

EXOPLANETAS: UN VISTAZO MÁS ALLÁ DE NUESTRO SISTEMA.

A. Viscarra^{1‡}, S. Aranibar^{2‡}, M. Luna^{3‡}, M. Gutiérrez^{4‡}, M. Martinis^{5‡}, C. Mogrovejo^{6‡}

1Colegio J.E. Pestalozzi, Chuquisaca **2**Colegio Cardenal Cushing, Santa Cruz **3** Desmaissieres RRAA, La Paz **4** La Salle, Cochabamba **5** Eduardo Laredo, Cochabamba **6** Técnico Humanístico Uruguay, La Paz

NOVIEMBRE DE 2020

Estudiar la detección de exoplanetas, específicamente con la utilización de las velocidades radiales, es el objetivo principal de este artículo; a lo largo de la investigación se empleó este método, logrando tener un resultado a favor de su veracidad y rendimiento. Para recabar los resultados se recurrió a fórmulas básicas empleadas en la astronomía, datos en bruto y ya realizados para lograr determinar variaciones en las velocidades radiales, períodos orbitales y cálculos de las distancias.

Studying the detection of exoplanets, specifically with the use of radial velocities, is the main objective of this article; Throughout the investigation, this method was used, achieving a result in favor of its veracity and performance. To collect the results, basic formulas used in astronomy, raw data and already carried out were used to determine variations in radial speeds, orbital periods and distance calculations.

1. Introducción.

Tras muchas investigaciones y avances científicos, como la misión espacial Kepler^[1] y el Satélite de Sondeo de Exoplanetas en Tránsito (TESS)^[2], se ha llegado a la conclusión de que la Tierra no es más que un pálido punto azul dentro de un sistema planetario, el cual se encuentra en uno de los brazos de una inmensa galaxia en un infinito Universo.

Así como nuestro sol, existen millones de estrellas con características similares a la nuestra y todo indica que así como nuestro planeta, podemos encontrar muchos otros.

La idea de poder encontrar planetas iguales o similares a la Tierra que puedan llegar a albergar vida, ronda por la mente de muchas personas, tal vez no se concibe esta idea de la misma manera, algunas personas pueden interpretarlo como ciencia ficción, mientras que otras se remiten a hechos y descubrimientos científicos.

A lo largo del tiempo los científicos han ido desarrollando nuevos métodos para la detección de exoplanetas, tales como la Astrometría, la Velocidad Radial, el método de Tránsito, los Microlentes Gravitacionales, etc. En este artículo se profundizará uno de los métodos utilizados por la Astronomía el “wobble method” o la espectroscopía de Doppler; se utilizará el cálculo de la velocidad radial de una estrella, para determinar si se puede detectar la presencia de un exoplaneta alrededor de ella.

Se remitirá a la utilización de datos en bruto y ya realizados, recopilados de diferentes fuentes, que otorgarán la visualización de gráficos y un esquema más amplio de los comportamientos que se pueden encontrar en los sistemas planetarios lejanos.

2. Metodología

Inicialmente, se debe entender el concepto de exoplanetas pues se refiere a todos los planetas que orbitan alrededor de otras estrellas . Los exoplanetas son muy difíciles de captar directamente con telescopios, están ocultos por el resplandor brillante de la estrella que orbitan. Por lo tanto, los astrónomos usan otras formas de detectar y estudiar estos planetas distantes^[3].

Para determinar si alrededor de una estrella órbita un exoplaneta se puede recurrir a la medición de su velocidad radial, debido a que la influencia de un cuerpo con una masa lo suficientemente masiva puede llegar a alterar la órbita de su estrella.

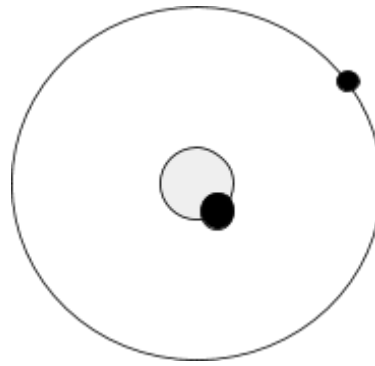


Figura 1 – Baricentro de una estrella influenciada por un exoplaneta.

