



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
DIRECCIÓN DE POSGRADO

# “Buscando DPVs en Dirección al Bulbo de la Galaxia”

*“Searching DPV Phenomenon Toward The Galactic Bulge”*



por  
**Gonzalo Ignacio Rojas García**  
Supervisor: Dr. Ronald Mennickent Cid

Tesis para optar al grado académico de  
Magíster en Ciencias con mención en Física

Universidad de Concepción  
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas  
Departamento de Física

Junio, 2019  
Concepción, Chile

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.





## Agradecimientos

*No puedo partir estos agradecimientos de una forma distinta, debo partir reconociendo mi infinita gratitud a las personas que me han acompañado no solo a través de este proceso, si no también a lo largo de mi vida entera, mis padres Jacqueline y Carlos. Fueron ellos quienes inculcaron en mi el afán por el saber y la exploración del conocimiento humano como una de mis primeras enseñanzas de vida. Sin ellos, no estaría ni cerca de donde he podido llegar, representan para mi la lucha incesante frente a un sistema que nos dificulta el surgir, pero al cual debemos enfrentar con la cabeza en alto, y con objetivos claros y puros. Junto a ellos, mis dos hermanos, Carla y Esteban, quienes representan para mi ejemplos de lucha y perseverancia frente a las adversidades y la vida en general, gracias por escucharme y aconsejarme, por contenerme y confiar ciegamente en mi, por estar ahí cuando la motivación se iba y le daba paso al agotamiento, con un consejo certero, o simplemente siendo un oyente que no cuestiona.*

*Por otra parte, quiero además agradecer a mi profesor guía, Dr. Ronald Mennickent, quien me recibió en su grupo de investigación y me planteó la posibilidad de aproximarme a la academia de a poco, con paciencia y constancia, le agradezco por guiarme con sus conocimientos a un objetivo claro e interesante. Quiero agradecer también a alguien muy especial en mi vida, a Robertina, quien desde el silencio y de forma desinteresada, me entregó mucho, fué ella quien me regaló mis primeros libros, mi primer telescopio. Gracias por ser parte de mi vida y entregarme la posibilidad de aprender siempre cosas nuevas. Gracias por estar de forma incondicional junto a mi a lo largo de los años. Por último y no menos importante, a todos aquellos que han llegado a enseñarme sobre la vida y sobre la ciencia, a cada docente que me mostró que su labor es única y sin igual, enseñandome a través de su pasión por el conocimiento lo que debí aprender para llegar hasta acá. A mis amigos, seres indiscutiblemente imprescindibles en mi vida, quienes me escucharon y alentaron a cumplir mis objetivos, cada uno con su forma, pero todos desde el cariño y el afecto, me han enseñado y ayudado a construir la persona que soy en el presente. Gracias a todos por estar. Gracias a la cadena completa que me antecede en el árbol genealógico, que representan para mi el pasado, el presente y el futuro de una forma transitoria, pero que sin ellos, seres hoy anónimos, sería imposible mi existencia y junto con ella la posibilidad de explorar el cosmos. En fin, agradezco a quienes han estado, estuvieron, y estarán en mi vida para enseñarme cosas buenas e interesantes sobre el ser y la ciencia, para hacer de la experiencia de vivir algo que valga la pena.*

Gonzalo Rojas García  
Concepción, Junio 2019.

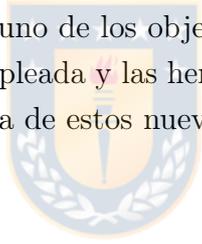
# Resumen

En este trabajo, se presenta el hallazgo de 34 nuevos objetos binarios de la categoría variables de doble periodo (DPV) en dirección al centro de la Vía Láctea, a través de series de tiempo de la cuarta generación del proyecto OGLE. Las nuevas DPVs se concentran en una zona bastante densa de observar desde la tierra, en dirección al bulbo galáctico. Las nuevas DPVs encontradas se encuentran en un rango de periodos orbitales de entre  $\sim 1,023 - 25,744$  días. Los periodos largos reportados se encuentran entre  $\sim 33 - 1144$  días. De esta forma, la cantidad de DPVs conocidas en la galaxia, que era de 26 objetos, aumenta a 60 Objetos, aumentando en un 130% el número de DPVs conocidas en la galaxia, y encontrando además objetos en una dirección nunca estudiada anteriormente para estos efectos. De los 34 objetos, 33 de ellos están catalogados como binarias eclipsantes y uno como binaria con variación elipsoidal.

Para cada objeto, se presentan sus curvas de luz compuestas por ambas componentes periódicas, como también la deconvolución de las curvas de luz en sus dos componentes periódicas, tanto orbital, como la que refiere al periodo largo.

Se añaden además datos de la misión Gaia con el objetivo de incorporar observables astrométricas y fotométricas a cada uno de los objetos encontrados en esta búsqueda.

Además, se ilustra la metodología empleada y las herramientas estadísticas y matemáticas que se implementaron en la búsqueda de estos nuevos objetos.



**Keywords** – Binary star, DPV, light curve, Catalog

# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Estrellas variables . . . . .	2
1.1.1. Variables Extrínsecas . . . . .	3
1.1.1.1. Variables del tipo Algol . . . . .	4
1.1.1.2. Variables del tipo $\beta$ lyrae . . . . .	4
1.1.1.3. Variables del tipo W Ursa Majoris . . . . .	4
1.1.2. Variables Intrínsecas . . . . .	5
1.1.2.1. Variables Pulsantes . . . . .	5
1.1.2.2. Variables Eruptivas . . . . .	5
1.1.2.3. Variables Cataclísmicas . . . . .	5
<b>2. Estrellas Binarias</b>	<b>6</b>
2.1. Tipos de sistemas Binarios . . . . .	6
2.1.1. Binarias Visuales . . . . .	7
2.1.2. Binarias Astrométricas . . . . .	7
2.1.3. Binarias Eclipsantes . . . . .	7
2.1.4. Binarias Espectroscópicas . . . . .	7
2.2. Evolución de Sistemas Binarios . . . . .	8
2.2.1. Potencial de Roche . . . . .	8
2.2.2. Transferencia de Masa . . . . .	11
2.2.2.1. Transferencia de Masa Conservativa . . . . .	12
2.2.2.2. Transferencia de Masa no Conservativa . . . . .	13
<b>3. Variables de Doble Periodo</b>	<b>13</b>
3.1. Configuración Física . . . . .	13
3.2. Curva de Luz . . . . .	14
3.3. Periodo . . . . .	15
3.3.1. Ciclo largo . . . . .	16
<b>4. Marco Teórico: Análisis de Señales</b>	<b>17</b>
4.1. Series de tiempo . . . . .	17
4.2. Series de tiempo Periódicas . . . . .	18
4.3. Periodograma de Lomb-Scargle . . . . .	19
4.4. Teorema de Muestro de Nyquist-Shannon . . . . .	19
4.5. Minimización de Dispersión de la Fase . . . . .	20
<b>5. El Catálogo</b>	<b>21</b>
5.1. Especificaciones Técnicas y Observaciones . . . . .	21
5.2. Binarias Eclipsantes . . . . .	22
5.2.1. Periodos . . . . .	22
<b>6. Metodología: Búsqueda de DPVs</b>	<b>24</b>
6.1. Selección por Índice de color . . . . .	24
6.2. Selección por relación entre periodos. . . . .	25
6.2.1. Metodología. . . . .	25

<b>7. Análisis</b>	<b>30</b>
7.1. DPVs Encontradas . . . . .	31
7.1.1. OGLE-BLG-ECL-022295 . . . . .	31
7.1.2. OGLE-BLG-ECL-022845 . . . . .	32
7.1.3. OGLE-BLG-ECL-026467 . . . . .	32
7.1.4. OGLE-BLG-ECL-026993 . . . . .	33
7.1.5. OGLE-BLG-ECL-029922 . . . . .	33
7.1.6. OGLE-BLG-ECL-030962 . . . . .	34
7.1.7. OGLE-BLG-ECL-058684 . . . . .	34
7.1.8. OGLE-BLG-ECL-062890 . . . . .	35
7.1.9. OGLE-BLG-ECL-072154 . . . . .	35
7.1.10. OGLE-BLG-ECL-076504 . . . . .	36
7.1.11. OGLE-BLG-ECL-083987 . . . . .	36
7.1.12. OGLE-BLG-ECL-101353 . . . . .	37
7.1.13. OGLE-BLG-ECL-116536 . . . . .	37
7.1.14. OGLE-BLG-ECL-132549 . . . . .	38
7.1.15. OGLE-BLG-ECL-137478 . . . . .	38
7.1.16. OGLE-BLG-ECL-143267 . . . . .	39
7.1.17. OGLE-BLG-ECL-184474 . . . . .	39
7.1.18. OGLE-BLG-ECL-186594 . . . . .	40
7.1.19. OGLE-BLG-ECL-189682 . . . . .	40
7.1.20. OGLE-BLG-ECL-196052 . . . . .	41
7.1.21. OGLE-BLG-ECL-198013 . . . . .	41
7.1.22. OGLE-BLG-ECL-201730 . . . . .	42
7.1.23. OGLE-BLG-ECL-210744 . . . . .	42
7.1.24. OGLE-BLG-ECL-216305 . . . . .	43
7.1.25. OGLE-BLG-ECL-222537 . . . . .	43
7.1.26. OGLE-BLG-ECL-271003 . . . . .	44
7.1.27. OGLE-BLG-ECL-275974 . . . . .	44
7.1.28. OGLE-BLG-ECL-279247 . . . . .	45
7.1.29. OGLE-BLG-ECL-307730 . . . . .	45
7.1.30. OGLE-BLG-ECL-327914 . . . . .	46
7.1.31. OGLE-BLG-ECL-328103 . . . . .	46
7.1.32. OGLE-BLG-ECL-331967 . . . . .	47
7.1.33. OGLE-BLG-ECL-369067 . . . . .	47
7.1.34. OGLE-BLG-ELL-024487 . . . . .	48
<b>8. Discusión</b>	<b>53</b>
8.1. Distribución Periodos . . . . .	53
8.2. Paralajes de Gaia Data Release 2 . . . . .	54
8.2.1. Distancias . . . . .	56
<b>9. Conclusión</b>	<b>59</b>
<b>Referencias</b>	<b>61</b>

# Índice de figuras

1.1.	Clasificación fenomenológica de la curva de luz de sistemas binarios dada por <i>General Catalogue of Variable Stars</i> . Imagen desde Hilditch (2001). . . . .	3
6		
2.1.	En la figura se pueden ver tres casos distintos de sistemas binarios según la proximidad de sus componentes. Imágen superior es un sistema binario separado, la de en medio uno semi separado y en la inferior un sistema binario de contacto. . . . .	9
2.2.	La figura de la izquierda es la configuración de dos masas puntuales y la partícula de prueba de masa $m$ . La figura de la derecha es la proyección del Potencial de Roche sobre el plano de rotación del sistema binario. . . . .	11
2.3.	En la figura se ilustra como cambia el radio de una estrella de $7 M_{\odot}$ a lo largo de su evolución. Imagen de Hilditch (2001). . . . .	11
3.1.	Curvas de fase para cuatro DPV galácticas observadas con el telescopio REM, Michalska et al. (2010). . . . .	14
3.2.	Relación entre el periodo orbital y el periodo largo. Los puntos verdes son las DPVs galácticas especificadas en la tabla. La línea negra solida es una interpolación polinomial de primer orden descrita por la ecuación 3.2. La línea negra segmentada es la relación publicada por Mennickent et al. (2016). . . . .	16
5.1.	En la figura se muestra la banda cubierta por cada uno de los filtros (I y V) en términos de la longitud de onda y la transmisión de estos. Por otra parte, se ilustra la eficiencia cuántica del CCD del telescopio en azul, que guarda relación con la respuesta o sensibilidad del detector a fotones con una longitud de onda dada. . . . .	22
5.2.	Campos observados por OGLE hacia el bulbo de la galaxia. En rojo, y amarillo, los con mayor densidad de observaciones. . . . .	23
5.3.	En el gráfico de la izquierda, se observa un histograma con la distribución de los periodos entre 0 y 20 días. El ancho de cada barra es de 0.25 días. En la figura de la derecha, se observa la misma distribución, pero en una región más acotada de periodos. Este histograma contiene los sistemas binarios eclipsantes con periodo entre 0 a 5 días. El ancho de cada barra es de 0,0625 días. . . . .	23
6.1.	Gráfico color-magnitud de 376.575 estrellas binarias eclipsantes. En rojo, se especifican las rectas $V - I = 0,6$ y $V = 19$ . . . . .	24
6.2.	Histogramas de periodos para las variables eclipsantes que cumplen $I - V < 0,6$ y $V < 19$ . El histograma de la derecha agrupa los periodos entre 0 y 5 días, el que esta en el centro contiene a aquellas con periodo de 0 a 10 días, y el de la derecha, a la mayoría de las variables del catalogo, con periodos entre 0 a 20 días. Cada histograma se divide en 80 barras. . . . .	25
6.3.	En la figura, se ilustra la región que contiene a la mayoría de DPVs. . . . .	26
6.4.	Datos observados para V393 Sco (ASAS 174848-3503.4 Light Curve (asas3)). . . . .	26
6.5.	Curva de fase para V393 Sco (ASAS 174848-3503.4 Light Curve (asas3)). . . . .	27
6.6.	Periodograma de V393 Sco. La zona oscura es aquella en la que se busca la segunda periodicidad. El primero de ellos, corresponde al periodograma de la curva de luz observada, mientras que el gráfico inferior corresponde al periodograma de la curva residual del mismo objeto (despues de la extracción del periodo orbital). . . . .	28

