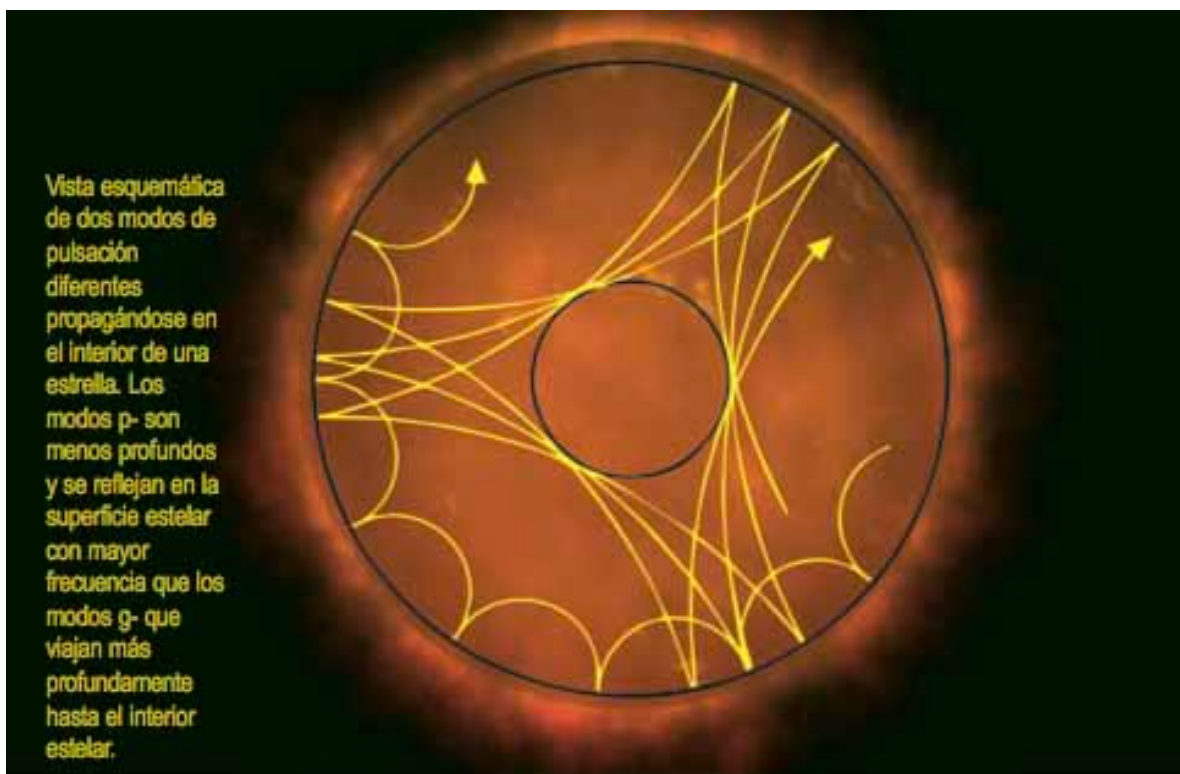


Las estrellas laten!

