

# Clase 8: Magnetosferas

El escudo invisible y de qué tamaño es

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: 0.01 mil millones de años paso de 1 000 años motor MHD-INT v5.2.2.

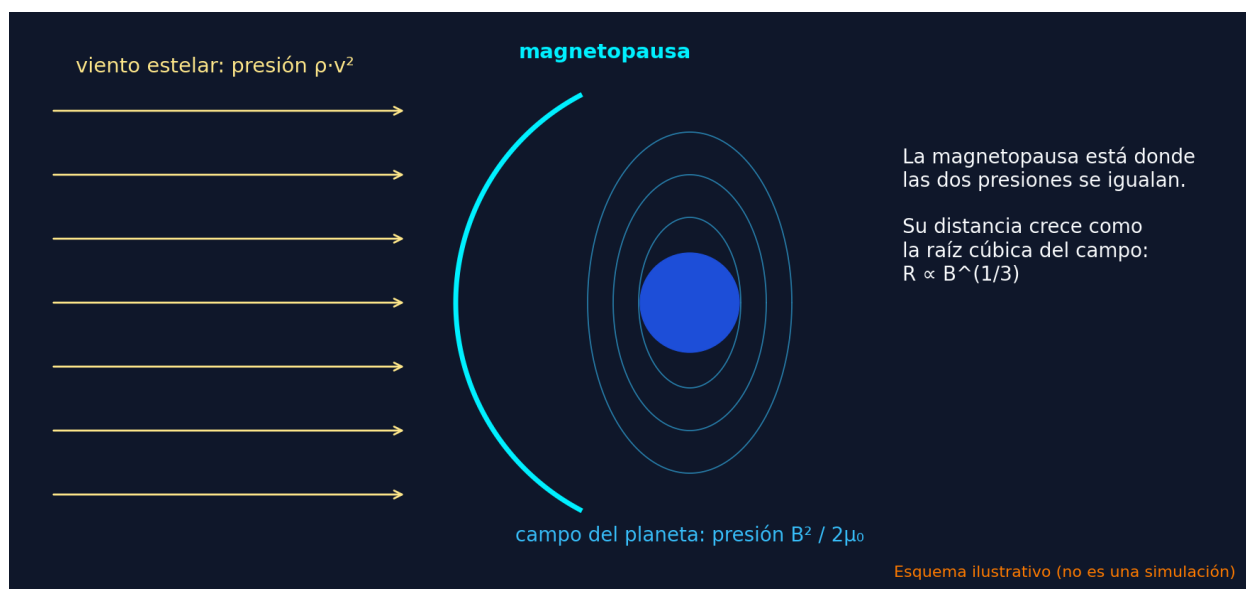
## Objetivos

- Explicar la magnetopausa como un equilibrio de presiones
- Comparar las magnetosferas del modelo con las medidas por sondas
- Calcular qué campo necesitaría un planeta para tener un escudo eficaz

