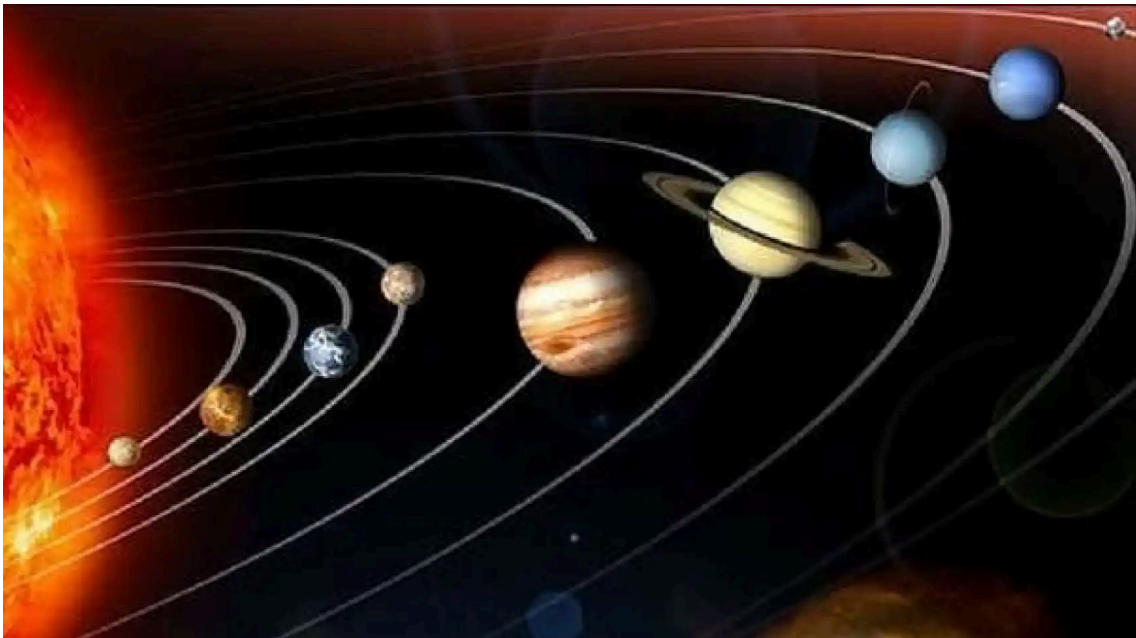


Habitabilidad en sistemas planetarios a partir de datos del catálogo Simbad



I.E.S. GERARDO DIEGO
Aurora Santorelli
Ignacio Jiménez
Tutor: Pedro Caba Aguirre
Dpto de Física y Química
Bachillerato 2023-2025

ÍNDICE

1. Resumen.....	5
2. Abstract.....	6
3. Introducción.....	7
3.1 Paralaje estelar.....	7
3.2 Parsec.....	7
3.3 Unidad Astronómica.....	8
3.4 Año luz.....	9
3.5 Magnitud.....	9
4. Estado de la cuestión.....	12
4.1 Clasificación estelar.....	12
4.1.1 Clasificación según su ciclo de vida.....	12
4.1.1.1 Tipos de muertes.....	15
4.1.2 Clasificación espectral.....	18
4.1.3 Clasificación según su luminosidad.....	19
4.1.4 Clasificación según su masa.....	20
4.2 Habitabilidad según tipos de estrellas.....	20
4.2.1 Habitabilidad en sistemas de enanas blancas.....	20
4.2.2 Habitabilidad en sistemas de gigantes rojas.....	21
4.2.1 Habitabilidad en sistemas de estrellas de neutrones.....	23
4.2.1 Habitabilidad en sistemas de enanas marrones.....	23
4.2.1 Habitabilidad en sistemas de estrellas en la S.p.....	24
4.2.1 Habitabilidad en sistemas de estrellas variables.....	26
4.2.1 Habitabilidad en sistemas de enanas rojas.....	26
5. Metodología.....	28
6. Resultados.....	35
6.1 Habitabilidad en el sistema de HD 222237.....	36
6.2 Habitabilidad en el sistema de HD 85512.....	36

6.3 Habitabilidad en el sistema de 61 Virgins.....	36
6.4 Habitabilidad en el sistema Ross 128.....	37
6.5 Habitabilidad en el sistema Teengardens.....	38
6.6 Habitabilidad en el sistema Sigma Draconis.....	38
6.7 Habitabilidad en el sistema HD 40307.....	39
7. Conclusiones.....	40
8. Bibliografía.....	41
8.1 Bibliografía de figuras.....	46
9. Agradecimientos.....	49

1.Resumen

En este proyecto nos hemos dedicado al estudio y clasificación de las estrellas, así como al estudio de la habitabilidad en algunos exoplanetas.

En primer lugar hemos introducido algunos conceptos clave: paralaje estelar, parsec, unidad astronómica, año luz y magnitud (absoluta y relativa). Estos conceptos son esenciales para la posterior comprensión de la investigación.

En un segundo momento hemos clasificado las estrellas según los siguientes criterios: posición en el diagrama HR, tipo de muerte estelar, clasificación espectral, luminosidad y masa.

Posteriormente estudiamos la habitabilidad planetaria en los sistemas formados por cada tipo de estrellas, teniendo en cuenta diversos factores como la zona de habitabilidad, la vida de la estrella o la radiación que emite esta. Con este estudio concluimos que podría haber vida alrededor de estrellas tipo G y K de la secuencia principal y enanas blancas, marrones y rojas

Finalmente, hemos hecho una clasificación de todas las estrellas a una distancia inferior de 12.5 pársec utilizando el catálogo Simbad (Set of Indications, Measurements, and Bibliography for Astronomical Data), con el que hemos concluido que a esta distancia hay 0.2% de gigantes rojas, un 7.6% de enanas blancas, un 66.6% de estrellas pertenecientes a la secuencia principal, un 22.6% de estrellas de características similares a las del sol, un 1.2% de enanas marrones y un 1.8% de enanas rojas. De todas ellas, un 15.5 % poseen exoplanetas.

Por último, con todos los datos hemos seleccionado siete estrellas que tienen exoplanetas para averiguar su habitabilidad, concluyendo que cuatro de estas tienen un planeta en la zona habitable.

2.Abstract

In this project we study the different types of stars as well as the habitability in the exoplanets surrounding them.

In the first place, we explained some key concepts: stellar parallax, parsec, astronomical unit, light year and magnitude (apparent and relative). These terms are essential for the comprehension of the investigation.

Secondly, we classified the stars according to the following criteria: position in the HR diagram, type of stellar death, spectral classification, luminosity and mass.

Next, we then studied planetary habitability in systems formed by each type of star, taking into account various factors such as the habitability zone, the lifetime of the star, and the radiation emitted by the star. With this study we conclude that life can thrive around G- and K-type stars of the main sequence and brown, white and red dwarfs.

Finally, we have made a classification of all the stars at a distance of less than 12.5 parsec using the Simbad catalog (Set of Indications, Measurements, and Bibliography for Astronomical Data), with which we have concluded that at this distance there are 0.2% of red giants, 7.6% of white dwarfs, 66.6% of stars belonging to the main sequence, 22.6% of stars with characteristics similar to those of the sun, 1.2% of brown dwarfs and 1.8% of red dwarfs. Of these, 15.5% have exoplanets.

Finally, with all the data we selected seven stars that have exoplanets to find out their habitability, concluding that four of these have a planet in the habitable zone.

3.Introducción

A lo largo de este proyecto se van a utilizar algunos conceptos muy utilizados en astronomía. A continuación se definen algunos de dichos conceptos.

3.1 Paralaje estelar

La paralaje o paralaje estelar es uno de los métodos que se utiliza para medir la distancia que hay entre la tierra y las diferentes estrellas de la galaxia. Cuando se observa una estrella, se puede ver que está en un punto, pero, debido al movimiento de la Tierra alrededor del Sol, al cabo de medio periodo orbital (6 meses), se podrá ver como la estrella parece haberse movido. Creando un triángulo rectángulo entre la tierra, el sol y la estrella se forma un ángulo al que se le llama paralaje. Este ángulo se mide en segundos de grados **(1)**

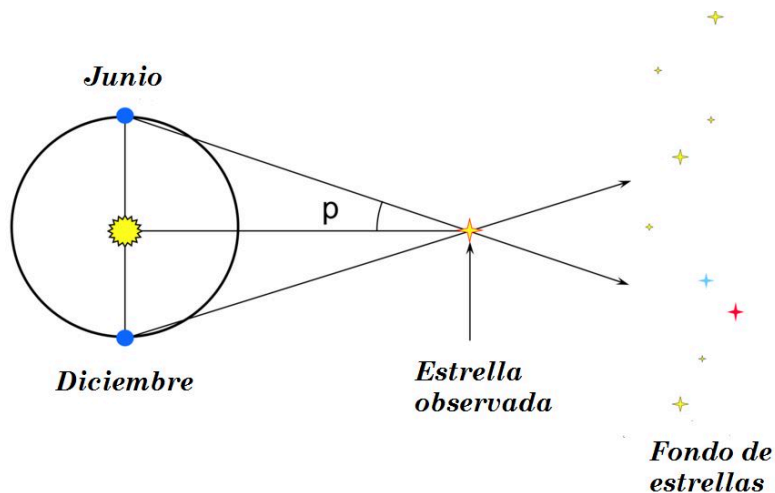


Figura 1:Esquema paralaje(p)

3.2 Parsec

En astronomía se utilizan unidades de distancia más grandes de las que se suelen utilizar normalmente en otros campos, como por ejemplo el kilómetro, debido a que las unidades son mucho mayores, por lo que las unidades de medida utilizadas para medir distancias en astronomía tienen que ser mayores

que las que se utilizan para medir la Tierra. Una de las unidades de medida que se utilizan en astronomía es el Parsec (pc), nombrada por el astrónomo Herbert Hall Turner (1861-1930). Esta unidad mide la distancia de 1 segundo de arco entre el sol y la tierra, que es el equivalente a unos 3,2616 años luz. Tiene algunos múltiplos como el kiloparsec (10^3 pc) o el megaparsec (10^6 pc). La relación entre la distancia en parsecs y la paralaje estelar es: $D(\text{pc}) = 1/p(\text{arc seg})$ (2)

