

## **Combinando Astro sismología y Tránsitos: Búsqueda de exoplanetas eclipsantes a partir de telescopios espaciales**

Máster Universitario  
Astronomía y Astrofísica  
Curso académico  
2020 - 2021

Alumno/a: Perez Antonio  
María  
D.N.I: 91494092  
Director de TFM: Sebastià  
Barceló y Antonio García  
Hernández

Convocatoria:  
Septiembre del 2020  
  
Fecha de defensa:

## 1 Tabla de contenido

1. Resumen.....	3
2. Introducción .....	4
2.1. Búsqueda de exoplanetas.....	4
2.1.1. Tránsitos planetarios .....	8
2.2. Pulsaciones estelares .....	11
2.2.1. Clasificación de estrellas pulsantes .....	12
2.2.2. Delta Scuti y Gamma Dorado .....	13
2.3. Objetivos .....	14
3. Datos, ejecución y análisis.....	17
3.1. KIC 8197761.....	17
3.2. KIC 4570326 .....	20
3.3. KIC 10338279 .....	21
3.4. KIC 12784394 .....	22
3.5. Ejecución y análisis.....	23
4. Resultados .....	29
4.1. KIC 8197761.....	30
4.2. KIC 4570326 .....	38
4.3. KIC 10338279 .....	43
4.4. KIC 12784394 .....	51
5. Conclusiones.....	57
6. Referencias bibliográficas .....	58
7. Anexos .....	61
7.1. NDU.PY.....	61
7.2. POST.PY .....	63
7.3. KIC8197761.YAML.....	65

## 1. Resumen

Una estrella no es inmutable. A lo largo de su vida, desde su nacimiento como protoestrella hasta su muerte, sus características observacionales, color, tipo espectral y brillo o luminosidad, experimentan cambios en el curso de largos períodos que superan, en la mayoría de los casos, el millón de años y son por tanto inobservables. Pero hay una clase de estrellas, denominadas variables, que sufren también modificaciones de su brillo en intervalos más breves de tiempo y que son, por ello, fácilmente mensurables en el rango visible. Este fenómeno puede ser debido a causas accidentales, por ejemplo geométricas, como sucede en las binarias eclipsantes, o bien intrínsecas (ver [Handler 2013](#)), producidas en respuesta a alteraciones físicas ocurridas en la propia estrella. Sólo en este último caso el objeto se considera variable. Las variaciones de magnitud se miden respecto a estrellas de referencia próximas y su representación frente al tiempo da lugar a la llamada **curva de luz**, de ésta se obtiene la amplitud de las variaciones de magnitud y período, en cuando existan variaciones periódicas. Una clase de estrellas variables son las llamadas Delta Scuti ( $\delta$  Scuti) o cefeidas enanas, estrellas que presentan variaciones en su luminosidad debidas a pulsaciones radiales y no-radiales en su superficie. Estas incluyen estrellas de la secuencia principal con masas entre aproximadamente 1.5 y 2.5 veces la masa del Sol (ver figura 8).

Los estudios realizados por [Sowicka et al. 2017](#) de la estrella  $\delta$  Scuti KIC 8197761, permitió que fuese tomada como referencia para su emulación y entendimiento de los procesos que realiza el software SHERLOCK (*Searching for Hints of Exoplanets from Lightcurves of space-based seeKers*), como conjunto de herramientas computacionales que permitirá agilizar la búsqueda de posibles candidatos planetarios [Pozuelos et al. 2020](#). Logrado superar esta etapa, la finalidad buscada del presente trabajo es comprobar a partir de qué nivel de frecuencias eliminadas ([Barceló Forteza + 2017 y 2018](#)), es posible determinar un tránsito planetario en estrellas tipo y Doradus -  $\delta$  Scuti. El grupo de estrellas objetivo o de muestreo para su análisis fueron tomadas de la misión Kepler con los siguientes Id: KIC 4570326, KIC 10338279 y KIC 12784394. Se espera lograr una metodología, al menos encontrar un marco de seguimiento inicial, esto siempre y cuando se encuentre un factor común de comportamiento en las diferentes estrellas a estudiar. De no lograrse lo anterior, se deberá aplicar estudios complementarios para conocer por qué sucede esto o en su defecto aumentar el muestreo del análisis estelar. No obstante el resultado de los estudios serán independiente de si el Software de SHERLOCK termina o no el procesamiento de cada estrella objetivo, ya que la causa de la no finalización podría estar sujeto a la presencia misma de las oscilaciones.

## 2. Introducción

### 2.1. Búsqueda de exoplanetas

El año 1995 presenció el nacimiento de una nueva rama de la astronomía: la ciencia de los exoplanetas. Desde ese entonces hemos sido testigos de un verdadero “big bang” en nuestro conocimiento sobre los planetas. Hasta ese año, todo lo que sabíamos sobre ellos se reducía a lo que habíamos aprendido de los ocho planetas del Sistema Solar. En la actualidad se acepta que el término exoplaneta se refiere a todos los planetas fuera del sistema solar, es decir, a los planetas extrasolares. Para considerar que un planeta sea determinado como extrasolar, debe cumplir al menos tres características: ser un objeto con una masa verdadera por debajo de la masa limitante para la fusión termonuclear del deuterio, girar alrededor de una estrella o de un remanente estelar [diferente al Sol] y presentar una masa y/o tamaño superior al usado como límite para un planeta del sistema solar, dicha caracterización es definida por la Unión Astronómica Internacional para determinar si un objeto extra solar pueda ser considerado o no un planeta. Para ello debe cumplir tres peculiaridades: Debe ser un objeto que órbita alrededor del Sol, con masa suficiente para asumir el equilibrio hidrostático y por último que haya limpiado su vecindad de pequeños cuerpos.

El primer descubrimiento de un planeta alrededor de una estrella que no sea nuestro sol fue hecho por [Wolszczan & Frail \(1992\)](#). Fueron descubiertas dos súper tierras, pero se trata de un sistema un tanto especial, pues la estrella que orbitan es un púlsar, PSR B1257+12. Fueron detectados por las variaciones que producían en el periodo del púlsar, que encajaban claramente con la presencia de dichos planetas. El siguiente exoplaneta en descubrirse fue 51 Pegasi b en 1995 por los astrónomos suizos [Mayor M. and Queloz D. et al. 1995](#) (*astrofísicos con Premio Nobel de Física en 2012*) que anunciaron el descubrimiento del primer objeto de masa planetaria orbitando alrededor de una estrella. Estudio realizado a través de observaciones de variaciones periódicas en la velocidad radial de la estrella “51 Pegasi” detectaron la presencia de una masa similar a la de Júpiter a la que denominaron “51 Pegasi b”, actualmente llamada “Dimidio”. Lo sorprendente es que el planeta se encontró a solo ocho millones de kilómetros de la estrella (*mucho menor que la distancia Sol-Mercurio*). Además, un planeta con esa masa (*0,468 veces la masa de Júpiter*) debía ser un gigante gaseoso, pero ésto en los años 90 iba en contra de la teoría de formación de sistemas planetarios muy basada en nuestro Sistema Solar. Los gigantes gaseosos de nuestro Sistema Solar se encuentran alejados del sol, luego teóricamente 51 Pegasi b se debió formar ahí. Los antiguos modelos de formación planetaria creían imposible que se pudiesen formar gigantes gaseosos cerca de sus estrellas. Se tuvo que replantear las teorías añadiendo las migraciones planetarias. En 1996, un estudio publicado en la revista “Nature” ([Lin, D. N. C. et al 1996](#)), propone la teoría de la migración del planeta, y plantea que el planeta se formó por acreción gradual de sólidos y captura de gas a una distancia de la estrella mucho mayor que la actual (*alrededor de 5 UA*), y que posteriormente migró hacia dentro a través de las interacciones con los restos del disco circunestelar, y se detuvo en la órbita actual como resultado de la interacción de las mareas con la estrella, o por el truncamiento del disco circunestelar interno por la magnetosfera estelar.

La confirmación definitiva de la existencia de exoplanetas llegó con el descubrimiento del primer planeta transitante en 1999 por [Charbonneau et al. 2000](#). Primero observado con medidas de velocidad radial, que indicaban la presencia de un planeta de masa joviana, pudieron observarse varios tránsitos, determinando así el radio del planeta, del orden del radio de Júpiter. La ventaja de disponer de medidas tanto de velocidad radial como de tránsitos es poder determinar la densidad del planeta, y distinguir, por tanto, entre un planeta de tipo gaseoso o de tipo rocoso. Estos primeros planetas eran en su mayoría de tipo joviano, pues al ser más masivos y más

grandes, su detección requiere menor precisión instrumental. Con el tiempo, el desarrollo de espectrógrafos de alta resolución y el lanzamiento de telescopios espaciales dedicados a la búsqueda de tránsitos (como COROT [[Baglin 2003](#)], Kepler [[Koch et al. 2010](#)] y el TESS [*Transiting Exoplanet Survey Satellite*]), han permitido descubrir un gran número de exoplanetas con masas y radios cada vez menores. Algunos métodos modernos como la inteligencia artificial (IA) con metodologías de aprendizaje automático (*ML*), han aportado al ascenso del número de candidatos exoplanetarios, tal como lo presenta [Leon et al. 2022](#), en su trabajo aplicado a los datos del Transiting Exoplanets Survey Satellite (TESS) de la NASA. Desde entonces se han sucedido nuevos hallazgos a un ritmo trepidante, a fecha 1 de junio de 2020, se han detectado 4158 planetas (3264 de ellos confirmados) en 3081 sistemas, de los cuales 671 sistemas tienen más de un planeta. Hace no mucho, la NASA descubrió un sistema solar conformado, no por uno, si no por 7 planetas distintos orbitando alrededor de su estrella. Se trata de Trappist 1 ([Laetitia et al. 2017](#)), un sistema solar formado por siete planetas de tamaño similar a la Tierra, que orbitan una sola estrella denominada TRAPPIST-1, y de los cuales tres de ellos están firmemente ubicados en la zona de habitabilidad, una región alrededor de la estrella en la que un planeta rocoso podría albergar agua en estado líquido.

Ampliando un poco más sobre la importancia del telescopio espacial Kepler de 95 cm de diámetro, el cual se encuentra en una órbita heliocéntrica de seguimiento terrestre de 372,5 d. Observó un mismo campo estelar, ubicado en la constelación del Cisne en el Hemisferio Norte ( $\alpha=19^{\text{h}}\ 22^{\text{m}}\ 40^{\text{s}}$ ,  $\delta=+44^{\circ}\ 30'\ 00''$ ) (ver figura 1) durante 4 años (2009-2013). Recopilo datos fotométricos de luz blanca para una muestra de  $\sim$ 160000 estrellas que cubren un campo de visión de 115 grados $^2$ . El objetivo principal de la misión es la detección de planetas similares a la Tierra que orbitan estrellas similares al Sol dentro de la zona habitable. Los detalles de los objetivos de la misión y el diseño son descritos por [Koch et al. \(2010\)](#) y [Borucki et al.\(2010\)](#). **las observaciones fueron de 30 minutos (1800 segundos), al menos 3 lecturas de 1800 segundos que duro la vida útil de Kepler**, midió la luz de unas 160.000 estrellas situadas en una zona fija del cielo que, vista desde la Tierra, podría taparse extendiendo el brazo y abriendo la mano. Situadas entre las constelaciones del Cisne y Lira, El Cisne (*Cygnus*) es una constelación del hemisferio norte. Era una de las 48 constelaciones descritas por Ptolomeo en su Almagesto. A veces, es conocida con el nombre de la Cruz del Norte (*en referencia a la Cruz del Sur*), ya que sus estrellas forman una gran cruz. Se ha calculado que si un planeta del tamaño de la Tierra cruzase delante de una estrella similar al Sol, la variación en la luminosidad de la estrella sería de tan solo 84 partes por millón. El fotómetro de la sonda Kepler era capaz de detectar variaciones de 20 partes por millón. Si a lo largo de los tres años y medio de la misión, la sonda hubiera captado al menos tres pequeñas fluctuaciones en una misma estrella, y se comprobaba que éstas siguieran intervalos regulares, se podría inferir que existía un planeta orbitando dicha estrella. Por otra parte la Sonda Kepler toma dos tipos de datos: (1) **Datos de Cadencia Larga**, técnica que consiste en tomar imágenes cada **29.4 minutos con 270 exposiciones**, esta incluye todos los objetivos planetarios en los que se buscará señales de tránsitos planetarios; y (2) **512 objetivos de Cadencia Corta, tomados cada 58.85 segundos**. Las observaciones de Kepler son clasificadas en intervalos de tres meses. Al completar un mes de observación los datos son descargados desde la sonda a través de la red del espacio profundo (*Deep Space Network, DSN*) por sus siglas en inglés ([Gilliland et al.2010b](#)). Una comparación cercana de los datos de cadencia corta y larga publicados antes del 1 de noviembre de 2011, [Murphy, Simon J 2012](#) presentó algunas diferencias sutiles que hacen que los datos de cadencia corta sean superiores a sus contrapartes de cadencia larga. Los datos de cadencia corta proporcionan una mayor resolución de tiempo para eventos de corta duración, contienen menos picos de alta amplitud a baja frecuencia y permiten una determinación más precisa de la pulsación (*frecuencias*), amplitudes y fases. Adicionalmente, para poder acceder a los datos de Kepler a través de MAST, estos son almacenados en fragmentos de tres meses, lo que corresponde a una cuarta parte de las observaciones. Al combinar y normalizar estas observaciones separadas, puede formar una

única curva de luz que abarque todos los cuartos observados. Utilizar todos los datos disponibles es especialmente importante cuando se observan señales repetidas, como tránsitos planetarios y oscilaciones estelares. Para asegurarse de que los paneles solares permanecieran orientados hacia el Sol, Kepler realizó rollos trimestrales, uno cada 93 días, los datos obtenidos entre rollos se denominan un cuarto. Siguiente (*tabla 1*), un ejemplo de búsqueda realizada en el archivo Mikulski Archive for Space Telescopes (*MAST*), teniendo como estrella objetivo Kepler-8, una estrella algo más grande que el Sol, y el anfitrón de un planeta Júpiter caliente.

#	mission	year	author	exptime	target_name
				s	
0	Kepler Quarter 00	2009	<a href="#">Kepler</a>	1800	kplr006922244
1	Kepler Quarter 01	2009	<a href="#">Kepler</a>	1800	kplr006922244
2	Kepler Quarter 02	2009	<a href="#">Kepler</a>	1800	kplr006922244
3	Kepler Quarter 03	2009	<a href="#">Kepler</a>	1800	kplr006922244
4	Kepler Quarter 04	2010	<a href="#">Kepler</a>	1800	kplr006922244
5	Kepler Quarter 05	2010	<a href="#">Kepler</a>	1800	kplr006922244
6	Kepler Quarter 06	2010	<a href="#">Kepler</a>	1800	kplr006922244
7	Kepler Quarter 07	2010	<a href="#">Kepler</a>	1800	kplr006922244
8	Kepler Quarter 08	2011	<a href="#">Kepler</a>	1800	kplr006922244
9	Kepler Quarter 09	2011	<a href="#">Kepler</a>	1800	kplr006922244
10	Kepler Quarter 10	2011	<a href="#">Kepler</a>	1800	kplr006922244
11	Kepler Quarter 11	2012	<a href="#">Kepler</a>	1800	kplr006922244
12	Kepler Quarter 12	2012	<a href="#">Kepler</a>	1800	kplr006922244
13	Kepler Quarter 13	2012	<a href="#">Kepler</a>	1800	kplr006922244
14	Kepler Quarter 14	2012	<a href="#">Kepler</a>	1800	kplr006922244
15	Kepler Quarter 15	2013	<a href="#">Kepler</a>	1800	kplr006922244
16	Kepler Quarter 16	2013	<a href="#">Kepler</a>	1800	kplr006922244
17	Kepler Quarter 17	2013	<a href="#">Kepler</a>	1800	kplr006922244

Tabla 1. Cada fila representa un trimestre de observación diferente, para un total de 18 trimestres a lo largo de cuatro años. la columna exptime, es el tiempo de exposición y la columna de Target\_name representa el ID del catálogo de entrada de Kepler.

Por otra parte los datos de cadencia larga muestran residuos que han aumentado el ruido en escalas de tiempo importantes para astroismología, pero sin importancia para la búsquedas planetaria. Como características adicionales de la misión Kepler ([Koch et al. 2010](#)), fue su exclusiva búsqueda de exoplanetas, en particular de tamaño terrestre y en o cerca de la zona de habitabilidad, es decir, la zona donde un planeta se encuentra a la distancia correcta de la estrella como para poder tener agua líquida en su superficie. Su éxito expone, más de 1000 planetas confirmados, 2.740 candidatos a planeta (tamaños desde Mercurio a Júpiter) y más de 500 planetas candidatos a ser “súper-Tierras”, una nueva clase de planetas, sin análogo en el Sistema Solar, con un radio entre 1,25 a 2 veces el radio de nuestro planeta.

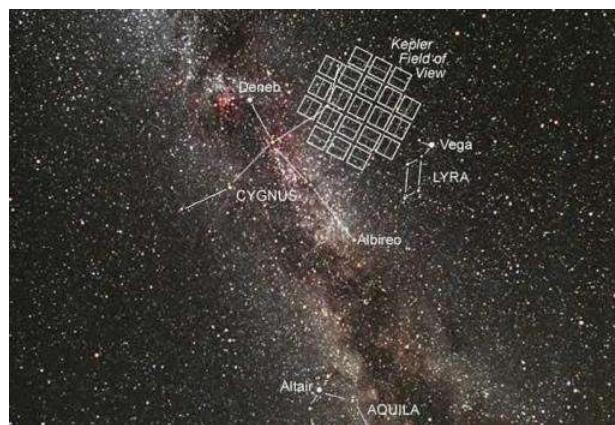


Figura 1. Una de las regiones del cielo explorada por el telescopio espacial Kepler. Se intenta extrapolar a otras zonas lo que ahí se observa - NASA / Carter Roberts / Eastbay Astronomical Society

Uno de los objetivos evidentes de los astrofísicos exoplanetarios es encontrar planetas no solo de tipo terrestre, sino también habitables. Para ello deben tener un radio orbital adecuado, de tal manera que se encuentren en la zona de habitabilidad del sistema estelar y pueda existir agua líquida en su superficie. En este sentido, la búsqueda de exoplanetas en estrellas frías, de tipo M o enanas marrones, hace más probable el descubrimiento de este tipo de planetas. Por un lado, al ser las estrellas más pequeñas y menos masivas, el efecto de los planetas se percibe mejor en las observaciones fotométricas y de velocidad radial. Por otro lado, la zona de habitabilidad es más próxima a la estrella, lo que significa que los planetas habitables tendrán períodos más cortos y será más probable y más fácil observarlos. Las técnicas usadas para encontrar estos sistemas planetarios son: velocidades Radiales, tránsitos planetarios, variación de tiempos de tránsito, modulación orbital del brillo, variaciones temporales, microlentes gravitacionales, detección visual directa, polarimetría, astrometría y timing. En la Figura 2, se muestra un gráfico de la cantidad de exoplanetas encontrados por cada técnica a fecha del 5 de Febrero de 2021 (*tomado del portal web: <http://exoplanet.eu/>*).

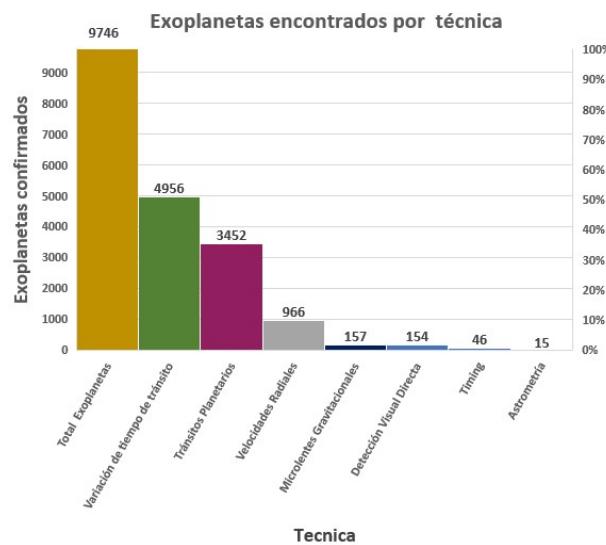


Figura 2. Cantidad de exoplanetas encontrados por cada técnica a fecha del 5 de Febrero de 2021.

Podemos notar que las técnicas de tránsito, VTT y de velocidad radial han sido por mucho las más productivas. En la figura 3, se puede observar la cantidad de exoplanetas encontrados por el método del tránsito a septiembre del 2021, cuantos de ellos son confirmados, cuantos serían posibles candidatos y cuantos de ellos están sin confirmar.

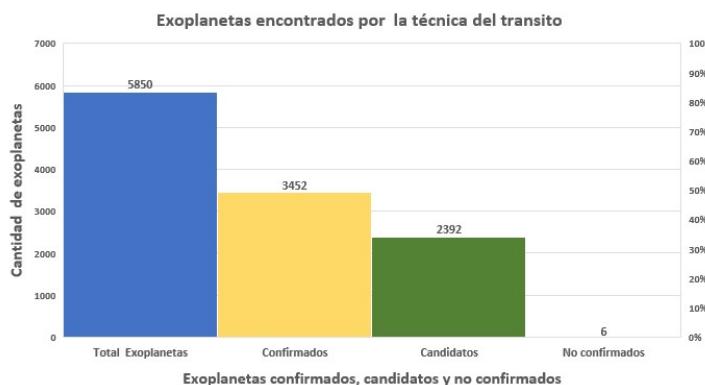


Figura 3. Cantidad de exoplanetas encontrados por la técnica del tránsito a fecha del 28 de Septiembre del 2021.

#### 2.1.1. Tránsitos planetarios

Las observaciones de tránsitos planetarios consisten en series temporales fotométricas de la estrella anfitriona. En el caso particular que el plano orbital de un planeta resulte alineado con nuestra línea de visión el planeta cruzará el disco de la estrella una vez en cada órbita. Este tipo de fenómenos se denominan tránsitos planetarios. Durante el tránsito, el brillo de la estrella sufre una pequeña disminución en una proporción igual al cociente de áreas entre el planeta y la estrella. Para estrellas de tipo solar y planetas del tamaño de Júpiter, la disminución de brillo es de un 1-2% por lo que es detectable mediante métodos fotométricos al alcance tanto de cámaras CCD como de los denominados fotómetros fotoeléctricos. A pesar de la baja probabilidad de esta alineación de la órbita, la búsqueda de exoplanetas por tránsito ha sido fructífera y se conocen más de un millar de ellos. Gracias a las misiones anteriormente nombradas, como COROT [Baglin 2003], Kepler [Koch et al. 2010] y el TESS, las precisiones fotométricas del 0.01-0.03%, han permitido hallar planetas de tamaño parecido a la Tierra. A partir de la curva de luz del tránsito se determina el cociente de radios planeta/estrella y la inclinación orbital, además de otros parámetros de la estrella y de la órbita. En general, las observaciones de tránsito deben ser complementadas con medidas de velocidad radial para, de este modo, calcular la masa y determinar la naturaleza planetaria del objeto. Nótese que, puesto que la inclinación de la órbita se determina a partir del tránsito, se obtienen medidas de la masa y el radio real del planeta, y por tanto de su densidad. Normalmente en una serie fotométrica se observan varios tránsitos, obteniendo el periodo orbital del planeta, P. Una vez conocido el periodo, se pueden representar las medidas en función de la fase orbital, y así tener un mejor muestreo de la curva de luz del tránsito. En síntesis, la técnica de tránsitos planetarios se basa en la observación de la caída de luz de una estrella provocada por un planeta que transita, es decir, que pasa entre la estrella y el observador.

Respecto a la profundidad del tránsito. La cantidad de luz perdida depende del tamaño de la estrella y del planeta, analizados a través de las cuatro etapas del contacto. La profundidad del tránsito, TD (*ver figura 4*), se define como la diferencia relativa entre el flujo de la estrella antes del tránsito, C1, y el flujo durante el tránsito, C2, es decir,  $TD = (C1 - C2)/C1$  (*TD tiene unidades*

(adimensionales). Si consideramos que el brillo del disco estelar es uniforme, el flujo recibido C1 será proporcional a su área,  $\pi R_*^2$ , con  $R_*$  el radio de la estrella. Como nuestra distancia al sistema es mucho mayor que la distancia estrella-planeta, durante el tránsito el planeta bloquea una fracción del disco estelar igual a  $\pi R_p^2$ , con  $R_p$  el radio del planeta (*unidades radio solares*), de modo que:

$$TD = \frac{\pi R_p^2}{\pi R_*^2} = \left(\frac{R_p}{R_*}\right)^2$$

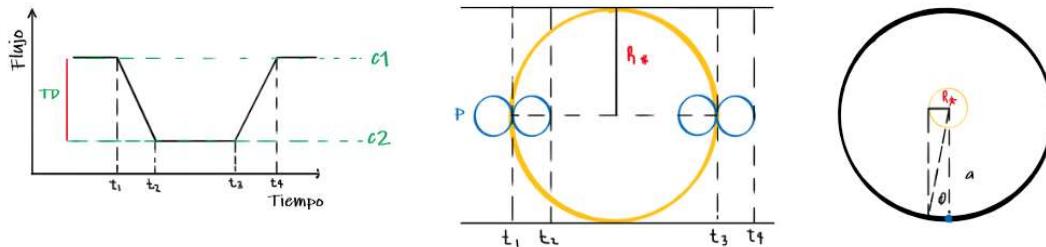


Figura 4. Método de los tránsitos. Izquierda: Curva de luz de la estrella durante el tránsito. Centro: Trayectoria del disco planetario frente al disco estelar durante un tránsito diametral. Derecha: Fracción de la órbita planetaria que supone el tránsito.

Lo normal es que se conozcan previamente tanto la masa como el radio de la estrella, de modo que el radio del planeta se obtiene directamente de la profundidad del tránsito.

En cuanto a la duración del tránsito y suponiendo un tránsito diametral, como el de la figura 4, y una órbita circular, e ignorando el tamaño del planeta, el ángulo  $\varphi$  que recorre el planeta en medio del tránsito, será tal que  $Tan \varphi \approx \frac{R_*}{a}$ ; teniendo en cuenta el radio del planeta, se tendrá  $Tan \varphi \approx \frac{(R_* + R)}{a}$ . La pequeña aproximación es debida a la curvatura de la órbita (*que es despreciable en la mayoría de los casos*). Precisamente por ello, como normalmente  $a \gg R_*$ , se tiene que  $Tan \varphi \approx Sen \varphi \approx \varphi$ .

Es decir, el ángulo transcurrido durante el tránsito es  $2\varphi$ . A su vez, este ángulo viene determinado por la velocidad angular del planeta y la duración del tránsito ( $t_{1,4}$ ). Suponiendo una órbita circular, la velocidad angular será  $2\pi/P$ , con  $P$  el periodo orbital. Por tanto:

$$2\varphi = \frac{2\pi}{t_{1,4}} \Rightarrow \frac{R_* + R}{a} \approx \frac{\pi}{P} t_{1,4} \Rightarrow \frac{a}{R_*} \approx \frac{P}{\pi t_{1,4}} \left(1 + \frac{R}{R_*}\right)$$

Si se observa más de un tránsito de un exoplaneta, que es lo normal, se conoce el periodo  $P$ , por lo que es posible estimar el semieje mayor ( $a$ ). Sin embargo, como sabemos, el período orbital ( $P$ ) de un planeta y la distancia del planeta a la estrella ( $a$ ) (*en unidades astronómicas*) están relacionados por la tercera Ley de Kepler, de modo que si determinamos el período del planeta podríamos obtener el radio de su órbita, si conocemos la masa de la estrella que orbita ( $M_*$ ). Así, si expresamos  $P$  en años sidéreos y  $M_*$  en masas solares, podemos usar la fórmula:

$$\frac{a^3}{P^2} \approx \frac{GM_*}{4\pi^2} \Rightarrow \frac{P^2}{a^3} \approx \frac{1}{M_*} \Rightarrow a = \sqrt[3]{P^2 M_*}$$

Para efectos de la dimensión, debemos pasar los días solares a días sidéreos, donde la diferencia entre la duración del día solar y el día sideral, está en que el día solar medio son 24 horas exactas, tiempo que tarda el Sol en culminar o pasar dos veces consecutivas por el meridiano en que se encuentre el observador. El día sidéreo, en cambio, son unos 4 minutos menos porque en vez del Sol se utiliza como referencia las estrellas más lejanas, más concretamente el llamado primer punto de Aries o equinoccio vernal. Por otra parte, para poder observar un tránsito, el primer requerimiento es que la órbita esté correctamente alineada, con una inclinación cercana a los  $90^\circ$ , como se observa en la Figura 5. La gran diferencia de tamaños entre planetas y estrellas implica que es necesario realizar mediciones fotométricas muy precisas para detectar variaciones de luz muy pequeñas. A modo de ejemplo, la caída de luz provocada por el tránsito de un planeta como la Tierra, orbitando una estrella como el Sol, es del orden del 0,01 %.