## 1. Magnetosferas

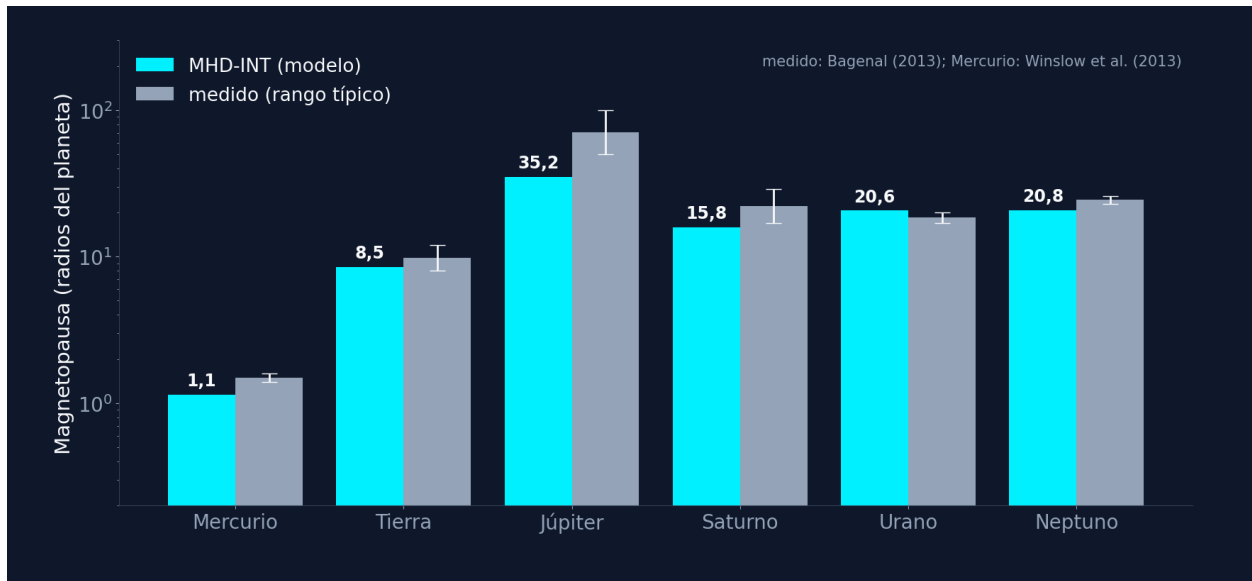
En la clase anterior vimos que algunos planetas tienen campo magnético. Hoy vamos a ver qué forma tiene ese escudo, de qué tamaño es y qué tan bien lo reproduce MHD-INT cuando lo comparamos con lo que midieron las sondas espaciales.

## 2. Un equilibrio de presiones



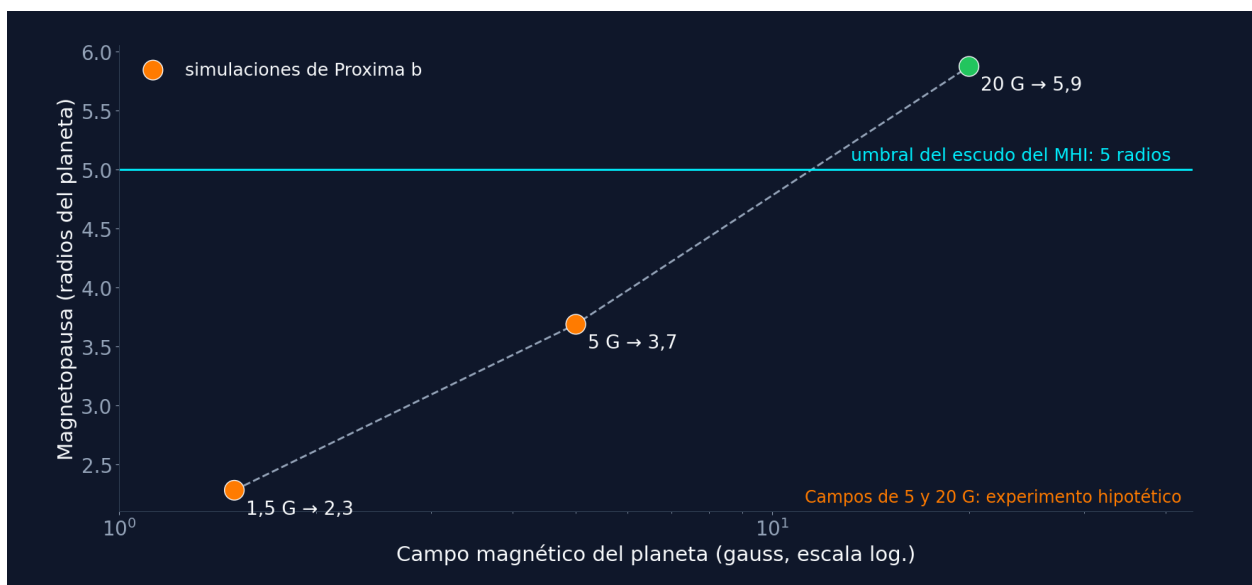
Un campo magnético no es un escudo sólido: es una burbuja. Desde la estrella llega el viento estelar, un chorro de partículas que empuja con una presión que depende de su densidad y de su velocidad. Del otro lado, el campo del planeta empuja hacia afuera. La frontera donde las dos presiones se igualan se llama magnetopausa. Hay un detalle importante en la fórmula: el tamaño depende de la raíz cúbica del campo. Si un planeta duplica su campo magnético, su burbuja crece apenas un veintiséis por ciento.