6.7.	Armónicos utilizados para la representación de Fourier de la curva de luz del objeto V393 Sco. Estos son sustraídos de la curva de fase para dar como resultado la curva de residuales en donde se buscará el periodo largo. . .	28
6.8.	Detalle de la zona anteriormente señalada en la figura 6.6. . . . .	29
6.9.	Periodograma en la vecindad de 250 días. . . . .	29
7.1.	Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-022295. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 14.6789874 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 14.6789874 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 470 días. . . . .	31
7.2.	Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-022845. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 19,7177919 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 19,7177919 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 602,436566743 días. . . . .	32
7.3.	Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-026467. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 20.7807341 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 20.7807341 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 670.0001407 días. . . . .	32
7.4.	Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-026993. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 14.7611964 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 14.7611964 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 403 días. . . . .	33
7.5.	Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-029922. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 8.1078649 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 8.1078649 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 310.88 días. . . . .	33
7.6.	Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-030962. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 14.8848862 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 14.8848862 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 481.94534 días. . . . .	34
7.7.	Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-058684. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 21.7015584 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 21.7015584 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 874.628 días. . . . .	34
7.8.	Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-062890. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 16.6604468 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 16.6604468 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 574.8861739717397 días. . . . .	35

- 7.9. Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-072154. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 15.0488385 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 15.0488385 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 474.15526 días. . . . . 35
- 7.10. Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-076504. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 3.1965846 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 3.1965846 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 93.051837 días. . . . . 36
- 7.11. Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-083987. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 11.0174396 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 11.0174396 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 235.65312087 días. . . . . 36
- 7.12. Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-101353. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 12.9961812 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 12.9961812 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 431.36740112 días. . . . . 37
- 7.13. Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-116536. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 7.7123580 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 7.7123580 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 254 días. . . . . 37
- 7.14. Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-132549. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 12.1764178 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 12.1764178 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 429.16830444 días. . . . . 38
- 7.15. Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-137478. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 21.4695003 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 21.4695003 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 760.8478476284763 días. . . . . 38
- 7.16. Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-143267. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 16.8048949 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 16.8048949 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 520 días. . . . . 39
- 7.17. Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-184474. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 18.6495489 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 18.6495489 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 563.9672241 días. . . . . 39

- 7.18. Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-186594. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 1.5922879 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 1.5922879 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 46.711420394 días. . . . . 40
- 7.19. Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-189682. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 17.2239420 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 17.2239420 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 576.686190172 días. . . . . 40
- 7.20. Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-196052. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 25.7449704 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 25.7449704 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 1144 días. . . . . 41
- 7.21. Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-198013. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 14.7999491 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 14.7999491 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 535.50581954 días. . . . . 41
- 7.22. Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-201730. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 9.4014574 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 9.4014574 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 286.79449707 días. . . . . 42
- 7.23. Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-210744. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 12.6001325 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 12.6001325 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 300 días. . . . . 42
- 7.24. Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-216305. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 1.0286325 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 1.0286325 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 33.3867 días. . . . . 43
- 7.25. Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-222537. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 15.2713046 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 15.2713046 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 417.4547571 días. . . . . 43
- 7.26. Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-271003. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 1.7187839 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 1.7187839 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 37.844249725 días. . . . . 44

7.27. Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-275974. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 18.1808100 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 18.1808100 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 540.47137451 días. . . . .	44
7.28. Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-279247. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 15.0530753 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 15.0530753 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 438.4898 días. . . . .	45
7.29. Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-307730. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 1.0232004 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 1.0232004 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 38.695 días. . . . .	45
7.30. Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-327914. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 19.4278065 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 19.4278065 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 697.5775 días. . . . .	46
7.31. Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-328103. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 14.0454250 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 14.0454250 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 421.146 días. . . . .	46
7.32. Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-331967. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 10.2939325 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 10.2939325 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 400 días. . . . .	47
7.33. Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-369067. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 24.7451678 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 24.7451678 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 934 días. . . . .	47
7.34. Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ELL-024487. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 19.1212376 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 19.1212376 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 607 días. . . . .	48
7.35. Diagrama Color-Magnitud para las DPVs encontradas (en rojo), adicionalmente, se presenta la DPV anteriormente encontrada (en azul), y de fondo los colores para el resto de las binarias del catálogo (gris). Las fuentes representadas en este diagrama estan afectadas por enrojecimiento.	51
7.36. Relación entre periodo cíclico y orbital para las 34 DPVs encontradas en este trabajo (puntos negros). Se muestran además las 24 DPVs desde Mennickent (2018). . . . .	52

8.1. Distribución de periodos orbitales para las 34 DPVs encontradas hacia el bulbo de la Vía Láctea, los periodos se ubican entre 1 y 26 días. En el histograma se ilustran 15 barras. . . . .	53
8.2. Distribución de periodos largos para las 34 DPVs encontradas hacia el bulbo de la Vía Láctea, los periodos se ubican entre 33 y 1144 días. En el histograma se ilustran 15 barras. . . . .	53
8.3. Distribución de la relación entre el periodo largo y el periodo orbital para las 34 DPVs encontradas. El histograma muestra razones desde 20 a 45.	54
8.4. Respuesta de los filtros utilizados en las observaciones de Gaia. En verde el filtro G, en azul el filtro $G_{BP}$ y en rojo el filtro $G_{RP}$ . Creditos:ESA/Gaia/DPAC, P. Montegriffo, F. De Angeli, C. Cacciari. . .	54
8.5. Diagrama Color-Magnitud con datos fotométricos de Gaia DR2. $G_{BP} - G_{RP}$ vs $G_{mean}$ . En la parte superior se ubican algunos tipos espectrales según el color $G_{BP} - G_{RP}$ . . . . .	56
8.6. Mapa de las DPVs encontradas en dirección al bulbo galáctico. . . . .	56



# Índice de cuadros

3.1.	Periodo orbital y largo para 24 DPVs Galácticas que no presentan variación en el periodo largo publicadas por Mennickent (2017). . . . .	15
5.1.	Cadencia de observaciones para cada campo observado segun su color en la figura 5.2. . . . .	22
7.1.	Tabla con 34 nuevas DPV galácticas en dirección al bulbo de la Vía Láctea	31
7.2.	Tabla con 34 nuevas DPV galácticas en dirección al bulbo de la galaxia, se muestran los periodos orbitales y largos, y sus magnitudes en el filtro I y V, además de los colores V-I asociados. El periodo cíclico reportado en esta tabla es el pico máximo del periodograma Lomb-Scargle. . . . .	49
7.3.	Periodos largos reportados para las 34 nuevas DPVs encontradas, se especifican además los valores de error asociado encontrados con PDM de IRAF. . . . .	50
7.4.	Coefficientes de absorcion para las coordenadas en donde se encuentran las nuevas DPVs, obtenidos desde <i>Galactic Dust Reddening and Extinction Service</i> , fueron utilizados para estimar el enrojecimiento promedio de las fuentes de la figura 7.35. . . . .	52
8.1.	Tabla con los valores astrométricos y fotométricos en los filtros de la figura 8.4 proporcionados por Gaia DR2 para las 34 nuevas fuentes DPV. . . .	55
8.2.	Tabla con los valores de distancia calculados para 32 fuentes de Gaia DR2. $r_{est}$ es la distancia medida estimada a el punto donde se encuentra la fuente, $r_{lo}$ y $r_{hi}$ son la cota inferior y superior a esta medición respectivamente, con un intervalo de confianza de 68% y $r_{len}$ es la longitud de escala que varía con la latitud y longitud $(l, b)$ y que se describe en la publicación de Astraatmadja and Bailer-Jones (2016). . . . .	58

# Capítulo 1

## 1. Introducción

Las estrellas variables de doble periodo, o por sus siglas en inglés **DPV** (double periodic variable), descubiertas por primera vez por Mennickent et al. (2003) en la búsqueda de estrellas Be en la Nube Grande de Magallanes, son objetos que pertenecen a la categoría de sistemas binarios interactuantes, es decir, debido a la proximidad a la que se encuentran las componentes estelares del sistema, estas experimentan una serie de consecuencias tales como: **i)** la aproximación del potencial gravitatorio del sistema en este caso estará descrita por un modelo llamado **Potencial de Roche**, **ii)** la proximidad hace que el sistema se encuentre en un proceso de transferencia de masa al menos cíclico y, **iii)** existen fuertes indicaciones de que el sistema podría estar perdiendo masa, entregándose esta al medio interestelar que circunda al objeto (Mennickent (2017)). Una característica realmente importante sobre las DPVs, es que presentan dos componentes periódicas en la curva de luz observada para la fuente. La primera de ellas, de un periodo mas corto, esta directamente asociada con la rotación orbital de las componentes en torno a su centro de masa, es llamada periodo orbital. La naturaleza del segundo periodo, llamado periodo cíclico es aún desconocida. Existen varios modelos que buscan explicar por que es que estos objetos se comportan de esta manera, pero aún no es clara la razón de fondo. En este trabajo, se realizó una búsqueda de nuevos objetos de interés en dirección al centro de la Vía Láctea, con el objetivo de aumentar la población conocida de estas fuentes, y observar características fenomenológicas asociadas a las curvas de las nuevas fuentes. Búsquedas similares se han desarrollado para otro tipo de objetos como RR Lyrae, Cefeidas, entre otros, pero no para DPVs hacia esta región del espacio. La generación de bases de datos como OGLE, con observaciones en series de tiempo, y los catálogos de estrellas binarias que se han desarrollado, como el de Soszyński et al. (2016), gestan un escenario propicio y favorable para la búsqueda de nuevas fuentes de interés para estudiar objetos como las DPVs en la actualidad.

## 1.1. Estrellas variables

La variabilidad estelar en términos de la luminosidad observada para distintos objetos en series de tiempo puede responder a diferentes fenómenos astrofísicos. Entre ellos se pueden encontrar las erupciones estelares, la variabilidad producto de eclipses en sistemas binarios, las pulsaciones radiales en objetos como las cefeidas, además de otros. A través de la variabilidad estelar es posible entender fenómenos físicos que evidencian los objetos celestes. En base a esto es necesario introducir tres escalas temporales que son importantes para la teoría de estructura y evolución estelar, y que en consecuencia, juegan un rol relevante para las estrellas variables.

