

Clase 9: Zona habitable

Dónde podría haber agua líquida, y por qué no alcanza

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.

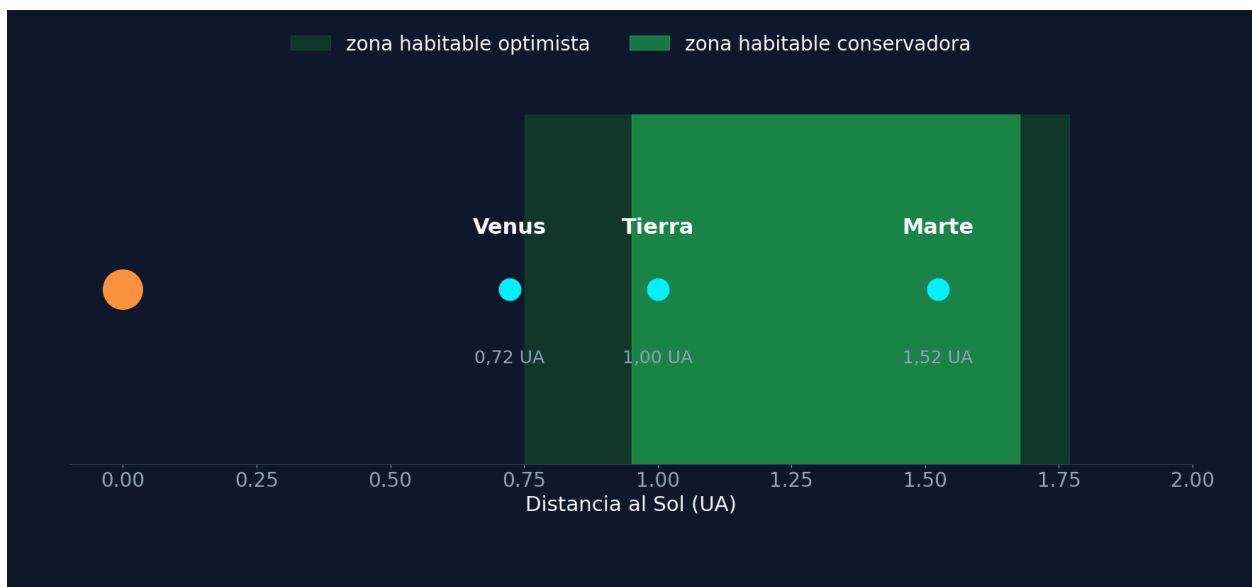
Objetivos

- Definir la zona habitable y sus límites conservador y optimista
- Calcular la luz que recibe un planeta
- Combinar zona habitable y protección magnética

1. Zona habitable

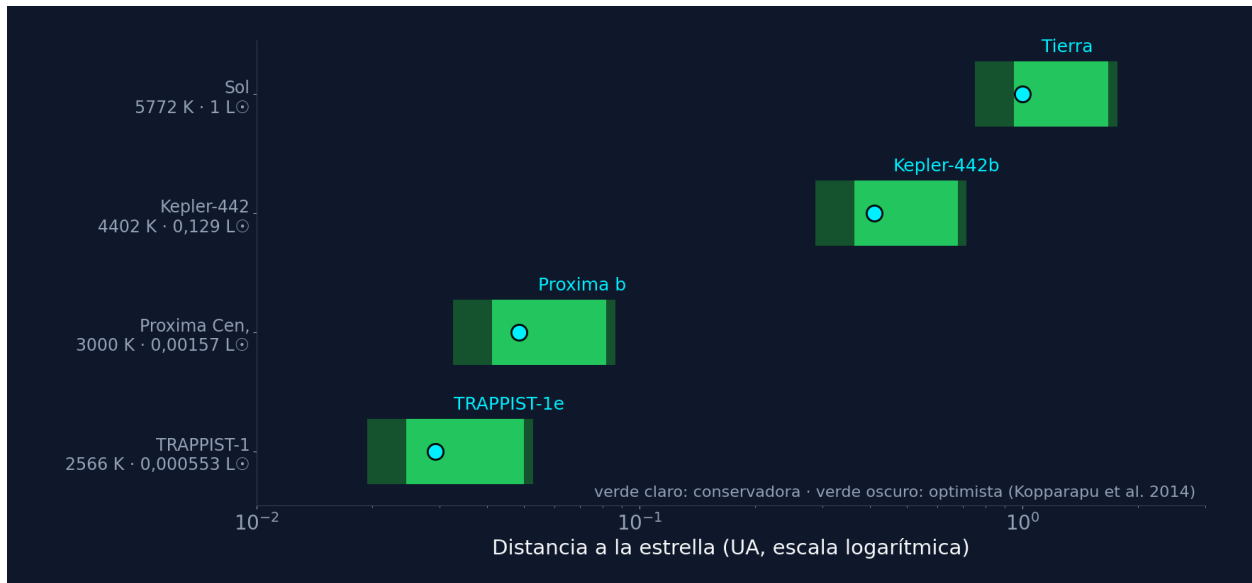
¿Dónde podría haber agua líquida en la superficie de un planeta? Esa pregunta define la zona habitable. En esta clase vamos a calcularla para cuatro estrellas, vamos a ver qué planetas caen dentro y, sobre todo, por qué estar dentro no alcanza.