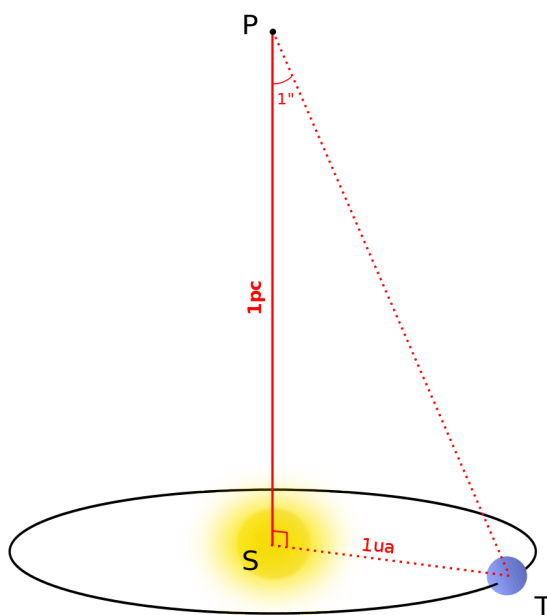


Figura 2: Representación gráfica Parsec

3.3 Unidad Astronómica

Otra de las unidades de distancia utilizadas en el campo de la astronomía es la unidad astronómica (U.A), la cual es utilizada en la medición de órbitas y trayectorias dentro del sistema solar. Esta unidad se define como la distancia entre la Tierra y el Sol, es decir, unos 150 millones de kilómetros, aproximadamente. Esta unidad se queda corta para medir distancias fuera de nuestro sistema solar, ya que es una unidad de distancia pequeña (en cuanto al universo se refiere), pero es muy útil para medir distancias en sistemas planetarios. (3)

Objeto	Dist. al Sol UA	Vel. Orb. media Km / seg
Mercurio	0,39	48,0
Venus	0,72	35,4
Tierra	1,00	30,0
Marte	1,52	24,3
Jupiter	5,20	13,2
Saturno	9,54	9,7
Urano	19,19	6,8
Neptuno	30,07	5,5
Halley	19,40	6,8

Figura 3: Distancia entre el sol y los planetas en U.A

3.4 Año luz

La última unidad de distancia que vamos a nombrar son los años luz (ly). Esta unidad de distancia es utilizada principalmente para medidas relacionadas con el universo. Es la distancia que recorre la luz en un año terrestre y equivale a unos 9 billones de kilómetros. La estrella más cercana a la tierra (sin contar el sol) es *Próxima Centauri*, una estrella de la constelación Centaurus que se halla a unos 4,22 L.Y. (4)

3.5 Magnitud

Para medir el brillo de las estrellas utilizamos la magnitud. En este sistema, cuanto mayor sea la magnitud de una estrella, menor es el brillo de esta (una estrella de magnitud 10 brilla menos que una de magnitud 3). Existen dos tipos de magnitudes, que son:

1. La primera, llamada magnitud absoluta (M), que indica la luminosidad real que posee una estrella. Esta magnitud se define como la luminosidad que tendría una estrella si estuviera a una distancia de 10 pc. Esta magnitud resulta muy útil porque tiene una relación directa con la luminosidad de las estrellas, por lo que se

puede comparar la luminosidad de dos estrellas sin que se tenga en cuenta la distancia entre esta.

2. La segunda, llamada magnitud aparente (m), indica la luminosidad que tiene la estrella vista desde la tierra, independientemente de la temperatura, el tamaño o la distancia a la que se encuentre esta. Por lo general, las estrellas más cercanas a la tierra suelen tener una magnitud aparente menor, ya que al estar más cerca, se ven más luminosas (hay excepciones, si una estrella lejana tiene una magnitud absoluta muy baja y una estrella cercana tiene una magnitud absoluta muy alta, es posible que la magnitud aparente de la estrella lejana sea menor). La relación entre la magnitud aparente y la absoluta viene dada por la fórmula: $m-M=5(\log_{10} d-1)$. Donde d es la distancia en pc. (5)

3. También, para relacionar la magnitud absoluta o luminosidad de las estrellas con su temperatura se utiliza el diagrama HR o diagrama de Hertzsprung Russell, nombrado en honor a los astrónomos Ejnar Hertzsprung y Henry Norris Russell. Este diagrama representa la magnitud absoluta de una estrella frente a su temperatura(color). Por conveniencia, el eje horizontal recorre la temperatura de mayor a menor y el eje vertical recorre la luminosidad de menos a más brillante. Por lo general, cuanto mayor sea la temperatura de la estrella, mayor será la luminosidad de esta, por lo que la mayor parte de las estrellas se localizan en una recta que desciende desde la zona de arriba a la izquierda hasta la zona de abajo a la derecha. Aunque, hay algunas excepciones que no cumplen esta relación. Estas excepciones son las enanas blancas, que tienen una temperatura alta y una luminosidad baja y las gigantes, que poseen una temperatura más baja en relación a su luminosidad. Todas las estrellas de este diagrama se clasifican por colores dependiendo de su temperatura y luminosidad. En esta clasificación están las estrellas rojas (R), que son estrellas de temperatura muy baja y luminosidad muy baja; las estrellas V (V), que son estrellas de temperatura baja y luminosidad baja; las estrellas verdes (G), que son estrellas de temperatura alta y luminosidad alta y las estrellas azules(B), que poseen una temperatura muy alta y una luminosidad muy alta

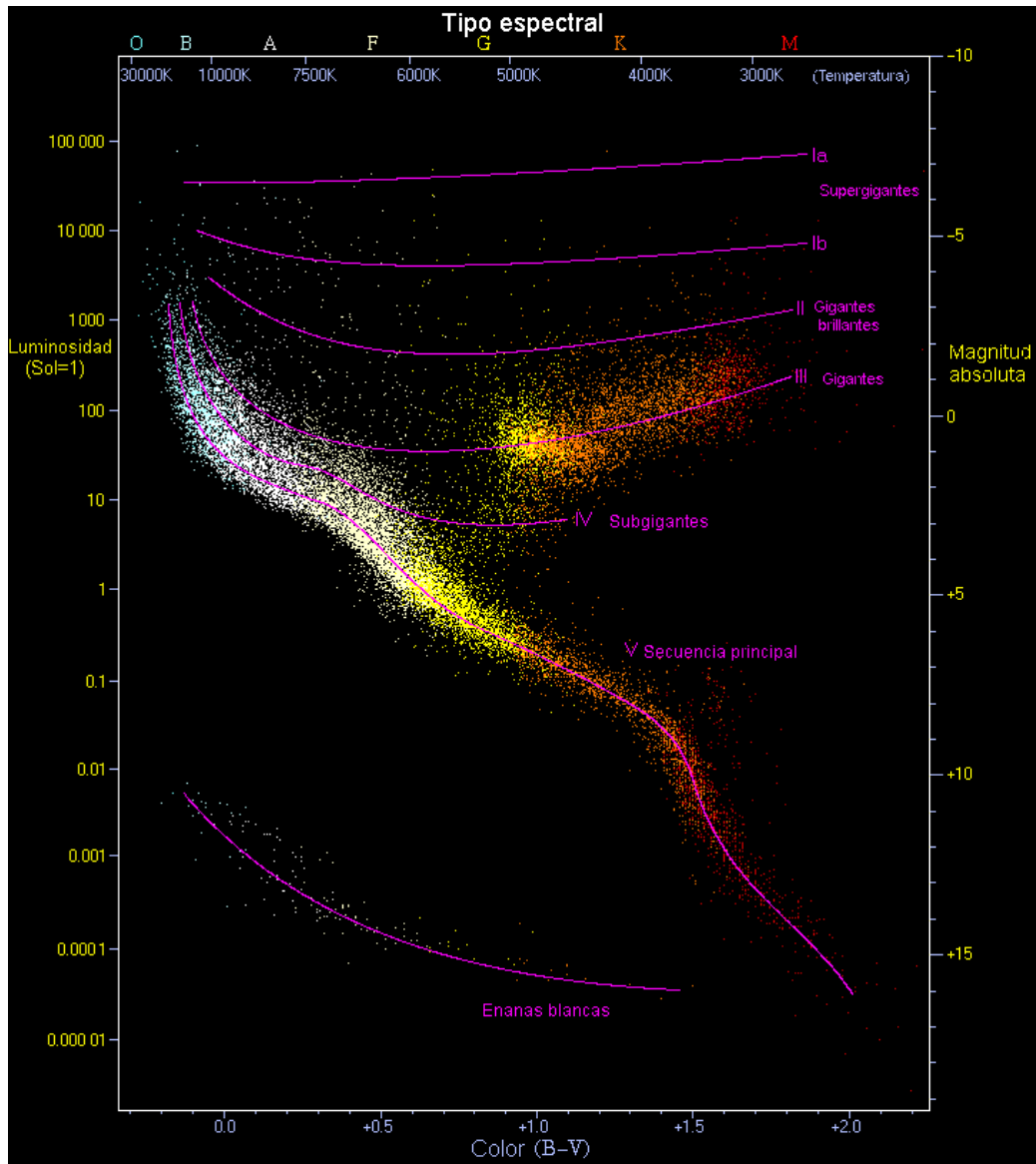


Figura 4: Diagrama HR.

4. Estado de la cuestión

4.1 Clasificación estelar

Las estrellas son cuerpos celestes luminosos compuestos de plasma que se hallan en continua combustión nuclear y mantienen su forma gracias a su gravedad.

Existen muchos tipos de estrellas, aunque solo algunas son visibles con el ojo humano debido a su distancia o su brillo aparente.

La estrella que mejor se conoce es el Sol, ya que es la más cercana a la Tierra y es uno de los factores clave para la habitabilidad en nuestro planeta.

Al igual que en nuestro Sistema Solar, alrededor de la gran mayoría de estrellas orbitan otros cuerpos celestes no luminosos como planetas o meteoritos gracias a la fuerza gravitatoria que estas poseen. A su vez, las estrellas forman las galaxias orbitando en torno a un centro de gravedad común, un agujero negro super masivo. (6)

4.1.1 Clasificación según su posición en el diagrama HR

La clasificación de las estrellas según su ciclo de vida abarca desde el nacimiento de la protoestrella, nube de gas de gran tamaño, hasta sus remanentes estelares tras su muerte. Fases:

1. PSP: Presecuencia principal

Las estrellas se forman a partir de nubes de gas que se contraen en un proceso violento. El centro de la protoestrella aumenta la densidad y temperatura. Tienden a formarse en cúmulos, partir de una misma nube de gas se pueden formar varias estrellas al mismo tiempo, aunque no todas evolucionen al mismo al mismo ritmo: las estrellas de baja masa tienen un proceso de combustión del hidrógeno más

lento y una vida más larga, mientras que en las de mucha masa el proceso de combustión es más rápido y viven menos. Las estrellas solitarias, como el Sol, son menos comunes.

2. SP: Secuencia principal

Esta es la fase más larga de la vida de una estrella, pasan alrededor de un 90% de su vida en ella. Su estructura consta esencialmente del núcleo, donde se comienza un proceso de fusión en el cual el hidrógeno se convierte en helio. Con el tiempo, la estrella va agotando su combustible nuclear, lo que provoca que comience a contraerse. Esta contracción aumenta la presión y la temperatura en su núcleo, que detiene momentáneamente el colapso gravitacional. A medida que la estrella se contrae, su temperatura y su brillo también aumentan, emitiendo más energía

3. SubG: Subgigante

Esta fase marca sus últimas etapas de vida de la estrella. Cuando una estrella de menos de nueve masas solares consume el hidrógeno en su núcleo, empieza a quemarlo en una capa alrededor de este. Como resultado la estrella aumenta su tamaño y se enfría.