Al obtener la Velocidad Radial de una estrella ya deducimos que hay un cuerpo que orbita o interactúa alrededor de ella, ya que la influencia gravitacional de un cuerpo ajeno produce que la estrella orbite alrededor de un baricentro que está fuera del centro de masa de la estrella. Esto hace que la estrella presente una trayectoria de traslación alrededor de un eje central, tal como se muestra en la Figura 1. ^[4]

De esta manera y gracias a la espectroscopia de Doppler podemos determinar cuando la estrella se aleja, percibiendo ondas que tienden al corrimiento al rojo; o se acerca, percibiendo ondas que tienden al corrimiento al azul. El cálculo se realiza mediante el análisis de líneas espectrales, utilizando la siguiente fórmula:

$$V_R = \frac{C(\lambda - \lambda_0)}{\lambda_0} \quad (\text{E.1})$$

Donde:

- V_R es la velocidad radial.
- C es la velocidad de la luz
- λ es la longitud de onda de la línea espectral observada.
- λ_0 es la longitud de onda de la línea espectral en reposo.

Por otro lado las estrellas que no presentan un cuerpo celeste orbitando entorno a ellas, no muestran indicios de fluctuaciones en las longitudes de onda que recibimos, dándonos a entender que solo rotan en torno a su propio eje.

Para la primera parte del artículo se realizaron gráficas de las velocidades radiales con relación al tiempo de dos estrellas aleatorias (Tabla 1/Anexos), las cuales comparamos con respecto a la trayectoria que presentó cada uno de sus gráficos, determinando así la existencia de algún exoplaneta alrededor de las estrellas.

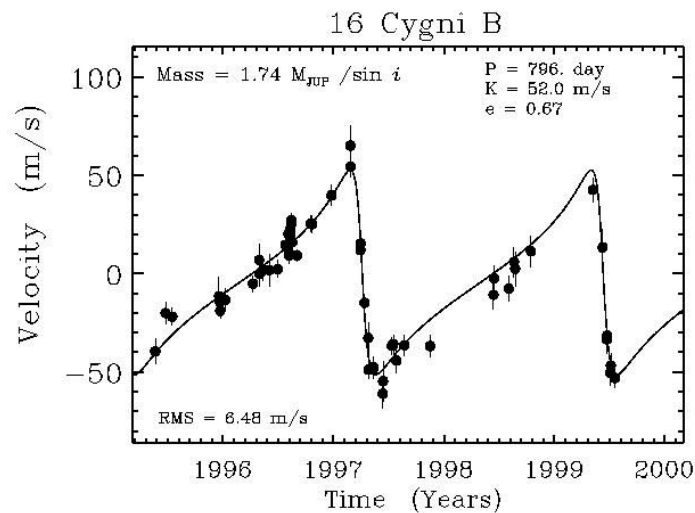


Figura 2 – Gráfica Velocidad Radial vs. Tiempo

Fuente. - <http://physics.sfsu.edu/~gmarcy/planetsearch/7504/7504.html>, obtenido el 02 de noviembre, 2020

En la Figura 2 se tiene un ejemplo de la gráfica que se proyecta por la relación que hay entre la velocidad radial y el tiempo, gracias a este tipo de gráficas se determinaron otros aspectos tanto de las estrellas como de los exoplanetas que se busca. Se analizaron las gráficas de las estrellas 70 Virginis, Gliese 876, 47 Ursae Majoris, 51 Pegasi y Tau Boo; determinando los periodos orbitales de los exoplanetas que orbitan cada estrella y la distancia a la que se encuentran de la misma, mediante la aplicación de la 3ra ley de Kepler.

