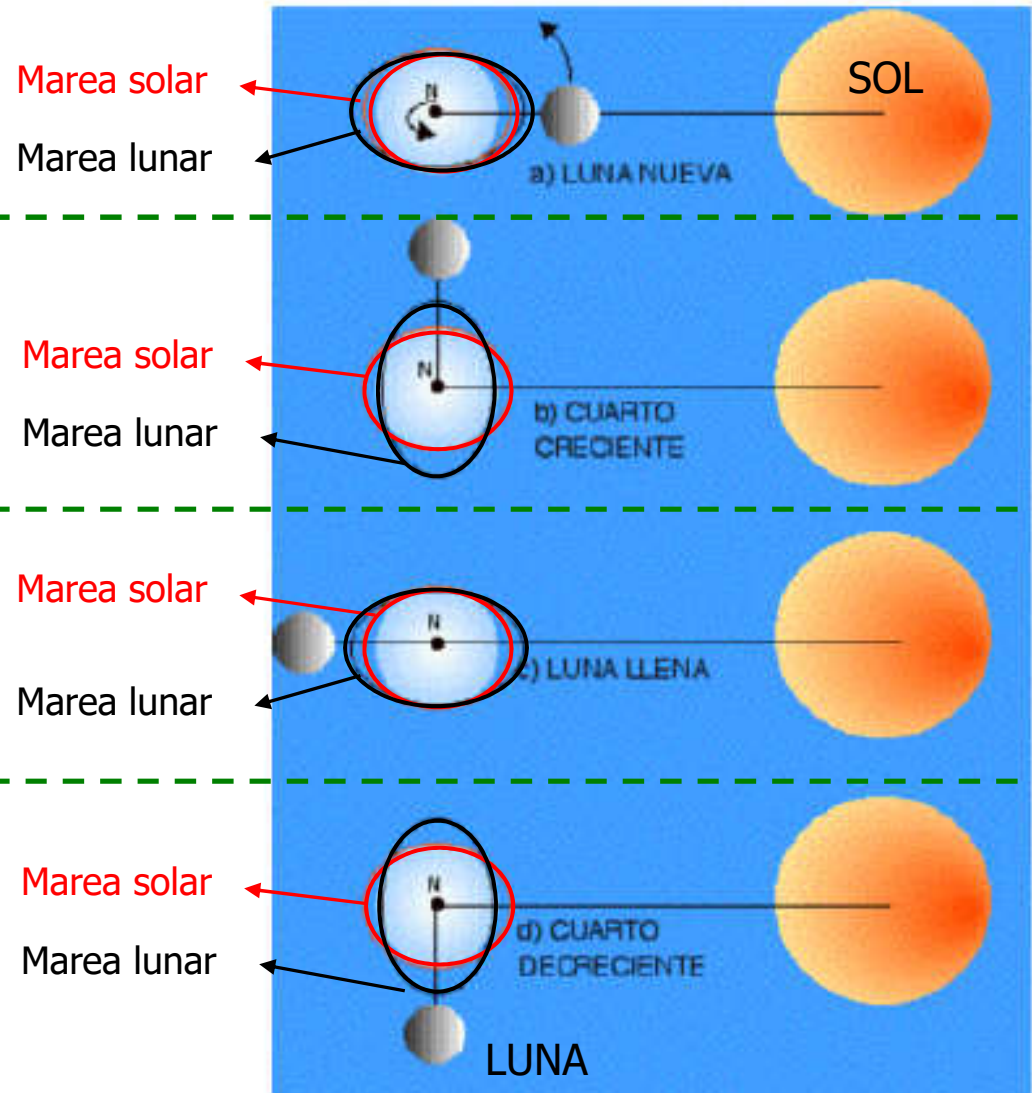
Sol-Luna: en fase

### CUARTO MENGUANTE

#### Mareas muertas

Sol-Luna: desfasados

## MAREAS VIVAS Y MUERTAS



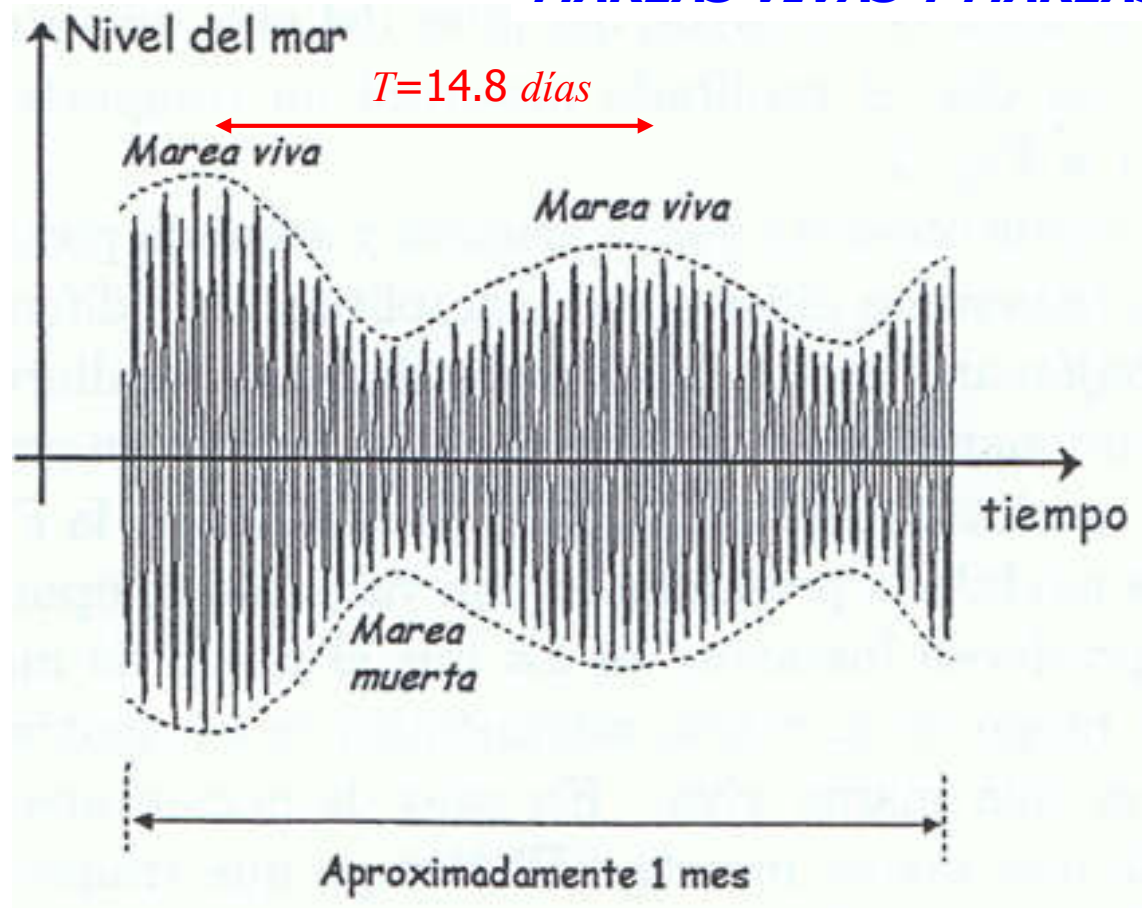




# CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MAREA

Sistema Tierra-Sol-Luna

## MAREAS VIVAS Y MAREAS MUERTAS



$$\Omega_s = 0.041^\circ / h$$

$$\Omega_L = 0.549^\circ / h$$

$$2T = \frac{2\pi}{\Omega_L - \Omega_s} = \frac{360^\circ}{0.508^\circ / h} = 708h \quad \Rightarrow$$

