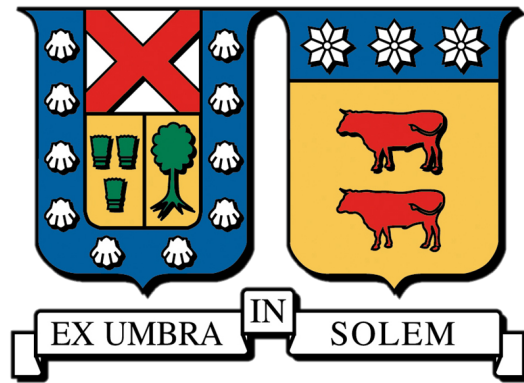


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE FÍSICA



Utilizando los espectros de baja resolución de Gaia para identificar
variables cataclísmicas del survey CWDB/4MOST

Constanza Céspedes Cepeda

TESINA PARA OPTAR AL TÍTULO DE LA LICENCIATURA EN ASTROFÍSICA

PROFESOR: Odette Toloza

3 de abril de 2024

Abstract

Las variables cataclísmicas (CVs) son sistemas binarios donde una enana blanca acreta material de una estrella de baja masa, generando eventos astrofísicos como explosiones de nova y/o outbursts. Aunque fascinantes, las CVs son escasas, y en las muestras, limitadas a volumen, hay una proporción significativa aún por descubrir. Esta tesis busca mejorar la completitud de las muestras mediante la búsqueda de CVs.

Se empleó el catálogo de compact white dwarf binaries survey de 4MOST, que contiene 145192 candidatos a sistemas binarios con enanas blancas. Se descargaron espectros y fotometría de *Gaia* para los objetos del catálogo en los que los datos estaban disponibles. La descarga se realizó a través de un query, obteniendo 2771 objetos cuyos espectros fueron revisados para determinar si podrían ser candidatas a CVs.

Luego de observar cada uno de los espectros se encontraron 22 objetos con emisión en Balmer α , que, al revisarlos en la literatura, se identificaron que 8 de esos objetos eran CVs conocidas y 6 estaban clasificados de manera diferente, el resto de los objetos no tenían información en la literatura. A pesar de la baja resolución de *Gaia* se identificaron 18 objetos como potenciales CVs, 9 de los cuales estaban confirmados. De los 9 restantes, 7 son objetos desconocidos, y propongo la revisión de los otros dos objetos con clasificación: la binaria eclipsante CRTS J051654.1+033252 y la candidata a subenana caliente GALEXJ150816.7-383226. Además, de confirmar su naturaleza, se sugiere que los espectros de *Gaia* podrían servir como template para determinar el tiempo de exposición necesario en 4MOST.

Posteriormente, se realizó un cruce entre los 2771 objetos y la base de datos Simbad, identificando 331 objetos, de los cuales solo 5 fueron confirmados como CVs más una candidata a CV. Del cruce con Simbad se lograron encontrar 325 objetos clasificados que no eran CVs, y, para poder analizar estos objetos contaminantes en el catálogo de 4MOST, se optó por buscar curvas de luz en *TESS* y analizar el tipo de variabilidad, y, de esta forma, tener una comprensión más completa de los contaminantes existentes en el catálogo de compact white dwarf binaries.

Agradecimientos

Me gustaría agradecer a las personas que me han apoyado en este proceso académico.

En primer lugar, a mi familia, quienes han sido una constante fuente de apoyo. Quiero agradecerles por su ánimo, por el cariño, por celebrar cada logro y por estar ahí en los momentos más desafiantes, gracias a sus palabras y a la confianza que depositan en mí, siempre me han guiado para salir adelante.

A mis compañeros y amigos, quienes han hecho esta experiencia más llevadera y agradable. Ya sea con su ayuda y colaboración en proyectos o por los momentos de convivencia que siempre son necesarios, especialmente cuando todos los trabajos se juntan y no hay tiempo para nada.

A mis profesores por haberme entregado las herramientas y el conocimiento a lo largo de estos años. Y quiero agradecer especialmente a mi profesora guía, la doctora Odette Toloza, por haber confiado en mí, por el apoyo, por la paciencia y por sobre todo por haberme ayudado a impulsar mis habilidades, ya sea en sus clases o a lo largo del desarrollo de esta tesina (especialmente el último mes).

Finalmente quiero agradecer a todas las personas que, de una forma u otra, me han brindado consejos o compartido palabras significativas, y que, sin saberlo, me han ayudado a dar pasos importantes.

Muchas gracias, por acompañarme en este trayecto.

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Variables Cataclísmicas	1
1.2. Evolución de CVs: pérdida del momentum angular	4
1.2.1. Radiación de ondas gravitacionales	4
1.2.2. Frenado Magnético	4
1.3. Tipos de CVs	5
1.3.1. CVs magnéticas	5
1.3.2. CVs no magnéticas	6
1.4. Origen de la variabilidad	7
1.5. Objetivos de la tesina	8
2. El catálogo de “compact white dwarf binaries” de 4MOST	9
2.1. Selección de los datos para el catálogo	9
3. La misión Gaia	12
4. Obteniendo los datos de DR3: espectros XP y fotometría BP / RP	14
4.1. Crossmatch entre el catálogo 4MOST WDB y el catálogo de CVs de Downes et al. 2001	15
4.2. Búsqueda en la literatura	16
5. Resultados	18
5.1. CVs conocidas	19
5.2. Contaminantes que muestran emisión de Balmer α	22
5.3. Candidatas a CVs	23
6. Discusión	27
6.1. Estrellas (Star)	27
6.2. Binarias eclipsantes (EclBin)	28

6.3. Estrella Variable	29
6.4. Estrella Rama Horizontal	31
6.5. Subenana caliente	32
6.6. Variables pulsantes (PulsV)	33
6.7. Otros objetos	34
7. Conclusiones	39
A. Espectro XP de CVs y candidatas a CVs	40
A.1. CVs conocidas	40
A.2. Sistemas conocidos contaminantes	48
A.3. Sistemas desconocidos	54

Capítulo 1

Introducción

Las estrellas variables cataclísmicas (CVs) son sistemas binarios compuestos por una enana blanca y una estrella compañera que transfiere masa a la enana blanca. Las CVs pueden experimentar cambios súbitos en su brillo debido a diversos factores, lo que inicialmente condujo al descubrimiento de estos sistemas. Aunque las CVs con baja luminosidad fueron inicialmente escasas, los descubrimientos se han multiplicado gracias a surveys a gran escala. A pesar de los esfuerzos, las muestras, limitadas en volumen, aún presentan lagunas. ¿Pero en qué consisten realmente estos sistemas y por qué algunos permanecen esquivos a ser descubiertos?

El presente trabajo se centra en la búsqueda de CVs utilizando una metodología que implica el análisis de espectros XP y la observación de variabilidad típica de una CV en la fotometría, a través de los datos proporcionadas por *Gaia*. Es importante destacar que para algunos casos, se observó la existencia de curvas de luz en *TESS*, pero no se hicieron análisis detallados. Esto es objeto de estudio de otra tesina (Pablo Fernández).

A continuación, se describirá el estado del arte de las CVs, abordando sus propiedades, evolución, los tipos existentes y las razones detrás de los cambios en su brillo.

1.1. Variables Cataclísmicas

Las CVs son sistemas estelares binarios que constan de una enana blanca que acumula materia proveniente de una estrella compañera, usualmente una estrella de la secuencia principal (Warner, 1995). Estos sistemas se caracterizan por una disminución en el período orbital debido a pérdida de momentum angular (más detalles en sección 1.2) conforme evolucionan, convirtiendo así su distribución de períodos en un indicador significativo de su evolución (Hellier, 2001; Knigge et al., 2011). La proximidad entre ellas provoca la distorsión de la secundaria por la gravedad de la enana blanca, resultando en la formación de un disco de acreción rico en hidrógeno alrededor de la enana blanca (Hellier, 2001).

Para comprender la dinámica de las CVs, es importante entender su geometría. La geometría de las CVs está dictada por el lóbulo de Roche, que es una región tridimensional en el espacio que delimita el área alrededor de una estrella, el cual tiene forma de lágrima apuntado hacia la enana blanca (Paczynski, 1971; Eggleton, 1983). En un sistema binario existen cinco puntos de Lagrange, entre ellos está el L1, que es un punto que representa un equilibrio inestable entre las dos estrellas. En un sistema binario cuando la estrella compañera llena su lóbulo de Roche el material de esta estrella es transferido hacia la enana blanca a través del punto L1. En el caso de la CVs se observa la transferencia de masa de una estrella secundaria hacia una enana blanca, donde el lóbulo de Roche también establece un límite en el tamaño del disco de acreción alrededor de la enana blanca (Smith, 2007). El tipo de transferencia de masa puede ocurrir de manera estable o inestable (e.g. Nelemans et al., 2016), dependiendo de diversos factores, entre ellos la tasa de acreción, que representa la velocidad con la que la enana blanca acumula materia proveniente de su estrella compañera. Este parámetro crítico no solo impacta la evolución del sistema, sino que también determina las observaciones que realizamos de las CVs.

Cuando la transferencia de masa es dinámicamente estable, se puede decir que la acumulación de materia en la enana blanca ocurre de una manera “quasi” constante a lo largo del tiempo. No obstante, es importante decir que, ocasionalmente se producen erupciones en la superficie de la enana blanca (Townsend & Gänsicke, 2009). En la sección 1.4 se presentarán más detalles acerca de este fenómeno.

La Distribución Espectral de Energía (SED, por sus siglas en inglés) de CVs se describe por tres componentes principales, la enana blanca, la estrella compañera y el disco de acreción que rodea la enana blanca. En la Figura 1.1 podemos observar el detalle de los espectros de cada componente. La enana blanca se caracteriza por tener una emisión que domina principalmente en el ultravioleta y que va disminuyendo hacia el óptico. El SED de una enana blanca se destaca a través de las líneas espectrales, estas líneas, conocidas como líneas espectrales de Balmer (en la región óptica azul) y las líneas de Lyman (en el ultravioleta), ofrecen información relevante sobre las condiciones físicas en la superficie de la enana blanca (e.g. gravedad y temperatura efectiva, Bergeron et al. 1995). La gran amplitud de estas líneas espectrales, atribuible al “ensanchamiento por presión”, refleja la intensa gravedad en la superficie de la enana blanca.

A diferencia de la enana blanca la estrella secundaria es más fría y emite principalmente en longitudes de ondas rojas e infrarrojas (Harrison, 2016). A pesar de la aparente desventaja en brillo con respecto a la enana blanca en todas las longitudes de onda, la estrella compañera puede ser visible en luz roja e infrarroja, gracias a su área superficial, que es considerablemente mayor a la de la enana blanca. El espectro de la estrella compañera se distingue por tener líneas de absorción moleculares, como las bandas de absorción de óxido de titanio (TiO, Harrison 2016) y otras moléculas. Cuando la estrella secundaria no está oscurecida por la emisión del disco de

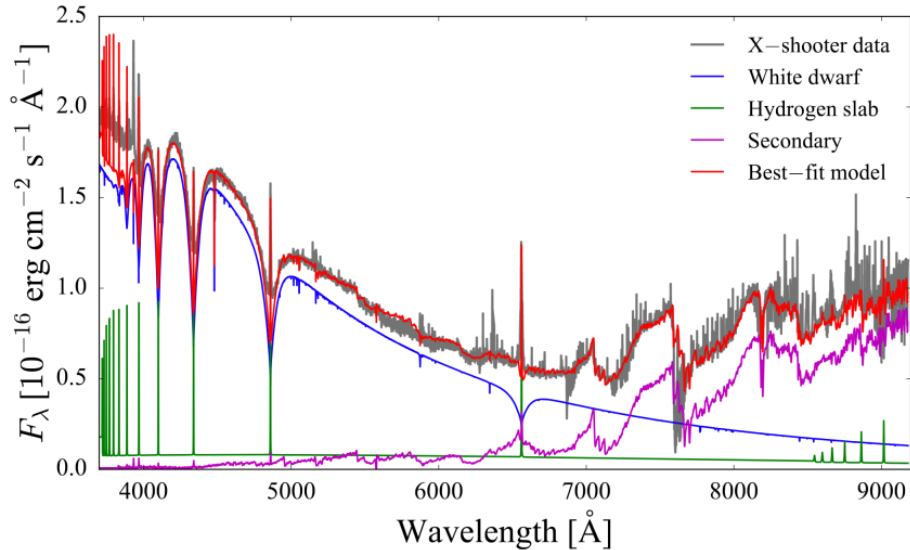


Figura 1.1: Espectro tomado por X-shooter de la enana nova IR Com como una muestra representativa de una CV inactiva. El espectro observado, representado en gris, ha sido bien modelado mediante la combinación (en rojo) de tres componentes principales, una enana blanca (en azul), una estrella secundaria de tipo M6 (en magenta) y el disco de acreción (en verde).

acreción, también se pueden identificar líneas de absorción de elementos como sodio y potasio.

La masa que se transfiere a la enana blanca no puede acretar directamente dado que tiene mucho momento angular, por lo que sigue un movimiento balístico (Lubow & Shu, 1975) hasta formar un anulus alrededor de la enana blanca (Flannery, 1975). El material disipa energía vía varios procesos como colisiones, choques y viscosidad. Una redistribución del momento angular permite que el material se mueva con forma de espiral hacia el centro de la enana blanca mientras que la parte exterior gana momento angular formando un disco. El disco puede experimentar procesos dinámicos y rápidos conocidos como outbursts (ver sección 1.4). La corriente procedente del secundario impacta en el disco, transfiriendo su energía cinética al material que está acrecentando, provocando que se caliente y radie ese excedente de energía. A esta región de encuentro se le denomina punto brillante (Warner, 1995). Los discos de acreción pueden describirse como una serie de anillos concéntricos, cada uno girando con velocidad kepleriana. Entonces, el disco puede identificarse mediante las líneas de emisión de gas con forma de orejas de gato, el cual en la mayoría de los casos se encuentra enriquecido con hidrógeno.

Entre las líneas espectrales de mayor relevancia para el análisis del espectro de las CVs, se destaca la línea de emisión del disco, específicamente la línea de Balmer α a 6560 Å, acompañada por otras líneas de hidrógeno y helio. Asimismo, la forma del SED muestra un incremento en el flujo en longitudes de onda cortas, indicando la presencia de la enana blanca. Al examinar la Figura 1.1, se observa una emisión intensa en la línea Balmer α y la forma del SED, constituyendo estas

características aspectos fundamentales en las CVs y sirviendo como referencia principal para la clasificación de los espectros en esta tesina.

1.2. Evolución de CVs: pérdida del momentum angular

La evolución de CVs es descrita por la pérdida de momento angular, la que conlleva a cambios en el tamaño del lóbulo de Roche y, por ende, en la transferencia de masa. Existen dos procesos que contribuyen a esta pérdida, que son la radiación de ondas gravitacionales y frenado magnético.

1.2.1. Radiación de ondas gravitacionales

La pérdida de momento angular en sistemas binarios con enanas blancas se realiza por la radiación de ondas gravitacionales, como consecuencia las estrellas se acercan y contrae sus órbitas. La tasa de pérdida de momentum angular por radiación gravitatoria se describe mediante la siguiente fórmula (Paczynski, 1967):

$$\dot{J}_{GR} = -\frac{32}{5} \frac{G^{7/2}}{c^5} \frac{M_1^2 M_2^2 (M_1 + M_2)^{1/2}}{a^{7/2}} \quad (1.1)$$

Donde M_1 , M_2 y $M = M_1 + M_2$ representan las masas de los dos componentes de la binaria y la masa total del sistema, respectivamente. Como se puede apreciar en la fórmula, entre más corto es el periodo orbital de las CVs mayor es la emisión de ondas gravitacionales.

1.2.2. Frenado Magnético

Dado que la emisión de ondas gravitacionales es ineficiente en períodos largos, surge la necesidad de introducir otro mecanismo para disminuir la separación de la binaria. El frenado magnético, que se cree que es producido por un viento ligeramente magnetizado que sigue las líneas del campo magnético, expulsa material en los polos estelares, provocando una desaceleración en la rotación estelar (Mestel, 1968). En la literatura existen una serie de prescripciones de frenado magnético (Verbunt & Zwaan, 1981; Rappaport et al., 1983; Kawaler, 1988; Mestel & Spruit, 1987; Andronov et al., 2003). Sin embargo, la ecuación más empleada es aquella propuesta por (Rappaport et al., 1983), dada su flexibilidad en la manipulación de la intensidad de la pérdida de momento angular con el exponente γ :

$$\dot{J}_{MB} = -5 \times 10^{-29} k^2 f^{-2} \left(\frac{2\pi}{P_{orb}} \right)^3 \left(\frac{M}{M_\odot} \right) \left(\frac{R}{R_\odot} \right)^4 \left(\frac{R}{R_\odot} \right)^{\gamma-4} \quad (1.2)$$

donde k es el radio de giro de la parte de la estrella acoplada al viento magnético (~ 0.1 para

estrellas de baja masa) y f es una constante que varía entre ~ 0.7 y 1.8 , M y R son la masa y el radio del sistema y P_{orb} es el periodo orbital.

El frenado magnético es la fuente dominante de pérdida de momento angular a periodos largos. Se postula que el frenado magnético se vuelve ineficiente (o incluso desaparece por completo) cuando los sistemas alcanzan períodos orbitales de aproximadamente $\simeq 3$ h, lo cual se atribuye a la completa convección del donante. Como consecuencia directa, se produce una disminución abrupta en la tasa de acreción de masa, lo que permite que el donante se relaje hasta su radio de equilibrio, llevando a los sistemas a atravesar la conocida brecha de períodos ($P_{\text{gap}} \simeq 2.15\text{-}3.18$ h; [Knigge 2006](#)) como binarias separadas. La evolución subsiguiente está impulsada por la pérdida de momento angular a través de la emisión de ondas gravitacionales, y la transferencia de masa se reanuda cuando el donante vuelve a llenar su lóbulo de Roche, ubicado en el extremo inferior de la brecha de períodos (es decir, $P_{\text{orb}} \simeq 2,15$ h). Cuando la masa del donante disminuye hasta un punto insostenible para la fusión de hidrógeno, se convierte en un objeto degenerado con envoltura rica en hidrógeno (algo como una enana marrón). A partir de este punto, el donante se expande en respuesta a la pérdida de masa, lo que resulta en un aumento en el período orbital. El denominado mínimo del período orbital es entonces una consecuencia natural de la transición de una estrella de secuencia principal completamente convectiva a una enana marrón. El período mínimo se ha medido en $P_{\text{mín}} = 76.2 \pm 1$ min ([Gänsicke et al., 2009](#)). Las CVs que alcanzaron el período mínimo y está aumentando se les llama *period bouncers*.

1.3. Tipos de CVs

Debido a la complejidad de las CVs existen categorías, donde la principal división es en base a la detección de una enana magnética en el sistema:

1.3.1. CVs magnéticas

Estos sistemas se pueden categorizar en dos grupos según la intensidad del campo magnético de la enana blanca ([Page & Shaw, 2022](#)).

- Polares (también conocidas como AM Her): en estos sistemas, el magnetismo de la enana blanca genera que se sincronice su período de rotación con el período orbital ([Cropper, 1990](#)). Además, el campo magnético es lo suficientemente intenso como para influir drásticamente en la forma en la se lleva a cabo la transferencia de masa entre la estrella compañera y la enana blanca, impidiendo así la formación del disco de acreción. Dada la configuración magnética de las polares, a medida que el material impacta en los polos magnéticos, se generan altas temperaturas y energías, resultando en la liberación de radiación en el rango de los rayos

X (Harrop-Allin et al., 1999). Según Oliveira et al. 2017 el campo magnético en polares se encuentra en un rango entre ($B \sim 7\text{-}230\text{MG}$).

- Polares intermedias (o DQ Her): este tipo de CV combina características de sistemas no magnéticos en las regiones externas y de estrellas polares en las regiones más cercanas a la enana blanca, esto puede resultar en la pérdida de sincronización, especialmente cuando el campo magnético es débil. Esta pérdida de sincronización conlleva un aumento en la velocidad de rotación de la enana blanca debido a la acreción de material. A diferencia de las polares, las polares intermedias pueden desarrollar un disco de acreción, solo que se ve interrumpido y se trunca cuando el disco se encuentra con las líneas del campo magnético (Patterson, 1994), el gas en el disco comienza a viajar a lo largo de las líneas del campo magnético de la enana blanca, dando lugar a la formación de láminas curvas de material luminoso conocidas como cortinas de acreción (Ferrario, 1996). El rango de campo magnético para las polares intermedias se encuentra entre $B \sim 1\text{-}10\text{ MG}$ (Oliveira et al., 2017).

1.3.2. CVs no magnéticas

- Nova Clásica: Se caracterizan por explosiones cataclísmicas que involucran la transferencia de material de la estrella compañera a la enana blanca. En estos sistemas, la materia es transferida desde una estrella compañera a una enana blanca, acumulándose en la superficie de la enana blanca. Entonces la temperatura y presión aumentan hasta que se alcanzan las condiciones en que el hidrógeno se puede quemar, desencadenando una explosión termonuclear en la superficie de la enana blanca, i.e. una erupción. Este fenómeno puede provocar un aumento significativo en la luminosidad de la estrella (Bath, 1985; Gehrz et al., 1998). Las erupciones pueden ocurrir hasta cada 10 mil años si la masa de la enana blanca es menor (Wolf et al., 2013) y tienen una magnitud aproximada de 6 a 19 (Mobberley, 2009). En este grupo también están las novae recurrentes, que son sistemas binarios cuyas erupciones ocurren típicamente entre 10 a 80 años, con una magnitud de aproximadamente 4 a 9 (Mobberley, 2009). Se cree que para tener intervalos cortos entre erupciones, la enana blanca debe tener una masa cercana a la de Chandrasekhar y recibir una alta tasa de transferencia de masa (Schaefer, 2010)
- Nova Enana: Estos sistemas son menos brillantes que las novae clásicas, con una magnitud aproximada de 2 a 6, que dura entre 2 a 20 días (Osaki, 1996). Están caracterizados por experimentar estallidos periódicos que se cree que son provocados por una inestabilidad térmica que se desarrolla en el disco de acreción cuando la temperatura central alcanza la temperatura de ionización del hidrógeno (Hameury, 2020). Estos estallidos se les conoce como outbursts (sección 1.4).

1.4. Origen de la variabilidad

Por otro lado, en sistemas inestables, la transferencia de masa puede experimentar cambios abruptos y dinámicos. Estas inestabilidades pueden dar lugar a variaciones significativas en la luminosidad de la CV. Dos de las variabilidades son debido a los outbursts del disco y a erupciones de nova:

- **Outbursts:** Este fenómeno está caracterizado por un aumento repentino y significativo en la luminosidad de la estrella, relacionado con la acumulación de material en el disco de acreción que rodea la enana blanca en el sistema binario. [Osaki \(1996\)](#) propuso que los outbursts ocurren por una inestabilidad térmica del disco. Se encuentra en la fuerte dependencia entre la opacidad del gas (es decir, la capacidad de sus átomos para interactuar con fotones) y su temperatura. Las CVs en quietud (o en inglés *quiescence*) poseen discos fríos compuestos principalmente de hidrógeno neutro. El bajo nivel de ionización determina un acoplamiento débil entre el gas del disco y el campo magnético, reduciendo significativamente el mecanismo que alimenta la inestabilidad de Hawley-Balbus. Cuando el disco se calienta a aproximadamente 7000 K, el hidrógeno comienza a ionizarse. En comparación con un gas neutro, un gas parcialmente ionizado tiene una opacidad más alta y la opacidad depende fuertemente de la temperatura. Con una opacidad más alta y más partículas cargadas, la viscosidad en el disco aumenta debido a la inestabilidad de Hawley-Balbus. La viscosidad aumentada atrapa el calor, resultando rápidamente en la ionización completa del hidrógeno. Una vez que el hidrógeno está completamente ionizado, la opacidad ya no es sensible a las variaciones de temperatura, y el disco se estabiliza en una configuración de equilibrio con una viscosidad mucho mayor. La temperatura del disco durante el estallido es considerablemente mayor que en el estado de quiescence. Dada la alta densidad y viscosidad, la velocidad a la que se transfiere momento angular a través del disco se vuelve más rápida que la velocidad a la que la materia es despojada del objeto secundario. Como consecuencia, el disco se vacía de material, que es rápidamente acrecido en la enana blanca. El estallido concluye cuando la densidad de las regiones externas desciende por debajo de un valor crítico, estableciéndose en una temperatura y viscosidad más bajas, donde el hidrógeno ya no está ionizado. Esta onda de enfriamiento se propaga hacia el interior y el disco vuelve a la viscosidad y luminosidad típicas de su estado de quietud ([Hellier, 2001](#)).
- **Nova eruptions:** Son explosiones termonucleares en la superficie de la enana blanca. El material acrecido en la superficie de la enana blanca se comprime debido al fuerte campo gravitatorio de tal manera que se encuentra en un estado de degeneración electrónica. La continua acreción de masa conduce a un aumento de la temperatura y la presión hasta que se alcanzan las condiciones para la combustión del hidrógeno. Con el inicio de la combustión nuclear,

la temperatura aumenta, pero la capa de material acrecido es degenerada y no se expande en consecuencia. Por lo tanto, comienza un efecto de propagación descontrolada, ya que, la eficiencia de las reacciones nucleares aumenta con la temperatura creciente, lo que a su vez aumenta la tasa a la que el hidrógeno se fusiona. Cuando la temperatura supera $\simeq 2 \times 10^7$ K, las reacciones nucleares comienzan a involucrar también núcleos de carbono a través del ciclo CNO. Este proceso es mucho más eficiente ($\propto T^{18}$) y acelera la propagación descontrolada con una dependencia de temperatura muy fuerte. La gran entrada de energía en la base de la capa acrecida impulsa la capa hacia una movilidad convectiva, que extrae carbono del núcleo de la enana blanca hacia la superficie, aumentando así la tasa de la combustión del CNO. La propagación descontrolada continúa hasta que la temperatura es lo suficientemente alta como para permitir que la presión del gas supere la presión de degeneración. Una vez que se elimina la degeneración, la capa acrecida se expande hacia afuera a $\simeq 3000$ km s⁻¹, expulsando parte de la envoltura acrecida.

1.5. Objetivos de la tesina

Hasta aquí hemos mencionado varios aspectos importantes acerca de las CVs. Y aunque, se conocen varios miles de CVs, las muestras más importantes actualmente disponibles son limitadas en volumen (Pala et al., 2020; Inight et al., 2021). Estas muestras representativas proporcionan restricciones observacionales clave para las teorías de formación y evolución de las CVs, pero al mismo tiempo debemos admitir que aún son relativamente pequeñas y, en cierta medida, están sujetas a estadísticas con un bajo número de observaciones. La mayoría de las CVs no son magnéticas (e.g. Pala et al., 2020), y la mayoría de las CVs no magnéticas son enanas blancas novas (Hameury et al., 1998). Por lo tanto, en este trabajo, **el objetivo principal es llevar a cabo una búsqueda de candidatas a CVs utilizando la espectroscopía de *Gaia* recientemente puesta a disposición de la comunidad.** No obstante, para facilitar la búsqueda, utilizaré un catálogo previamente construido que incluye candidatos a ser sistemas binarios cercanos, es decir, *compact white dwarf binaries*, para 4MOST. En los siguientes capítulos se describirá el catálogo y la misión espacial de *Gaia*.

Capítulo 2

El catálogo de “*compact white dwarf binaries*” de 4MOST

El sub-survey “Compact White Dwarf Binaries” (CWDB) de 4MOST forma parte del “White Dwarf Binaries” (WDB) survey que es parte de 4MOST (Tolosa et al., 2023), el cual utilizará el telescopio VISTA en Paranal para escanear todo el hemisferio sur, y obtener espectro de baja y alta resolución (de Jong, 2011). Este sub-survey tiene como objetivo investigar aspectos importantes de la evolución de enanas blancas cercanas, como los mecanismos de pérdida de momento angular, las fuentes de energía durante la fase del “common envelope”, la formación de enanas blancas magnéticas en binarias cercanas, identificación de los progenitores de estrellas AM CVn, y determinación del destino dominante de las binarias de enanas blancas cercanas. Para ellos requiere aumentar las muestras actuales de distintos tipos de binarias mediante el uso de 4MOST. A continuación, describiré la estrategia utilizada para crear el catálogo que será observado.

