

Clase 5: Rotación planetaria

Por qué algunos mundos muestran siempre la misma cara

Todas las cifras de las clases salen de simulaciones reales del motor MHD-INT v5.2.2. Las simulaciones parten de los valores ACTUALES de cada planeta y avanzan hacia el futuro. Escenario: 4.5 mil millones de años paso de 10 000 años motor MHD-INT v5.2.2.

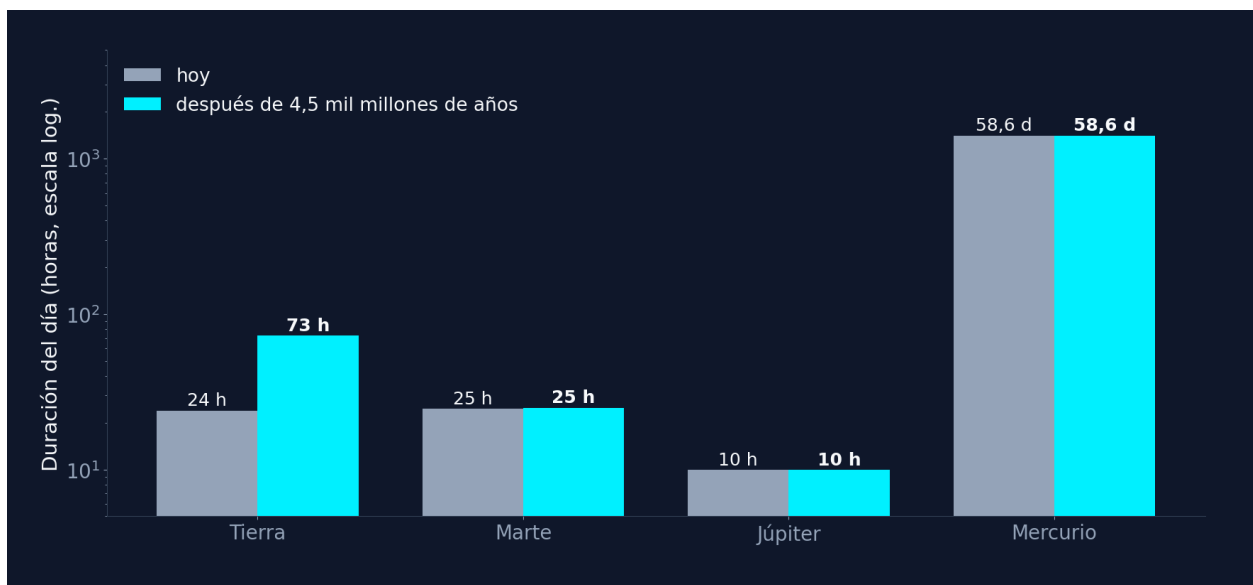
Objetivos

- Explicar cómo las mareas frenan la rotación de un planeta
- Medir en una simulación cuánto tarda el bloqueo de marea
- Reconocer cuándo un resultado viene de un experimento hipotético

1. Rotación planetaria

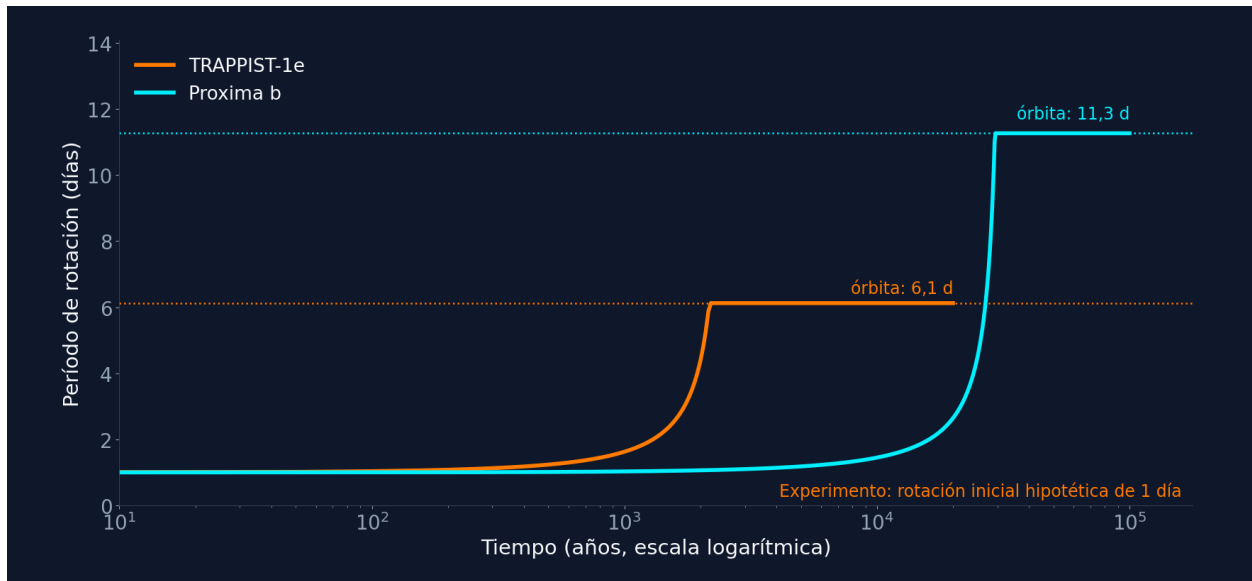
Desde la Tierra siempre vemos la misma cara de la Luna. No es casualidad: es el resultado de las mareas. En esta clase vamos a ver cómo las mareas frenan la rotación de los planetas, cuánto tardan en hacerlo y qué mundos ya terminaron ese proceso.