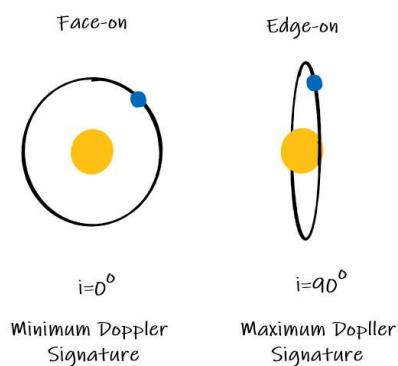


Figura 5. Posibles ángulos de  $i$ , el planeta solo transitaria si la inclinación es cercana a  $90^\circ$ .

Debe destacarse que la observación de una caída de brillo no es suficiente para asegurar que se trata de un planeta; esta caída puede deberse a un gran número de factores, como una variabilidad estelar intrínseca o manchas estelares. Se exige entonces que la caída se observe en varias ocasiones, para confirmar su periodicidad. Sin embargo, aún una caída periódica no basta para confirmar un planeta, puesto que otros fenómenos pueden duplicarla. El más común es una binaria eclipsante más distante que la estrella bajo observación (*binaria de fondo*), pero lo suficientemente cercana a ella en el plano del cielo para que su luz contamine la observación. Otro caso de eclipses estelares que pueden simular un tránsito planetario es el de las binarias rasantes: estrellas binarias cuyo alineamiento a lo largo de la visual resulta en una superposición tan pequeña que la caída de luz es muy baja, parecida a la de un tránsito. Para eliminar los falsos positivos, se recurre a varias estrategias: verificar que la profundidad del tránsito se mantenga, y que sea similar en el óptico y en el IR cercano; buscar mínimos secundarios (*esperables en estrellas binarias pero no en tránsitos planetarios*); buscar binarias cercanas en imágenes de alta resolución; y finalmente, técnicas computacionales como el algoritmo de Blender ([Torres et al. 2004](#), [Torres et al. 2005](#), [Torres et al. 2011](#)). Este último compara las curvas de luz reales con curvas simuladas para distintos escenarios (*binarias eclipsantes de fondo y tránsitos reales*), y obtiene las probabilidades de cada escenario.

En resumen, la observación de tránsitos planetarios permite conocer directamente el período orbital, a partir del cual se calcula el semieje mayor de la órbita. La profundidad de la caída de brillo se correlaciona directamente con la diferencia de tamaños entre la estrella y el planeta; conociendo el tipo espectral, se puede determinar el radio estelar, y a partir de él, el radio planetario.

Relacionada con la técnica de tránsitos planetarios, se encuentra la técnica de variación de tiempos de tránsito (TTV), que es aplicable exclusivamente a sistemas con dos o más planetas. Si un solo planeta orbita una estrella, los tránsitos serán absolutamente periódicos; en cambio, si hay un segundo planeta, éste puede inducir perturbaciones a la órbita mediante interacción gravitatoria. Estas perturbaciones se verán reflejadas en una desviación de la repetición de los tránsitos de la periodicidad. Mediante la variación de tiempos de tránsito, se puede: tener una confirmación de dos planetas transitantes; detectar planetas no transitantes, mediante las perturbaciones que provocan y calcular las masas de los planetas.

## 2.2. Pulsaciones estelares

A medida que las estrellas evolucionan hacia la secuencia principal, comienzan a quemar hidrógeno en sus núcleos, produciendo energía. Una vez que la energía se lleve hacia la superficie, el transporte de calor puede causar que las estrellas se expandan y contraigan, lo que hace que su brillo varíe. El estudio de esta variabilidad estelar se llama astrosismología y nos informa sobre lo que sucede dentro de las estrellas. Dichas variabilidades u oscilaciones de una estrella pulsante son el resultado de ondas sonoras o acústicas que resuenan en el interior estelar. Estas ondas, implicadas en los modos radiales de pulsación estelar, son esencialmente ondas estacionarias (*ondas en las cuales ciertos puntos, llamados nodos, permanecen inmóviles*) similares a las que ocurren en el tubo de un órgano que está abierto en uno de sus extremos. La estrella y el tubo del órgano pueden sustentar varios modos de oscilación. La onda estacionaria, para cada modo, tiene un nodo al final (*el centro de la estrella*) donde los gases no se mueven, y un antinodo al otro extremo, que para el caso de la estrella sería su superficie. En el modo fundamental los gases se mueven en la misma dirección en cada punto de la estrella. Si hay un sólo nodo entre el centro y la superficie, es el llamado primer armónico, con los gases moviéndose en direcciones opuestas a ambos lados del nodo, y para la instancia del segundo armónico habría en consecuente dos nodos. Para los modos radiales el movimiento del material estelar ocurre principalmente en las regiones superficiales.

Los astrónomos pueden detectar estos patrones (*modos radiales*) como pequeñas fluctuaciones en el brillo y usarlos para determinar la edad, temperatura, composición, estructura interna y otras propiedades de la estrella. Sin embargo, la observación de los pulsos estelares requiere extensos conjuntos de datos con el fin de lograr frecuencias precisas. Un buen escenario para llevar a cabo estudios sísmicos son las estrellas pulsantes de período corto en cúmulos abiertos. Dado que los miembros de un cúmulo se formaron al mismo tiempo en el pasado, en el presente comparten propiedades estelares similares como la edad, composición química y la distancia (*por medio de ajuste de isócronas es posible fijar la edad y masas estelares*).

Por otra parte, alrededor de 1920, Eddington demostró que el período de pulsación  $P$  es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la densidad media ( $P \propto \rho^{-1/2}$ ), es la llamada relación período-densidad, que explica porque el período de pulsación disminuye, conforme nos movemos hacia abajo en la banda de inestabilidad del diagrama H-R, al ir de las tenues supergigantes hasta las muy densas enanas blancas. Normalmente una estrella mantiene un equilibrio entre la presión del gas y el empuje de la gravedad. Si por alguna causa, posiblemente evolutiva, sus capas exteriores se expanden la densidad y temperatura disminuyen, entonces la presión del gas se hace más pequeña y las fuerzas de gravedad comprimen el gas. Esta compresión hará aumentar la temperatura y la densidad y en consecuencia la presión del gas, dominará a la gravedad y la estrella se expande de nuevo. Sin embargo, a menos que se transfiera energía al gas en movimiento, estas oscilaciones se irán amortiguando y en un tiempo relativamente corto se pararán. Como se observan muchas estrellas variables pulsantes esto quiere decir que las oscilaciones duran mucho tiempo, por lo tanto debe de haber un mecanismo

que suministra energía a la pulsación para que ésta se mantenga y no se amortigüe. Finalmente, el flujo de energía radiativo del interior estelar podría suministrar energía a las oscilaciones si éstas se produjeran en regiones profundas de alta densidad. Pero éste no es el caso, las oscilaciones ocurren en las capas más exteriores y menos densas. Sin embargo, en estas regiones existen las llamadas zonas de ionización parcial en las que el hidrógeno y el helio están parcialmente ionizados, en estas zonas la opacidad de la materia se hace mayor cuando el gas se comprime. Al aumentar la temperatura el hidrógeno y el helio se ionizan más y toda la energía se utiliza en esta ionización, aumentando la opacidad de la materia al disminuir el transporte de energía. Cuando ocurre la expansión el proceso es al contrario, disminuye la opacidad, el hidrógeno y el helio se recombinan y emiten la energía acumulada en la compresión. Luego estas zonas de ionización parcial sirven para almacenar energía y cederla manteniendo las oscilaciones, pero es necesario que su localización en la estrella sea la adecuada, es decir, no pueden ser muy profundas porque la pulsación no llega hasta allí, ni muy exteriores porque no contiene masa suficiente para suministrar la energía necesaria para mantener la pulsación. Por ello no todas las estrellas pulsan, sino sólo aquellas que tienen las capas de ionización parcial a una profundidad adecuada y esto explicaría porque la pulsación estelar se observa sólo en una de cada cien mil estrellas.

### 2.2.1. Clasificación de estrellas pulsantes

La clasificación de las estrellas pulsantes está basada en la forma de la curva de luz, en la clase espectral y en los movimientos radiales observados. Sí se hacen observaciones en un rango distinto al óptico, hay variables de radio-emisión y variables de rayos X. Las variables son usualmente divididas en tres tipos principales: pulsantes, eruptivas y eclipsantes. Estamos interesado en el primer tipo. En las variables pulsantes, las variaciones son debidas a la expansión y contracción de las capas externas. Estas variables son gigantes o supergigantes que han alcanzado una etapa inestable en su evolución. Por otra parte el período de pulsación corresponde a una frecuencia propia de la estrella es como un diapasón vibrando con una frecuencia característica cuando se golpea, una estrella tiene una frecuencia fundamental de vibración. Además de la frecuencia fundamental otras frecuencias, sobretonos, son posibles. La variación de brillo observado puede ser entendida como una superposición de todos estos tonos de vibración. La principal causa de la variación de la luz es la variación periódica de la temperatura superficial, representada en el diámetro de la estrella que puede llegar a duplicarse durante la pulsación, aunque generalmente los cambios suelen ser de menor tamaño. La causa principal de la variación de luminosidad es la variación periódica de la temperatura superficial, ya que la luminosidad depende de la cuarta potencia de la temperatura efectiva,  $L \propto T_{eff}^4$ , así un pequeño cambio en la  $T_{eff}$  conduce a una gran variación de magnitud.

Referente a la figura 6, se distinguen varias clases de estrellas pulsantes, las más frecuentes son las estrellas Cefeidas, que deben su nombre a la típica δ Cephei, tienen variaciones de magnitud con períodos de unos pocos días a unas pocas semanas. Otro tipo de pulsantes son las RR Lyrae que varían con períodos de medio día. También son pulsantes de corto período las δ Scuti que pertenecen a la Población I como las Cefeidas, pero estas son de tipos espectrales F y G supergigantes, mientras que las δ Scuti son tipo A y clase de luminosidad IV a V. La amplitud de las variaciones es del orden de 1 magnitud para las Cefeidas, mientras que en las δ Scuti es tan pequeña que son difíciles de detectar. Las RR Lyrae se encuentran en los cúmulos globulares por ello pertenecen a la Población II, sus amplitudes de variación son del orden de 1 magnitud. La amplitud de la curva de velocidad radial de las Cefeidas es del orden de varias decenas de km s<sup>-1</sup>. La de las RR Lyrae es algo menor. También existen estrellas análogas a las Cefeidas pero de la Población II llamadas W Virginis o Cefeidas de la Población II. Estas estrellas muestran máximos de luminosidad muy anchos. Otro grupo de variables intrínsecas son las variables

largo período (*del orden de varios años*) (ver [Handler 2013](#)). Son gigantes rojas muy luminosas de tipo espectral M y sus variaciones de luz no son tan regulares como las anteriores. Con variaciones aún menos regulares están las estrellas RV Tau que en el diagrama H-R se sitúan entre las Cefeidas y las variables de largo período. Las variables más frecuentes se encuentran en una banda estrecha, llamada zona de inestabilidad, situada diagonalmente a través del diagrama H-R, todas las estrellas de esta banda son pulsantes. La mayoría de las Cefeidas clásicas y W Virginis pulsan en el modo fundamental. Las RR Lyrae pulsan en el fundamental o en el primer armónico. Las variables de largo período como las Mira probablemente pulsan también en el modo fundamental, aunque esto ha sido sujeto de considerable debate.

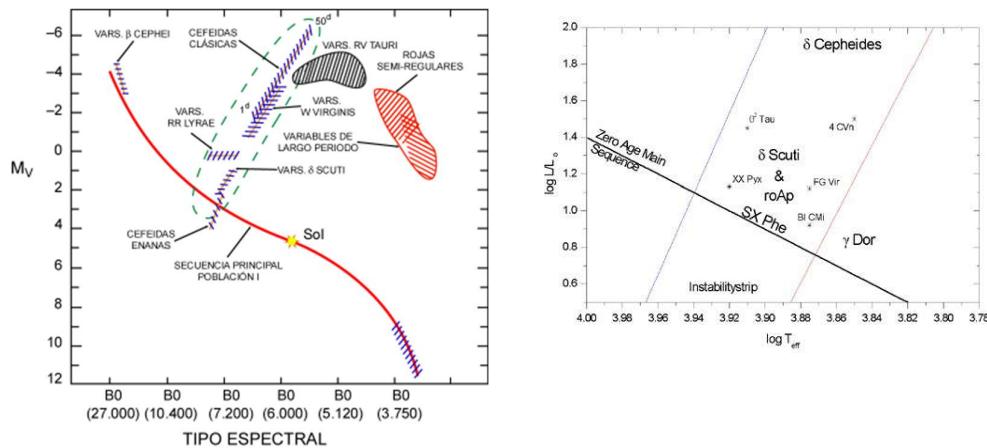


Figura 6. Diagramas Hertzsprung-Russell (H-R), para estrellas variables Delta Scuti y Cefeidas.  
<http://atenea.pntic.mec.es/Antares/modulo5>

### 2.2.2. Delta Scuti y Gamma Dorado

El estudio de las estrellas γ Doradus - δ Scuti, son hoy día un campo pionero para muchos astrónomos y astrofísicos, son muy problemáticas en cuanto a oscilaciones, deformaciones en su morfología debido a una elevada rotación. Las estrellas variables Delta Scuti (DSC) y Gamma Doradus (GDR) yacen en una de las más complejas e interesantes regiones del diagrama Hertzsprung-Russell (H-R) (ver figura 6), la parte inferior de la banda clásica de inestabilidad y su intersección con la Secuencia Principal (SP), hacia temperaturas comprendidas entre 6700 K y 8500 K. La complejidad y el interés de esta región reside en el gran número de diversas familias de estrellas variables transitando diferentes estadios evolutivos: la pre-SP, la SP y la post-SP. Ahora bien, durante la fase evolutiva de Presecuencia Principal (PMS, *siglas del inglés pre-main sequence star*), muchas estrellas cruzan la banda de inestabilidad clásica en la zona donde tienen lugar las pulsaciones tipo Delta Scuti de Secuencia Principal. Estas se caracterizan por oscilaciones tanto radiales como no radiales, cortos períodos de pulsación y amplitudes de unas pocas centésimas de magnitud. El tiempo típico de estancia de una estrella PMS dentro de las fronteras de la banda de inestabilidad teórica es muy pequeño en comparación con el tiempo de estancia de una estrella en la Secuencia Principal (*del orden de un 5-10% de dicho tiempo*), por lo que la probabilidad de encontrar una estrella PMS dentro de esta banda y, por tanto, como pulsante tipo Delta Scuti es muy pequeño. Esto ha motivado, por ejemplo, un número de estudios observacionales sobre las estrellas δ Scuti ubicadas en las constelaciones del Cisne y Lira. En particular, algunas variables δ Scuti han sido descubiertas y estudiadas intensamente

en los últimos años, siendo una en particular el objeto principal de este trabajo, el análisis de datos de la estrella  $\delta$  Scuti KIC 8197761.

Históricamente, las variables DSC son reconocidas por presentar pulsaciones en un rango de altas frecuencias, correspondientes principalmente a modos radiales y no radiales de presión ( $p$ ) de bajo e intermedio orden radial ( $n$ ). Por otra parte las estrellas GDR se distinguen por exhibir pulsaciones en un rango bajo de frecuencias, correspondientes a modos de gravedad ( $g$ ) de alto orden radial. La banda de inestabilidad de estas estrellas se superpone parcialmente en una región en la cual encontramos a las variables denominadas híbridas DSC-GDR (KIC 8197761). Estas estrellas poseen un excelente potencial astro sismológico, dado que exhiben simultáneamente modos de oscilación  $p$  y  $g$ , los cuales permiten explorar las capas externas y a su vez el núcleo, respectivamente, abarcando por completo su estructura interna.

En síntesis, las pulsaciones DSC-GDR de buen comportamiento se dividen prácticamente en dos categorías principales, ambas causadas por la energía almacenada y liberada en la estrella. Algunos ocurren cuando toda la estrella se expande y contrae simétricamente. Otros ocurren como hemisferios opuestos alternativamente expandiéndose y contrayéndose. Por otra parte, sus fluctuaciones típicas de brillo son de alrededor de 0,003 a 0,9 magnitudes en la banda V en períodos de unas pocas horas, aunque la amplitud y el período de las fluctuaciones pueden variar mucho. Se pueden considerar cefeidas de baja masa, pero a diferencia de estas tienen múltiples períodos de pulsación superpuestos, lo que da como resultado una curva de luz compleja. Son estrellas de Población I de la secuencia principal, subgigantes o gigantes, de tipo espectral A0 a F6, con magnitudes aparentes de oscilación entre +4,60 y +4,79 en un principal de 4,65 días y uno secundario de 4,48 horas. Junto a estos hay períodos de 2,79, 2,28, 2,89 y 20,11 horas, lo que da como resultado una curva de luz compleja.

En sus raíces, el nombre de Delta Scuti ( $\delta$  Sct / 2 Scuti / HD 172748 / HR 7020) proviene de un sistema estelar en la constelación de Scutum. Aunque es solo la cuarta estrella más brillante de su constelación, probablemente sea la más conocida que es el prototipo de un grupo de variables que llevan su nombre, variables  $\delta$  Scuti. Se encuentra a 202 años luz del sistema solar. Es una gigante blanco-amarilla de tipo espectral F2IIIp con una temperatura superficial de 6860 K. Es 39 veces más luminosa que el Sol y su radio es aproximadamente 4,1 veces mayor que el radio solar. Delta Scuti tiene dos compañeras. Delta Scuti B, de magnitud 12,2, es una estrella de tipo K8 a 15,2 segundos de arco de la estrella principal (*Delta Scuti A*), mientras que Delta Scuti C, de magnitud 9,2, es una enana amarilla de tipo G7V. La primera está separada de la estrella principal a una distancia mínima de 870 UA y la segunda 3000 UA.

### 2.3. Objetivos

Las estrellas de diferentes masas y etapas evolutivas, oscilan en diferentes formas. Una clase de estrellas variables son las llamadas estrellas Delta Scuti ( $\delta$  Scuti). Estas incluyen estrellas de la secuencia principal con masas entre aproximadamente 1.5 y 2.5 veces la masa del Sol (ver figura 6). Las observaciones de las estrellas  $\delta$  Scuti han permitido a los astrónomos construir una relación entre el período de su oscilación más fuerte y su luminosidad, permitiéndoles calcular distancias a estas estrellas. No obstante, para comprender realmente las estrellas oscilantes, es importante ir más allá de las relaciones período-luminosidad, mediante la caracterización de las frecuencias de oscilación individuales. Esto se hace comúnmente para las estrellas que oscilan de la misma manera que nuestro Sol (*osciladores de tipo solar*), que exhiben oscilaciones a frecuencias espaciadas de manera uniforme. Si las estrellas muestran oscilaciones de frecuencias espaciadas uniformemente, entonces la astrofisiología puede usarse para estudiar un rango más amplio de sus propiedades fundamentales, incluyendo opciones de modulación

de amplitud debido al acoplamiento de modo resonante ([Barceló Forteza et al. 2015](#)). Sin embargo, para las estrellas δ Scuti observadas por la misión Kepler ([Koch et al. 2010](#)), no apareció ese patrón tan claro. En cambio, sus modos de oscilación parecían estar distribuidos casi aleatoriamente. Esto ha hecho que sea imposible para los astrónomos analizar las estrellas γ Doradus - δ Scuti con más detalle y descubrir sus propiedades como su edad. Sin embargo, se puede decir que, las estrellas con espaciados regulares todavía están al principio de su vida en secuencia principal. Las edades jóvenes de estas estrellas podrían ser la razón: a medida que evolucionan las estrellas oscilantes, sus modos de oscilación que se propagan cerca de la superficie comenzarán a interactuar con los que se propagan en el núcleo estelar, interrumpiendo así, sus frecuencias de oscilación. A pesar de ello, se han encontrado algunas estrellas δ Scuti, gracias a la misiones Kepler y TESS, con picos en sus modos de oscilación regularmente espaciados en altas frecuencias entre los 30 o más ciclos de pulsación por día, dentro de la zona de inestabilidad. De allí, la importancia de continuar la búsqueda de nuevas candidatas con el fin de encontrar en sus oscilaciones una estructura repetitiva y así poder lograr su respectiva caracterización (ver figura 7).

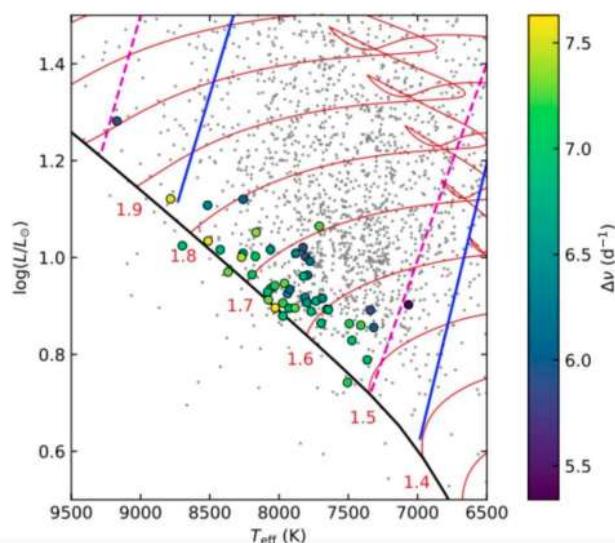


Figura 7. Un diagrama de Hertzsprung-Russell que muestra la ubicación de 60 estrellas con picos regularmente espaciados en la muestra. La línea negra indica la secuencia principal de edad cero (ZAMS), el inicio de la vida en secuencia principal de estrellas. Las líneas rojas son las trazas evolutivas para diferentes masas estelares. Las estrellas comienzan desde la línea negra y se mueven a lo largo de las líneas rojas a medida que evolucionan. L representa la luminosidad, Teff la temperatura efectiva y  $\Delta\nu$  el espaciado de frecuencia promedio. Los puntos débiles grises son estrellas δ Scuti observadas por la misión Kepler. Las líneas azules y moradas representan los bordes teóricos y observados de la zona de inestabilidad para las δ Scuti (*es decir, las estrellas dentro de la zona de inestabilidad deben exhibir oscilaciones similares a las δ Scuti*). [T. R. Bedding et al. 2020](#).

Ahora bien, respecto a las dificultades para detectar exoplanetas alrededor de este tipo de estrellas γ Doradus - δ Scuti de tipo espectral A, debemos comprender lo siguiente. Los astros nacen a partir de la fragmentación y el colapso del polvo y de las nubes de gas que se encuentran en las regiones de formación estelar. En una fase avanzada del colapso, las estrellas empiezan a consumir su hidrógeno en el núcleo. Durante este proceso, el entorno de la estrella ha quedado lleno de material sobrante que gira a su alrededor. La teoría dominante entiende que los planetas se forman a partir de esos discos de gas y polvo, es decir, son el fruto de la acumulación

del material que órbita alrededor de una estrella que se va compactando. Sería lógico pensar que, si en toda formación estelar existe ese material flotando alrededor, lo más probable es que todas las estrellas tengan planetas. La realidad es que no lo sabemos. No todas las estrellas son iguales. De hecho, un problema importante es determinar si existen tipos de estrellas más proclives que otras a la creación de planetas. Es posible que las estrellas más masivas con respecto a nuestro Sol, tengan un proceso de formación distinto, ya que no ha sido posible detectar muchos casos de discos alrededor de ellas. En las estrellas, cuanto mayor es la masa, más corta es su existencia. En consecuente, para el caso de las estrellas muy calientes tipo A, objeto de estudio del presente trabajo, presenten vientos muy poderosos entregando como resultado un tiempo de vida del disco estelar demasiado corto para formar planetas. El disco de acreción se dispersa rápidamente no dando tiempo suficiente para que los exoplanetas se formen. Por tal motivo, encontrar un planeta en este tipo de estrellas y en espacial las  $\gamma$  Doradus -  $\delta$  Scuti, sería de gran aporte para la comunidad científica y abriría las puertas a nuevas teorías de formación planetaria. Adicionalmente, conocemos bien, que los planetas son fuentes de luz (*reflejada*) muy tenue en comparación con sus estrellas. En longitudes de onda visibles, por lo general tienen menos de una millonésima del brillo de su estrella madre. Es sumamente difícil detectar este tipo de fuente de luz tenue, y, además, la estrella tiene una luz deslumbrante que casi lo hace imposible. Para darnos un ejemplo, multipliquemos por cinco la luz que emite la iluminación de un campo de fútbol de Primera División y concentrémosla en un solo foco. Justo al lado, pongamos una bombillita led (*diodo emisor de luz*) de las que se utilizan para la iluminación navideña. Si nos alejamos, será muy complicado distinguir el led, ya que la luz del enorme foco inundará su espacio circundante.

El problema de obtener una imagen directa de un planeta es cómo eliminar el enorme brillo de la estrella que satura la exposición de luz. Por las razones expuestas, los telescopios han fotografiado directamente no más de una decena de exoplanetas. Esto solo ha sido posible para planetas que son especialmente grandes (*por lo general mucho más grande que Júpiter*) y muy distantes de su estrella madre. La mayoría de los planetas con imágenes directas también son muy calientes, por lo que emiten una intensa radiación infrarroja, entonces las imágenes han sido hechas en infrarrojos en vez de longitudes de onda visibles, con el fin de reducir el problema del resplandor de su estrella principal. Ahora bien, para nuestro caso particular de estrellas tipo A y en especial las  $\gamma$  Doradus -  $\delta$  Scuti, tienen una particularidad que hace que la detección planetaria sea mucho más compleja, desde el punto de vista astro sismológico, este tipo de estrellas pulsan en altas frecuencias, correspondientes principalmente a modos radiales y no radiales de presión de bajo e intermedio orden radial, dado que exhiben simultáneamente modos de oscilación p y g, dichas oscilaciones estelares agregan velocidad radial con respecto al observador, sea en corrimiento hacia al rojo o azul contaminando la señal de velocidad radial. Agregan también variaciones de intensidad en la curva de luz y por tal contaminan los tránsitos.

Adicionalmente, las  $\gamma$  Doradus -  $\delta$  Scuti, presentan vientos muy poderosos que hacen que, el tiempo de vida del disco sea demasiado corto para formar planetas. El disco de acreción se dispersa rápidamente no dando tiempo suficiente para que los exoplanetas se formen. No obstante existe la probabilidad que, en las regiones más limítrofes del disco estelar pueda sobrevivir a la radiación estelar y quizás en estas regiones alejadas el polvo se pudiera condensar para formar núcleos rocosos. No obstante, en cuanto más distantes los planetas más difícil es su detección. Por tal motivo, es requerido la combinación de métodos indirectos como el de velocidades radiales y tránsitos planetarios, con soporte en la astro sismología, para la búsqueda de exoplanetas en este tipo de estrellas. El objetivo del presente trabajo es comprobar a partir de qué nivel de frecuencias eliminadas ([Barceló Forteza + 2017 y 2018](#)), es posible determinar un tránsito planetario. Lo anterior basado en el estudio previo de la estrella KIC 8197761 ([ver Sowicka et al. 2017](#)). Se espera lograr que, el mismo nivel de frecuencias eliminadas en KIC 8197761 (*tránsito encontrado, estelar y no planetario*), se pueda replicar en las estrellas de

muestreo inicial (*KIC 4570326, KIC 10338279 y KIC 12784394*). Dichos análisis fueron realizados con algunos programas desarrollados por el autor del presente documento (ver anexos) y el uso de del Software SHERLOCK (*Searching for Hints of Exoplanets from Lightcurves of space-based seeKers; Pozuelos et al. 2020*) (<https://pypi.org/project/sherlockpipe/>). Si este nivel es un factor común, se podría estar proponiendo una metodología para la búsqueda de tránsitos planetarios en estrellas y Doradus - δ Scuti. De no lograrse lo anterior, se deberá aplicar estudios complementarios para conocer por qué sucede esto o en su defecto aumentar el muestreo del análisis estelar. No obstante el resultado de los análisis serán independiente de si el Software de SHERLOCK termina o no el procesamiento de cada estrella objetivo, ya que la causa de la no finalización podría estar sujeto a la presencia misma de las oscilaciones.