4. GR: Gigante roja

En esta fase la estrella baja aún más la temperatura y se expande hasta alcanzar un radio cercano de unos 100 millones de kilómetros (como del Sol a Venus). La fase de gigante roja termina cuando el helio comienza también a fusionarse mediante el proceso triple-alfa (el helio se transforma en carbono). En las estrellas con una masa 0.5 veces la del Sol la temperatura nunca llega a ser lo suficientemente alta para que este proceso se active, por lo que esta es la última fase en la que la estrella se soporta a sí misma.

5. RH: Rama horizontal

Es una fase tardía en estrellas de masa intermedia, en la que el proceso triple-alfa (explicado anteriormente) sucede. La temperatura superficial aumenta, esta fase recibe el nombre de rama horizontal puesto que las estrellas de masas similares

aparecen distribuidas a lo largo de una línea de temperatura variable y luminosidad constante en el diagrama H-R.

6. RAG: Rama asintótica gigante

En esta fase el helio del núcleo se agota de la misma manera que el hidrógeno al final de la secuencia principal. La estrella pasa entonces a quemar el helio en capa y la estrella reduce su temperatura superficial y se vuelve a hinchar.

7. SGAz: Supergigante azul y GAm: Supergigante amarilla

Al acabar de quemar hidrógeno en la secuencia principal, las estrellas de masa elevada se mueven rápidamente en el diagrama H-R de izquierda a derecha, manteniendo una luminosidad constante pero con su temperatura superficial decreciendo rápidamente. Así pues, la estrella pasa rápidamente por las fases de supergigante azul (temperatura superficial en torno a los 20.000 K) y supergigante amarilla (temperatura superficial en torno a los 6.000 K) y, en la mayoría de los casos el helio se quema en la siguiente fase.

8. SGR: Supergigante roja

Las estrellas de entre 9 y 30 masas solares y metalicidad (porcentaje de elementos más pesados que el hidrógeno y el helio que se encuentran en una estrella) solar acaban sus vidas como supergigantes rojas. Estos objetos son las estrellas más grandes del universo, con un radio de varias unidades astronómicas. Las supergigantes rojas tienden a perder mucha masa, lo que hace que a su alrededor existan grandes cantidades de material expulsado por la misma.

Una estrella de este rango de masa es capaz de quemar distintos elementos hasta llegar al hierro, a partir de ahí, ya no es posible extraer energía a partir de reacciones nucleares y se desencadena una supernova de colapso gravitatorio. Su remanente estelar será en la mayoría de los casos una estrella de neutrones.

9. VLA: Variable luminosa azul

Son las estrellas más luminosas que se conocen. Hay muy pocas ya que se encuentran en una fase muy breve de estrellas muy masivas. Hay cierta evidencia que apunta a que son los progenitores de las supernovas. En esta fase su brillo varía lentamente pero sufren erupciones repentinas muy violentas que se producen porque se acerca peligrosamente al límite de eddington (máxima luminosidad que puede pasar a través de una capa de gas en equilibrio hidrostático).

4.1.1.1 Tipos de muertes estelares

1. Enanas blancas y enanas negras:

Una enana blanca se produce cuando una estrella de menos de $10 M_{\odot}$ agota su combustible nuclear. Esta es la muerte más frecuente. Dado que ya no se producen reacciones termonucleares en su núcleo que eviten el colapso gravitatorio, la estrella se comprime. Una estrella de $1 M_{\odot}$ se comprime hasta aproximadamente $0.6 M_{\odot}$. La estrella se estabiliza ya que la fuerza que ejerce la gravedad hacia el núcleo de la estrella es contrarrestado por la presión de degeneración de los electrones, como consecuencia del principio de exclusión de Pauli.

La temperatura de una enana blanca es más elevada al comienzo de su existencia, aproximadamente de 100.000 K en su superficie y mayor en su núcleo. Su temperatura es tan elevada que gran parte de su energía se pierde en forma de neutrinos en los primeros 10 millones de años.

La composición química de una enana blanca depende de su masa. Una estrella de $8-10 M_{\odot}$ quema carbono para formar oxígeno, neón y magnesio, siempre que cumpla el límite de chandrasekhar, que establece que la masa de la enana no puede superar las $1,44 M_{\odot}$ para que la quema del carbono no sea suficientemente fuerte como para crear una supernova. Una estrella de masa similar al Sol no es lo suficientemente grande para quemar carbono y dará lugar a una enana blanca compuesta principalmente por carbono y oxígeno que tendrá

una masa demasiado baja para colapsar. Una estrella de menos de $0.5 M_{\odot}$ no podrá quemar helio y producirá una enana blanca compuesta principalmente por helio.

En un determinado momento la enana blanca se enfriará y dará lugar a una enana negra, sin embargo, el universo no es suficientemente viejo para que esto haya ocurrido.



Figura 5: Enana blanca

2. Estrellas de neutrones

Si la masa de una enana blanca supera el límite de Chandrasekhar (la masa máxima que puede alcanzar una enana blanca sin que colapse formando una explosión termonuclear), la presión de degeneración (presión que va desde el interior del cuerpo celeste hasta el exterior que evita que la estrella colapse bajo su propia gravedad) no es lo suficientemente fuerte para oponerse a la gravedad y la estrella colapsa. Dependiendo de la temperatura pre-colapso en el núcleo y de la composición química, la estrella se podrá convertir en una supernova y más tarde en una estrella de neutrones.

Para que una estrella se convierta en una estrella de neutrones, su masa inicial ha de ser entre 10 y 25 M. Después de los agujeros negros, estos son los objetos estelares más pequeños y densos. Su radio es de aproximadamente 10 Km. Se forman a partir de la explosión de una supernova, que, combinado con el colapso gravitatorio que comprime el núcleo hasta obtener la densidad de un núcleo atómico.

Una vez formada, la estrella de neutrones ya no produce calor y se enfría, pero siguen evolucionando a través de colisiones de protones y electrones dando lugar a neutrones. Estas estrellas evitan un mayor colapso por la presión de degeneración de neutrones. Sin embargo, la presión de degeneración no es suficiente para evitar el colapso de una estrella de más de $0.7 M_{\odot}$ y las fuerzas nucleares repulsivas desempeñan un papel más importante en el soporte de estrellas de neutrones más masivas.

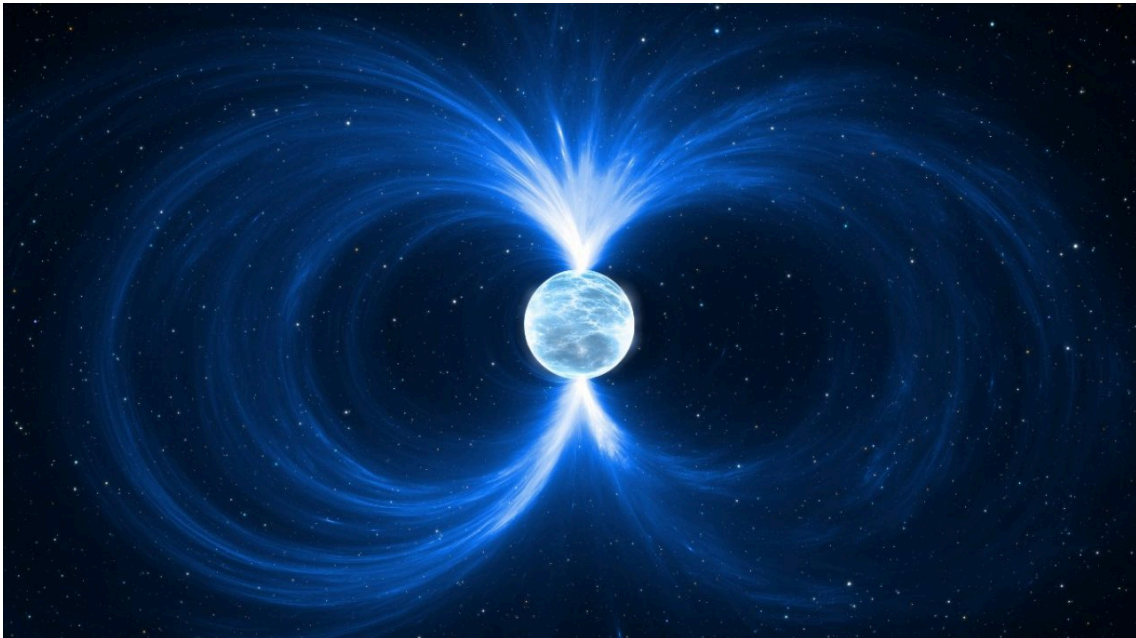


Figura 6: Estrellas de neutrones

3. Agujeros negros

Si la estrella remanente tiene una masa entre $2,2$ y $2,9 M_{\odot}$ (límite de Tolman-Oppenheimer-Volkoff), las fuerzas nucleares repulsivas y la presión de degeneración ya no son suficientes para evitar el colapso y un agujero negro se forma.

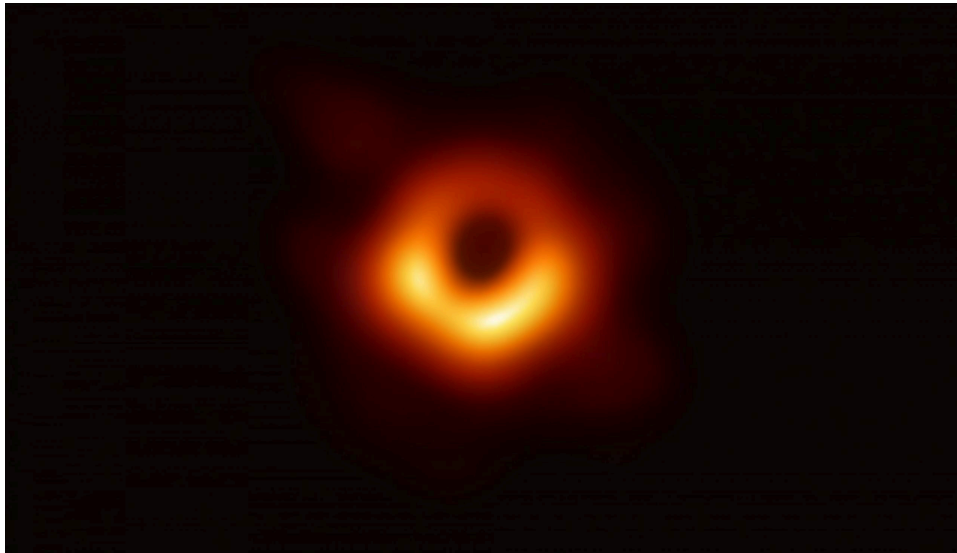


Figura 7: Agujero negro

4.1.2 Clasificación espectral

La mayoría de las estrellas se clasifican usando el sistema de Morgan–Keenan (MK), utilizando las letras O, B, A, F, G, K, y M, desde las más calientes (tipo O) a las más frías (tipo M). Se subdivide cada letra usando un dígito numérico, desde el 0 para las estrellas más calientes y 9 para las más frías.