2.1. Selección de los datos para el catálogo

La creación del catálogo de CWDB involucró una cuidadosa selección de datos mediante la aplicación de diversos criterios. En primer lugar, considerando que CWDB utiliza el exceso ultravioleta de las enanas blancas como herramienta de selección, se usó el catálogo de GALEX DR6/7, y se llevó a cabo un crossmatch con los datos de *Gaia* DR3.

- Limitación de área: Se limitó la selección al área de observación de 4MOST, es decir, se consideraron los objetos situados dentro del rango específico de declinaciones definido por *Gaia*, que abarca entre los -80 y +5 grados. Este criterio garantiza que los objetivos seleccionados estén ubicados dentro de la región del cielo que puede ser observada por 4MOST.

- Límite de magnitud: Se realizó un límite de magnitud $G < 20$ como criterio de selección para garantizar que los objetivos elegidos fueran lo suficientemente brillantes para ser observados.
- Corte en el diagrama color-magnitud: Se aplicó un corte de color en el plano G-FUV para excluir objetos no deseados. Este proceso consistió en la implementación de un corte lineal en el diagrama de color-magnitud GALEX/FUV-Gaia/G con el propósito de seleccionar la mayoría de los objetos binarios situados por debajo de la secuencia principal, como se observa en el lado izquierdo de la Figura 2.1.
- Eliminación de QSO: Dado que los quásares eran la principal fuente de contaminantes del catálogo, se utilizaron los paralajes y los movimientos propios en el proceso para eliminarlos. Los quásares son objetos que emiten grandes cantidades de energía y, debido a su distancia, pueden tener paralajes y movimientos propios muy pequeños en comparación con objetos más cercanos, como las estrellas observables. Por lo que, al combinar información de estos parámetros, se logró identificar y excluir los quásares de la muestra del catálogo de CWDB, como se puede observar a la derecha de la Figura 2.1. Este paso asegura que la muestra esté compuesta principalmente por sistemas estelares dentro de nuestra propia galaxia.
- Exclusión de las nubes de Magallanes: Se excluyeron las regiones alrededor de las Nubes de Magallanes mediante el uso de dos elipses. Estas elipses se definieron para delimitar áreas específicas en el cielo que rodean las Gran y Pequeña Nubes de Magallanes. La exclusión de estas áreas se llevó a cabo para evitar posibles interferencias y contaminaciones en los datos provenientes de estas galaxias enanas cercanas.
- Filtro de calidad: Para garantizar la calidad de los datos se aplicó un filtro basado en el exceso de ruido astrométrico, usando el parámetro de *Gaia* “astrometric_excess_noise”. Este parámetro proporciona precisión de las mediciones astrométricas para cada objeto, eliminando aquellos objetos que mostraban un exceso de ruido, lo cual podría indicar mediciones menos confiables.

En definitiva, la selección de targets resultó en un catálogo de 145192 candidatos a ser sistemas binarios con enanas blancas, entre ellos conteniendo a las CVs. Esta corresponde a una tabla que contiene la información para el survey como la señal a ruido requerida y templates, pero también contiene la información astrométrica y fotométrica de *Gaia*.

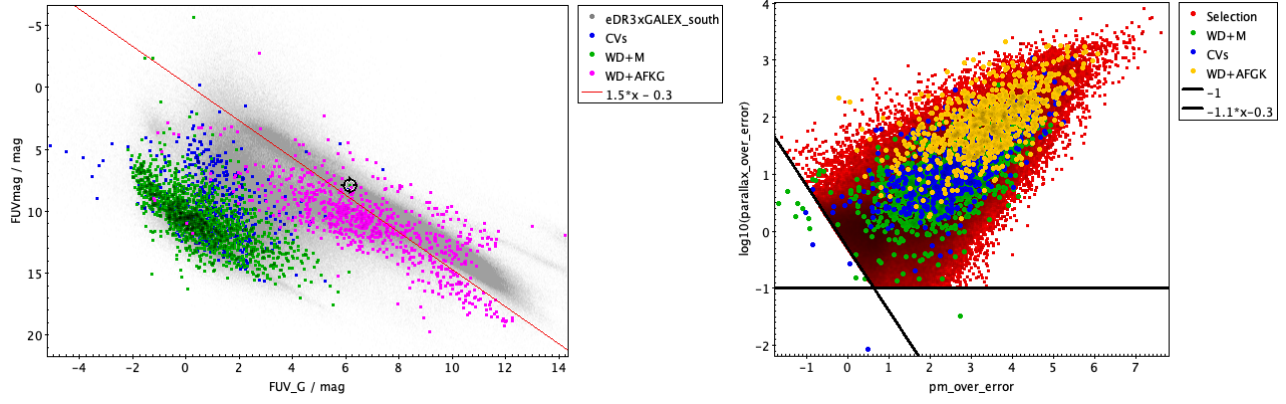


Figura 2.1: Las líneas representan los cortes realizados en los diagramas para la selección de los targets del “compact white dwarf binaries” sub-survey (ver texto para mayor detalle. En los diagramas se presentan muestras de distintos tipos de sistemas binarios para orientar la ubicación de estos en el diagrama.)

Capítulo 3

La misión *Gaia*

La misión espacial *Gaia* ([Gaia Collaboration et al., 2016](#)), lanzada por la Agencia Espacial Europea (ESA) en 2013, está llevando a cabo un relevamiento completo del cielo para todas las fuentes más brillantes que la magnitud 20. El Tercer Lanzamiento de Datos Tempranos de *Gaia* (*Gaia* DR3, ver [Gaia Collaboration et al. 2021](#)) incluye 1.8 mil millones de fuentes, lo que representa aproximadamente el 1% del contenido de la Galaxia. Además de la información astrométrica y cinemática (posición, paralajes, movimientos propios y velocidades radiales), los datos fotométricos y espectrofotométricos son también uno de los principales productos de la misión *Gaia*. Los primeros espectros medios espectrofotométricos se publicaron con el lanzamiento completo de Datos de *Gaia* 3 (*Gaia* DR3) en 2022 ([Carrasco et al., 2021](#); [De Angeli et al., 2023](#)).

El satélite *Gaia* recolecta luz de dos telescopios (FoVs) mientras gira durante la observación. El FoV líder observa primero, seguido por el siguiente FoV. La luz se proyecta en un plano focal común con detectores CCD. Los espectrofotómetros de *Gaia* dispersan la luz con prismas sin ranura y la recogen en CCDs separados (con siete filas de CCD2 a lo largo del plano focal, ver [Figura 3.1](#)). El rango espectral difiere para el fotómetro azul (BP) y rojo (RP).

Para reducir la telemetría, se descarga solo una pequeña ventana alrededor de la posición detectada de la fuente. Las ventanas de BP y RP son más grandes que las del campo astrométrico, aumentando la superposición y mezcla de ventanas.

Gaia gira para escanear el cielo, causando que las imágenes de las fuentes crucen el plano focal. Cada CCD opera en modo TDI (el cual consiste en leer la imagen no al final de una exposición de tiempo predefinida, sino continuamente a una velocidad determinada) para compensar el giro. Las imágenes se integran durante el tránsito sobre cada CCD.

El tiempo de exposición máximo es de 4.4 s, limitado por “gates”. Cada CCD tiene 4500 píxeles en dirección de escaneo (AL por *along*) y 1966 en dirección perpendicular al escaneo (AC por *across*). Los espectros 2D se convierten en 1D, agrupando píxeles para observaciones más tenues. Las muestras exteriores no afectan significativamente. La resolución del instrumento ($R = 50$) fue

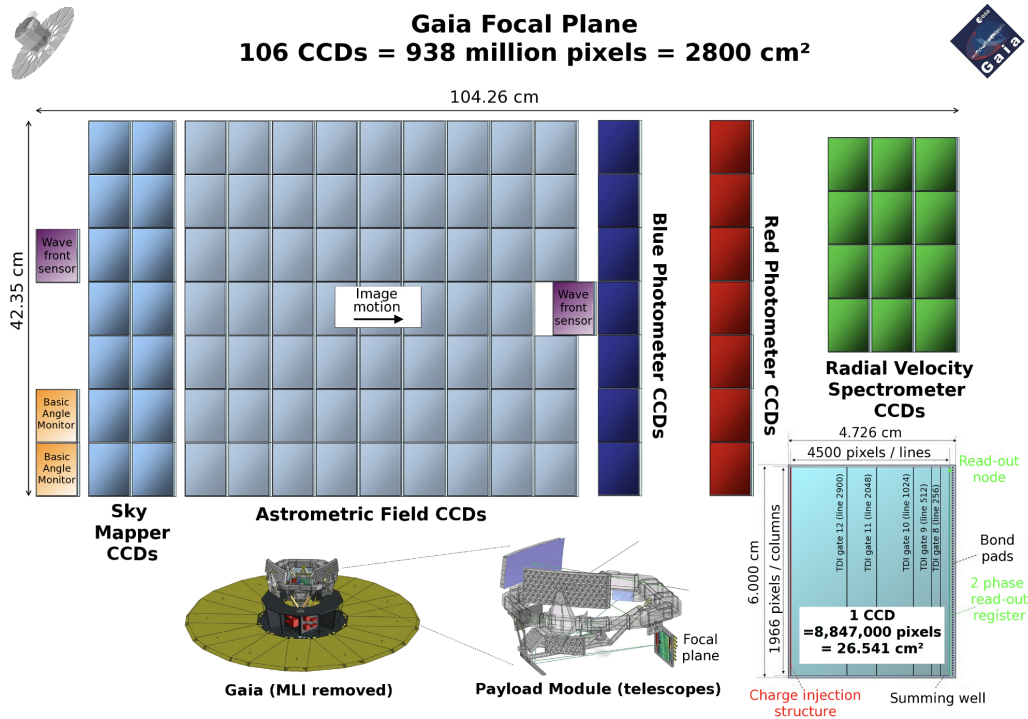


Figura 3.1: Plano focal de *Gaia*. Solo los fotómetros azul y rojo son relevantes para crear los espectros. Figura tomada de Carrasco et al. (2021). La cámara de astrometría es la responsable de medir la fotometría de los objetos en los filtros Bp, G, y Rp.

seleccionada para poder reproducir las bandas de paso descritas en Jordi et al. (2006).

Las respuestas más bajas de los píxeles se encuentran en las esquinas del CCD. La variación de sensibilidad es principalmente suave a lo largo de la columna, excepto en los límites de unión dentro del CCD. Estos límites de unión son el resultado del hecho de que un CCD dado se produce en varias unidades fotolitográficas. La separación entre estas partes produce pequeños saltos en la sensibilidad del dispositivo en columnas vecinas. Además, los píxeles muertos o calientes también pueden producir variaciones en el flujo obtenido en posiciones discretas. También se espera una degradación de la sensibilidad con el tiempo.

La pérdida de flujo es debido a aplicar el “line spread function” con la extensión limitada de la ventana alrededor de la fuente que se está transfiriendo a tierra. Esto resulta en que parte de la luz de los espectros se pierda en nuestras mediciones. La centración imperfecta de la ventana alrededor de la fuente también aumenta la cantidad de pérdida de flujo.

El número de observaciones para una fuente dada depende de la ley de escaneo del satélite, y la probabilidad de detectar una fuente depende de su magnitud y la densidad de estrellas en la región observada del cielo (considerando también el segundo FoV, que se superpone en el mismo plano focal). En promedio, una fuente en el catálogo de *Gaia* tendrá alrededor de cien observaciones en cinco años.

Capítulo 4

Obteniendo los datos de DR3: espectros XP y fotometría BP / RP

Cuando se emite una alerta de variabilidad para un objeto específico, *Gaia* inicia el almacenamiento de fotometría por época. En esta sección, detallaré el procedimiento para obtener la espectroscopía y la fotometría de *Gaia*.

Utilizando la información de la tabla del catálogo de 4MOST, es decir, las coordenadas (RA y DEC), el paralaje (PARALLAX) y los movimientos propios (PMRA y PMDEC), se realizó una consulta a *Gaia* DR3 para obtener la fotometría y los espectros de baja resolución. Es importante destacar que las coordenadas no requieren corrección alguna, ya que corresponden a las coordenadas de DR3, las cuales son coincidentes con DR3. Para realizar la consulta, se empleó el paquete ASTROQUERY¹ en Python. El código del query utilizado fue:

```
"SELECT TOP 100000 source_id,ra,dec,l,b,parallax,pmra,pmdec,ruwe,
phot_g_mean_mag,bp_rp,radial_velocity,phot_variable_flag,non_single_star,
has_xp_continuous,has_xp_sampled,has_rvs,has_epoch_photometry,has_epoch_rv,
has_mcmc_gspphot,has_mcmc_msc,teff_gspphot,logg_gspphot,mh_gspphot,
distance_gspphot,azero_gspphot,ag_gspphot,ebpminrp_gspphot \

FROM gaiadr3.gaia_source \

WHERE CONTAINS( \
    POINT('ICRS',gaiadr3.gaia_source.ra, gaiadr3.gaia_source.dec),
    CIRCLE('ICRS', \
        COORD1(EPOCH_PROP_POS(RA,DEC,PARALLAX,PMRA,PMDEC,0,2010,2020)), \
```

¹<https://astroquery.readthedocs.io/en/latest/>

```

COORD2(EPOCH_PROP_POS(RA,DEC,PARALLAX,PMRA,PMDEC,0,2010,2020)), \
0.01))=1 AND \
has_epoch_photometry = 'True' AND \
has_mcmc_msc = 'True' AND \
has_xp_sampled = 'True' AND \
has_rvs = 'False'"

```

Debido a la limitación de la conexión a internet en el caso que hubiera una desconexión, se descargaron los datos en bloques de 5000 objetos del catálogo (chunks). He programado scripts en PYTHON para manipular los datos descargados. Los datos por objeto se guardaron en tres archivos en formato .csv. El primero contiene información astrométrica y fotométrica del objeto, el segundo archivo incluye el espectro (longitud de onda, flujos y errores de flujo), y el último archivo contiene la curva de luz (tiempo, magnitudes y/o flujos, errores, una marca de calidad del dato y la banda de la observación).

En total, se han identificado 2771 objetos que coinciden con la consulta realizada. Es relevante destacar que el espectro proporciona una clasificación más precisa del tipo de objeto en comparación con las curvas de luz. Con el objetivo de visualizar estos espectros, se han generado imágenes en formato PNG que integran información de fotometría, astrometría y espectro mismo.

La Figura 4.1 muestra un ejemplo de una de estas imágenes PNG, correspondiente al objeto TV Col. En la figura, se observa la posición del objeto en el diagrama HR y el espectro de baja resolución que señala las posiciones de las líneas de Balmer (líneas segmentadas negras) y de Calcio (línea segmentada roja). Es evidente la presencia de la emisión de la línea de Balmer α , característica de las CVs. Además, se presenta información relevante del objeto, incluyendo la ID de *Gaia*, sus coordenadas, magnitudes y la relación señal-ruido de Balmer α , Balmer β y Ca en un rango de 100 Å.

Finalmente, todas las imágenes fueron visualizadas individualmente mediante un script de Python con el propósito de clasificar si el objeto es una candidata a CV o no. Para llevar a cabo esta evaluación, se ha centrado en identificar la presencia de la línea de emisión de Balmer α como la característica principal en el espectro.

4.1. Crossmatch entre el catálogo 4MOST WDB y el catálogo de CVs de [Downes et al. 2001](#)

Dada la baja resolución de los espectros, puede ser posible que las líneas no sean claras en ellos. Por lo tanto, identifiqué algunos sistemas conocidos por ser CVs en el catálogo 4MOST WDB. Con este fin, crucé el catálogo con el catálogo de CVs de [Downes et al. \(2001\)](#) y encontré

33 coincidencias. Luego, busqué estos 33 sistemas en el sitio web del archivo de la ESA² y encontré solo un CV que tiene espectros XP (Figura 4.1). Si bien la resolución es baja, es suficiente para identificar la línea de emisión de Balmer α , que es una característica distintiva de las CVs. Además, se puede también apreciar la forma del SED de una CV, donde existe un aumento en el flujo hacia longitudes de ondas (i.e. hacia la enana blanca).

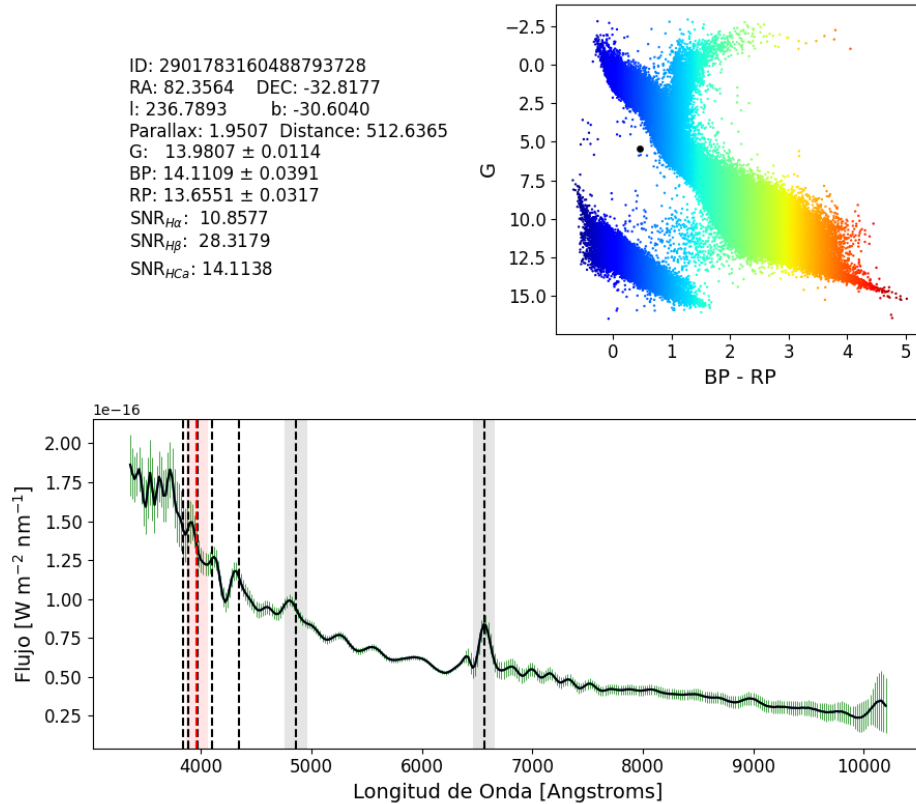


Figura 4.1: *Abajo*: espectro XP de *Gaia* de la CV TV Col la cual muestra claramente emisión de Balmer α . Además, se muestra la posición de este sistema en el diagrama HR (arriba a la derecha) y información relevante de los sistemas como la astrometría, fotometría y la señal a ruido en las tres bandas (gris y roja) demarcada en el espectro.

4.2. Búsqueda en la literatura

Una vez realizada la clasificación visual de los 2771 objetos, estos fueron consultados en la literatura para identificar los objetos que ya se conocen, y también para identificar las fuentes de contaminación. Para este propósito, utilicé la base de datos Simbad³, que es la base de datos más extensa que proporciona una clasificación de tipo de objeto, y también proporciona el artículo(s)

²<https://gea.esac.esa.int/archive/>

³<https://simbad.unistra.fr/simbad/>

del cual se extrajo la clasificación reportada.

Realicé un cruce de datos entre los 2771 objetos y Simbad para determinar los tipos de objetos conocidos. Corregí la posición de la época de *Gaia* (es decir, 2016) a la época J2000 de Simbad utilizando los movimientos propios de *Gaia* y además empleé un radio de aproximadamente $\simeq 4$ arcsec. Se seleccionó un radio muy estricto con el objetivo de asegurar una mayor precisión al identificar el objeto buscado. Sin embargo, es importante destacar que, debido a la rigidez del radio, muchas fuentes que son conocidas podrían quedar fuera del cruce de coincidencias. El cruce de datos se llevó a cabo utilizando ASTROQUERY en Python, y las líneas de código son las siguientes:

```
Simbad.query_region(SkyCoord(ra_gaia,dec_gaia,frame='icrs',
obstime=time.Time('J2016.0'),equinox='J2016.0',
unit='deg',pm_ra_cosdec=PMRA*u.mas/u.yr,pm_dec=PMDEC*u.mas/u.yr,),
radius=0.0001* u.deg)}
```

El cruce de coincidencias resultó en 331 objetos conocidos según Simbad, que además de CVs, incluyen binarias eclipsantes, estrellas pulsantes, estrellas activas, entre otros (ver Figura 4.2). Se proporciona una discusión detallada de cada uno de estos objetos en la sección 6. De estos objetos, solo 5 corresponden a CVs (y un sexto objeto es un candidato a CV).

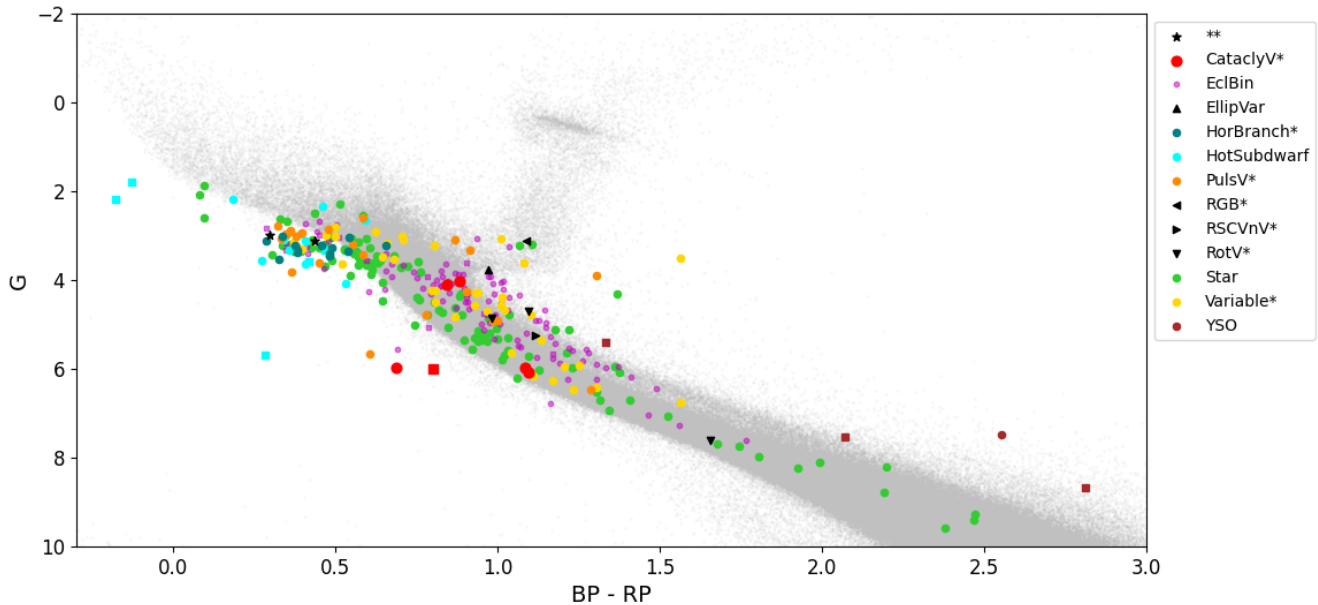


Figura 4.2: El diagrama de magnitud y color de *Gaia* presenta los objetos reportados por Simbad, abarcando el 12% de aquellos con espectros y fotometría de *Gaia*. Se destacan 5 CVs y un objeto candidato a CV. Asimismo, se visualizan los tipos contaminantes presentes en el catálogo de “white dwarf binary”. La mayor fuente de contaminación son estrellas y binarias eclipsantes.

Capítulo 5

Resultados

El catálogo de 4MOST incluye datos fotométricos y espectros XP en solo el 2%, lo que equivale a 2771 objetos, el crossmatch con Simbad resultaron en 331 objetos (varios objetos quedaron excluidos del crossmatch dado la apertura estricta de 4 arcsec). Durante la examinación visual de los 2771 PNG, se seleccionaron aquellos cuyos espectros parecen indicar variabilidad cataclísmica, basándonos en la presencia de emisión de Balmer- α . Identifiqué la emisión de Balmer- α en 22 de ellos (ver Figura 5.1).

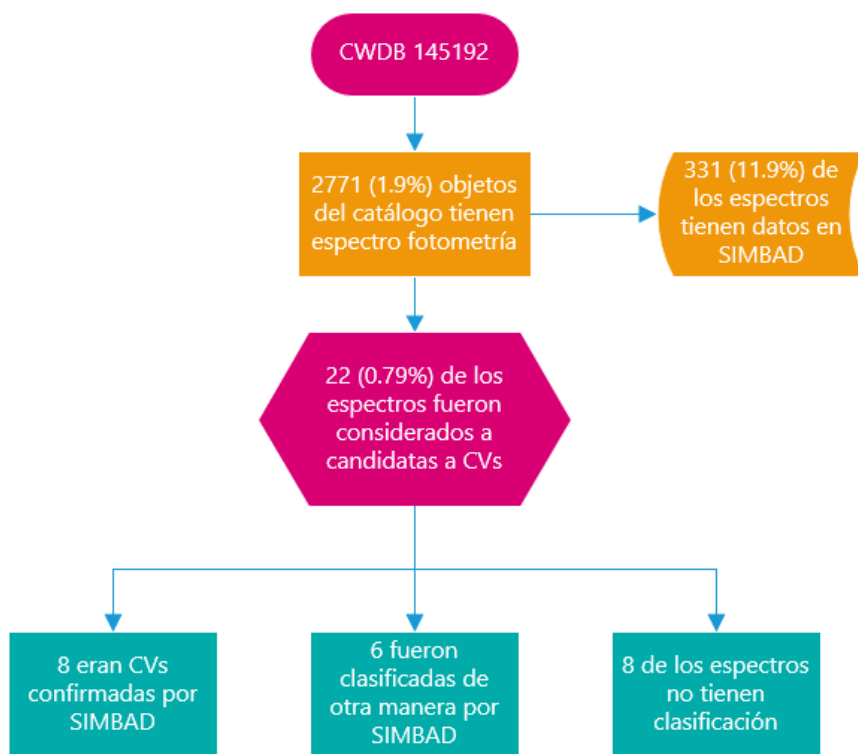


Figura 5.1: Fracción de la selección de objetos

En algunos casos, la presencia de la línea de emisión era evidente, mientras que en otros era más tenue. Tras revisar la literatura, dentro de estos 22 objetos seleccionados, se identificaron 8 sistemas como CVs conocidas, bien documentadas en la literatura, se encontró que algunos objetos que tienen emisión de Balmer α estaban clasificados de manera diferente, y otros 8 objetos carecían de información en la literatura existente. A continuación, se proporcionará una descripción más detallada de cada uno de estos grupos.

Cuadro 5.1: CVs conocidas (primer bloque), contaminantes (segundo bloque) y candidatas a CVs (tercer bloque). El símbolo \star en el segundo bloque indica los espectros de *Gaia* que podrían ser CVs.