- **Tiempo dinámico:** Es el tiempo que le tomaría a una estrella colapsar bajo su gravedad si tanto la radiación como la presión de las partículas fueran removidas. La escala de tiempo es del orden de decenas de minutos.

$$t_{\text{dyn}} = \left( \frac{2R^3}{Gm} \right)^{1/2} \approx 40 \left[ \left( \frac{R}{R_{\odot}} \right) \frac{M_{\odot}}{m} \right]^{1/2} \text{ minutos} \quad (1.1)$$

- **Tiempo termal:** Es el tiempo en el que la energía térmica almacenada se agota, a medida que se agota producto de la luminosidad. Esta escala de tiempo es del orden de millones de años.

$$t_{\text{th}} = \frac{Gm^2}{RL} \approx (3,0 \times 10^7) \left( \frac{m}{M_{\odot}} \right)^2 \frac{R_{\odot}}{R} \frac{L_{\odot}}{L} \text{ años} \quad (1.2)$$

- **Tiempo nuclear:** En esta escala de tiempo, la estrella agota su energía nuclear. Típicamente es del orden de miles de millones de años.

$$t_{\text{nuc}} = (7 \times 10^9) \frac{m}{M_{\odot}} \frac{L_{\odot}}{L} \text{ años} \quad (1.3)$$

En particular, el término “estrella variable”, esta usualmente reservado para aquellos objetos que presentan una variación medible en el intervalo de observación.

Existen diferentes subcategorías que clasifican objetos a partir de los diversos mecanismos que genera la variación en luminosidad de estos mismos, y, a partir de observaciones recurrentes a través del tiempo, es posible discernir si el tipo de alteración en la luminosidad sigue o no una tendencia periódica. Desde esta perspectiva se puede separar a los objetos con luminosidad variable en dos categorías según el artículo *General Catalogue of Variable Stars* por Samus’ et al. (2017), que se diferencian entre ellas por como es que se produce la variación; si es producto de fenómenos físicos que ocurren al interior de, por ejemplo una estrella, o si corresponde a un fenómeno asociado a su dinámica, y por ende no esta asociado a la naturaleza misma de la estrella, pero si a la configuración física del objeto

que se esta observando, como en el caso de los sistemas binarios. Estas dos subcategorías corresponden a la variación intrínseca y extrínseca, respectivamente.

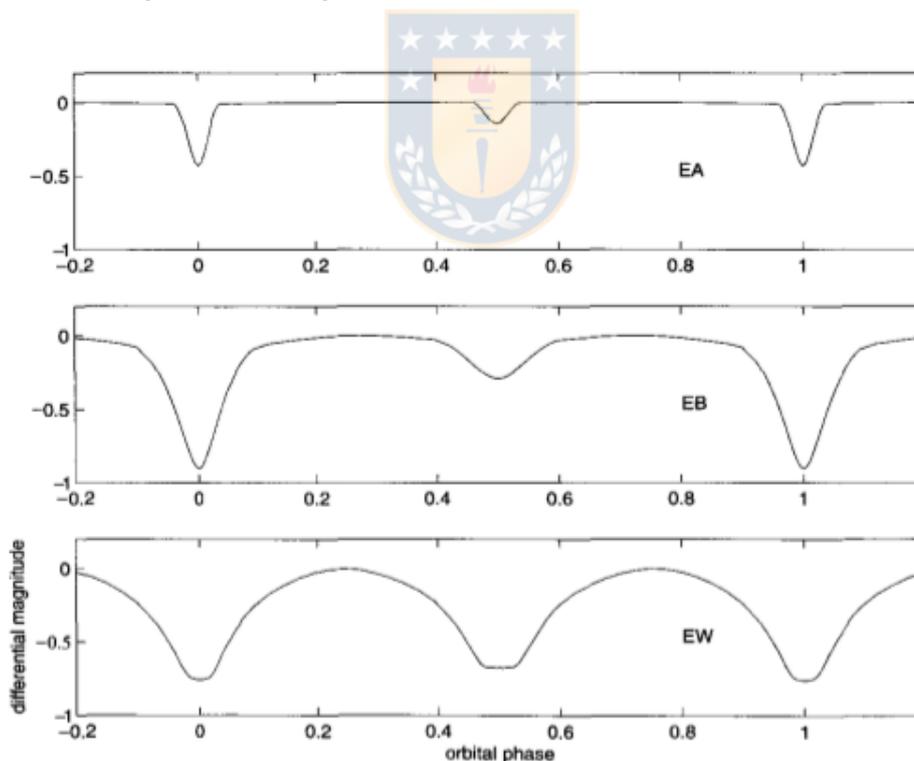
### 1.1.1. Variables Extrínsecas

Cuando la variación es extrínseca, el fenómeno que produce la perturbación en la luminosidad no esta asociado de forma directa con la naturaleza del objeto que se observa, mas bien, esta asociada de forma directa con la configuración física de los objetos, y por ende con su dinámica.

Entre los objetos que se pueden encontrar en esta categoría están todos los tipos de sistemas binarios que es posible observar, tanto los que presentan variaciones eclipsantes como aquellos con variación elipsoidal. Esta última parte depende exclusivamente de como se esta observando el objeto, si se observa con alguna inclinación importante o se ve “de canto”, o edge-on.

Esta categoría es también llamada **Variables Geométricas**.

Históricamente, se han clasificado a los sistemas binarios a partir de la forma de su curva de luz en las tres siguientes categorías.



**Figura 1.1:** Clasificación fenomenológica de la curva de luz de sistemas binarios dada por *General Catalogue of Variable Stars*. Imagen desde Hilditch (2001).

### 1.1.1.1 Variables del tipo Algol

Las curvas que corresponden a estos objetos presentan una morfología un tanto plana, que da indicios de que las componentes del sistema no están próximas entre sí. Los eclipses presentan distintas profundidades, lo que sugiere que las componentes pertenecen a tipos espectrales distintos. El nombre a esta categoría viene del prototipo  $\beta$  Persei, también llamada Algol, procedente del árabe "*Ras al-gul*", que traducida al español es "cabeza del demonio", una estrella ubicada en la constelación de Perseo, de aquí que este objeto haya sido conocida como "la estrella endemoniada", probablemente por su clara variabilidad. También se le conoce como curvas de luz tipo **EA**.

### 1.1.1.2 Variables del tipo $\beta$ lyrae

La curva de luz de este tipo de objetos; cuyo nombre viene del prototipo homónimo a esta subcategoría, se caracteriza por la variación continua durante el ciclo, en donde los eclipses ocupan gran parte de este mismo. Típicamente estos objetos tienen periodos orbitales de días, aunque de ocurrir que una de las componentes del sistema sea una estrella gigante o supergigante, el periodo orbital puede ser mucho más largo. También se les conoce como curva de luz del tipo **EB**.

### 1.1.1.3 Variables del tipo W Ursa Majoris

El prototipo para estos objetos es un sistema binario con periodo menor a un día. En general, estos sistemas se caracterizan por tener un periodo bastante corto, y eclipses relativamente similares, pero no del todo iguales. Las componentes del sistema se encuentran tan próximas, que no están unidas solo por un stream, sino más bien por un "cuello" (*neck*), que une los puntos que apuntan hacia el centro de masa de cada estrella. Se pueden diferenciar dos clases dentro de esta categoría: los sistemas A-type y los W-type. Para el caso de los sistemas A-type, la estrella más masiva es también la más grande y la más caliente. Por otro lado, para el caso de los sistemas W-type, la estrella más masiva es la más grande, sin embargo no es la más caliente del sistema. Otra característica importante que presenta este tipo de sistemas es que, muchas veces es posible evidenciar el llamado **Efecto O'Connell**, descrito por primera vez por O'Connell (1951), que corresponde a la diferencia entre los máximos de luminosidad entre los eclipses. También se les conoce como curva de luz del tipo **EW**.

## 1.1.2. Variables Intrínsecas

A diferencia de otros tipos de variación en la luminosidad, cuando esta es intrínseca del objeto, responde a la existencia de procesos físicos al interior de la estrella que generan una variación en la curva de luminosidad de un objeto. Existen una variedad de fenómenos que dan como resultado un cambio en la luminosidad, entre los cuales destacan los siguientes casos conocidos:

### 1.1.2.1 Variables Pulsantes

Este tipo de objeto experimenta variaciones en su radio producto de variaciones intrínsecas de la temperatura y la presión de la estrella. En algunos casos, la variación puede ser estrictamente periódica, como en es el caso de las RR Lyrae o las Cefeidas, mientras que en otros casos, la variación es cíclica, como ocurre con RV Tauri o las variables Mira.

Los periodos de variación oscilan entre un par de minutos para las variables de más altas temperaturas, a algunos años, como ocurre con las variables Mira.

### 1.1.2.2 Variables Eruptivas

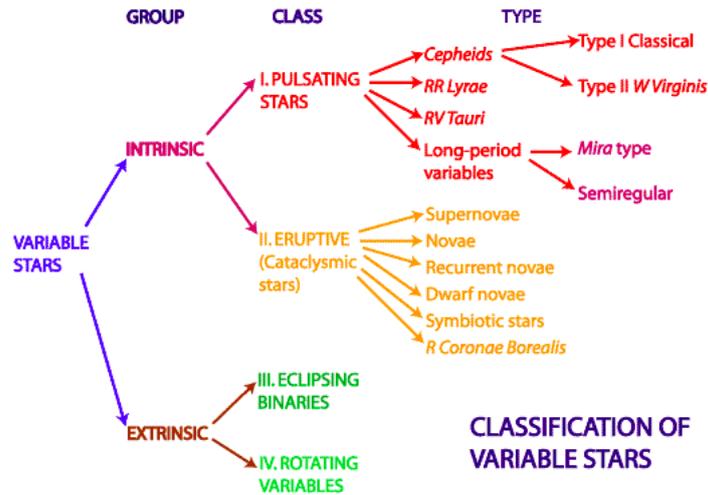
Los objetos de este tipo presentan eventos transientes bastante violentos como explosiones. La intensidad de estas explosiones varía considerablemente, por ejemplo para las estrellas de la secuencia principal estos eventos se presentan como llamaradas. También esta el caso de las estrellas fulgurantes, que presentan variaciones considerables e impredecibles. Por último, tenemos el caso de las supernovas, que responden a la destrucción total de la estrella que dió paso a este evento.

Cabe destacar que estos fenómenos son absolutamente impredecibles y no responden a alguna suerte de periodicidad, como ocurre en el caso de las estrellas pulsantes anteriormente mencionadas.

### 1.1.2.3 Variables Cataclísmicas

Las estrellas que componen esta categoría se caracterizan por ser objetos que evidencian cambios abruptos y significativos en su luminosidad, estos objetos corresponden a un sistema binario en donde una de las componentes es un objeto compacto, en particular una enana blanca. Existen dos fases dominantes en estos objetos, la primera es la fusión nuclear, y la segunda son los procesos de acreción de material perdido por la estrella secundaria, y entregado a través de un *stream* a un disco circunestelar que rodea a la enana blanca. Al ser la enana blanca un objeto muy denso, los procesos de acreción evidencian

emisiones de alta energía, siendo estas fuentes de emisión en rayos X. En la figura 1.2 se pueden ver cuales tipos de objeto están dentro de esta categoría.



**Figura 1.2:** Clasificación de fuentes que presentan variación en su luminosidad<sup>1</sup>.

## 2. Estrellas Binarias

En uno de los apartados anteriores se menciona como se clasifican los objetos que presentan una variabilidad extrínseca según la morfología de su curva de luz. En esta sección se presentarán las diferentes categorías existentes para sistemas binarios, esta clasificación responde a como es que el observador mira el sistema y es capaz de dilucidar que este está compuesto por dos o mas estrellas. Previo a esto, se explicaran algunas ideas básicas que definen en principio que es un sistema binario.

Los sistemas de este tipo están compuestos por dos estrellas que se encuentran ligadas a través de la gravedad, orbitando ambas en torno a un centro de masa, y confinadas a existir y evolucionar dentro de este sistema.

En la práctica, existen evidencias que nos afirman que en la vecindad solar, al menos el 50 % de los objetos observados forman parte de un sistema múltiple de estrellas, mientras que, en general, la frecuencia observacional de objetos de dos o mas objetos es del 20 % de los casos según Kallrath and Milone (2009).