### 3. Datos, ejecución y análisis

#### 3.1. KIC 8197761

KIC 8197761 es una estrella γ Doradus - δ Scuti que presenta atenuaciones periódicas. Está ubicado en el campo del clúster abierto NGC 6866, pero no es un miembro del clúster. [Sowicka et al. \(2017\)](#) mostró que una estrella enana M es responsable de los eclipses visibles. El contenido de variabilidad de la curva de luz en el espectro de Fourier se muestra en la Figura 8. Varios cientos de frecuencias están presentes en el rango de frecuencia de 0,1 a 5 c/d. Siendo algo interesante que, muchas de las oscilaciones son parte de múltiples (*en su mayoría tripletes, a veces dobletes*) espaciados iguales en frecuencia, y son a menudo las frecuencias centroides. [Sowicka et al. \(2017\)](#) determinó el ponderado del espacio de frecuencia media de estos multipletes  $f_{sp} = 0,001659$  (15) c/d.

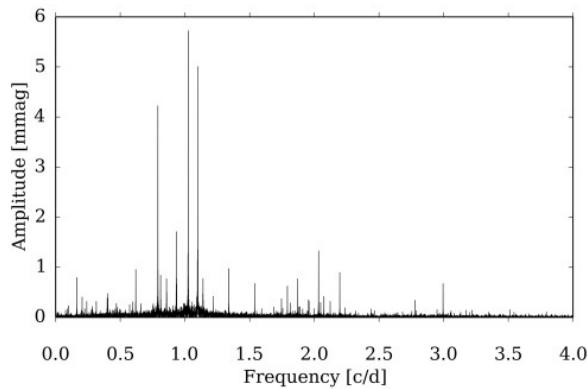


Figura 8. Muestra del periodograma de las observaciones de la curva de luz del Kepler Q0-Q17. [Sowicka et al. \(2017\)](#).

Por otra parte, las señales pulsantes son probablemente modos de gravedad del mismo grado esférico dividido por rotación. La teoría de la pulsación asintótica (ver, [Tassoul 1980](#)) predice que tales modos con los armónicos radiales consecutivos deben estar igualmente espaciados en el período. Se pueden establecer espaciamientos iguales de señal dentro de los conjuntos de datos revelados por los cálculos de la ventana espectral según se muestra en la figura 9.

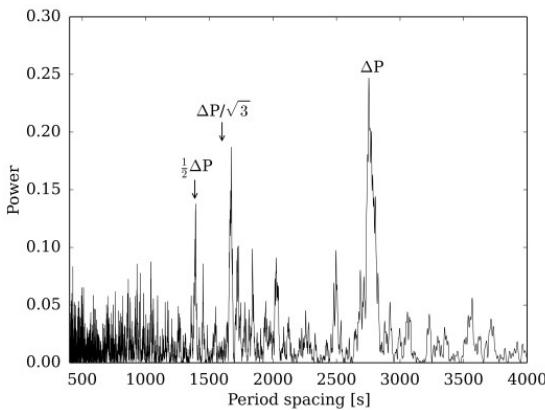


Figura 9. Muestra de la ventana espectral de KIC 8197761 (*espectro de período*). Se indica un intervalo de período medio alrededor de 2770 s y su primer armónico es indicado. Otra señal fuerte, cercana y diferente de  $\frac{2770\text{ s}}{\sqrt{3}}$ , también se encuentra presente. [Sowicka et al. \(2017\)](#).

Este análisis sugiere la presencia de un espaciamiento de período medio de  $2770 \pm 40$  s, con una segunda posibilidad de un espaciamiento medio de períodos de  $1670 \pm 20$  s. Esto es interesante, ya que los espaciados medios entre períodos de los modos de gravedad de orden superior como las  $\gamma$  y Doradus deberían relacionarse como  $\Delta P_{l=1} / \Delta P_{l=2} = \sqrt{3}$  ([Unno et al. 1989](#)). Sin embargo, la relación de estos dos posibles espacios medios entre períodos es  $1,66 \pm 0,04$ , casi  $2\sigma$  del valor asintótico. En el diagrama Echelle de la figura 10, muestra el espaciado de períodos de un delta de tiempo de 2700 s. Las señales que son componentes de multipletes con divisiones de igual frecuencia caen aproximadamente en una secuencia vertical. Una excepción son los dos períodos más cortos de estas señales. Por tanto, [Sowicka et al. \(2017\)](#) concluye que, las estructuras multipletes de frecuencia igualmente divididas con períodos entre 0,7-1,7 d son de hecho debido a  $g$  modos de la misma  $l$ . Hay tres razones principales para concluir que estas señales corresponden a  $l = 1$  modos. En primer lugar, los multipletes tienen un número máximo de tres miembros, en segundo lugar, la media  $l = 1$  espaciamiento de períodos de los modelos ZAMS (Zero-Age Main Sequence) de las estrellas  $\gamma$  y Doradus es de aproximadamente 3000 s ([ver Miglio et al. 2008](#)), y por último, la cancelación geométrica sobre el disco estelar visible ([Dziembowski 1977](#)) favorece las observaciones de los modos  $l = 1$  en comparación con  $l$  superior, [Sowicka et al. \(2017\)](#) identifica que, la frecuencia de estos multipletes son debidos a la división rotacional de  $l = 1$   $g$  modos de orden radial superior. Volviendo a la figura 10, los multipletes  $l = 1$  no se encuentran en una cresta vertical perfecta en el diagrama de Echelle; alguna estructura "ondulado / wave" es superpuesta. Este es un efecto del modo de captura, causada por los gradientes de densidad más nítidos en el interior estelar a medida que el objeto evoluciona, y se puede aprovechar para restringir su estado evolutivo ([Saio et al. \(2015\)](#) y [van Reeth et al. \(2015\)](#) por ejemplos). [Sowicka et al. \(2017\)](#) concluye que, la división rotacional es de  $f_{sp} = 0,001659 (15)$  c/d, para  $l = 1$   $P_{\text{rot}} = 301 \pm 3$  d, en el límite asintótico. Un intento inicial para un modelado astro sísmico más detallado no dio frutos (*H. Saio, comunicación privada*).

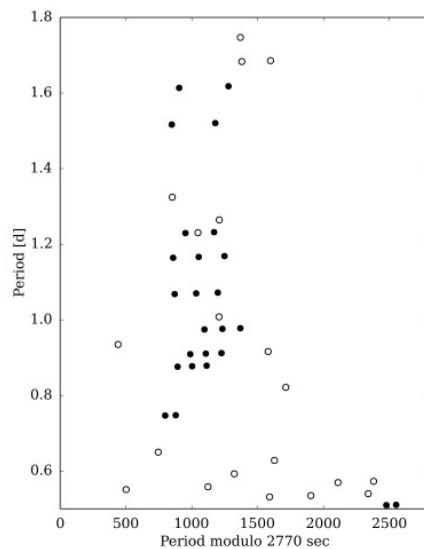


Figura 10. Diagrama de Echelle de los períodos de pulsación. Círculos completos equivalentes a las componentes de multipletes con divisiones de igual frecuencia. Círculos abiertos son las señales restantes. [Sowicka et al. \(2017\)](#).

[Sowicka et al. \(2017\)](#) expresa que, KIC 8197761, *exhibe eclipses (tránsitos) que ocurren cada 9.8686667 (27) d, con una duración de 8.37 h, y caídas de brillo de 0.00629 (29) magnitudes.* El espectro de pulsaciones de la estrella contiene varios dobletes y tripletes, que después de varios análisis de los datos recolectados del monitoreo espectroscópico de KIC 8197761 reveló variaciones de velocidad radial sinusoidal con una semi-amplitud de  $19,75 \pm 0,32$  km/s, mientras que los espectros individuales presentan un ensanchamiento rotacional consistente con  $v \sin i = 9 \pm 1$  km/s. Esto sugiere que la rotación de la superficie estelar se encuentra sincronizada con su órbita, mientras que el núcleo estelar gira unas 30 veces más lento. Por otra parte, la combinación de la variabilidad de la velocidad radial observada con la fotometría de tránsito restringe la masa del compañero a ser  $\sim 0,28 M_{\odot}$ , descartando una hipótesis de exoplaneta. El trabajo de [Sowicka et al. \(2017\)](#), está enfocado en detectar eventos similares a un tránsito después de la eliminación de señales pulsantes mediante ajustes sinusoidales. Cabe adicionar que, uno de los muchos problemas encontrados en el análisis de los datos e interpretación de dichas pulsaciones está en que este tipo de estrellas que generalmente giran una o dos veces al día, al menos una docena de veces más rápidas que el Sol. La rápida rotación aplana las estrellas en sus polos y mezcla los patrones de pulsaciones, haciéndolos más complicados y difíciles de descifrar. De allí la importancia de esta estrella puntual (KIC 8197761), su caracterización realizada y conocimiento previo hecho por [Sowicka et al. \(2017\)](#), permitió tener una referencia de análisis y resultados, con el objetivo de poderlos emular computacionalmente y comprobar a partir de qué nivel de frecuencias eliminadas ([Barceló Forteza + 2017 y 2018](#)), es posible determinar un tránsito. Si ese nivel de frecuencias eliminadas es el mismo para cualquier estrella y Doradus - δ Scuti estudiada, todo podría apuntar a que se podría tener una metodología para intentar buscar tránsitos de manera automática (A. García y S. Barceló Forteza, comunicación privada). Si no fuese igual en el muestreo de los casos de las estrellas estudiadas en este documento (KIC 4570326, KIC 10338279 y KIC 12784394), se deberá estudiar con más profundidad la razón del porque sucede esto o si es necesario estudiar más casos similares (estrellas y Doradus - δ Scuti). La tabla 2, contiene los datos mínimos de entrada requeridos por SHERLOCK. Los datos fueron tomados del servicio de catálogos astronómicos VizieR (<https://vizier.cds.unistra.fr/viz-bin/VizieR-5?-ref=VIZ6160577b346d77&-out.add=&-source=IV/38/tic&-c=301.03876477084%20%2b44.07110259376,eq=J2000,rs=2&-out.orig=o> ).

RA	301.03876477084 deg
Dec	+44.07110259376 deg
Teff	7141.3 K
s_Teff	106.4 K
logg	4.1094 [cm/s <sup>2</sup> ]
s_logg	0.0852 [cm/s <sup>2</sup> ]
Rad	1.842 R <sub>sun</sub>
s_Rad	0.078 R <sub>sun</sub>
Mass	1.591 M <sub>sun</sub>
s_Mass	0.262 M <sub>sun</sub>
Lum	7.94610 L <sub>sun</sub>
s_Lum	0.47091 L <sub>sun</sub>

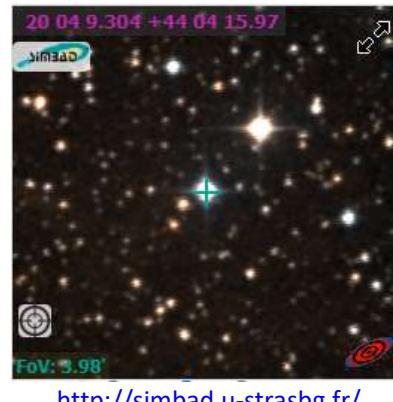


Tabla 2. Caracterización de la binaria eclipsante KIC 8197761 o TIC 185057693

### 3.2. KIC 4570326

[Gaulme, Patrick et al \(2014\)](#), identificó 94 posibles sistemas binarios eclipsantes en una muestra de más de 1800 estrellas observadas en cadencia larga como parte de la misión Kepler. Programa de observadores invitados para buscar candidatos a ser estrellas y Doradus y δ Scuti. [Gaulme, Patrick et al \(2014\)](#), presentó resultados de un procedimiento que consistía en doblar la curva de luz para poder así identificar un potencial período binario, este consistía en restar el ajuste a la curva de luz, y aplicar un análisis de Fourier en el residual con el objetivo de buscar pulsaciones que pueden surgir en uno o ambos componentes estelares. De esta muestra, [Gaulme, Patrick et al \(2014\)](#) encontró una gran variedad de tipos de curvas de luz; alrededor de una docena de estrellas, dichas estrellas presentan frecuencias consistentes con pulsaciones de tipo δ Sct o γ Dor, o con características similares a las producidas por la actividad estelar (*rotación*). KIC 4570326, fue una de estas estrellas identificadas como binaria eclipsante tipo ELV (*contact ellipsoidal variable*), con períodos de 1.1 d y con una frecuencia en de 100 – 230 μHz (ver figura 11). Igualmente, estudios realizados por [Balona, L. A. \(2019\)](#) presentó información adicional extraída de catálogos en línea. Clasificación del tipo de variabilidad (DSCT+ROT), magnitud V (9.760), temperatura efectiva (7000 K) y luminosidad (1.50). La velocidad de rotación proyectada (80 Km s<sup>-1</sup>), la frecuencia de rotación presunta (0.892275 d<sup>-1</sup>), amplitud (2.677 ppt)(partes por trillón). La relación señal / ruido (S/N) de A1 (92.5) y su tipo espectral cuando está disponible (F1V). Otras fuentes de información han arrojado datos más precisos que los referenciados por [Balona, L. A. \(2019\)](#) y [Gaulme, Patrick et al \(2014\)](#), respecto a la temperatura efectiva (7209 K) (<https://vizier.cds.unistra.fr/>) y su periodo de rotación (1.121552) ([https://archive.stsci.edu/kepler/eclipsing\\_binaries.html](https://archive.stsci.edu/kepler/eclipsing_binaries.html)).

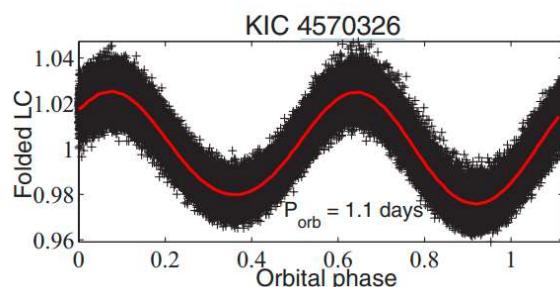


Figura 11. Curva de luz con señal binaria restada de KIC 4570326.

La caracterización de la binaria eclipsante KIC 4570326 o TIC 138572901, fueron tomados de <https://vizier.cds.unistra.fr/viz-bin/VizieR-5?-ref=VIZ61587f04d1bd0&-out.add=&-source=IV/38/tic&-c=294.03763368002%20%2b39.62859593921,eq=J2000,rs=2&-out.orig=o> (servicio de catálogos astronómicos VizieR). Información mínima requerida por SHERLOCK, para poder ejecutar su respectivo procesamiento y análisis (ver tabla 3).

RA	294.03763368002 deg
Dec	+39.62859593921 deg
Teff	7209.0 K
s_Teff	142.0 K
logg	3.8365 [cm/s <sup>2</sup> ]
s_logg	0.0877 [cm/s <sup>2</sup> ]
Rad	2.544 Rsun
s_Rad	0.100 Rsun
Mass	1.620 Msun
s_Mass	0.275 Msun
Lum	15.75099 Lsun
s_Lum	0.79923 Lsun



Tabla 3. Caracterización de la binaria eclipsante KIC 4570326 o TIC 138572901

### 3.3. KIC 10338279

[Maehara, Hiroyuki et al \(2015\)](#), buscaron estrellas super brillantes de tipo solar ( $\sim 5.778$  K) utilizando los datos de Kepler de cadencia corta (*muestreo de 1 min*) para detectar super brillantes de corta duración. Encontraron 187 super brillantes en 23 estrellas de tipo solar cuya energía bolométrica varía del orden de 1032 erg a 1036 erg. Estimaron períodos de variaciones de luz a largo plazo de las curvas de luz de cada estrella (*entre ellas KIC 10338279*) mediante el uso de la transformada de Fourier (*DFT*). Para el análisis del período, utilizaron los datos de cadencia larga (*resolución de tiempo de 30 min*) obtenidos desde septiembre de 2009 (*Q2*) hasta abril de 2013 (*Q16*). Estos períodos son básicamente consistentes con los de [McQuillan et al. \(2014\)](#).  $T_{\text{eff}} = 5615$  k y un  $P_{\text{rot}} = 6.53$  d. (ver figura 12). [Maehara, Hiroyuki et al \(2015\)](#), expresa que, la mayoría de estrellas de tipo solar que exhiben las super brillantes muestran variaciones de brillo cuasi-periódicas con un rango de amplitud de  $\sim 0,1\%$  al 8%. Se cree que estas variaciones de luz son causadas por la rotación de la estrella con manchas estelares (*por ejemplo, Notsu et al. 2013*). Aunque la mayoría de las estrellas de tipo solar son estrellas super brillantes que giran rápidamente, la temperatura y la velocidad de rotación de algunas estrellas superflare son cercanos a los del Sol ([Nogami et al. 2013](#) y [Nogami et al. 2015](#)). [Kolbl et al. \(2015\)](#) encontró que, KIC 10338279 muestra evidencia de un compañero estelar cercano en sus espectros. Sin embargo, sin velocidades radiales de varias épocas, no está claro si, el compañero espectral es responsable de los eclipses. Ahora bien por ser un sistema EBs (*eclipsing binaries*) tipo SB2 asincrónico de periodo corto  $P_{\text{orb}} < 10$  d , [Kolbl et al. \(2015\)](#) lo considera como un posible falso positivo.

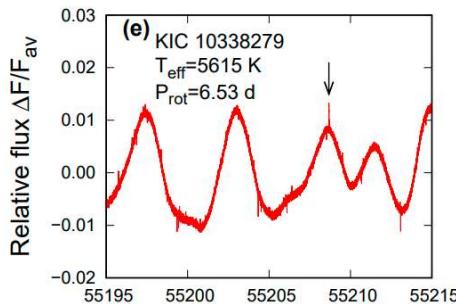


Figura 12. Variaciones de luz a largo plazo de las estrellas superflare de tipo solar ([Maehara, Hiroyuki et al \(2015\)](#)).

Adicionalmente, referente a los datos requeridos por SHERLOCK (ver *tabla 4*), fue necesario acudir al trabajo realizado por Notsu, Yuta en su Tesis o disertación titulada “Observational studies on solar-type superflare stars (Dissertation)”, en la “Table C.3: Basic data of our target superflare stars of our APO3.5m observations”. Información soportada en el trabajo realizado por [Berger et al. \(2018\)](#), titulado “Propiedades precisas de las estrellas y planetas de Kepler en la era de Gaia”. Lo anterior fue requerido a razón que no se encontró información relacionada con KIC 10338279 o TIC 159726150, en dGaia y RGaia. Referente a la AR y DEC fue necesario acudir al servicio de catálogos astronómicos VizieR, en el siguiente sitio web: <https://vizier.cds.unistra.fr/viz-bin/VizieR-5?-ref=VIZ615f3d6d2a097b&-out.add=.&-source=IV/38/tic&-c=291.37061766273%20%2b47.43552712217,eq=J2000,rs=2&-out.orig=o>.

RA	291.37061766273 deg
Dec	+47.43552712217 deg
Teff	5615 K
s_Teff	No presenta
logg	4.48 [cm/s2]
s_logg	+0.10 / -0.14 [cm/s2]
Rad	0.84 Rsun
s_Rad	+0.19 / -0.10 Rsun
Mass	~ 0.98 Msun
s_Mass	No presenta
Lum	No presenta
s_Lum	No presenta



Tabla 4. Caracterización de la binaria eclipsante KIC 10338279 o TIC 159726150

### 3.4. KIC 12784394

[Niemczura, E. \(2015\)](#) expresa que, para tener éxito en el modelado sísmico (*astrosismología*) es muy importante tener parámetros estelares físicos precisos. Por lo tanto, se necesitan datos complementarios en tierra. [Niemczura, E. \(2015\)](#) reporta los resultados del análisis de datos espectroscópicos de alta resolución de estrellas de tipo A y F de Campo de Kepler, entre ellas la KIC 12784394, que se obtuvieron con el espectrógrafo HERMES en el telescopio Mercator. [Niemczura, E. \(2015\)](#) determinó, tipos espectrales, parámetros atmosféricos y abundancias químicas para una muestra de 117 estrellas. Se utilizaron líneas Hydrogen Balmer, Fe I y Fe II para derivar temperaturas efectivas, densidades superficiales y velocidades micro turbulentas.

El cual determino a nuestra estrella como una tipo espectral A5 / A4V, con V [mag] de 9.67 y la clasifica como una SB2; δ Sct + rot. Para efectos de obtener Información mínima requerida por SHERLOCK, fue necesario acudir al servicio de catálogos astronómicos VizieR, en el siguiente sitio web: <https://vizier.cds.unistra.fr/viz-bin/VizieR-5?-ref=VIZ615882bddd400&-out.add=.&-source=IV/38/tic&-c=289.96423346507%20%2b52.09435511569,eq=J2000,rs=2&-out.orig=o>. Los Id usados para la búsqueda fueron: KIC 12784394 o TIC 267673973. En la tabla 5, se presenta los datos obtenidos.

RA	289.96423346507 deg
Dec	+52.09435511569 deg
Teff	7798.8 K
s_Teff	172.6 K
logg	3.9620 [cm/s2]
s_logg	0.0818 [cm/s2]
Rad	2.353 Rsun
s_Rad	0.092 Rsun
Mass	1.850 Msun
s_Mass	0.286 Msun
Lum	18.45107 Lsun
s_Lum	0.78757 Lsun



<http://simbad.u-strasbg.fr/>

Tabla 5. Caracterización de la binaria eclipsante KIC 12784394 o TIC 267673973

### 3.5. Ejecución y análisis

Con el objetivo de poder lograr construir una metodología que busque posibles tránsitos planetarios de manera automática y a su vez lograr encontrar un nivel óptico de sustracción de frecuencias por cada observación realizada de una estrella objetivo, se realizó una serie de tareas y procesos que se encuentra sintetizados en la siguiente infografía (ver figura 15); Proceso 1, se inicia a partir de dos ficheros de texto, el primero, llamado Params.dat (*lista de parámetros de cada oscilación que tiene la estrella. La primera columna es la frecuencia (microHz), la segunda es la amplitud (ppm), la tercera es la fase (rad). Las tres siguientes son los errores de las tres primeras. La séptima es la señal a ruido. La octava es el tanto por ciento de la señal extraída*), el cual contiene las oscilaciones de la estrella, el segundo, Flux.dat (*las 2 primeras columnas indican el tiempo (días) y el flujo (partes por millón)*): que contiene las observaciones del flujo de luz de la estrella. Estos ficheros son procesados para llevarlos del formato .dat al .csv compatible con el resto del sumario. Proceso 2. Los ficheros Params.csv y Flux.csv son computados por el script ndu.py, aplicando la fórmula de la sustracción sinusoidal para “eliminar” acumulativamente las oscilaciones de la estrella.

$$F_i = f_i - \sum_0^j A_j \cdot \sin((2\pi \cdot nu_j \cdot t_i) + \phi_j)$$

En cuanto como se eliminan las oscilaciones y cuantas se sustraen a cada paso, [Barceló Forteza + 2017 y 2018](#), expresa que, se considera los picos de envelope todos aquellos que tengan una señal igual o superior al 0.1% (*el total extraído da igual, es el % del pico en particular*). El grass se considera como todos aquellos picos con una señal inferior al 0.01%. Así se obtendría los siguientes posibles casos: La curva de luz original, la curva sin envelope (*sin picos mayores al 0.1%*), la curva solo con grass (*sin picos mayores al 0.01%*) y la curva con picos menores a 0.001%.

Lo anterior tiene que ver con la estructura del espectro de potencia de la estrella delta Scuti que observó por vez primera [Poretti et al. 2009](#), el cual presenta en su documento, una estructura de envelope + un grass de amplitud baja que forma una meseta (*ver figura 13*). Eso sí, no todas las delta Scuti presentan meseta. De hecho, estos límites y la estructura aún se están estudiando.

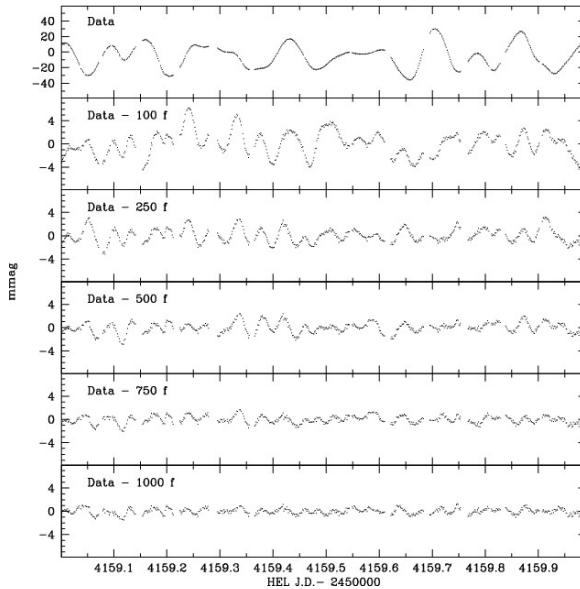


Figura 13. Comportamiento de la curva de luz de HD 50844 en los datos originales (*panel superior*) y después de restar los términos detectados en diferentes pasos, donde el eje del tiempo abarca 1 d. [Poretti et al. 2009](#).

Proceso 3. Se generan tantos archivos de salida (*curvas de luz [lcXX.csv]*), según la cantidad de oscilaciones registradas en el archivo Params.csv, y cada archivo contendrá tantos registros como observaciones existan en el fichero Flux.csv (ver *ejemplo en la figura 14*).

Figura 14. Ejemplo del proceso 3 de la figura 16. Fichero Flux.csv (columna 4 de izq. a der.), contiene 14279 observaciones, el cual es procesado por cada oscilación (38) registrada en el

fichero Param.csv (*columna 2 izq. a der.*), entregando como salida, 38 curvas de luz (*columna 3 de izq. a der.*), donde cada una de ellas, contiene 14281 registros de cada observación registrada en Flux.csv (*columna 1 de izq. a der.*).

Proceso 4. Se elige una curva de luz y se procesa con el script post.py el cual corrige la unidad de medida del flujo de luz (*basta simplemente con dividir todos los valores por 1e6 y sumarles 1*) y genera la columna de datos #flux\_error en base a la curva de luz final del proceso (*lc\_#.csv*) (*flujo residual después de haber eliminado todas las frecuencias. A estos valores, se les divide por 1e6*) (*para el caso del ejemplo de la figura 14, sería la lc38.csv*) (ver ejemplo en la figura 15).

0.0272455977,-99.6814902182,1,0 0.0279357176,-163.1628020965,1,0 0.02866979376,-142.3274145507,1,0 0.0292898575,-94.6744835834,1,0 "output/lc38.csv" 14281L, 450865C	1,1	Top output/lc19.csv	1,1	Top post/post_lc19.csv	1,1	Top
--	-----	---------------------	-----	------------------------	-----	-----

Figura 15. Ejemplo del proceso 4 de la figura 16. Imagen compuesta por 3 secciones (*vistas de izq. a der.*) y cada sección compuesta por 3 columnas (*time, flux y flux\_error*); Sección 1, última curva de luz (lc38.csv), con la mayor sustracción sinusoidal acumulada de las oscilaciones de la estrella, sin corrección de unidades del flujo de luz y cálculo de su respectivo error; Sección 2, lc19.csv, curva de luz con la sustracción acumulada hasta la oscilación 19 de la de estrella, sin corrección de unidades del flujo de luz y cálculo de su respectivo error ; Sección 3, post\_lc19.csv, curva de luz con la sustracción acumulada hasta la oscilación 19 de la de estrella, con corrección de unidades del flujo de luz ( $\left(\frac{\#flux_{lc19.csv}}{1e6}\right) + 1$ ) y cálculo de su respectivo error ( $\left(\frac{\#flux_{lc38.csv}}{1e6}\right)$ ).