$$T = 354 \text{ h} = 14.8 \text{ días}$$

**Periodo de las mareas vivas y muertas**

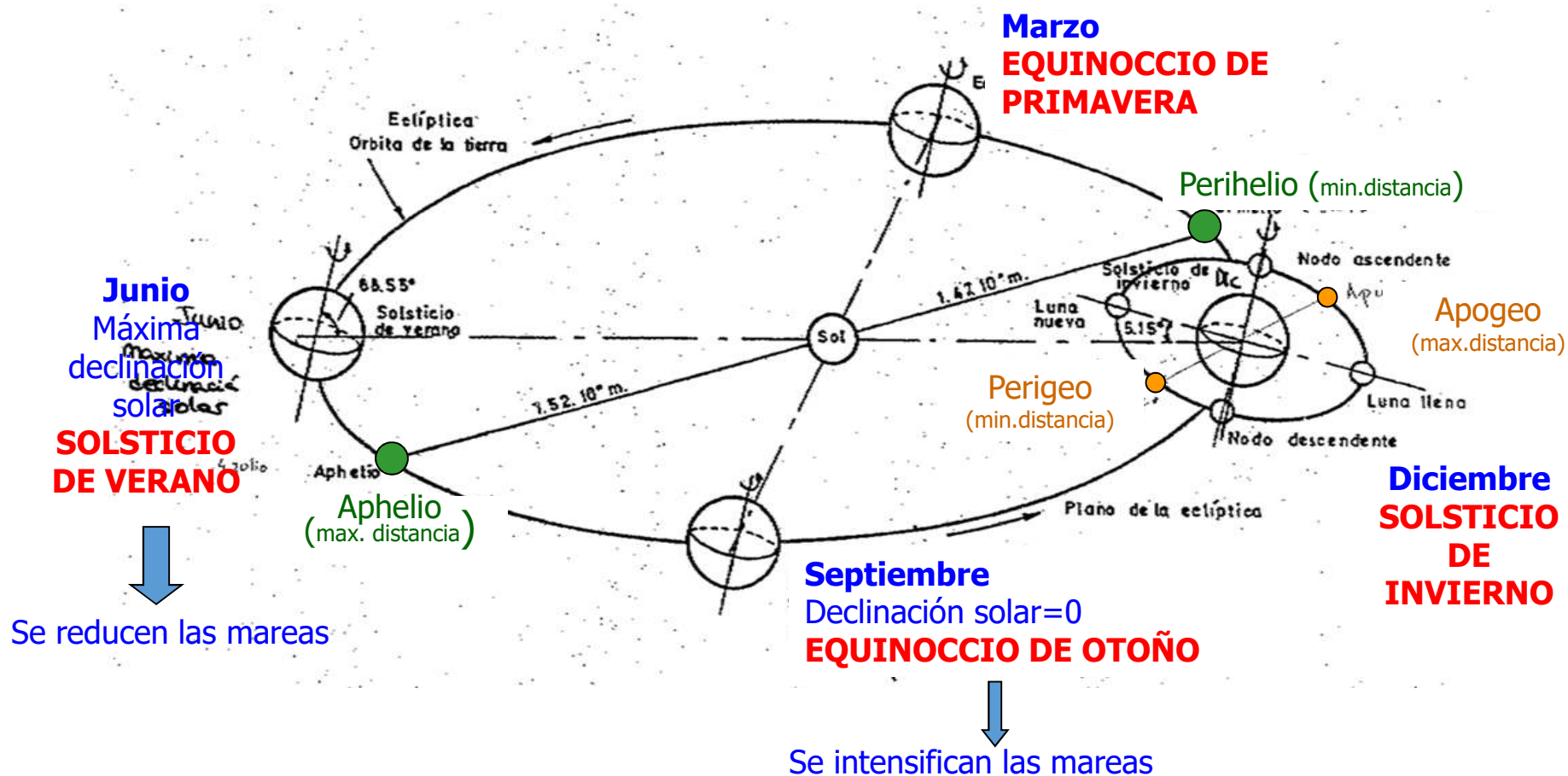




# CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MAREA

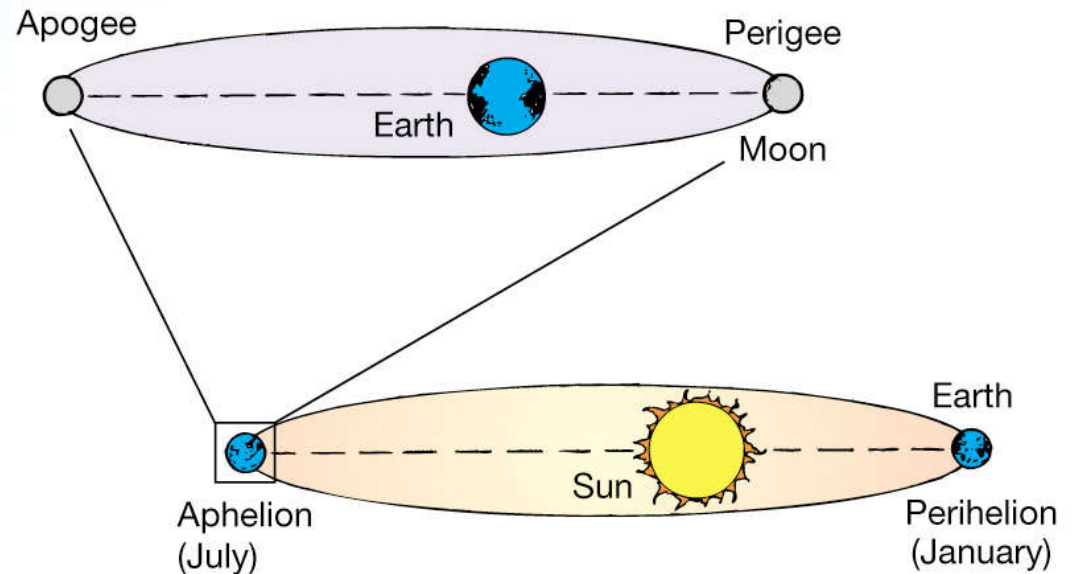
## Sistema Tierra-Sol-Luna

En cada punto de la superficie terrestre, la marea se debe a los **efectos combinados** de **mareas lunares** y **solares**.

