

¿Por qué suele haber dos pleamares al día?

Juan Segurola · Todos los derechos reservados

QUE · Artículo 011 · Preguntas sencillas, respuestas profundas · Versión 0.1 ES

En muchas costas, la marea alta regresa aproximadamente dos veces al día. En otras predomina una pleamar diaria, o dos pleamares sucesivas difieren considerablemente. Cualquier explicación que empiece prometiendo dos mareas iguales en todas partes ya ha perdido contacto con la observación que necesita explicar.

La pregunta útil tiene dos partes. ¿Por qué la gravedad lunar contiene una influencia intensa de dos ciclos diarios mientras gira la Tierra? ¿Y por qué una costa concreta responde con sus propios tiempos y amplitudes? La primera se refiere a diferencias de aceleración gravitatoria. La segunda, a un océano en movimiento limitado por continentes y un fondo marino.

1. La fuerza pertinente es una diferencia

La Luna atrae a la Tierra en su conjunto, incluidos su interior sólido y sus océanos. Si esa atracción fuera exactamente igual en todas partes, todo el sistema aceleraría conjuntamente sin que el campo lunar tendiera a deformarlo. El forzamiento de marea surge porque el campo gravitatorio de la Luna cambia a lo largo de la extensión terrestre [1].

El lado próximo está más cerca de la Luna y acelera hacia ella con mayor intensidad que el centro terrestre. El lado lejano está más lejos y acelera hacia ella con menor intensidad. Respecto al centro que acelera, el efecto del lado próximo apunta hacia la Luna y el del lado lejano apunta en sentido contrario. Esto último no significa que la gravedad se vuelva repulsiva. Es la diferencia entre dos aceleraciones atractivas.

Para una masa lunar M , una distancia entre centros d y un desplazamiento pequeño x sobre la línea Tierra-Luna, un desarrollo de primer orden da una aceleración relativa de aproximadamente $2GMx/d^3$. El signo sigue a x : los lados opuestos se estiran alejándose del centro a lo largo de esa línea. El desarrollo supone que $|x|$ es mucho menor que d ; no es una fórmula exacta para cualquier separación.

Esto también explica una relación de escala útil. La influencia principal de marea varía aproximadamente como el inverso del cubo de la distancia, mientras que la aceleración gravitatoria ordinaria de una masa puntual varía como el inverso del cuadrado. Por tanto, comparar los efectos de marea de dos cuerpos requiere tanto sus masas como sus distancias, utilizando la potencia adecuada. La atracción gravitatoria total más intensa no tiene por qué proporcionar el mayor gradiente generador de mareas.

2. Por qué el patrón sencillo tiene dos lados

Tras retirar la aceleración uniforme del centro terrestre, el término principal del potencial generador de mareas tiene una dependencia angular proporcional a $3 \cos^2\theta - 1$, donde θ es el ángulo respecto a la línea Tierra-Luna. Sus valores iguales en $\theta = 0$ y $\theta = \pi$ expresan su carácter de dos lados. Es una afirmación matemática sobre el patrón gravitatorio principal, anterior a la pregunta de cómo responde el agua del mar.

Imaginemos un océano ideal en equilibrio y un lugar en el ecuador, con la Luna también en el plano ecuatorial terrestre. La rotación lleva ese lugar por las dos direcciones alineadas durante un día lunar. De ahí resulta una variación de dos ciclos por día lunar. La simetría geométrica, no dos tipos distintos de fuerza gravitatoria, es la razón de que la imagen sencilla tenga dos máximos.

Esa construcción suprime deliberadamente complicaciones importantes. En otras latitudes y declinaciones lunares, el recorrido por el patrón difiere. El agua real no puede adoptar instantáneamente una forma de equilibrio. Los continentes interrumpen el movimiento y el océano en rotación tiene su propia dinámica. El dibujo de dos abultamientos introduce el forzamiento, pero no es un mapa móvil de la pleamar real en cada costa.

3. Un día lunar no es exactamente un día solar

La Tierra gira mientras la Luna recorre su órbita en el mismo sentido general. Por ello, un lugar necesita algo más de un día solar para volver a la misma orientación respecto a la Luna. La NOAA da una duración aproximada del día lunar de 24 horas y 50 minutos [2].

La mitad de ese intervalo son 12 horas y 25 minutos. Es la escala temporal aproximada útil del patrón lunar semidiurno principal. No promete que cada par de pleamares medidas en un puerto esté separado exactamente por ese intervalo. El movimiento de la Luna no es uniforme en todas las coordenadas pertinentes, y varias contribuciones de marea se combinan en la observación.