Inicialmente se tomaron los datos de T y r, consecuencia del análisis de los gráficos;

$$T^2 = Cr^3 \quad (E.2)$$

Donde C es una constante para los planetas que orbitan una estrella.

$$T^2 = \frac{4\pi}{GM} r^3 \quad (E.3)$$

Como factor adicional se determinó si la ubicación del exoplaneta llegaba a coincidir con los parámetros de la zona habitable estelar, siendo esta la región anular alrededor de la estrella en la cual un hipotético planeta que orbitara, dentro de la zona delimitada, puede mantener la presencia de agua líquida en su superficie. Sin embargo, el hecho de que el planeta se encuentre dentro de los límites máximos y mínimos determinados por esta zona es, de alguna manera, una condición necesaria pero no suficiente para que el planeta sea habitable. Para ello se tomó en cuenta que la distancia existente entre la estrella y el planeta (semieje mayor) debe encontrarse en el rango de 0,84 y 1,67 UA para incluirse dentro de la zona de habitabilidad estelar^[5,6].

3. Resultados

De acuerdo a la metodología planteada, tomando en cuenta el análisis exhaustivo de distintos gráficos y los cálculos realizados; a continuación se presentan los resultados obtenidos, siendo pertinente exponer los siguientes parámetros :

→ Gráficos de estrellas analizadas: 5 (70 Virginis, Gliese 876, 47 Ursae Majoris, 51 Pegasi y Tau Boo)^[7].

El análisis para la primera parte de los resultados por medio de las Figuras 3 y 4 se determina que para las estrellas 51 Pegasi y Tau Boo se puede apreciar una fluctuación en sus velocidades radiales a lo largo del tiempo, esto nos indica que las estrellas presentan un movimiento alrededor de un baricentro producido por la interacción de un cuerpo con una masa lo suficientemente masiva produciendo así que las longitudes de onda que percibimos de estas dos estrellas, varíen.

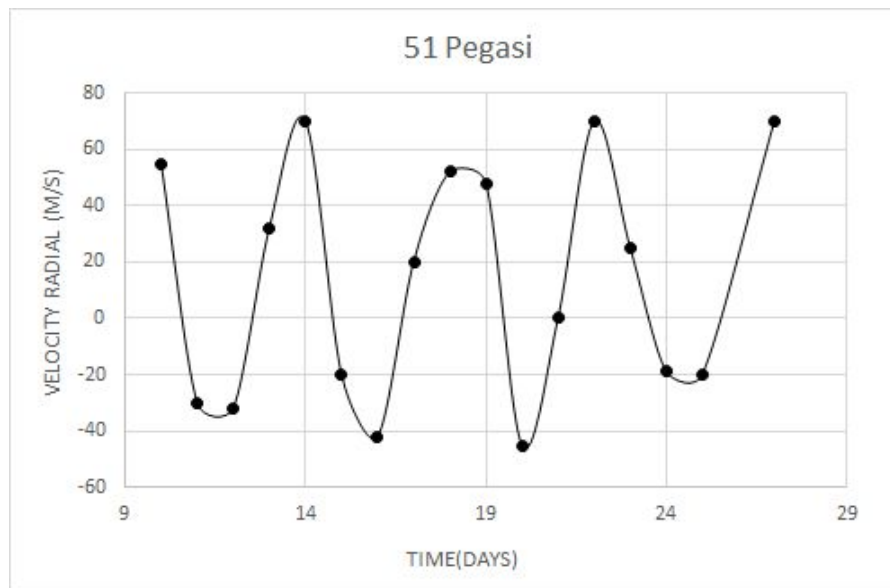


Figura 3 - Gráfica velocidad radial vs tiempo (estrella 51 Pegasi)

De la Figura 3 se observa una estrella de tipo solar situada en la constelación de Pegaso y a 50.1 años luz del sistema solar. Esta estrella posee el primer planeta extrasolar descubierto, Dimidio o 51 Pegasi b, se deduce que tiene un periodo orbital de aproximadamente 4 días, haciendo uso de la tercera ley de Kepler (E.3) se obtiene un semieje mayor de 0,05 UA^[8].