Name (Simbad)	<i>Gaia</i> ID	G (mag)	distance (pc)	H α	tipo	P_{orb} (hr)	lit.
TV Col	2901783160488793728	13.98 \pm 0.01	512.64	clara	IP	5.5	(1)
V841 Oph	4333061392472253440	13.65 \pm 0.02	843.03		nova	14.43	(2)
WX Hyi	4701058897674276736	14.64 \pm 0.02	230.30		nova enana	1.8	(3)
EF Tuc	4707482485122305536	14.85 \pm 0.02	1404.49			3.6	(4)
V347 Pup	5553468275089335040	13.304 \pm 0.008	293.22		eclip.	5.56646	(5) (9)
ASASJ142023-4856	6091622896978611200	14.49 \pm 0.03	481.30			6.304	(6)
Mu Cen	6144624550055863296	14.54 \pm 0.01	513.77			8.20519	(7)
V1043 Cen	6179636986011888512	14.97 \pm 0.01	174.21		novalike	4.1902	(8)
ATOJ077.1605-24.1988	2959876029141656576	14.863 \pm 0.006	974.47	no clara	Pulsante		(10)
ATOJ238.9132-09.4841	4347292680704614528	14.658 \pm 0.005	2054.23	no clara	Variable star		(10)
CRTSJ051654.1+033252(\star)	3235497858779604608	14.69 \pm 0.02	669.88	clara	eclip. bin	6.6265	(11)
BD+00 3041	3686703930072434176	10.81 \pm 0.02	214.27	no clara	eclip. bin	9.5639	(12) (15)
GALEXJ150816.7-383226(\star)	6197764324987507200	14.660 \pm 0.009	619.12	clara	Hot sdb cand.		(14)
YY Hya	5675391053612471424	13.96 \pm 0.02	455.95	clara	RR lyrae		(13)
	4188707163699348992	13.99 \pm 0.04	287.43	clara			
	5260430146906778624	14.80 \pm 0.01	831.05	clara			
	5640902230009539328	14.44 \pm 0.02	668.27	clara			
	4241466610679232384	14.704 \pm 0.003	1251.88	no clara			
	2970865991458426496	14.314 \pm 0.003	452.82	no clara			
	4871564838717706368	14.538 \pm 0.004	322.27	no clara			
	6506460563895716480	13.715 \pm 0.004	705.87	no clara			
	6592029162973276032	14.264 \pm 0.003	532.85	no clara			

(1) Sun et al. 2024, (2) Engle & Sion 2005, (3) Long et al. 2005, (4) Bruch 2017, (5) Diaz & Hubeny 1999, (6) Sun et al. 2023, (7) Bruch 2016, (8) Barrett et al. 2020, (9) Thoroughgood et al. 2005, (10) Heinze et al. 2018, (11) Drake et al. 2014, (12) Gettel et al. 2006, (13) Drake et al. 2017, (14) Geier et al. 2019, (15) Prša et al. 2022.

5.1. CVs conocidas

Dentro de los 8 sistemas de CVs conocidas, se encuentran diversos tipos, como polares intermedias y sistemas eclipsantes. Sin embargo, en el crossmatch con Simbad, solo se recuperaron 5 más un candidato a CV. En los espectros de los 8 sistemas, algunos de ellos exhiben claramente la emisión de la línea Balmer- α , mientras que otros no tanto, pero muestran características típicas de una CV en sus Diagramas de Energía Espectral (SED). En el Apéndice A.1 se presentan los espectros de estos 8 sistemas, y la Tabla 5.1 detalla las propiedades de cada uno. Como se puede observar en la tabla, estos sistemas son bastante brillantes y abarcan un amplio rango de períodos.

De los 8 sistemas, 5 muestran una notable variabilidad en las curvas de luz en G, Bp y Rp de *Gaia* (paneles del lado izquierdo en la Figura 5.2 muestra 4 de ellos). Debido al alto brillo de estos

objetos, también fueron detectados por TESS (paneles del lado derecho), lo que proporciona una visión más detallada de su variabilidad.

Me centraré en describir solo 4 de los objetos que son representativos del tipo de variabilidad observada.

MU Cen: En los paneles de la parte superior de la figura 5.2 se presenta el sistema MU Cen, reconocido por exhibir variaciones elipsoidales de la estrella secundaria, las cuales también se pueden apreciar levemente en la curva de luz de TESS. Este sistema tiene una inclinación relativamente alta, en el rango de 50-65 grados, pero no presenta eclipses (Bruch, 2016).

V1043 Cen: Los segundos paneles de la figura 5.2 muestra al sistema V1043 Cen el cual es una novalike muy altamente polarizada con un campo magnético de $B = 3563$ Gauss (Barrett et al., 2020). De la curva de luz de TESS se puede apreciar el período orbital de 4.1 horas.

V347 Pup: Los terceros paneles de la figura 5.2 muestra el tercer objeto, el que corresponde a V347 Pup, el cual es otra novalike eclipsante (84.0 ± 2.3 grados; Diaz & Hubeny, 1999; Thoroughgood et al., 2005). Los eclipses se muestran claramente en la curva de luz de TESS.

WX Hyi: Finalmente, en los últimos paneles de la figura 5.2 se encuentra el sistema WX Hyi la cual es una nova enana (Long et al., 2005). La curva de luz de TESS muestra un posible outburst con una modulación de menor tiempo de escala. Una peculiaridad de esos sistemas es lo caótico que se muestran las curvas de luz de *Gaia*, pero además se aprecia como el brillo en el filtro G aumenta por sobre las otras bandas para algunos de los casos (MU Cen y WX Hyi).

Encontrar estos 8 objetos previamente clasificados como CVs indica que la inspección visual puede ser confiable para identificar las características típicas de estas variables.

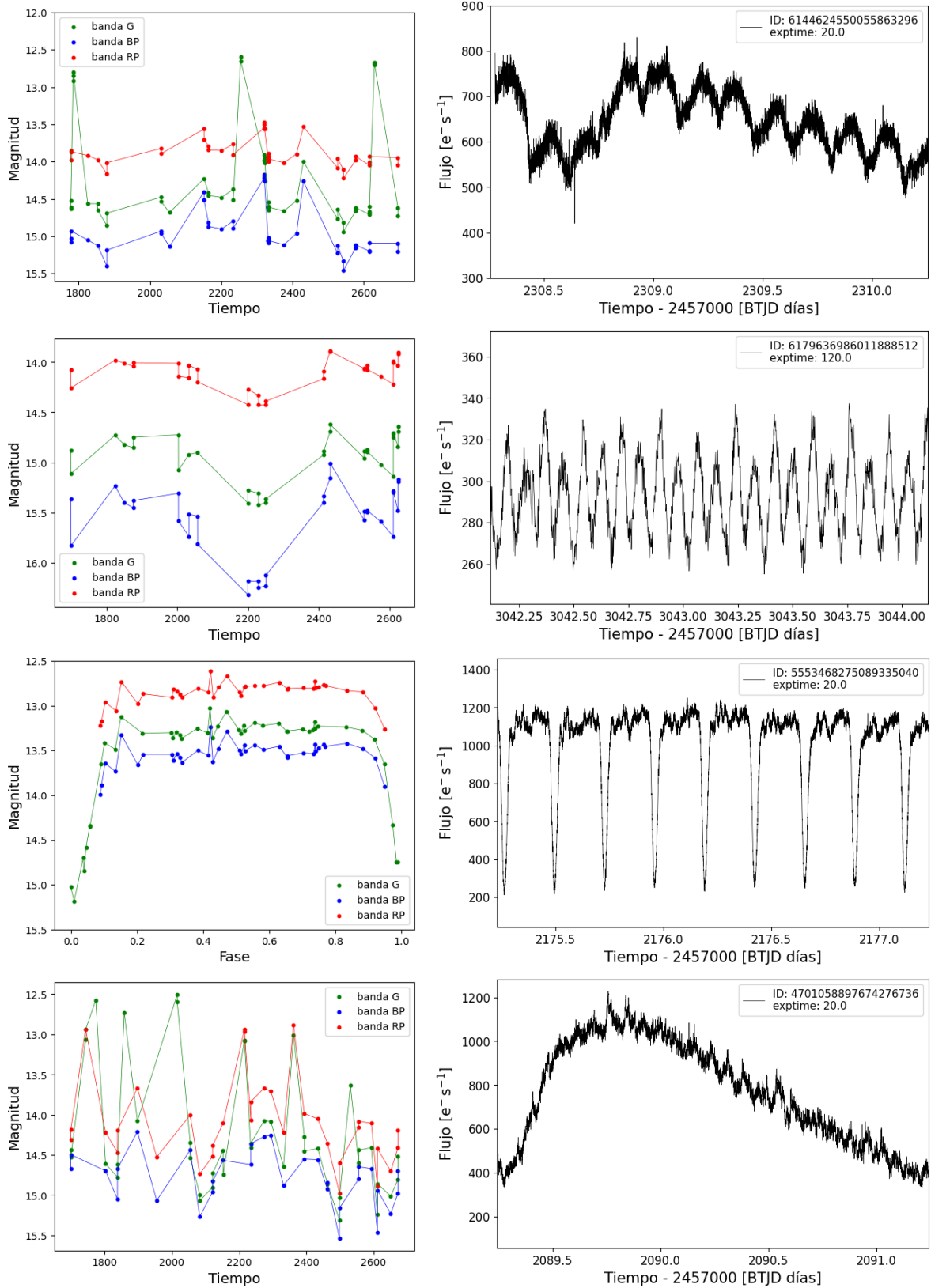


Figura 5.2: CVs: MU Cen, V1043 Cen, V347 Pup y WX Hyi (arriba a abajo)

5.2. Contaminantes que muestran emisión de Balmer α

Para identificar las posibles fuentes de contaminación se realizó el crossmatch entre los 2771 objetos con Simbad (detalles en capítulo 4) de lo cual se encontró 331 coincidencias. En el capítulo 6 se realiza una descripción detallada de los objetos que han sido catalogados en Simbad, independientemente si presentan o no la línea de emisión de Balmer α .

Sin embargo, de los 22 sistemas identificados con emisión, 6 de ellos tienen clasificaciones distintas a CVs en Simbad. Estos objetos se detallan en el segundo bloque de la tabla 5.1, y los espectros se presentan en el apéndice A.2. Para dos de estos objetos, se cuestiona su clasificación, ya que, el espectro, parece más consistente con el de una CV.

ATO J077.1605-24.1988: El primero de ellos se presenta como una variable pulsante (Heinze et al., 2018). El espectro no mostraba una emisión clara de Balmer α , fue seleccionada por la forma del SED (Figure A.9). Sin embargo la curva de *TESS* (panel de arriba a la derecha de la Figura 5.3) muestra un comportamiento de una binaria lo que se ha corroborado en *Gaia*, ya que muestra un segundo objeto con paralaje y movimientos propios similares (*Gaia* DR3 2959876029140156800).

ATO J238.9132-09.4841: El siguiente objeto está reportado en Simbad como una estrella variable (Heinze et al., 2018), sin embargo, no está definida la fuente de su variabilidad. El espectro de *Gaia* no muestra la emisión de Balmer α clara (Figura A.10).

CRTS J051654.1+033252: El tercer sistema está reportado por Simbad como una binaria eclipsante con un período de 0.276106 días (Drake et al., 2014). Los eclipses primario y secundario se presentan de manera clara en la curva de luz de *TESS*, y se recupera el eclipse primario en la curva de luz de *Gaia* cuando se dobla usando el período de 0.276106 días (paneles del arriba Figura 5.3). El eclipse primario es abrupto y profundo lo que es característico de la ocultación de un objeto compacto. El espectro muestra claramente la línea de emisión de Balmer α (Figure A.11), por lo que podría ser una CV eclipsante. Por lo tanto, se sugiere obtener espectroscopía de media resolución de este objeto para confirmar su naturaleza.

BD+00 3041: El cuarto objeto está registrado en Simbad como una binaria eclipsante con un período de 0.398496 días (Prša et al., 2022). En el espectro, la línea de emisión de Balmer α está presente, aunque no es tan pronunciada como en el sistema anterior (Figure A.12).

GALEX J150816.7-383226: Este sistema ha sido identificado en Simbad como un candidato a una subenana caliente (Geier et al., 2019). El espectro exhibe emisión de Balmer α (Figura A.13). Las subenanas calientes suelen mostrar la línea de Balmer α en absorción, en contradicción con el espectro de *Gaia*. Además, la curva de *TESS* muestra una variabilidad de una corta escala de tiempo, lo cual podría ser pulsaciones, podría ser variabilidad debido a la rotación de la enana blanca de ser un sistema polar, o el mismo período orbital del sistema. Por lo tanto, se recomienda una revisión de esta clasificación, y este objeto se considera un objetivo ideal para espectroscopía

de media resolución con el fin de confirmar su naturaleza.

YY Hya: Es una estrella RR Lyrae que pulsa con un período de 0.334790 días (Drake et al., 2017). Este espectro muestra una línea ancha de emisión de Balmer α (Figure A.14). Doblando la curva de luz de *Gaia* usando el período reportado, se puede recuperar la variación de brillo debido a la típica pulsaciones observadas en RR Lyrae.

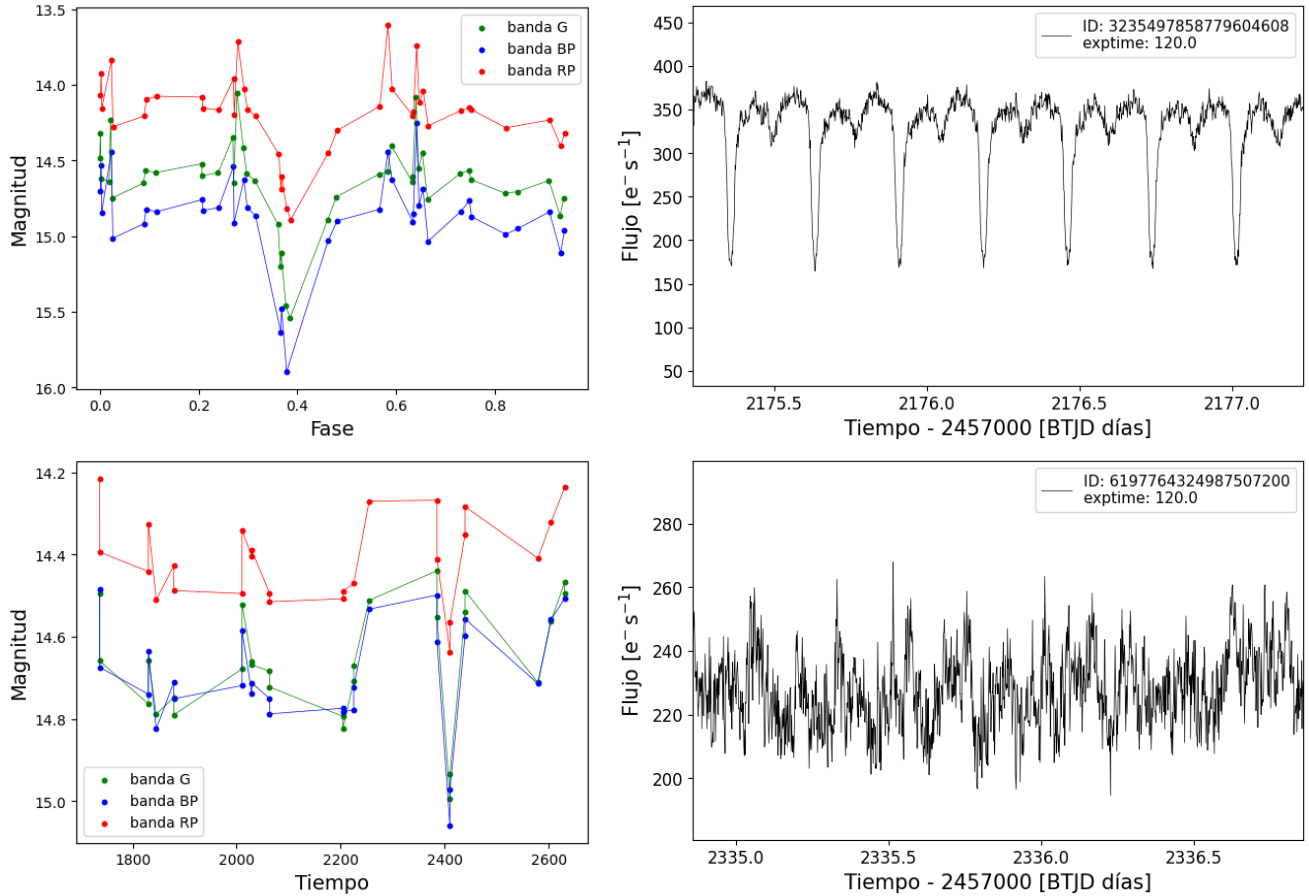


Figura 5.3: Curvas de luz de *Gaia* y *TESS* en la izquierda y derecha, respectivamente. *Arriba*: la binaria eclipsante CRTS J051654.1+033252 de acuerdo a Simbad. *Abajo*: candidata a subenana caliente, GALEX J150816.7-383226, de acuerdo a Simbad. Estos espectros (Figuras A.11 y A.13) muestra claramente la línea de emisión de Balmer α .

5.3. Candidatas a CVs

Finalmente, de los 22 objetos seleccionados visualmente como candidatos a CVs, 8 de ellos no tienen información en Simbad, lo que los convierte en objetos nuevos. El tercer bloque de la tabla 5.1 lista sus propiedades. Una característica notable de los candidatos es que son sistemas bastante brillantes en comparación con la gran mayoría de CVs. Esto es sorprendente, ya que,

se predice, que la mayoría de los sistemas faltantes corresponden a sistemas débiles, como los "period bouncers". Entre ellos, algunos muestran claramente emisión de Balmer α , mientras que en otros no es tan evidente. Los espectros se presentan en el apéndice A.3, donde los primeros tres corresponden a lo que muestran claramente la emisión. Para cada uno de ellos, se presenta la fotometría de *Gaia* junto con la de *TESS* en caso de que tengan observaciones con *TESS*. En todos los casos, la curva de luz de *Gaia* muestra un alto grado de variabilidad, que a pesar que puede ser indicativo de ser una CV, también existen otros objetos que emiten Balmer α y que muestran variabilidad (e.g. estrellas RR Lyrae)

Una coincidencia interesante es que el primer sistema , *Gaia* ID 4188707163699348992, (paneles en la parte superior de la figura 5.4) es objeto de estudio en la tesis de Joaquín Meza, quien está trabajando detalladamente en este sistema. Gracias al avance de su trabajo, sabemos que este es muy probablemente una CV con una enana blanca magnética, i.e. polar. Por lo tanto, nuestra estrategia con este caso ha demostrado un grado de éxito. Se requerirán observaciones adicionales de los objetos que hemos postulado como CVs para confirmar su naturaleza.

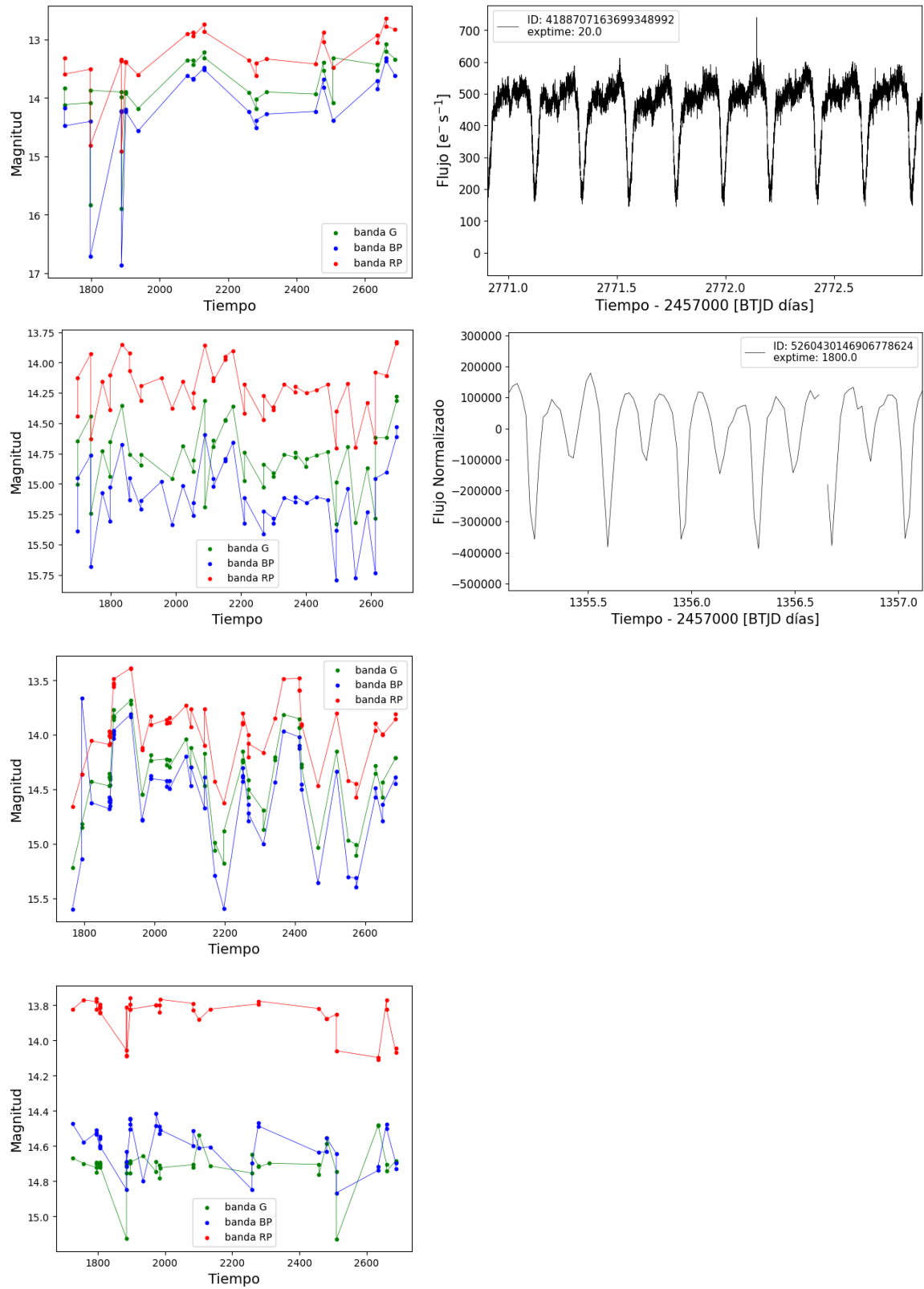


Figura 5.4: *Gaia* IDs: 4188707163699348992, 5260430146906778624, 5640902230009539328 y 4241466610679232384

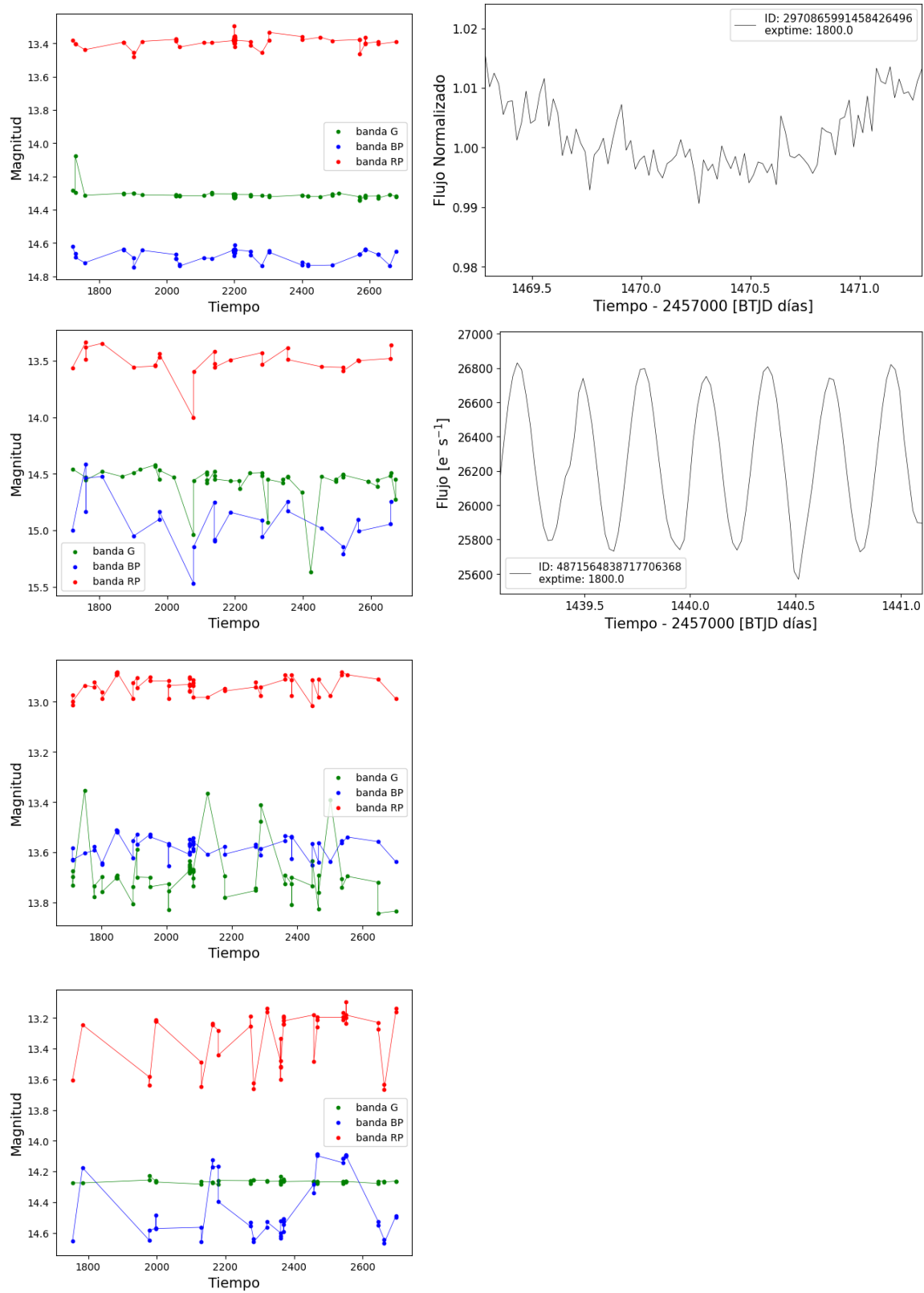


Figura 5.5: *Gaia* IDs: 2970865991458426496, 4871564838717706368, 6506460563895716480 y 6592029162973276032

Capítulo 6

Discusión

Como se ha mencionado, durante la inspección, se identificaron 6 objetos clasificados por Simbad como otros tipos de objetos en lugar de CVs. Esto motiva la realización de un estudio en la literatura para investigar posibles contaminantes en el catálogo de *Compact White Dwarf Binaries*. Para ello, se analizó el espectro XP, la fotometría de *Gaia* (+*TESS* cuando estaba disponible) y el trabajo investigación que postula la clasificación del sistema.

La base de datos Simbad contenía 331 objetos conocidos de la muestra descargada. El tipo de objeto esta listado en la Tabla 6.1. La mayor fuente de contaminantes corresponde a estrellas y binarias eclipsantes. Dado el propósito del survey (ver capítulo 2 para más detalles), muchos de los objetos listados en la tabla 6.1 son sistemas binarios de interés del survey, pero no es el objetivo de esta tesina (e.g. el segundo mayor grupo corresponden a binarias eclipsantes). A continuación describiré los tipos de contaminantes comenzando por los más abundantes y postularemos la posible razón por la que han sido seleccionados como posibles candidatos a binarias por el “target selection” del *compact white dwarf binaries* survey.

6.1. Estrellas (Star)

Dentro de la muestra existen 115 objetos catalogados como estrellas. En una inspección visual de los espectros se puede identificar que las estrellas cubren todo el rango de temperatura de la secuencia principal, lo que se puede apreciar en la Figura 4.2. Para las estrellas más calientes, es esperable que *GALEX* las pueda detectar. Como por ejemplo estrella tipo A (panel izquierdo en Figura 6.1). Sin embargo, solo por efecto de temperatura las estrellas más frías disminuyen considerablemente su emisión en el ultravioleta. Entonces, para las estrellas tipo K, G, y M pueden experimentar actividad (e.g. [Pass et al., 2023](#)) la cual puede ser debido a actividad magnética ([Oláh et al., 2009](#)). Debido a la actividad que pueden experimentar estas estrellas produce emisión en el ultravioleta siendo detectadas por *GALEX*. Y por ello, la selección de targets del “white dwarf

Cuadro 6.1: Tipos de objetos conocidos listados en Simbad. Podemos identificar que la mayor fuente de contaminantes son las estrellas.