2. Empecemos por casa



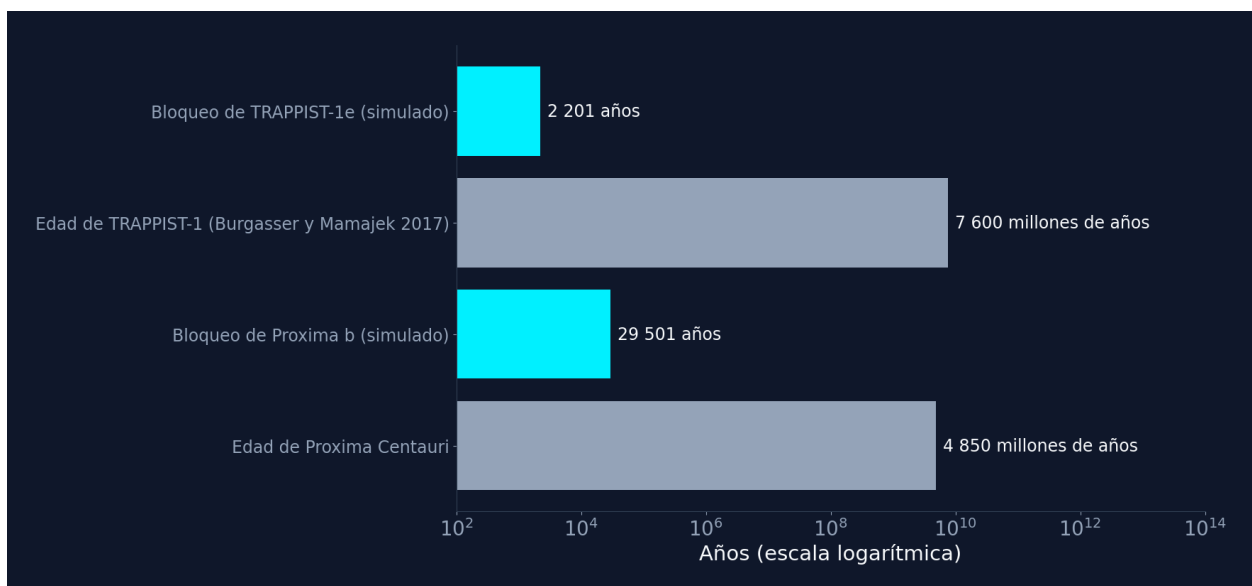
La Tierra gira hoy en veinticuatro horas. En una simulación de 4,5 mil millones de años, la marea que levanta la Luna la frena hasta un día de unas 73 horas. Marte y Júpiter casi no cambian: Marte no tiene una luna grande que lo frene, y Júpiter está lejos del Sol y es enorme. Mercurio es un caso especial: gira tres veces por cada dos vueltas alrededor del Sol, una resonancia tres a dos. El motor todavía no simula ese tipo de resonancia, así que apaga a propósito sus mareas para no romperla.