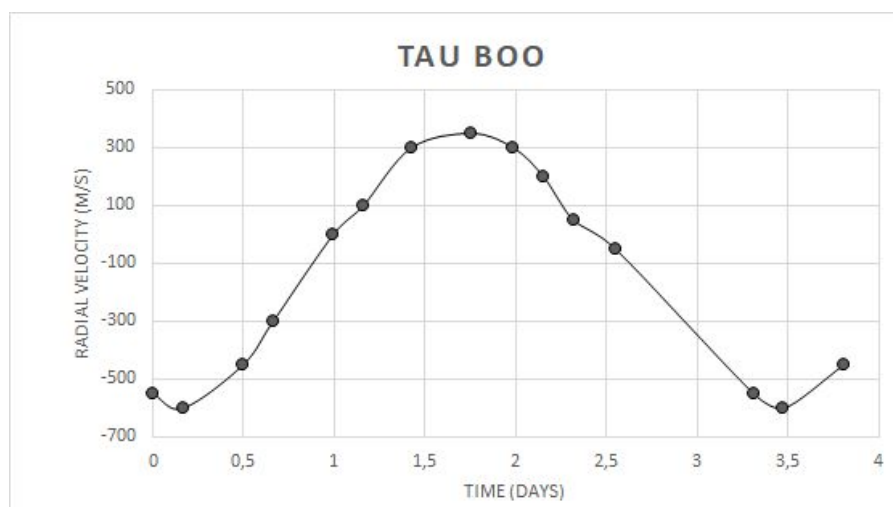


Figura 4. Gráfica velocidad radial vs tiempo (estrella Tau Boo)

En la Figura 4 está Tau Bootis, la cuarta estrella más brillante de la constelación de Bootes. Se encuentra a unos 51 años luz de distancia y pertenece a un sistema binario; en

esta figura se aprecia un periodo orbital de 3,3 días, y se calcula un semieje mayor de 0,046 UA^[9].

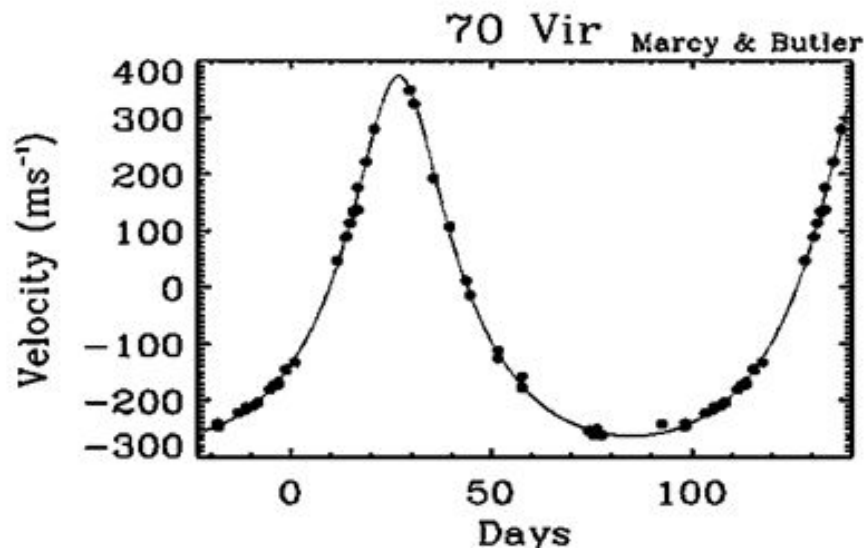


Figura 5 - Gráfica velocidad radial vs tiempo (estrella 70 Virgnis)

Fuente. - <http://physics.sfsu.edu/~gmarcy/planetsearch/70Vir/70Vir.html>, obtenido el 02 de noviembre, 2020

En la Figura 5 se puede apreciar que existe un periodo orbital de 116,7 días producido por la presencia de un planeta, aplicando la tercera ley de Kepler (E.3) se obtiene que el semieje mayor es de 0,48 UA, así mismo se deduce que este valor corresponde a la distancia comprendida entre la estrella y su planeta^[10].