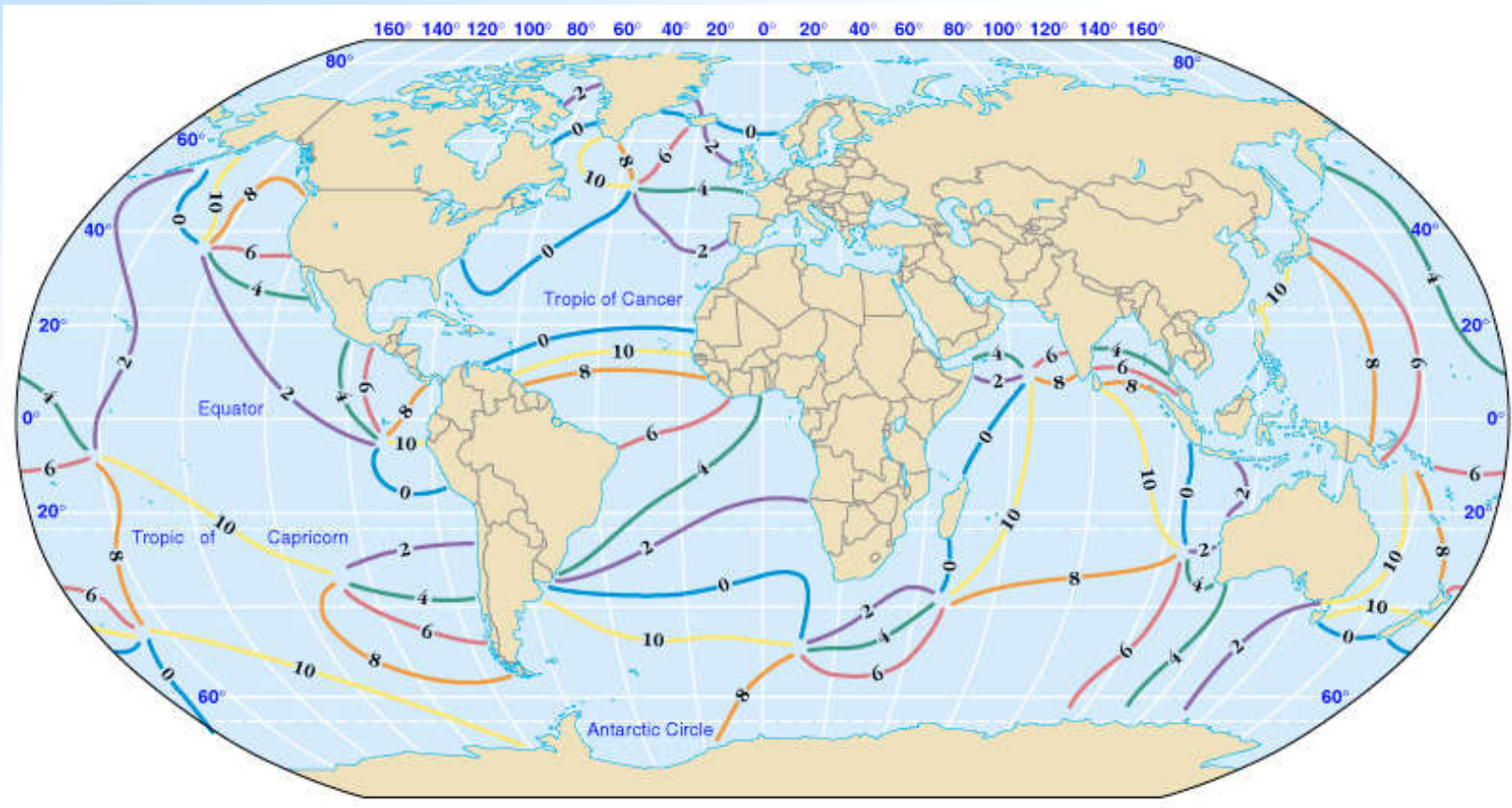


# Efecto de las órbitas elípticas

- Amplitud de las mareas son mayores cuando:
  - La Luna está en perigeo
  - La Tierra está en su perihelio



# Las mareas en el océano



- Las líneas de mareas giran alrededor de los puntos anfodrómicos

# Patrones de marea

- Diurna
  - Una alta y una bajamar cada uno (lunar) día
- Semidiurna