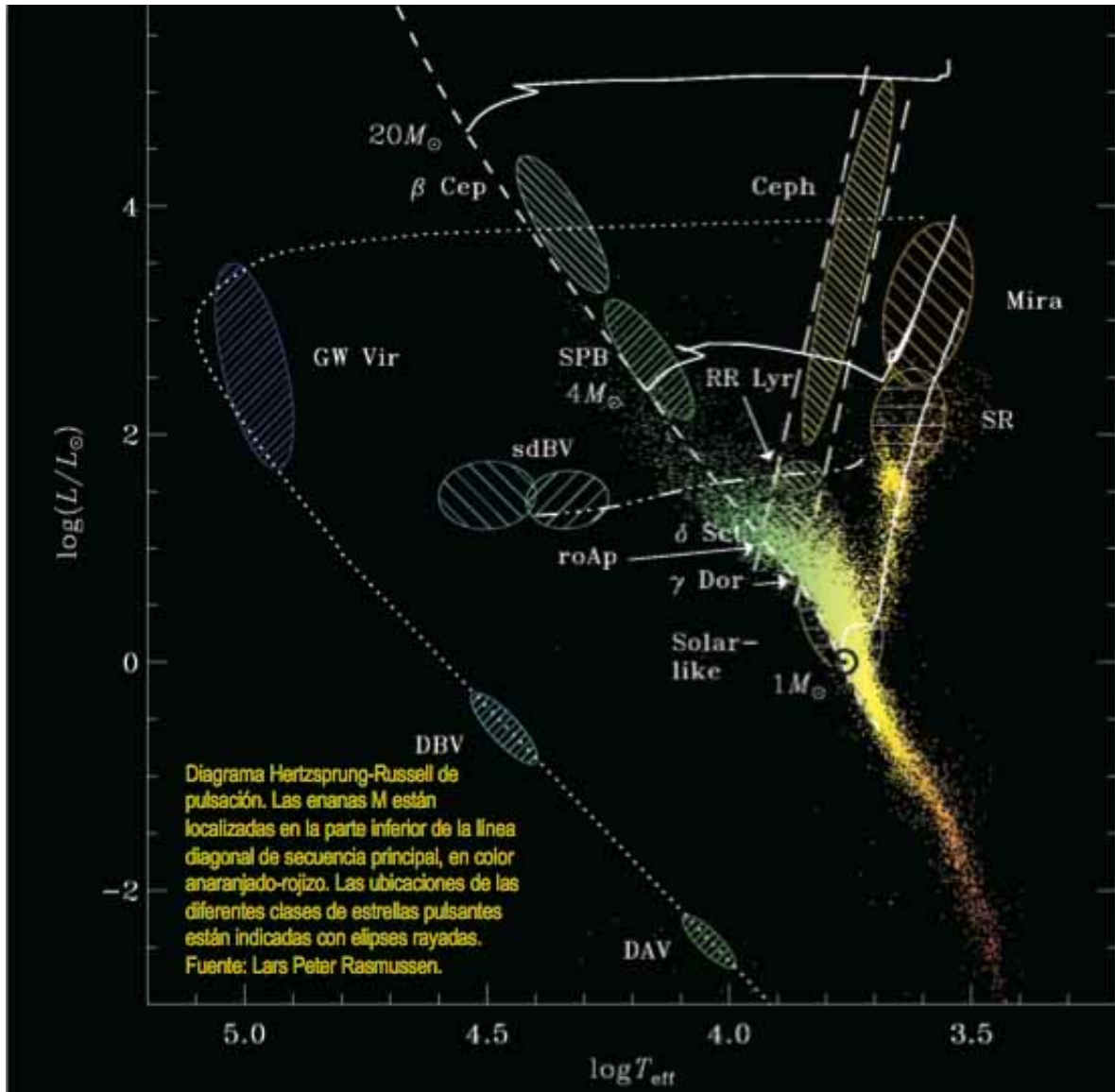
EL ESTUDIO DE LAS PULSACIONES ESTELARES NOS PERMITE CONOCER LAS CARACTERÍSTICAS ESENCIALES DE LAS ESTRELLAS

Por Cristina Rodríguez López (IAA-CSIC)

¿PERDÓN? ¿LAS ESTRELLAS QUÉ? ¡SÍ, LAS ESTRELLAS LATEN! ¡Incluso nuestro Sol! Se suele pensar que las estrellas están allá arriba en el firmamento, inmóviles, quemando su combustible nuclear de forma confortable y silenciosa, pero la realidad que hemos descubierto a través de su observación es bastante diferente. Las estrellas “respiran”, se “contorsionan” y “retuercen” de diversas formas, alterando su radio y temperatura superficial, lo que produce cambios periódicos en su luminosidad y velocidad en su superficie, que detectamos con nuestros telescopios e instrumentos. Estos efectos se conocen con el nombre técnico de pulsaciones, u oscilaciones, y la técnica que intenta extraer toda la información posible de estas estrellas pulsantes se conoce como astrosismología o, en el caso específico de nuestro Sol, heliosismología. La nomenclatura responde a las técnicas utilizadas, análogas a las de la sismología terrestre, que extraen información de las ondas sísmicas propagándose en el interior de nuestro planeta para derivar la composición y estratificación de la Tierra. La



astrosismología analiza las frecuencias de oscilación de la luz procedente de las estrellas, que son la huella dactilar de la composición química y estructura del interior estelar, así como de otros parámetros físicos fundamentales, como su masa, densidad y edad. Entonces, ¿qué son estas pulsaciones? Las pulsaciones son, estrictamente hablando, ondas de presión y gravedad (normalmente llamadas modos p- y g-) que se propagan en el interior de la estrella; podemos imaginar- las como ondas sonoras y marítimas, respectivamente, es decir, provocadas por cambios de presión y flotabilidad. Los modos p- y g- se propagan a diferente profundidad en el interior de la estrella y permiten sondear las diferentes regiones, que de otra forma serían inaccesibles, con solo medir su frecuencia en la superficie.