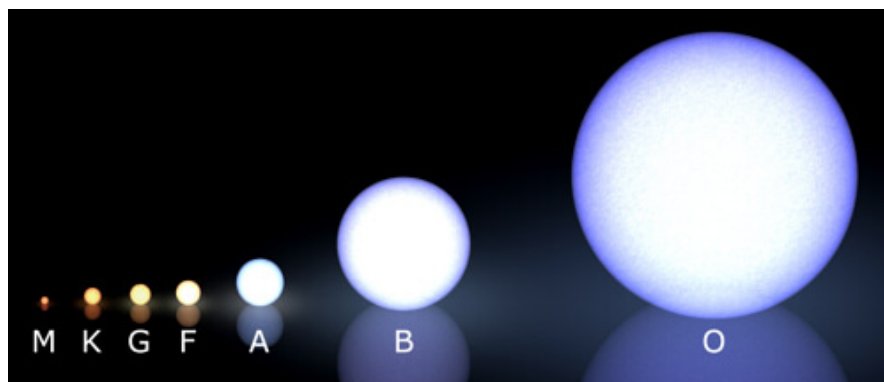


Figura 8: clasificación MK

Clase	Temperatura (kelvin)	Color convencional	Masas (solares)	Radios (solares)	Luminosidad (bolométrica)	Líneas de absorción
O	$\geq 33\,000\text{ K}$	azul	≥ 16	$\geq 6,6$	$\geq 30\,000$	Nitrógeno, carbono, helio y oxígeno
B	$10\,000\text{--}33\,000\text{ K}$	azul a blanco azulado	$2,1\text{--}16$	$1,8\text{--}6,6$	$25\text{--}30\,000$	Helio, hidrógeno
A	$7500\text{--}10.000\text{ K}$	blanco	$1,4\text{--}2,1$	$1,4\text{--}1,8$	$5\text{--}25$	Helio, hidrógeno
F	$6000\text{--}7500\text{ K}$	blanco amarillento	$1,04\text{--}1,4$	$1,15\text{--}1,4$	$1,5\text{--}5$	Hierro, titanio, calcio, estroncio y magnesio
G	$6000\text{--}7500\text{ K}$	amarillo	$0,8\text{--}1,04$	$0,96\text{--}1,15$	$0,6\text{--}1,5$	Calcio, helio, hidrógeno y metales
K	$3700\text{--}5200\text{ K}$	naranja	$0,45\text{--}0,8$	$0,7\text{--}0,96$	$0,08\text{--}0,6$	Metales y óxido de titanio
M	$\leq 3700\text{ K}$	rojo	$\leq 0,45$	$\leq 0,7$	$\leq 0,08$	Metales y óxido de titanio

Figura 9: Sistema de clasificación de Harvard

4.1.3 Clasificación según su luminosidad

Dependiendo de la intensidad de su brillo

1. Supergigantes luminosas.
2. Supergigantes.
3. Gigantes luminosas.
4. Gigantes.
5. Subgigantes.
6. Secuencia principal (enanas).
7. Enanas blancas.

4.1.4 Clasificación según su masa

1. Estrellas de baja masa: 0.1-0.5 masas solares. Incluyen enanas rojas.
2. Estrellas de masa intermedia: 0.5-8 masas solares. Estrellas en la secuencia principal, gigantes y supergigantes.
3. Estrellas masivas: >8 masas solares. Incluyen supergigantes masivas y pueden dar lugar a agujeros negros o estrellas de neutrones.

4.2 Habitabilidad según tipos de estrellas

La habitabilidad planetaria se define como la medida potencial que tiene un cuerpo cósmico de sustentar vida. El único requisito absoluto para la vida como se conoce es una fuente de energía que permita la existencia de agua líquida. Por ello, es interesante determinar la zona de habitabilidad de diferentes estrellas.

Solamente conocemos una estrella capaz de albergar vida, el Sol, la estrella que proporciona luz y calor a la tierra es una estrella de tipo-G de la secuencia principal y clase de luminosidad V, es decir una enana amarilla, cuya zona de habitabilidad mide entre 0.5 y 1 UA. (7)

4.2.1 Habitabilidad en sistemas de enanas blancas

Las enanas blancas, que son tan comunes como estrellas similares al Sol, también podrían proporcionar una fuente de energía para planetas durante millones de años. Las enanas blancas tienen masas 0,4-0,9 $M_{\odot}$ (Provencal et al. 1998) y radios solo $\approx 1\%$ del Sol, aproximadamente del mismo tamaño de la Tierra (Hansen 2004). Las enanas blancas conocidas como frías poseen una temperatura superficial de aproximadamente 5000 K y suelen tener luminosidades de $10^{-4} L_{\odot}$, por lo que un planeta debe orbitar a aproximadamente ≈ 0.01 UA

para estar a una temperatura que permita la existencia de agua líquida en la superficie (Kasting et al. 1993), la llamada zona habitable.

En una estrella similar al Sol, al acabar su combustible y antes de convertirse en una enana blanca, se expande hasta convertirse en una gigante roja, absorbiendo todos los planetas a 1 UA (e.g., Nordhaus et al. 2010), por lo que el planeta en cuestión debería de formarse después de este suceso para tener la posibilidad de albergar vida.

Las enanas blancas se enfrían lentamente hasta convertirse en una enana negra, pero en su comienzo como enana blanca son demasiado calientes para albergar vida. Un planeta a 0.01 UA de distancia de la estrella tiene aproximadamente 8 Gyr en los que pueda haber agua líquida. (8)

4.2.2 Habitabilidad en sistemas de gigantes rojas

En un futuro lejano, cuando nuestro Sol se convierta en una Gigante Roja, la zona habitable del Sistema Solar podría desplazarse hacia los planetas exteriores, donde las lunas de Júpiter y Saturno podrían ser habitables, ya que todos los cuerpos celestes a 1 UA de distancia serán absorbidos por la expansión de la estrella.

Cuando una estrella abandona la Secuencia Principal y comienza su evolución hacia la Rama de Gigante Roja, sufre una serie de cambios. A medida que avanza la fusión del hidrógeno en el núcleo de una estrella de la Secuencia Principal, su temperatura y su luminosidad aumentan lentamente con el tiempo. Al final de la etapa de la Secuencia Principal, el núcleo de una estrella está compuesto de helio, mientras que el hidrógeno comienza a arder en la envoltura que rodea al núcleo. A continuación, su temperatura disminuye moderadamente y su radio y luminosidad aumentan significativamente.

A medida que la estrella evoluciona más allá de la Secuencia Principal, las órbitas de sus planetas también evolucionarán. Debido a la pérdida de masa de la estrella, los planetas que la rodean se desplazarán hacia el exterior (Zahn 1977).

Investigaciones previas de Jiang y Zhu en 2018, encontraron una relación entre la masa del planeta y el radio estelar con la habitabilidad en los sistemas.

Estudiando la masa del planeta (M_p), el radio de la estrella (R_s) y el semieje mayor orbital (diámetro mayor de la elipse) (a), se puede estudiar la población de planetas alrededor de gigantes rojas. En un gráfico de semieje mayor frente al radio estelar se puede especular la falta de población de planetas alrededor de gigantes rojas con semieje mayor por encima de 4 UA. Este fenómeno explica porque la mayoría de los planetas habitables descubiertos hasta ahora orbitan alrededor de subgigantes rojas o gigantes rojas en sus primeras etapas.

La mayoría de planetas que se encuentran en la zona habitable de una gigante roja son de tipo gaseoso, lo que imposibilita el desarrollo de vida. Sin embargo, algunos de estos planetas poseen lunas las cuales podrían poseer los requisitos básicos para albergar vida.

En un sistema de una gigante roja, además de tener una temperatura que permita la existencia de agua líquida para posibilitar vida, la radiación de cuerpo negro absorbida por el planeta ha de ser equilibrado con la radiación que absorbe de la estrella.

Por otro lado, los planetas que orbitan gigantes rojas más calientes, reciben mayor cantidad de rayos UV, lo que aumenta el O₃ y el efecto invernadero. Solo las estrellas tipo K y M (3700K - 5200K) podrían evitar el exceso de O₃.

4.2.3 Habitabilidad en sistemas de estrellas de neutrones

Una de las principales características que imposibilita la vida alrededor de una estrella de neutrones es su elevada emisión de rayos-X . Esta radiación, como Smith et al. (2004) y Cecchi-Pestellini et al. (2009) han demostrado, puede producir un gran aumento de temperatura en los planetas que orbitan a este tipo de estrellas. Sin embargo, si la atmósfera del planeta es lo suficientemente gruesa, podría evitar el paso de los rayos-X al planeta. Para que esto ocurra, la estrella no debe emitir vientos púlsares.

Los vientos púlsares son restos de una supernova alimentados por una estrella de neutrones que gira a grandes velocidades (púlsar). La rotación del púlsar produce un viento y, posteriormente, rayos gamma. Para que un planeta tenga condiciones similares a las terrestres, su estrella ha de tener la menor luminosidad posible, encontrarse a una distancia de 0.2-0.6 UA para que la temperatura en superficie sea de 175-275K. Aún así, cumpliendo todos estos requisitos, una atmósfera similar a la de la Tierra sólo podría existir durante pocos cientos de años, lo que imposibilita la formación de vida. **(9)**

4.2.4 Habitabilidad en sistemas de enanas marrones

Una enana marrón es un cuerpo celeste que no es lo suficientemente grande para poseer suficiente presión central que fusione hidrógeno, por lo tanto, no se considera una estrella. Sin embargo, estos cuerpos celestes convierten su energía gravitacional en calor (Burrows et al. 1997; Baraffe et al. 2003) gracias a su contracción lenta, lo que convierte a una enana marrón capaz de sustentar una zona habitable.

Las enanas marrones son objetos que queman deuterio y son menos luminosas que las estrellas en la secuencia principal. Normalmente, poseen masas de 13-80 M_J . Al no quemar hidrógeno, estos objetos se enfrían tras millones de años.

Las enanas marrones sufren una serie de problemas críticos de habitabilidad, tales como el fuerte calentamiento por mareas, la pérdida de agua por el bombardeo de fotones de alta espectral muy diferente a la del Sol y un enfriamiento primario.

Como las luminosidades de las enanas marrones cambian drásticamente con el tiempo, la zona habitable se desplaza hacia el interior, dónde los planetas experimentan una fase de invernadero y pierden su agua antes de que la zona de habitabilidad interna alcance su órbita y, por tanto, son inhabitables.