  - Dos mareas altas y dos mareas bajas de aproximadamente la misma altura todos los días
- Mixta
  - Características de tanto diurnos y semidiurnas con las mareas altas y / o bajas sucesivas tienen significativamente diferentes alturas







San Andrés de Tumaco, Nariño. Archivo GEZ (2008)

## Bahía de Fundy

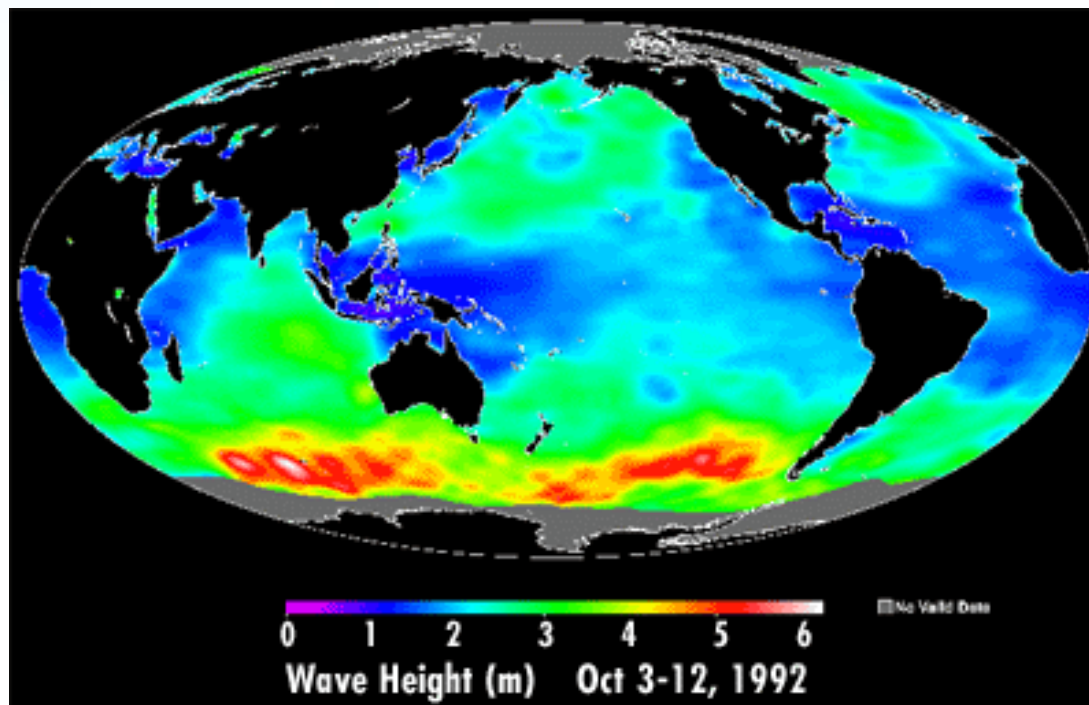
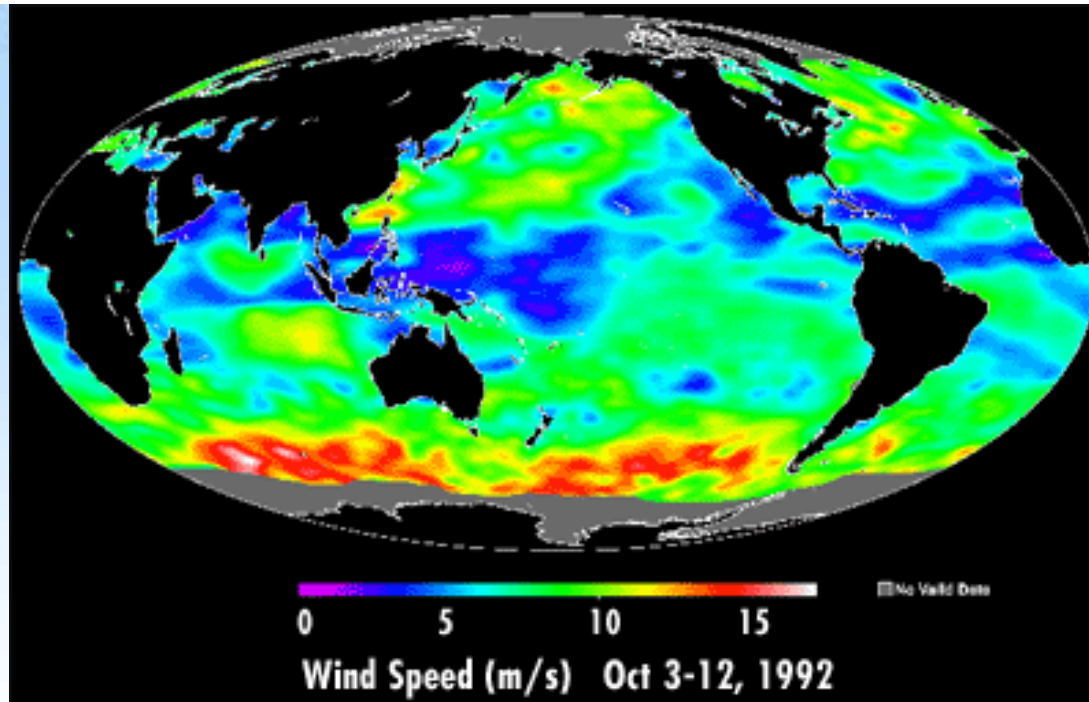
Mayor rango de marea, 14 m (marea alta – marea baja)