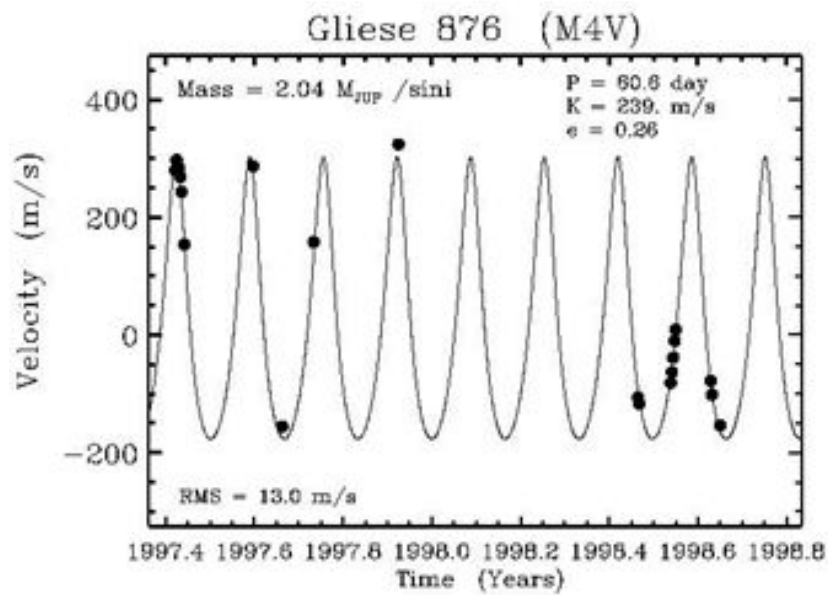


Figura 6 - Gráfica velocidad radial vs tiempo (estrella Gliese 876)

Fuente. - <http://physics.sfsu.edu/~gmarcy/planetsearch/gl876/gl876.html>, obtenido el 02 de noviembre, 2020

En la figura 6 se tiene a la estrella Gliese 876, la cual presenta un periodo orbital de 60.6 días. Al aplicar la tercera ley de Kepler (E.3) se puede obtener como resultado que su eje mayor es de $0.21 \text{ UA}^{[1]}$.

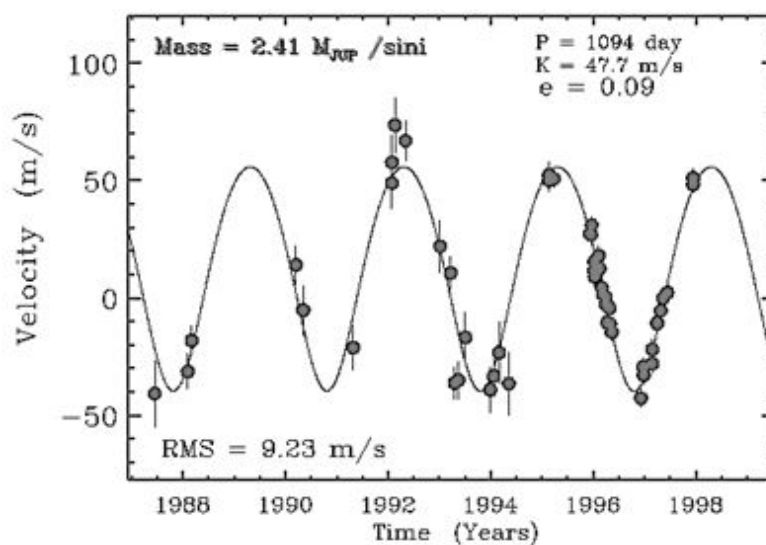


Figura 7 - Gráfica velocidad radial vs tiempo (estrella Ursae Majoris)

Fuente. - <http://physics.sfsu.edu/~gmarcy/planetsearch/47UMa/47UMa.html>, obtenido el 02 de noviembre, 2020

En la Figura 7 se deduce que la estrella 47 Ursae Majoris, la cual es una enana amarilla que tiene una masa de $1.08 M_{\odot}$, presenta un tiempo orbital de 1094 días, con un semieje mayor de $2.07 \text{ U.A.}^{[12]}$.