### 2.1. Tipos de sistemas Binarios

A continuación, se presentarán los distintos tipos de sistemas clasificados a partir del método utilizado para revelar su naturaleza binaria.

<sup>1</sup>[http://www.atnf.csiro.au/outreach/education/senior/astrophysics/variable\\_types.html](http://www.atnf.csiro.au/outreach/education/senior/astrophysics/variable_types.html)

### 2.1.1. Binarias Visuales

Los sistemas de este tipo tienen la particularidad de mostrar visualmente las dos componentes, y la separación orbital entre ellas. Para poder ser observadas, se debe tener en cuenta las limitantes observacionales en términos de resolución. En estos casos, cada componente se puede observar y resolver como objetos separados, pero unidos a través de la dinámica que experimentan. Para poder resolver un sistema a través de este método, es necesario tener en cuenta la siguiente ecuación:

$$\Delta = 1,22 \frac{\lambda}{D} \quad (2.1)$$

En donde  $\Delta$  es la separación angular de las componentes estelares del sistema expresada en radianes,  $\lambda$  es la longitud de onda observada, y  $D$  es la apertura del telescopio, los dos últimos expresados en la misma unidad.

### 2.1.2. Binarias Astrométricas

Las binarias astrométricas son objetos en los cuales solo es posible ver una de las componentes del sistema, en este caso la forma de detección empleada es a partir del paralaje medido para el objeto visible, es decir, un desplazamiento en el cielo con respecto a las estrellas de fondo fijas (más lejanas). Este método se puede emplear para sistemas cercanos, ya que, de estar muy lejos, la medición de la variabilidad periódica en el paralaje no es evidente.

### 2.1.3. Binarias Eclipsantes

Las binarias eclipsantes son objetos que evidencian su binarismo a partir de la disminución del brillo observado cuando una componente pasa por delante de la otra en la línea de vista del observador. En estos casos, cuando ocurre el eclipse de una estrella sobre la otra, la luminosidad observada disminuye. Esto ocurre 2 veces durante un ciclo, llamándose a cada una de las disminuciones de brillo eclipse primario y secundario. El fenómeno tiene una naturaleza periódica, y a partir de estas observaciones, y con la ayuda de ajustes teóricos a la curva de luz, es posible estimar parámetros orbitales del sistema.

### 2.1.4. Binarias Espectroscópicas

Las binarias espectroscópicas son detectables a través de la medición de la velocidad radial de la componente visible del sistema. En este caso la herramienta a utilizar es el **Efecto Doppler**. Al ser la luz una onda viajera, el movimiento que experimenta la

estrella producto de la dinámica del sistema, induce en la luz una variabilidad periódica en la frecuencia observada. Este fenómeno puede evidenciarse a través del corrimiento de las líneas presentes en el espectro observado. Cuando la fuente se aleja del observador, las líneas, que tienen ya una longitud de onda definida para que ocurran determinadas transiciones, se corren hacia la parte roja del espectro, por otra parte, cuando la fuente se acerca, las líneas de absorción evidencian un corrimiento al azul. Mediante de esta técnica, se puede medir la velocidad radial del objeto y por ende, parámetros físicos del sistema. El cambio en velocidades radiales es un fenómeno periódico, y para ser detectado, el movimiento debe ocurrir en un plano paralelo a la línea de observación, en caso contrario, la medición de parámetros estelares estará restringida por la inclinación del sistema. Esta relación se rige por la siguiente expresión 2.2, en donde  $\lambda_o$  es la longitud de onda de absorción para una transición conocida (de laboratorio),  $\lambda$  la longitud de onda observada para dicha línea,  $v$  es la velocidad radial de la fuente y  $c$  es la velocidad de la luz.

$$\frac{\lambda - \lambda_o}{\lambda_o} = \frac{v}{c} \quad (2.2)$$

## 2.2. Evolución de Sistemas Binarios

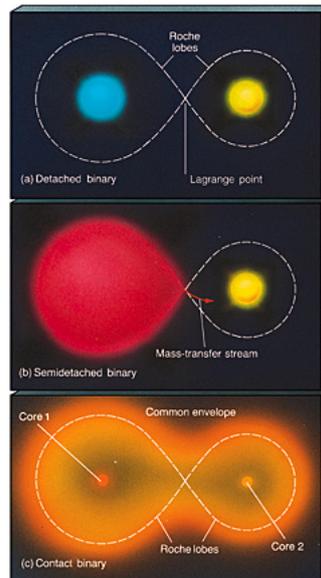
Las componentes estelares de un sistema binario están confinadas a vivir y evolucionar junto a su estrella compañera, esto no solo es determinante a la hora de saber como va a acabar el sistema y sus componentes, sino también en como y cuando evolucionará cada una de ellas.

Para comprender esto, se explicará a continuación una nueva forma de clasificar a los sistemas binarios, en este caso, según su configuración física, y entonces la distancia entre una estrella y la otra.

En la figura 2.1, se pueden ver tres casos distintos según el tamaño de las componentes y la distancia entre ellas. El primer caso corresponde a un sistema binario separado (*detached binary* en inglés), el segundo caso, corresponde a un sistema binario semi separado (*semi-detached o close binary* en inglés), y el tercer caso corresponde al caso de los sistemas binarios en contacto (*contact binary* en inglés). En el siguiente apartado, se introducirá un nuevo modelo asociado al potencial del sistema, el Potencial de Roche.

### 2.2.1. Potencial de Roche

Los sistemas binarios de interés para este trabajo, presentan una deformación en el potencial gravitacional de cada estrella producto de la proximidad existente entre las componentes. Existe una aproximación llamada **Potencial de Roche**, la cual describe las nuevas superficies equipotenciales, además de los puntos de liberación del potencial gravitacional, también llamados **Puntos de Lagrange**, en honor al matemático Joseph-



**Figura 2.1:** En la figura se pueden ver tres casos distintos de sistemas binarios según la proximidad de sus componentes. Imágen superior es un sistema binario separado, la de en medio uno semi separado y en la inferior un sistema binario de contacto.

Louis Lagrange, quien a través del desarrollo de la mecánica Lagrangiana, dio cuenta de 5 puntos en un sistema binario, en donde si se ubicara una partícula de masa despreciable, esta estaría sometida a una fuerza nula.

Para mayor entendimiento del lector, se presentará previo a la explicación del Potencial de Roche, el potencial de una aproximación a masa puntual, que caracteriza bastante bien a una estrella aislada. Para esto, utilizaremos la ley de gravitación universal, descrita por el físico y matemático Isaac Newton en 1687.

Sea un cuerpo de masa  $M$ , ubicado en una posición estratégicamente utilizada como para que sea además el origen de un sistema de coordenadas desde donde se medirán las distancias a cada punto del espacio. Por otra parte, sea  $m$  la masa asociada a una partícula de prueba que se encuentra ligada a través de la gravedad al cuerpo celeste anteriormente descrito, la forma de la fuerza que experimenta la partícula de prueba viene dada por la expresión matemática 2.3, en la cual  $G$  es la constante de gravitación universal y  $r$  la distancia entre las dos masas.

$$F = \frac{GMm}{r^2} \quad (2.3)$$

Esta expresión es en la práctica, bastante acertada a la hora de explicar fenómenos asociados a fuerzas centrales (i.e. que únicamente dependen del radio) originadas por la gravedad.

Para el caso en que dos cuerpos se encuentren lo suficientemente separados en términos espaciales, podemos utilizar la ley de gravitación universal a fin de explicar matemáticamente la atracción mutua entre masas.

El panorama difiere para el caso en que las componentes del sistema se encuentren muy proximas, como ocurre para las DPV, cuestión ya comentada en este trabajo. Es necesario además mencionar que, se deben asumir tres condiciones para poder utilizar la aproximación que sigue.

- Las orbitas deben estar circularizadas, es decir, la trayectoria que sigue cada una de las estrellas no es excéntrica.
- El sistema debe presentar acoplamiento de mareas (tidal lock), es decir, el periodo orbital debe coincidir con el periodo rotacional de las componentes estelares.
- Cada componente estelar debe ser aproximada a una masa puntual, lo que significa que la masa de cada componente estará concentrada en un punto adimensional, que coincide con el centro de cada una de las estrellas.

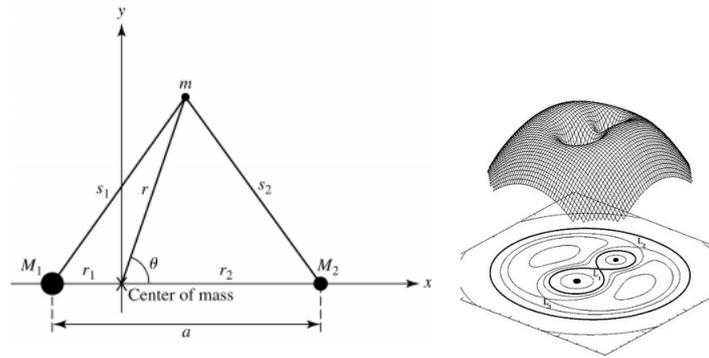
En este caso debemos tener en cuenta una expresión matemática distinta, en la cual se añade a la ecuación un término asociado a una pseudo-fuerza, que se origina a partir de tomar un sistema coordenado distinto, no inercial, que rota tal como lo hacen las estrellas en torno al centro de masa. La fuerza no inercial añadida en este caso tiene que ver con la aceleración angular que experimenta el sistema completo. La expresión matemática asociada es como sigue:

$$\Phi_R(r) = \frac{-GM_1}{s_1} - \frac{GM_2}{s_2} - \frac{1}{2}\omega^2 r^2 \quad (2.4)$$

De la ecuación anterior, podemos dar cuenta que los primeros dos términos que componen esta ecuación están directamente asociados a la atracción gravitacional experimentada por la partícula de prueba de masa  $m$  producto de la presencia de dos masas puntuales  $M_1$  y  $M_2$ . El tercer término de la ecuación, está asociado al hecho de tomar como sistema de referencia un sistema que rota junto a las componentes estelares. Se puede decir entonces que, el potencial que experimenta la partícula es el potencial Newtoniano usual, pero con una perturbación aparente producto de la proximidad.

Por otra parte, existe una expresión utilizada para aproximar el radio crítico de las estrellas, o radio del Lóbulo de Roche, dada por Eggleton (1983), que está descrita únicamente por la razón de masas  $q$ , definida como  $q = \frac{M_2}{M_1}$ , siendo  $M_2$  la estrella menos masiva y  $M_1$  la más masiva. La expresión se puede ver en la ecuación 2.5, en donde  $a$  es el semi-eje mayor del sistema.

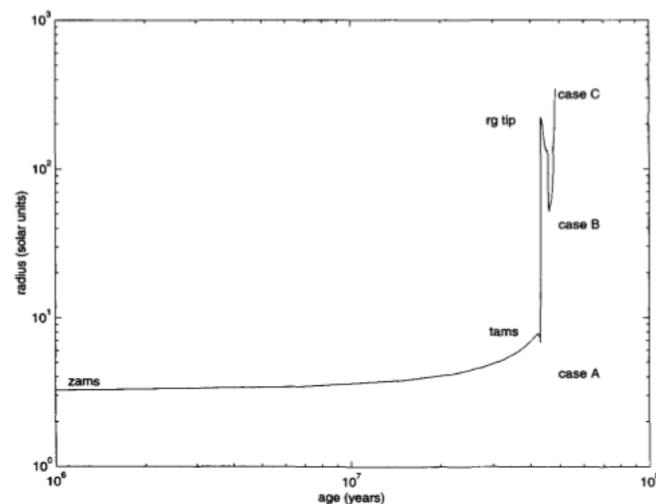
$$R_{L,2} = \frac{0,49q^{-2/3}}{0,6q^{-2/3} + \ln(1 + q^{-1/3})} a \quad (2.5)$$



**Figura 2.2:** La figura de la izquierda es la configuración de dos masas puntuales y la partícula de prueba de masa  $m$ . La figura de la derecha es la proyección del Potencial de Roche sobre el plano de rotación del sistema binario.