El Sol también aporta forzamiento de marea. Las contribuciones con distintos períodos y fases pueden reforzarse o compensarse parcialmente. Por tanto, la altura de la pleamar y el intervalo entre máximos observados sucesivos son propiedades de la señal combinada, no solo de una senoide aislada.

Un ejemplo matemático sencillo concreta la distinción. Sumemos dos señales cosenoidales de frecuencias diferentes. La derivada de la suma se anula donde se cancelan sus pendientes, lo que en general no coincide con el máximo de ninguna componente por separado. Una pleamar observada es un máximo de la señal total del nivel del agua. Interpretar el período de una componente como un horario exacto confunde los ingredientes del modelo con su resultado.

4. La costa selecciona una respuesta

El movimiento del agua depende de la profundidad, la forma de la cuenca, las conexiones con aguas vecinas y la rotación terrestre. La NOAA distingue patrones semidiurnos, semidiurnos mixtos y diurnos, y destaca el papel de las cuencas oceánicas y los continentes [3]. Son diferencias observadas que una teoría útil debe permitir.

Una costa semidiurna tiene dos pleamares y dos bajamares aproximadamente parecidas en el ciclo de marea. Un patrón mixto tiene pleamares o bajamares sucesivas claramente desiguales. Un patrón diurno tiene una pleamar y una bajamar dominantes. Estas descripciones se refieren al registro resultante del nivel del agua, no a un cambio de la ley fundamental de la gravedad entre costas.

Los tiempos también requieren una respuesta dinámica. La pleamar local no tiene por qué ocurrir cuando la Luna está justo encima. El agua debe moverse por una cuenca conectada; la relación entre forzamiento y respuesta depende de ese sistema. Un diagrama que coloca un abultamiento directamente bajo la Luna en todas partes omite precisamente la información necesaria para una predicción local fiable.

Para navegar o visitar una costa concreta, una explicación general no sustituye las predicciones y observaciones locales. Aquí, la cuestión científica es más limitada: un forzamiento con una componente intensa de dos ciclos diarios puede generar registros locales muy diferentes porque el océano es un sistema dinámico, no una película sin rozamiento que reajusta continuamente su forma.

5. Cómo se pone a prueba la explicación

Un mareógrafo proporciona una serie temporal del nivel local del agua. Las observaciones repetidas permiten distinguir componentes periódicas persistentes de cambios relacionados con el tiempo atmosférico y de otras contribuciones. El forzamiento astronómico fija frecuencias candidatas; el registro local restringe con qué intensidad y fase responde el lugar.

Esa comparación pone a prueba algo más que la afirmación de que la Luna importa. Pregunta si los tiempos predichos y la combinación de contribuciones explican los máximos, mínimos y cambios medidos a lo largo de días sucesivos. Una explicación que solo funciona para una fotografía de una playa no se ha enfrentado a esa prueba.

El origen básico de los gradientes de marea está bien establecido. La simplificación consiste en sustituir una cuenca real por una imagen de equilibrio, no en tratar el lado lejano como una excepción inexplicada. La modelización local sigue siendo sensible a la geometría, la profundidad del agua y las condiciones; la incertidumbre de una predicción concreta no deshace el mecanismo gravitatorio.

Suele haber dos pleamares porque el patrón lunar principal de marea tiene dos lados y la Tierra gira atravesándolo. «Suele» sigue siendo esencial porque las pleamares reales pertenecen a un océano con límites, movimiento y varios forzamientos simultáneos. La ralentización y sincronización de la rotación implican pérdida de energía y momento de fuerza, un problema distinto tratado en «¿Por qué la Luna nos muestra casi siempre la misma cara?».

Referencias

- [1] OpenStax. University Physics, Volume 1, §13.6, Tidal Forces.
<https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/13-6-tidal-forces> (consulta: 6 de octubre de 2026).
- [2] NOAA National Ocean Service. Tides and Water Levels: The Lunar Day.
https://oceanservice.noaa.gov/education/tutorial_tides/tides05_lunarday.html (consulta: 5 de octubre de 2026).
- [3] NOAA National Ocean Service. Types and Causes of Tidal Cycles.
https://oceanservice.noaa.gov/education/tutorial_tides/tides07_cycles.html (consulta: 5 de octubre de 2026).