A continuación se presenta un tabla donde se muestran una síntesis de los resultados obtenidos tanto de las deducciones como de los cálculos realizados en base a las gráficas presentados anteriormente; tomando en cuenta como información los exoplanetas que orbitan las estrellas estudiadas, el cálculo del semieje mayor en UA y si se encuentran en la Zona Habitable.

Planeta	Semieje mayor (UA)	Dentro del rango de la Zona Habitable
Gliese 876 b	0,21	No
70 Virginis b	0,48	No
47 Ursae Majoris b	2,08	No
51 Pegasi b	0,05	No
Tau Bootis b	0,046	No

Tabla 2 - Resultados Zona de Habitabilidad Estelar

Como se puede apreciar en la tabla 2, ninguno de los planetas hallados pertenece al rango de la denominada Zona de Habitabilidad Estelar, por lo que se descarta la posibilidad de agua en estado líquido en la superficie de cualquiera de ellos.

A lo largo de la investigación realizada para este artículo, hallamos diversos métodos de detección de exoplanetas, algunos de los cuales presentaremos a continuación:

- Binarias eclipsantes: A diferencia de otras binarias, las eclipsantes, no permiten distinguir las estrellas unas de otras, debido a que cuando la curvatura de luz llega a un punto mínimo, la estrella generalmente más grande, oculta a su compañera. O caso contrario la más pequeña, oculta a la mayor. En el momento en que estas pequeñas variaciones se producen es que ocurre un eclipse entre ambas estrellas, si un planeta presenta una órbita de gran tamaño se puede detectar en el instante de estos eclipses^[13].
- Método de microlentes gravitacionales: Fue predicha por la teoría de la relatividad de Albert Einstein. Se genera por la flexión del espacio tiempo cerca de objetos masivos como estrellas o agujeros negros y distorsiona la luz emitida por la fuente mas distante.
- Método de Tránsito: Un método ampliamente utilizado para la detección de exoplanetas consiste en medir la intensidad y sutiles cambios del brillo de una estrella cuando un planeta orbita delante de ella. Estas variaciones son detectadas con observación fotométrica, no se necesita de un instrumental ostentoso.

3.1 Discusiones.

Los resultados que se obtuvieron fueron fructíferos para la investigación del método de velocidades radiales, pues los datos obtenidos de los cálculos y deducciones fueron cercanos a los resultados oficiales.

En el caso de la estrella Tau Bootis podemos apreciar que, incluso al ser una estrella binaria, la implementación de este método es funcional, tomando en cuenta que se esperaba lo contrario debido a que la interacción con la segunda estrella podía ser confundida con la interacción que tiene con el exoplaneta.

Para la estrella Gliese 876, existe la posibilidad de que al ser una enana roja de la secuencia principal, pueda llegar a desplazar su zona habitable hasta incluir a Gliese 876 b en esta.

4. Conclusiones

La detección de exoplanetas es un ámbito de suma importancia para la Astronomía, porque conlleva al descubrimiento de nuevos mundos, nuevas fronteras y nuevas posibilidades. Tras la metodología y los datos presentados, podemos concluir que el método trabajado en este artículo en cuestión, es funcional, pues se pudo estudiar de manera óptima tanto las estrellas, como los exoplanetas que las orbitan.

A lo largo de la investigación nos topamos con ciertas situaciones, como el caso de Tau Bootis; sin embargo a pesar de estas situaciones se pudo llevar a cabo el método y nos permitió no solo analizar las variaciones de la velocidad radial, sino también se llegó a calcular sus períodos orbitales y la distancia a la que se encuentran.