Una vez que un planeta que orbita una enana marrón se encuentre en la zona habitable, debe cumplir los siguientes requisitos para poder albergar vida: 1) la órbita ha de ser lo más circular posible para evitar un efecto invernadero creado por las mareas, 2) cierta cantidad de agua ha de superar la fase de invernadero, 3) debe existir algún mecanismo para bajar los niveles de CO₂ y reducir el efecto invernadero.

4.2.5 Habitabilidad en sistemas de estrellas en la Secuencia Principal

1. Las estrellas tipo F son estrellas con una masa 1-1,4 $M_{\odot}$ y temperaturas de 6000-7500 K. La zona habitable en un sistema de enana blanco-amarillenta F0 (más caliente) se estima que se sitúa a 2-3,7 UA de la estrella y 1,1-2,2 UA para una F8 (más fría).

Sin embargo, las estrellas de tipo F irradian formás energéticas de luz más altas como radiación UV, que a largo plazo pueden afectar negativamente al ADN. Para minimizar el impacto de la radiación, el planeta ha de tener una capa de ozono que no permita el traspaso de esta. De todas formas, sin esta capa de ozono, la vida podría desarrollarse limitándose a regiones submarinas o subterráneas.

2. Las estrellas tipo G, o enanas amarillas, tienen masas de entre $0,9 - 1,1 M_{\odot}$ y una temperatura de entre 5000-6000 K. La zona habitable de estas estrellas es la única que coincide por completo con la zona de habitabilidad ultravioleta. Los planetas que orbitan este tipo de estrellas no sufren acoplamiento por marea y su rotación no está relacionada con su órbita.

La zona de habitabilidad varía según la luminosidad y tamaño, aunque el límite interno está a 0,84 UA y el externo a 1,67 UA para una estrella similar al Sol. Cerca del límite de habitabilidad interno, se desencadenaría la evaporación del agua, separación del hidrógeno por fotólisis y pérdida de hidrógeno al espacio. Para los planetas fuera del límite externo, la temperatura baja permitiría la existencia de CO₂ líquido, lo que produciría la retroalimentación del efecto invernadero y, consecuentemente, una glaciación global.

Dada la duración de la secuencia principal, la zona de habitabilidad y la ausencia de acoplamiento por marea, este tipo de estrellas, Junto a las K, son consideradas las más hospitalarias.

3. Las estrellas tipo K, con masas de $0,6-1 M_{\odot}$, tienen un radio y luminosidad que se sitúa entre las enanas rojas y las enanas amarillas. Estas estrellas marcan el límite de acoplamiento por mares y los planetas en la zona de habitabilidad de estas tendrán ciclos de día y de noche como en la Tierra. La zona habitable se sitúa a 0,5-0.9 UA, según el tamaño y la luminosidad. Estas estrellas se consideran aún más hospitalarias que las enanas amarillas, debido a su baja radiación UV. En la revista *Astrobiology* (enero de 2014), René Heller y John Armstrong debaten la posibilidad de que existan exoplanetas más aptos para la vida que la Tierra, llamados planetas superhabitables.

4.2.6 Habitabilidad en sistemas de estrellas Variables

Las estrellas variables son aquellas vistas desde la Tierra experimentan cambios en su magnitud aparente con el paso del tiempo. Esto puede ser causado por cambios en su luminosidad porque la estrella se expande y contrae periódicamente. Por estas variaciones de luminosidad, una zona habitable podría existir, pero cambiaría constantemente, lo que imposibilita la vida.

4.2.7 Habitabilidad en sistemas de Enanas Rojas

Las enanas rojas conforman el 73% de las estrellas de la Vía Láctea. Debido a su baja luminosidad, de clasificación estelar tipo M y K-tardío, no son visibles desde la Tierra.

Debido a su baja masa, comprendida entre 0,1 y 0,6 M, las reacciones termonucleares en su núcleo son extremadamente lentas, resultando en una luminosidad de 3% y 0.01% la del Sol y una temperatura baja, de 4000K. Como consecuencia, cualquier objeto que orbite a una enana roja, ha de tener un semieje mayor (distancia media de la órbita) menor que en la Tierra para mantener una temperatura similar en la superficie, de aproximadamente 0.3 UA . La mayor parte de la luz irradiada se encuentra en la parte infrarroja del espectro electromagnético, con una energía lumínica notablemente inferior que los picos de luz visible del Sol. Así pues, la fotosíntesis en un sistema que orbita una enana roja necesitaría fotones adicionales para tener una producción similar a la fotosintética terrestre, debido al bajo nivel de energía de los fotones cercanos al infrarrojo. Como consecuencia de estas adaptaciones, el color de la vegetación aparecería negro o marrón ante la luz visible.

Dada la gran capacidad del agua para absorber la luz infrarroja y roja, podría afectar la capacidad de glaciación global permanente en planetas cercanos al límite exterior de habitabilidad.

La distancia del exoplaneta respecto a la enana roja a la cual orbita ha de ser tan corta que una cara del exoplaneta estaría permanentemente mirando hacia la estrella, y la otra en oscuridad perpetua (anclaje por marea). Bajo estas circunstancias se crearían diferencias térmicas entre ambos hemisferios y la vida se limitaría a la zona de crepúsculo, entre ambos hemisferios.

Debido a las diferencias de temperatura, un planeta anclado por marea sufriría fuertes vientos hacia el hemisferio nocturno y lluvias torrenciales en el punto subsolar. Bajo tales condiciones la vida compleja sería altamente improbable, los vegetales deberían adaptarse para resistir a los vendavales y la visión de los animales estaría basada en los infrarrojos, sin embargo, la vida acuática estaría a salvo. **(10)**

5. Metodología

Uno de los objetivos de este trabajo es hacer una estimación aproximada de la cantidad de estrellas que hay cerca del Sol y calcular la cantidad de cada tipo de estrella que hay, para después compararla con la información obtenida sobre la habitabilidad de las estrellas y así conseguir el nombre de algunas estrellas cercanas a nuestro sistema solar que podrían albergar vida. Para esto se ha de hacer una representación de un diagrama HR en el que se compara el color de una estrella comparando la resta de la Magnitud B menos la Magnitud V (eje horizontal) y la luminosidad de la estrella, hallando la magnitud relativa de esta (eje vertical)

Este diagrama es de gran ayuda porque como demostraron los investigadores Ejnar Hertzsprung y Henry Morris Russel, la luminosidad de una estrella y su temperatura y color tienen una correlación. **(11)**

Para conseguir los datos necesarios de las estrellas cercanas al Sistema Solar, por ejemplo los diferentes tipos de magnitudes, la paralaje de las estrellas o su tipo espectral utilizamos SIMBAD (Set of Indications, Measurements, and Bibliography for Astronomical Data), una base de datos astronómica de estrellas que están fuera del sistema solar. **(12)**

Dentro de SIMBAD se pueden utilizar diferentes métodos de búsqueda como la búsqueda por identificador, donde buscando el nombre de estrellas específicas se muestran los datos de estas; la búsqueda por coordenadas, donde se buscan los datos de las estrellas mediante las coordenadas de estas o la búsqueda por criterios, en la cual se muestran las estrellas que cumplen los criterios que se deseen (por ejemplo, las estrellas con paralajes >100 y magnitud $V > 15$). En nuestro caso era más sencillo utilizar la búsqueda por criterios, ya que se requería de una búsqueda muy amplia de las estrellas cercanas al Sol, por lo que era la opción más adecuada.

En esta base de datos se buscaron las estrellas con una paralaje mayor a 80 mas (mili arcosegundos) o lo que es lo mismo, 12.5 parsecs. Para encontrar estrellas cercanas al Sol y estrellas cuya magnitud B y V sea mayor que 0, ya que estas dos magnitudes son necesarias para calcular el color de la estrella en la gráfica (eje horizontal).

En la base de datos se puede obtener la magnitud aparente de las estrellas, por lo que se debe utilizar la fórmula de la magnitud absoluta nombrada anteriormente ($M = m + 5 - 5 \cdot \log(d)$). Para hallar los datos del eje vertical se necesita la Magnitud absoluta, pero SIMBAD solo aporta datos referentes a la magnitud relativa de las estrellas. Para conseguir la magnitud absoluta, primero hay que sumar a la magnitud relativa la corrección bolométrica (la cual siempre es un número negativo, como se ve en la gráfica de abajo) para obtener la magnitud bolométrica. La magnitud bolométrica es la magnitud aparente que tendría una estrella si la emisión de energía de esta se pudiera medir sin contar la atmósfera integrada a todas las longitudes de ondas. Debido a que se busca la magnitud sin contar ni la atmósfera e integrada a todas las longitudes de onda, se requiere calcular la magnitud bolométrica. La corrección bolométrica es grande para las estrellas que irradian la mayor parte de su energía fuera del rango visible y depende del tipo espectral de cada estrella, que puede ser encontrado en SIMBAD.

Spectral type	Main Sequence	Giants	Supergiants
O3	-4.3	-4.2	-4.0
G0	-0.10	-0.13	-0.1
G5	-0.14	-0.34	-0.20
K0	-0.24	-0.42	-0.38
K5	-0.66	-1.19	-1.00
M0	-1.21	-1.28	-1.3

Figura 10: Corrección bolométrica de los diferentes tipos de estrellas.

Después de haber hecho las correcciones se obtiene la magnitud aparente que tendría una estrella si la emisión de energía pudiera medirse en ausencia de la atmósfera y en todas las longitudes de onda. Después de esta corrección hay que restarle la magnitud absoluta del sol (4.74) , ya que buscamos normalizar los datos a magnitudes solares para que sea más fácil interpretarlas en la gráfica. Hacer esto resulta útil porque de esta forma se puede comparar fácilmente la magnitud de las estrellas que han sido halladas con la del sol y así saber qué estrellas tienen un brillo mayor al del sol y cuáles tienen uno menor.

Una vez obtenidos los datos necesarios, hemos hecho una gráfica con los datos. Debido a que buscamos medir la luminosidad, que es inversamente proporcional a la magnitud absoluta de una estrella (lo que significa que si una estrella tiene una magnitud absoluta muy grande, su luminosidad será baja) y que en google sheets no se puede invertir el eje vertical; es necesario multiplicar la magnitud absoluta que se ha obtenida por -1. De esta forma, las estrellas que tengan una magnitud absoluta muy alta aparecerán en la gráfica como estrellas con una luminosidad baja.

