

## Los exoplanetas y las estrellas enanas rojas

*Scientific American y Wikipedia*

Los astrónomos conocen más de 3,500 exoplanetas, es decir, planetas orbitando estrellas diferentes al Sol. Algunos de estos exoplanetas se asemejan al planeta Tierra en tamaño, composición y temperatura. Sin embargo, son planetas extraños en un sentido, porque orbitan estrellas enanas rojas, también conocidas como enanas tipo M, que son las estrellas más pequeñas y más frías del universo. Aunque las enanas rojas sean frías, los planetas que giran alrededor de ellas podrían ser tibios y albergar vida.

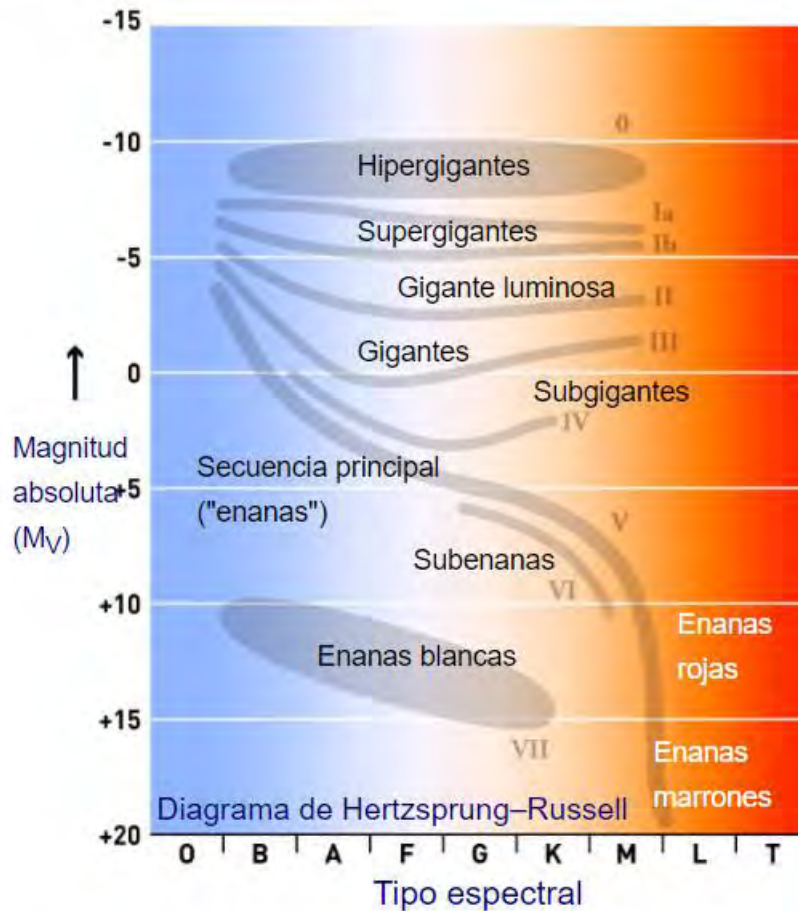
El satélite que planea lanzar la NASA en marzo de 2018, llamado TESS (Trasmiting Exoplanet Survey Satellite) va a explorar el cielo entero, enfocándose en 2.5 millones de estrellas, entre las cuales están las enanas rojas, que representan un quinto del total (500,000).

Una enana roja es una estrella pequeña y relativamente fría de la secuencia principal, ya sea de tipo espectral K tardío o M. Este tipo lo forman la mayor parte de las estrellas, siendo sus valores de masa y diámetro inferiores a la mitad de los del Sol (por debajo de 0,08 masas solares se denominan enanas marrones) y una temperatura superficial de menos de 4000 K.

Las enanas rojas son, hasta la fecha, el tipo más común de estrellas de la Vía Láctea, por lo menos en la vecindad del Sol, pero debido a su baja luminosidad las enanas rojas individuales no pueden ser observadas fácilmente. Desde la Tierra, ninguna es visible a simple vista. Próxima Centauri, la estrella más cercana al Sol es una enana roja (de Tipo M5 y magnitud aparente 11.05), al igual que las veinte de las próximas treinta estrellas más cercanas. De acuerdo con algunas estimaciones, las enanas rojas representan las tres cuartas partes de las estrellas en la Vía Láctea.

Modelos estelares indican que las enanas rojas con menos de 0.35 Masas solares son completamente convectivas. De ahí a que el helio producido por la fusión termonuclear se vuelva a mezclar constantemente a lo largo de la estrella, evitando una acumulación en el núcleo. Por lo tanto, las enanas rojas se desarrollan muy lentamente, albergando una luminosidad constante y tipo espectral para, en teoría, algunos billones de años, agotar su combustible. Debido

a la relativamente corta edad del universo, no existen enanas rojas con etapas evolutivas avanzadas.



Clasificación espectral de las estrellas. Las enanas M pertenecen a la secuencia principal (V).