5. Referencias

1. NASA; El centro de Investigación Ames (s.f.) “Kepler: explorando el Universo”. Recuperado de: <https://www.nasa.gov/centers/ames/spanish/research/exploringtheuniverse/exploringtheuniverse-kepler.html>
2. Kazmierczak, Jeanette. Centro de Vuelo Espacial Goddard de la NASA, “La misión TESS de la NASA detecta su primer agujero negro desgarrando una estrella” (2019). Recuperado de: <https://ciencia.nasa.gov/la-misi%C3%B3n-tess-de-la-nasa-detecta-su-primer-agujero-negro-desgarrando-una-estrella-0>
3. Space Place, Nasa Science “What is an exoplanet?” (2020). Recuperado de: <https://spaceplace.nasa.gov/all-about-exoplanets/sp/>
4. Space Place, Nasa Science “What is a Barycenter?” (2020). Recuperado de: <https://spaceplace.nasa.gov/all-about-exoplanets/sp/>
5. Alexander Poffo, Deniss (2012). Universidad Nacional de Córdoba Facultad de Matemática, Astronomía y Física; “Determinación de la zona de habitabilidad” Recuperado de: <http://documents.famaf.unc.edu.ar/institucional/biblioteca/trabajos/611/16357.pdf>

6. Poffo, Denis y Gómez, Mercedes (2011). “Evolucion de la Zona de Habitabilidad Estelar” Recuperado de: http://www.astronomiaargentina.org.ar/archivos/actas_de_workshops/2jae11-actas.pdf#page=112
7. ExtraSolar Planet Search (s.f.) “Curvas de velocidad Doppler”. Recuperado de: <http://www.physics.sfsu.edu/~gmarcy/planetsearch/doppler.html>
8. Colaboradores de Wikipedia. (2020b, agosto 5). Helvetios (estrella). Wikipedia, la enciclopedia libre. Recuperado de: [https://es.wikipedia.org/wiki/Helvetios_\(estrella\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Helvetios_(estrella))
9. Colaboradores de Wikipedia. (2019, octubre 22). Tau Bootis. Wikipedia, la enciclopedia libre. Recuperado de: https://es.wikipedia.org/wiki/Tau_Bootis
10. Colaboradores de Wikipedia. (2020, 15 agosto). 70 Virginis. Wikipedia, la enciclopedia libre. Recuperado de: https://es.wikipedia.org/wiki/70_Virginis
11. Colaboradores de Wikipedia. (2019, 28 junio). Gliese 876. Wikipedia, la enciclopedia libre. Recuperado de: https://es.wikipedia.org/wiki/Gliese_876
12. Colaboradores de Wikipedia. (2020a, julio 5). 47 Ursae Majoris. Wikipedia, la enciclopedia libre. Recuperado de: https://es.wikipedia.org/wiki/47_Ursae_Majoris
13. Colaboradores de Wikipedia. (2020). Binarias eclipsantes. Wikipedia, la enciclopedia libre. Recuperado de: https://es.qaz.wiki/wiki/Methods_of_detecting_exoplanets#Eclipsing_binary_minima_timings

6. Apéndices / Anexos.

ANEXO 1. Tabla de Datos

51 Pegasi

Time (Days)	Radial Velocity (m/s)
10	55
11	-30
12	-32
13	32
14	70
15	-20
16	-42
17	20
18	52
19	48
20	-45
21	0
22	70
23	25
24	-19
25	-20
27	70

Tau Boo

Time (Days)	Radial Velocity (m/s)
0	-550
0.1655	-600
0.4965	-450
0.662	-300
0.993	0
1.1585	100
1.4233	300
1.7543	350
1.986	300
2.1515	200
2.317	50
2.5487	-50
3.31	-550
3.4755	-600
3.8065	-450

ANEXO 2. Tabla Completa 2 - Resultados Zona de Habitabilidad Estelar

Planeta	Semieje mayor (UA)	Masa de la estrella madre	Dentro del rango de la Zona Habitable	Tipo de estrella
Gliese 876 b	0,21	0,334 M_{\odot}	No	Enana roja
70 Virginis b	0,48	1,1 M_{\odot}	No	Enana amarilla
47 Ursae Majoris b	2,08	1,08 M_{\odot}	No	Enana amarilla

51 Pegasi b	0,05	1,11 M\odot	No	Enana amarilla
Tau Bootis b	0,046	1,2 M\odot	No	Enana blanca