Proceso 5. Se ejecuta SHERLOCK (<https://sherlockpipe.readthedocs.io/en/latest/>) usando como fuente de datos el fichero generado por post.py y un fichero YAML de configuración acorde a la estrella objetivo. Como resultado de esto se generan múltiples ficheros de salida general que contienen datos como: El log de la ejecución, los posibles candidatos hallados, los parámetros de las estrellas, etc. Al igual que un subdirectorio por cada run ejecutada. En este punto, se pretende tratar de comprobar a partir de qué nivel de frecuencias eliminadas SHERLOCK es capaz de determinar un posible tránsito usando los siguientes datos de entrada: curva de luz original, residuos eliminando el 90% de la señal, residuos eliminando el 99% de la señal y los residuos después de eliminar todas las frecuencias. Lo interesante, seria encontrar que, tanto en las estrellas analizadas en este documento como en las futuras, permita encontrar un factor común, respecto al porcentaje del nivel de sustracción sinusoidal que admite inferir un posible tránsito. Lo anterior nos llevaría a desarrollar una metodología para intentar buscar tránsitos de manera automática. Así mismo, teniendo las curvas de luz listas y delimitadas por los diferentes niveles de sustracción sinusoidal, dichas curvas de luz se podrán someter al proceso computacional de SHERLOCK.

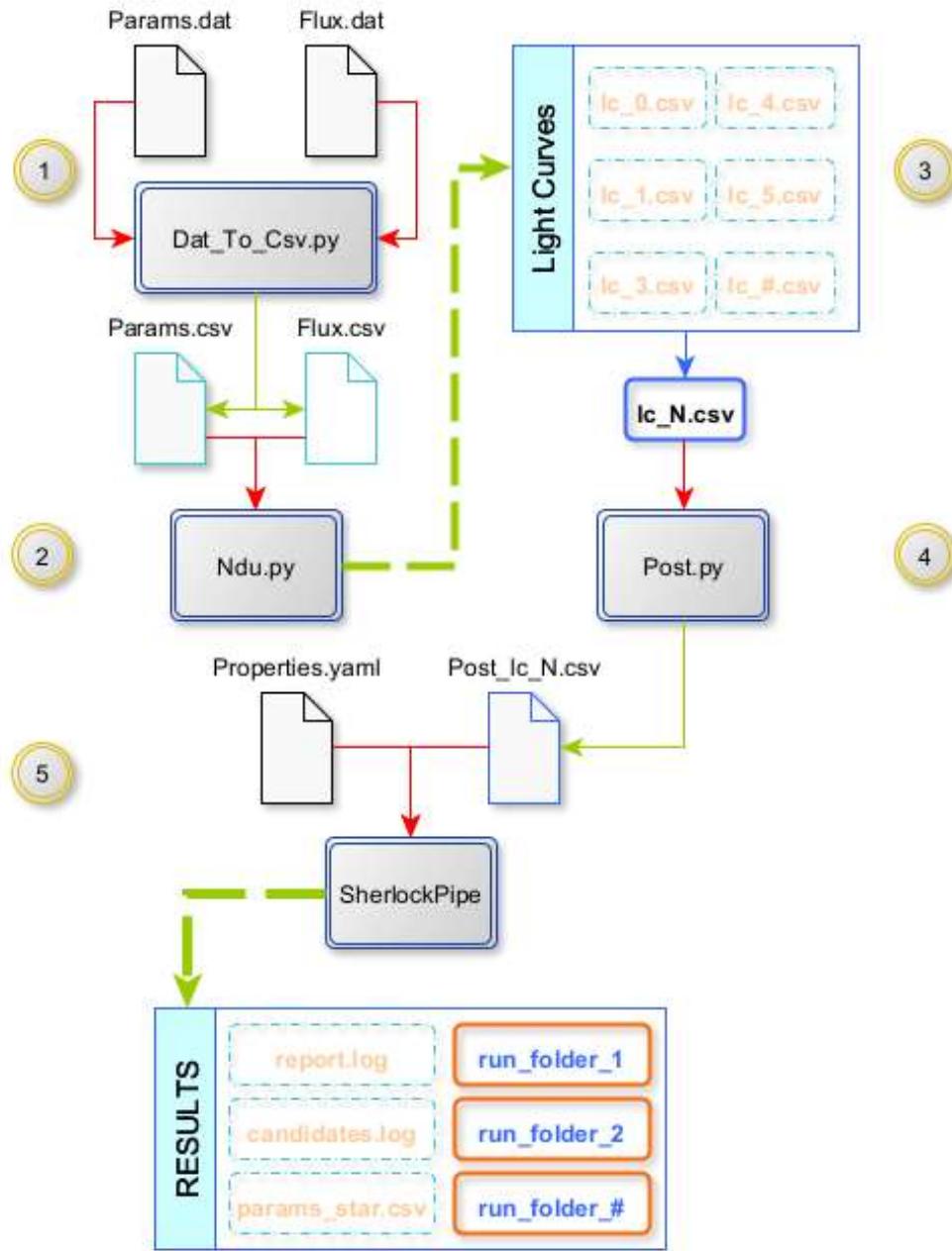


Figura 16. Infografía de los procesos realizados para la búsqueda de posibles tránsitos planetarios en estrellas δ Sct o γ Dor. Convenciones generales; la línea roja indica un archivo que se usa como entrada de datos; la línea verde sólida indica que un archivo se genera como salida de un proceso; la línea verde punteada indica una salida múltiple de datos, que genera varios archivos y directorios; los ficheros de borde negro indican archivos de texto no procesados; los ficheros de borde azul claro indican texto con procesamiento estructural, mas no de contenido; los ficheros de borde azul oscuro indican texto con procesamiento estructural y de contenido; los recuadros de borde azul punteado son ficheros generados por una salida múltiple de un proceso; los recuadros de borde naranja son sub directorios generados por una salida múltiple de un proceso; el signo # indica el número máximo de elementos de un conjunto y la letra N indica un determinado elemento particular de un conjunto.

SHERLOCK (*Searching for Hints of Exoplanets from Lightcurves of space-based seeKers*) es un proyecto de código abierto orientado a ofrecer un conjunto de herramientas computacionales que permiten agilizar la búsqueda de candidatos planetarios [Pozuelos et al. 2020](#) (<https://pypi.org/project/sherlockpipe/>). El cual se posee dos etapas de ejecución (<https://sherlockpipe.readthedocs.io/en/latest/search-proc.html#search-stage>); ETAPA 1, preparación (ver figura 17). En primera instancia, SHERLOCK identifica el modo de ejecución en virtud de la configuración de la estrella objetivo indicada, de tal forma que puede trabajar ya sea con objetivos de cadencia corta, cadencia larga o con un objetivo local suministrado por archivo. En segunda instancia, SHERLOCK actuará acorde al objetivo detectado, a saber; Si el objetivo es de cadencia corta, procederá a generar la curva de luz para la siguiente instancia. Opcionalmente puede recibir una curva de luz de una fuente de datos auxiliar; Si el objetivo es de cadencia larga, SHERLOCK determinará la misión a la que pertenece el objetivo (*TESS*, *Kepler* y *K2*) y construirá la curva de luz apropiada. En el caso de los objetivos de la misión *TESS*, SHERLOCK puede cargar información adicional de una unidad de datos Postcard o Tesscut, para las otras misiones, SHERLOCK puede apoyarse en un TargetPixelFile de Kepler; Si el objetivo está definido localmente, SHERLOCK evaluará si el nombre del objetivo coincide con un nombre de una estrella catalogada o no. Posteriormente cargará los datos locales suministrados en un fichero CSV. En tercera instancia (*caso particular usado para el análisis de las estrellas del presente documento*), SHERLOCK obtendrá los parámetros de la estrella objetivo a través de los bancos de datos disponibles en INTERNET. Para el caso de un objetivo local, este proceso se realiza solo si el nombre del objetivo coincide con el de una estrella conocida; en caso contrario se omite este paso y se asume que tales datos son suministrados por el usuario a través de las propiedades de ejecución de SHERLOCK. En cuarta instancia, SHERLOCK utiliza las curvas de luz y los parámetros de la estrella objetivo para calcular los datos base de su ejecución; para posteriormente determinar los límites del periodo a considerar. En este punto SHERLOCK puede recibir un selector de zona de búsqueda para acotar los límites del periodo. En quinta instancia, SHERLOCK realiza los procesos de limpieza (*CLEAN*) de los datos generados hasta el momento. Si el usuario suministra un algoritmo de limpieza personalizado SHERLOCK hará uso de este, en caso contrario aplicará SG Smooth y root mean square (*RMS*) para realizar la limpieza de datos. Finalmente, SHERLOCK genera los detrends (*tendencia de flujo*) de frecuencia de alta amplitud y aplica sobre estos las máscaras de tiempo y transito dando como resultado final un set de datos viable para la ejecución de la etapa de búsqueda.

ETAPA 2, búsqueda (ver figura 18). SHERLOCK ejecuta los procesos de búsqueda de candidatos sobre el detrend objetivo; en este punto se puede cargar un archivo de plantilla de tránsito, así como curvas de luz adicionales. Posteriormente SHERLOCK calculará el mejor candidato para cada curva de luz en el detrend objetivo y verificará si existen más detrends para ser procesados. Si existen más detrends SHERLOCK realizará el mismo proceso con cada uno de ellos, ajustando el tamaño de la ventana de búsqueda acorde a cada uno. Si no existen más detrends, SHERLOCK realizará el cálculo de la mejor señal detectada, para ello trabaja en base al conjunto de señales detectadas en la búsqueda de candidatos y un algoritmo de selección, el cual puede ser definido de forma externa. En este punto SHERLOCK evalúa si ha obtenido alguna señal viable, en cuyo caso continuará repitiendo el proceso por cada una de las “runs” (*ciclos de ejecución*) definidas. En caso contrario o si se ha alcanzado el máximo de “runs” definidas, SHERLOCK detendrá su ejecución. Adicionalmente es necesario considerar algunos puntos, a saber: La plantilla de tránsito representa la opción seleccionada del tipo de forma de tránsito que se buscará en la curva de luz plegada; tls: Una forma de tránsito modelada por Batman; bls: El modelo clásico de cuadrados mínimos; grazing: un modelo de tránsito de pastoreo; tailed: Una aproximación a un modelo de tránsito de objetos con cola como cometas o planetas en desintegración; custom: Algoritmo definido por el usuario.

Los algoritmos de selección inyectados son la forma de decidir qué señal es la mejor para cada ejecución; Basic: SHERLOCK seleccionará la señal con la SNR más alta de todas las curvas de luz para la ejecución actual; Border correct: SHERLOCK realizará una corrección en los valores SNR de las señales seleccionadas de cada curva de luz dependiendo de cuántos de sus tránsitos tengan lugar además de los espacios de medición de datos vacíos. El algoritmo de quórum: construido sobre el algoritmo de corrección de borde, este corregirá la SNR de la señal seleccionada para cada curva de luz también contando el número de detrends que seleccionaron la misma señal y por último el algoritmo personalizado: el usuario también puede inyectar su propio algoritmo de selección de señal.

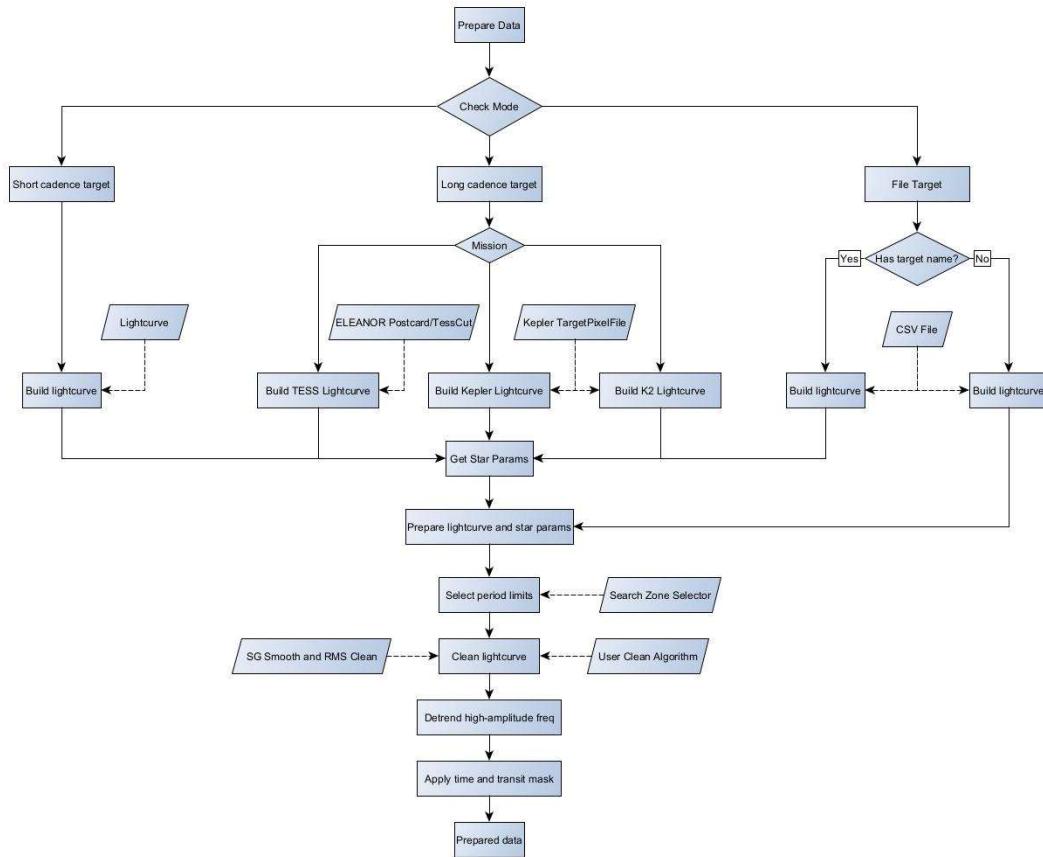


Figura 17. Infografía de los procesos que realiza SHERLOCK en la ETAPA 1, preparación.

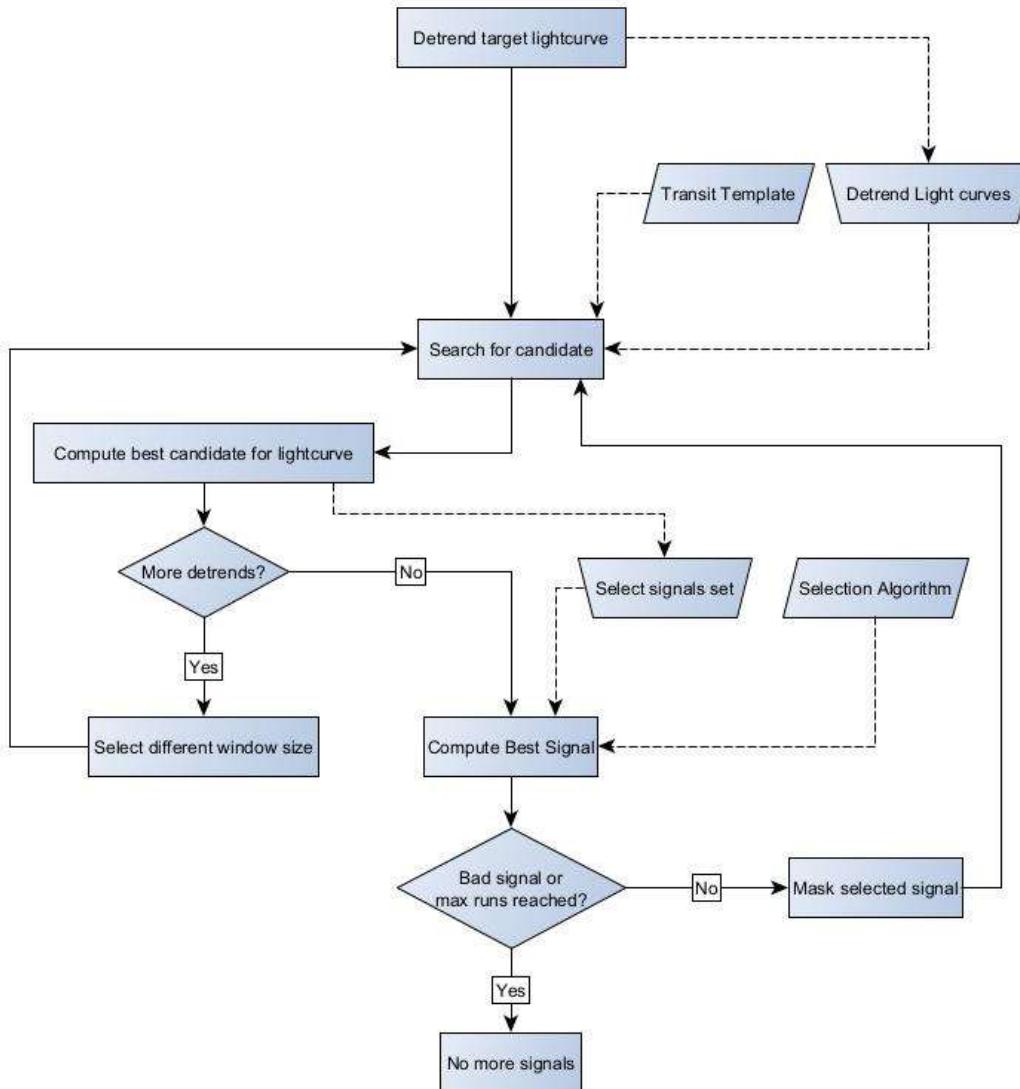


Figura 18. Infografía de los procesos que realiza SHERLOCK en la ETAPA 2, búsqueda.

## 4. Resultados

Antes de iniciar con los resultados, cabe nombrar algunas propiedades importantes en la etapa de la preparación de los datos, que pueden ser personalizadas en el archivo YAML (<https://github.com/franpoz/SHERLOCK/blob/master/sherlockpipe/properties.yaml>) de cada estrella objetivo, en especial las siguientes; # Número de modelos de tendencia que se generarán a partir de la curva de luz original (*DETRENDS\_NUMBER*: 6); # Los métodos de detrend aceptados son 'biweight' y 'gp' (*DETREND\_METHOD*: 'biweight'); # Número máximo de ejecuciones de SHERLOCK (*MAX\_RUNS*: 10); # Número mínimo de SECTORES para una ejecución (*MIN\_SECTORS*: 1); # Número máximo de SECTORES para una ejecución. Si el objetivo contiene más, se omitirá (*MAX\_SECTORS*: 999999); # Umbral SNR para que un candidato sea aceptado y finalice la ejecución (*SNR\_MIN*: 7); # Umbral SDE (*Stochastic Differential Equation*) para que un candidato sea aceptado y finalice la ejecución (*SDE\_MIN*: 5). Aquellos propiedades que no estén escritos dentro del archivo YALM, el software tomara los valores configurados por defecto.

Otros valores de parametrización usados por parte de SHERLOCK, para el procesamiento de las diferentes curvas de luz estudiadas este documento son; Detrend method: Bi-Weight; No of detrend models applied: 6; Period planet protected: 10.0; Minimum Period (d): 0.5; Maximum Period (d): 33.0; Binning size (min): 10.0; Mask: no; Transit Mask: no Threshold limit for SNR: 7.0; Threshold limit for SDE: 5.0; Sigma threshold for outliers clipping: 3.0; Fit method: default; Oversampling: 3.000; Duration step: 1.100; T0 Fit Margin: 0.050 y Signal scoring algorithm: border-correct.

A continuación, los resultados obtenidos después de someter las cuatro estrellas objetivo; KIC 8197761 (*estrella principal, con previo estudio y resultados conocidos que permitió tener una guía comparativa respecto al nivel de sustracción de frecuencias que posibilitó determinar un tránsito estelar. Por [Sowicka et al. 2017](#)*); KIC 4570326; KIC 10338279 y KIC 12784394 (*estrellas de muestreo*), a los diferentes procesos descritos en el capítulo 3.5, en sus diversos niveles de sustracción sinusoidal (*la curva de luz original (con todas las oscilaciones), la curva sin envelope (sin picos mayores al 0.1%), la curva solo con grass (sin picos mayores al 0.01%) y la curva de luz sin picos mayores a 0.001%, son:*

#### 4.1. KIC 8197761

Archivo de configuración para la ejecución de SHERLOCK. KIC8197761.yaml.

```
TARGETS:  
KIC 8197761:  
FILE: "./KIC8197761.csv"  
#####  
### STAR INFO  
#####  
###  
STAR:  
MASS: 1.384  
# MASS_LOWER_ERROR: 0.27  
# MASS_UPPER_ERROR: 0.281  
RADIUS: 1.717  
# RADIUS_LOWER_ERROR: 0.410  
# RADIUS_UPPER_ERROR: 0.858  
TEFF: 7301  
# LUM: 1.25  
LOGG: 4.11  
# LD_COEFFICIENTS: [0.25, 0.64]
```

La caracterización obtenida por SHERLOCK de la estrella KIC 8197761, se describe a continuación; limb-darkening estimates using quadratic LD (a,b)= (0.316, 0.3223); mass = 1.384000; mass\_min = 1.150000; mass\_max = 1.596000; radius = 1.717000; radius\_min = 1.260000; radius\_max = 2.220000; **teff = 7301.0**; lum = 7.935432; logg = 4.110000 y Minimum number of transits: 1. Siguiente los resultados entregados por SHERLOCK, en sus diferentes niveles de sustracción sinusoidal.

### KIC 8197761 - LC ORIGINAL CON TODAS LAS OSCILACIONES

Número máximo de ejecuciones realizadas por SHERLOCK: 3 (RUN)

#### SEARCH OF SIGNALS - Run 1

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	0.753	1.95214	0.000515	2.969	261.3	52.293	10.21669	0.05353	0.03413
2	1.4641	1.95214	0.00058	6.22	261.3	61.651	14.78706	0.07751	0.03413
3	2.1752	1.26432	0.000469	4.095	217.9	60.164	11.998	0.06287	0.02555
4	2.8863	1.95207	0.00058	4.756	261.3	58.156	12.92999	0.06781	0.03413
5	3.5975	1.95207	0.00057	5.189	261.3	61.103	13.50596	0.07082	0.03413
6	4.3086	1.26432	0.000451	3.948	217.9	56.145	11.78114	0.06172	0.02555

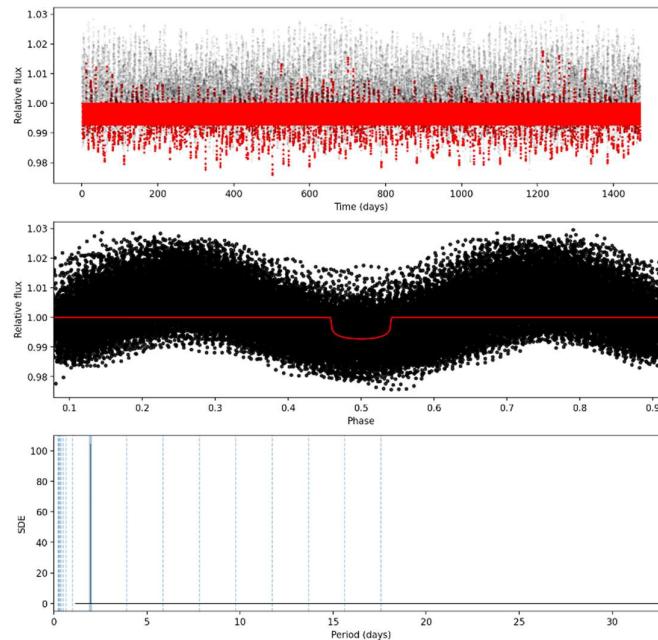
#### SEARCH OF SIGNALS - Run 2

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	0.753	nan	-15.92378	nan	nan	nan	nan	nan	nan
2	<b>1.4641</b>	<b>1.9522</b>	<b>0.000322</b>	<b>6.331</b>	<b>236.9</b>	<b>58.586</b>	<b>14.91834</b>	<b>0.07806</b>	<b>0.03413</b>
3	2.1752	1.9522	0.000226	4.298	236.9	50.25	12.29159	0.06422	0.03413
4	2.8863	1.9522	0.000258	4.824	236.9	54.715	13.02216	0.06817	0.03413
5	3.5975	1.9522	0.000258	5.279	236.9	58.002	13.6229	0.07129	0.03413
6	4.3086	1.9522	0.000193	4.447	236.9	50.475	12.50292	0.06537	0.03413

#### SEARCH OF SIGNALS - Run 3

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	0.753	nan	-15.92378	nan	nan	nan	nan	nan	nan
2	1.4641	nan	-15.92378	nan	nan	nan	nan	nan	nan
3	2.1752	nan	-15.92378	nan	nan	nan	nan	nan	nan
4	2.8863	nan	-15.92378	nan	nan	nan	nan	nan	nan
5	3.5975	nan	-15.92378	nan	nan	nan	nan	nan	nan
6	4.3086	nan	-15.92378	nan	nan	nan	nan	nan	nan

Run 2# win\_size:1.4641 # P=1.95d # T0=1.66 # Depth=6.3310ppt # Dur=237m # SNR:58.59 # SDE:104.60 # FAP:0.000080



LC2-Run2-ORIGINAL

Analizando, las distintas ejecuciones realizadas por SHERLOCK en la curva de luz original (*con todas las oscilaciones*), se observa que, la columna de periodo presenta la misma señal con un periodo de **1.9522 d** en todas las tendencias (*Detrends*) o curvas de luz generadas a partir de la original. Por tal razón, tomaremos como mejor candidato para su estudio, la LC2-Run2-ORIGINAL, por tener la mayor profundidad media (6.331 ppt - *partes por trillón*) en el tránsito. Dicha LC no permite diferenciar una profundidad de tránsito visible. Los valores NaN (*Not a Number*) que presenta la Run 3, son dados por posibles errores de una función matemática concreta, pero que cuya ejecución no es practicable para todos los posibles datos de entrada o está especificado para cualquier valor ausente. SHERLOCK define esta LC como un candidato prometedor a ser un tránsito, sin embargo, es muy prematuro definirlo, por las siguientes razones: primordialmente por ser la primera curva de luz, la cual posee todas las oscilaciones y segundo, por conocer previamente el periodo (**9.8686667 d**) del tránsito encontrado por [Sowicka et al. 2017](#). Esto indica que, procesar una curva de luz con todas las oscilaciones, es poco probable observar en primera instancia posibles tránsitos, ya que el periodo resultante es inferior a 10 días, normalmente este tipo de periodos son causados por implicaciones de los modos radiales de pulsación estelar, que son esencialmente ondas estacionarias. Cabe recordar que, el tiempo transcurrido entre cada tránsito se llama período, 1.9 días es un tiempo muy corto para prever un tránsito, podríamos decir que es un falso positivo.