Diagrama HR estrellas cercanas al sol

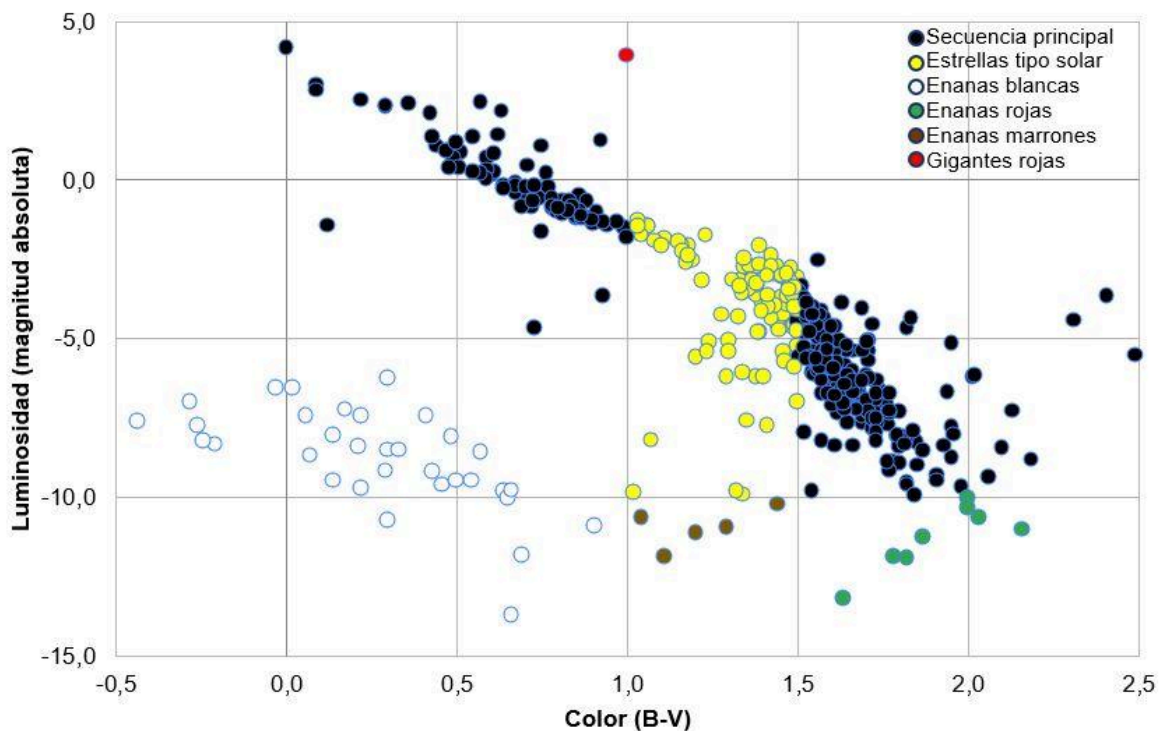


Figura 11: Diagrama HR de las estrellas cercanas al sol.

Al hacer esto, sale una gráfica similar a la de los diagramas HR. Gracias a este diagrama se puede deducir cuántas estrellas cerca del sol son enanas blancas (las que se encuentran en la parte de abajo a la derecha), cuántas pertenecen a la secuencia principal y cuántas son gigantes rojas.

Después de esto, la suma de la magnitud V y la magnitud bolométrica fue utilizada para crear un histograma donde se estudia la luminosidad. Este gráfico puede ser útil para cuantificar la cantidad de estrellas de cada tipo hay. En este histograma, las gigantes rojas, son las estrellas que se encuentran en la derecha, ya que estas tienen una luminosidad alta; las pertenecientes a la secuencia principal están en el centro; las similares al sol están a la izquierda del centro y las enanas blancas son las que están a la izquierda del histograma.



Figura 12: Histograma de luminosidad de las estrellas

Para calcular aproximadamente la cantidad de cada tipo de estrellas, las clasificamos siguiendo la siguiente tabla:

<u>Si cumple:</u>	<u>Tipo estrella</u>
Luminosidad >0 ,Color <0.5	Secuencia principal
Luminosidad <0 y >-5 , Color <0.5	Secuencia principal
Luminosidad <-5 y >-10 , Color <0.5	Enanas blancas
Luminosidad <-10 , Color <0.5	Enanas blancas
Luminosidad >0 , color >0.5 y <1	Secuencia principal
Luminosidad <0 y >-5 , color >0.5 y <1	Secuencia principal
Luminosidad <-5 y >-10 , color >0.5 y <1	Enanas blancas
Luminosidad <-10 , color >0.5 y <1	Enanas blancas
Luminosidad >0 , color >1 y <1.5	Gigantes rojas
Luminosidad <0 y >-5 , color >1 y <1.5	Secuencia principal/Estrellas solares
Luminosidad <-5 y >-10 , color >1 y <1.5	Secuencia principal/Estrellas solares
Luminosidad <-10 , color >1 y <1.5	Enanas marrones
Luminosidad >0 , color >1.5	Gigantes rojas
Luminosidad <0 y >-5 , color >1.5	Secuencia principal
Luminosidad <-5 y >-10 , color >1.5	Secuencia principal
Luminosidad <-10 , color >1.5	Enanas rojas

Figura 13:Tipo de estrella según su luminosidad y color

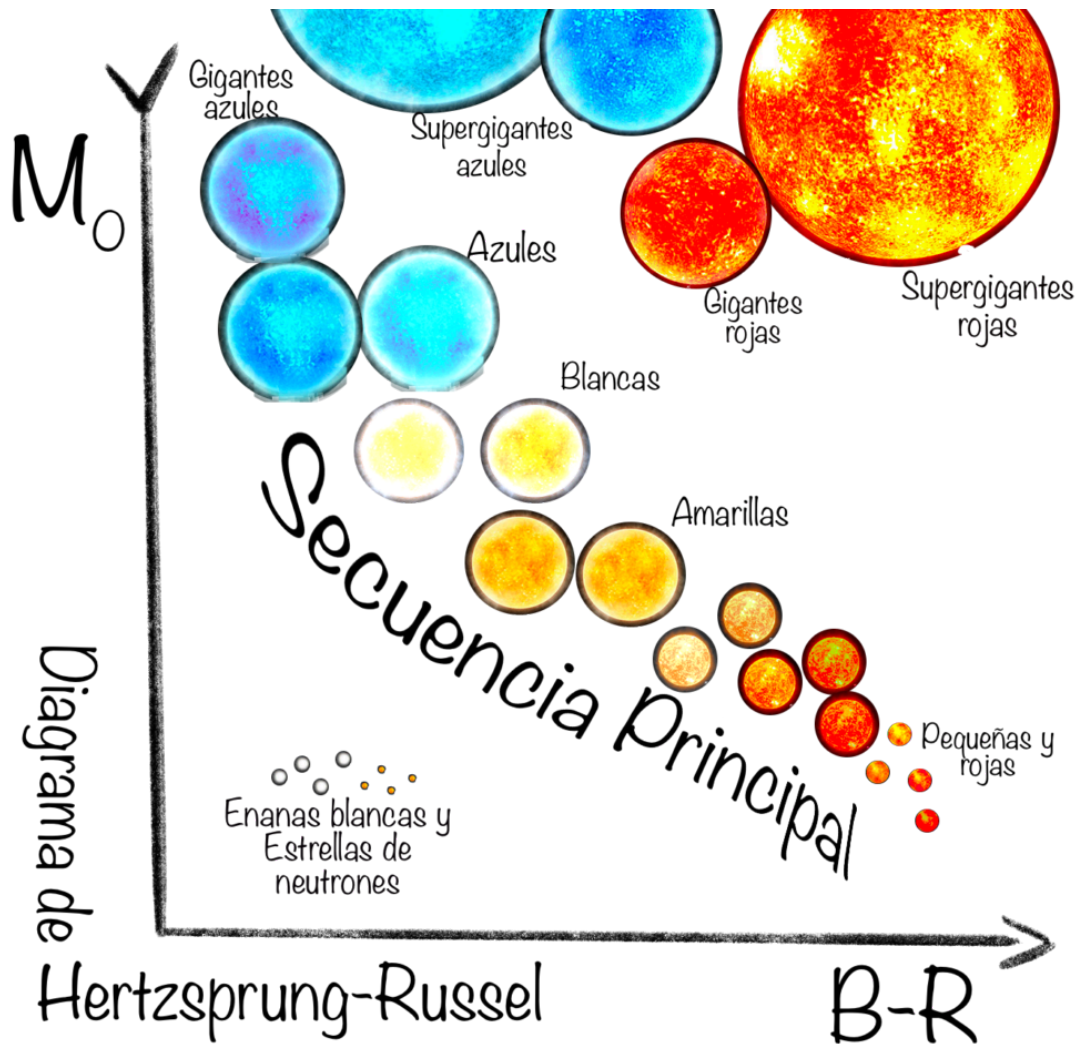


Figura 14: Localización de las estrellas en un diagrama HR según su tipo

Gracias a estos datos es posible hacer una estimación que muestra que en total hay aproximadamente 1 Gigante roja, 33 enanas blancas, 288 de la secuencia principal, 98 estrellas de tipo solar, 5 enanas marrones y 8 enanas roja, o lo que es lo mismo; un 0.2% de gigantes rojas, un 7.6% de enanas blancas, un 66.6% de estrellas pertenecientes a la secuencia principal, un 22.6% de estrellas de características similares a las del sol, un 1.2% de enanas marrones y un 1.8% de enanas rojas.

Distribución de estrellas según su tipo

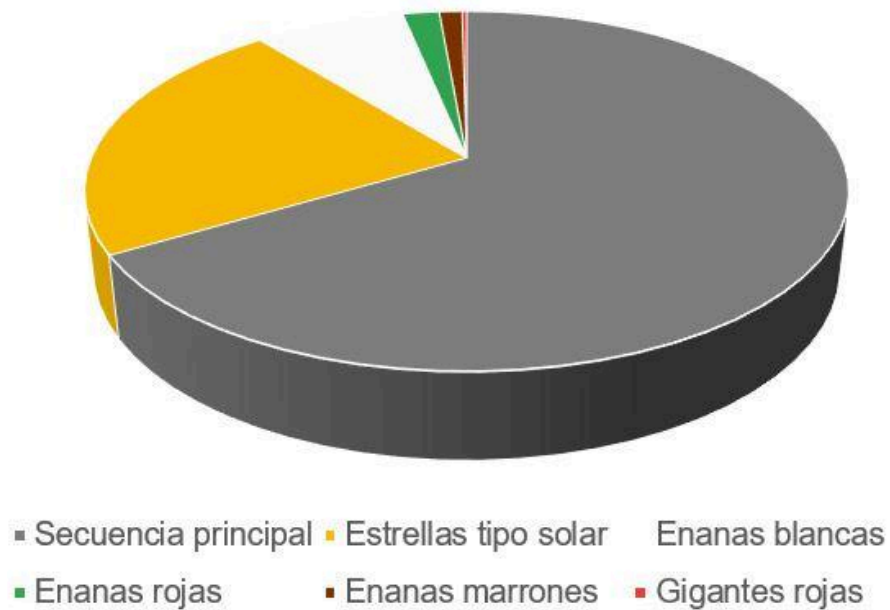


Figura 15:Distribución de estrellas según su tipo

Finalmente se hace una investigación de 200 de las estrellas cercanas al sol en la base de datos “NASA Exoplanet Archive”, una base de datos de la NASA que se especializa en los exoplanetas de las estrellas. En esta base de datos se descubre que de las 200 estrellas cercanas al sol, hay 31 estrellas con exoplanetas y 63 exoplanetas en total, por lo que aproximadamente por cada estrella con exoplanetas tiene 2.(13)

6. Resultados

Gracias a los datos obtenidos, es posible calcular que un 15.5% de las estrellas sobre las que se ha investigado tienen exoplanetas y un 84.5% no. De todas estas estrellas, hay 4, es decir, un 2% que tienen exoplanetas en la zona de habitabilidad. Estas son: Ross 128, Teengardens, Sigma Draconis y HD 40307. Si extrapolamos estos datos a la cantidad de estrellas que hay en la vía láctea (entre 100.000 millones y 400.000 millones **(14)**) podemos deducir que debería de haber un aproximado de entre 15.500 millones y 62.000 millones de estrellas con exoplanetas de los cuales entre 2.000 millones y 8.000 millones estarán en la zona de habitabilidad. Posteriormente se hablará de las estrellas encontradas que podrían estar en la zona de habitabilidad.