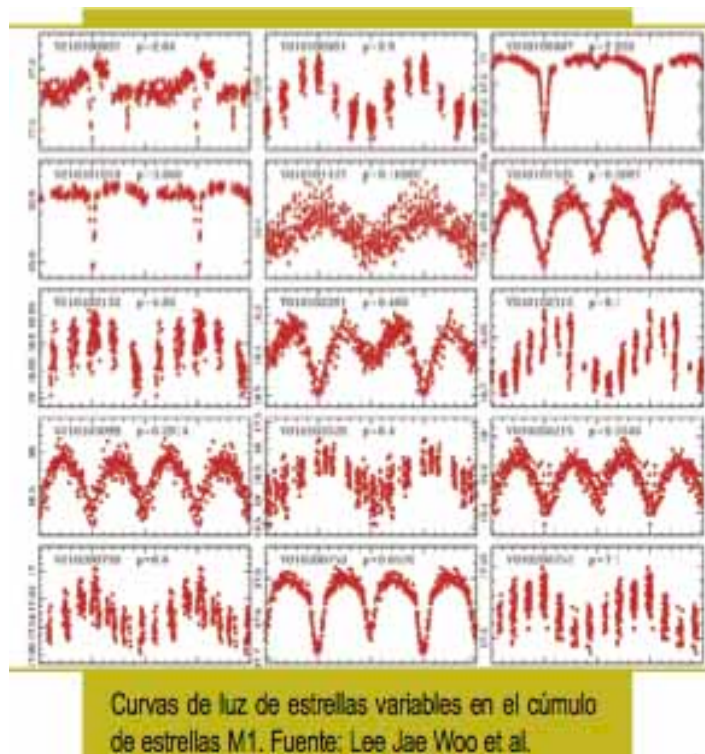


El hecho de que algunas de estas oscilaciones sean ondas acústicas es la razón por la cual, poéticamente, se suele hablar de “la música de las estrellas”. Las ondas acústicas resuenan en el interior estelar de la misma forma que en un instrumento musical, y aunque sus frecuencias son demasiado bajas para que nosotros, los humanos, podamos oírlas -y porque el sonido no se propaga en el vacío-, algunos científicos las

han amplificado para que seamos capaces de escuchar cómo suenan. Sin embargo, la experiencia no es la más placentera del mundo, ya que las ondas acústicas en una estrella no son armónicas.

¿Cómo se originan las pulsaciones?

Las pulsaciones se deben al desplazamiento del plasma en el interior de la estrella. La radiación producida en los procesos de fusión nuclear en el núcleo, o capas, de la estrella, busca alcanzar la superficie pero, al hacerlo, se encuentra algunas piedras en el camino: una son las llamadas zonas de ionización parcial de los elementos químicos. En estas capas, la opacidad de la estrella aumenta al aumentar la presión, bloqueando la radiación procedente del interior y empujando las capas superiores, que entonces se hacen más transparentes, liberando la radiación y cayendo de nuevo, para empezar el ciclo, como si fuese un proceso de inhalación-exhalación, de la misma forma en que funciona un motor. Si la excitación producida en estas regiones es mayor que el amortiguamiento producido en todas las demás, entonces muy probablemente la estrella mostrará oscilaciones en su superficie. Este es el llamado mecanismo kappa y es el responsable de las pulsaciones en varios tipos de estrellas variables, tales como las RR Lyrae, delta Scuti, beta Cephei, subenanas calientes o enanas blancas. En estrellas que tienen una zona interior radiativa y una exterior convectiva, el flujo radiativo puede ser bloqueado y luego liberado en la interfase -o tacoclina- entre estas dos capas de forma cíclica, como es el caso de las variables gamma-Doradus. Finalmente, en estas estrellas parcialmente convectivas, como nuestro Sol, se pueden producir también oscilaciones estocásticas, debidas a los movimientos convectivos turbulentos en la superficie estelar -como sucede cuando calentamos agua en un recipiente-.