#### KIC 8197761 - LC 40 SIN PICOS MAYORES AL 0.1%

Número máximo de ejecuciones realizadas por SHERLOCK: 5 (RUN)

##### SEARCH OF SIGNALS - Run 1

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	0.753	9.86871	0.001957	1.601	286.8	49.191	7.50291	0.03907	0.10053
2	1.4641	9.86871	0.001957	1.63	286.8	44.981	7.5689	0.0394	0.10053
3	2.1752	9.86871	0.001957	1.601	286.8	42.454	7.50189	0.03905	0.10053
4	2.8863	9.86871	0.001957	1.613	286.8	41.687	7.52969	0.03932	0.10053
5	3.5975	9.86871	0.001957	1.606	286.8	41.179	7.51406	0.03924	0.10053
6	4.3086	9.86871	0.001957	1.608	286.8	40.85	7.51858	0.03926	0.10053

##### SEARCH OF SIGNALS - Run 2

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	<b>0.753</b>	<b>1.88423</b>	<b>0.000307</b>	<b>0.379</b>	<b>271.6</b>	<b>26.324</b>	<b>3.65069</b>	<b>0.01901</b>	<b>0.03333</b>
2	1.4641	1.88423	0.000307	0.317	271.6	19.829	3.33979	0.01742	0.03333
3	2.1752	1.88423	0.000307	0.331	271.6	19.839	3.41267	0.01781	0.03333
4	2.8863	6.37629	0.001718	0.547	388.8	21.063	4.38395	0.02318	0.07514
5	3.5975	1.88423	0.000338	0.345	271.6	19.959	3.48375	0.01817	0.03333
6	4.3086	1.88423	0.000338	0.334	271.6	19.136	3.4285	0.01788	0.03333

##### SEARCH OF SIGNALS - Run 3

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	0.753	1.88423	0.000246	0.34	244.7	21.03	3.45729	0.01802	0.03333
2	1.4641	1.88423	0.000246	0.287	244.7	16.065	3.17618	0.01682	0.03333
3	2.1752	2.20338	0.000379	0.336	236.8	15.307	3.43913	0.01799	0.037
4	<b>2.8863</b>	<b>6.37629</b>	<b>0.001561</b>	<b>0.476</b>	<b>350.7</b>	<b>16.429</b>	<b>4.08946</b>	<b>0.02241</b>	<b>0.07514</b>
5	3.5975	6.37629	0.001561	0.448	350.7	15.616	3.96723	0.02194	0.07514
6	4.3086	21.28388	0.010904	0.461	1067.2	18.104	4.02524	0.02714	0.16782

##### SEARCH OF SIGNALS - Run 4

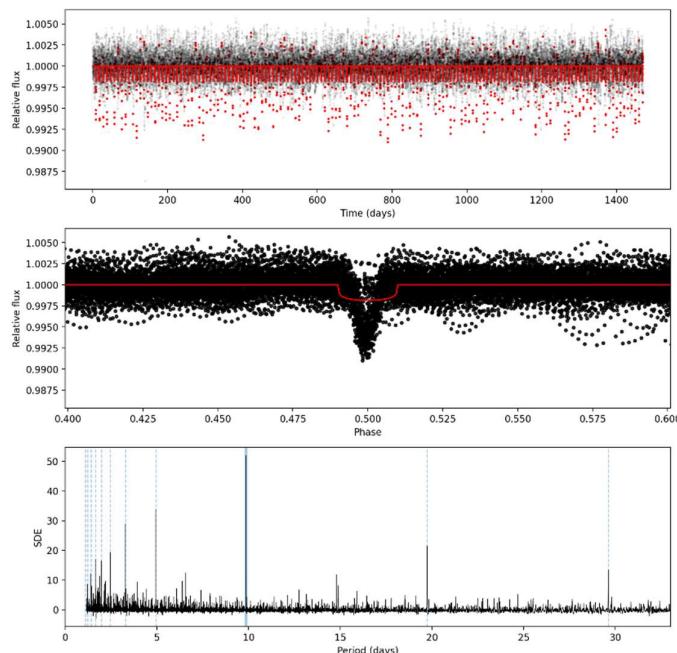
	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	0.753	nan	-15.923780nan	nan	0	0	nan	nan	-
2	1.4641	nan	-15.923780nan	nan	0	0	nan	nan	-
3	2.1752	nan	-15.923780nan	nan	0	0	nan	nan	-
4	2.8863	nan	-15.923780nan	nan	0	0	nan	nan	-
5	3.5975	nan	-15.923780nan	nan	0	0	nan	nan	-

6	4.3086	7.88389	0.001243	0.53	355.1	12.91	4.31733	0.02372	0.08656
---	--------	---------	----------	------	-------	-------	---------	---------	---------

#### SEARCH OF SIGNALS - Run 5

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	0.753	nan	-15.923780nan	nan	0	0	nan	nan	-
2	1.4641	nan	-15.923780nan	nan	0	0	nan	nan	-
3	2.1752	nan	-15.923780nan	nan	0	0	nan	nan	-
4	2.8863	nan	-15.923780nan	nan	0	0	nan	nan	-
5	3.5975	nan	-15.923780nan	nan	0	0	nan	nan	-
6	4.3086	nan	-15.923780nan	nan	0	0	nan	nan	-

Run 1# win\_size:2.8863 # P=9.87d # T0=8.60 # Depth=1.6128ppt # Dur=287m # SNR:41.69 # SDE:52.00 # FAP:0.000080



LC4-Run1-LC40

La Run1 en sus diversas tendencias (*Detrends*) o curvas de luz generada a partir de la LC40, SHERLOCK identifica de manera contundente el transito observado por [Sowicka et al. 2017](#) con un periodo de 9.86 d. También se observa dos frecuencias subsiguientes en potencia, con periodos relevantes de 1.88423 d y 6.37629 d respectivamente. Tal como se puede observar en la LC1-Run2-LC40 y LC4-Run3-LC40. Para efectos de visualizar los datos encontrados por [Sowicka et al. 2017](#), se utilizará la LC4-Run1-LC40, la cual posee la mayor profundidad media (1.613 ppt) en el tránsito, dibujando una forma de V, esto indica que, es más probable que la compañera que ejerce el transito sobre la estrella, sea un objeto estelar masivo y no un planeta. La estimación de las masa calculada del objeto fue de aproximadamente  $\sim 0.28 M_{\odot}$ . Para efectos de un tránsito planetario, la profundidad de tránsito es normalmente en forma de U. Su periodograma, presenta perfectamente la cadencia iterativa entre tránsitos de 9.86 d. Por otra parte, se percibe que, al sustraer las señales sinusoidales sin picos mayores al 0.1% , en primera instancia es más probable observar posibles tránsitos estelares o planetarios, cercanos o superiores a los 10 d.

### KIC 8197761 - LC 144 SIN PICOS MAYORES AL 0.01%

Número máximo de ejecuciones realizadas por SHERLOCK: 10 (RUN)

#### SEARCH OF SIGNALS - Run 1

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	0.753	9.86871	0.001957	1.282	286.9	52.957	6.71205	0.0352	0.10053
2	1.4641	9.86871	0.001957	1.24	286.9	46.387	6.60351	0.03459	0.10053
3	2.1752	9.86871	0.001957	1.291	286.9	45.135	6.7357	0.03491	0.10053
4	2.8863	9.86871	0.001957	1.247	286.9	42.744	6.62213	0.03433	0.10053
5	3.5975	9.86871	0.001677	1.234	286.9	41.661	6.58674	0.03414	0.10053
6	4.3086	9.86871	0.001957	1.238	286.9	41.413	6.59739	0.03416	0.10053

#### SEARCH OF SIGNALS - Run 2

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	0.753	1.58477	0.000293	0.125	228.3	11.537	2.09325	0.01098	0.0297
2	1.4641	2.78168	0.000568	0.177	300.8	13.014	2.49666	0.01318	0.04322
3	2.1752	1.58477	0.000366	0.19	49.6	7.604	2.58623	0.01198	0.0297
4	2.8863	1.58477	0.000366	0.202	49.6	7.924	2.664	0.01233	0.0297
5	3.5975	18.0747	0.006264	0.392	568.8	14.067	3.71182	0.01955	0.1505
6	4.3086	18.0747	0.00689	0.425	568.8	14.966	3.86309	0.02027	0.1505

#### SEARCH OF SIGNALS - Run 3

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	0.753	1.58477	0.000268	0.126	225	11.279	2.10698	0.01101	0.0297
2	1.4641	2.78168	0.000517	0.183	296.5	13.132	2.5347	0.01333	0.04322
3	2.1752	2.78158	0.000517	0.222	85.8	8.067	2.79616	0.01348	0.04322
4	2.8863	1.58477	0.000342	0.21	33.4	6.22	2.71453	0.01203	0.0297
5	3.5975	18.0747	0.00689	0.386	560.3	13.487	3.68234	0.01952	0.1505
6	4.3086	18.0747	0.007516	0.418	560.3	14.338	3.83136	0.02014	0.1505

#### SEARCH OF SIGNALS - Run 4

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	0.753	1.58477	0.000293	0.13	220.3	11.021	2.13484	0.01102	0.0297
2	1.4641	1.58477	0.000293	0.187	29.7	5.25	2.56661	0.01172	0.0297
3	2.1752	20.94786	0.007624	0.47	358.3	11.976	4.06586	0.02073	0.16605
4	2.8863	1.58477	0.000317	0.222	22.3	4.979	2.79107	0.01163	0.0297
5	3.5975	32.39346	0.017728	0.402	674.3	12.633	3.76078	0.02058	0.22205
6	4.3086	30.58231	0.011367	0.373	632.4	11.89	3.62349	0.02241	0.21369

#### SEARCH OF SIGNALS - Run 5

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	0.753	1.58477	0.000268	0.137	217.2	11.164	2.19478	0.01116	0.0297
2	1.4641	2.78168	0.000517	0.22	46.8	5.931	2.77796	0.01318	0.04322
3	2.1752	20.94786	0.007624	0.457	388.7	11.788	4.00918	0.02028	0.16605
4	2.8863	16.59616	0.005589	0.452	252.3	9.922	3.98399	0.01817	0.14217
5	3.5975	16.59504	0.006148	0.461	229.4	9.562	4.02637	0.01839	0.14217
6	4.3086	30.58484	0.010103	0.562	425.7	10.917	4.44613	0.02224	0.2137

#### SEARCH OF SIGNALS - Run 6

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	0.753	1.58477	0.000268	0.142	214.5	11.236	2.23109	0.01117	0.0297
2	1.4641	27.59307	0.007708	0.395	452.1	11.324	3.72774	0.02096	0.19953
3	2.1752	27.59307	0.006606	0.41	452.1	11.696	3.79515	0.02068	0.19953
4	2.8863	23.75923	0.007216	0.376	577	11.06	3.63498	0.01953	0.18059
5	3.5975	28.42644	0.00802	0.473	637.3	11.778	4.0758	0.01968	0.20353
6	4.3086	28.42644	0.00802	0.471	637.3	11.764	4.06938	0.01978	0.20353

### SEARCH OF SIGNALS - Run 7

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	0.753	1.58477	0.000244	0.209	19.6	4.992	2.71062	0.01099	0.0297
2	1.4641	11.12659	0.002296	0.342	294.7	11.145	3.46542	0.0176	0.10891
3	2.1752	30.57979	0.006314	0.493	503.3	11.165	4.1621	0.02019	0.21368
4	2.8863	30.57979	0.007577	0.457	503.3	11.789	4.01026	0.02097	0.21368
5	3.5975	30.58231	0.007577	0.544	457.6	11.624	4.37216	0.02198	0.21369
6	4.3086	30.58231	0.007577	0.541	457.6	11.341	4.36171	0.02208	0.21369

### SEARCH OF SIGNALS - Run 8

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	0.753	1.58477	0.000244	0.142	210.2	10.995	2.23146	0.01126	0.0297
2	1.4641	11.12659	0.001968	0.341	292	11.004	3.46345	0.01756	0.10891
3	2.1752	17.36003	0.001187	0.334	416.9	10.674	3.42491	0.01829	0.1465
4	2.8863	32.21955	0.002708	0.54	390.1	11.079	4.3571	0.02141	0.22125
5	3.5975	17.36003	0.002374	0.366	416.9	11.364	3.58698	0.01929	0.1465
6	4.3086	17.36003	0.002374	0.37	416.9	11.302	3.60456	0.01936	0.1465

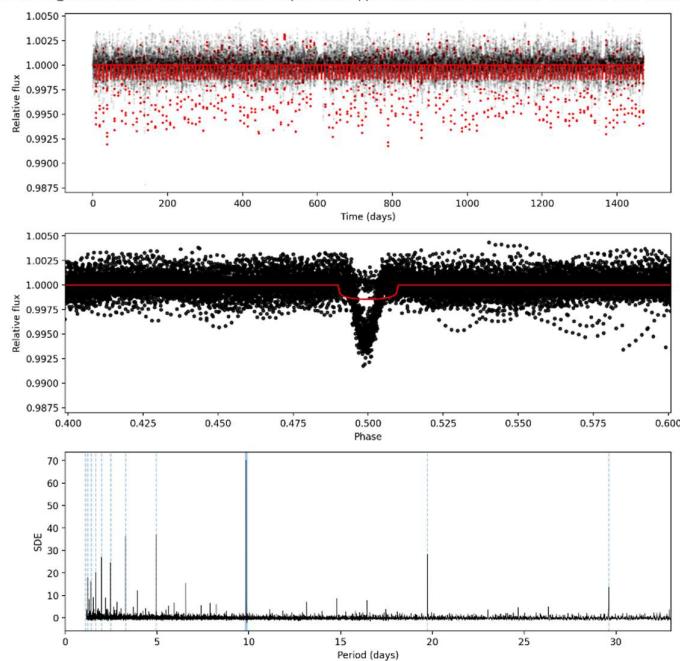
### SEARCH OF SIGNALS - Run 9

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	0.753	1.58477	0.000244	0.198	19.2	4.569	2.64156	0.01112	0.0297
2	1.4641	11.12659	0.001968	0.334	289.6	10.706	3.4242	0.01769	0.10891
3	2.1752	nan	-15.9237	nan	nan	nan	nan	nan	nan
4	2.8863	nan	-15.9237	nan	nan	nan	nan	nan	nan
5	3.5975	nan	-15.9237	nan	nan	nan	nan	nan	nan
6	4.3086	31.4889	0.002626	0.559	387.4	11.23	4.43357	0.02217	0.21789

### SEARCH OF SIGNALS - Run 10

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	0.753	18.82914	0.003969	0.382	327.9	10.577	3.66606	0.01822	0.15465
2	1.4641	18.82914	0.002646	0.42	327.9	10.819	3.84183	0.01925	0.15465
3	2.1752	nan	-15.9237	nan	nan	nan	nan	nan	nan
4	2.8863	nan	-15.9237	nan	nan	nan	nan	nan	nan
5	3.5975	nan	-15.9237	nan	nan	nan	nan	nan	nan
6	4.3086	nan	-15.9237	nan	nan	nan	nan	nan	nan

Run 1# win\_size:2.1752 # P=9.87d # T0=8.60 # Depth=1.2906ppt # Dur=287m # SNR:45.13 # SDE:70.19 # FAP:0.000080



LC3-Run1-LC144

Las Run realizadas por SHERLOCK de la curva de luz LC144 (*sin picos mayores al 0.01%*), se puede identificar que, la Run1, en sus diferentes tendencias (*Detrends*) o curva de luz generada a partir de la LC144, SHERLOCK identifica de manera unánime el transito observado por [Sowicka et al. 2017](#) con un periodo de 9.86871 d. Se puede decir que, la ejecución de la primer Run para las curvas de luz de 0.1% (LC40) y 0.01% (LC144), los **Detrends respectivos**, presentan un contundente resultado del periodo encontrado por [Sowicka et al. 2017](#). También se observa una importante pulsación adicional, con un periodo de 1.58477 d, que muy seguramente estará relacionado con una frecuencia radial estelar. Con el objetivo de poder observar y comparar las diferentes curvas de luz, en las distintas sustracciones, emplearemos la LC3-Run1-LC144, la cual posee la mayor profundidad media con un valor de 1.291 ppt. El periodograma de LC3, presenta con solides y con una imagen más limpia, la cadencia iterativa de 9.86 d. Adicionalmente, se puede inferir que, la búsqueda de posibles tránsitos con tan solo sustraer 0.1% de oscilaciones, es posiblemente suficiente, no obstante procesar la curva de luz con la extracción del 0.01% de oscilaciones, ayudaría a confirmar dicho tránsito. La confirmación, requiere estudios complementarios que afirmen que los datos encontrados del candidato a ser un tránsito son correctos.

#### KIC 8197761 LC 452 SIN PICOS MAYORES A 0.001%

Número máximo de ejecuciones realizadas por SHERLOCK: 10 (RUN)

##### SEARCH OF SIGNALS - Run 1

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	0.753	9.86871	0.000839	0.317	315.7	15.597	3.33912	0.01636	0.10053
2	1.4641	9.86871	0.000839	0.345	315.7	15.722	3.48128	0.01717	0.10053
3	2.1752	9.86871	0.000559	0.362	315.7	15.827	3.56618	0.01764	0.10053
4	2.8863	9.86871	0.000839	0.351	347.3	16.01	3.51157	0.01778	0.10053
5	3.5975	9.86871	0.000839	0.359	347.3	16.223	3.55255	0.01799	0.10053
6	4.3086	9.86871	0.000839	0.365	347.3	16.349	3.58133	0.01813	0.10053

##### SEARCH OF SIGNALS - Run 2

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	0.753	12.98064	0.002417	0.294	305.1	11.204	3.21421	0.01603	0.12069
2	1.4641	25.96057	0.00609	0.425	381.7	11.982	3.86544	0.01945	0.19158
3	2.1752	7.76574	0.002437	0.285	136.2	9.384	3.16645	0.01423	0.08569
4	2.8863	7.76574	0.002437	0.299	136.2	9.66	3.24021	0.01425	0.08569
5	3.5975	29.34146	0.009559	0.441	507.8	13.704	3.93534	0.02025	0.20787
6	4.3086	29.34146	0.010755	0.431	558.7	13.865	3.89416	0.02003	0.20787

##### SEARCH OF SIGNALS - Run 3

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	0.753	12.97983	0.002417	0.273	331.2	11.051	3.09963	0.01535	0.12069
2	1.4641	25.96057	0.00609	0.442	376.9	11.436	3.94163	0.01878	0.19158
3	2.1752	23.29983	0.007909	0.302	594	12.044	3.2564	0.01727	0.17826
4	2.8863	23.29983	0.008788	0.322	594	12.842	3.36416	0.01791	0.17826
5	3.5975	23.29983	0.008788	0.327	594	12.762	3.38977	0.01793	0.17826
6	4.3086	23.29983	0.008788	0.311	594	12.025	3.30796	0.01746	0.17826

##### SEARCH OF SIGNALS - Run 4

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	0.753	12.98064	0.002014	0.319	295.4	11.506	3.35056	0.01631	0.12069
2	1.4641	25.96057	0.00609	0.459	370	11.831	4.01876	0.01902	0.19158
3	2.1752	23.29983	0.007909	0.329	583	11.951	3.40296	0.01751	0.17826
4	2.8863	23.29983	0.008788	0.347	583	12.665	3.49138	0.01811	0.17826
5	3.5975	23.29983	0.009666	0.352	583	12.682	3.5189	0.01821	0.17826
6	4.3086	23.29983	0.009666	0.334	583	12	3.42626	0.01777	0.17826

#### SEARCH OF SIGNALS - Run 5

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	0.753	12.98064	0.002417	0.328	290.4	11.418	3.39688	0.01641	0.12069
2	1.4641	12.98064	0.00282	0.359	180.2	9.88	3.55218	0.01666	0.12069
3	2.1752	25.96057	0.00609	0.486	363.5	11.434	4.13355	0.01936	0.19158
4	2.8863	29.95946	0.008601	0.405	457.4	11.042	3.77161	0.01926	0.21078
5	3.5975	29.95946	0.008601	0.372	503.1	10.494	3.61764	0.01816	0.21078
6	4.3086	23.85872	0.011787	0.372	397.3	10.304	3.61852	0.0183	0.1811

#### SEARCH OF SIGNALS - Run 6

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	0.753	17.78715	0.003065	0.272	327.8	9.434	3.09499	0.01586	0.14889
2	1.4641	17.78592	0.003065	0.276	360.6	10.187	3.11762	0.0169	0.14889
3	2.1752	19.16379	0.003386	0.344	349.1	10.293	3.47802	0.0175	0.15648
4	2.8863	19.95985	0.005005	0.418	335	10.133	3.83276	0.01793	0.16079
5	3.5975	23.85872	0.010879	0.369	433.5	10.267	3.60058	0.01758	0.1811
6	4.3086	23.85872	0.011787	0.375	433.5	10.366	3.63112	0.01773	0.1811

#### SEARCH OF SIGNALS - Run 7

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	0.753	17.78715	0.003065	0.304	321.2	9.97	3.26915	0.01624	0.14889
2	1.4641	17.78592	0.003065	0.314	353.2	10.329	3.3214	0.01706	0.14889
3	2.1752	23.20518	0.00437	0.292	505.6	10.326	3.20153	0.01675	0.17777
4	2.8863	19.95985	0.003575	0.435	327.9	10.081	3.91048	0.01778	0.16079
5	3.5975	23.20518	0.005244	0.296	505.6	10.548	3.22506	0.01707	0.17777
6	4.3086	23.20518	0.005244	0.299	505.6	10.622	3.24188	0.01718	0.17777

#### SEARCH OF SIGNALS - Run 8

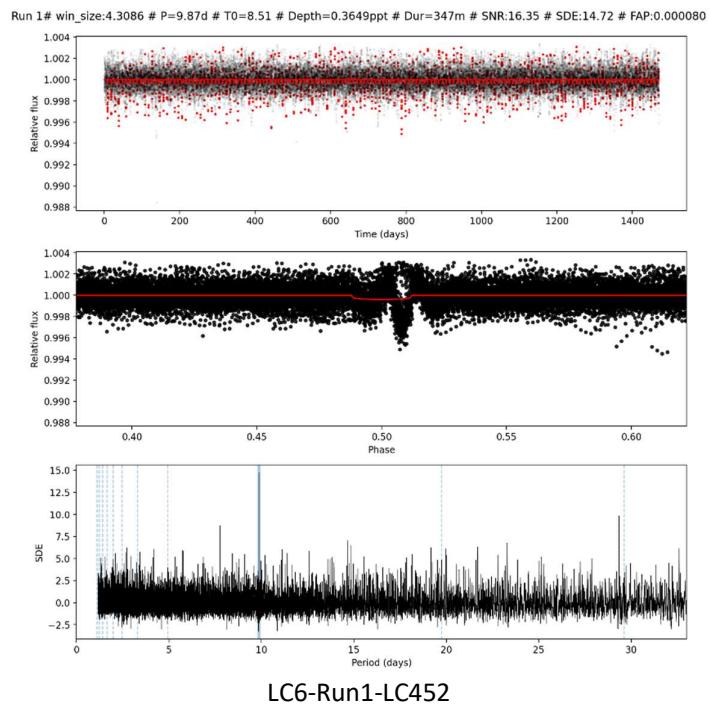
	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	0.753	18.32758	0.003828	0.321	325.1	9.576	3.35877	0.01526	0.1519
2	1.4641	23.20344	0.003496	0.282	499.4	9.621	3.14576	0.01612	0.17776
3	2.1752	19.95985	0.00286	0.408	323.7	10.28	3.78661	0.01805	0.16079
4	2.8863	19.96128	0.002145	0.443	323.7	10.794	3.94728	0.01836	0.16079
5	3.5975	23.20344	0.001748	0.314	499.4	10.453	3.31988	0.01732	0.17776
6	4.3086	23.20344	0.003496	0.319	499.4	10.527	3.3477	0.01746	0.17776

#### SEARCH OF SIGNALS - Run 9

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	0.753	18.32758	0.003828	0.331	322.4	9.698	3.41164	0.01568	0.1519
2	1.4641	23.20344	0.001748	0.272	495.8	9.665	3.09483	0.01611	0.17776
3	2.1752	nan	-15.92378	nan	nan	nan	nan	nan	nan
4	2.8863	nan	-15.92378	nan	nan	nan	nan	nan	nan
5	3.5975	nan	-15.92378	nan	nan	nan	nan	nan	nan
6	4.3086	nan	-15.92378	nan	nan	nan	nan	nan	nan

#### SEARCH OF SIGNALS - Run 10

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	0.753	18.32886	0.003828	0.339	316.4	9.874	3.45087	0.016	0.1519
2	1.4641	nan	-15.92378	nan	nan	nan	nan	nan	nan
3	2.1752	nan	-15.92378	nan	nan	nan	nan	nan	nan
4	2.8863	nan	-15.92378	nan	nan	nan	nan	nan	nan
5	3.5975	nan	-15.92378	nan	nan	nan	nan	nan	nan
6	4.3086	nan	-15.92378	nan	nan	nan	nan	nan	nan



LC6-Run1-LC452

Las distintas curvas de luz (*Detrends*) producidas por SHERLOCK a partir de la LC452 (*sin picos mayores a 0.001%*) de la Run 1, en su totalidad, SHERLOCK identifica de manera unánime el transito observado por [Sowicka et al. 2017](#) con un periodo de 9.86871 d. Para efectos del análisis, la LC con mayor profundidad media es la LC6-Run1-LC452 con 0.365 ppt. No obstante si observamos la columna Mean Depth (*ppt*), de las diferentes curvas de luz: LC4-Run1-LC40 (1.613), LC3-Run1-LC144 (1.291), y la LC6-Run1-LC452 (0.365), notaremos que, la profundidad en partes por trillón, disminuye en cuanto se incrementa el número de frecuencias eliminadas, en consecuente, a medida que nos acercamos a la curva de luz con el total de las sustracciones sinusoidales, más distorsión encontraremos en ella, más inviable es poder observar un potencial tránsito. Por ende, no sería un buen referente para tomar de guía para la búsqueda de posibles tránsitos. A razón de este argumento, no se procesaran las LC con picos superiores a 0.001%, en las estrellas de muestreo.

#### 4.2. KIC 4570326

Archivo de configuración para la ejecución de SHERLOCK. KIC4570326.yaml.

```
TARGETS:  
  KIC 4570326:  
    FILE: "./KIC4570326.csv"  
    #####  
    #####  
    ### STAR INFO  
    #####  
    #####  
    STAR:  
      MASS: 1.620  
      # MASS_LOWER_ERROR: 0.27  
      # MASS_UPPER_ERROR: 0.281  
      # RADIUS: 2.544  
      # RADIUS_LOWER_ERROR: 0.410
```

```
# RADIUS_UPPER_ERROR: 0.858
TEFF: 7209
# LUM: 1.25
LOGG:
# LD_COEFFICIENTS: [0.25, 0.64]
```

La caracterización obtenida por SHERLOCK de la estrella KIC 4570326, se describe a continuación; limb-darkening estimates using quadratic LD (a,b)= (0.3722, 0.2726); mass = 1.620000; mass\_min = 1.399000; mass\_max = 1.682000; radius = 2.067000; radius\_min = 1.619000; radius\_max = 2.434000; **teff = 7209.0**; lum = 9.695734; logg = 3.998000 y Minimum number of transits: 1. Siguiente los resultados entregados por SHERLOCK, en sus diferentes niveles de sustracción sinusoidal.