Tipo de objeto	Sigla	N
Estrella	Star	115
Binaria Eclipsante (candidatas)	EclBin	99(11)
Estrella Variable	Variable*	37
Variable pulsante	PulsV*	23
Estrella de la Rama Horizontal	HorBranch*	13
Subenana caliente (candidatas)	HotSubdwarf	10(5)
CVs (candidatas)	CataclyV*	5(1)
Variable Rotativa	RotV*	3
Estrella doble o múltiple	**	2
Estrella Joven (candidatas)	YSO	1(3)
Variable elipsoidal	EllipVar	1
Variable RS CVn	RSCVnV*	1
Rama de Gigante Roja	RGB*	1

binary” survey, las identificó como posibles sistemas binarios con enanas blancas.

Esta clase también incluye dos estrellas, las cuales, sus espectros ópticos, muestran enriquecimiento de metales comúnmente conocidas como químicamente peculiar: 2MASS J22174662-0259509 (LAMOST; [Hou et al., 2015](#)) y 2MASS J21501325-6417252 (GALAH; [Buder et al., 2021](#), ver panel derecho en Figura 6.1). Pero, como es de esperar los elementos no pueden ser identificados dada la baja resolución de los espectros.

6.2. Binarias eclipsantes (EclBin)

El siguiente tipo más abundantes corresponden a binarias eclipsantes. Identifiqué 99 sistemas catalogadas como binarias eclipsantes, además de 11 objetos que son candidatas a binarias eclipsantes. Estos objetos han sido clasificados como sistemas eclipsantes por el comportamiento que tienen las curvas de luz de surveys fotométricos como el Catalina Survey ([Drake et al., 2017, 2014](#)). En modo de chequeo, de la naturaleza binaria para el caso de los sistemas resueltos, utilicé astrometría de *Gaia*, para comprobar que ambas componentes estelares, tuvieran el mismo paralaje y movimientos propios (μ_{RA} y μ_{DEC}). La Figura 6.2 muestra un ejemplo para el sistema CRTS J023258.5+014312 (*Gaia* ID 2502918721757672448). El sistema es una binaria eclipsante resuelta donde, de acuerdo a los parámetros reportados de *Gaia*, los dos cuerpos son de baja gravedad (y la curva de luz del Catalina survey muestra eclipse debido a dos cuerpos tamaños similares [Drake et al. 2017](#)), por lo tanto, una de las razones para que se detecte emisión en el ultravioleta, es que al menos una de las componentes sea activa. Lamentablemente el “cadence” de *Gaia* es muy bajo para identificar la fluctuación del brillo del sistema debido a los eclipses, dado

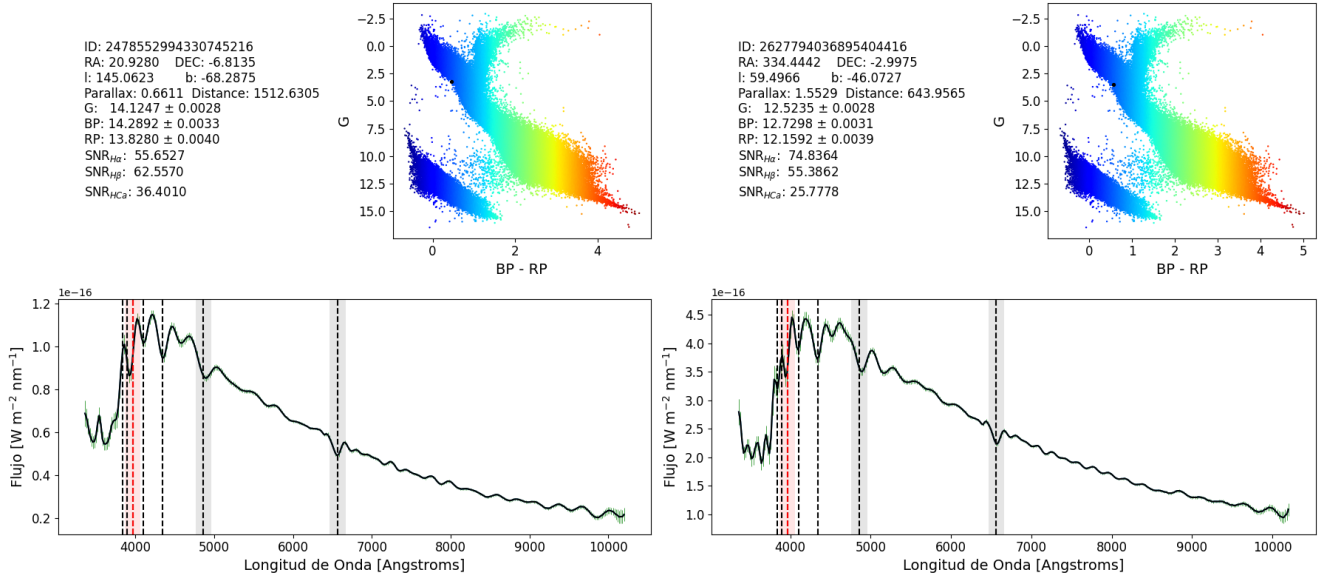


Figura 6.1: Ejemplo de estrella “normal” (metalicidad de *Gaia* es $[M/H]=-0.827$; izquierda) y la estrella químicamente peculiar 2MASS J22174662-0259509 (metalicidad de *Gaia* es $[M/H]=-0.391$; derecha) que aparecen dentro de la muestra. Los tipos espectrales de ambas estrellas corresponden a A8.6 y F2V, respectivamente.

que es muy probable que los períodos de los sistemas eclipsantes sea entre horas y días dado la forma de la curva de luz. Un puñado de estos sistemas tienen datos en *TESS*, por lo cual descargué las curvas de luz para visualizar el comportamiento que describen los eclipses (ver Figura 6.3). Se puede apreciar que los sistemas están cercanos o que los cuerpos no son compactos, y que en algunos casos deben tener una componente elipsoidal, lo cual explica el máximo variable en la curva de luz. Las temperaturas de los cuerpos deben ser también diferente para poder explicar la distinta profundidad que alcanza el eclipse primario en comparación del eclipse secundario.

6.3. Estrella Variable

Dentro de esta categoría se encontraron 37 objetos. Se consideran estrellas variables en Simbad: binarias eclipsantes, variables pulsantes, Mira-type, o variables sinusoidales (cabe mencionar que parte de estos objetos deberían estar dentro de sus respectivas categorías debido al origen de su variabilidad, como binarias eclipsantes o estrellas pulsantes, pero están dentro de esta categoría dado que no existe un trabajo detallado para darle su clasificación). En la Figura 6.4, se puede apreciar las curvas de *TESS* para los distintos tipos de estrellas variables.

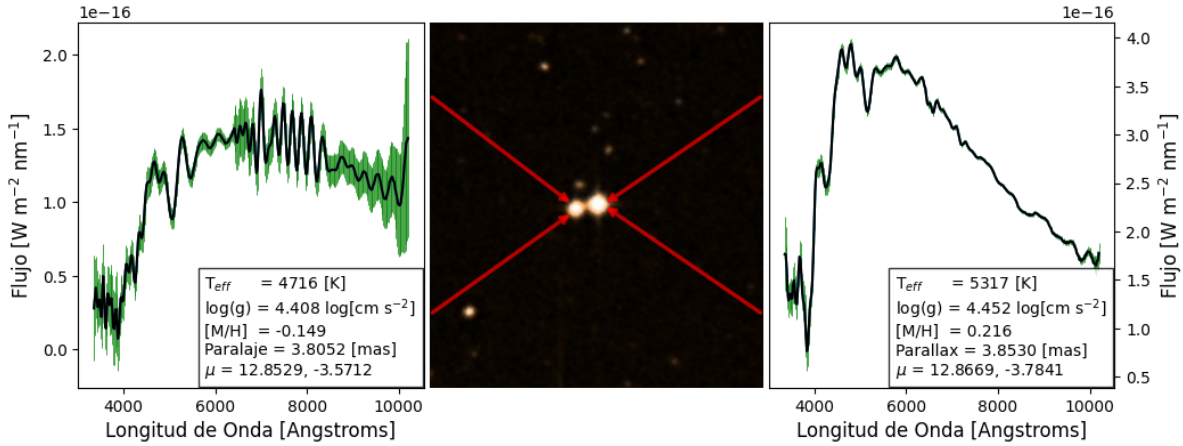


Figura 6.2: Espectro de la binaria eclipsante CRTS J023258.5+014312 a la izquierda y su estrella compañera a la derecha

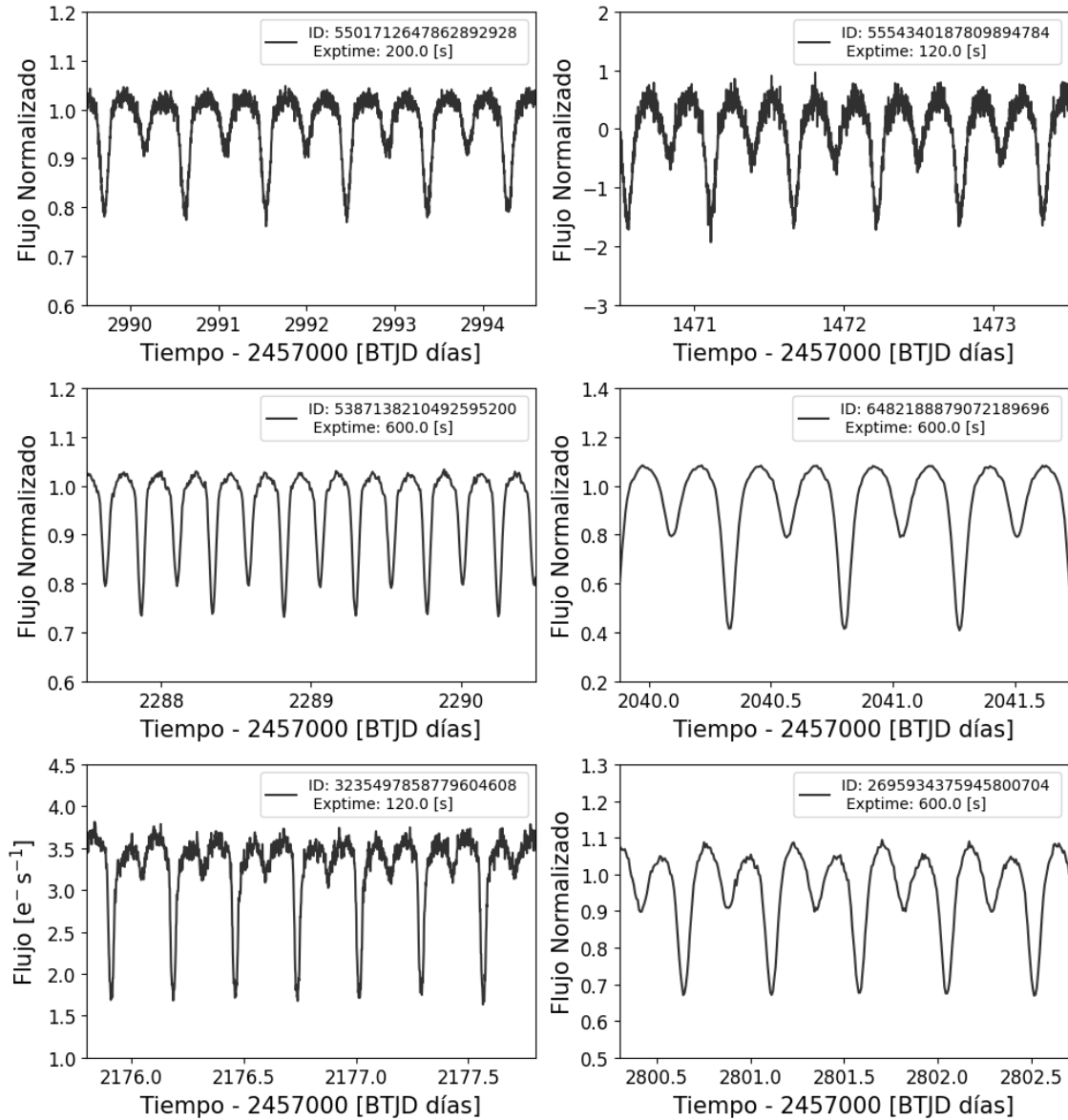


Figura 6.3: Curvas de luz de *TESS* de sistemas binarias eclipsantes.

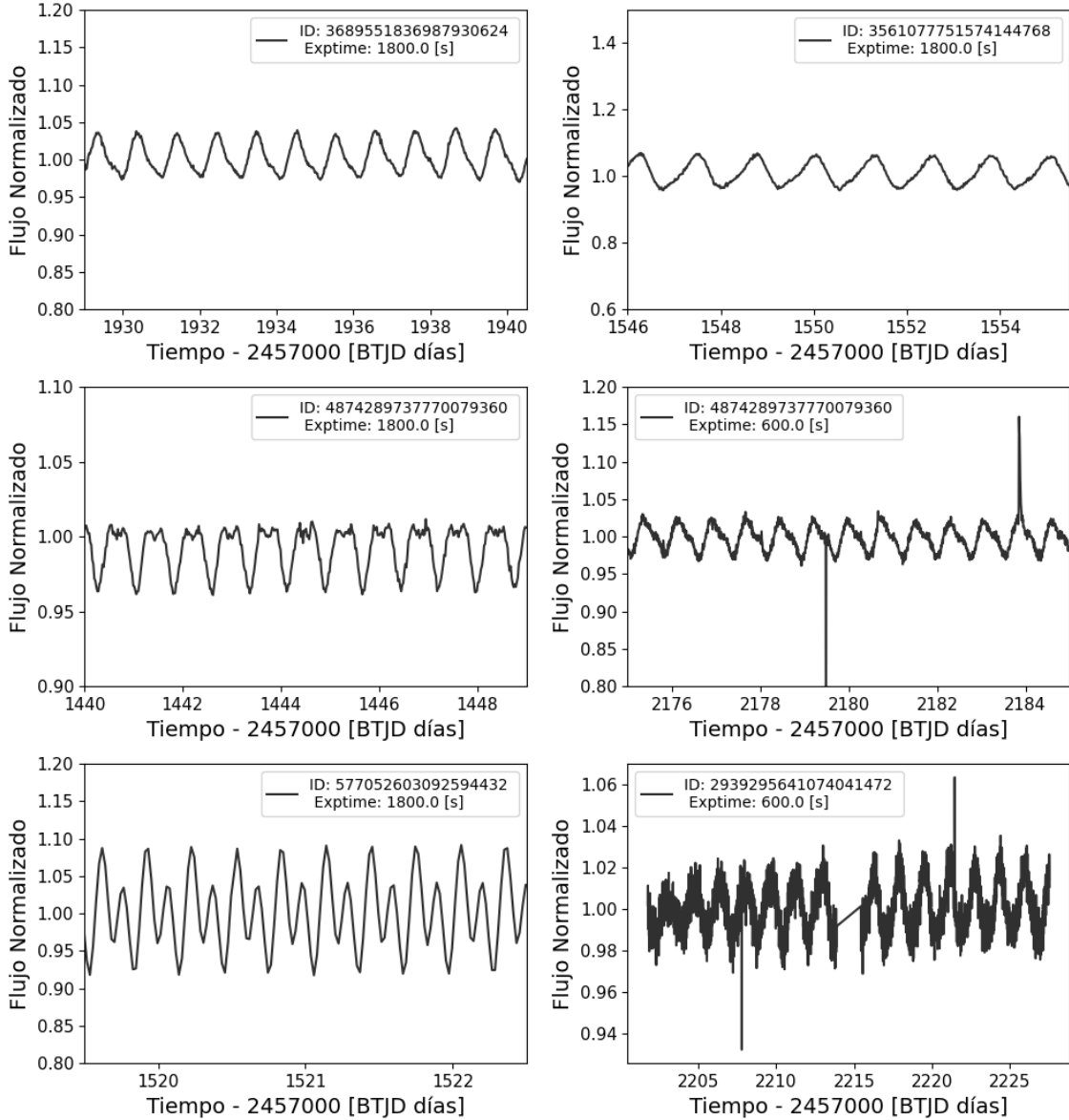


Figura 6.4: Curvas de luz de *TESS* para distintas estrellas variables del catálogo de [Heinze et al. 2018](#), en la primera fila tenemos las curvas de luz de ATO J195.715+00.9434 y de ATO J172.1088-13.9993, en la segunda fila las de ATO J072.2142-32.4430 en distintos períodos de tiempo y en la tercera fila las curvas de luz de ATO J136.4800+01.6063 y de ATO J099.8086-19.6745.

6.4. Estrella Rama Horizontal

En nuestra muestra existen 13 estrellas de la Rama Horizontal, las cuales son estrellas que han evolucionado de la secuencia principal. La ubicación de estos sistemas se encuentran bien definidos en el diagrama de color-magnitud de *Gaia* (Figure 4.2). Estas corresponden a estrellas de la rama horizontal que son muy azules, esto se puede apreciar en el SED, de una de ellas, que se muestra

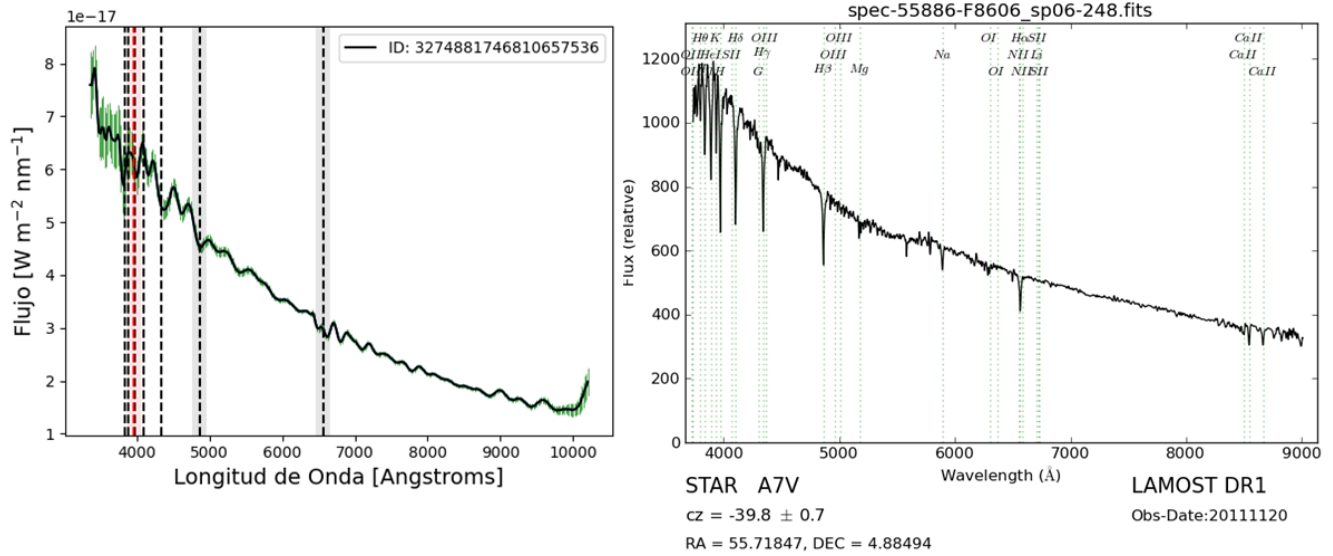


Figura 6.6: Espectro de la subenana caliente GALEX J034252.4+045305 ($G = 14.76$ mag). *Derecha:* Espectro de LAMOST, donde la clasificación pipeline lo ha clasificado como una estrella tipo A7 (spec-55886-F8606_sp06-248) *Izquierda:* Espectro XP de *Gaia* del mismo sistema

6.6. Variables pulsantes (PulsV)

En la muestra se identificaron 23 sistemas definidos como pulsantes. Si bien no se define en Simbad el tipo de estrella pulsante que es, en esta categoría caen todo tipo de estrellas pulsantes como RR Lyrae y Delta Scuti. La categorización de estos sistemas se ha reconocido por el comportamiento que tiene la curva de luz adquiridos por una serie de surveys fotométricos, como ATLAS (Heinze et al., 2018), y, principalmente, por el mismo *Gaia*. Ambos tipos de estrellas mencionado tiene el origen de las pulsaciones en el mecanismo κ que actúa en la región de ionización del He II (Gautschy & Saio, 1995). Ellas tienen emisión cromosférica, la cual, se puede detectar en el ultravioleta, y por lo tanto, son detectadas por *GALEX*. Los objetos que corresponden a RR Lyrae han sido detectados por *TESS*. La Figura 6.7, muestra un caso representativo para el sistema CRTS J063831.3-492033, donde muestra período más corto de un día (0.408044 días Gaia Collaboration 2022) el que fue confirmado por la curva de luz de *Gaia*.

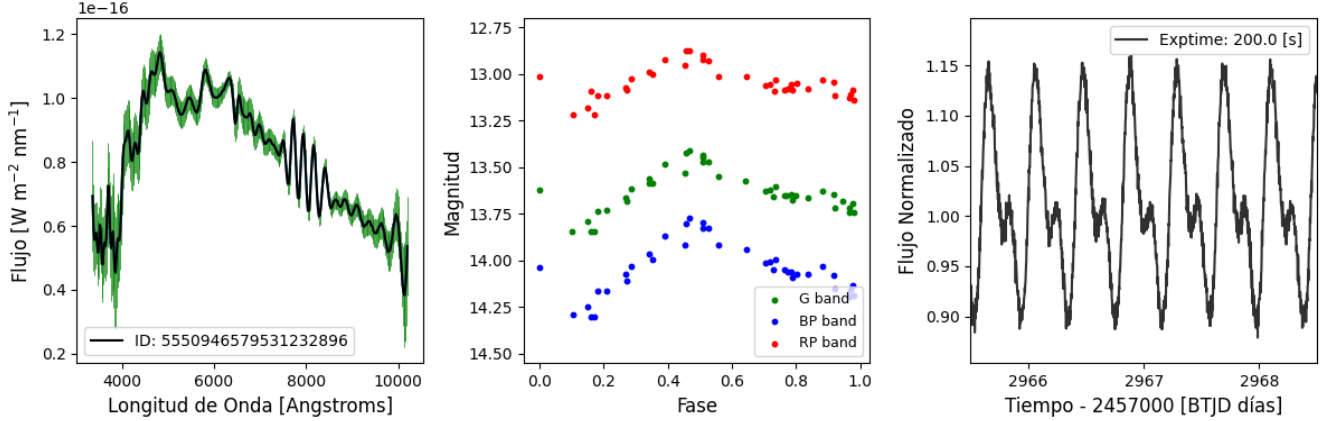


Figura 6.7: *Izquierda:* Espectro XP de la variable pulsante RR Lyrae CRTS J063831.3-492033. *Centro:* Curva de luz de *Gaia*. *Derecha:* Curva de luz de *TESS*.

6.7. Otros objetos

Con menor número de objetos (< 5), entre los contaminantes existen también:

- Variables rotativas: En las variables rotativas se puede determinar el período de rotación, debido a que, en la superficie, presentan manchas que causan variabilidad en la fotometría. Hay tres de estos objetos, los que corresponden a: *Gaia* DR3 2531488844210764544 (OB1; $G=13.07$ mag), *Gaia* DR3 4773393053246804992 (OB2; $G=14.23$ mag) y, por último, *Gaia* DR3 6617122109967583616 (OB3; $G=13.85$ mag). Los tres objetos tienen parámetros determinados por *Gaia*, los cuales concuerdan con una naturaleza de estrellas de secuencia principal (ver figura 4.2). Dado que son muy brillantes, estos objetos han sido observados por TESS en varios sectores. Descargamos al azar una de las curvas de luz y exploramos el períodograma los cuales se muestran en la Figura 6.8.

De las tres curvas de luz analizadas, solo OB1 tiene la presencia clara de la mancha en la superficie, en parte debido a que es también la curva de luz con el tiempo de exposición más corto. En el caso del primer objeto, OB1, es un sistema binario y el power spectrum muestra un peak con período de $P_{\text{rot}} = 2.28$ d, lo cual está de acuerdo con el período de rotación determinado por estudios previos ($P_{\text{rot}} = 2.26$ d Morris, 2020). Además, el períodograma muestra un armónico de este período. El segundo objeto, OB2, tiene una período de rotación de $P_{\text{rot}} = 0.283308$ d (Drake et al., 2017), este período aparece con baja intensidad en el períodograma de *TESS*, sin embargo, el peak más evidente en la curva de luz es a la mitad de este período, i.e. $P_{\text{rot}} = 0.14$ d, lo que, en una simple inspección visual, este período describe el comportamiento de la curva de luz. Por lo que, si el período de la literatura es correcto, implica que la estrella tiene dos manchas del mismo tamaño fijas sobre la superficie,

o alternativamente que el período es más corto de lo reportado. Finalmente, en la literatura se ha reportado un período de rotación de $P_{\text{rot}} = 0.455151$ d (Drake et al., 2017) para el tercer objeto OB3. El periodograma de *TESS* muestra este período, sin embargo, también muestra un armónico de este período. Por lo que, podemos decir, que esta estrella tiene dos manchas de distintos tamaños en la superficie, y, el mínimo de la curva de luz, ocurre cuando la mancha más grande bloquea mayor cantidad de flujo de la estrella.

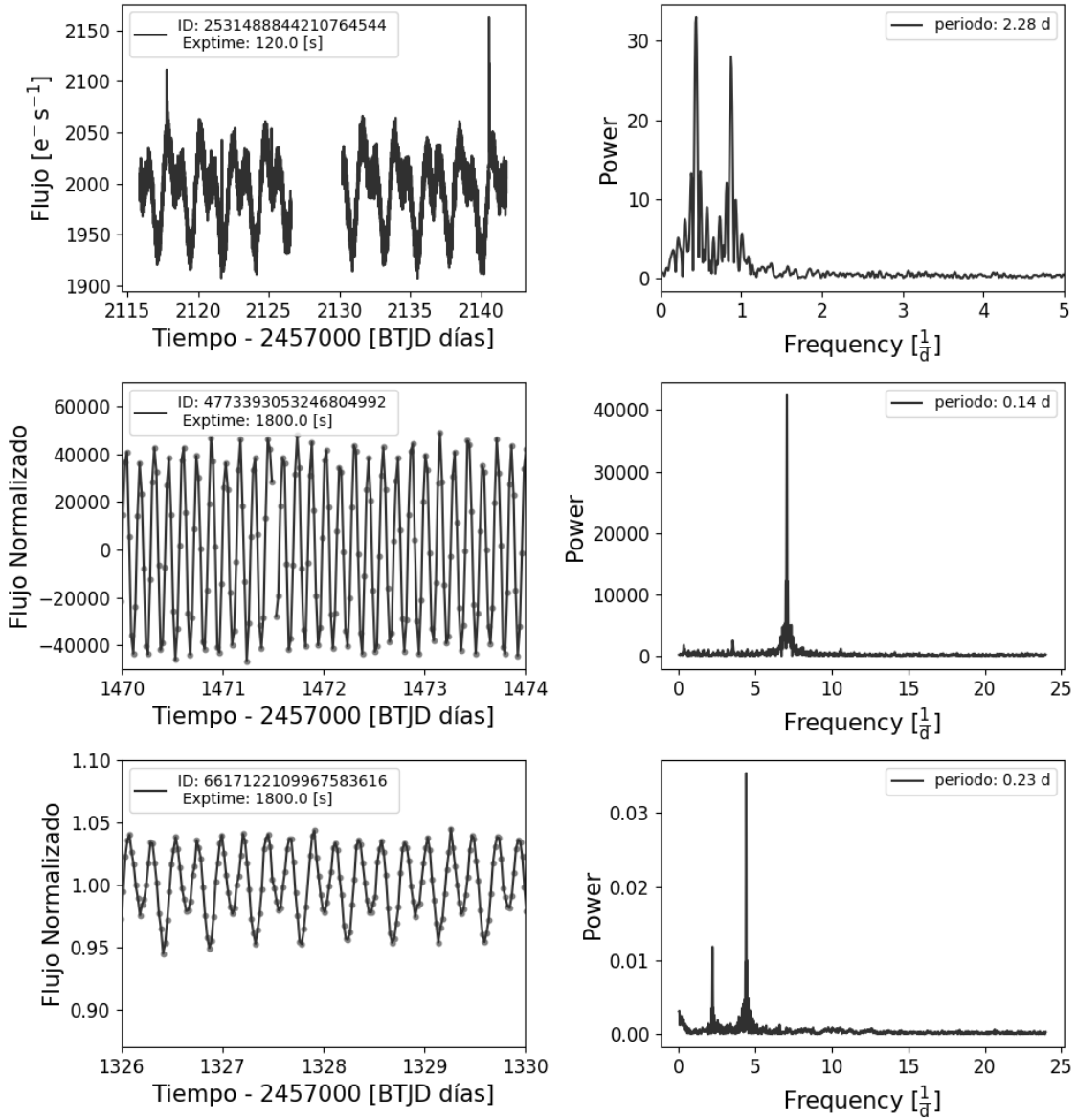


Figura 6.8: Curvas de luz de *TESS* (izquierda) y sus periodogramas (derecha) de las variables rotativa que se encuentran en el catálogo de 4MOST. Todos los sistemas muestran sus armónicos. Nuestro análisis está en concordancia con los períodos de la literatura solo para el primer objeto, mientras que los segundos peaks de mayor intensidad corresponden a períodos de rotación reportados en la literatura (ver texto para más detalles).