La gráfica anterior muestra el camino que siguen las estrellas en su evolución, evolución determinada por el "combustible" que utilizan. El Sol es una estrella de tipo-G de la secuencia principal y clase de luminosidad V que se encuentra en el centro del sistema solar y constituye la mayor fuente de radiación electromagnética de este sistema planetario. Es una bola esférica casi perfecta de plasma, con un movimiento convectivo interno que genera un campo magnético a través de un proceso de dinamo. Cerca de tres cuartas partes de la masa del Sol constan de hidrógeno; el resto es principalmente helio, con cantidades mucho más pequeñas de elementos, incluyendo el oxígeno, carbono, neón y hierro

El Sol se formó hace 4650 millones de años y tiene combustible para 7500 millones de años más. [nota 1] Después, comenzará a hacerse más y más grande, hasta convertirse en una gigante roja. Finalmente, se hundirá por su propio peso

y se convertirá en una enana blanca, que puede tardar unos mil millones de años en enfriarse.

Las enanas rojas son estrellas de muy baja masa, inferior al 40% de la masa del Sol. Su temperatura interior es relativamente baja y la energía se genera a un ritmo lento por la fusión nuclear de hidrógeno a helio a través de la cadena protón-protón (pp). Por consiguiente, estas estrellas emiten poca luz, con una luminosidad que en algunos casos apenas alcanza 1/10.000 de la luminosidad solar. Incluso la enana roja más brillante tiene solo un 10 % de la luminosidad del Sol.

En general, en las enanas rojas el transporte de energía desde el interior a la superficie tiene lugar por convección. Esto ocurre porque la radiación es muy difícil debido a la opacidad del interior, que tiene una densidad relativamente alta comparada con la temperatura y es más difícil para los fotones viajar hacia la superficie, de modo que la convección resulta ser un proceso más eficiente para la transmisión de la energía.

Clase	Temperatura <sup>1</sup> (Kelvin)	Color convencional	Color aparente <sup>2 3 4</sup>	Masa <sup>1</sup> (Masa solar)	Radio <sup>1</sup> (Radio solar)	Luminosidad <sup>1</sup> (bolométrica)	Hidrógeno líneas	Fracción de la Secuencia principal <sup>5</sup>
O	≥ 33.000 K	azul	azul	≥ 16 M <sub>☉</sub>	≥ 6,6 R <sub>☉</sub>	≥ 30.000 L <sub>☉</sub>	Débil-Media	~0.00003%
B	10.000–33.000 K	azul a blanco azulado	azul a blanco azulado	2,1–16 M <sub>☉</sub>	1,8–6,6 R <sub>☉</sub>	25–30.000 L <sub>☉</sub>	Medio	0,13%
A	7.500–10.000 K	blanco	blanco a blanco azulado	1,4–2,1 M <sub>☉</sub>	1,4–1,8 R <sub>☉</sub>	5–25 L <sub>☉</sub>	Fuerte	0,6%
F	6.000–7.500 K	blanco amarillento	blanco	1,04–1,4 M <sub>☉</sub>	1,15–1,4 R <sub>☉</sub>	1,5–5 L <sub>☉</sub>	Medio	3%
G	5.200–6.000 K	amarillo	blanco amarillento	0,8–1,04 M <sub>☉</sub>	0,96–1,15 R <sub>☉</sub>	0,6–1,5 L <sub>☉</sub>	Débil	7,6%
K	3.700–5.200 K	naranja	anaranjado	0,45–0,8 M <sub>☉</sub>	0,7–0,96 R <sub>☉</sub>	0,08–0,6 L <sub>☉</sub>	Muy débil	12,1%
M	≤ 3.700 K	rojo	rojo anaranjado	≤ 0,45 M <sub>☉</sub>	≤ 0,7 R <sub>☉</sub>	≤ 0,08 L <sub>☉</sub>	Muy débil	76,45%

Al ser las enanas rojas totalmente convectivas, el helio no se acumula en el núcleo y, en comparación con estrellas más grandes, como el Sol, pueden quemar una proporción más grande de su hidrógeno antes de abandonar la secuencia principal. El resultado es que la vida estimada de las enanas rojas



supera la edad estimada del universo, posiblemente de 200,000 millones a varios billones de años, por lo que las estrellas con menos de 0.8 masas solares no han tenido tiempo de dejar la secuencia principal. Las enanas rojas de menor masa tienen vidas aún más largas, lo que implica que su evolución ha de estudiarse mediante modelos matemáticos al no disponer de suficientes datos por observación.

La energía se trasmite de varias formas denominadas: conducción, convección, y radiación. Al calentar al fuego una cuchara, sabemos que el mango de la cuchara se calienta por conducción. Al hervir agua en la cocina, vemos como se forman corrientes internas que son responsables de que el agua entera se caliente hasta comenzar a hervir. Finalmente, sentimos el calor cuando abrimos la puerta del horno de la cocina, ese calor es la radiación del horno caliente hasta nosotros. También el Sol calienta la Tierra por radiación, ya que viaja a través del vacío del espacio. Una bujía incandescente emite una luz blanca amarillento porque el filamento se calienta hasta ese color, posible porque el filamento es refractario.