#### KIC 4570326 – LC ORIGINAL CON TODAS LAS OSCILACIONES

Número máximo de ejecuciones realizadas por SHERLOCK: 3 (RUN)

##### SEARCH OF SIGNALS - Run 1

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	0.8601	1.68127	0.012178	23.485	286	86.714	34.59019	0.15014	0.03256
2	1.6724	1.68127	0.012178	19.058	286	86.397	31.15933	0.13521	0.03256
3	2.4847	1.68127	0.012201	17.815	286	86.166	30.12619	0.13071	0.03256
4	3.2971	1.68127	0.012201	19.695	286	86.433	31.67621	0.13744	0.03256
5	4.1094	1.68127	0.010971	20.029	286	85.871	31.94382	0.1386	0.03256
6	4.9217	1.68127	0.012178	18.744	286	84.565	30.90191	0.13408	0.03256

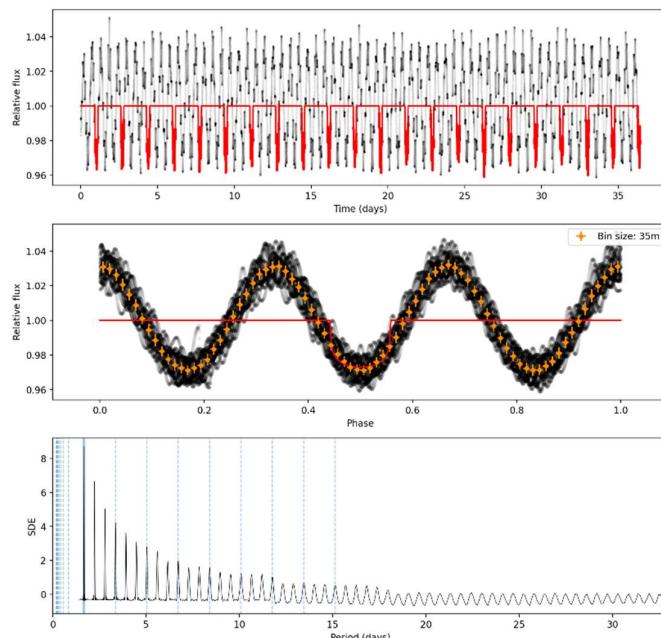
##### SEARCH OF SIGNALS - Run 2

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	0.8601	1.68127	0.010971	22.643	251	86.045	36.14427	0.15691	0.03256
2	1.6724	1.68127	0.010971	20.451	251	84.417	32.27874	0.14015	0.03256
3	2.4847	1.68127	0.010971	18.874	251	83.161	31.00878	0.13489	0.03256
4	3.2971	1.68127	0.010971	21.066	251	84.205	32.75996	0.14224	0.03256
5	4.1094	1.68127	0.010971	21.509	251	83.936	33.10275	0.14372	0.03256
6	4.9217	1.68127	0.010971	20.067	251	82.265	31.97369	0.13883	0.03256

##### SEARCH OF SIGNALS - Run 3

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	0.8601	nan	-15.782717nan	nan	0	0	nan	nan	-
2	1.6724	nan	-15.782717nan	nan	0	0	nan	nan	-
3	2.4847	nan	-15.782717nan	nan	0	0	nan	nan	-
4	3.2971	nan	-15.782717nan	nan	0	0	nan	nan	-
5	4.1094	nan	-15.782717nan	nan	0	0	nan	nan	-
6	4.9217	nan	-15.782717nan	nan	0	0	nan	nan	-

Run 1# win\_size:0.8601 # P=1.68d # T0=1.03 # Depth=23.4854ppt # Dur=286m # SNR:86.71 # SDE:8.73 # FAP:0.000240



LC1-Run1-ORIGINAL

Las Run 1 y 2 construidas por SHERLOCK de la LC-ORIGINAL (*con todas las oscilaciones*), presentaron el mismo valor calculado del tiempo entre tránsitos ( $P=1.68127\text{ d}$ ) en todas sus tendencias (Detrends) o LC. En consecuente, SHERLOCK define de manera unánime este periodo como un candidato prometedor para ser un tránsito, valor no distante del calculado por [Gaulme, Patrick et al \(2014\)](#),  $P=1.1\text{ d}$ . No obstante, se puede considerar este transito notablemente visible, como un posible falso positivo, ya que este tiempo implicaría que el objeto que acompaña la estrella estuviese demasiado cerca. Por ende, se esperaría que fuese un modo estelar de pulsación radial.

#### KIC 4570326 – LC 14 SIN PICOS MAYORES AL 0.1%

Número máximo de ejecuciones realizadas por SHERLOCK: 7 (RUN)

##### SEARCH OF SIGNALS - Run 1

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	0.8601	2.24118	0.008947	1.172	214.7	38.406	7.72595	0.03346	0.03944
2	1.6724	32.56876	inf	5.03	721.5	66.466	16.00869	0.06823	0.23486
3	2.4847	32.56876	inf	7.323	721.5	89.449	19.31495	0.08256	0.23486
4	3.2971	32.56876	inf	6.352	1056.1	92.389	17.98917	0.07666	0.23486
5	4.1094	32.56876	inf	6.194	1056.1	89.941	17.7644	0.07564	0.23486
<b>6</b>	<b>4.9217</b>	<b>32.56876</b>	<b>inf</b>	<b>7.491</b>	<b>721.5</b>	<b>88.877</b>	<b>19.53507</b>	<b>0.08345</b>	<b>0.23486</b>

##### SEARCH OF SIGNALS - Run 2

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	0.8601	2.24118	0.008947	1.193	211.8	36.34	7.7951	0.03397	0.03944
2	1.6724	32.56876	inf	5.201	736.4	66.186	16.27834	0.0698	0.23486
3	2.4847	32.69587	inf	7.098	810.6	87.642	19.0159	0.08171	0.23547
4	3.2971	32.69587	inf	7.243	891.2	90.624	19.20907	0.0799	0.23547
5	4.1094	32.69587	inf	7.291	810.6	87.804	19.27261	0.08281	0.23547
<b>6</b>	<b>4.9217</b>	<b>32.69587</b>	<b>inf</b>	<b>7.267</b>	<b>810.6</b>	<b>87.392</b>	<b>19.24112</b>	<b>0.08264</b>	<b>0.23547</b>

**SEARCH OF SIGNALS - Run 3**

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	0.8601	2.24476	0.012526	0.949	262.2	30.571	6.95357	0.03026	0.03948
2	1.6724	32.69587	inf	5.021	828.8	64.398	15.99444	0.06924	0.23547
3	2.4847	32.69587	inf	7.315	828.8	86.789	19.30452	0.08336	0.23547
4	3.2971	32.95208	inf	7.229	911.4	88.755	19.19114	0.08213	0.2367
5	4.1094	32.95208	inf	7.089	911.4	86.633	19.00376	0.08139	0.2367
6	4.9217	32.69587	inf	7.483	828.8	86.122	19.52441	0.08423	0.23547

**SEARCH OF SIGNALS - Run 4**

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	0.8601	2.24118	0.010725	1.239	179	31.522	7.9445	0.03466	0.03944
2	1.6724	13.18923	0.07597	2.941	228	31.816	12.24111	0.0482	0.12855
<b>3</b>	<b>2.4847</b>	<b>13.18923</b>	<b>0.16996</b>	<b>4.465</b>	<b>155.4</b>	<b>38.537</b>	<b>15.08148</b>	<b>0.05451</b>	<b>0.12855</b>
4	3.2971	13.18923	0.16996	3.997	228	40.291	14.27048	0.05653	0.12855
5	4.1094	13.18923	0.16996	4.048	228	40.612	14.36016	0.05712	0.12855
6	4.9217	13.18923	0.16996	4.599	171	40.774	15.30747	0.05678	0.12855

**SEARCH OF SIGNALS - Run 5**

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	0.8601	2.24118	0.003575	0.93	156.8	20.273	6.88423	0.0299	0.03944
2	1.6724	13.18923	0.07597	4.706	158.6	32.806	15.48378	0.05234	0.12855
3	2.4847	31.57522	0.36874	4.434	214.8	24.925	15.02894	0.07674	0.23006
4	3.2971	31.57522	0.36874	4.558	214.8	25.041	15.2386	0.07764	0.23006
5	4.1094	13.18923	0.07597	5.863	158.6	39.767	17.28268	0.06254	0.12855
6	4.9217	29.37225	0.33476	5.395	237.8	30.624	16.5787	0.07574	0.21923

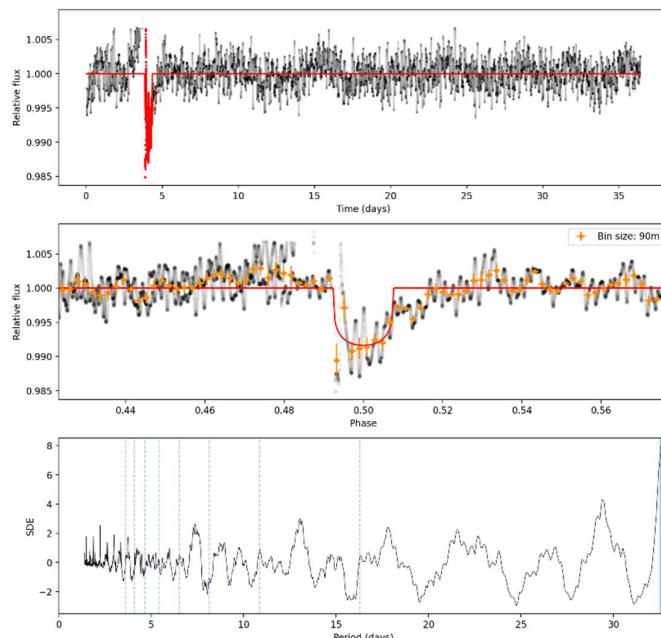
**SEARCH OF SIGNALS - Run 6**

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	0.8601	2.24118	0.003575	0.957	155.4	21.294	6.98318	0.03024	0.03944
2	1.6724	2.24118	0.016174	1.615	37.1	17.002	9.07087	0.03255	0.03944
3	2.4847	13.38099	0.211767	4.165	157.2	28.879	14.5664	0.04865	0.1298
4	3.2971	13.18923	0.211767	5.542	254.3	24.285	16.80252	0.05059	0.12855
5	4.1094	13.18923	0.211767	5.656	254.3	24.786	16.97523	0.05173	0.12855
6	4.9217	29.26206	0.219833	5.848	236.3	30.232	17.26137	0.05804	0.21868

**SEARCH OF SIGNALS - Run 7**

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	0.8601	nan	-15.772820nan	nan	0	0	nan	nan	-
2	1.6724	13.22728	0.057087	4.585	236.1	24.754	15.28372	0.04824	0.1288
3	2.4847	13.22728	0.057087	5.549	236.1	29.422	16.81356	0.05295	0.1288
4	3.2971	13.22728	0.057087	5.764	236.1	30.392	17.13555	0.05509	0.1288
5	4.1094	13.22728	0.095146	5.885	236.1	30.787	17.31487	0.0561	0.1288
6	4.9217	13.22728	0.057087	5.895	236.1	30.615	17.3293	0.05588	0.1288

Run 1# win\_size:4.9217 # P=32.57d # T0=4.11 # Depth=7.4907ppt # Dur=722m # SNR:88.88 # SDE:7.97 # FAP:0.001361



LC6-Run1-LC14

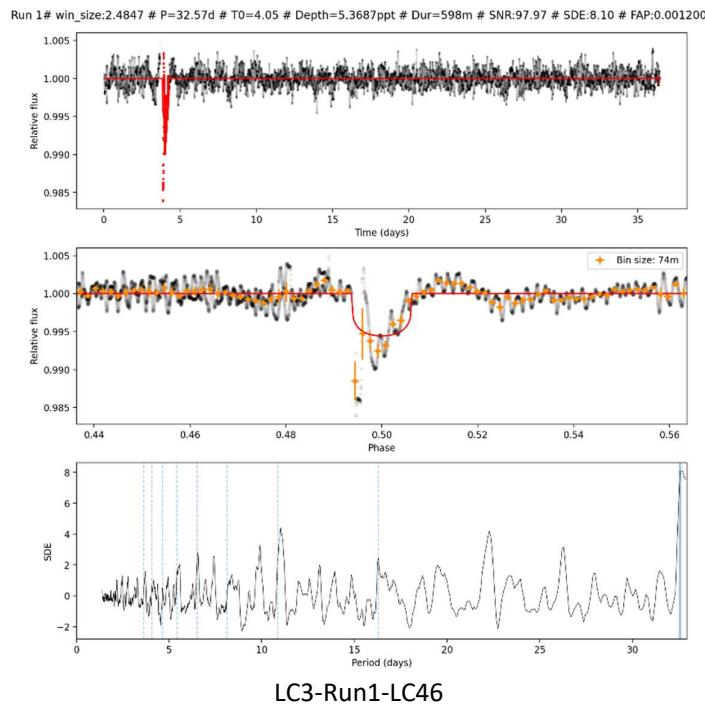
Según lo aprendido con la estrella KIC 8197761 y los trabajos realizados por [Barceló Forteza + 2017 y 2018](#) y [Sowicka et al. 2017](#), indican que, los posibles tránsitos se centran con mayor probabilidad en los filtros sinusoidales después de la sustracción de picos mayores al 0.1% y su respectiva verificación con la eliminación de los picos mayores del 0.01 % de la señal. Partiendo de lo anterior, se prosiguió a comparar los períodos en factor común entre los resultados obtenidos por SHERLOCK de las diferentes Run y Detrends de las curvas de luz de KIC 4570326 – LC 14 y KIC 4570326 – LC 46, obteniendo en efecto un tránsito común, con profundidad de **7.491 ppt** y un periodo entre ellos de **32.56 d**, siendo este, uno de los candidatos más prometedores. La definición del Detrends, para tomar como guía gráfica, se eligió por el que tuviera el mayor valor de profundidad de tránsito en partes por trillón, para este caso es la LC6-Run1-LC14. Analizando el periodograma, se encontraron otros desvanecimientos importantes que no fueron detectados por el siguiente filtro, tales como: 5.395 ppt (*LC6-Run5-LC14*) y 4.465 ppt (*LC3-Run4-LC14*), aun así, podrían llegar a ser factibles candidatos, en especial por el tiempo de duración del periodo que se encuentran entre los 29 y 13 días respectivamente. Por otra parte examinando el diagrama de fase, podemos deducir que, la profundidad tiene cierta tendencia en forma de U, indicándonos la probabilidad de que sea un posible transito planetario, donde el radio del planeta estaría sobre los 19.53 radio terrestre, esto sería aproximadamente 1/3 más grande que el radio de Júpiter ( $11.2 R_T$ ).

#### KIC 4570326 – LC 46 SIN PICOS MAYORES AL 0.01%

Número máximo de ejecuciones realizadas por SHERLOCK: 1 (RUN)

#### SEARCH OF SIGNALS - Run 1

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	0.8601	32.56876	inf	4.199	597.6	78.727	14.62569	0.05704	0.23486
2	1.6724	32.69587	inf	5.192	597.3	96.886	16.26393	0.06789	0.23547
3	2.4847	32.56876	inf	5.369	597.6	97.969	16.53817	0.06793	0.23486
4	3.2971	32.69587	inf	5.326	597.3	98.628	16.47214	0.06886	0.23547
5	4.1094	32.69587	inf	5.412	597.3	99.662	16.6047	0.06946	0.23547
6	4.9217	32.69587	inf	5.419	597.3	99.72	16.61482	0.06953	0.23547



LC3-Run1-LC46

Para efectos del análisis visual, la LC3-Run1-LC46 presenta una mayor profundidad de tránsito de 5.369 ppt. SHERLOCK, confirma en la presente etapa de eliminación sinusoidal, el periodo entre tránsitos de 32.56 días, en todas las tendencias calculadas en su única Run. Acentuando así, el mismo comportamiento encontrado en la estrella KIC 8197761. Sin embargo, se visualiza una diferencia tanto en la profundidad de tránsito como en el radio del planeta calculado ( $16.53817 R_J$ ), haciendo que este último se ajuste mucho más al tamaño de un planeta tipo Júpiter ( $11.2 R_J$ ).

#### 4.3. KIC 10338279

Archivo de configuración para la ejecución de SHERLOCK. KIC10338279.yaml.

```
TARGETS:
KIC 10338279:
FILE: "./KIC10338279.csv"
#####
### STAR INFO
#####
STAR:
# MASS: 1.620
# MASS_LOWER_ERROR: 0.27
# MASS_UPPER_ERROR: 0.281
# RADIUS: 2.544
# RADIUS_LOWER_ERROR: 0.410
# RADIUS_UPPER_ERROR: 0.858
#TEFF: 7209
# LUM: 1.25
LOGG:
# LD_COEFFICIENTS: [0.25, 0.64]
```

Información obtenida por SHERLOCK de la estrella KIC 10338279, se describe a continuación; limb-darkening estimates using quadratic LD (a,b)= (0.5102, 0.1712); mass = 0.778000; mass\_min = 0.725000; mass\_max = 0.893000; radius = 0.842000; radius\_min = 0.740000; radius\_max = 1.031000; **teff = 5615.0**; lum = 0.667612; logg = 4.478000 y Minimum number of transits: 1. Siguiendo los resultados entregados por SHERLOCK, en sus diferentes niveles de sustracción sinusoidal.

#### KIC 10338279 – LC ORIGINAL CON TODAS LAS OSCILACIONES

Número máximo de ejecuciones realizadas por SHERLOCK: 9 (RUN)

##### SEARCH OF SIGNALS - Run 1

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	PDCSAP_FLUX	31.83401	inf	3.46	436.7	82.255	5.40838	0.05597	0.18114
2	0.4474	31.76368	0.105488	0.744	167.3	67.819	2.50721	0.02586	0.18087
3	0.87	32.98799	inf	1.659	448.6	106.751	3.74478	0.03503	0.18549
4	1.2925	32.98799	inf	2.327	542.9	104.629	4.43541	0.04188	0.18549
5	1.715	31.69356	0.280067	2.218	436.7	90.516	4.32972	0.04515	0.18061
6	2.1376	31.69356	0.384535	3.069	436.7	91.987	5.09355	0.0527	0.18061

##### SEARCH OF SIGNALS - Run 2

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	PDCSAP_FLUX	16.53207	0.294023	2.149	517.8	65.377	4.26252	0.04434	0.11703
2	0.4474	2.83923	0.014033	0.073	185.2	19.708	0.78741	0.00822	0.03616
3	0.87	21.19129	0.143463	0.285	470.5	32.957	1.55156	0.01646	0.1381
4	1.2925	15.73549	0.137311	0.479	518	36.358	2.01247	0.02131	0.11324
5	1.715	27.77945	0.351409	0.994	427.4	32.732	2.89864	0.02944	0.16541
6	2.1376	27.60401	0.379092	1.356	427.2	33.879	3.38539	0.03489	0.16472

##### SEARCH OF SIGNALS - Run 3

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	PDCSAP_FLUX	32.91425	inf	1.998	1017.3	50.494	4.11007	0.04432	0.18522
2	0.4474	2.53224	0.019373	0.085	53.4	11.616	0.84823	0.00756	0.0335
3	0.87	21.19129	0.184454	0.29	461.6	32.926	1.56703	0.01657	0.1381
4	1.2925	nan	-16.230414nan	nan	0	0	nan	nan	-
5	1.715	27.77945	0.146619	0.996	419.1	32.251	2.90234	0.02963	0.16541
6	2.1376	27.54585	0.320764	1.334	419.1	33.941	3.35755	0.03498	0.16449

##### SEARCH OF SIGNALS - Run 4

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	PDCSAP_FLUX	32.26035	inf	2.085	1004.7	51.752	4.19839	0.04456	0.18275
2	0.4474	2.83362	0.009803	0.075	133.8	16.266	0.79824	0.00847	0.03611
3	0.87	21.19129	0.143463	0.294	456.2	32.782	1.57534	0.01669	0.1381
4	1.2925	nan	-16.230414nan	nan	0	0	nan	nan	-
5	1.715	nan	-16.230414nan	nan	0	0	nan	nan	-
6	2.1376	nan	-16.230414nan	nan	0	0	nan	nan	-

##### SEARCH OF SIGNALS - Run 5

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	PDCSAP_FLUX	32.91425	inf	2.075	983.8	52.544	4.18781	0.04499	0.18522
2	0.4474	2.83362	0.009803	0.093	131.1	18.74	0.88682	0.00883	0.03611
3	0.87	nan	-16.230414nan	nan	0	0	nan	nan	-
4	1.2925	nan	-16.230414nan	nan	0	0	nan	nan	-
5	1.715	nan	-16.230414nan	nan	0	0	nan	nan	-
6	2.1376	nan	-16.230414nan	nan	0	0	nan	nan	-

**SEARCH OF SIGNALS - Run 6**

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	PDCSAP_FLUX	32.98799	inf	2.299	787.6	51.917	4.40849	0.04561	0.18549
2	0.4474	15.17133	0.078653	0.159	147.9	15.015	1.16063	0.01167	0.11052
3	0.87	nan	-16.230414nan	nan	0	0	nan	nan	-
4	1.2925	nan	-16.230414nan	nan	0	0	nan	nan	-
5	1.715	nan	-16.230414nan	nan	0	0	nan	nan	-
6	2.1376	nan	-16.230414nan	nan	0	0	nan	nan	-

**SEARCH OF SIGNALS - Run 7**

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	PDCSAP_FLUX	8.41349	0.107922	1.559	237	47.677	3.6304	0.03806	0.0746
2	0.4474	2.83643	0.007012	0.072	169.5	15.416	0.78131	0.00795	0.03614
3	0.87	nan	-16.230414nan	nan	0	0	nan	nan	-
4	1.2925	nan	-16.230414nan	nan	0	0	nan	nan	-
5	1.715	nan	-16.230414nan	nan	0	0	nan	nan	-
6	2.1376	nan	-16.230414nan	nan	0	0	nan	nan	-

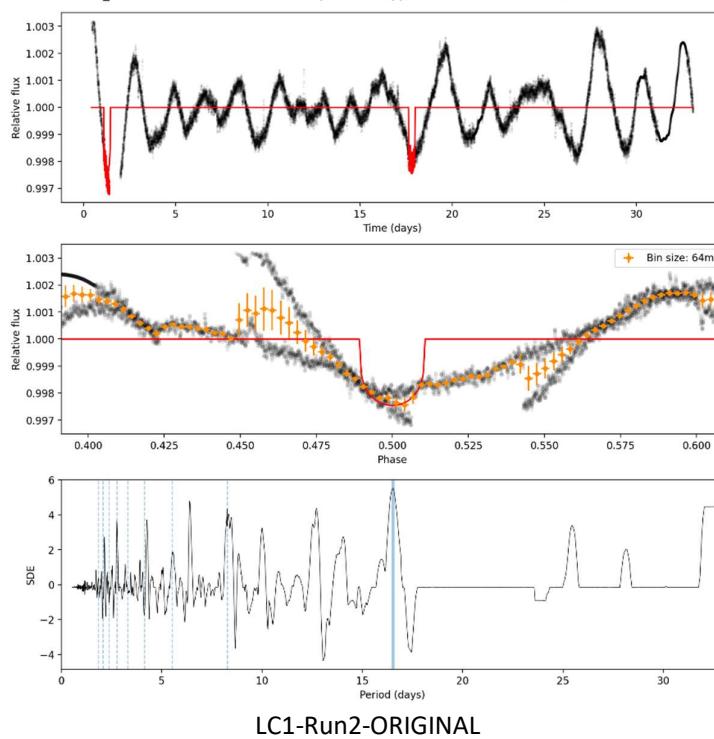
**SEARCH OF SIGNALS - Run 8**

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	PDCSAP_FLUX	8.43742	0.119915	1.606	228.4	41.861	3.68473	0.03786	0.07474
2	0.4474	nan	-16.230414nan	nan	0	0	nan	nan	-
3	0.87	nan	-16.230414nan	nan	0	0	nan	nan	-
4	1.2925	nan	-16.230414nan	nan	0	0	nan	nan	-
5	1.715	nan	-16.230414nan	nan	0	0	nan	nan	-
6	2.1376	nan	-16.230414nan	nan	0	0	nan	nan	-

**SEARCH OF SIGNALS - Run 9**

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	PDCSAP_FLUX	nan	-16.230414nan	nan	0	0	nan	nan	-
2	0.4474	nan	-16.230414nan	nan	0	0	nan	nan	-
3	0.87	nan	-16.230414nan	nan	0	0	nan	nan	-
4	1.2925	nan	-16.230414nan	nan	0	0	nan	nan	-
5	1.715	nan	-16.230414nan	nan	0	0	nan	nan	-
6	2.1376	nan	-16.230414nan	nan	0	0	nan	nan	-

Run 2PDCSAP\_FLUX # P=16.53d # T0=1.28 # Depth=2.1492ppt # Dur=518m # SNR:65.38 # SDE:5.53 # FAP:nan



LC1-Run2-ORIGINAL

[McQuillan et al. \(2014\)](#), caracterizó la estrella KIC 10338279 con una  $T_{\text{eff}} = 5615$  K y un  $P_{\text{rot}} = 6.53$  d. (ver figura 12), es posible que con este perfil, esta estrella no clasifique como una δ Scuti, ya que dichas estrellas poseen masas aproximadas entre 1.5 y 2.5 veces la masa del Sol, por ende, la temperatura debería oscilar entre los 7000 y 10000 K. [Maehara, Hiroyuki et al \(2015\)](#), expresa que, esta pulsación cuasi-periódica, sería debido a la gran velocidad de su rotación estelar. Por otra parte [Kolbl et al. \(2015\)](#), muestra evidencia de un compañero estelar cercano en sus espectros que podría ser responsable de los eclipses, pero lo considera un posible falso positivo, por ser un sistema EBs (*eclipsing binaries*) tipo SB2 asincrónico de periodo corto  $P_{\text{orb}} < 10$ . Se esperaría encontrar en los diferentes resultados de SHERLOCK, algún periodo cercano a 6.53 días, sin embargo, solo los Detrends de la Run4-LC92 (*sin picos mayores al 0.01%*), presentaría un periodo cercano a 6.60915 días. Lo anterior nos llevaría a buscar nuevos candidatos siguiendo la hipótesis de la metodología aplicada en las dos anteriores estrellas, ejecutando primero, el proceso de factor común de los periodos encontrados entre las LC-ORIGINAL, LC35 y LC92, entregando como resultado el periodo de 16.50 días. La LC1-Run2-ORIGINAL, presenta un periodo de 16.53 con un error de periodo de 0.29, que puede llegar a ajustarse a 16.50 días. El diagrama de tiempo presenta el pulso en dos instancias bien diferenciadas, pero en el diagrama de fase, el transito no es muy claro.