- Estrellas dobles o múltiples: Hay dos sistemas: *Gaia* DR3 6694462518076627840 ($G=14.51$ mag) y *Gaia* DR3 6823123039430374912 ($G=13.88$ mag). Ambos han sido identificados del The Edinburgh–Cape Blue Object Survey, el cual cubre los polos galácticos de la Vía Láctea, y ha tomado imágenes en los filtros U y B. Para identificar la naturaleza de los objetos observados por este survey, los autores han obtenido espectroscopia de baja resolución. En el caso de *Gaia* DR3 6694462518076627840, los autores postulan a que es una binaria compuesta por una subenana caliente y una estrella tipo F (O’Donoghue et al., 2013). Y, similarmente, el segundo objeto *Gaia* DR3 6823123039430374912, también lo han catalogado como una subenana caliente y una estrella tipo F (Kilkenny et al., 2016) en los siguientes trabajos del mismo equipo del Edinburgh–Cape Blue Object Survey. Ambos objetos tienen curvas de luz con *TESS*, sin embargo, ninguna de ellas muestra una variabilidad evidente.
- Estrellas jóvenes (YSO): En esta categoría existe un objeto confirmado por Simbad, *Gaia* DR3 5789045856890263936 (or Hn 22, $G=12.35$ mag). Este sistema es parte de una binaria, Hn 22 + Hn 23 (o *Gaia* DR3 5789045856890265216), donde ambos tienen cuerpos movimientos propios similares (i.e. $PMRA_{\text{gaia}} = -20$ mas/yr y $PMDEC_{\text{gaia}} = -7$ mas/yr). Los espectros de ambos sistemas se muestran en la Figura 6.9. Además, descargué la curva de luz desde *TESS*, la cual muestra un comportamiento errático de Hn 22, que se explica, dada la variabilidad producida, a que el disco obscurece partes de la luz de la estrella que está acretando sobre ella (Hartigan, 1993).
- Variables elipsoidales: Solo un sistema ha sido identificado como variable elipsoidal, *Gaia* DR3 4758700932200570368 ($G=14.41$ mag), el cual, corresponde a una binaria con un período de $P_{\text{orb}}=0.703047$ d (Pawlak et al., 2016) que se encuentra en la Gran Nube de Magallanes ($\varpi=0.7463$ mas). Desafortunadamente, este objeto no tiene curvas de luz analizadas por *TESS*. Y no realicé la fotometría de estos datos dado que no es el objetivo de este trabajo. Sin embargo, he descargado los datos fotométricos¹ de Pawlak et al. (2016) y he realizado la curva de luz para ilustrar como el comportamiento de deformación de una de sus componentes se ve en la curva de luz, lo cual se puede apreciar en la Figura 6.10

¹<ftp://ftp.astrouw.edu.pl/ogle/ogle4/OCVS/lmc/ecl/>

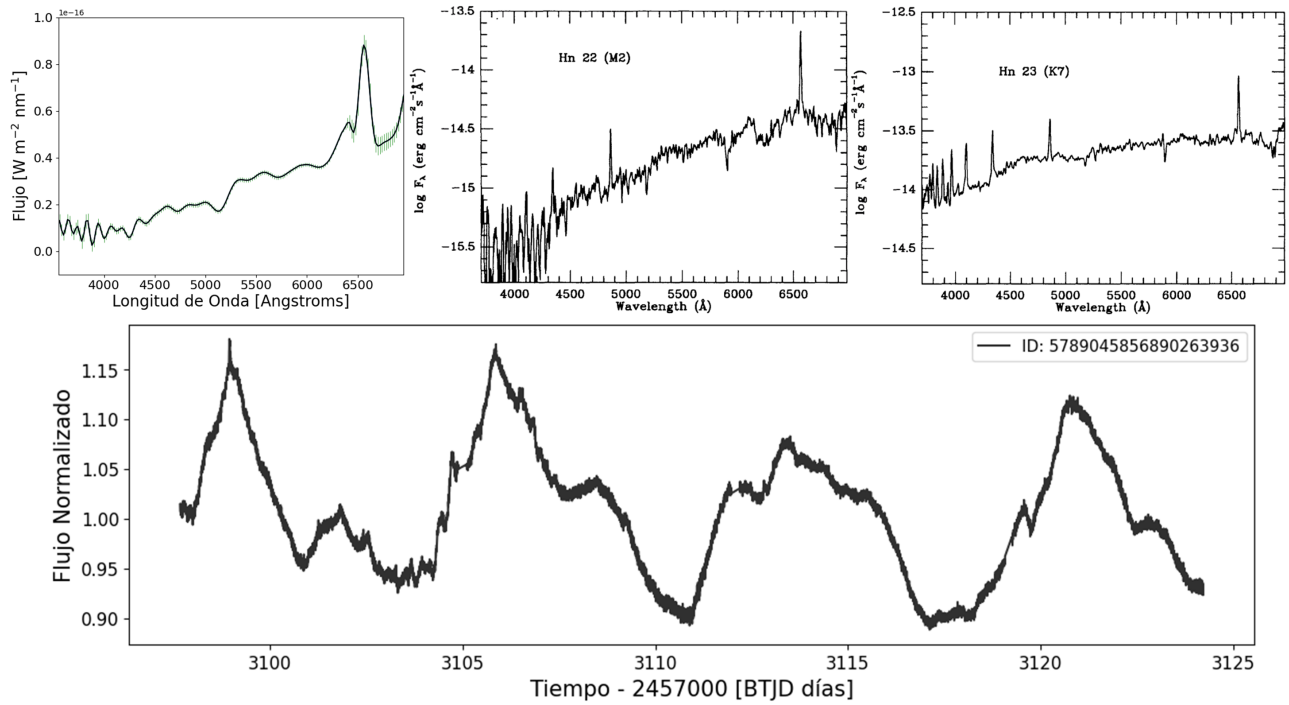


Figura 6.9: Espectros de un sistema binario de YSO. Espectro de baja resolución de *Gaia* de Hn 22 (arriba-izquierda), espectro de Hn 22 tomado de la literatura (arriba-medio) y espectro de su compañera Hn 23, también tomado de la literatura (arriba-derecha). Se puede apreciar que, debido a la baja resolución del espectro de *Gaia*, varios rasgos del espectro se pierden. El panel de abajo, muestra la curva de luz de *TESS*.

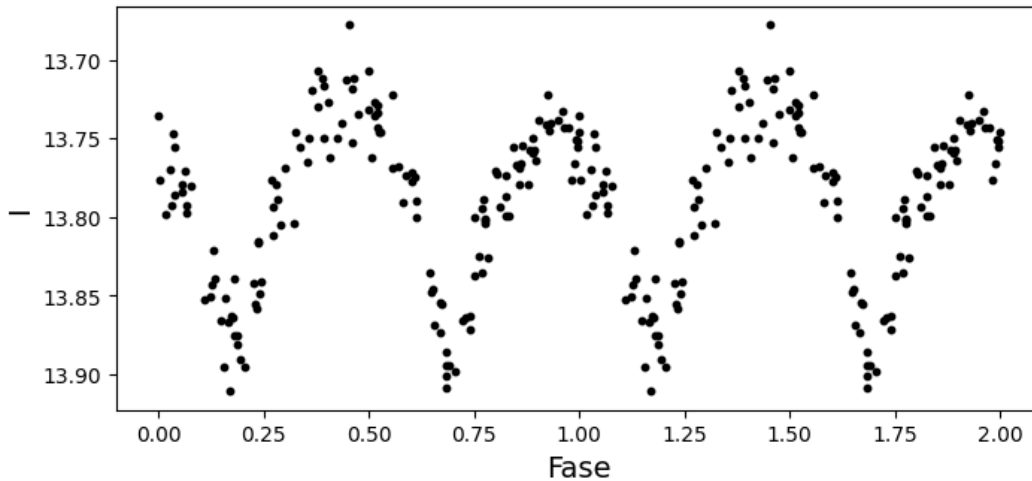


Figura 6.10: Curva de luz tomada utilizando el filtro *I*. Utilizando el período de $P_{\text{orb}} = 0.703047$ d (Pawlak et al., 2016), he plegado la curva de luz para mostrar la fase. Si bien, la curva de luz muestra la variación debido a la deformación del objeto con menos gravedad, no muestra diferencia entre los mínimos, por lo tanto concluimos que no es eclipsante.

- Variable RS CVn: Estos sistemas corresponden a binarias cercanas, donde una de las componentes tiene una cromosfera muy activa, la cual, causa manchas oscuras en la superficie. Sin embargo, las RS CVn de periodo corto ($P < 1$ día) son binarias semi-separadas, donde la variación es debido a manchas o elipses discretos (Hall, 1976). Dentro de la muestra, aparece solo uno de estos tipos de variable, *Gaia* DR3 2682664374405478016 (o CRTS J221651.9+023110; $G = 13.69$ mag), que, de acuerdo a Drake et al. (2014), tiene un período de 0.17 d. Este sistema también tiene curva de luz en *TESS* la cual muestra doble eclipse de estrellas de distintos tamaños, y el período es más grande que el reportado, i.e. 0.64 d (ver Figura 6.11).

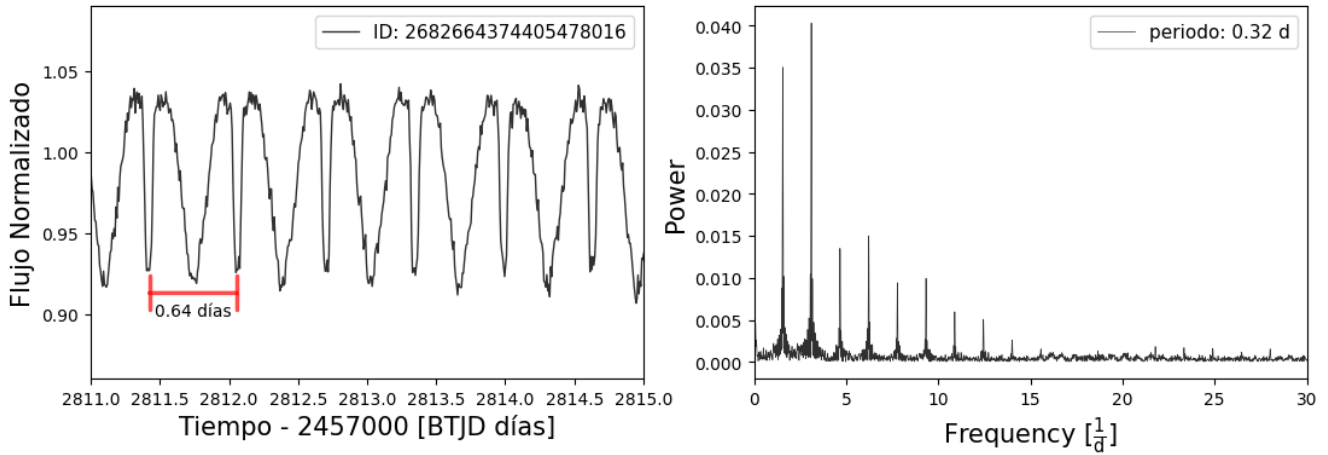


Figura 6.11: Curva de luz de *TESS* y periódograma de la única variable RS CVn del catálogo de 4MOST CRTS J221651.9+023110

- Estrella de la rama de gigante roja: Dentro de la muestra nos apareció inesperadamente una estrella de la rama de Gigante Roja, *Gaia* DR3 3698501758558821504 ($G = 13.36$ d). Este sistema también tiene curve de luz en *TESS*, sin embargo, no presenta ninguna variabilidad evidente. Se ha observado que, ciertas estrellas de la rama de gigante roja presentan emisión en el ultravioleta, sin embargo, se desconoce la razón. Se postula que podría ser efectos intrínsecos como emisión cromosférica, choques de ondas por pulsaciones o efectos externos como emisión fotosférica debido a una estrella compañera cercana, o emisión desde un disco de acreción (Ortiz et al., 2019).

Capítulo 7

Conclusiones

He utilizado los espectros de baja resolución de *Gaia* para identificar CVs. La resolución del instrumento es muy baja, lo que diluye varios de los rasgos característicos y complica la identificación de los objetos. Bajo esta primicia, en este trabajo, he encontrado 18 objetos que son potencialmente CVs y 9 que ya han sido reconocidas como tales (8 según Simbad y 1 es trabajo objetivo en otra tesina). Encontrar estos 8 (+1) objetos previamente clasificados como CVs indica que la inspección visual puede ser confiable para identificar las características típicas de estas variables. De los objetos no clasificados como CVs por Simbad, tres de estos, son más probables a ser CVs debido a sus espectros y variabilidad en la errática fotometría de *Gaia* y *TESS*. Los 4 restantes sugieren ser CVs por la forma de sus espectros, a pesar de no tener una fuerte presencia de Balmer α . Sin embargo, una espectroscopia de mejor resolución confirmará si el objeto es una CV o no. Además, hay dos objetos con clasificaciones que deben revisarse: la binaria eclipsante CRTS J051654.1+033252 y la candidata a subenana caliente GALEXJ150816.7-383226, ya que, los espectros de estos objetos, muestran claramente líneas de emisión de Balmer α . El sistema eclipsante muestra un eclipse primario muy abrupto, típico de la ocultación de un objeto compacto, mientras que, normalmente, las subenanas calientes presentan sus líneas de Balmer en absorción al contrario de GALEX J150816.7-383226.

Dada la búsqueda en la literatura para identificar las fuentes de contaminación, podemos esperar que casi la mitad de los objetos en el catálogo contengan contaminantes (estrellas pulsantes, estrellas activas, entre otros).

Dado que el rango de longitud de onda que cubre *Gaia* es similar al que cubrirán los espectros de baja resolución de 4MOST, estos pueden servir de templates para determinar el tiempo de exposición necesario para que, un objeto dado, alcance el SNR requerido. Actualmente, los templates utilizados por 4MOST corresponden a espectros de SDSS, que fueron seleccionados utilizando mapas de probabilidades en diagramas de color magnitud (e.g. [Gentile Fusillo et al., 2015](#))

Apéndice A

Espectro XP de CVs y candidatas a CVs

A.1. CVs conocidas

Dentro de los PNG se identificaron 8 CVs que son sistemas conocidos TV Col ([Sun et al., 2024](#)), V841 Oph ([Engle & Sion, 2005](#)), WX Hyi ([Long et al., 2005](#)), EF Tuc ([Bruch, 2017](#)), V347 Pup ([Diaz & Hubeny, 1999](#)) ASAS J142023-4856.0 ([Bruch, 2017](#)), MU Cen ([Bruch, 2016](#)), y V1043 Cen ([Barrett et al., 2020](#)).

ID: 6091622896978611200
RA: 215.0978 DEC: -48.9329
l: 317.6235 b: 11.3848
Parallax: 2.0777 Distance: 481.3014
G: 14.4866 ± 0.0349
BP: 14.9490 ± 0.1081
RP: 13.8552 ± 0.0992
SNR_{H α} : 3.0021
SNR_{H β} : 1.9692
SNR_{H γ} : 1.0734

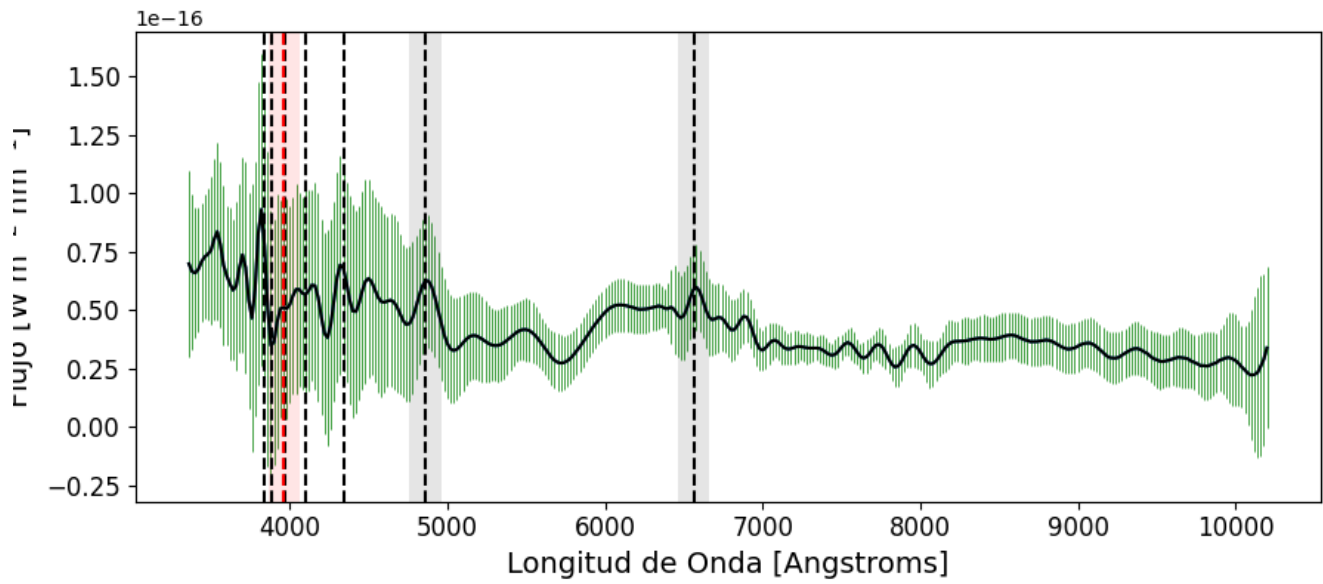
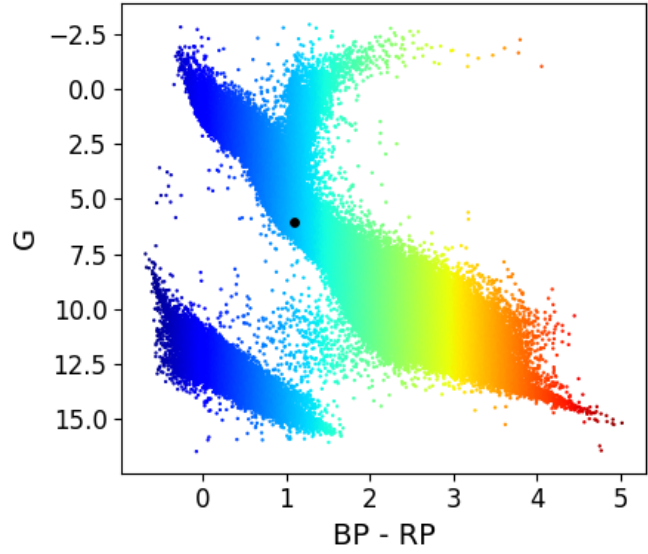


Figura A.1: ASAS J142023-4856.0

ID: 4707482485122305536
RA: 0.4797 DEC: -67.1287
l: 310.2714 b: -49.2879
Parallax: 0.7120 Distance: 1404.4944
G: 14.8480 ± 0.0196
BP: 15.1526 ± 0.0642
RP: 14.3089 ± 0.0446
SNR_{H α} : 5.9363
SNR_{H β} : 6.9125
SNR_{H γ} : 3.2381

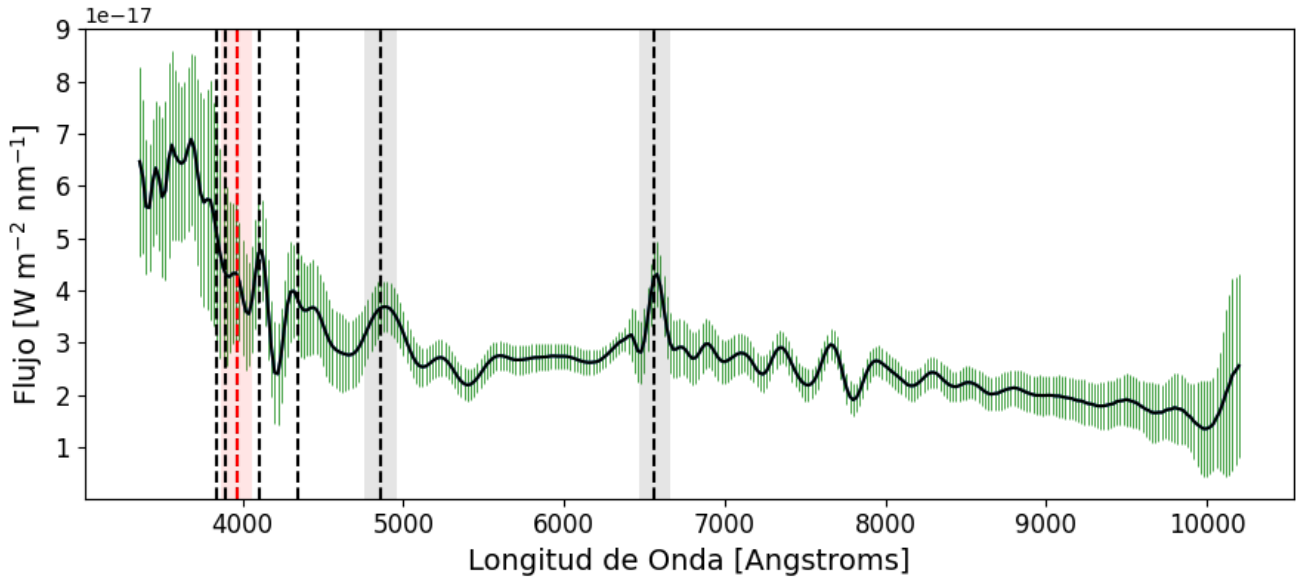
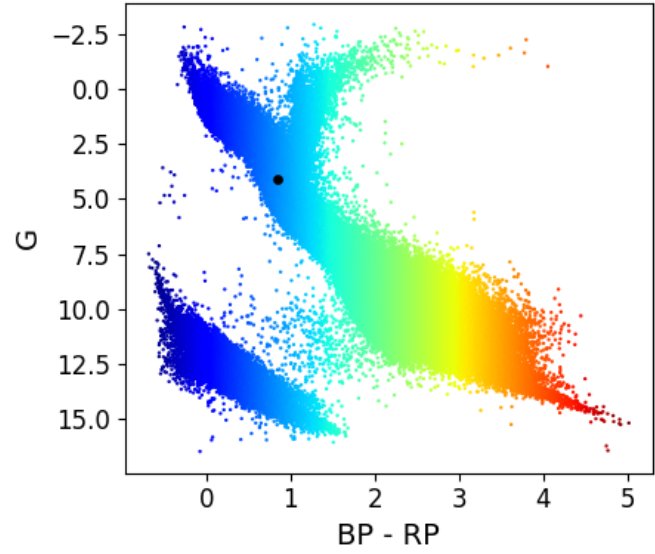


Figura A.2: EF Tuc

ID: 2901783160488793728
RA: 82.3564 DEC: -32.8177
l: 236.7893 b: -30.6040
Parallax: 1.9507 Distance: 512.6365
G: 13.9807 ± 0.0114
BP: 14.1109 ± 0.0391
RP: 13.6551 ± 0.0317
SNR_{H α} : 10.8577
SNR_{H β} : 28.3179
SNR_{H γ} : 14.1138

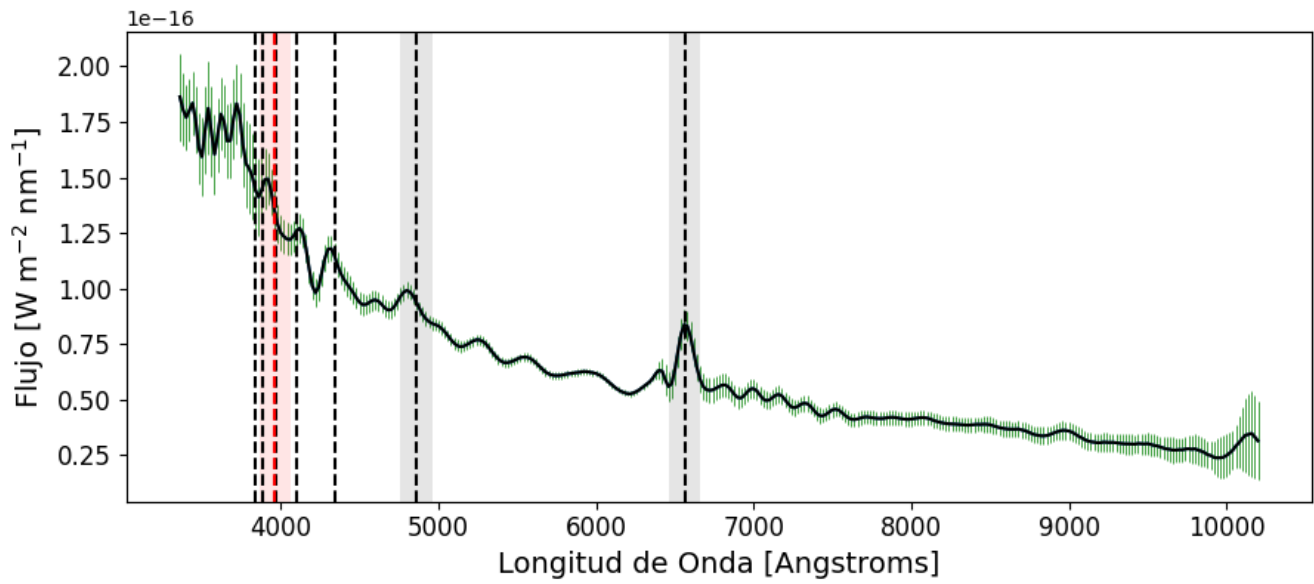
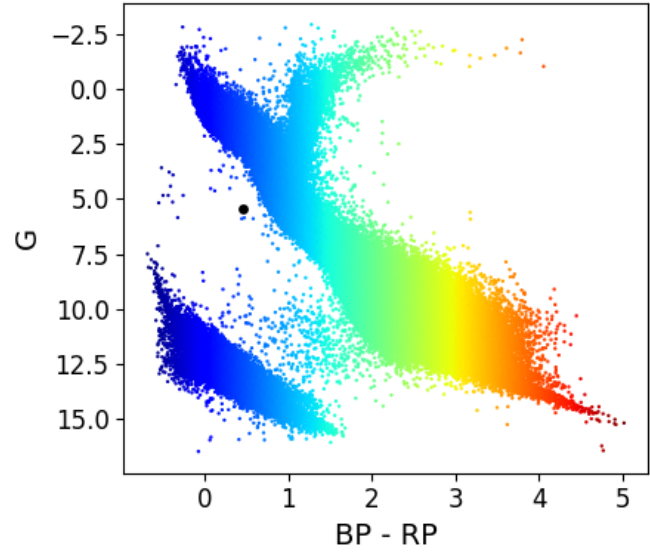


Figura A.3: TV Col

ID: 6144624550055863296
RA: 183.2244 DEC: -44.4711
l: 295.7231 b: 17.8605
Parallax: 1.9464 Distance: 513.7690
G: 14.5442 ± 0.0139
BP: 14.9733 ± 0.0562
RP: 13.8872 ± 0.0303
SNR_{H α} : 7.5260
SNR_{H β} : 6.9479
SNR_{H γ} : 2.6547