Marea semidiurna











## TIDE TIMES AND TIDE CHARTS WORLDWIDE



Accurate tide times for sailors, fishermen and watersports enthusiasts. Animated tide charts for thousands of ports, harbors and popular coastal locations around the World.

Find your high tide time for the coming week using our interactive maps. Low and high tide times as well as the predicted tide height are essential for recreational and commercial activities on the water, as well as for flood risk management. Seabed profiles, coastline shape and constantly changing atmospheric conditions can influence the tide chart for each location.

## FIND 2017 TIDE TIMES FOR YOUR LOCATION

We have determined your approximate geographical location by the IP address, which suggests these 20 closest tide stations:

- |                      |                             |
|----------------------|-----------------------------|
| 1. Buenaventura      | 11. San Bernardo del Viento |
| 2. Pizarro           | 12. Tolu                    |
| 3. Guapi             | 13. Bahia Pinas             |
| 4. Turbo             | 14. Tumaco                  |
| 5. El Charco         | 15. Bahia de Caledonia      |
| 6. Necodí            | 16. San Lorenzo             |
| 7. San Juan de Uraba | 17. Cartagena               |
| 8. Arboletes         | 18. Valdez                  |
| 9. Covenas           | 19. Puebloviejo             |
| 10. San Antero       | 20. Cienaga                 |

[See all other tide tables](#)

Choose your location of interest using the above pulldown menus or enter the name of a port or harbor in the search box to find your tide times.

Our growing list of tide charts showing accurate predicted tide times now contains **10749 locations in 196 countries**.

Browse tide times by country using the lists below. For example [Tide times UK](#) displays a list of all the UK ports and harbors where we have tide charts. You can also enter a place name in the search box above e.g. [Brisbane Tide times](#) or [Fundy Tide Times](#).