

Clase 4: Órbitas elípticas

La forma de una órbita y cómo las mareas la redondean

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.

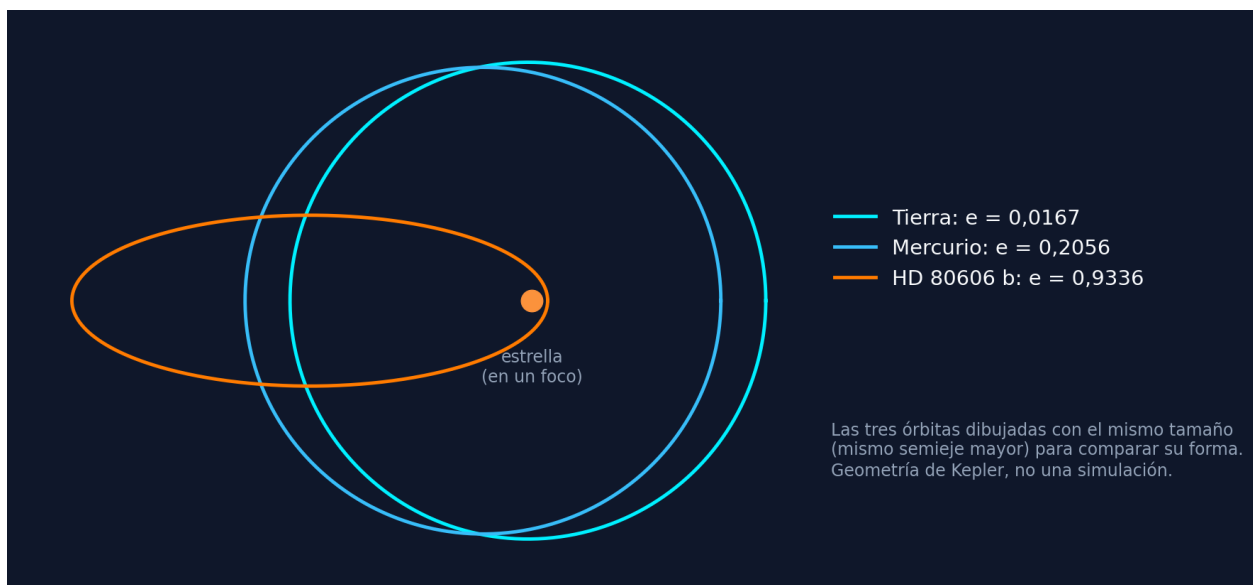
Objetivos

- Entender qué mide la excentricidad
- Calcular el periastro y el apoastro de una órbita
- Ver en una simulación cómo las mareas circularizan una órbita y la calientan

1. Órbitas elípticas

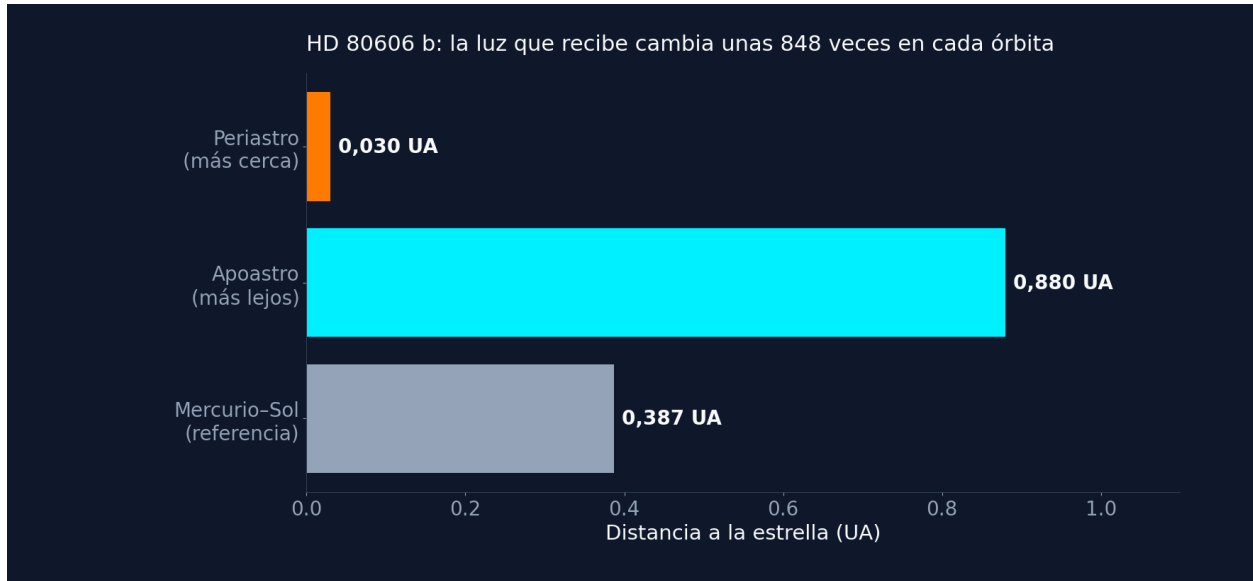
Las órbitas de los planetas no son círculos perfectos. En esta clase vamos a ver qué forma tienen, qué tan alargadas pueden llegar a ser y cómo las mareas, con el tiempo, las van redondeando.