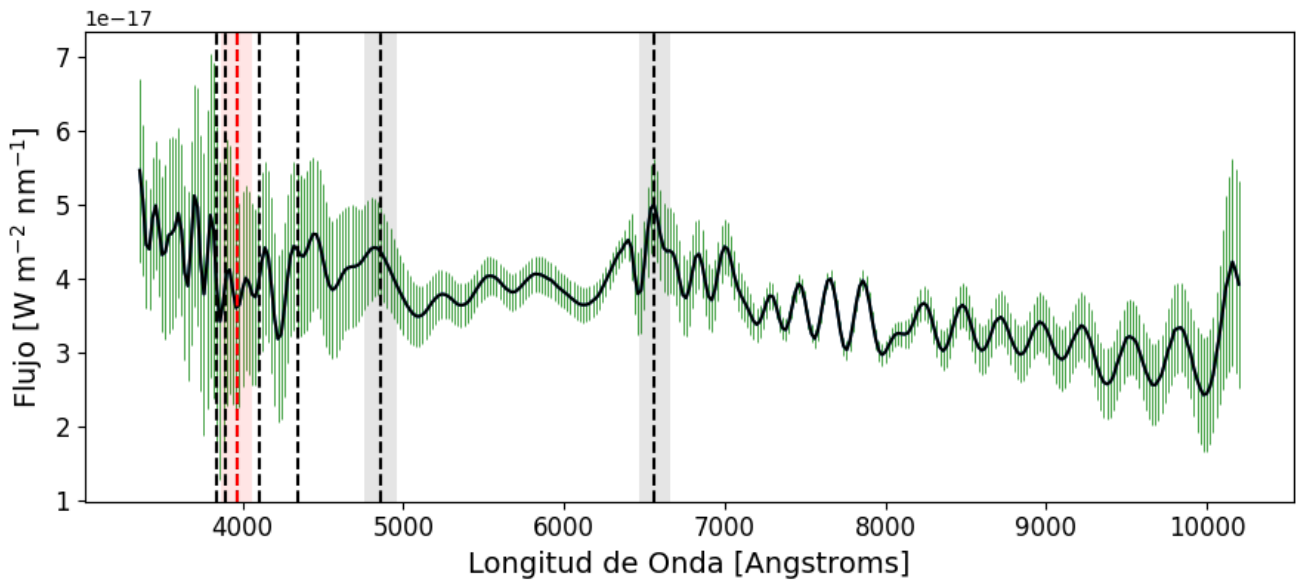
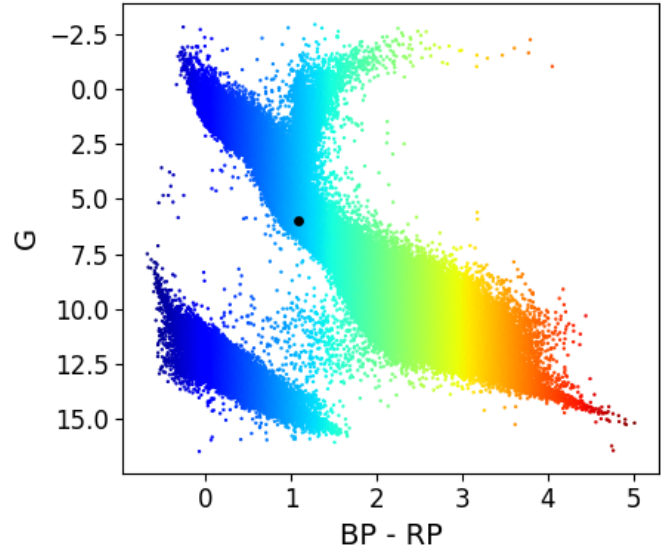


Figura A.4: MU Cen

ID: 6179636986011888512
RA: 198.3212 DEC: -32.9869
l: 308.2035 b: 29.6611
Parallax: 5.7403 Distance: 174.2069
G: 14.9672 ± 0.0147
BP: 15.6247 ± 0.0632
RP: 14.1214 ± 0.0274
SNR_{H α} : 7.3360
SNR_{H β} : 5.7457
SNR_{H γ} : 2.2731

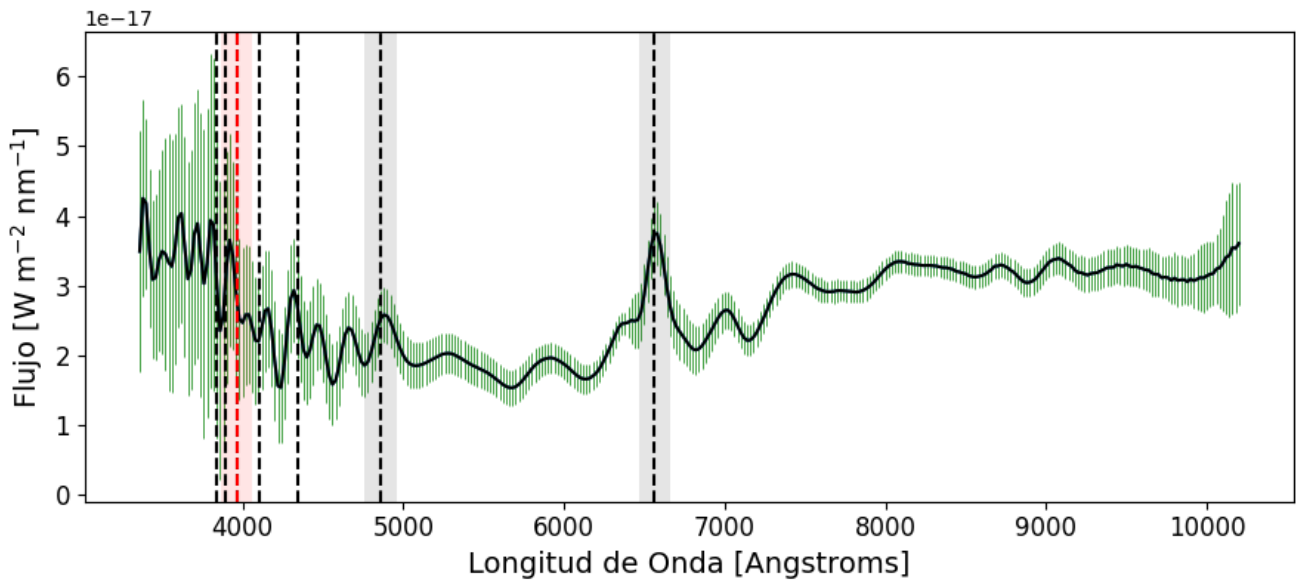
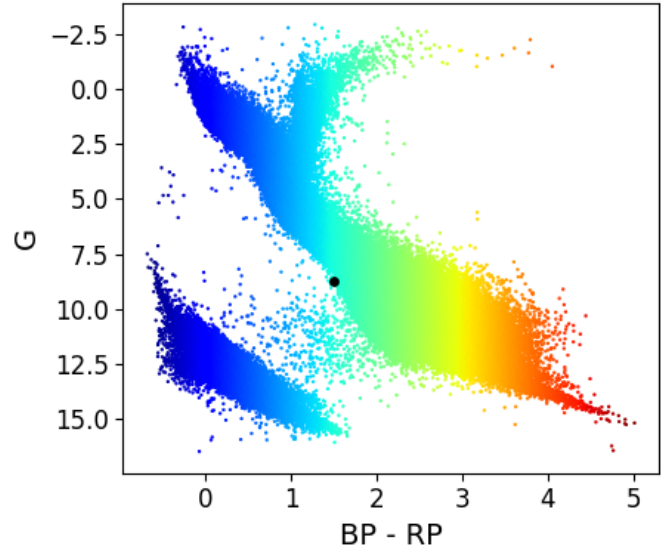


Figura A.5: V1043 Cen

ID: 5553468275089335040
RA: 92.6403 DEC: -48.7404
l: 256.4222 b: -26.5453
Parallax: 3.4104 Distance: 293.2207
G: 13.3044 ± 0.0080
BP: 13.5557 ± 0.0250
RP: 12.8667 ± 0.0231
SNR_{H α} : 7.4611
SNR_{H β} : 12.4570
SNR_{H γ} : 6.2501

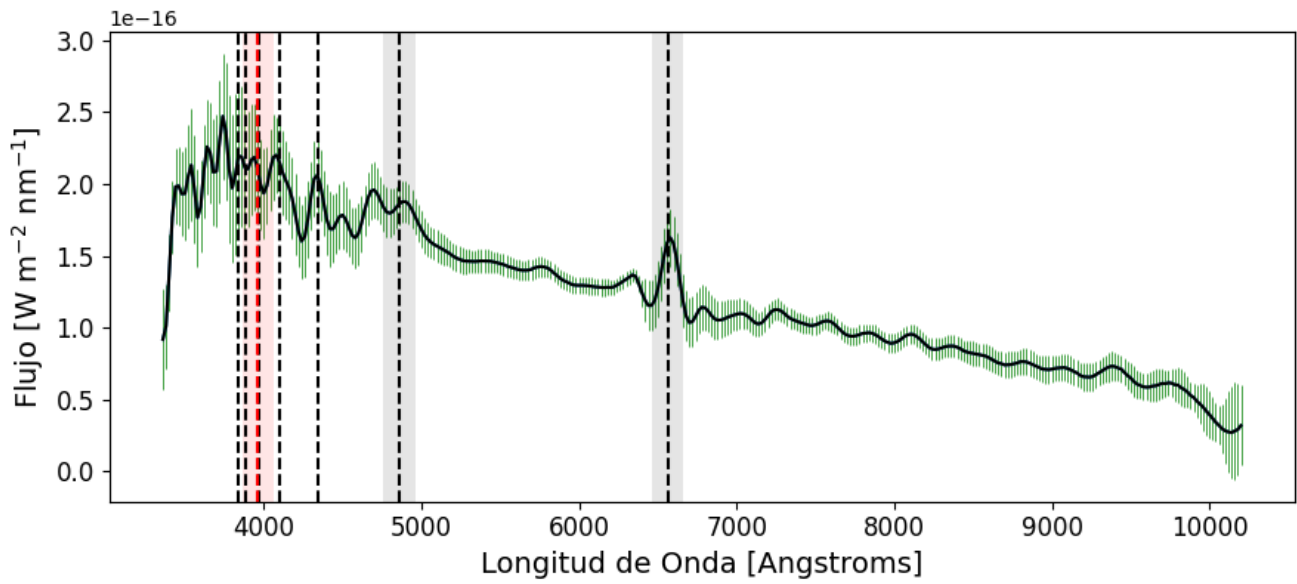
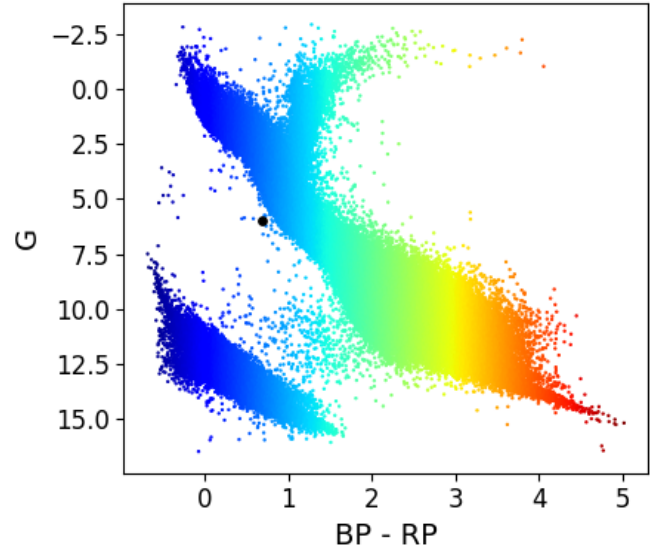


Figura A.6: V347 Pup

ID: 4333061392472253440
RA: 254.8765 DEC: -12.8909
l: 7.6211 b: 17.7785
Parallax: 1.1862 Distance: 843.0282
G: 13.6502 ± 0.0199
BP: 13.9986 ± 0.0712
RP: 13.1149 ± 0.0554
SNR_{H α} : 6.5012
SNR_{H β} : 14.1208
SNR_{H γ} : 6.5496

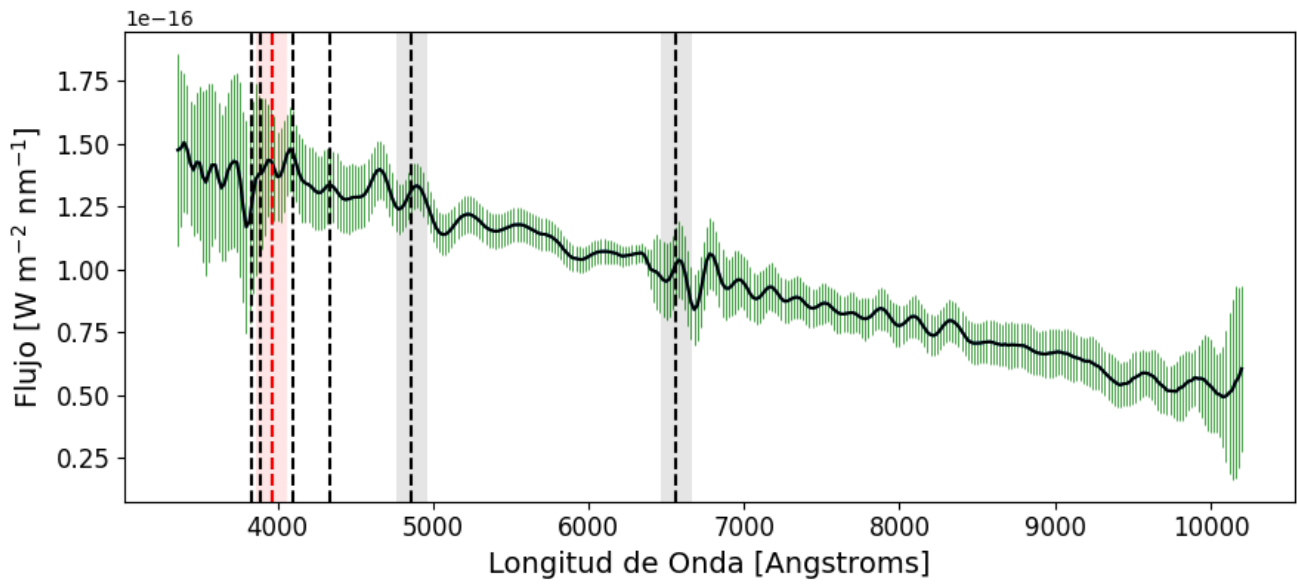
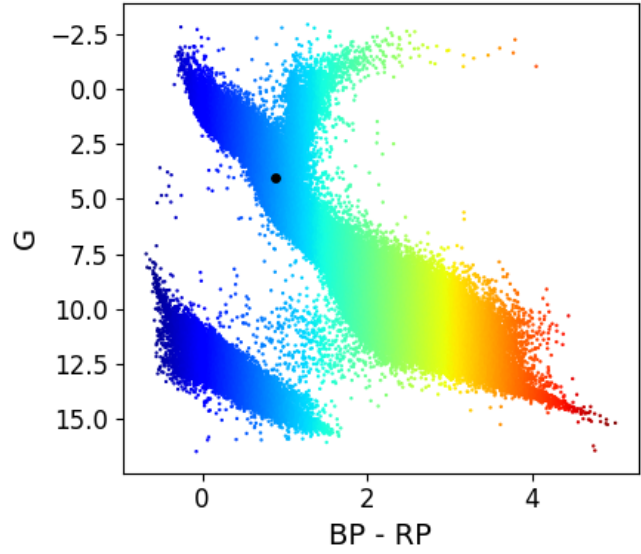


Figura A.7: V841 Oph

ID: 4701058897674276736
 RA: 32.4621 DEC: -63.3110
 l: 288.8842 b: -51.6255
 Parallax: 4.3421 Distance: 230.3033
 G: 14.6455 ± 0.0215
 BP: 14.8328 ± 0.0589
 RP: 14.2029 ± 0.0988
 SNR_{H α} : 6.3101
 SNR_{H β} : 10.6564
 SNR_{H γ} : 3.8823

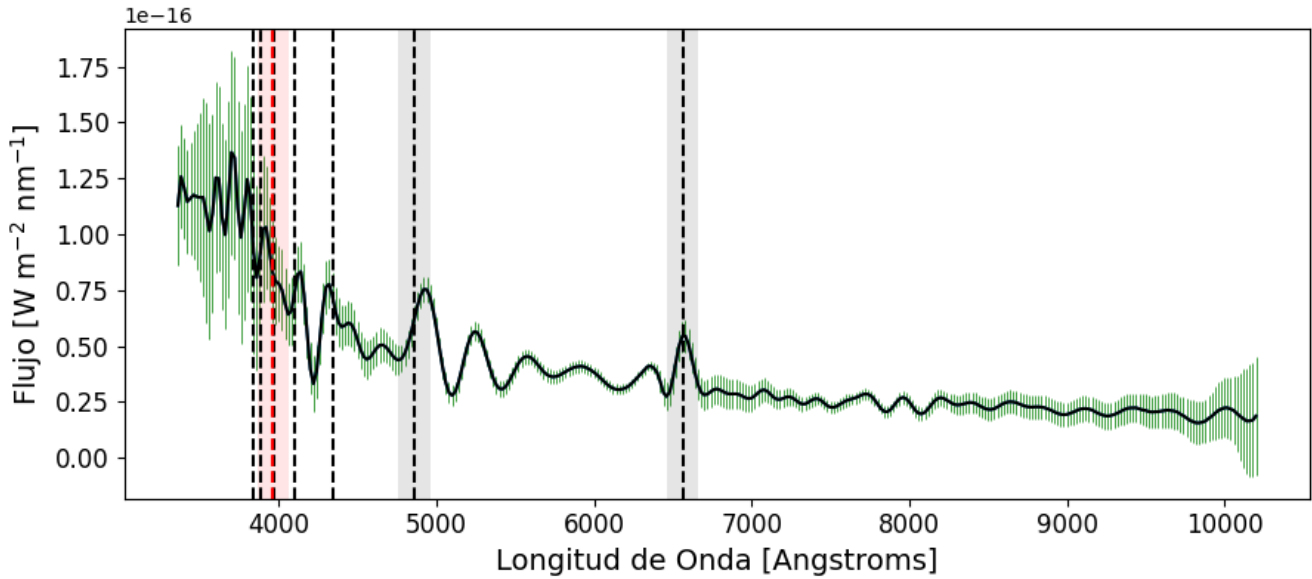
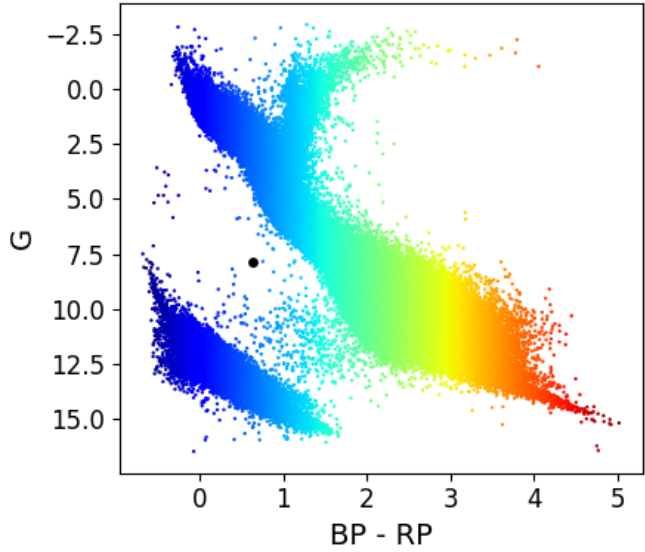


Figura A.8: WX Hyi

A.2. Sistemas conocidos contaminantes

También se identificaron 6 sistemas contaminantes que podrían ser candidatas a CVs, ATO J077.1605-24.1988 (Heinze et al., 2018), CRTS J051654.1+033252 (Drake et al., 2014), BD+00 3041 (Gettel et al., 2006), ATO J238.9132-09.4841 (Heinze et al., 2018), YY Hya (Drake et al., 2017) y GALEX J150816.7-383226 (Geier et al., 2019).

ID: 2959876029141656576
RA: 77.1606 DEC: -24.1989
l: 225.5807 b: -32.6110
Parallax: 1.0262 Distance: 974.4689
G: 14.8630 ± 0.0064
BP: 15.2123 ± 0.0204
RP: 14.2270 ± 0.0154
SNR_{H α} : 13.0571
SNR_{H β} : 21.4513
SNR_{H γ} : 5.0158

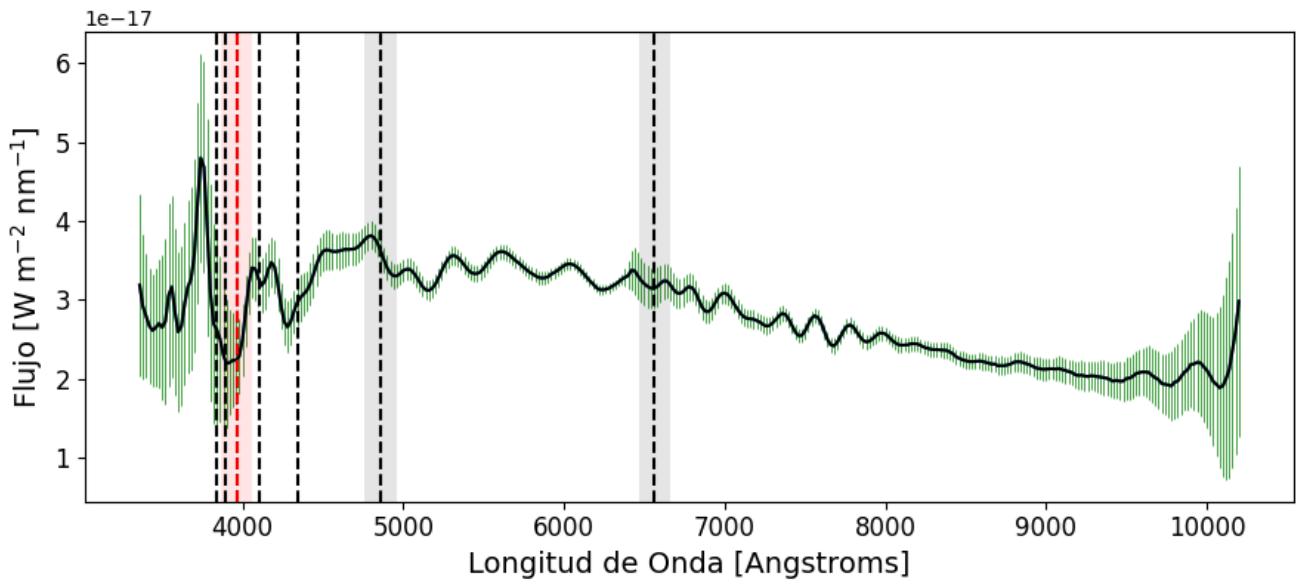
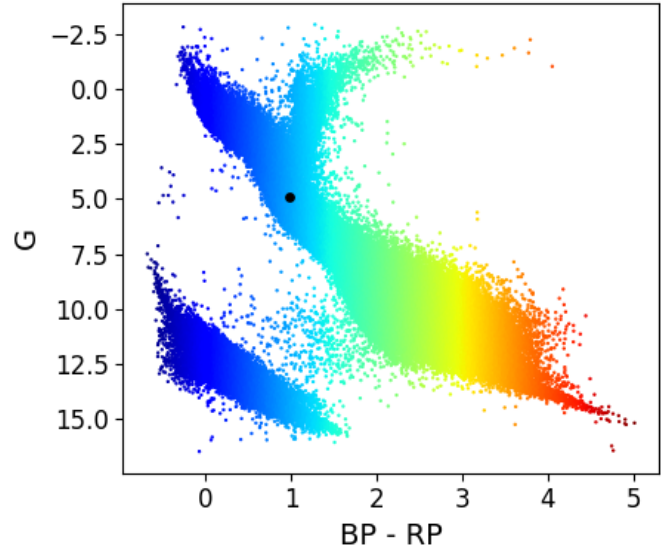


Figura A.9: ATO J077.1605-24.1988, clasificada por Simbad como Variable Pulsante

ID: 4347292680704614528
RA: 238.9132 DEC: -9.4841
l: 0.0688 b: 32.2802
Parallax: 0.4868 Distance: 2054.2317
G: 14.6576 ± 0.0049
BP: 14.7710 ± 0.0165
RP: 14.1113 ± 0.0182
SNR_{H α} : 6.7063
SNR_{H β} : 14.1870
SNR_{H γ} : 4.1882

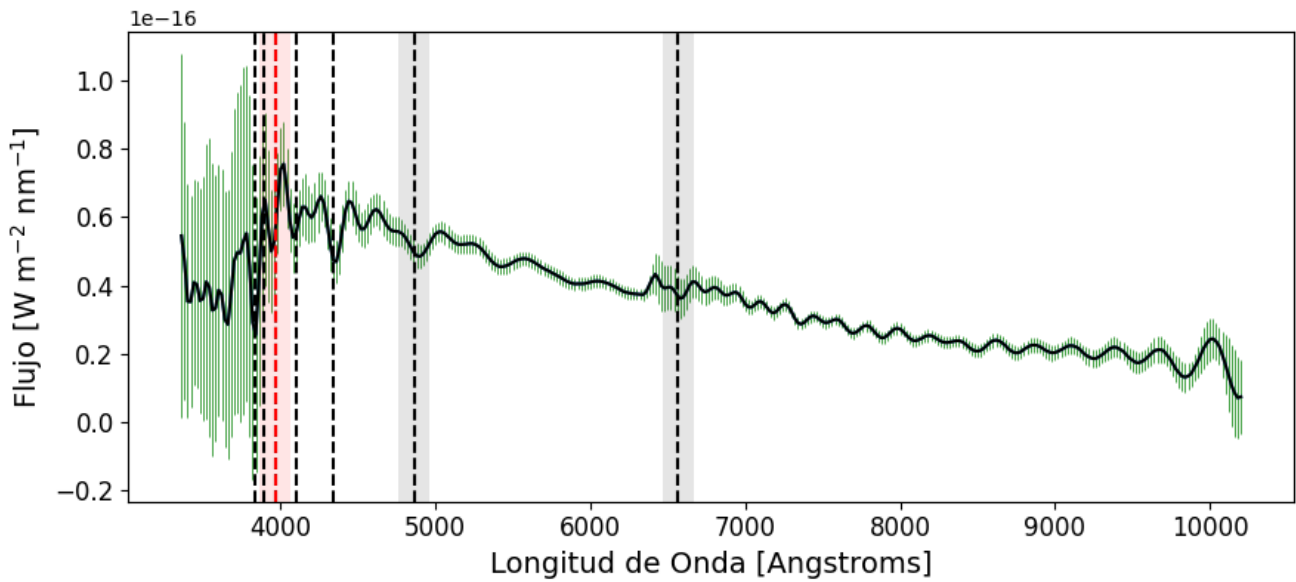
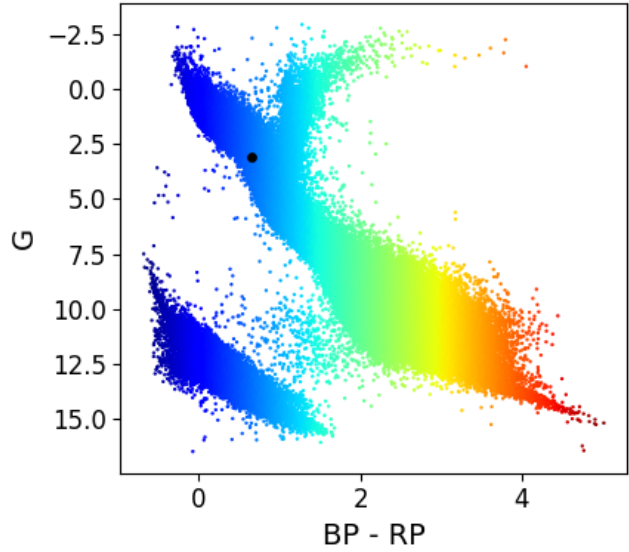


Figura A.10: ATO J238.9132-09.4841, clasificada por Simbad como Estrella Variable