### 2.2.2. Transferencia de Masa

Kippenhahn and Weigert (1990) introducen una nueva forma de clasificar a aquellos sistemas que experimentan procesos de transferencia de masa entre sus componentes. En principio, se establecen tres momentos de expansión de una estrella individual a lo largo de su evolución: Durante su evolución en la secuencia principal, en la transición a gigante roja, y por ultimo, durante la transición hacia la rama asintótica de gigantes o por sus siglas en inglés AGB (*asymptotic-giant-branch*), o estado de supergigante roja, dependiendo en general de la masa inicial de la estrella.



**Figura 2.3:** En la figura se ilustra como cambia el radio de una estrella de  $7 M_{\odot}$  a lo largo de su evolución. Imagen de Hilditch (2001).

A partir de esto Kippenhahn and Weigert (1990) especifican 3 casos en los que se da la transferencia de masa en un sistema binario, que guarda relación tanto con la evolución de las componentes estelares, como con la proximidad entre las fuentes, y en consecuencia, con las superficies equipotenciales de sus lóbulos de Roche.

- **CASO A:** El periodo orbital del sistema es lo suficientemente corto como para que la expansión experimentada por una de las estrellas en su evolución a través de la secuencia principal (cuando las reacciones termonucleares ocurren por quema de Hidrógeno en el núcleo) alcance su lóbulo de Roche, y experimente pérdida de masa. El periodo orbital debe ser de algunos pocos días.
- **CASO B:** Cuando la estrella evoluciona desde la secuencia principal a la fase de gigante roja, puede alcanzar y desbordar su lóbulo de Roche, lo cual implica que el material que queda fuera de esta superficie es perdido o entregado a la estrella compañera.
- **CASO C:** Cuando el periodo orbital es mayor que 100 días, la estrella puede evolucionar a una supergigante roja sin impedimento. En este caso, la estrella desborda su lóbulo de Roche y comienza el proceso de transferencia de masa.

A continuación se mencionaran los dos tipos de transferencia de masa según la conservación de la cantidad total de masa del sistema (i.e. La suma de las masas de cada componente).

### 2.2.2.1 Transferencia de Masa Conservativa

En el caso de un sistema con transferencia de masa conservativa, todo el material que pierde o cede la estrella secundaria o donante (*donor* en inglés), es recibido por la estrella primaria, que es la componente dominante del sistema (*gainer* en inglés), sin pérdida de material hacia el medio interestelar, es decir, la masa total  $M_{tot} = m_1 + m_2$  es una cantidad constante que se conserva en el tiempo. A partir de esto, es posible definir la siguiente relación entre los cambios de masa de una estrella y la otra.

$$\dot{m}_d = -\dot{m}_g \quad (2.6)$$

Esto quiere decir que la pérdida de masa de la estrella secundaria a través del tiempo es equivalente al material ganado por la estrella primaria en el mismo tiempo. Desde aquí es posible encontrar una relación como la que se muestra en la ecuación 2.7, que evidencia la transferencia de masa a partir de cambios en el periodo orbital del sistema Hilditch (2001).

$$\frac{\dot{P}}{P} = \frac{3\dot{m}_1(m_1 - m_2)}{m_1 m_2} \quad (2.7)$$

### 2.2.2.2 Transferencia de Masa no Conservativa

Existen también ocasiones en las cuales no todo el material perdido por una de las estrellas es recibido por la compañera. A este escenario se le denomina transferencia de masa no conservativa, ya que la masa total  $M_{tot}$  varía a través del tiempo, perdiéndose masa del sistema binario.

Este escenario es descrito por la ecuación 2.8 (Hilditch (2001)).

$$\frac{\dot{P}}{P} = -\frac{2\dot{m}}{(m_1 + m_2)} - \frac{3\dot{m}_2(m_1 - m_2)}{m_1 m_2} + 3K \quad (2.8)$$

Con  $\dot{m} = \dot{m}_1 + \dot{m}_2$ . En particular, alguno de los casos en los que se da este fenómeno podrían ser cuando ocurre pérdida de material por una de las componentes a través de vientos estelar, o cuando ocurre un “desbordamiento” del lóbulo de Roche en una de las estrellas, entre otros.

## 3. Variables de Doble Periodo

Las variables de doble periodo, o por sus siglas en inglés DPV, son un tipo especial de estrellas variables. Esta subcategoría de sistemas binarios fue por primera vez descubierto y estudiado por Mennickent (2003), en la búsqueda de estrellas Be en la galaxia.

Las DPVs presentan una característica periódica en su curva de luz, que responde de forma clara a la rotación orbital por la interacción gravitacional que existe entre las dos componentes del sistema (eclipses), y, adicionalmente evidencian una segunda componente periódica que es de menor frecuencia, y por esta razón se le denomina ciclo largo.

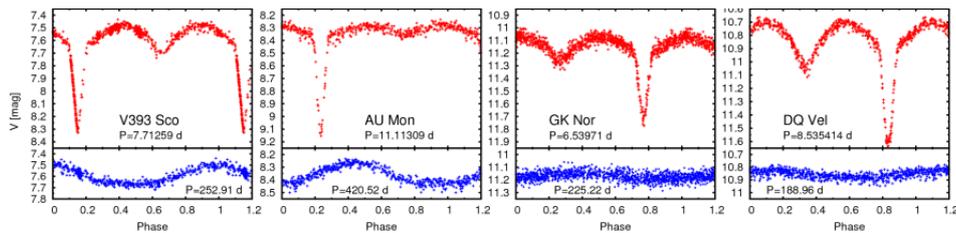
Existe una relación bastante clara entre el periodo orbital y el ciclo largo observados en el sistema, que será explicada en detalle más adelante.

La evidencia observacional reunida hasta el día de hoy, muestra que las componentes presentes en estos sistemas se encuentran separadas o semi separadas, y el potencial gravitacional del sistema presenta perturbaciones por su proximidad. A partir de esto, es posible decir que estos sistemas se encuentran sometidos a un potencial gravitacional de Roche.

### 3.1. Configuración Física

Tal como se especifica en la publicación de Mennickent et al. (2016), la configuración clásica de este tipo de objetos responde a la configuración de una variable tipo Algol, pero que se encuentra en un estado evolutivo distinto.

En primer lugar, es necesario especificar cuales son los tipos espectrales de cada una



**Figura 3.1:** Curvas de fase para cuatro DPV galácticas observadas con el telescopio REM, Michalska et al. (2010).

de las componentes, para ello se utiliza el diagrama de Hertzsprung-Russell, diagrama que relaciona la Luminosidad o magnitud absoluta de una fuente con su temperatura o su color (en la practica, este gráfico se transforma en el diagrama color-magnitud), y en base a esto clasifica a las estrellas según su estado evolutivo. La estrella primaria, es una estrella A/B-type, bastante caliente y menos evolucionada que su compañera. La estrella secundaria es una estrella ya evolucionada, que se encuentra fuera de la secuencia principal, en la rama de gigantes rojas del diagrama. La evidencia observacional y teórica, nos pone en un escenario bastante particular, en este caso, la estrella más masiva, la primaria, es la menos evolucionada, pero la de mayor masa (en torno a las  $7 M_{\odot}$ ). Por otro lado, la estrella ya evolucionada, y que ya llenó su lóbulo de Roche producto de un aumento en su radio, es de menor masa ( $1-3 M_{\odot}$ ). En general, se esperaría que el caso fuera completamente distinto, la estrella más masiva debería haber evolucionado primero, este escenario es conocido como **la paradoja de Algol**, y podría ser explicado por diferentes motivos, los cuales se discuten en la publicación de Pustylnik (1998), uno de ellos nos dice que la estrella primaria podría haber sido la menos masiva en el principio del sistema binario, dando lugar a que su compañera, la actual secundaria evolucionó previamente, llenando su lóbulo de Roche y comenzando un proceso de transferencia de masa, en donde la compañera más joven adquirió masa desde la más evolucionada, lo que se traduce en el panorama anteriormente descrito.

## 3.2. Curva de Luz

Una de las características más notables que presentan este tipos de objetos, es que se puede afirmar que en muchos de ellos, existe una componente de disco en torno a la estrella primaria. Además, desde la curva de luz de algunas DPVs se puede suponer la presencia de un hotspot en alguna parte de la configuración, basándose en la presencia del Efecto O'Connell (1951).

### 3.3. Periodo

Como ha sido mencionado anteriormente, existe una relación de proporcionalidad entre el periodo orbital del sistema, y el segundo periodo fotométrico.

A partir de los datos publicados por Mennickent (2017), se resumen en el cuadro 3.1 tanto los periodos orbitales como los periodos cíclicos, para los 24 objetos DPV galácticos encontrados.

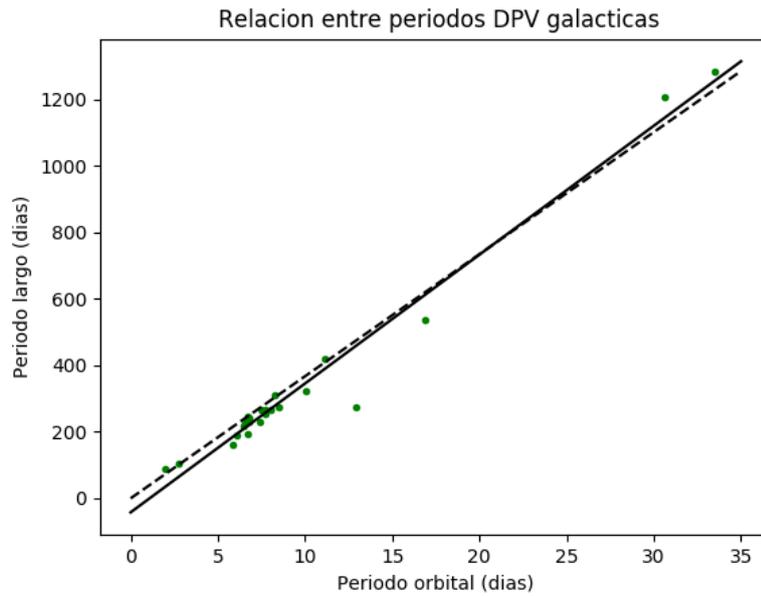
En la figura 3.2, podemos observar dos rectas que representan la tendencia de los puntos a primer orden, una de ellas, la segmentada, corresponde a la relación publicada por Mennickent et al. (2016), que contiene al origen de este espacio de parámetros, descrito por la ecuación 3.1. La línea continua corresponde a una interpolación polinomial de primer orden descrita por la ecuación 3.2.

$$P_2 = (36,7 \pm 0,7)P_1 \quad (3.1)$$

$$P_2 = 38,74P_1 + 42,05 \quad (3.2)$$

**Cuadro 3.1:** Periodo orbital y largo para 24 DPVs Galácticas que no presentan variación en el periodo largo publicadas por Mennickent (2017).

Objeto	$P_{orb}$ (días)	$P_{cic}$ (días)	$P_{cic}/P_{orb}$
DD CMa	2.008452	89	44.31273438
TYC 7398-2542-1	2.76903	106	38.28055312
HD 151582	5.823	160	27.47724541
DQ Vel	6.0833	189	31.06866339
BF Cir	6.4592	219	33.90512757
GK Nor	6.53971	225	34.40519534
HD 135938	6.6477	231	34.74886051
HD 50526	6.7007	192	28.653722
V1001 Cen	6.736	247	36.66864608
NSV 16849	6.775	242	35.7195572
HD 90834	6.815	231	33.89581805
TYC 5985-958-1	7.4054	229	30.92338024
TYC 8627-1591-1	7.462	268	35.91530421
V393 Sco	7.71259	253	32.80350699
V761 Mon	7.754	268	34.56280629
CZ Cam	8.055	266	33.0229671
TYC 5978-472-1	8.2958	312	37.6093927
LP Ara	8.53295	273	31.99362471
V360 Lac	10.085	322	31.92860684
AU Mon	11.11309	421	37.88325299
$\beta$ Lyr	12.94061713	275	21.2509185
HD170582	16.871	537	31.82976706
V4142Sgr	30.636	1206	39.36545241
V495Cen	33.4873	1283	38.3130321



**Figura 3.2:** Relación entre el periodo orbital y el periodo largo. Los puntos verdes son las DPVs galácticas especificadas en la tabla. La línea negra sólida es una interpolación polinomial de primer orden descrita por la ecuación 3.2. La línea negra segmentada es la relación publicada por Mennickent et al. (2016).