2. Ni círculos ni huevos: elipses



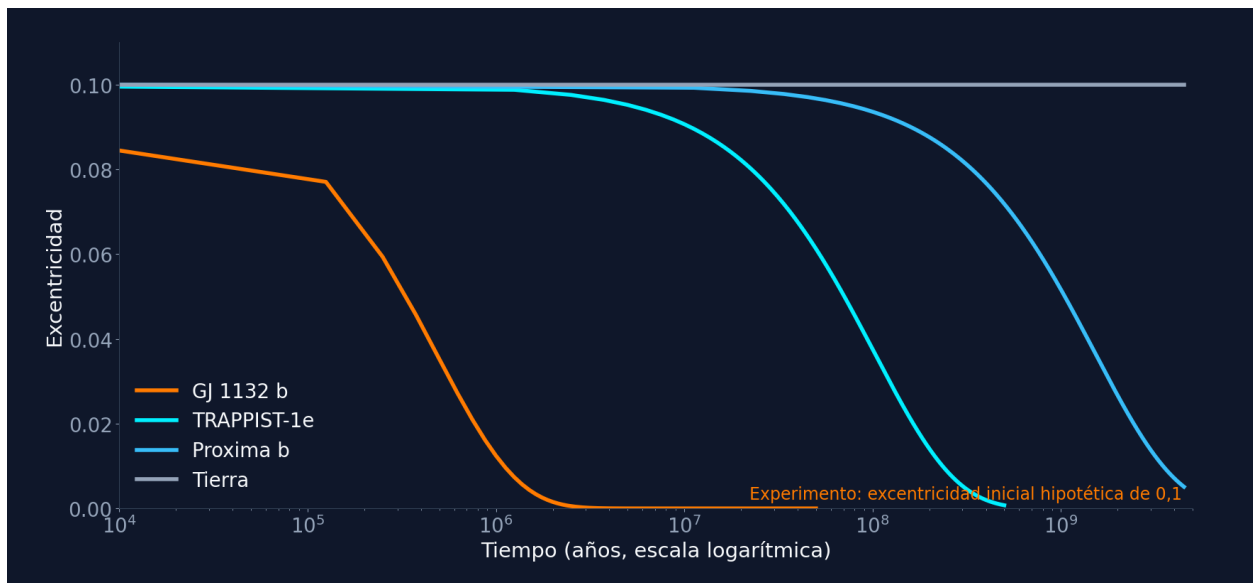
Kepler descubrió que los planetas se mueven en elipses, con la estrella en uno de los focos. La excentricidad mide cuánto se aleja la elipse de un círculo: cero es un círculo perfecto y valores cercanos a uno son elipses muy alargadas. La órbita de la Tierra tiene una excentricidad de 0,0167, casi un círculo. La de Mercurio, 0,206, ya se nota ovalada. Y HD 80606 b, un gigante gaseoso, tiene 0,93: una órbita casi de cometa.