Figura 16: Distribución de los exoplanetas de las estrellas

6.1 Habitabilidad en el sistema de HD 222237

Esta estrella es una enana naranja, está a 37 años luz del Sol y tiene una temperatura superficial de aproximadamente 4.781 K, una luminosidad de $0.25 L_{\odot}$, un radio de $0.71 R_{\odot}$ y una masa $0.7 M_{\odot}$.

El único exoplaneta que lo orbita conocido es HD 222237 b con masa $5.1917 M_{\text{Jupiter}}$, un periodo de 48 días terrestres y su distancia a la estrella es de 10.8 AU. Como hemos mencionado anteriormente, para una estrella de este tipo, la zona de habitabilidad se encuentra entre 0.5 y 1 UA. Por lo tanto, es evidente que este exoplaneta es demasiado frío para poseer agua líquida, además de ser de tipo gaseoso y poseer una gravedad demasiado elevada como para poseer vida. **(15)**

6.2 Habitabilidad en el sistema HD 85512

Esta estrella es una enana naranja, se encuentra a 37 años luz del Sol. Su masa es de $0.69 M_{\odot}$, su luminosidad es de $0.126 L_{\odot}$, su radio de $0.53 R_{\odot}$ y su temperatura superficial es de 4530K.

El exoplaneta que le órbita es HD 85512 b, cuya masa es de $3.6 M_{\text{Tierra}}$, periodo desconocido y una distancia a la estrella que orbita de 0.26 UA. Para una estrella de este tipo, la zona habitable se encuentra a 0.5 y 1 UA. Evidentemente, el planeta está demasiado caliente para albergar agua líquida y por lo tanto no es habitable. **(16)**

6.3 Habitabilidad en el sistema de 61 Virginis

Esta estrella es una enana amarilla a 28 años luz del Sol. Su masa es de $0.93 M_{\odot}$, tiene un radio de $0.99 R_{\odot}$, una luminosidad de $0.82 L_{\odot}$ y una temperatura superficial de 5585 K, lo que la convierte en una estrella extremadamente parecida al Sol.

En su sistema se encuentran tres estrellas: 61 Virginis b, 61 Virginis c y 61 Virginis d.

El planeta 61 Virginis b posee una masa de $6.4 M_{\text{Tierra}}$, un radio de $1.6 R_{\text{Tierra}}$, una distancia a su estrella de 0.05 UA y un periodo de 4 días.

El planeta 61 Virginis c posee una masa de $19.1 M_{\text{Tierra}}$, un radio desconocido, un periodo de 38 días y una distancia a la estrella de 0.21 UA.

El planeta 61 Virginis d posee una masa de $22.3 M_{\text{Tierra}}$, un radio desconocido, un periodo desconocido y una distancia a la estrella de 0.47 UA.

La zona de habitabilidad en un sistema de una enana amarilla es de 0,84 UA a 1,67 UA. Como se puede ver las tres estrellas en este sistema están demasiado cerca de esta estrella para tener una temperatura que permita la existencia de agua líquida. (17)

6.4 Habitabilidad en el sistema de Ross 128

Ross 128 es una estrella que se encuentra a 11 años luz del Sol. Posee una masa de $0.168 M_{\odot}$, un radio de $0.197 R_{\odot}$, una luminosidad de $0.00362 L_{\odot}$ y una temperatura de 3192 K.

En su sistema hay un exoplaneta llamado Ross 128 b, con una masa de $1,4 M_{\text{Tierra}}$, un tamaño de $1,2 R_{\text{Tierra}}$, un periodo de 9,8 días y una distancia a la estrella de 0.05 UA. Este planeta se encuentra en la zona habitable de Ross 128, y tiene una temperatura superficial media de 260 K, lo que podría permitir la existencia de agua líquida. No obstante la posibilidad de albergar agua líquida, este planeta se encuentra extremadamente cerca de la estrella, lo que conlleva una serie de problemas: la mayor parte de la luz irradiada es de tipo infrarrojo, lo que produciría que la fotosíntesis necesitaría fotones adicionales para tener una producción similar a la fotosintética terrestre, debido al bajo nivel de energía de los fotones; la distancia del exoplaneta respecto a la enana roja a la cual orbita es tan corta que una cara del exoplaneta estaría permanentemente mirando hacia la estrella, y la

otra en oscuridad perpetua (anclaje por marea), se crean diferencias térmicas entre ambos hemisferios y la vida se limitaría a la zona entre un hemisferio y otro; debido a la fuerte diferencia de temperatura habría vientos fuertes y lluvias torrenciales. La vida inteligente en este planeta es altamente improbable, pero la acuática o vegetal en un planeta así se podría suceder. **(18)**

6.5 Habitabilidad en el sistema de Teengardens

Teengardens es una estrella que se encuentra a 12 años luz del Sol. Posee una masa de $0.08 M_{\odot}$, un radio de $0.14 R_{\odot}$, una luminosidad de $1/300.000 L_{\odot}$ y una temperatura de 2904 K.

En su sistema se encuentra el planeta Teengardens B, con una masa de 1,05 M Tierra, un radio probablemente similar al terrestre, un periodo de 4.91 días y una distancia a la estrella de 0.0259 UA. Este planeta se encuentra en la zona habitable de Teengardens, y tiene una temperatura superficial media de 277 K, lo que podría permitir la existencia de agua líquida. Esta estrella es más inactiva que Ross 128, lo que mejoraría las condiciones de habitabilidad ligeramente. Del mismo modo que el anterior, este planeta tiene unas circunstancias complicadas para albergar vida. **(19)**

6.6 Habitabilidad en el sistema de Sigma Draconis

Sigma Draconis es una enana naranja que se encuentra a 19 años luz de Sol. Tiene una masa de $0.85 M_{\odot}$, su radio es de $0.78 R_{\odot}$, su temperatura es de 5338 K y su luminosidad es $0,41 L_{\odot}$.

En su sistema se halla una planeta, Sigma Draconis b, aunque todavía no está confirmado. Su masa es de 12 M Tierra y su distancia a Sigma Draconis es de 0.814 UA. La zona habitable de una enana naranja se encuentra a 0,5-0.9 UA, por lo tanto este exoplaneta está en la zona habitable. Sin embargo, este exoplaneta es de tipo gaseoso, pero podría existir vida en su atmósfera o es alguna de sus posibles lunas. **(20)**

6.7 Habitabilidad en el sistema de HD 40307

Esta enana naranja se encuentra a 42 años luz del Sol. Tiene una masa de $0.75 M_{\odot}$, su radio es de $0.72 R_{\odot}$, su temperatura es de 4774 K y su luminosidad es $0,23 L_{\odot}$.

En su sistema se encuentran los planetas HD 40307 b, HD 40307 c, HD 40307 d, HD 40307 e, HD 40307 f y HD 40307 g, aunque solo esta última se encuentra en su zona habitable (0.5-0.9 UA). HD 40307 g tiene una masa de $7.1 M_{\oplus}$ y una distancia a la estrella de 0.6 UA. Debido a sus condiciones, este exoplaneta podría tener agua líquida. **(21)**

7.Conclusiones

Tras esta investigación se ha podido deducir que a 12.5 parsecs de distancia del sol hay un 0.2% de gigantes rojas, un 7.6% de enanas blancas, un 66.6% de estrellas pertenecientes a la secuencia principal, un 22.6% de estrellas de características similares a las del sol, un 1.2% de enanas marrones y un 1.8% de enanas rojas. También ha facilitado el porcentaje de estrellas con exoplanetas hay a esta distancia del sol y cuántos de estos exoplanetas están en la zona de habitabilidad (el 15.5% de las estrellas tenían exoplanetas y un 2% de las estrellas tenían exoplanetas en la zona de habitabilidad). Esta información permite extrapolar los datos y deducir que, si en la vía láctea hay unas 100.000 millones de estrellas, habrá un aproximado de 200 millones de gigantes rojas, 7.600 millones de enanas blancas, 66.600 millones de enanas blancas, 22.600 millones de estrellas de tipo solar, 1.200 millones de enanas marrones y 1.800 millones de enanas rojas. Gracias a estos datos también es posible deducir que en la vía láctea hay aproximadamente 15.500 millones de estrellas con exoplanetas de los cuales 2.000 millones estarán en la zona de habitabilidad.

Por otro lado, hemos podido analizar la habitabilidad de exoplanetas cercanos al Sol, descubriendo que no es tan complicado que un planeta tenga las condiciones para albergar agua líquida, ya que solo a 12.5 parsecs hemos encontrado cuatro posibilidades. No obstante, aunque el agua es considerada la base de la vida, no es el único requisito necesario para la creación de esta.