2. La zona habitable del Sol



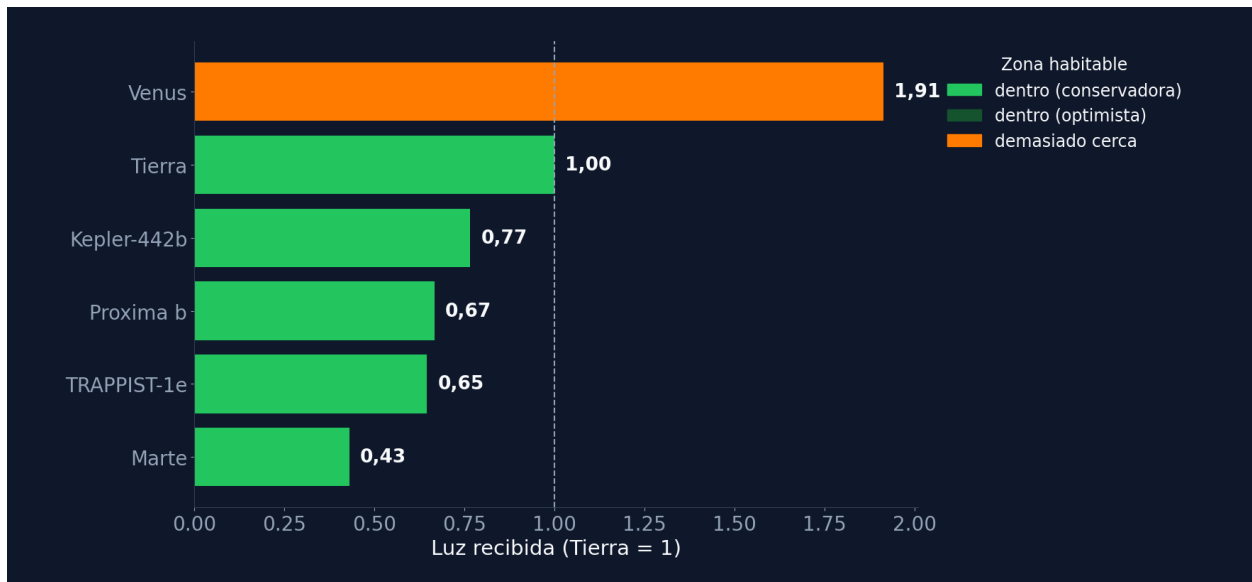
La zona habitable es la franja de distancias a una estrella donde un planeta parecido a la Tierra podría mantener agua líquida. Usamos los límites de Kopparapu y colaboradores, de 2014. Para el Sol, la zona conservadora va de 0,95 a 1,68 unidades astronómicas. Venus, a 0,72, queda afuera, demasiado cerca. La Tierra está dentro. Y algo que sorprende: Marte, a 1,52, también está dentro. Hay además una versión optimista, de 0,75 a 1,77, basada en lo que sabemos de Venus y de Marte en su pasado.