ID: 3235497858779604608
RA: 79.2254 DEC: 3.5479
l: 198.3700 b: -19.1407
Parallax: 1.4928 Distance: 669.8821
G: 14.6913 ± 0.0153
BP: 14.9046 ± 0.0499
RP: 14.2130 ± 0.0422
SNR_{H α} : 10.7701
SNR_{H β} : 15.1867
SNR_{H γ} : 5.5251

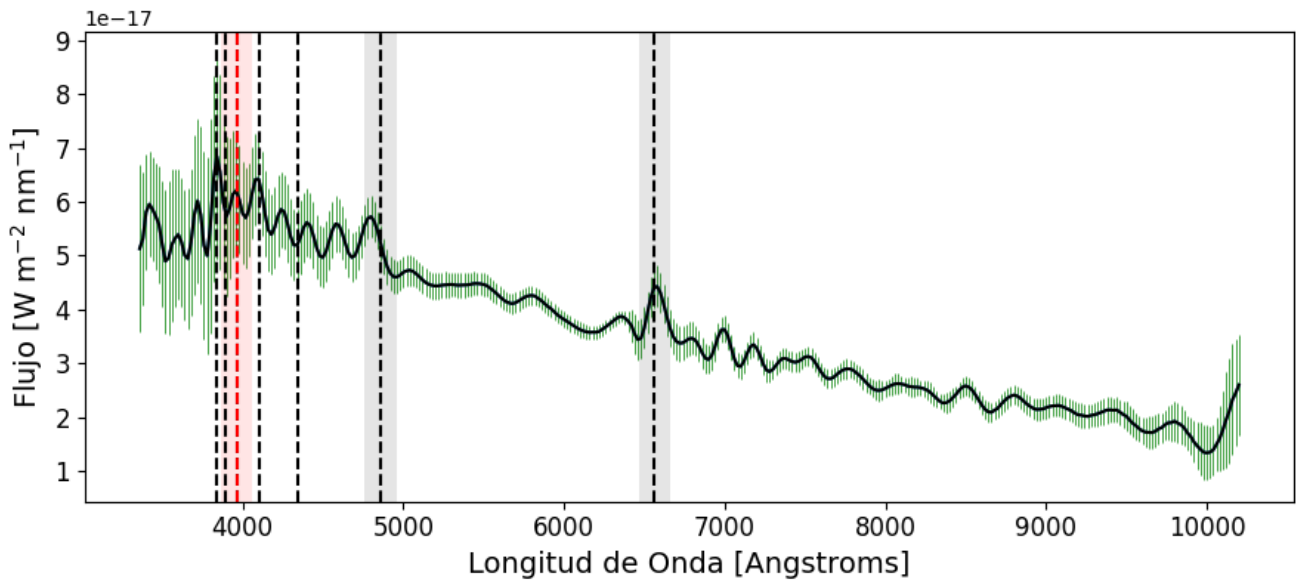
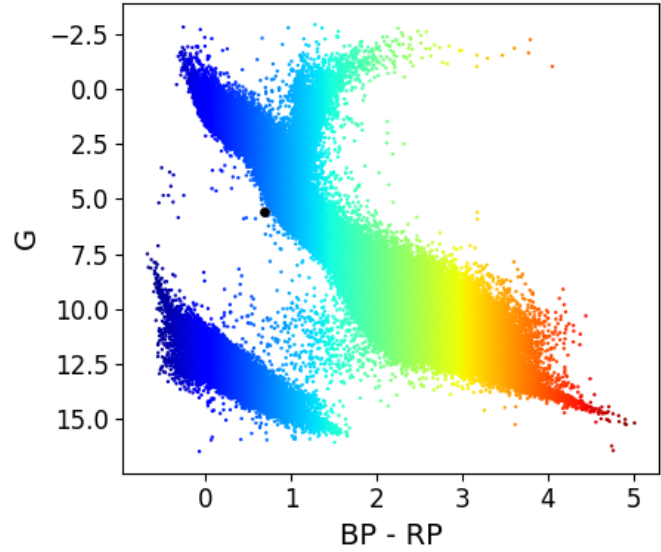


Figura A.11: CRTS J051654.1+033252, clasificada por Simbad como Binaria Eclipsante

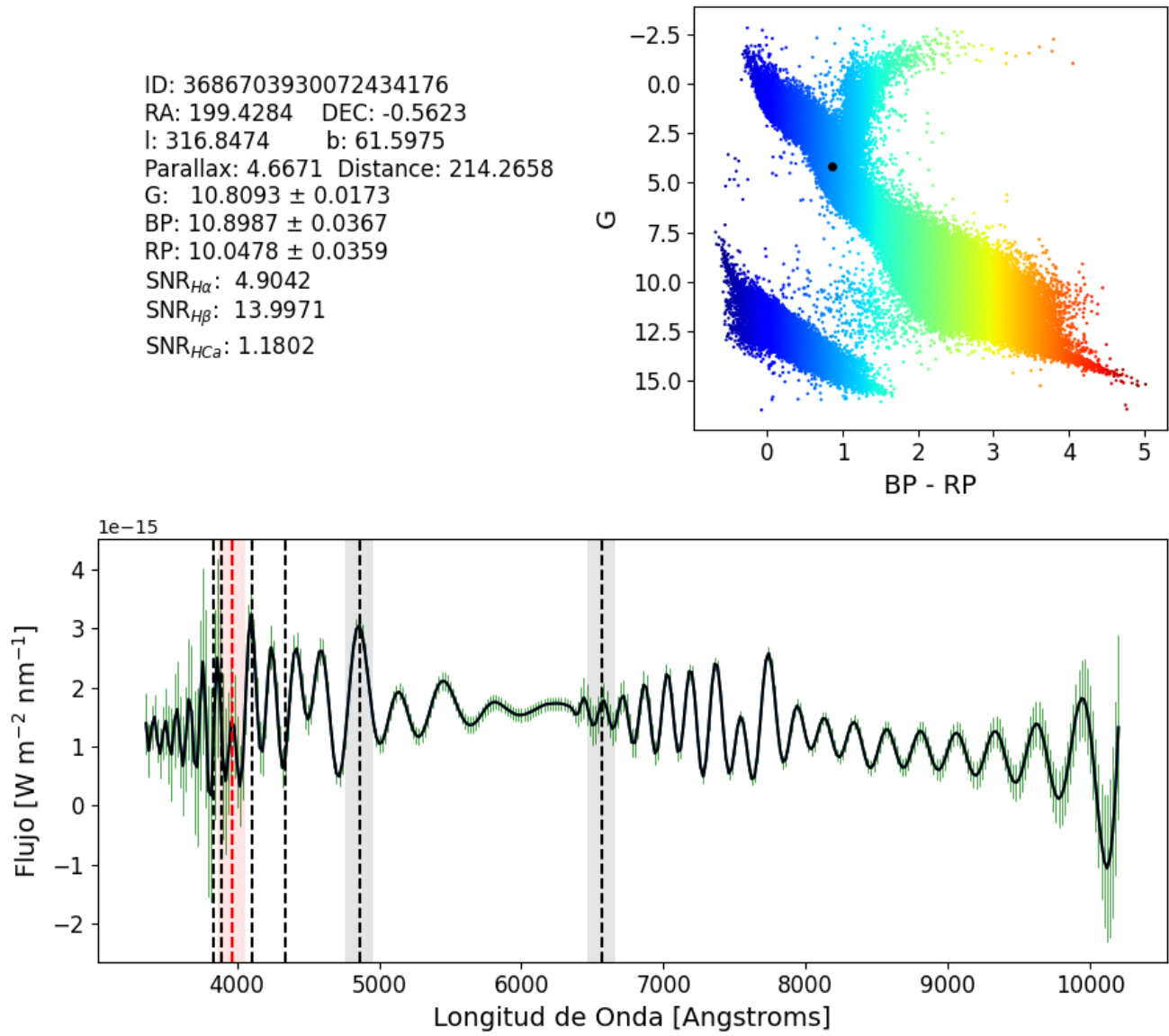


Figura A.12: BD+00 3041, clasificada por Simbad como Binaria Eclipsante

ID: 6197764324987507200
RA: 227.0699 DEC: -38.5410
l: 330.3018 b: 16.9515
Parallax: 1.6152 Distance: 619.1184
G: 14.6598 ± 0.0091
BP: 14.6937 ± 0.0255
RP: 14.4103 ± 0.0212
SNR_{H α} : 11.6795
SNR_{H β} : 13.9985
SNR_{H γ} : 5.6854

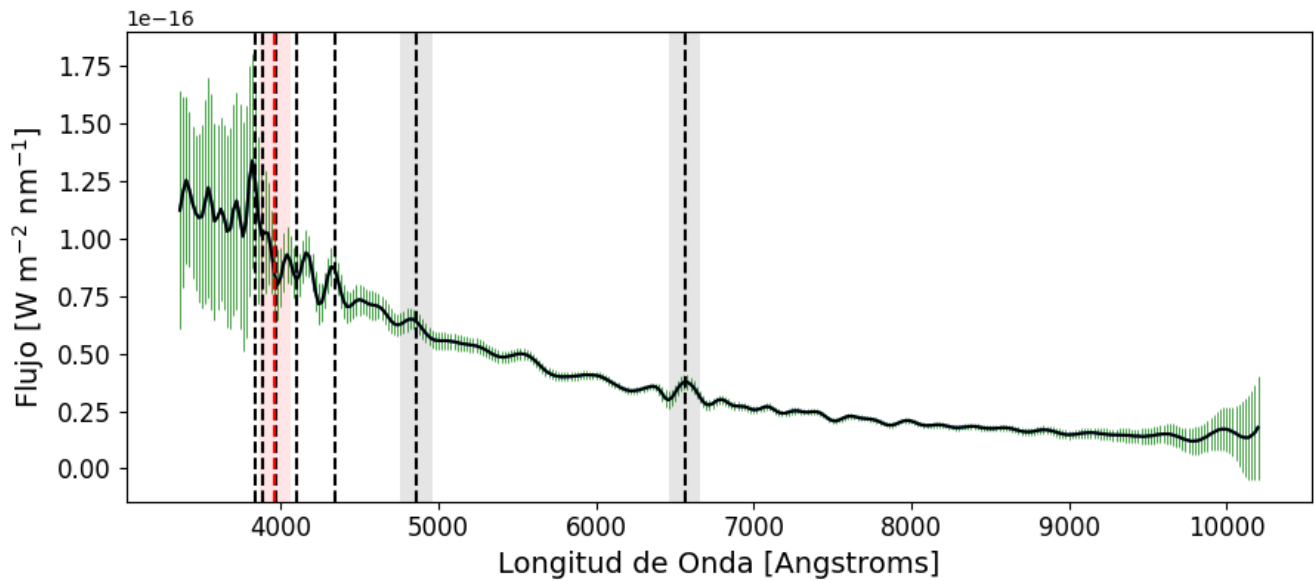
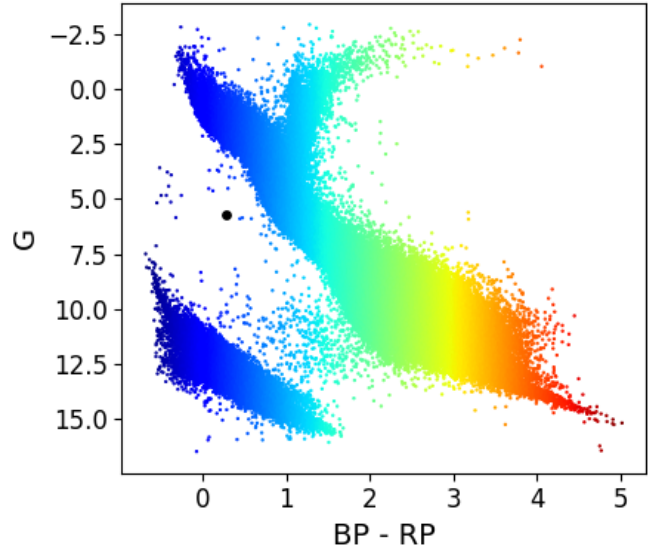


Figura A.13: GALEX J150816.7-383226, clasificada por Simbad como candidata a Subenana Caliente

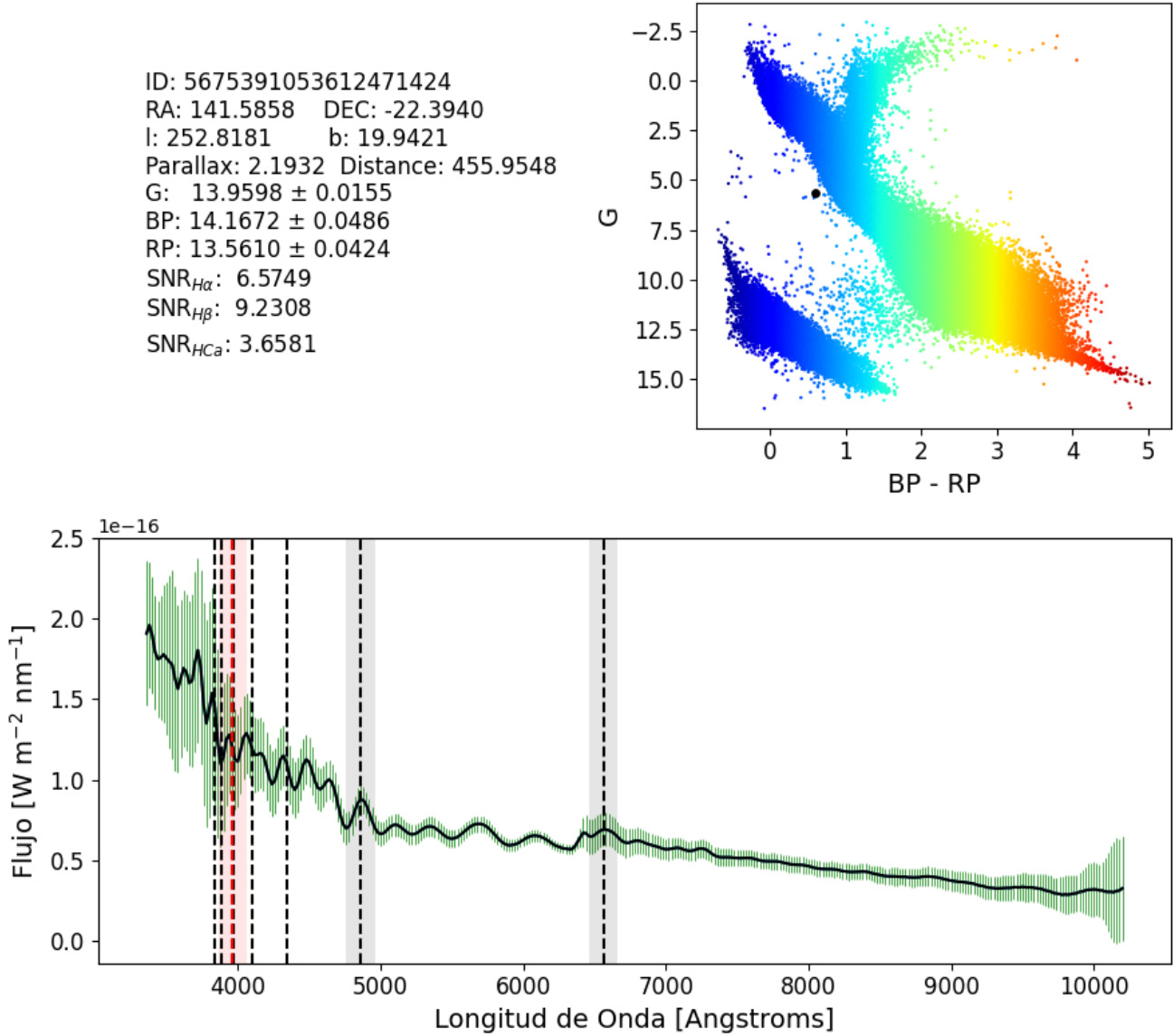


Figura A.14: YY Hya, clasificada por Simbad como RR Lyrae

A.3. Sistemas desconocidos

Finalmente, se identificaron 8 objetos más que no habían sido clasificados aún en Simbad, pero, gracias a la forma de su espectro, se categorizaron como candidatos a CVs. Los nombres de estos sistemas son: *Gaia* DR3 2970865991458426496, *Gaia* DR3 4188707163699348992, *Gaia* DR3 4241466610679232384, *Gaia* DR3 4871564838717706368, *Gaia* DR3 5260430146906778624, *Gaia* DR3 5640902230009539328, *Gaia* DR3 6506460563895716480 y *Gaia* DR3 6592029162973276032. A continuación se muestran sus espectros.

ID: 4188707163699348992
RA: 297.1156 DEC: -13.2927
l: 27.1596 b: -18.5503
Parallax: 3.4791 Distance: 287.4307
G: 13.9931 ± 0.0395
BP: 14.3790 ± 0.1488
RP: 13.4251 ± 0.1037
SNR_{H α} : 3.4604
SNR_{H β} : 4.5456
SNR_{H γ} : 1.8019

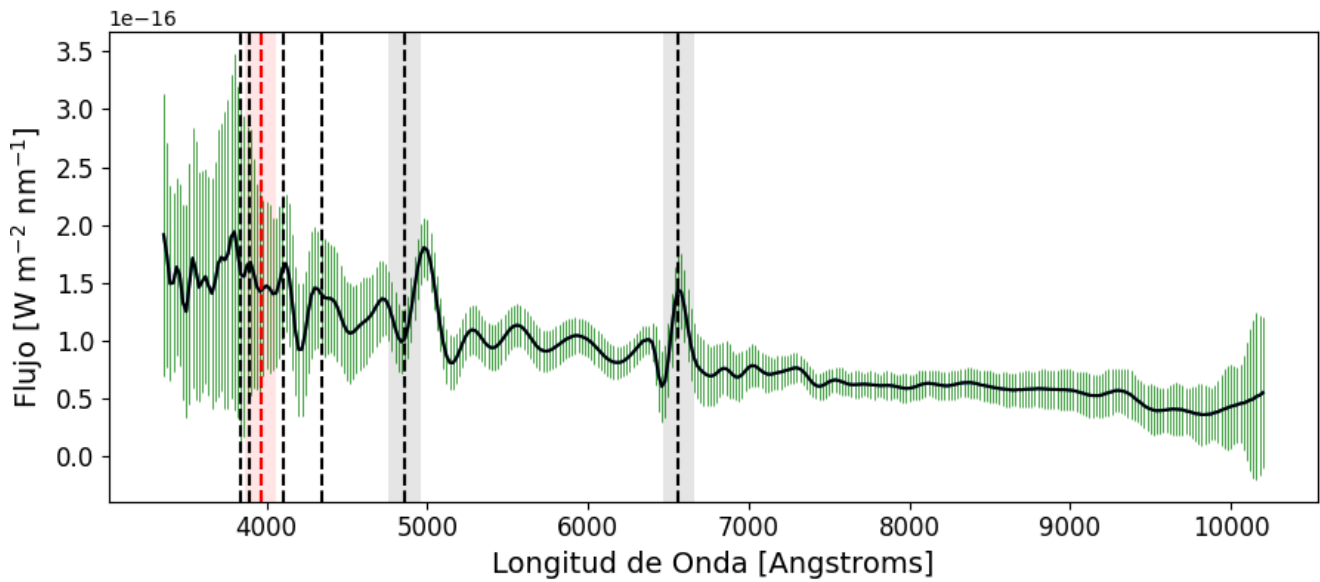
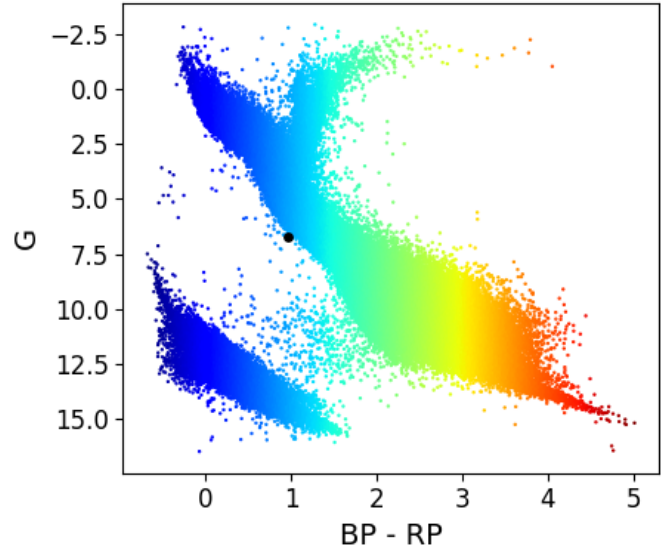


Figura A.15: *Gaia* DR3 4188707163699348992

ID: 5260430146906778624
RA: 96.3740 DEC: -76.8040
l: 288.0698 b: -27.8327
Parallax: 1.2033 Distance: 831.0480
G: 14.8037 ± 0.0136
BP: 15.1567 ± 0.0459
RP: 14.2312 ± 0.0343
SNR_{H α} : 8.1606
SNR_{H β} : 10.1374
SNR_{H γ} : 2.9855

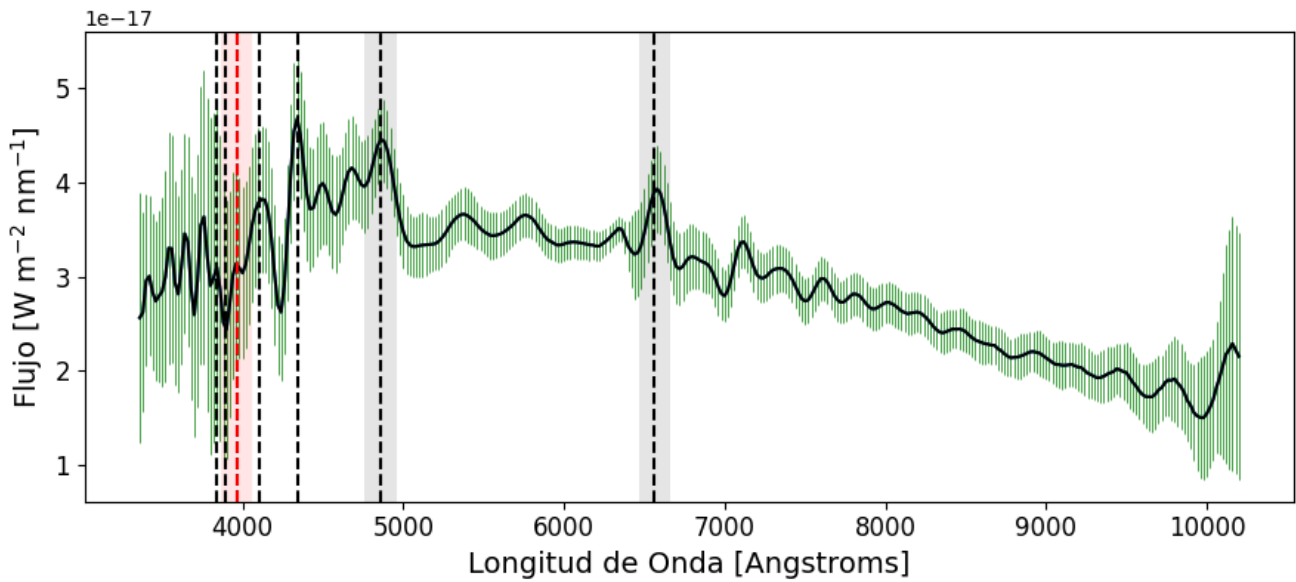
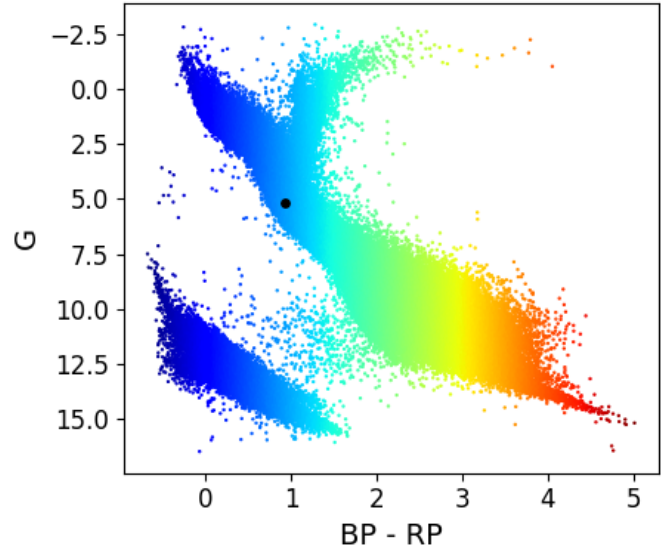


Figura A.16: *Gaia* DR3 5260430146906778624

ID: 5640902230009539328
RA: 133.0352 DEC: -31.9187
l: 255.1212 b: 7.9686
Parallax: 1.4964 Distance: 668.2705
G: 14.4362 ± 0.0170
BP: 14.6218 ± 0.0584
RP: 13.9906 ± 0.0400
SNR_{H α} : 7.4128
SNR_{H β} : 11.0608
SNR_{H γ} : 4.6311

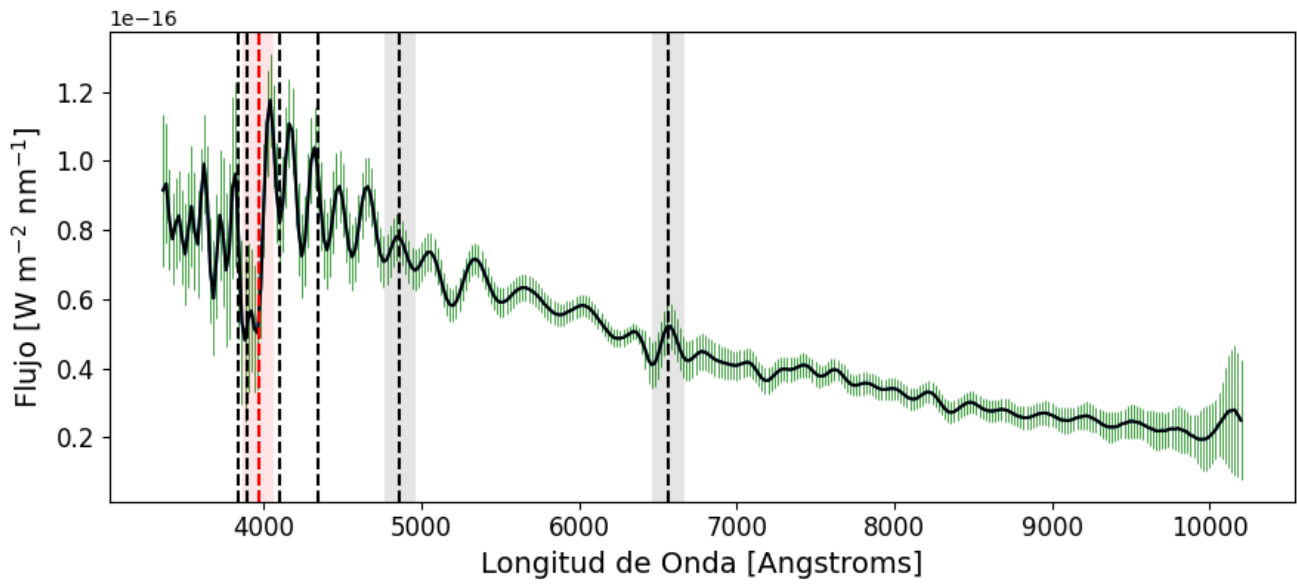
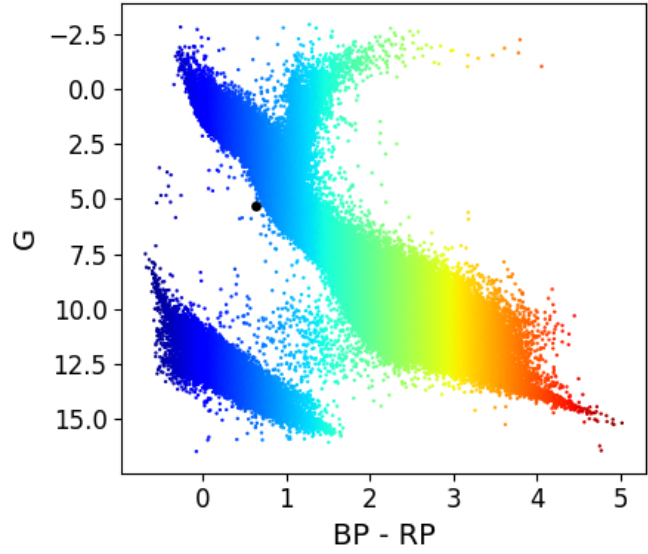