8. Bibliografía

1. Acosta, M. B. (2023, 1 septiembre). Tipos de estrellas. *ecologiaverde.com*. **(6)**
https://www.ecologiaverde.com/tipos-de-estrellas-2677.html#anchor_2 (3/2/24)
2. Agol, E. (2011). TRANSIT SURVEYS FOR EARTHES IN THE HABITABLE ZONES OF WHITE DWARFS. *The Astrophysical Journal. Letters*, 731(2), L31. **(8)**
<https://doi.org/10.1088/2041-8205/731/2/L31> (15/06/24)
3. AstroAfición. (2017, enero 19). La magnitud de las estrellas. *Astroafición*. **(5)**
<https://astroaficion.com/2017/01/19/magnitud/> (14/2/24)
4. AstroAfición. (2019, mayo 13). ¿Qué es una unidad astronómica? Medidas astronómicas II. *AstroAfición*. **(3)**
<https://astroaficion.com/que-es-una-unidad-astronomica-medidas-astronomicas-ii/> (20/2/24)
5. Astropedia, C. T. (s. f.). Variable luminosa azul. *Astropedia*.
https://astronomia.fandom.com/wiki/Variable_luminosa_azul (11/2/24)
6. Clasificación de las estrellas. (s. f.). **(6)**
<https://www.astromia.com/universo/clasestrellas.htm> (11/2/24)

7. colaboradores de Wikipedia. (2023, 4 diciembre). Evolución estelar. Wikipedia, la enciclopedia libre. https://es.wikipedia.org/wiki/Evoluci%C3%B3n_estelar (3/2/24)

8. colaboradores de Wikipedia. (2023, octubre 26). Magnitud absoluta. Wikipedia, la Enciclopedia Libre. **(5)**
https://es.wikipedia.org/wiki/Magnitud_absoluta (27/1/24)

9. colaboradores de Wikipedia. (2024, enero 27). Clasificación estelar. Wikipedia, la Enciclopedia Libre. **(6)**
https://es.wikipedia.org/wiki/Clasificaci%C3%B3n_estelar (11/2/24)

10. colaboradores de Wikipedia. (2024a, enero 22). Espectroscopia. Wikipedia, la Enciclopedia Libre. <https://es.wikipedia.org/wiki/Espectroscopia> (12/2/24)

11. colaboradores de Wikipedia. (2024, febrero 4). Pársec. Wikipedia, la Enciclopedia Libre. <https://es.wikipedia.org/wiki/P%C3%A1rsec> (14/12/24) **(2)**

12. colaboradores de Wikipedia. (2024b, junio 7). Habitabilidad en sistemas de enanas rojas. Wikipedia, la Enciclopedia Libre. **(10)**
https://es.wikipedia.org/wiki/Habitabilidad_en_sistemas_de_enanas_rojas (18/06/24)

13. colaboradores de Wikipedia. (2024b, junio 17). Neutron star. Wikipedia. **(9)**
https://en.wikipedia.org/wiki/Neutron_star (10/06/24)

14. colaboradores de Wikipedia. (2024, 29 mayo). Habitabilidad planetaria.

Wikipedia, la Enciclopedia Libre. **(7)**

https://es.wikipedia.org/wiki/Habitabilidad_planetaria (15/06/24)

15. ESA. (2020, marzo 18). Proxima Centauri, nuestra vecina de al lado. ESA **(3)**

https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Spain/Proxima_Centauri_nuestra_vecina_de_al_lado (17/2/24)

16. Espada, B (2021, abril 23). ¿Qué distancia existe entre la tierra y el sol?. OkDiario **(2)**

<https://okdiario.com/curiosidades/cual-distancia-tierra-sol-1962124> (19/01/2024)

17. Espectroscopía y espectros. (s. f.).

<https://web.ua.es/es/cuantica/docencia/qce/temas-7-9/node34.htm#:~:text=Cuando%20la%20materia%20es%20excitada,a%20los%20espectros%20de%20emisi%C3%B3n>. (9/06/24)

18. Equipo editorial, Etecé. (2022, 14 julio). Estrellas - concepto, tipos, características y ejemplos. Concepto. <https://concepto.de/estrellas/> (3/2/24)

19. Magazine, J. E. G. / . M. S. C. / . W. (s. f.). El ciclo de vida de las estrellas, en Waste Magazine. Waste Magazine. <https://wastemagazine.es/cosmos2.htm> (3/2/24)

20. Martín, G. (2023, 19 diciembre). ¿Cuántas estrellas se ven en el cielo y qué porcentaje del universo representan? Tiempo.com | Meteored. **(14)**

<https://www.tiempo.com/noticias/actualidad/cuantas-estrellas-se-ven-en-el-cielo-y-que-porcentaje-del-universo-representan.html#:~:text=Si%20consideramos%20el%20n%C3%BAmero%20estimado,fracci%C3%B3n%20min%C3%BAscula%20de%20ese%20total> (9/10/24)

21. NASA Exoplanet Archive **(13)**

<https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/>

22. Rodríguez, E. (2023, junio 3). Diagrama HR: qué es, quién lo inventó y cómo funciona. Online Star Register. **(11)**

<https://osr.org/es/blog/astronomia/diagrama-hr/>

23. SIMBAD **(12)**

<https://simbad.u-strasbg.fr/simbad/sim-fbasic>

24. Sociedad Española de Astrónomos. (s. f.). Diagrama de Hertzsprung-Russell. SEA. **(11)**

<https://www.sea-astronomia.es/glosario/diagrama-de-hertzsprung-russell>

(14/2/24)

25. Sociedad Española de Astrónomos. (s. f.). Magnitud. SEA. **(5)**

<https://www.sea-astronomia.es/glosario/magnitud> (14/2/24)

26. Sociedad Española de Astrónomos. (s. f.). Paralaje. SEA. **(1)**
<https://www.sea-astronomia.es/glosario/paralaje> (14/2/24)
27. Space Place. (2020, agosto 27). ¿Qué es un año luz?. Space Place.**(4)**
<https://spaceplace.nasa.gov/light-year/sp/> (14/2/24)
28. ★ 61 Virginis | Stellar Catalog. (s. f.). Stellar Catalog. **(17)**
<https://www.stellarcatalog.com/estrellas/61-virginis> (9/10/24)
29. ★ HD 40307 | Stellar Catalog. (s. f.). Stellar Catalog. **(21)**
<https://www.stellarcatalog.com/stars/hd-40307> (10/11/24)
30. ★ HD 85512 | Stellar Catalog. (s. f.). Stellar Catalog. **(16)**
<https://www.stellarcatalog.com/estrellas/hd-85512> (8/10/24)
31. -Oster, L. (1978). Astronomía moderna, Barcelona, Reverté. (16/2/24)
32. ● Exoplanet HD 222237 b | Stellar Catalog. (s. f.). Stellar Catalog. **(15)**
<https://www.stellarcatalog.com/exoplanet.php?planetID=101668> (8/10/24)
33. ● Exoplanet Ross 128 b | Stellar Catalog. (s. f.). Stellar Catalog.**(18)**
<https://www.stellarcatalog.com/exoplanet.php?planetID=100024> (10/11/24)
34. ● Exoplanet Sigma Draconis b | Stellar Catalog. (s. f.). Stellar Catalog. **(20)**
<https://www.stellarcatalog.com/exoplanet.php?planetID=100092> (10/11/24)

35. ● Exoplanet Teegardens star b | Stellar Catalog. (s. f.). Stellar Catalog.

(19)

<https://www.stellarcatalog.com/exoplanet.php?planetID=100096> (10/11/24)

36. colaboradores de Wikipedia. (2024, 17 mayo). Teegarden b. Wikipedia, la Enciclopedia Libre. (19)

https://es.wikipedia.org/wiki/Teegarden_b (10/11/24)

8.1 Bibliografía de figuras

Portada: *Una reproducción del sistema solar*. (s. f.). El Español.

https://s1.elespanol.com/2019/01/31/actualidad/actualidad_372724206_113638334_1706x960.jpg (10/10/24)

Figura 1: Díaz, J (2022, junio 9). *Paralajes estelares: distancias astronómicas*.

Astronomía práctica

<https://josevicentediaz.files.wordpress.com/2016/03/paralaje-estelar.jpg> (14/2/24)

Figura 2: Cruz, P. (2021, enero 15) *¿Qué es el astroparsec?*. Astroparsec

https://astroparsec.com/wp-content/uploads/2021/01/Post0_Parsec2-768x884.png

(14/2/24)

Figura 3: Martínez, C.(2019, abril 4). *Analizando datos: la distancia de los planetas*. Infobservador

<https://3.bp.blogspot.com/-FrF57CH5shk/TerUXcLM40I/AAAAAAAAABDw/yFGoBRw9xnA/s1600/tabla+distancia+velocidad.jpg> (13/2/24)

Figura 4: Sociedad Española de Astrónomos. (s.f). *Diagrama de Hertzsprung-Russel*. SEA

<https://www.sea-astronomia.es/sites/default/files/aa32843-18-fig5.jpg> (5/5/24)

Figura 5: S.O. Kepler, Detlev Koester, Gustavo Ourique (2016, Abril 1).

Descubierta la primera enana blanca con una atmósfera de oxígeno. SINC

<https://assets.isu.pub/document-structure/200403074453-21520813e5dca2783dc99ea0c3857b0b/v1/44f9c7109a60f8f3e1eb6131c079d783.jpg?width=720&quality=85%2C50> (19/9/24)

Figura 6: Milo, A (2023, Diciembre 15). Así son las estrellas de neutrones, el último suspiro estelar. National Geographic

<https://www.ngenespanol.com/wp-content/uploads/2023/12/asi-son-las-estrellas-de-neutrones-el-ultimo-suspiro-estelar-1280x720.jpg> (20/09/24)

Figura 7: Equipo de redacción de ciencia (2024, Mayo 10). ¿Qué son los agujeros negros? Nasa

<https://ciencia.nasa.gov/wp-content/uploads/sites/2/2024/05/screenshot-2024-05-09-at-4-52-07%E2%80%AFpm.png?w=2048&format=webp> (15/9/24)

Figura 8: colaboradores de Wikipedia (2024, Mayo 15). Clasificación Estelar. Wikipedia, la Enciclopedia Libre.

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/70/Morgan-Keenan_spectral_classification.svg/220px-Morgan-Keenan_spectral_classification.svg.png

(12/3/24)

Figura 9: 1897 AnHar..28. . . 1M page 10. (s. f.).

<https://articles.adsabs.harvard.edu//full/1897AnHar..28. . . 1M/0000021.000.html>

(12/3/24)

Figura 10: colaboradores de Wikipedia (2024, Julio 16). Bolometric Correction. Wikipedia, la Enciclopedia Libre.

https://en.wikipedia.org/wiki/Bolometric_correction (18/09/24)

Figura 14: Cazorla, T (2022, Agosto) .Diagrama Hertzsprung-Russell: el ciclo vital de las estrellas. Las Gafas del Hubble

[https://lasgafasdelhubble.com/wp-content/uploads/2021/08/IMG_0174-1024x974.p](https://lasgafasdelhubble.com/wp-content/uploads/2021/08/IMG_0174-1024x974.png)

[ng](https://lasgafasdelhubble.com/wp-content/uploads/2021/08/IMG_0174-1024x974.png) (5/10/24)

9. Agradecimientos

Finalmente, quisiéramos expresar nuestros más sinceros agradecimientos a Pedro Caba por su valiosa ayuda y apoyo en el desarrollo de este proyecto de investigación. Su experiencia y dedicación han sido fundamentales para el éxito de este trabajo. A lo largo de todo el proceso, nos ha brindado una orientación excepcional, facilitando el logro de los objetivos propuestos. Asimismo, su compromiso y disposición para ofrecer su conocimiento de manera oportuna y precisa han sido decisivos en el avance y culminación de este proyecto.

Damos las gracias al I.E.S. Gerardo Diego por darnos la posibilidad de hacer este proyecto que nos ayuda a formarnos para la vida universitaria y a crecer como personas.