3. Cada estrella, su zona



La zona habitable depende de la estrella: de su brillo y de su temperatura. Kepler-442 brilla con un 13 por ciento de la luz del Sol, y su zona conservadora va de 0,36 a 0,68 unidades astronómicas. Proxima Centauri y TRAPPIST-1 son enanas rojas mucho más débiles, y sus zonas habitables quedan muy cerca: entre 0,025 y 0,05 unidades astronómicas para TRAPPIST-1, más adentro que la órbita de Mercurio. Kepler-442 b, Proxima b y TRAPPIST-1e caen dentro de la zona conservadora de su estrella.

4. Cuánta luz reciben



Otra forma de verlo es medir cuánta luz recibe cada planeta, comparada con la Tierra. Venus recibe 1,91 veces lo que la Tierra y Marte 0,43. Los tres exoplanetas reciben entre 0,65 y 0,77: algo menos que la Tierra. Para TRAPPIST-1e sale 0,646, el mismo valor que publicaron Agol y colaboradores en 2021 a partir de las observaciones del telescopio Spitzer.

5. Estar dentro no alcanza



Ahora juntemos esta clase con la de habitabilidad magnética. En este gráfico, la posición horizontal es la luz que recibe cada planeta y la altura es su índice MHI. Marte está dentro de la zona habitable, pero su MHI es de apenas 21: sin campo magnético, no protege su atmósfera. Proxima b y TRAPPIST-1e también están dentro, pero el viento de sus estrellas aplasta su magnetosfera y se quedan en unos 60 puntos. Solo la Tierra, y Kepler-442 b con un campo supuesto, cumplen las dos condiciones. La zona habitable dice dónde podría haber agua; la magnetosfera dice si la atmósfera puede sobrevivir para retenerla.

6. Para practicar

Para practicar: calcula cuánta luz recibe un planeta que orbita a dos unidades astronómicas de una estrella cuatro veces más brillante que el Sol, y decide si cae en la zona habitable. Nos vemos en la próxima clase.

Datos de la simulación

Planeta	MHI	Escudo	Campo activo	Campo hoy (G)	Magnetopausa (radios)
Venus	26	0 %	0 %	0.0001	0.6
Tierra	91	100 %	87 %	0.31	9.7
Marte	21	0 %	0 %	0.0001	0.8
Kepler 442b	96	100 %	100 %	1.3	7.9
Proxima b	60	0 %	100 %	1.5	2.5
TRAPPIST 1e	60	0 %	100 %	1.3	1.7

Ejercicio

1. Calcula la luz que recibe un planeta a 2 UA de una estrella con 4 veces la luminosidad del Sol ($S = L/a^2$).
2. Con la zona conservadora del Sol (0,95–1,68 UA), ¿caería dentro si la estrella fuera como el Sol?
3. Explica con tus palabras por qué Marte está en la zona habitable pero no es habitable hoy.

Limitaciones del modelo

- Los límites de Kopparapu et al. (2014) son para un planeta de una masa terrestre con atmósfera de agua y CO₂; no consideran nubes en 3D ni otras atmósferas.
- TRAPPIST-1 (2566 K) está un poco por debajo del rango de validez de la fórmula (2600–7200 K): sus límites son una extrapolación leve.
- Los parámetros estelares son publicados (no salen de la base de datos de MHD-INT, que solo guarda la masa de cada estrella).

Referencias

- Kopparapu et al. (2014), Habitable zones around main-sequence stars: dependence on planetary mass, ApJ 787, L29.
- Agol et al. (2021), Refining the transit-timing and photometric analysis of TRAPPIST-1, PSJ 2, 1.
- Pineda et al. (2021), The M-dwarf Ultraviolet Spectroscopic Sample I, ApJ 918, 40.
- Berger et al. (2018), Revised radii of Kepler stars and planets using Gaia DR2, ApJ 866, 99.