### 3.3.1. Ciclo largo

La naturaleza del ciclo largo para estos objetos es todavía incierta, sin embargo, existen hipótesis que podrían indicar desde dónde surge la variabilidad larga. Una de las que se han desarrollado es la descrita por Schleicher and Mennickent (2017), en donde se menciona que el flujo de acreción que experimenta el sistema estaría modulado a partir del dínamo magnético de la estrella mas evolucionada. En el mismo artículo se busca explicar la relación entre el periodo orbital y el ciclo largo como una proporción caracterizada por el número del dínamo  $D$  de la forma que se describe en la ecuación que sigue:

$$P_{cic} = D^{\alpha} P_{orb} \quad (3.3)$$

En donde  $\alpha \sim 0,5$ . La expresión que define al número del dínamo es  $D = \alpha \Delta \Omega d^3 / \eta^2$  en donde  $\alpha$  parametriza la helicidad de un fluido, esto cuando un fluido gira en torno a un eje de rotación, y al mismo tiempo se está desplazando de forma paralela a ese eje,  $\Delta \Omega$  está asociado a la rotación diferencial de gran escala,  $d$  la escala de longitud característica de convección y  $\eta$  un parámetro llamado *turbulent magnetic diffusivity* de la estrella.

## Capítulo 2

### 4. Marco Teórico: Análisis de Señales

#### 4.1. Series de tiempo

La información a continuación descrita fué obtenida desde el libro Ivezić et al. (2014). El análisis de series de tiempo es una rama de la matemática aplicada que involucra tanto el procesamiento de señales, como la utilización de herramientas estadísticas. En principio, podemos decir que en el marco de la astronomía, las observaciones en series de tiempo parecen ser una herramienta fundamental a la hora de enfrentarse a objetos que, por ejemplo, varían en su brillo aparente. De esta forma, al observar de manera repetida la misma fuente en el cielo (en la mayoría de los casos lo que se observa reiteradas veces es el campo de vista o "FOV" por sus siglas en inglés, en donde se encuentra la estrella, y en donde podemos encontrar más de una fuente cuyos datos podrían ser interesantes). Existen bastantes proyectos que utilizan la observación en series de tiempo como técnica para dilucidar fenómenos astrofísicos, algunos de ellos como la misión KEPLER<sup>2</sup>, que a través de la fotometría de un mismo campo de observación, observando reiteradas veces, se pudo dilucidar una cantidad bastante considerable de exoplanetas a través del método del tránsito. Otra misión relacionada a la obtención de series de tiempo es la llama OGLE<sup>3</sup> (Optical Gravitational Lensing Experiment), que se esperaba utilizar para encontrar exoplanetas a través del método de micro-lentes gravitacionales, otorgó a la comunidad científica la posibilidad de observar por largos periodos de tiempo bastantes fuentes, entre las que destacan aquellas con luminosidad variable en el tiempo.

Para entender un poco mejor a que se refiere cuando se habla de series de tiempo, se referirá a continuación uno de los casos más simples, el caso en cuando tenemos un punto asociado a dos valores observados, el tiempo, y la magnitud. La serie de tiempo va a estar compuesta de un conjunto de puntos  $(t_1, y_1), (t_2, y_2), \dots, (t_N, y_N)$  en donde desconocemos con que periodicidad se observó, es decir, no sabemos en primera instancia si los datos se encuentran equiespaciados en el sentido temporal, o se encuentran distribuidos de manera no uniforme por sobre la coordenada del tiempo. Lo anterior es de bastante importancia a la hora de elegir con que método se analizará la señal observada.

Cabe destacar que, a diferencia de una regresión asociada al parámetro  $y$ , en donde cada valor de  $y$  se espera sea independiente de los otros valores medidos para  $y$ , en las

---

<sup>2</sup>[https://www.nasa.gov/mission\\_pages/kepler/main/index.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/kepler/main/index.html)

<sup>3</sup><http://ogle.astrouw.edu.pl/>

series de tiempo se espera exista una relación entre el valor medido de  $y_i$  y el de  $y_{i+1}$ , es decir, se espera exista una dependencia.

Los principales hallazgos que se esperan hacer a través del análisis de series de tiempo son, **(a)** caracterizar una posible correlación existente entre los valores de  $y$ , y de esta forma, ver si la serie estaría de alguna forma descrita como un fenómeno repetitivo a través del tiempo y, **(b)** estimar a través de encontrar la correlación existente entre los valores medidos, los posibles valores de  $y$  extrapolando a valores futuros el comportamiento periódico de la señal.

En particular, en astronomía, la caracterización de una serie temporal es de bastante utilidad a la hora de estimar parámetros como la periodicidad de la curva, las amplitudes alcanzadas, o si lo observado corresponde solo a ruido asociado a la medición realizada para la obtención del valor de  $y$  o a un cambio aislado en la luminosidad. Utilizando esta herramienta, se puede determinar por ejemplo, si la fuente que presenta variación en su luminosidad corresponde a una estrella pulsante; o al caso de un sistema binario eclipsante, entre otras posibilidades descritas en el apartado anterior. Luego de determinar la naturaleza de la fuente, a través de la curva de luz observada, es posible generar modelos que ayuden a estimar características físicas de la fuente observada.

## 4.2. Series de tiempo Periódicas

Una serie temporal que presenta una periodicidad se caracteriza por la existencia de un patrón repetitivo a lo largo de la curva de luz. Si expresamos de forma matemática como se comportan las funciones periódicas, tendríamos una función que cumple con la condición:

$$f(t + T) = f(t) \quad (4.1)$$

En donde  $T$  es el periodo conocido o determinado, y  $t$  es el parámetro libre del tiempo. En cuanto nos enfrentamos a una serie de tiempo observada en astronomía, debemos tener en cuenta que, la serie de tiempo es una distribución discreta de puntos, generalmente con una distribución no homogénea en la coordenada temporal, es decir, las observaciones no se hacen en rangos equiespaciados de tiempo, lo que es determinante a la hora de saber cual método de calculo de periodo debemos emplear.

Una serie temporal que se comporta de manera periódica, puede ser caracterizada mediante una curva de fase, la cual es la representación de todos los puntos observados contenidos en toda la serie de tiempo, ahora parte de un único ciclo, superpuesto a todas las fases de la curva, entre 0 y 1 en la coordenada temporal, la cual se llamará desde ahora fase. La expresión matemática que asocia un punto dentro de la fase a cada punto observado es la siguiente:

$$\Phi = \frac{t}{P} - int\left(\frac{t}{P}\right) \quad (4.2)$$

### 4.3. Periodograma de Lomb-Scargle

Una de las herramientas más utilizadas a la hora de generar un entendimiento mayor de las series de tiempo, es la Transformada de Fourier. La Transformada de Fourier es una herramienta matemática que asocia dos distintos dominios mediante la utilización de una transformada integral. Los dos dominios involucrados son el dominio del **tiempo** y el de **frecuencias**. Esta transformada se describe de la siguiente forma a través de la matemática:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-i\omega t} dt \quad (4.3)$$

Donde  $\omega = 2\pi f$  y  $f$  es la frecuencia.

En el caso en que los datos observados no se encuentren muestreados de forma homogénea, que por lo general ocurre con los datos observados en astronomía, no podemos emplear el algoritmo descrito por Fourier, y debemos recurrir a otro tipo de algoritmo que nos calcule el periodograma. En base a este argumento, es que se elige el método formulado por Lomb (1976) y Scargle (2002).

La expresión matemática que nos da como resultado el periodograma de Lomb-Scargle es:

$$P_{LS}(f) = \frac{1}{2} \left\{ \frac{(\sum_n g_n \cos(2\pi f[t_n - \tau]))^2}{\sum_n g_n \cos^2(2\pi f[t_n - \tau])} + \frac{(\sum_n g_n \sin(2\pi f[t_n - \tau]))^2}{\sum_n g_n \sin^2(2\pi f[t_n - \tau])} \right\} \quad (4.4)$$

Donde

$$\tau = \frac{1}{4\pi f} \tan^{-1} \left( \frac{\sum_n \sin(4\pi f t_n)}{\sum_n \cos(4\pi f t_n)} \right) \quad (4.5)$$

La idea es expresar la serie de tiempo en un análogo espectral que este directamente relacionado con la presencia de una periodicidad en el tiempo observado.

### 4.4. Teorema de Muestro de Nyquist-Shannon

Un factor importante a la hora de la determinación de periodicidades en una serie de tiempo, guarda relación con un valor llamado Frecuencia de Nyquist. Esta consideración fue descrita por Nyquist (1928) y Shannon (1949). La idea general radica en la restricción impuesta por el muestreo a la hora de buscar una señal periódica.

El toerema es como sigue:

Sea una señal muestreada de periodo P, es necesario que el muestreo se realice al menos

en intervalos de tiempo de la mitad de este periodo, de lo contrario, frecuencias menores pueden ser ajustadas a la misma curva, aportando inexactitud a la hora de la búsqueda de periodicidades en señales.

Es de consideración en este trabajo, ya que en el catálogo empleado, existen periodos menores que uno, que pueden ajustar más de una señal periodica a la muestra.

El teorema de muestreo fué desarrollado por Nyquist en 1928 y posteriormente probado matemáticamente por Shannon en 1949.

## 4.5. Minimización de Dispersión de la Fase

La minimización de la dispersión de fase (o PDM por sus siglas en inglés) es una herramienta matemática útil a la hora de buscar periodicidades en una serie de tiempo. En primera instancia implementada por Stellingwerf (1978), el algoritmo se basa en la utilización de observaciones en serie de tiempo, en donde cada punto tendrá un tiempo y una magnitud asociada. Consideremos un set de datos de  $N$  puntos de la forma  $(x_i, t_i)$  con  $i = 1, 2, \dots, N$ , en donde  $t_i$  es el tiempo y  $x_i$  la magnitud medida asociada a ese tiempo. Ahora, veamos que la variancia  $\sigma^2$  de la magnitud  $x$  esta dada por la ecuación que sigue:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_i^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1} \quad (4.6)$$

En donde  $\bar{x} = \sum_i x_i / N$  es el promedio de los valores medidos para la magnitud. Se define además la variancia de la muestra  $s^2$  de la forma

$$s^2 = \frac{\sum (n_j - 1) s_j^2}{\sum n_j - M} \quad (4.7)$$

En donde se supone  $M$  muestras distintas, se varianzas  $s_j^2$  con  $(j = 1, \dots, M)$ . A continuación, se espera minimizar la variancia de cada muestra con respecto a la curva de luz promedio. Es a partir de aqui, que a través de periodos de prueba, se busca encontrar un periodo cuya fase minimize la dispersión y en consecuencia pueda representar de mejor forma el periodo de la fuente variable observada.

Cabe señalar que a diferencia del análisis de Fourier, este método representa una ventaja considerable ya que permite encontrar periodos en datos muestreados de forma heterogenea en la coordenada temporal, es decir que no es necesario que el muestreo se obtenga en rangos de tiempo iguales.

## Capítulo 3

### 5. El Catálogo

El catálogo utilizado en esta búsqueda, fué realizado por un grupo de astrónomos del Observatorio de la Universidad de Varsovia, en Polonia y es explicado en la publicación de Soszyński et al. (2016). A partir de las observaciones de las distintas etapas del proyecto OGLE (*Optical Gravitational Lensing Experiment*), OGLE II, III y IV, se encontraron más de 450.000 objetos binarios, los cuales se distribuyen entre los 100 campos observados (hasta 2013, en 2014 se redujeron a 80 campos) en dirección al centro de la Vía Láctea. A continuación, se entregarán al lector detalles correspondientes al catálogo, con el fin de explicar características de los datos utilizados en esta búsqueda, y en particular, se hablará sobre la cuarta fase del proyecto (OGLE-IV), a la cual corresponden los datos utilizados en esta tesis.