#### KIC 10338279 – LC 35 SIN PICOS MAYORES AL 0.1%

Número máximo de ejecuciones realizadas por SHERLOCK: 10 (RUN)

#### SEARCH OF SIGNALS - Run 1

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	PDCSAP_FLUX	32.95299	inf	0.783	273.9	74.307	2.57313	0.02711	0.18536
2	<b>0.4474</b>	<b>16.50226</b>	<b>0.058215</b>	<b>0.574</b>	<b>165.9</b>	<b>66.594</b>	<b>2.2027</b>	<b>0.02257</b>	<b>0.11689</b>
3	0.87	32.95299	inf	0.839	273.9	88.119	2.66385	0.02801	0.18536
4	1.2925	32.95299	inf	0.83	273.9	83.34	2.64952	0.02793	0.18536
5	1.715	32.95299	inf	0.768	273.9	76.558	2.54885	0.0269	0.18536

6	2.1376	32.95299	inf	0.799	273.9	79.162	2.59815	0.02739	0.18536
---	--------	----------	-----	-------	-------	--------	---------	---------	---------

#### SEARCH OF SIGNALS - Run 2

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	PDCSAP_FLUX_X	5.79226	0.050331	0.238	309.8	42.754	1.41962	0.01472	0.05816
2	0.4474	2.39337	0.00774	0.08	178.3	23.609	0.82147	0.00871	0.03227
3	0.87	31.4659	0.171906	0.257	436.6	39.459	1.4748	0.01567	0.17974
4	1.2925	31.4659	0.205988	0.321	436.6	46.773	1.64822	0.01746	0.17974
5	1.715	15.7424	0.095557	0.281	291.2	42.397	1.54138	0.01668	0.11328
6	2.1376	15.7697	0.082001	0.285	291.3	40.41	1.55254	0.01666	0.11341

#### SEARCH OF SIGNALS - Run 3

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	PDCSAP_FLUX	5.79226	0.050331	0.24	304.2	42.578	1.42567	0.01487	0.05816
2	0.4474	2.39337	0.008851	0.108	50.6	16.283	0.9574	0.00791	0.03227
3	0.87	11.53771	0.099009	0.188	346.2	31.666	1.2623	0.01341	0.09208
4	1.2925	1.93049	0.011617	0.152	63.5	24.429	1.13176	0.01031	0.02796
5	1.715	4.82933	0.045138	0.199	148.4	28.947	1.29821	0.01284	0.05152
6	2.1376	12.07647	0.171278	0.235	380.8	38.526	1.41069	0.01493	0.09493

#### SEARCH OF SIGNALS - Run 4

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	PDCSAP_FLUX	5.79945	0.050331	0.237	296.6	40.811	1.41552	0.01487	0.05821
2	0.4474	2.39337	0.008851	0.107	54.3	16.401	0.95329	0.00804	0.03227
3	0.87	11.53771	0.099009	0.184	371.4	31.515	1.24773	0.01335	0.09208
4	1.2925	11.53771	0.090102	0.199	371.4	32.732	1.29679	0.01387	0.09208
5	1.715	5.79945	0.050331	0.183	296.6	34.283	1.24263	0.01304	0.05821
6	2.1376	5.79945	0.050248	0.196	168.8	29.192	1.2884	0.01285	0.05821

#### SEARCH OF SIGNALS - Run 5

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	PDCSAP_FLUX	16.30065	0.199514	0.272	493.5	37.856	1.51602	0.01604	0.11594
2	0.4474	5.65777	0.024409	0.121	149.5	21.983	1.01134	0.01059	0.05726
3	0.87	20.08218	0.150919	0.176	448.7	26.816	1.21833	0.01298	0.13324
4	1.2925	16.30065	0.185478	0.213	448.9	31.331	1.34249	0.01377	0.11594
5	1.715	16.32925	0.185478	0.219	493.8	33.332	1.36168	0.01424	0.11607
6	2.1376	16.32925	0.185478	0.217	493.8	32.82	1.35499	0.01419	0.11607

#### SEARCH OF SIGNALS - Run 6

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	PDCSAP_FLUX	11.61009	0.127734	0.206	439.1	18.991	1.31965	0.01389	0.09247
2	0.4474	5.65777	0.024409	0.124	146.2	21.785	1.0221	0.01074	0.05726
3	0.87	13.4561	0.121274	0.223	247.4	24.973	1.37196	0.01458	0.10202
4	1.2925	25.18091	0.153044	0.3	329.1	30.02	1.59371	0.01523	0.15493
5	1.715	25.18091	0.153044	0.308	329.1	30.039	1.61252	0.01532	0.15493
6	2.1376	8.4042	0.029553	0.233	292.2	27.706	1.40292	0.01286	0.07455

#### SEARCH OF SIGNALS - Run 7

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	PDCSAP_FLUX	11.61009	0.118485	0.205	434.1	18.685	1.31706	0.01396	0.09247
2	0.4474	8.49939	0.042001	0.145	162.9	20.663	1.10591	0.01156	0.07511
3	0.87	19.59958	0.091426	0.293	201.3	23.418	1.57448	0.0146	0.1311
4	1.2925	nan	-16.212894nan	nan	0	0	nan	nan	-
5	1.715	nan	-16.212894nan	nan	0	0	nan	nan	-
6	2.1376	nan	-16.212894nan	nan	0	0	nan	nan	-

#### SEARCH OF SIGNALS - Run 8

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis

1	PDCSAP_FLUX	16.58969	0.175474	0.263	426.8	23.518	1.48979	0.01429	0.1173
2	0.4474	11.43026	0.053501	0.135	176.4	17.594	1.06937	0.01156	0.09151
3	0.87	nan	-16.212894nan	nan	0	0	nan	nan	-
4	1.2925	nan	-16.212894nan	nan	0	0	nan	nan	-
5	1.715	nan	-16.212894nan	nan	0	0	nan	nan	-
6	2.1376	nan	-16.212894nan	nan	0	0	nan	nan	-

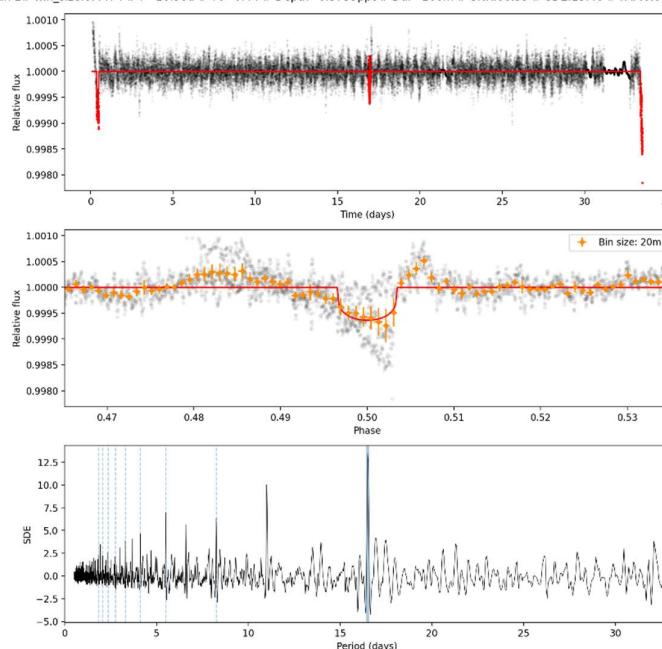
#### SEARCH OF SIGNALS - Run 9

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	PDCSAP_FLUX	nan	-16.212894nan	nan	0	0	nan	nan	-
2	0.4474	15.15738	0.077783	0.155	216.4	17.711	1.14286	0.01208	0.11045
3	0.87	nan	-16.212894nan	nan	0	0	nan	nan	-
4	1.2925	nan	-16.212894nan	nan	0	0	nan	nan	-
5	1.715	nan	-16.212894nan	nan	0	0	nan	nan	-
6	2.1376	nan	-16.212894nan	nan	0	0	nan	nan	-

#### SEARCH OF SIGNALS - Run 10

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	0.4474	9.7626	0.043265	0.11	253	16.666	0.96312	0.01016	0.08238
2	0.87	nan	-16.212894nan	nan	0	0	nan	nan	-
3	1.2925	nan	-16.212894nan	nan	0	0	nan	nan	-
4	1.715	nan	-16.212894nan	nan	0	0	nan	nan	-
5	2.1376	nan	-16.212894nan	nan	0	0	nan	nan	-
6	0.4474	9.7626	0.043265	0.11	253	16.666	0.96312	0.01016	0.08238

Run 1# win\_size:0.4474 # P=16.50d # T0=0.44 # Depth=0.5739ppt # Dur=166m # SNR:66.59 # SDE:13.46 # FAP:0.000080



LC2-Run1-LC35

La curva de luz LC35, SHERLOCK encontró una serie de distintos períodos a conocer: 16.5023 d, 31.4659 d, 12.0765 d, 11.5377 d, 16.3006 d, 13.4561 d, 8.4994 d, 16.5897 d, 15.1574 d y 9.7626 d, de los cuales el único periodo que comparte factor común entre las LC92 y la LC35, es la de **16.50 días**, periodo que se observa en el diagrama de tiempo, la separación de un tránsito en tres instancias diferentes. Dicho tránsito en forma de U, presentado por el diagrama de fase, exhibe un posible planeta del tamaño de 1.5 a 2.20 R<sub>T</sub> (super tierra). Por otra parte, las depresiones en tránsito que separa este periodo, sigue el comportamiento en su disminución a medida que vamos quitando oscilaciones; LC1-Run2-ORIGINAL, con 2.14 ppt ; LC2-Run1-LC35

con 0.574 ppt y LC1-Run1-LC92, con 0.291 ppt. Las dos primeras Run, son las que generalmente tienen en sus Detrends los periodos más prometedores a contener un posible tránsito y en los últimos dominan los valores NaN (*Not a Number*).

#### KIC 10338279 – LC 92 SIN PICOS MAYORES AL 0.01%

Número máximo de ejecuciones realizadas por SHERLOCK: 10 (RUN)

##### SEARCH OF SIGNALS - Run 1

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	PDCSAP_FLUX	16.51011	0.057952	0.291	166.1	35.862	1.56724	0.0156	0.11693
2	0.4474	16.51011	0.043515	0.252	166.1	31.872	1.46094	0.01437	0.11693
3	0.87	16.51011	0.043515	0.276	166.1	34.328	1.52658	0.01516	0.11693
4	1.2925	16.51011	0.057952	0.279	166.1	34.602	1.5371	0.01523	0.11693
5	1.715	16.51011	0.043515	0.279	166.1	34.495	1.53506	0.01521	0.11693
6	2.1376	16.51011	0.057952	0.283	166.1	34.971	1.54656	0.01533	0.11693

##### SEARCH OF SIGNALS - Run 2

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	PDCSAP_FLUX	26.97277	0.19595	0.139	437.9	25.254	1.08451	0.01152	0.1622
2	0.4474	3.70712	0.013831	0.069	156.9	16.395	0.76329	0.00811	0.0432
3	0.87	15.56286	0.133908	0.11	438.2	20.059	0.96233	0.01004	0.11241
4	1.2925	15.56286	0.133908	0.124	438.2	22.749	1.02535	0.01069	0.11241
5	1.715	15.56286	0.147469	0.128	438.2	23.447	1.04199	0.01089	0.11241
6	2.1376	15.56286	0.160691	0.135	438.2	24.703	1.06986	0.01119	0.11241

##### SEARCH OF SIGNALS - Run 3

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	PDCSAP_FLUX	4.77739	0.030478	0.079	239.6	19.784	0.81479	0.00863	0.05115
2	0.4474	3.69922	0.015773	0.078	139.9	16.457	0.81212	0.00817	0.04314
3	0.87	4.77185	0.027686	0.072	217.8	17.449	0.78126	0.00833	0.05111
4	1.2925	3.69922	0.017757	0.098	71.7	14.48	0.90888	0.00831	0.04314
5	1.715	4.77739	0.030478	0.073	239.6	18.546	0.78712	0.00833	0.05115
6	2.1376	4.77185	0.030478	0.095	92.2	14.825	0.89387	0.00844	0.05111

##### SEARCH OF SIGNALS - Run 4

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	PDCSAP_FLUX	6.60915	0.03837	0.096	93.4	12.446	0.89874	0.00859	0.06351
2	0.4474	0.60008	0.00157	0.054	10.1	7.476	0.67324	0.00557	0.01283
3	0.87	6.60915	0.03837	0.086	124.5	13.045	0.85327	0.00823	0.06351
4	1.2925	3.70317	0.017757	0.087	57.1	10.615	0.85965	0.00804	0.04317
5	1.715	6.60915	0.03837	0.091	102.8	12.562	0.87934	0.00812	0.06351
6	2.1376	6.60915	0.034136	0.091	102.8	12.559	0.87947	0.00815	0.06351

##### SEARCH OF SIGNALS - Run 5

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	PDCSAP_FLUX	16.13908	0.112446	0.137	230.1	17.578	1.0747	0.01138	0.11517
2	0.4474	0.5321	0.00104	0.051	10.7	7.611	0.65375	0.00562	0.01184
3	0.87	8.51686	0.023976	0.101	168.9	15.932	0.92603	0.00978	0.07521
4	1.2925	3.70317	0.017757	0.09	51.1	10.269	0.87225	0.00819	0.04317
5	1.715	3.70317	0.017757	0.088	51.1	10.086	0.86485	0.00812	0.04317
6	2.1376	11.35774	0.070533	0.1	153.7	12.714	0.91751	0.00935	0.09112

##### SEARCH OF SIGNALS - Run 6

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	PDCSAP_FLUX	4.21114	0.018776	0.062	134.6	10.595	0.72648	0.00776	0.04703
2	0.4474	2.3837	0.014327	0.061	84.6	12.473	0.71971	0.00694	0.03218
3	0.87	3.70317	0.015795	0.086	67.5	11.274	0.85379	0.00781	0.04317
4	1.2925	3.70317	0.015795	0.076	131.7	13.919	0.80323	0.00823	0.04317

5	1.715	3.69922	0.015795	0.081	131.7	14.748	0.82729	0.00813	0.04314
6	2.1376	3.70317	0.011847	0.072	131.7	13.058	0.77843	0.00796	0.04317

#### SEARCH OF SIGNALS - Run 7

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	PDCSAP_FLUX	5.16293	0.027655	0.082	150.6	12.217	0.83027	0.00845	0.05387
2	0.4474	1.06413	0.002246	0.08	13.1	9.326	0.82063	0.00616	0.0188
3	0.87	2.3837	0.002195	0.059	110.3	12.288	0.7061	0.00726	0.03218
4	1.2925	nan	-16.223249nan	nan	0	0	nan	nan	-
5	1.715	nan	-16.223249nan	nan	0	0	nan	nan	-
6	2.1376	nan	-16.223249nan	nan	0	0	nan	nan	-

#### SEARCH OF SIGNALS - Run 8

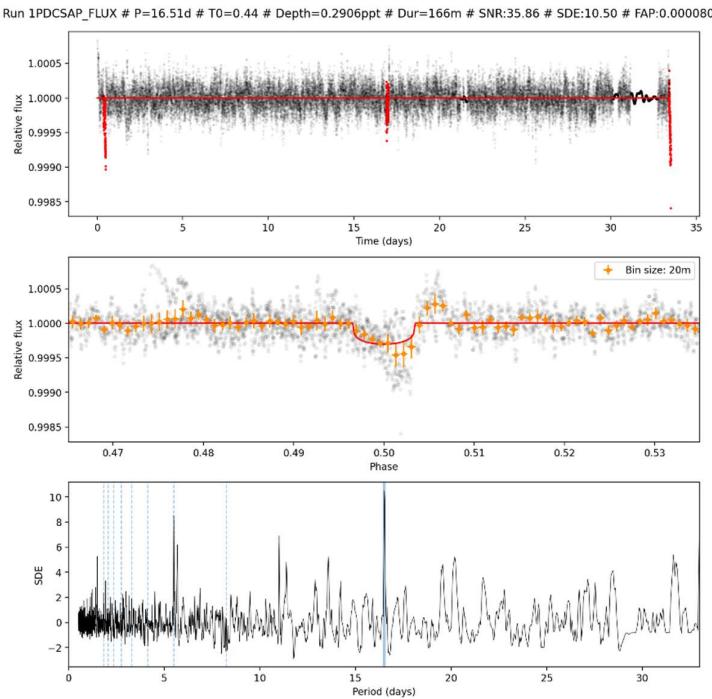
	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	PDCSAP_FLUX	15.01374	0.038336	0.089	255.5	11.656	0.86836	0.00897	0.10975
2	0.4474	23.09797	0.06792	0.108	161.5	11.47	0.95497	0.01051	0.14626
3	0.87	nan	-16.223249nan	nan	0	0	nan	nan	-
4	1.2925	nan	-16.223249nan	nan	0	0	nan	nan	-
5	1.715	nan	-16.223249nan	nan	0	0	nan	nan	-
6	2.1376	nan	-16.223249nan	nan	0	0	nan	nan	-

#### SEARCH OF SIGNALS - Run 9

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	PDCSAP_FLUX	15.01374	0.038336	0.089	253.5	11.618	0.86701	0.00912	0.10975
2	0.4474	5.51653	0.016809	0.076	153.5	11.118	0.79968	0.00821	0.0563
3	0.87	nan	-16.223249nan	nan	0	0	nan	nan	-
4	1.2925	nan	-16.223249nan	nan	0	0	nan	nan	-
5	1.715	nan	-16.223249nan	nan	0	0	nan	nan	-
6	2.1376	nan	-16.223249nan	nan	0	0	nan	nan	-

#### SEARCH OF SIGNALS - Run 10

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	PDCSAP_FLUX	19.16905	0.053105	0.084	411.6	13.915	0.84381	0.00891	0.12917
2	0.4474	1.06338	0.000748	0.037	91.9	9.903	0.55723	0.0058	0.01879
3	0.87	nan	-16.223249nan	nan	0	0	nan	nan	-
4	1.2925	nan	-16.223249nan	nan	0	0	nan	nan	-
5	1.715	nan	-16.223249nan	nan	0	0	nan	nan	-
6	2.1376	nan	-16.223249nan	nan	0	0	nan	nan	-



LC1-Run1-LC92

SHERLOCK, en la curva de luz LC1-Run1-LC92, nos confirma la presencia del periodo de 16.50 días y en la LC3-Run4-LC92, el periodo más cercano al estudiado por [McQuillan et al. \(2014\)](#) de 6.60 días. Este ultimo considerado un falso positivo. Para el primer caso en particular, el hecho que tengamos un periodo superior a 10 d y afianzado en el radio del planeta encontrado junt a la forma de U presentado por el diagrama de fase, infiere una probabilidad alta de la existencia de un tránsito planetario.

#### 4.4. KIC 12784394

Archivo de configuración para la ejecución de SHERLOCK. KIC12784394.yaml.

```
TARGETS:
KIC 12784394:
FILE: "./KIC12784394.csv"
#####
#####
### STAR INFO
#####
#####
STAR:
# MASS: 1.620
# MASS_LOWER_ERROR: 0.27
# MASS_UPPER_ERROR: 0.281
# RADIUS: 2.544
# RADIUS_LOWER_ERROR: 0.410
# RADIUS_UPPER_ERROR: 0.858
# TEFF: 7209
# LUM: 1.25
# LOGG:
# LD_COEFFICIENTS: [0.25, 0.64]
```

La caracterización obtenida por SHERLOCK de la estrella KIC 12784394, se describe a continuación; limb-darkening estimates using quadratic LD (a,b)= (0.166, 0.5327); mass = 1.987000; mass\_min = 1.507000; mass\_max = 2.336000; radius = 3.372000; radius\_min = 1.725000; radius\_max = 4.078000; **teff = 8042.00**; lum = 45.053857; logg = 3.680000 y Minimum number of transits: 1. Siguiente los resultados entregados por SHERLOCK, en sus diferentes niveles de sustracción sinusoidal.

#### KIC 12784394 – LC ORIGINAL CON TODAS LAS OSCILACIONES

Número máximo de ejecuciones realizadas por SHERLOCK: 5 (RUN)

##### SEARCH OF SIGNALS - Run 1

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	1.3108	3.65456	0.138013	0.055	553.5	18.433	2.72478	0.00731	0.05849
2	2.5488	3.69397	0.11913	0.056	559.5	19.235	2.76344	0.00739	0.05891
3	3.7867	3.69397	0.138013	0.057	559.5	19.176	2.77182	0.00744	0.05891
4	5.0247	3.69397	0.11913	0.056	559.5	19.019	2.75209	0.00738	0.05891
5	6.2627	3.69397	0.138013	0.058	559.5	19.576	2.80003	0.00751	0.05891
6	7.5007	3.69397	0.11913	0.056	559.5	18.964	2.75094	0.00738	0.05891

##### SEARCH OF SIGNALS - Run 2

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	1.3108	6.02439	0.299998	0.071	411.8	10.882	3.09247	0.00811	0.08162
2	2.5488	7.84673	inf	0.06	1208	16.13	2.86104	0.00778	0.09734
3	3.7867	7.84673	inf	0.061	1208	16.214	2.88215	0.00782	0.09734
4	5.0247	7.84673	inf	0.058	1208	15.554	2.81467	0.00765	0.09734
5	6.2627	7.84673	inf	0.058	1208	15.479	2.81582	0.00765	0.09734
6	7.5007	9.17084	inf	0.062	1097.9	15.857	2.91009	0.00784	0.108

##### SEARCH OF SIGNALS - Run 3

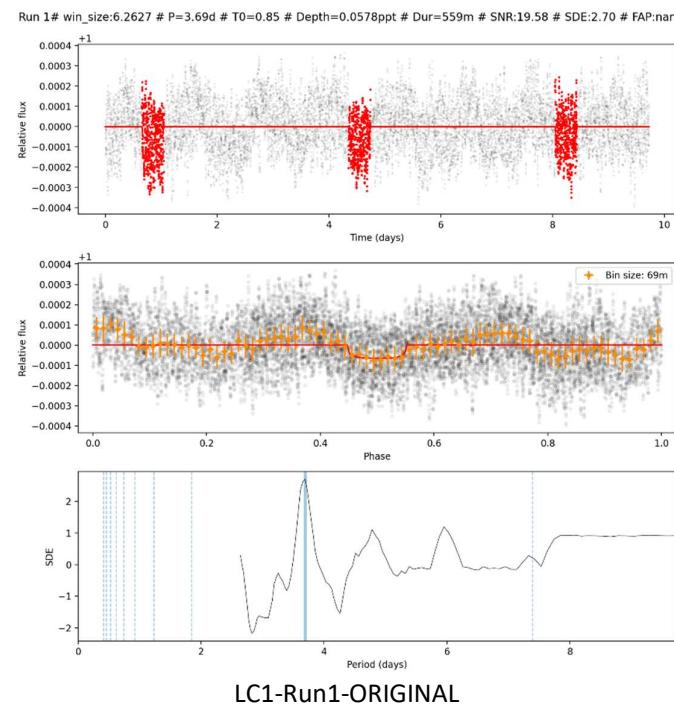
	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	1.3108	3.39378	0.106398	0.054	448.2	13.947	2.70718	0.0071	0.05567
2	2.5488	3.77451	0.08172	0.069	187.4	9.799	3.04937	0.00765	0.05976
3	3.7867	3.39378	0.08804	0.048	448.2	12.252	2.53787	0.00663	0.05567
4	5.0247	3.77451	0.060845	0.075	187.4	10.623	3.18115	0.00802	0.05976
5	6.2627	5.72959	inf	0.066	564.2	11.305	2.9823	0.00837	0.07893
6	7.5007	5.72959	0.443031	0.061	564.2	10.59	2.88275	0.00812	0.07893

##### SEARCH OF SIGNALS - Run 4

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	1.3108	3.39378	0.106398	0.054	433.4	13.49	2.6971	0.00727	0.05567
2	2.5488	nan	-3.529228	nan	nan	nan	nan	nan	nan
3	3.7867	3.35857	0.08804	0.047	433.2	11.986	2.5112	0.00671	0.05528
4	5.0247	3.81566	0.06263	0.046	483	10.32	2.5053	0.00682	0.06019
5	6.2627	3.35857	0.08804	0.046	433.2	11.865	2.49788	0.00667	0.05528
6	7.5007	3.35857	0.08804	0.044	433.2	11.417	2.45007	0.00655	0.05528

##### SEARCH OF SIGNALS - Run 5

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	1.3108	nan	-3.529228	nan	nan	nan	nan	nan	nan
2	2.5488	nan	-3.529228	nan	nan	nan	nan	nan	nan
3	3.7867	nan	-3.529228	nan	nan	nan	nan	nan	nan
4	5.0247	nan	-3.529228	nan	nan	nan	nan	nan	nan
5	6.2627	nan	-3.529228	nan	nan	nan	nan	nan	nan
6	7.5007	nan	-3.529228	nan	nan	nan	nan	nan	nan



LC1-Run1-ORIGINAL

La Run1 de la LC-ORIGINAL, presenta los cálculos completos en todas sus variables, destacando la LC5-Run1-ORIGINAL, con 0.058 ppt en profundidad y un periodo de **3.69 d**. Las Run 2 al 4, no presentan uniformidad en sus candidatos y valores NaN (*Not a Number*) dominan la Run5. Este tiempo encontrado por SHERLOCK en la LC1-Run1, es un indicio que muy seguramente sea debido a una pulsación rotacional de la estrella, altas frecuencias, corresponderían principalmente a modos radiales y no radiales de presión (p) y las de baja frecuencia, a modos de gravedad (g) de alto orden radial. Por otra parte, el diagrama de tiempo presenta tres pulsaciones separadas entre sí, por 3.69 d.

#### KIC 12784394 – LC 17 SIN PICOS MAYORES AL 0.1%

Número máximo de ejecuciones realizadas por SHERLOCK: 3 (RUN)

#### SEARCH OF SIGNALS - Run 1

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	1.3108	7.95613	0.220884	0.031	514.3	15.05	2.0419	0.00546	0.09824
2	2.5488	3.42948	0.139944	0.026	553.6	16.255	1.89111	0.00497	0.05606
3	3.7867	3.42948	0.123286	0.026	553.6	16.051	1.88024	0.00494	0.05606
4	5.0247	3.42948	0.123286	0.027	553.6	16.49	1.90871	0.00502	0.05606
5	6.2627	4.46014	0.238871	0.031	623.5	16.349	2.04026	0.00555	0.06679
6	7.5007	4.46014	0.238871	0.03	623.5	15.933	2.01375	0.00548	0.06679

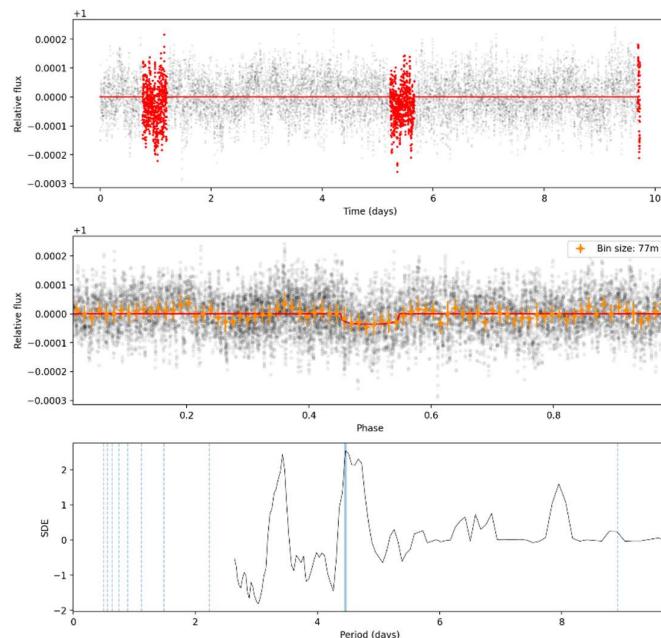
#### SEARCH OF SIGNALS - Run 2

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	1.3108	8.78189	0.190772	0.038	349	10.086	2.26916	0.00658	0.10493
2	2.5488	6.42204	0.205751	0.043	211	12.568	2.41753	0.00643	0.08517
3	3.7867	6.42204	0.205751	0.037	280.7	12.462	2.23786	0.0059	0.08517
4	5.0247	6.42204	0.338037	0.045	211	13.137	2.47533	0.00659	0.08517
5	6.2627	6.42204	0.338037	0.027	604	13.233	1.9094	0.00514	0.08517
6	7.5007	6.42204	0.338037	0.028	604	13.78	1.95043	0.00525	0.08517

### SEARCH OF SIGNALS - Run 3

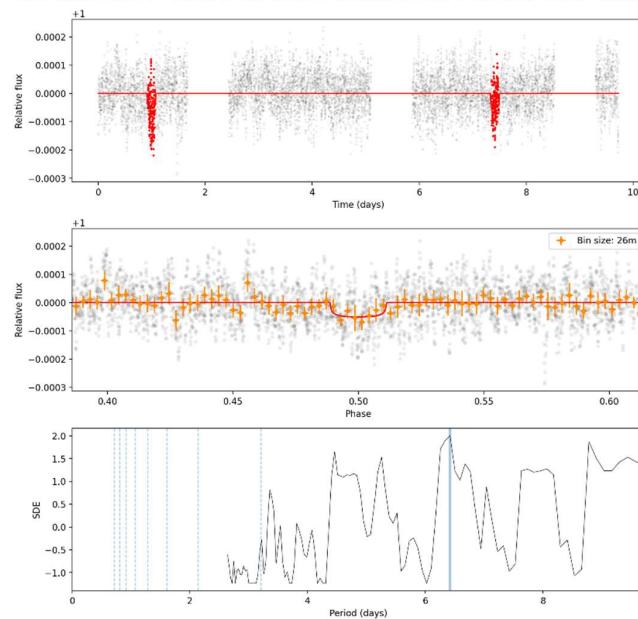
	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	1.3108	2.80037	0.040893	0.021	224.9	5.838	1.67532	0.00461	0.04897
2	2.5488	nan	-3.529228	nan	nan	nan	nan	nan	nan
3	3.7867	nan	-3.529228	nan	nan	nan	nan	nan	nan
4	5.0247	nan	-3.529228	nan	nan	nan	nan	nan	nan
5	6.2627	nan	-3.529228	nan	nan	nan	nan	nan	nan
6	7.5007	nan	-3.529228	nan	nan	nan	nan	nan	nan

Run 1# win\_size:6.2627 # P=4.46d # T0=0.98 # Depth=0.0307ppt # Dur=624m # SNR:16.35 # SDE:2.54 # FAP:nan



LC5-Run1-LC17

Run 2# win\_size:5.0247 # P=6.42d # T0=1.00 # Depth=0.0452ppt # Dur=211m # SNR:13.14 # SDE:2.01 # FAP:nan



LC4-Run2-LC17

Después de ser eliminados los picos mayores al 0.1% y 0.01%, se procedió a comparar los diferentes períodos encontrados en las distintas Run de la LC-17 y LC-37. Entregando como resultado dos períodos en factor común, los cuales son: 4.46014 d (LC5-Run1-LC17 y LC3-Run2-LC37) y 6.42204 d (LC4-Run2-LC17 y LC2-Run4-LC37). Siendo este último el de mayor profundidad de tránsito. Los candidatos, poseen períodos muy cortos < 10 días, induce a pensar que, estas pulsaciones están más relacionadas con variaciones debidas a la expansión y contracción de las capas externas de la estrella que, con tránsitos estelares o planetarios. No obstante por ser una estrella δ Scuti - A0 con una Teff = 8042 K, este tipo de estrellas presentan magnitudes aparentes de oscilación entre +4,60 y +4,79 en un principal de 4,65 días, dándonos cabida a descartar el primer período encontrado (4.46 d) como un posible tránsito.