La conducción de energía o calor por conducción es un proceso de transmisión de energía basado en el contacto directo entre los cuerpos, sin intercambio de materia, por el que el calor fluye desde un cuerpo de mayor temperatura a otro de menor temperatura que está en contacto con el primero. La propiedad física de los materiales que determina su capacidad para conducir el calor es la conductividad térmica. La propiedad inversa de la conductividad térmica es la resistividad térmica, que es la capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor.

La convección se caracteriza porque se produce por medio de un fluido (líquido, gas o plasma) que transporta la energía entre zonas con diferentes temperaturas. La convección se produce únicamente por medio de materiales, la evaporación del agua o fluidos. La convección en sí es el transporte de energía por medio del movimiento del fluido. Por ejemplo, el agua en contacto con la base de la cacerola asciende, mientras que el agua de la superficie desciende y ocupa el lugar que dejó la caliente. Esta transferencia de energía implica el transporte de un volumen y la mezcla de elementos macroscópicos de porciones calientes y frías de un gas o un líquido. Incluye también el intercambio de energía entre una superficie sólida y un fluido o por medio de una bomba, un ventilador u otro dispositivo mecánico (convección mecánica, forzada o asistida).

Se denomina radiación a la emitida por un cuerpo debido a su temperatura. Todos los cuerpos emiten radiación electromagnética, siendo su intensidad dependiente de la temperatura y de la longitud de onda considerada. Cuando el herrero calienta el acero en la fragua, vemos como el color del acero cambia de rojo a blanco, rojo es la radiación cuando el acero está a unos 500 grados Celsius; al aumentar la temperatura pasa a amarillo, a blanco y hasta azul.

Los modelos sugieren que la masa mínima de las estrellas que pueden convertirse en gigantes rojas es de 0.25 masas solares; las de masa inferior aumentan su temperatura superficial -y por tanto su luminosidad- sin aumentar su tamaño, convirtiéndose en enanas azules, y de ahí finalmente en enanas blancas. Este proceso es muy lento y tanto más cuanto menor sea la masa de la estrella, estimándose que, por ejemplo, una de 0.25 masas solares permanece un billón de años en la secuencia principal, y las menores existentes en la actualidad, de 0,08 masas solares, 12 billones de años.

Para una estrella de 0.16 masas solares (el caso de la cercana Estrella de Barnard), por ejemplo, se calcula que la fase de enana azul llegaría tras algo más de 2,5 billones de años en la secuencia principal, y duraría alrededor de 5 mil millones de años, durante los cuales la estrella tendrá 1/3 de la luminosidad del Sol y una temperatura superficial que llegará hasta alrededor de 8,500 Kelvin al final de esta fase, por lo que si hubiera planetas en órbita alrededor de ésta y que hasta entonces han tenido temperaturas frías, podrían descongelarse y dar de nuevo una oportunidad a que la vida floreciera.

El hecho de que las enanas rojas y otras estrellas de masa baja permanezcan en la secuencia principal mientras las estrellas más masivas la han abandonado, permite estimar la edad de cúmulos estelares encontrando la masa a partir de la cual las estrellas han dejado la secuencia principal. Esto proporciona un límite inferior para la edad del Universo y también permite colocar escalas de tiempo de formación en las estructuras existentes dentro de la Vía Láctea, tales como el halo galáctico y el disco galáctico.

Un misterio que no ha sido solucionado desde 2007 es la ausencia de enanas rojas sin metales, entendiendo por metal cualquier elemento más pesado que hidrógeno o helio. El modelo del Big Bang predice que la primera generación de estrellas sólo debería tener hidrógeno, helio y trazas de litio. Si entre estas estrellas existieron enanas rojas, estas todavía deberían ser observables hoy, pero ninguna ha sido identificada aún. La explicación preferida consiste en que, sin elementos pesados, sólo pueden formarse estrellas grandes de Población III (aún no descubiertas), que rápidamente fusionan elementos pesados que luego son incorporados en la formación de enanas rojas. Otras explicaciones alternativas, como que las enanas rojas de edad cero en la secuencia principal son tenues y muy escasas, se consideran mucho menos probables, ya que parece que entran en conflicto con los modelos de evolución estelar.

Las enanas rojas son la clase de estrellas más común en la galaxia, al menos en la vecindad del sistema solar. Próxima Centauri, la estrella más cercana al Sol

es una enana roja de tipo espectral M5 y magnitud aparente 11,05; de las treinta estrellas más cercanas, veinte son enanas rojas. Sin embargo, debido a su baja luminosidad, las enanas rojas no pueden ser observadas fácilmente a las distancias interestelares en las que sí observamos otras clases de estrellas; de hecho, ninguna enana roja es visible a simple vista. ■