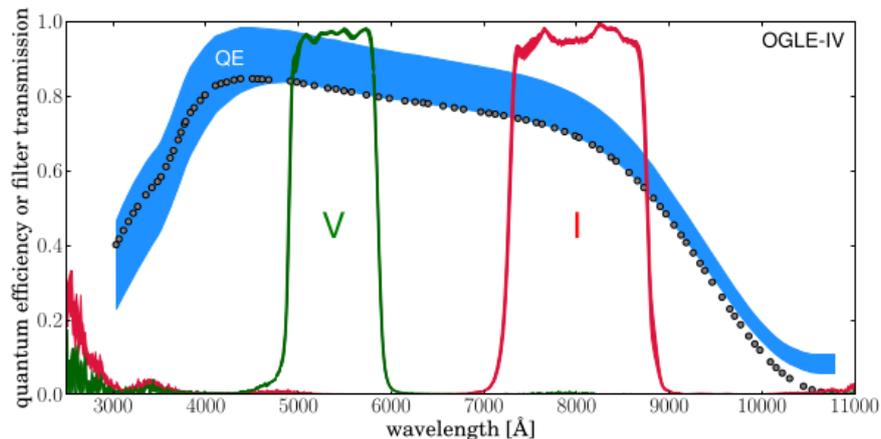
#### 5.1. Especificaciones Técnicas y Observaciones

La región observada y utilizada para este trabajo, está ubicada en dirección al centro de la Vía Láctea, hacia donde se encuentra la constelación de Sagitario. Las observaciones se realizaron en un amplio rango de tiempo, entre 1997 a 2015, desde el observatorio Las Campanas, ubicado en la III Región de Atacama, en el norte de Chile.

El instrumento utilizado fue el telescopio 1.3 m Warsaw University Telescope, observándose en dos filtros, I y V, de los cuales se ilustra en la figura 5.1. Todas las especificaciones anteriormente mencionadas, son explicadas por Udalski et al. (2015).

Se realizaron 113.340 imágenes solo en dirección al bulbo de la galaxia, sin considerar las realizadas hacia el disco, y la nube grande y chica de Magallanes. La región monitoreada corresponde a 130 grados cuadrados en dirección al centro galáctico. La fotometría realizada cubre el rango de entre 12 y 21 magnitudes para el filtro I ( $12 < I < 21$  mag.) y entre 13 y 21.7 mag. para el filtro V ( $13 < V < 21,7$  mag.).

red: 10-30 per night yellow: 3-10 per night green: 1-3 per night blue: 0.5-1 per night cyan: less than 0.5 per night transparent: observed occasionally



**Figura 5.1:** En la figura se muestra la banda cubierta por cada uno de los filtros (I y V) en términos de la longitud de onda y la transmisión de estos. Por otra parte, se ilustra la eficiencia cuántica del CCD del telescopio en azul, que guarda relación con la respuesta o sensibilidad del detector a fotones con una longitud de onda dada.

**Cuadro 5.1:** Cadencia de observaciones para cada campo observado según su color en la figura 5.2.

Color	Observaciones
Rojo	10-30 por noche
Amarillo	3-10 por noche
Verde	1-3 por noche
Azul	0.5-1 por noche
Cian	Menos de 0.5 por noche
Transparente	Ocasionalmente observado

## 5.2. Binarias Eclipsantes

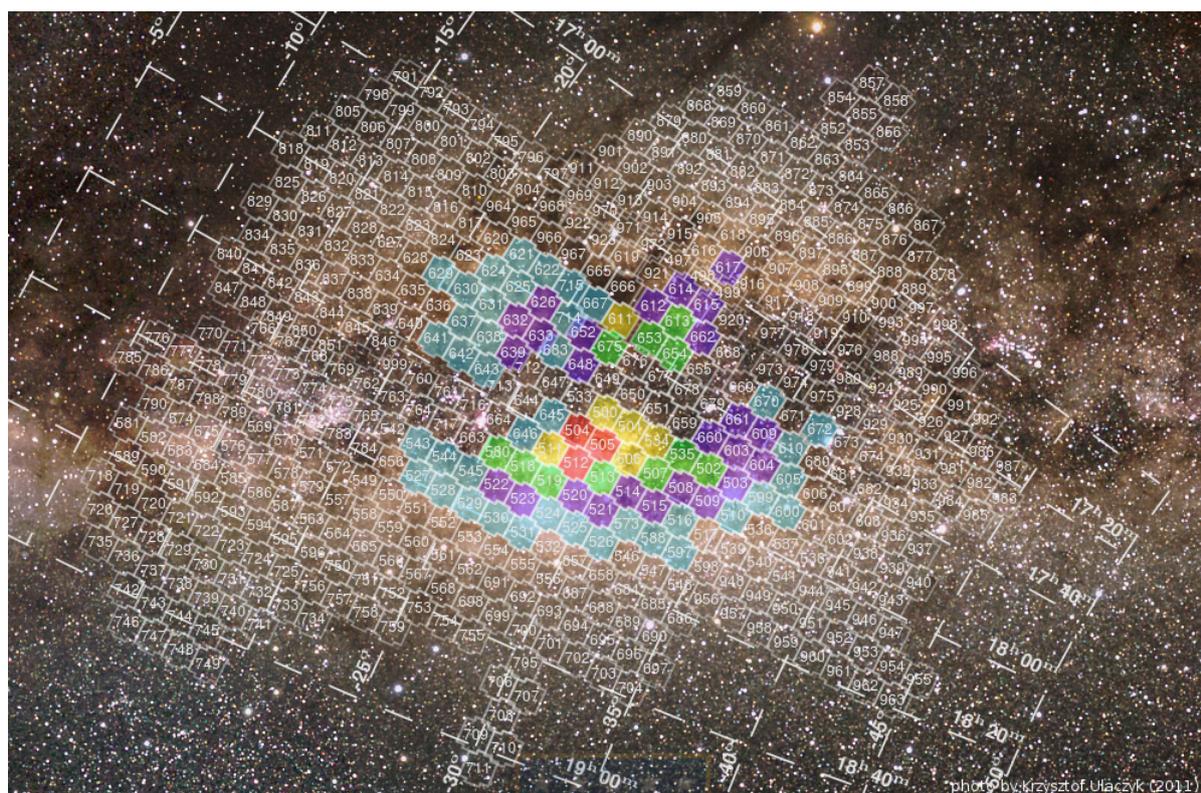
Dentro de este catálogo, se especifica la identificación de 425.193 sistemas binarios eclipsantes distribuidos en los 137 campos observados por la misión.

### 5.2.1. Periodos

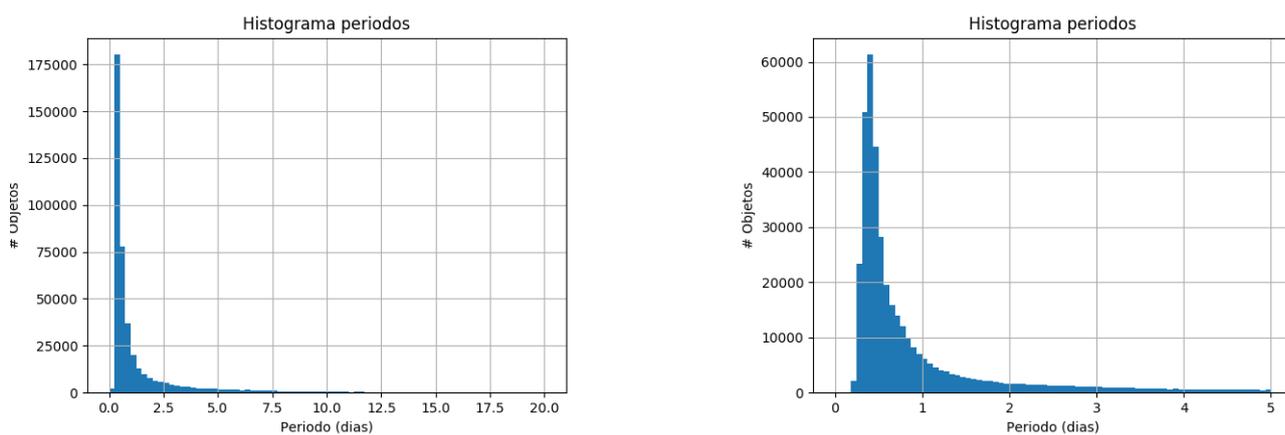
Los periodos utilizados en este apartado, corresponden a aquellos especificados en el catálogo para los objetos eclipsantes identificados en él. En este, se busca ilustrar la distribución de objetos según el periodo que se calculó en primera instancia .

De los histogramas de la figura 5.3, es posible observar que la distribución se acumula en valores entre 0 y 1 día.

Es importante notar que los valores de periodos calculados en el catálogo van desde  $\sim 0,3$  hasta 2591.5 días.



**Figura 5.2:** Campos observados por OGLE hacia el bulbo de la galaxia. En rojo, y amarillo, los con mayor densidad de observaciones.



**Figura 5.3:** En el gráfico de la izquierda, se observa un histograma con la distribución de los periodos entre 0 y 20 días. El ancho de cada barra es de 0.25 días. En la figura de la derecha, se observa la misma distribución, pero en una región más acotada de periodos. Este histograma contiene los sistemas binarios eclipsantes con periodo entre 0 a 5 días. El ancho de cada barra es de 0,0625 días.

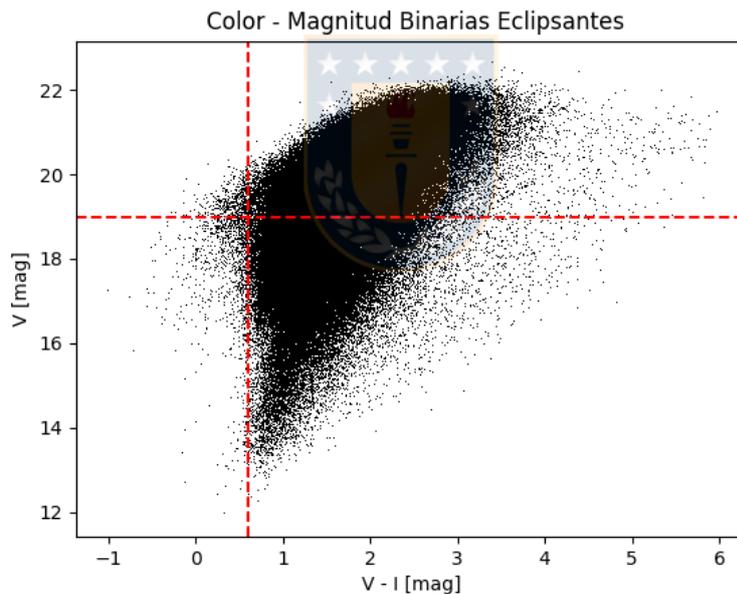
## Capítulo 4

### 6. Metodología: Búsqueda de DPVs

#### 6.1. Selección por Índice de color

La zona en donde se esperaría encontrar DPVs se encuentra en el cuadrante por debajo de la línea roja horizontal, y del lado izquierdo de la línea roja vertical en la figura 6.1. La zona correspondería a la misma en la que deberían ubicarse estrellas tipo B/A según es especificado por Mennickent et al. (2005).

Los valores de las líneas rojas son los mismos utilizados por Poleski et al. (2010), en donde se pretendía buscar DPVs en la nube grande de Magallanes. Todo lo mencionado anteriormente, se ilustra en la figura 6.1.