#### KIC 12784394 – LC 37 SIN PICOS MAYORES AL 0.01%

Número máximo de ejecuciones realizadas por SHERLOCK: 6 (RUN)

##### SEARCH OF SIGNALS - Run 1

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	1.3108	3.5024	0.128567	0.024	234.6	10.57	1.81073	0.00486	0.05685
2	2.5488	4.46014	0.126658	0.016	686.1	9.584	1.46089	0.00402	0.06679
3	3.7867	4.46014	0.126658	0.017	686.1	10.3	1.51572	0.00415	0.06679
4	5.0247	4.46014	0.126658	0.016	686.1	9.999	1.49244	0.00409	0.06679
5	6.2627	4.46014	0.126658	0.017	686.1	10.513	1.53108	0.00419	0.06679
6	7.5007	4.46014	0.126658	0.017	686.1	10.367	1.51976	0.00416	0.06679

##### SEARCH OF SIGNALS - Run 2

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	1.3108	4.46014	0.07598	0.02	404.2	6.505	1.65742	0.00456	0.06679
2	2.5488	4.46014	0.07598	0.02	404.2	6.424	1.64504	0.00478	0.06679
3	3.7867	4.46014	0.07598	0.022	404.2	7.033	1.72251	0.00491	0.06679
4	5.0247	4.46014	0.07598	0.021	404.2	6.705	1.68083	0.00485	0.06679
5	6.2627	4.46014	0.07598	0.022	404.2	6.977	1.71554	0.00493	0.06679
6	7.5007	4.46014	0.07598	0.022	404.2	6.939	1.71008	0.00492	0.06679

##### SEARCH OF SIGNALS - Run 3

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	1.3108	7.53034	0.10261	0.03	195.1	9.25	2.00597	0.00542	0.0947
2	2.5488	7.53034	0.10261	0.029	195.1	8.913	1.9665	0.00522	0.0947
3	3.7867	7.53034	0.10261	0.028	195.1	8.693	1.94333	0.00515	0.0947
4	5.0247	7.53034	0.10261	0.028	195.1	8.822	1.95657	0.00519	0.0947
5	6.2627	7.53034	0.10261	0.028	195.1	8.853	1.96087	0.0052	0.0947
6	7.5007	7.53034	0.10261	0.028	195.1	8.666	1.93939	0.00514	0.0947

##### SEARCH OF SIGNALS - Run 4

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	1.3108	5.80145	0.147402	0.022	251.9	7.748	1.73198	0.00467	0.07959
2	2.5488	6.42204	0.082985	0.03	208.1	9.443	2.00049	0.00532	0.08517
3	3.7867	6.42204	0.082985	0.028	208.1	9.095	1.96455	0.00523	0.08517
4	5.0247	6.42204	0.082985	0.027	208.1	8.748	1.92573	0.00512	0.08517
5	6.2627	5.25832	0.096128	0.024	252.4	8.628	1.81886	0.0048	0.07454
6	7.5007	6.42204	0.082985	0.027	208.1	8.752	1.92628	0.00512	0.08517

##### SEARCH OF SIGNALS - Run 5

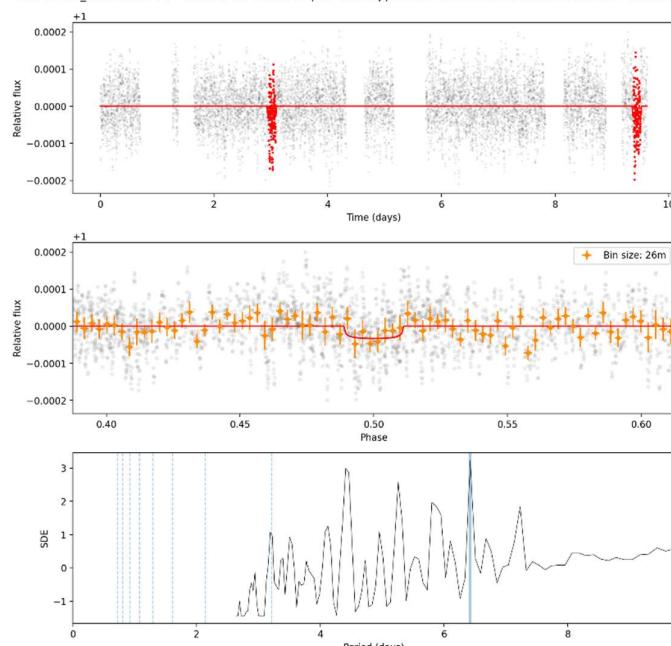
	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	1.3108	5.25832	0.063566	0.022	267.9	7.873	1.72498	0.00463	0.07454
2	2.5488	5.25832	0.096128	0.023	267.9	8.395	1.77802	0.00477	0.07454
3	3.7867	5.25832	0.096128	0.024	267.9	8.547	1.79516	0.00482	0.07454
4	5.0247	5.25832	0.096128	0.023	267.9	8.119	1.74891	0.00469	0.07454
5	6.2627	5.25832	0.096128	0.023	267.9	8.318	1.77109	0.00475	0.07454

6	7.5007	5.25832	0.096128	0.023	267.9	8.19	1.75663	0.00471	0.07454
---	--------	---------	----------	-------	-------	------	---------	---------	---------

### SEARCH OF SIGNALS - Run 6

	win_size	Period	Per_err	Mean Depth (ppt)	T. dur (min)	SNR	Planet radius (R_Earth)	Rp/Rs	Semi-major axis
1	1.3108	5.52099	0.135693	0.023	309.9	8.143	1.76588	0.00434	0.077
2	2.5488	5.58938	0.102598	0.018	232.1	4.762	1.55353	0.00442	0.07764
3	3.7867	5.58938	0.102598	0.019	232.1	5.056	1.58595	0.00455	0.07764
4	5.0247	3.15723	0.032198	0.016	250.3	6.498	1.46638	0.00393	0.05305
5	6.2627	5.58938	0.102598	0.018	232.1	4.824	1.56103	0.00445	0.07764
6	7.5007	3.15723	0.032198	0.016	250.3	6.76	1.49541	0.00401	0.05305

Run 4# win\_size:2.5488 # P=6.42d # T0=3.02 # Depth=0.0295ppt # Dur=208m # SNR:9.44 # SDE:3.23 # FAP:nan



LC2-Run4-LC37

Partiendo de la hipótesis que, el periodo de 6.42 d, fuese un tránsito prometedor, el radio del planeta rondaría sobre los  $2 R_T$  (super tierra). El diagrama de tiempo de LC2-Run4-LC37, presenta dos tránsitos separados por 6.42 d.

## 5. Conclusiones

Una de las características observadas de los resultados entregados por SHERLOCK, es que las dos primeras Run en general, son las que regularmente tienen en sus Detrends los periodos más prometedores a contener un posible tránsito y en los últimos poseen tendencias a los valores NaN (*Not a Number*), los cuales son posibles errores de una función matemática concreta, pero que cuya ejecución no es practicable para todos los posibles datos de entrada o está especificado para cualquier valor ausente.

Procesar una curva de luz con todas las oscilaciones, es poco probable observar en primera instancia, posibles tránsitos, ya que el periodo resultante en las estrellas estudiadas fueron **inferiores a 5 días**. Dichas estrellas que comparten esta tendencia, fueron aquellas de tipo δ Scuti con clasificación A, entre 7200 y 10000 grados Kelvin (KIC 8197761 -  $T_{eff} = 7301.0$  K, KIC 4570326  $T_{eff} = 7209.0$  K y KIC 12784394  $T_{eff} = 8042.00$  K). En su defecto, la estrella tipo Solar (KIC 10338279  $T_{eff} = 5615$  K) estudiada llegó a presentar periodos máximos de 28 días. Adicionalmente, las pulsaciones que hacen parte de estos cortos periodos son indicios de ser causados por modos estelares de pulsación estelar, que son esencialmente ondas estacionarias generadas por el movimiento de energía hacia la superficie de la estrella, el transporte de calor causa que las estrellas se expandan y contraigan, lo que hace que su brillo varíe en magnitudes aparentes de oscilación entre +4,60 y +4,79 en un principal de 4,65 días, por consiguiente, los periodos cercanos a este valor no fueron considerados como probables candidatos a ser un tránsito.

El total de las estrellas estudiadas presentaron periodos de factor común, en los niveles de sustracción sinusoidal de la curva de luz sin envelope (*sin picos mayores al 0.1%*) y con solo grass (*sin picos mayores al 0.01%*) ([Barceló Forteza + 2017 y 2018](#)), solo aquellas de igual valor que se encontraban en este rango (*0.01% a 0.1%*) fueron tenidas en cuenta en el presente estudio. Ahora bien, observando la columna Mean Depth (ppt), de las diferentes curvas de luz, pero de un periodo específico común, notaremos que la profundidad en partes por trillón, disminuye en cuanto se incrementa el número de frecuencias eliminadas, por ende, a medida que nos acercamos a la curva de luz con el total de las sustracciones sinusoidales, más distorsión encontraremos en ella, más inviable es poder observar un potencial tránsito. Por tal motivo, no sería un buen referente para tomar de guía para la búsqueda de posibles tránsitos. A razón de este argumento, no se procesaran las LC con picos superiores a 0.001%, en las estrellas de muestreo. En estos escenarios de factor común, los periodos encontrados fueron **superiores a 5 días**, los cuales arrojaron posibles candidatos con radios de planetas cercanos a tipos Jovianos y super tierras, donde cada diagrama de fase mantuvo en el transito una depresión en forma de U, a excepción de la estrella KIC 8197761, que según estudios realizados por [Sowicka et al. 2017](#), su acompañante era de tipo estelar y no planetaria.

Los análisis fueron realizados por algunos programas desarrollados en Python (ver anexos) y el uso de del Software SHERLOCK (Searching for Hints of Exoplanets from Lightcurves of space-based seeKers; [Pozuelos et al. 2020](#)) (<https://pypi.org/project/sherlockpipe/>).

Es posible una metodología a raíz de los resultados positivos obtenidos, a razón que todas las estrellas tuvieron una tendencia común, sin embargo es necesario el procesamiento de mas estrellas para confirmar dicho tratamiento.

## 6. Referencias bibliográficas

Baglin A., 2003, AdSpR, 31, 345

Balona, L. A., 2019, Evidence for spots on hot stars suggests major revision of stellar physics, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 490, Issue 2, p.2112-2116.

Barceló Forteza, S., 2015, Evidence of amplitude modulation due to resonant mode coupling in the  $\delta$  Scuti star KIC 5892969. A particular or a general case?, Astronomy & Astrophysics, Volume 579, id.A133, 8 pp.

Barceló Forteza, S., 2017, Evidence of chaotic modes in the analysis of four  $\delta$  Scuti stars, Astronomy & Astrophysics, Volume 601, id.A57, 14 pp.

Barceló Forteza, S., 2018, The envelope of the power spectra of over a thousand  $\delta$  Scuti stars. The  $T_{\text{eff}}$  -  $v_{\text{max}}$  scaling relation, Astronomy & Astrophysics, Volume 614, id.A46, 8 pp.

D. Charbonneau et al., Detection of planetary transits across a sun-like star, The Astrophysical Journal 529, L45 (2000).

Borucki W. J. et al., 2010, Sci, 327, 977

Dziembowski W. A., 1977, Acta Astr. 27, 203

Gaulme, Patrick.,2014, Searching for pulsations in Kepler eclipsing binary stars, Precision Asteroseismology, Proceedings of the International Astronomical Union, IAU Symposium, Volume 301, pp. 413-414

Gilliland R. L. et al., 2010a, PASP, 122, 131

Gilliland R. L. et al., 2010b, ApJ, 713, L160

Gilliland R. L. et al., 2011, ApJS, 197, 6

Handler, G., 2013, in Planets, Stars and Stellar Systems Vol. 4, ed. T. D. Oswalt & M. A. Barstow, Springer Science+Business Media, p. 207

Koch D. G., Borucki W. J., Basri G., et al., 2010, ApJ, 713L, L79

Kolbl, R., Marcy, G. W., Isaacson, H., & Howard, A. W. 2015, Detection of Stars Within  $\sim 0.8$  in of Kepler Objects of Interest, AJ, 149, 18

Laetitia D., 2017, Improved characterization of the TRAPPIST-1 planets, Spitzer Proposal ID #13175

Leon O., 2022, Automated identification of transiting exoplanet candidates in NASA Transiting Exoplanets Survey Satellite (*TESS*) data with machine learning methods, New Astronomy, Volume 91, article id. 101693.

Lin, D. N. C. , Bodenheimer, P. , Richardson, D. C., 1996, Orbital migration of the planetary companion of 51 Pegasi to its present location, Nature, Volume 380, Issue 6575, pp. 606-607 (1996).

McQuillan, A., Mazeh, T., & Aigrain, S. 2014, ApJS, 211, 24

Mayor M. and Queloz D., 1995, 51 Pegasi, IAU Circ., No. 6251, #1 (1995). Edited by Marsden, B. G.

Maehara, Hiroyuki, 2015, Statistical properties of superflares on solar-type stars based on the Kepler 1-min cadence data, IAU General Assembly, Meeting #29, id.2251867.

Miglio, A.; Montalbán, J., Noels, A., Eggenberger, P.. 2008, MNRAS 386, 1487

Murphy, Simon J, 2012, An examination of some characteristics of Kepler short- and long-cadence data, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 422, Issue 1, pp. 665-671.

Niemczura, E., 2015, Spectroscopic survey of Kepler stars. I. HERMES/Mercator observations of A- and F-type stars, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 450, Issue 3, p.2764-2783.

Nogami, D., Notsu, Y., Honda, S., et al. 2014, PASJ, 66, L4

Notsu, Y., Shibayama, T., Maehara, H., et al. 2013, ApJ, 771, 127

Notsu, Y., Honda, S., Maehara, H., et al. 2015, PASJ, 67, 33

Poretti, E., et al.: 2009, A&A 506, 85

Pozuelos, F. J., Suárez, J. C., de Elía, G. C., Berdiñas, Z. M., Bonfanti, A., Dugaro, A., Gillon, M., Jehin, E., Günther, M. N., Van Grootel, V., Garcia, L. J., Thuillier, A., Delrez, L., and Rodón, J. R. (2020). GJ 273: on the formation, dynamical evolution, and habitability of a planetary system hosted by an M dwarf at 3.75 parsec. Astronomy and Astrophysics, 641:A23.

Saio H., Kurtz D. W., Takata M., et al., 2015, MNRAS 447, 3264

Sowicka, P., 2017, Search for exoplanets around pulsating stars of A–F type in Kepler Short Cadence data and the case of KIC 8197761, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 467, Issue 4, p.4663-4673.

T. R. Bedding et al, 2020, Very regular high-frequency pulsation modes in young intermediate-mass stars, Nature, Volume 581, Issue 7807, p.147-151.

Tassoul, M., 1980, Asymptotic approximations for stellar nonradial pulsations, Astrophysical Journal, Suppl. Ser., Vol. 43, p. 469-490 (1980).

Torres, G., Konacki, M., Sasselov, D. D., & Jha, S. 2004, Testing Blend Scenarios for Extrasolar Transiting Planet Candidates. I. OGLE-TR-33: A False Positive, The Astrophysical Journal, Volume 614, Issue 2, pp. 979-989.

Torres, G., Konacki, M., Sasselov, D. D., & Jha, S. 2005, Testing Blend Scenarios for Extrasolar Transiting Planet Candidates. II. OGLE-TR-56, The Astrophysical Journal, Volume 619, Issue 1, pp. 558-569.

Torres, G., Fressin, François, Batalha, Natalie M, 2011, Modeling Kepler Transit Light Curves as False Positives: Rejection of Blend Scenarios for Kepler-9, and Validation of Kepler-9 d, A Super-earth-size Planet in a Multiple System, *The Astrophysical Journal*, Volume 727, Issue 1, article id. 24, 18 pp. (2011).

Unno W., Osaki Y., Ando H., Saio H., Shibahashi H., 1989, Non-radial Oscillations of Stars, University of Tokyo press, 2nd edition

Van Reeth, T., et al., 2015, *ApJS* 218, 21

Wolszczan A., Frail D. A., 1992, *Nature*, 355, 145

## 7. Anexos

### 7.1. NDU.PY

**Función:** Genera los archivos de curvas de luz compatibles con SHERLOCK. Toma como base dos archivos, a saber; **Flux.csv**: Contiene la serie de tiempo de los flujos de luz de la estrella; **Param.csv**: Contiene los registros de las oscilaciones de la estrella. El script lee directamente los archivos mencionados de un directorio llamado <>/input>>, separa las columnas de los archivos de entrada y utiliza los datos secuencialmente para ejecutar la función de sustracción sinusoidal. Dicha ejecución se realiza sobre cada registro (*fila*) del fichero **flux.csv**, generando un fichero de salida por cada registro del fichero **param.csv**; por tanto, como resultado de la ejecución se generan tantos ficheros como registros existan en el fichero **param.csv**. Cada fichero de salida contiene el resultado acumulativo de la sumatoria de las oscilaciones tenidas en cuenta, así por ejemplo el fichero de salida **lc50.csv** contendrá los datos generados al aplicar la fórmula de sustracción sinusoidal con las primeras 50 oscilaciones del fichero **param.csv**.

**Ejecución:** Para ejecutar el script se deben cumplir los siguientes puntos; contar con interprete de **Python versión 3.5 o superior**; el intérprete de **Python** debe poseer una versión funcional de la librería **NumPy**; el script debe ejecutarse en un directorio sobre el cual se tengan permisos de lectura y escritura; el script debe ejecutarse en un directorio que contenga los subdirectorios <>/input>> y <>/output>>; el subdirectorio <>/input>> debe contener los ficheros **flux.csv** y **param.csv**. Una vez cubiertos los requerimientos anteriores basta con ejecutar el comando <>python ndu.py>> para lanzar el programa, la ejecución de este es relativamente lenta, pues debe generar todos los ficheros correspondientes a las posibles combinaciones matriciales de los ficheros de entrada; sin embargo, en cada ejecución el script informará por salida estándar el tiempo empleado para generación de cada fichero.

**Consideraciones:** Dada la naturaleza acumulativa del proceso, el script incorpora un buffer bidimensional que almacena los datos de ejecuciones anteriores y los usa como base para las posteriores, de esta forma se reciclan cálculos y se mantiene un tiempo de ejecución medio estable. De no existir dicho buffer, el tiempo necesario para generar el ultimo fichero sería considerablemente mayor al empleado para calcular el primero. Es necesario mencionar que, en circunstancias ideales, se debería usar el módulo <>Decimals>> para incrementar la precisión matemática de los cálculos, sin embargo, esto implicaría tener que recurrir a procesos iterativos para calcular los valores de la función <>SENO>>, así como una conversión constante entre valores numéricamente computables y valores literales, lo que incrementaría notoriamente el tiempo de ejecución. Por tal razón en aras de mantener un tiempo de ejecución medianamente aceptable se optó por fijar la precisión de los datos numéricos mediante la función de corte <>FIX()>> del módulo <>NumPy>>. A continuación **ndu.py**.

```
import numpy as np
import math
import time

# General data accumulator.
BUFFER = []

# Sets decimal precision to 10 digits, using truncation.
def fix(v):
    return np.around(v, decimals=10)

# Run math calculations to perform sinusoidal reduction
def interna(ti, nu, a, phi, TWOPI):
    pass
```

```

nu = np.double(nu * 0.000001)
a = np.double(a)
phi = np.double(phi)

v = (TWOPI * nu * ti) + phi
v = np.sin(v)
v = a * v
return fix(v)

# Carry out the step-by-step summation of the calculations generated by the "internal" function and accumulate its results in BUFFER
def sumatoria(param, TWOPI):

    j = 0
    for l in param:
        FT = time.time()

        j = j+1
        nu = l[0]
        a = l[1]
        phi = l[2]

        res = "#time,flux,flux_err\n"
        for i in range(len(BUFFER)):
            z = interna(BUFFER[i][0], nu, a, phi, TWOPI)
            BUFFER[i][2] = fix(BUFFER[i][2] + z)
            FI = BUFFER[i][1] - BUFFER[i][2]
            res = res + str(BUFFER[i][3]) + ',' + str(fix(FI)) + ",1.0\n"

        makeFile(j, res)
        print(j, time.time()-FT)

# Generates the output light curve file for each execution of the summation.
def makeFile(j, res):

    f = open("output/lc" + str(j) + ".csv", 'w')
    f.write(res)
    f.close()

# Prepare the initial data for the execution of the processes.
def ejecutar(flux, param):

    # Mathematical constant 2PI
    TWOPI = np.pi * 2

    i = 0
    for l in flux:

        ti = np.double(l[0])
        di = fix(ti / 86400.0)
        fi = np.double(l[1])
        BUFFER.append([ti, fi, np.double(0), di])

        sumatoria(param, TWOPI)

    return 0

def main(args):
    f = open("input/flux.csv", 'r')
    flux = f.read()
    f.close()

    f = open("input/param.csv", 'r')

```

```

param = f.read()
f.close()

flux = flux.split("\n")
mflux = []
for l in flux:
    if(l != ""):
        tmp = []
        for p in l.split(','):
            tmp.append(float(p))
        mflux.append(tmp)
del(flux)

param = param.split("\n")
mparam = []
for l in param:
    if(l != ""):
        tmp = []
        for p in l.split(','):
            tmp.append(float(p))
        mparam.append(tmp)
del(param)

ejecutar(mflux, mparam)

return 0

if __name__ == '__main__':
    import sys

```

## 7.2. POST.PY

**Función:** Genera un fichero de curva de luz en formato de partes por millón y calcula la columna <<flux\_error>> en base a la curva de luz final generada por <<ndu.py>>. SHERLOCK trabaja con tres columnas de datos, a saber: tiempo, flujo de luz y error del flujo. Sin embargo, el script <<ndu.py>> no es capaz de generar por sí mismo la tercera columna, ya que los ficheros de entrada no poseen los datos necesarios para tal labor. Por tanto, el script <<post.py>> toma como entrada un fichero de curva de luz generado por <<ndu.py>> y de forma constante la última curva de luz generada por este mismo. Una vez leídos estos dos archivos, utiliza la columna <<flux>> de la última curva de luz generada como base para calcular la columna <<flux\_err>> de la curva de luz objetivo. Este proceso se ejecuta sobre una única curva de luz y genera por tanto un único fichero de salida con el formato <<pos\_lc#>> donde # es el número de la curva de luz objetivo.

**Ejecución:** Para ejecutar el script se deben cumplir los siguientes puntos; contar con interprete de **Python versión 3.5 o superior**; el intérprete de Python debe poseer una versión funcional de la librería **NumPy**; el script debe ejecutarse en un directorio sobre el cual se tengan permisos de lectura y escritura; el script debe ejecutarse en un directorio que contenga el subdirectorio <</post>>; el subdirectorio <</post>> debe contener los ficheros de la curva de luz objetivo y la última curva de luz. Una vez cubiertos los requerimientos anteriores basta con ejecutar el comando <<python pos.py N>> donde <<N>> es el número de la curva de luz objetivo.

**Consideraciones:** Este es un script de apoyo, orientado a dar soporte paliativo a las carencias de los datos suministrados para <<ndu.py>>, y dado que requiere el uso de la curva de luz final para generar la columna <<flux\_err>> es preciso tener en cuenta que dicha curva de luz no puede ser tenida en cuenta para la ejecución de SHERLOCK; de hecho las curva de luz cercanas a esta no

deben considerarse aptas para su uso en SHERLOCK, pues los datos de las columnas <>flux<> y <>flux\_error<> son en extremo similares. A continuación **post.py**.

```

import numpy as np

# Sets decimal precision to 10 digits, using truncation.
def fix(v):
    return np.around(v, decimals=10)

def main(args):

    # Multiplying a number by this factor is the equivalent of dividing it by 10 ^ 6
    FACTOR = 0.000001

    # Open the target light curve file and save its data in the variable <d>
    f = open('output/lc'+str(args[1])+'.csv', 'r')
    d = f.read()
    f.close()

    # Open the residual light curve file and load its data into the variable <z>
    # [-LAST-] should be replaced by the final number of generated light curves.
    f = open('output/lc[-LAST-].csv', 'r')
    z = f.read()
    f.close()

    # Converts <d> and <z> data to iterable lists
    d = d.split('\n')
    z = z.split('\n')

    # Loops through each of the <d> and <z> rows. Note that <d> and <z> are lists of identical dimensions.
    for i in range(1, len(d)-1):

        # Break each row of <d> and <z> and separate it by columns into <lo> and <lf> respectively.
        lo = d[i].split(',')
        lf = z[i].split(',')

        # Converts the second column of <lo> and <lf> to double precision decimal numbers and stores them in <vo> and
        <vf> respectively.
        vo = np.double(lo[1])
        vf = np.double(lf[1])

        # Multiply <vo> by the FACTOR and add 1 to it
        vo = fix((vo * FACTOR)) + 1
        # Multiply <vf> by the FACTOR
        vf = fix(vf * FACTOR)

        # Replace <vo> and <vf> as second and third column in <lo>. In text format.
        lo[1] = str(vo)
        lo[2] = str(vf)

        # Combine <lo> as a row of text in <d>
        d[i] = ','.join(lo)

    # Combine all the <d> rows into a single block of text.
    d = "\n".join(d)

    # Create the output file in the post / directory
    f = open('post/post_lc'+str(args[1])+'.csv', 'w')
    f.write(d)
    f.close()

if __name__ == '__main__':

```

```
import sys
sys.exit(main(sys.argv))
```

### 7.3. KIC8197761.YAML

Archivo de configuración para la ejecución de SHERLOCK, es una versión resumida del fichero base <>properties.yaml>> (<https://github.com/franpoz/SHERLOCK/blob/master/sherlockpipe/properties.yaml>), y adaptado para tomar los datos de ejecución de un fichero local y de fuentes públicas disponibles en los diferentes catálogos en la INTERNET. Este fichero indica la estrella objetivo a estudiar, el fichero de datos CSV que usará como base para la ejecución y los datos básicos de la estrella. Todas las propiedades que no se definen en este archivo son completadas por sus valores por defecto que están documentados en el fichero fuente <>properties.yml>>. Es importante mencionar, que en estas propiedades por defecto definen la ejecución de SHERLOCK en modo <>Global>> y con un total de diez “runs” de búsqueda.

Como nota final es preciso decir que, si bien se pueden agregar muchas más propiedades a este fichero para tratar de cambiar el comportamiento de SHERLOCK, el resultado obtenido en tales casos fue siempre una ruptura de la ejecución del mismo, y por tanto se descartó el seguir probando combinaciones, dada a la total carencia de documentación sobre los efectos de dichas propiedades sobre el comportamiento del sistema. A continuación como ejemplo kic8197761.yaml.

```
TARGETS:
KIC 8197761:
FILE: "./KIC8197761.csv"
#####
#####
### STAR INFO
#####
#####
STAR:
MASS: 1.384
# MASS_LOWER_ERROR: 0.27
# MASS_UPPER_ERROR: 0.281
RADIUS: 1.717
# RADIUS_LOWER_ERROR: 0.410
# RADIUS_UPPER_ERROR: 0.858
TEFF: 7301
# LUM: 1.25
LOGG: 4.11
# LD_COEFFICIENTS: [0.25, 0.64]
```