¿Todas las estrellas pulsan? Y Próxima, ¿es pulsante? ¡Buena pregunta! Para contestarla, podemos echar un vistazo al diagrama Hertzsprung-Russell pulsante (imagen izda) que sitúa todos los tipos de variables pulsantes conocidas en función de su temperatura y luminosidad. La línea discontinua diagonal que lo atraviesa contiene las estrellas en la secuencia principal (SP), que queman hidrógeno en el núcleo. Algunas de las delta-Scuti son estrellas pre-SP, mientras que gigantes como las Cefeidas o Mira, situadas sobre la SP, y subenanas y enanas blancas, como GW Vir, sdBV y DAV, por debajo de ella, son todas post-SP o estrellas evolucionadas. Así, parece que todas las estrellas, sin importar cuál sea su masa, temperatura

o estado evolutivo, tienen el potencial de ser pulsantes; aunque hay que tener en cuenta que todas lo son, es decir, estas bandas de inestabilidad no son puras, sino que están pobladas también por estrellas “normales” no-pulsantes. En el caso de Próxima, y en general para enanas M, aún no sabemos si pulsan. Se han predicho las pulsaciones de forma teórica, pero aún no se han detectado observacionalmente, aunque las estamos buscando. Solo podemos estar seguros de que, si las oscilaciones existen, serán de muy baja amplitud, del orden de millonésimas de magnitud si lo que monitoreamos es la luz que nos llega de ellas, o menos de un metro por segundo si lo que medimos es cuánto sube y baja la superficie de la estrella debido a las oscilaciones. Si las oscilaciones tuviesen amplitudes superiores a estos límites, ya las habríamos detectado.

¿Cómo se detectan las pulsaciones?

Las frecuencias de oscilación, o inversamente, sus períodos, pueden variar desde solo unos pocos minutos hasta horas o unos pocos días. Para enanas M, como Próxima, el rango de variación predicho más probable está entre unos veinte minutos y tres horas. Para detectar estas oscilaciones usamos dos técnicas que también se utilizan en las búsquedas de exoplanetas: la fotometría y la espectroscopía.

La fotometría mide la cantidad de luz procedente de una estrella durante un período de tiempo. Si la estrella no es variable, su curva de luz, o luz recibida en función del tiempo, será constante, mientras que variará de forma periódica si es una estrella pulsante.

La misma técnica es utilizada por misiones espaciales de satélites dedicados a la búsqueda de tránsitos planetarios, como KEPLER y CoRoT, y el futuro PLATO, que miden la disminución en el brillo de una estrella cuando un planeta que la orbita cruza nuestra línea de visión.

La espectroscopía, a través del método de las velocidades radiales, mide los cambios periódicos en la velocidad de las líneas espectrales de la estrella causados por la subida y bajada de la superficie estelar provocada por las oscilaciones. Se trata de un efecto similar al producido por los planetas al girar en torno a la estrella, ya que su tirón gravitacional produce también cambios en la velocidad de las líneas. Este es el mismo tipo de observaciones que estamos llevando a

Parece que todas las estrellas, sin importar cuál sea su masa, temperatura o estado evolutivo, tienen el potencial de ser pulsantes

cabo para Próxima con el espectrógrafo HARPS. Entonces, ¿qué papel juegan las pulsaciones en el descubrimiento de exoplanetas? En primer lugar, tenemos que estar seguros de que las pulsaciones no se confundan con un planeta, ya que a veces pueden imitarlo; además, si la estrella es pulsante, las observaciones en busca de planetas han de diseñarse para minimizar la influencia de las pulsaciones en la adquisición de datos, o corregir los datos a posteriori, antes de que se pueda evaluar la señal de un planeta. Sin embargo, lo más interesante es que cuando una estrella

pulsante alberga un planeta, se puede derivar con mucha precisión la masa, radio y edad de la estrella, y esta es una forma única y muy valiosa de determinar los parámetros físicos del planeta y su historia evolutiva. Así que, ¡ojalá encontremos muchos planetas en torno a estrellas pulsantes!

Cristina Rodríguez López (IAA-CSIC)

**Este artículo aparece en el número 49, junio 2016,
de la revista *Información y Actualidad Astronómica*,
del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC)**