3. Del horno al congelador



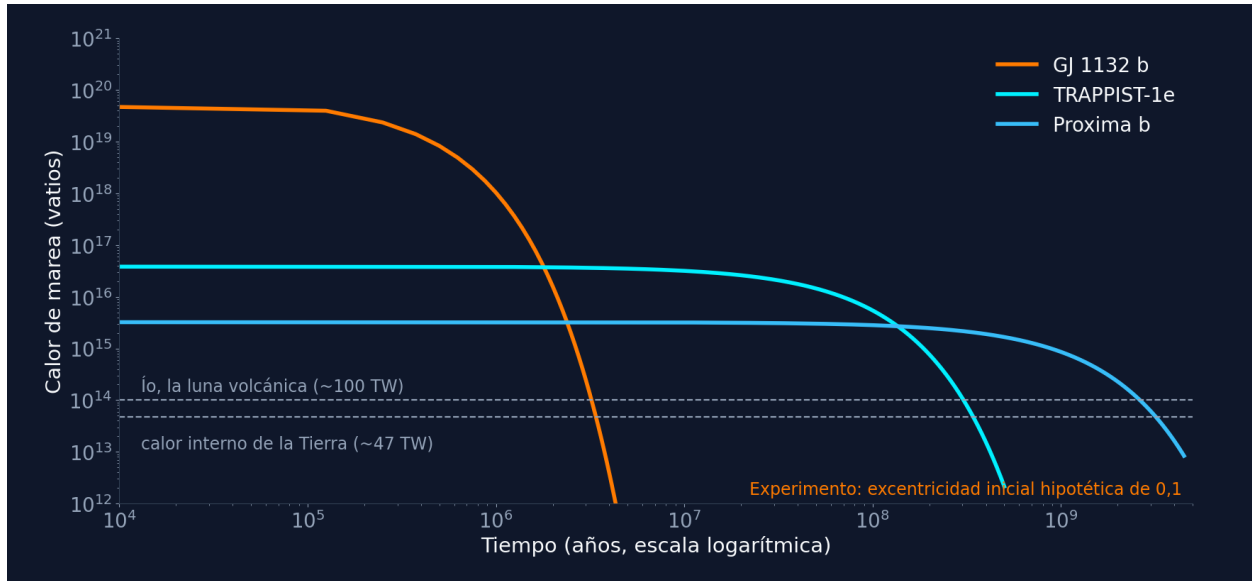
Veamos qué significa eso para HD 80606 b. En su punto más cercano, el periastro, pasa a 0,03 unidades astronómicas de su estrella, mucho más cerca que Mercurio del Sol. En el punto más lejano, el apoastro, se aleja hasta 0,88. Como la luz disminuye con el cuadrado de la distancia, en el periastro recibe unas 848 veces más luz que en el apoastro. Pasa de horno a congelador en cada vuelta.

4. Las mareas redondean las órbitas



¿Qué pasaría si un planeta cercano a su estrella tuviera una órbita ovalada? Hagamos el experimento: le damos una excentricidad hipotética de 0,1 a tres planetas cercanos y a la Tierra. La marea que la estrella levanta en el planeta va gastando energía de la órbita y la redondea. GJ 1132 b, el más cercano, reduce su excentricidad a la mitad en unos 340 mil años. TRAPPIST-1e tarda unos 71 millones, y Proxima b, más lejos, unos 1,1 mil millones de años. La Tierra, a una unidad astronómica del Sol, no cambia nada. Por eso los planetas muy cercanos a su estrella suelen tener órbitas casi circulares.

5. El precio: calor



Esa energía no desaparece: se convierte en calor dentro del planeta. Al principio del experimento, TRAPPIST-1e genera unos 39 000 teravatios de calor de marea: unas 800 veces el calor interno de toda la Tierra, que es de unos cuarenta y siete teravatios. Es el mismo mecanismo que mantiene activos los volcanes de Ío, la luna de Júpiter. A medida que la órbita se redondea, el calor baja hasta casi desaparecer.

6. Para practicar

Para practicar: calcula el periastro y el apoastro de Mercurio con su semieje mayor y su excentricidad. Después simula Próxima b y mira cómo cambia su excentricidad. 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
Mercurio	14	0 %	0 %	0.00195	0.5
HD 80606b	72	100 %	100 %	4	7.8
circ gj1132	52	0 %	100 %	1	1.2
circ trappist	51	0 %	100 %	1.3	1.6
circ proxima	50	0 %	100 %	1.5	2.5
circ tierra	86	100 %	87 %	0.31	9.7

Ejercicio

1. Calcula el periastro $a(1-e)$ y el apoastro $a(1+e)$ de Mercurio ($a = 0,387$ UA, $e = 0,2056$).
2. Calcula cuántas veces más luz recibe Mercurio en el periastro que en el apoastro.
3. Simula Próxima b durante 4,5 Gyr y observa la columna de excentricidad.

Limitaciones del modelo

- La excentricidad de 0,1 en GJ 1132 b, TRAPPIST-1e, Proxima b y la Tierra es hipotética: se usa para ver el proceso de circularización.
- El dibujo de las elipses es geometría de Kepler, no una simulación del motor.
- La circularización usa el modelo de Hut (1981) con eficiencia de marea constante; los tiempos son de orden de magnitud.
- HD 80606 b no cambia en la simulación; su historia real probablemente involucra una estrella compañera (Wu y Murray 2003), que el motor no simula.

Referencias

- Hut (1981), Tidal evolution in close binary systems, A&A; 99.
- Naef et al. (2001), HD 80606 b, a planet on an extremely elongated orbit, A&A; 375.
- Wu & Murray (2003), Planet migration and binary companions: the case of HD 80606b, ApJ 589.
- Davies & Davies (2010), Earth's surface heat flux, Solid Earth 1.