Figura A.17: *Gaia* DR3 5640902230009539328

ID: 4241466610679232384
RA: 297.5696 DEC: 2.4800
l: 41.9979 b: -11.8911
Parallax: 0.7988 Distance: 1251.8778
G: 14.7036 ± 0.0034
BP: 14.6032 ± 0.0174
RP: 13.8684 ± 0.0179
SNR_{H α} : 4.0820
SNR_{H β} : 11.3057
SNR_{H γ} : 2.1727

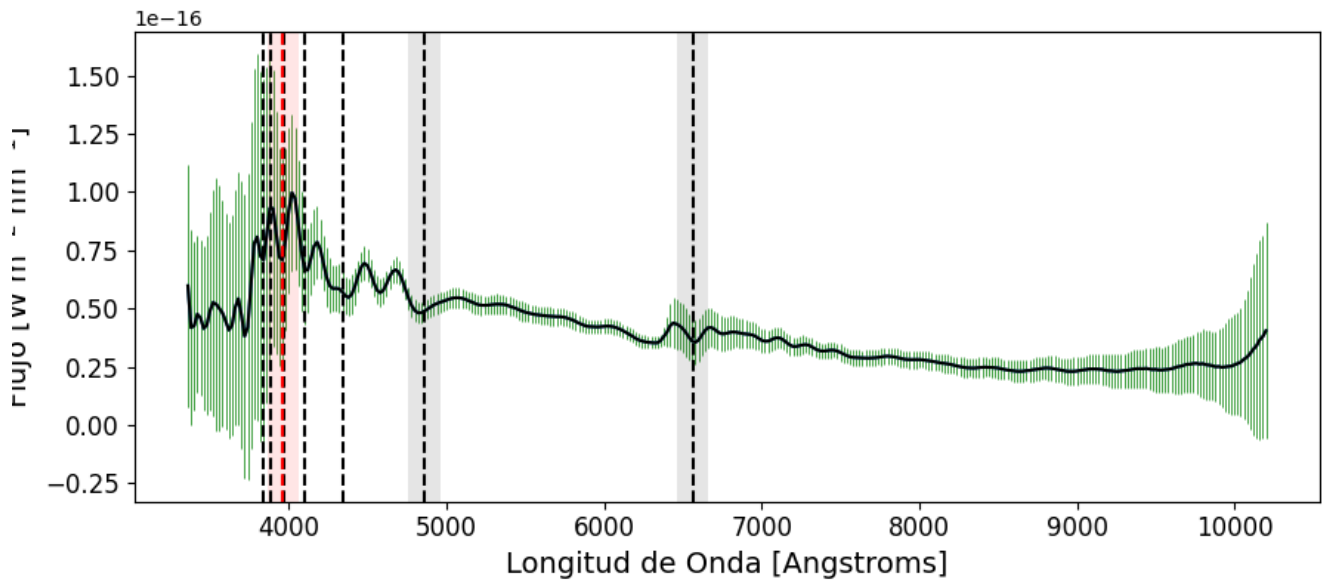
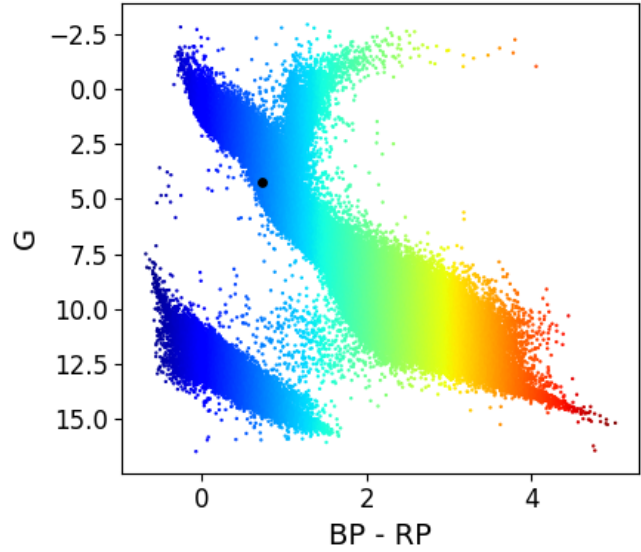


Figura A.18: *Gaia* DR3 4241466610679232384

ID: 2970865991458426496
RA: 86.9724 DEC: -17.0986
l: 221.7351 b: -21.5262
Parallax: 2.2084 Distance: 452.8165
G: 14.3136 ± 0.0028
BP: 14.6687 ± 0.0052
RP: 13.3887 ± 0.0054
SNR_{H α} : 8.7878
SNR_{H β} : 20.4522
SNR_{H γ} : 3.5388

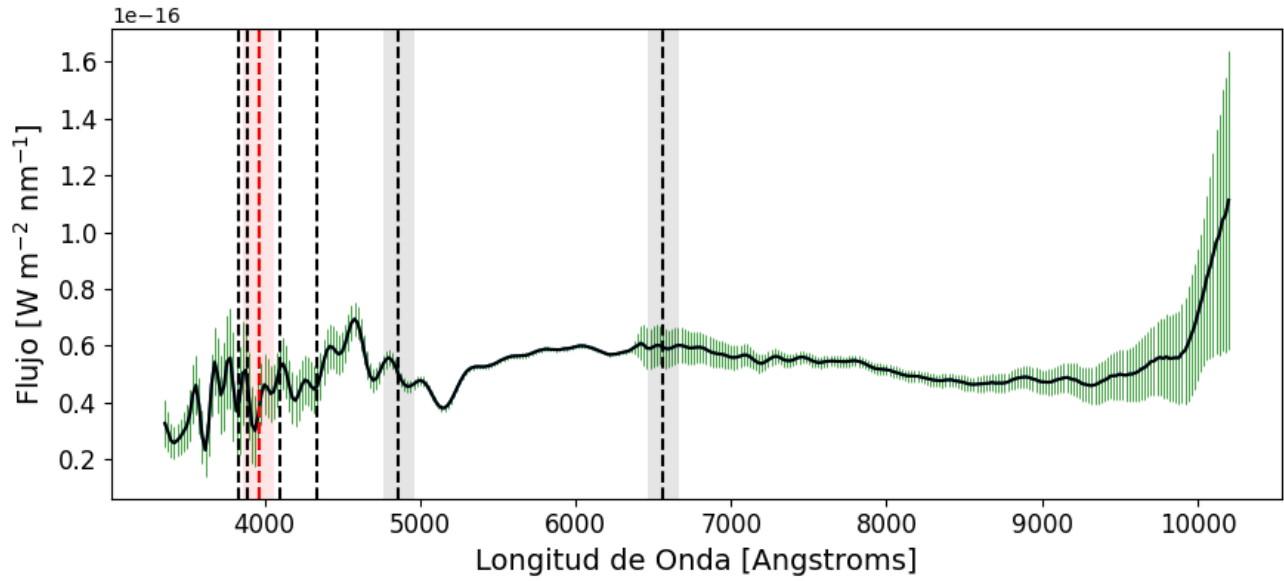
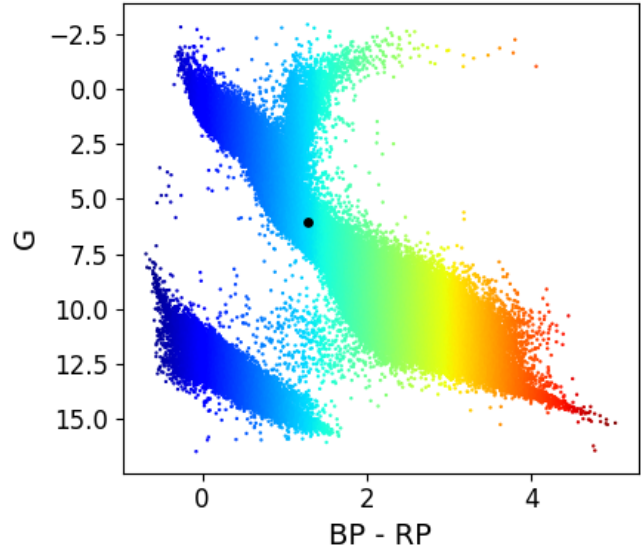


Figura A.19: *Gaia* DR3 2970865991458426496

ID: 4871564838717706368
RA: 67.8596 DEC: -32.9086
l: 233.9298 b: -42.5551
Parallax: 3.1030 Distance: 322.2688
G: 14.5384 ± 0.0039
BP: 14.9425 ± 0.0474
RP: 13.5109 ± 0.0246
SNR_{H α} : 10.8287
SNR_{H β} : 8.8933
SNR_{H γ} : 1.8858

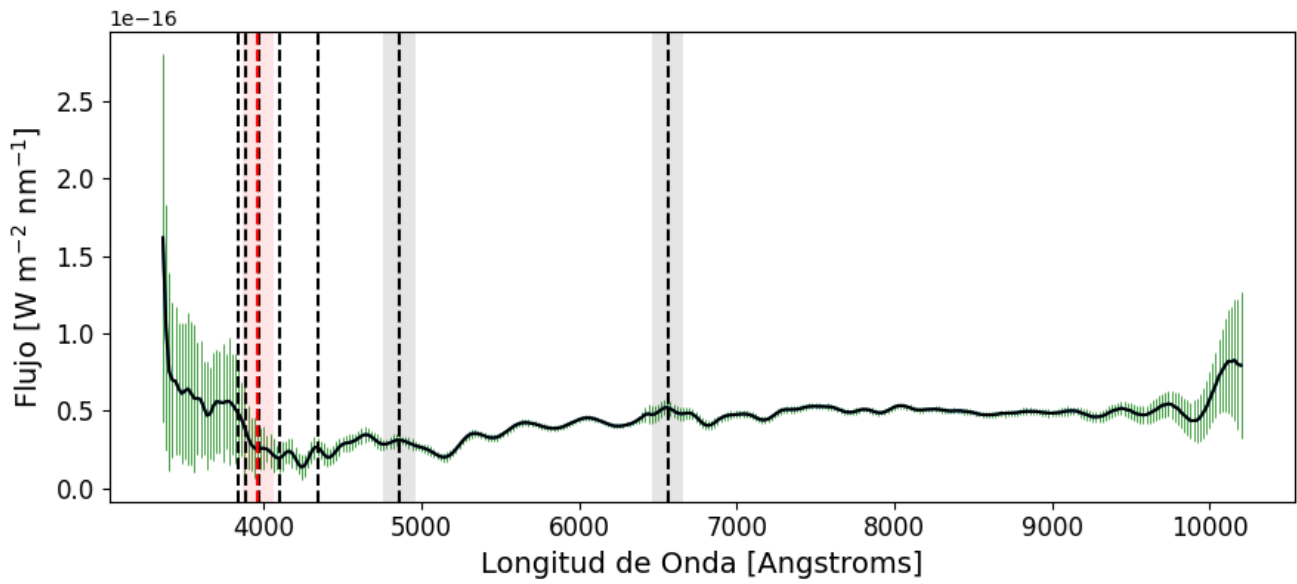
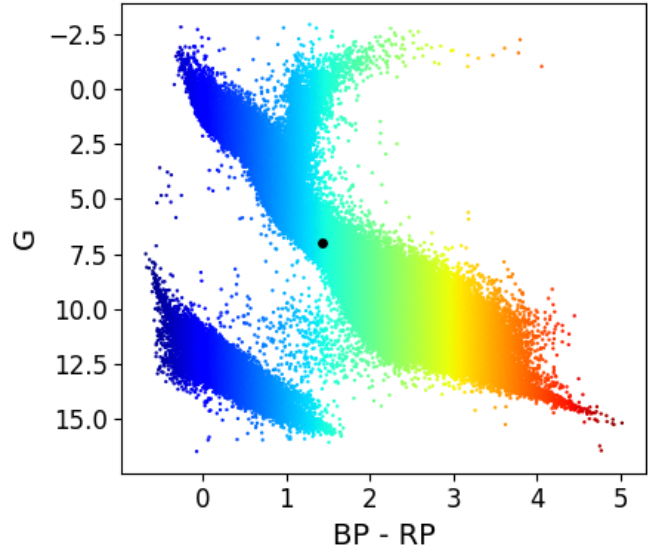


Figura A.20: *Gaia* DR3 4871564838717706368

ID: 6506460563895716480
RA: 342.4710 DEC: -53.8440
l: 334.4582 b: -55.1960
Parallax: 1.4167 Distance: 705.8657
G: 13.7150 ± 0.0039
BP: 13.5810 ± 0.0059
RP: 12.9380 ± 0.0063
SNR_{H α} : 8.8932
SNR_{H β} : 10.5641
SNR_{H γ} : 5.0856

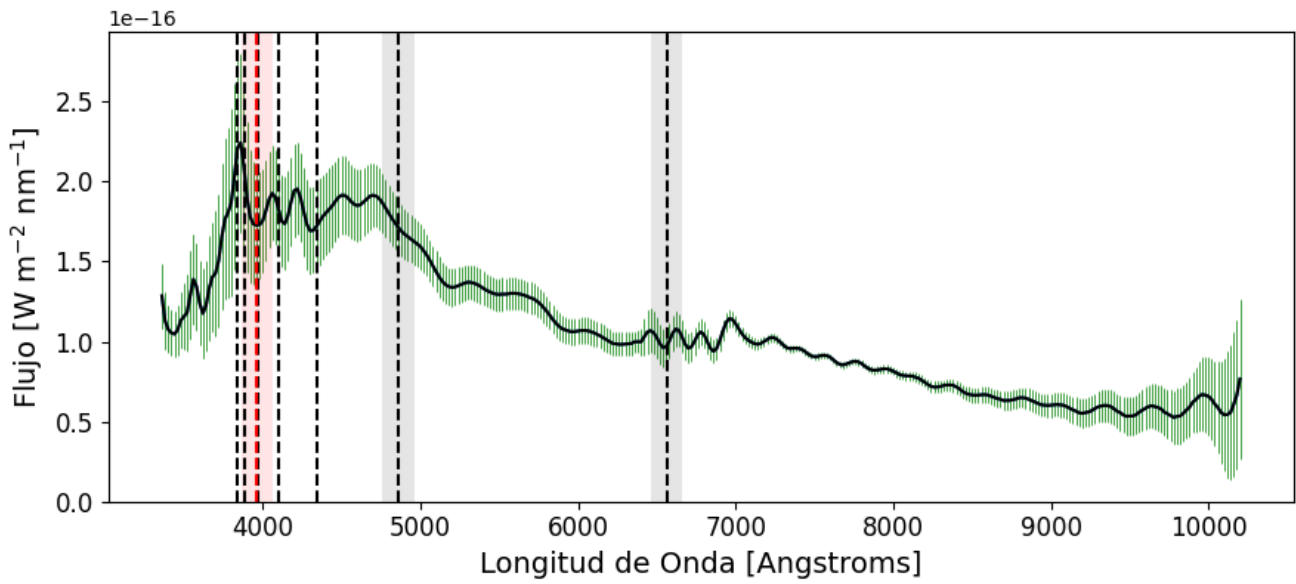
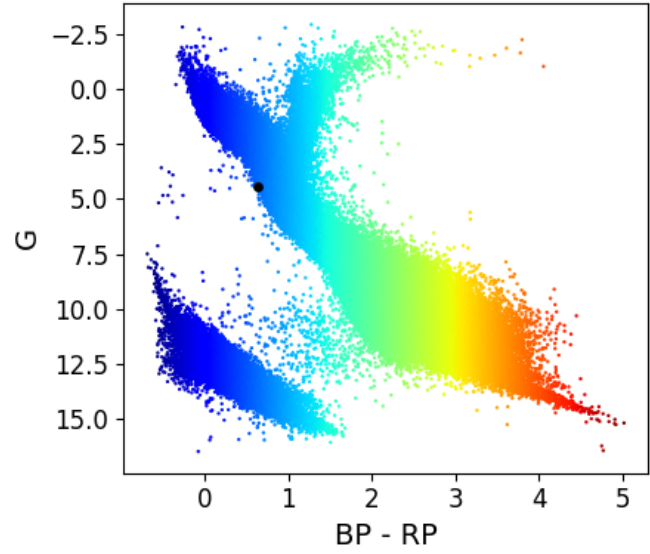


Figura A.21: *Gaia* DR3 6506460563895716480

ID: 6592029162973276032
RA: 327.4783 DEC: -32.3174
l: 14.1020 b: -50.5391
Parallax: 1.8767 Distance: 532.8502
G: 14.2639 ± 0.0028
BP: 14.4362 ± 0.0323
RP: 13.3410 ± 0.0266
SNR_{H α} : 6.3719
SNR_{H β} : 37.7542
SNR_{H γ} : 5.9383

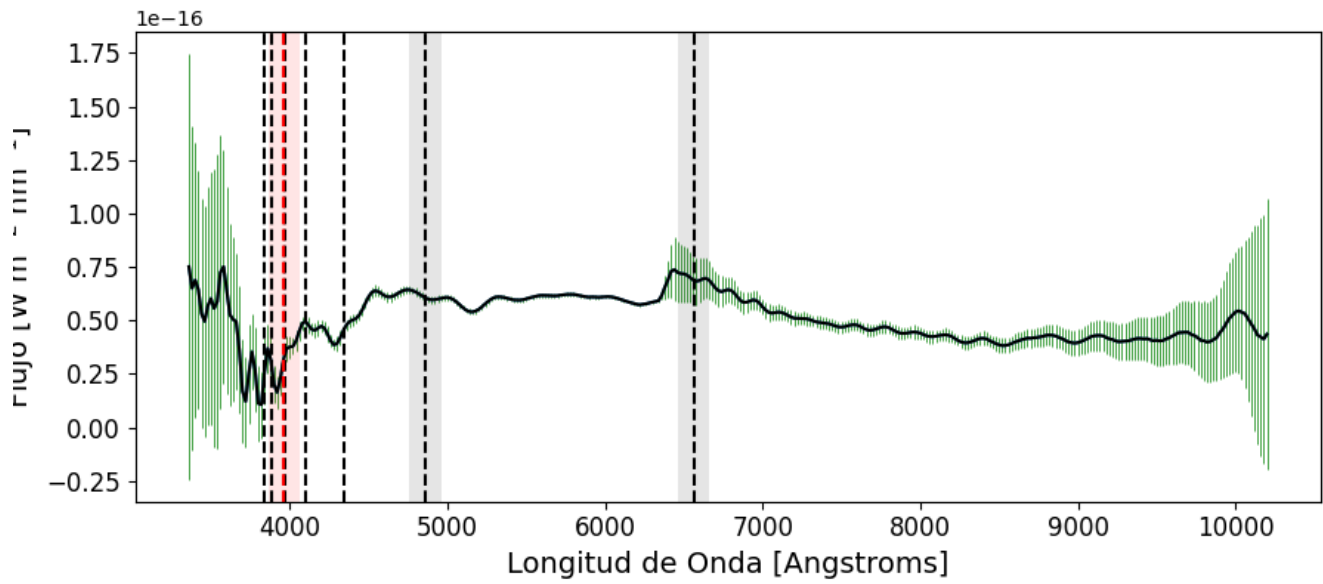
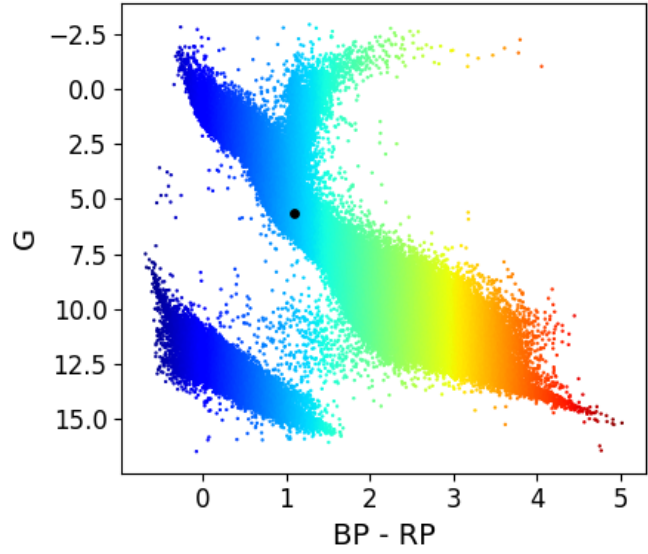


Figura A.22: *Gaia* DR3 6592029162973276032

Bibliografía

- Andronov N., Pinsonneault M., Sills A., 2003, [ApJ](#), 582, 358
- Barrett P., Dieck C., Beasley A. J., Mason P. A., Singh K. P., 2020, [Advances in Space Research](#), 66, 1226
- Bath G. T., 1985, [Reports on Progress in Physics](#), 48, 483
- Bergeron P., Wesemael F., Beauchamp A., 1995, [PASP](#), 107, 1047
- Bruch A., 2016, [New Astron.](#), 46, 60
- Bruch A., 2017, [New Astron.](#), 52, 112
- Buder S., et al., 2021, [MNRAS](#), 506, 150
- Carrasco J. M., et al., 2021, [A&A](#), 652, A86
- Cropper M., 1990, [Space Sci. Rev.](#), 54, 195
- De Angeli F., et al., 2023, [A&A](#), 674, A2
- Diaz M. P., Hubeny I., 1999, [ApJ](#), 523, 786
- Downes R. A., Webbink R. F., Shara M. M., Ritter H., Kolb U., Duerbeck H. W., 2001, [PASP](#), 113, 764
- Drake A. J., et al., 2014, [ApJS](#), 213, 9
- Drake A. J., et al., 2017, [MNRAS](#), 469, 3688
- Eggleton P. P., 1983, [ApJ](#), 268, 368
- Engle S. G., Sion E. M., 2005, [PASP](#), 117, 1230
- Ferrario L., 1996, [Publ. Astron. Soc. Australia](#), 13, 87

Flannery B. P., 1975, [ApJ](#), **201**, 661

Gaia Collaboration 2022, VizieR Online Data Catalog, p. I/358

Gaia Collaboration et al., 2016, [A&A](#), **595**, A1

Gaia Collaboration et al., 2021, [A&A](#), **649**, A1

Gänsicke B. T., et al., 2009, [MNRAS](#), **397**, 2170

Gautschy A., Saio H., 1995, [ARA&A](#), **33**, 75

Gehrz R. D., Truran J. W., Williams R. E., Starrfield S., 1998, [PASP](#), **110**, 3

Geier S., Raddi R., Gentile Fusillo N. P., Marsh T. R., 2019, [A&A](#), **621**, A38

Gentile Fusillo N. P., Gänsicke B. T., Greiss S., 2015, [MNRAS](#), **448**, 2260

Gettel S. J., Geske M. T., McKay T. A., 2006, [AJ](#), **131**, 621

Hall D. S., 1976, in Fitch W. S., ed., *Astrophysics and Space Science Library Vol. 60*, IAU Colloq. 29: Multiple Periodic Variable Stars. p. 287, [doi:10.1007/978-94-010-1175-4_15](#)

Hameury J. M., 2020, [Advances in Space Research](#), **66**, 1004

Hameury J.-M., Menou K., Dubus G., Lasota J.-P., Hure J.-M., 1998, [MNRAS](#), **298**, 1048

Harrison T. E., 2016, [ApJ](#), **833**, 14

Harrop-Allin M. K., Cropper M., Hakala P. J., Hellier C., Ramseyer T., 1999, [MNRAS](#), **308**, 807

Hartigan P., 1993, [AJ](#), **105**, 1511

Heinze A. N., et al., 2018, [AJ](#), **156**, 241

Hellier C., 2001, *Cataclysmic Variable Stars*

Hou W., et al., 2015, [MNRAS](#), **449**, 1401

Inight K., Gänsicke B. T., Breedt E., Marsh T. R., Pala A. F., Raddi R., 2021, [MNRAS](#), **504**, 2420

Jordi C., et al., 2006, [MNRAS](#), **367**, 290

Kawaler S. D., 1988, [ApJ](#), **333**, 236

Kilkenny D., Worters H. L., O'Donoghue D., Koen C., Koen T., Hambly N., MacGillivray H., Stobie R. S., 2016, [MNRAS](#), **459**, 4343

Knigge C., 2006, [MNRAS](#), **373**, 484

Knigge C., Baraffe I., Patterson J., 2011, [ApJS](#), **194**, 28

Lagioia E. P., Dalessandro E., Ferraro F. R., Salaris M., Lanzoni B., Pietrinferni A., Cassisi S., 2015, [ApJ](#), **800**, 52

Long K. S., Froning C. S., Knigge C., Blair W. P., Kallman T. R., Ko Y.-K., 2005, [ApJ](#), **630**, 511

Lubow S. H., Shu F. H., 1975, [ApJ](#), **198**, 383

Mestel L., 1968, [MNRAS](#), **138**, 359

Mestel L., Spruit H. C., 1987, [MNRAS](#), **226**, 57

Mobberley M., 2009, Cataclysmic Cosmic Events and How to Observe Them

Morris B. M., 2020, [ApJ](#), **893**, 67

Nelemans G., Siess L., Repetto S., Toonen S., Phinney E. S., 2016, [ApJ](#), **817**, 69

O'Donoghue D., Kilkenney D., Koen C., Hambly N., MacGillivray H., Stobie R. S., 2013, [MNRAS](#), **431**, 240

Oláh K., et al., 2009, [A&A](#), **501**, 703

Oliveira A. S., Rodrigues C. V., Cieslinski D., Jablonski F. J., Silva K. M. G., Almeida L. A., Rodríguez-Ardila A., Palhares M. S., 2017, [AJ](#), **153**, 144

Ortiz R., Guerrero M. A., Costa R. D. D., 2019, [MNRAS](#), **482**, 4697

Osaki Y., 1996, [PASP](#), **108**, 39

Paczynski B., 1967, *Acta Astron.*, **17**, 287

Paczynski B., 1971, [ARA&A](#), **9**, 183

Page K. L., Shaw A. W., 2022, in , *Handbook of X-ray and Gamma-ray Astrophysics*. p. 107, [doi:10.1007/978-981-16-4544-0_106-1](#)

Pala A. F., et al., 2020, [MNRAS](#), **494**, 3799

Pass E. K., Winters J. G., Charbonneau D., Irwin J. M., Medina A. A., 2023, [AJ](#), **166**, 16

Patterson J., 1994, [PASP](#), **106**, 209

Pawlak M., et al., 2016, [Acta Astron.](#), **66**, 421

Prša A., et al., 2022, [ApJS](#), **258**, 16

Rappaport S., Verbunt F., Joss P. C., 1983, [ApJ](#), **275**, 713

Schaefer B. E., 2010, [ApJS](#), **187**, 275

Smith R. C., 2007, [arXiv e-prints](#), pp astro-ph/0701654

Sun Q.-B., Qian S.-B., Zhu L.-Y., Liao W.-P., Zhao E.-G., Li F.-X., Shi X.-D., Li M.-Y., 2023, [arXiv e-prints](#), p. [arXiv:2309.11033](#)

Sun Q.-B., Qian S.-B., Zhu L.-Y., Liao W.-P., Zhao E.-G., Li F.-X., Shi X.-D., Li M.-Y., 2024, [arXiv e-prints](#), p. [arXiv:2401.08162](#)

Thoroughgood T. D., et al., 2005, [MNRAS](#), **357**, 881

Tolosa O., et al., 2023, [The Messenger](#), **190**, 4

Townsley D. M., Gänsicke B. T., 2009, [ApJ](#), **693**, 1007

Verbunt F., Zwaan C., 1981, [A&A](#), **100**, L7

Warner B., 1995, Cataclysmic variable stars. Vol. 28

Wolf W. M., Bildsten L., Brooks J., Paxton B., 2013, [ApJ](#), **777**, 136

de Jong R., 2011, [The Messenger](#), **145**, 14