3. Un experimento: frenar un planeta



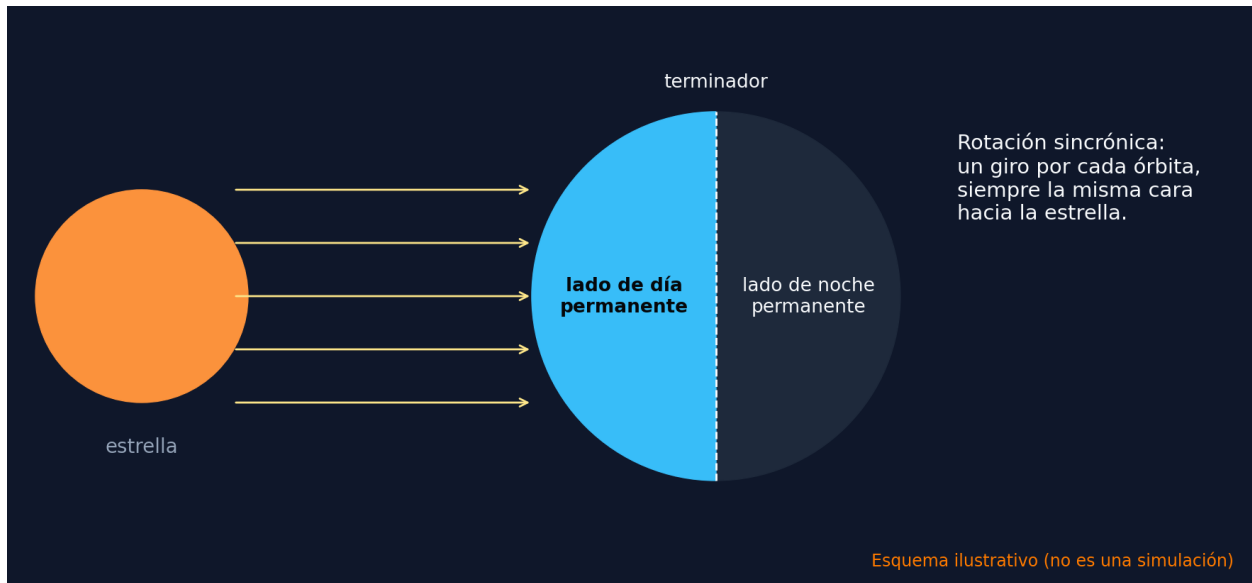
Ahora un experimento. TRAPPIST-1e es un planeta del tamaño de la Tierra que orbita muy cerca de una estrella enana roja. Le damos una rotación hipotética de un día y dejamos que actúen las mareas. En la simulación, su rotación se frena hasta igualar su órbita de 6,1 días en apenas unos 2 mil años. Proxima b, un poco más lejos de su estrella, tarda unos 30 mil años en quedar sincronizado con su órbita de 11,3 días.

4. Casi instantáneo



¿Es razonable? La fórmula clásica de Gladman y colaboradores, de 1996, da para TRAPPIST-1e un tiempo del mismo orden: miles de años. Y ahora pongámoslo en perspectiva. El sistema TRAPPIST-1 tiene unos siete mil seiscientos millones de años. Comparado con eso, unos miles de años son un parpadeo. Por eso se espera que estos planetas muestren siempre la misma cara a su estrella, igual que la Luna con la Tierra.

5. Un día eterno



¿Qué significa vivir en un planeta así? Un hemisferio tiene día permanente y el otro noche permanente. Entre los dos queda el terminador, una franja de atardecer eterno. Si el planeta tiene una atmósfera densa, los vientos pueden llevar calor del lado de día al lado de noche y suavizar el contraste. Y aquí hay una advertencia: algunos estudios proponen que una atmósfera densa podría incluso evitar el bloqueo. El modelo de MHD-INT no incluye ese efecto por defecto.

6. Para practicar

Para practicar: simula TRAPPIST-1e y Proxima b durante mil millones de años y compara su período de rotación con su período orbital. Después calcula cuántas veces cabe el tiempo de bloqueo en la edad de su estrella. Nos vemos en la próxima clase.

Datos de la simulación

Planeta	MHI	Escudo	Campo activo	Campo hoy (G)	Magnetopausa (radios)
Tierra	91	100 %	87 %	0.31	9.7
Marte	21	0 %	0 %	0.0001	0.8
Jupiter	93	100 %	100 %	4.2	40.2
Mercurio	14	0 %	0 %	0.00195	0.5
trappist 1d	60	0 %	100 %	1.3	1.6
proxima 1d	51	0 %	100 %	1.5	2.3

Ejercicio

1. Simula TRAPPIST-1e y Proxima b durante 1 Gyr y compara el período de rotación final con el orbital.
2. Calcula cuántas veces cabe el tiempo de bloqueo simulado en la edad de TRAPPIST-1 (unos 7 600 millones de años).
3. Explica por qué siempre vemos la misma cara de la Luna.

Limitaciones del modelo

- La rotación inicial de 1 día de TRAPPIST-1e y Proxima b es hipotética: se usa para ver el proceso de frenado, no es un dato medido.
- El modelo usa mareas con eficiencia constante (Q constante). Los tiempos son estimaciones de orden de magnitud.
- Una atmósfera densa podría impedir el bloqueo por mareas térmicas (Leconte et al. 2015); el motor no lo incluye por defecto.
- Mercurio tiene las mareas apagadas en el motor para conservar su resonancia 3:2, que todavía no se simula.
- Venus: el modelo lo lleva a una rotación sincrónica y en sentido directo, incluso con la marea atmosférica activada. No reproduce su rotación lenta y retrógrada actual.

Referencias

- Gladman et al. (1996), Synchronous locking of tidally evolving satellites, Icarus 122.
- Burgasser & Mamajek (2017), On the age of the TRAPPIST-1 system, ApJ 845.
- Leconte et al. (2015), Asynchronous rotation of Earth-mass planets in the habitable zone of lower-mass stars, Science 347.