### 3. Modelo contra medición



¿Qué tan bien funciona esta idea simple? Comparemos con las sondas. Para la Tierra, el modelo ubica la magnetopausa a 8,5 radios terrestres, y lo medido está entre ocho y doce. Para Urano da 21 y para Neptuno 21, cerca de lo que midió la Voyager 2. Pero en Júpiter el modelo da 35 radios, cuando lo medido va de cincuenta a cien. La razón es conocida: la magnetosfera de Júpiter está inflada por el plasma que expulsa su luna volcánica Ío, y la de Saturno, en menor medida, por Encélado. El modelo simple no incluye ese plasma. Y para Mercurio da 1,1 radios, frente a 1,4 a 1,6 medidos por la sonda MESSENGER: el orden es correcto, aunque el modelo simple queda un poco corto.

### 4. ¿Cuánto campo haría falta?



Ahora una pregunta práctica. Proxima b, con el campo supuesto de 1,5 gauss, tiene la magnetopausa a apenas 2,3 radios, porque el viento de su estrella es muy intenso. Si le damos un campo hipotético de cinco gauss, llega a 3,7 radios, y con veinte gauss a 5,9. Interpolando entre las simulaciones, para alcanzar los cinco radios que pide el índice MHI necesitaría unos 12 gauss: unas 40 veces el campo de la Tierra. Ningún planeta rocoso del Sistema Solar se acerca a eso; el más fuerte es justamente la Tierra.

## 5. Para practicar

Para practicar: con la regla de la raíz cúbica, calcula cuánto crecería la magnetosfera de la Tierra si su campo fuera ocho veces más fuerte. Después compruébalo en el Modo Sintético de MHD-INT. Nos vemos en la próxima clase.

## Datos de la simulación

| Planeta     | MHI | Escudo | Campo activo | Campo hoy (G) | Magnetopausa (radios) |
|-------------|-----|--------|--------------|---------------|-----------------------|
| Mercurio    | 14  | 0 %    | 0 %          | 0.00195       | 1.1                   |
| Tierra      | 94  | 98 %   | 100 %        | 0.31          | 8.5                   |
| Jupiter     | 92  | 98 %   | 100 %        | 4.2           | 35.2                  |
| Saturno     | 62  | 98 %   | 0 %          | 0.21          | 15.8                  |
| Urano       | 43  | 98 %   | 0 %          | 0.23          | 20.6                  |
| Neptuno     | 65  | 98 %   | 0 %          | 0.15          | 20.7                  |
| Proxima b   | 51  | 0 %    | 100 %        | 1.5           | 2.3                   |
| proxima B5  | 51  | 0 %    | 100 %        | 5             | 3.7                   |
| proxima B20 | 90  | 98 %   | 100 %        | 20            | 5.9                   |

## Ejercicio

1. Con la regla  $R \propto B^{(1/3)}$ , calcula cuánto crecería la magnetopausa terrestre si el campo fuera 8 veces más fuerte.
2. Compruébalo en el Modo Sintético subiendo el campo magnético inicial.
3. Explica por qué la magnetosfera de Júpiter es más grande de lo que predice el modelo simple.

## Limitaciones del modelo

- El modelo calcula la distancia a la magnetopausa en el punto que mira a la estrella; no simula su forma completa (la figura del equilibrio es un esquema).
- No incluye el plasma interno que infla las magnetosferas de Júpiter y Saturno.
- Los campos de 5 y 20 G para Proxima b son hipotéticos, y ningún exoplaneta tiene su campo medido.

## Referencias

- Bagenal (2013), Planetary Magnetospheres, en Planets, Stars and Stellar Systems, Springer.
- Winslow et al. (2013), Mercury's magnetopause and bow shock from MESSENGER observations, JGR 118.
- Vidotto et al. (2013), Effects of M dwarf magnetic fields on potentially habitable planets, A&A; 557.