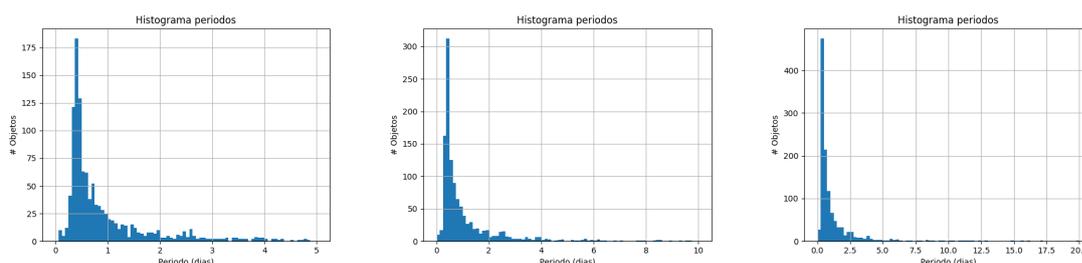
**Figura 6.1:** Gráfico color-magnitud de 376.575 estrellas binarias eclipsantes. En rojo, se especifican las rectas  $V - I = 0,6$  y  $V = 19$ .

Para efectos de esta tesis, la búsqueda se realizará en la totalidad del catálogo, ya que en dirección al bulbo de la Vía lactea el enrojecimiento es considerable, por lo que los objetos pueden encontrarse en rangos distintos de color y magnitud.

## 6.2. Selección por relación entre periodos.

En este caso, la búsqueda se realizará a partir de la suposición de la existencia de una segunda componente periódica presente en los residuales de las curvas de luz, que responda a la relación intrínseca que existe entre los periodos explicada en el apartado 3.3.

A partir de la selección realizada en el apartado anterior, se especifica en la figura 6.2 la distribución de variables según el periodo de catálogo para aquellas que en primera instancia cumplen con los valores de color y magnitud establecidos.



**Figura 6.2:** Histogramas de periodos para las variables eclipsantes que cumplen  $I - V < 0,6$  y  $V < 19$ . El histograma de la derecha agrupa los periodos entre 0 y 5 días, el que esta en el centro contiene a aquellas con periodo de 0 a 10 días, y el de la derecha, a la mayoría de las variables del catalogo, con periodos entre 0 a 20 días. Cada histograma se divide en 80 barras.

La búsqueda de periodo largo en las curvas de luz, se acota a la región delimitada por las rectas:

$$P_2 = 38,74P_1 + 32,95$$

$$P_2 = 38,74P_1 - 192,05$$

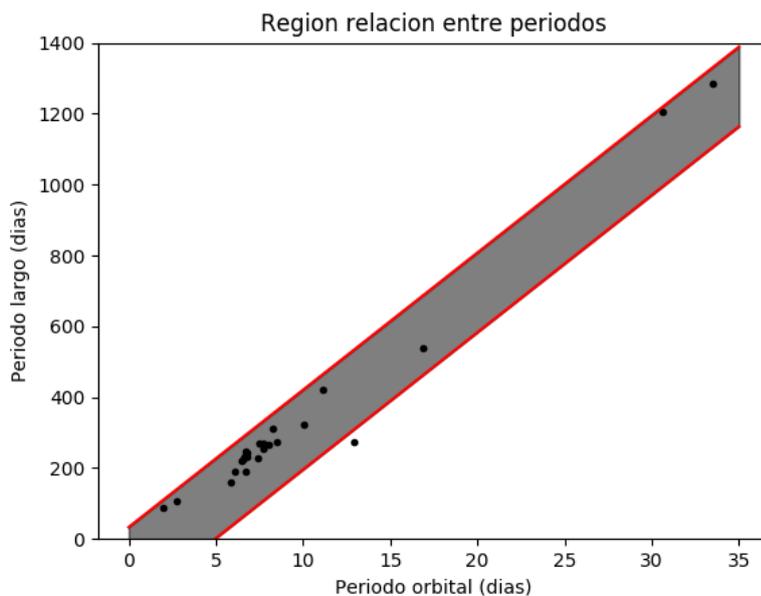
Asociadas a la recta encontrada a través de la interpolación polinomial a primer orden para las DPVs conocidas de la galaxia en la ecuación 3.2. Las rectas difieren únicamente en el punto en donde cortan al eje del periodo largo.

### 6.2.1. Metodología.

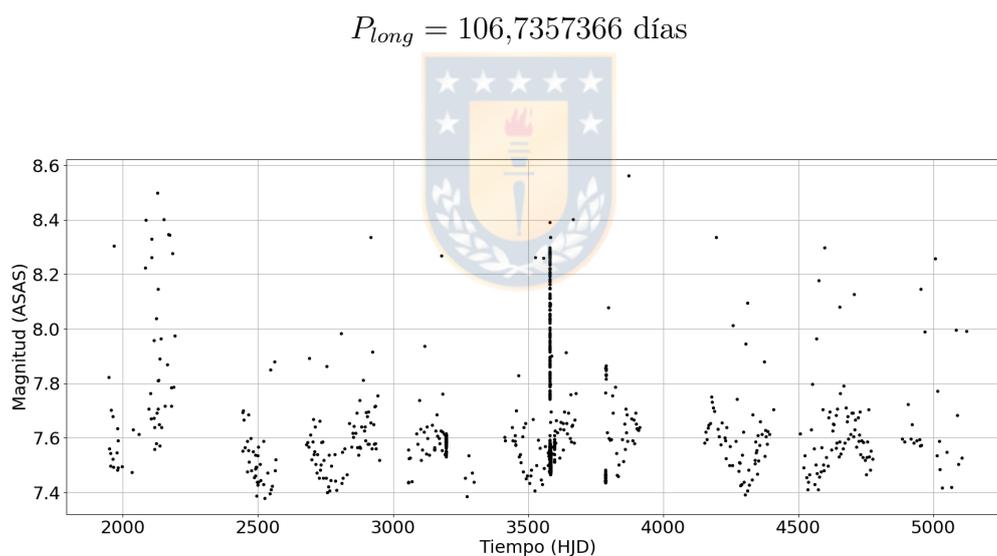
A continuación, se explica de manera detallada la metodología propuesta para utilizar la información de las curvas de luz dispuestas desde el catálogo.

En este ejemplo, se aplicó el método planteado a la DPV galáctica V393 Sco. Cuyos valores de periodo orbital y periodo corto son ya conocidos y publicados por Michalska et al. (2010). Los valores se especifican a continuación.

$$P_{orb} = 7,71259 \text{ días}$$



**Figura 6.3:** En la figura, se ilustra la región que contiene a la mayoría de DPVs.



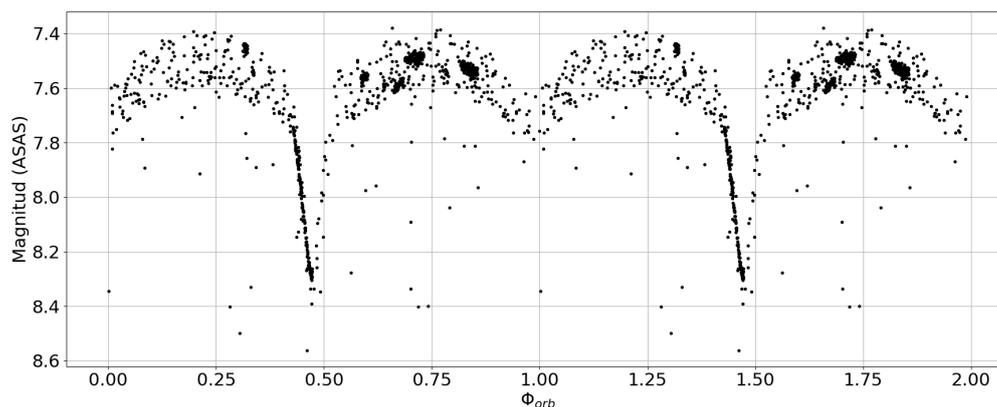
**Figura 6.4:** Datos observados para V393 Sco (ASAS 174848-3503.4 Light Curve (asas3)).

En la figura 6.4, podemos ver graficados los puntos observados para el objeto en cuestión (ASAS 174848-3503.4).

En la figura 6.5, se muestra la curva de fase para V393 Sco, con el periodo orbital antes señalado.

Frente a la necesidad de evidenciar únicamente la componente del periodo largo en la curva de luz, se especifica a continuación el uso de el algoritmo realizado por Zbigniew Kołaczkowski y explicado por Mennickent et al. (2012a).

En palabras sencillas, el algoritmo anteriormente mencionado realiza a través de análisis de Fourier la descomposición espectral de frecuencias de la serie de tiempo discreta de entrada



**Figura 6.5:** Curva de fase para V393 Sco (ASAS 174848-3503.4 Light Curve (asas3)).

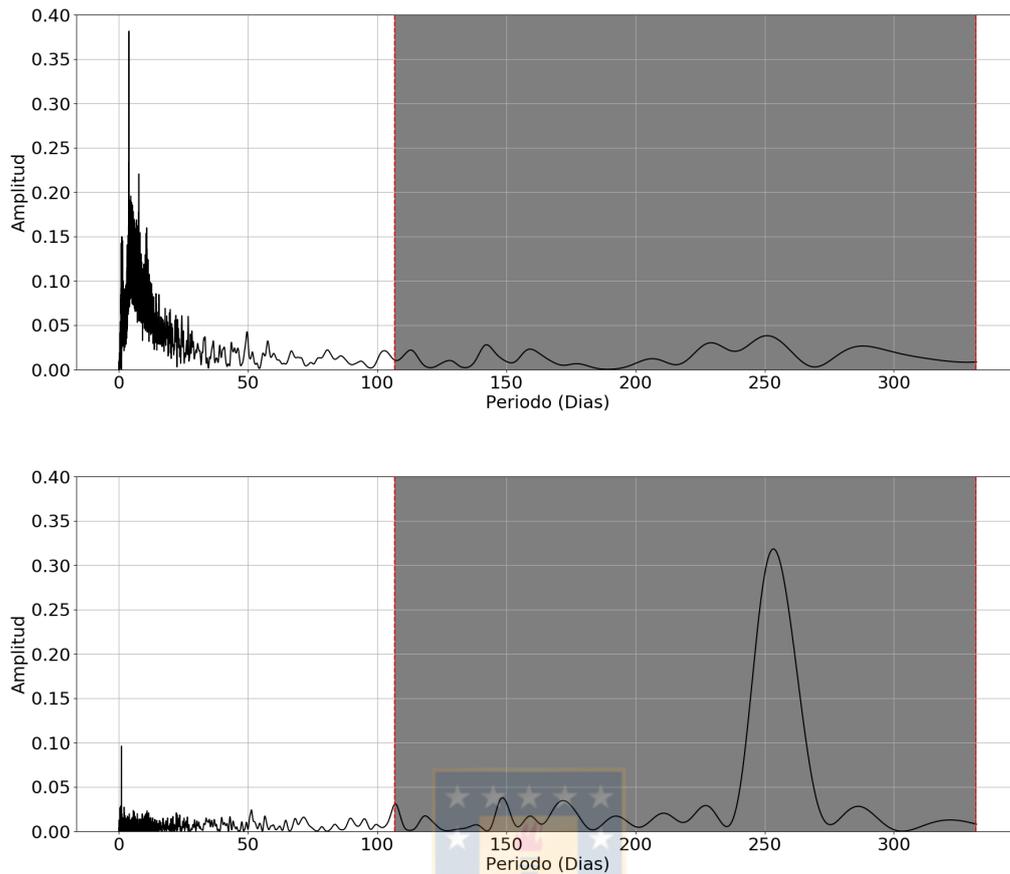
(curva de luz), una vez hecho esto, el método extrae alguna componente periódica con frecuencia específica, dejando como residuo una curva que eventualmente podría evidenciar una segunda componente periódica. En la figura 6.6, se observa tanto el periodograma generado a partir del algoritmo Lomb Scargle previo a la extracción de la componente periódica orbital, como el mismo proceso en los datos posterior a la realización de la deconvolución de las componentes. Además, se observa la región de búsqueda del periodo largo.

A partir de que ya se conoce el periodo orbital del sistema, al igual como se conocen los periodos de las estrellas variables en el catálogo, se busca un valor mínimo y máximo entre los cuales debería existir el periodo largo.

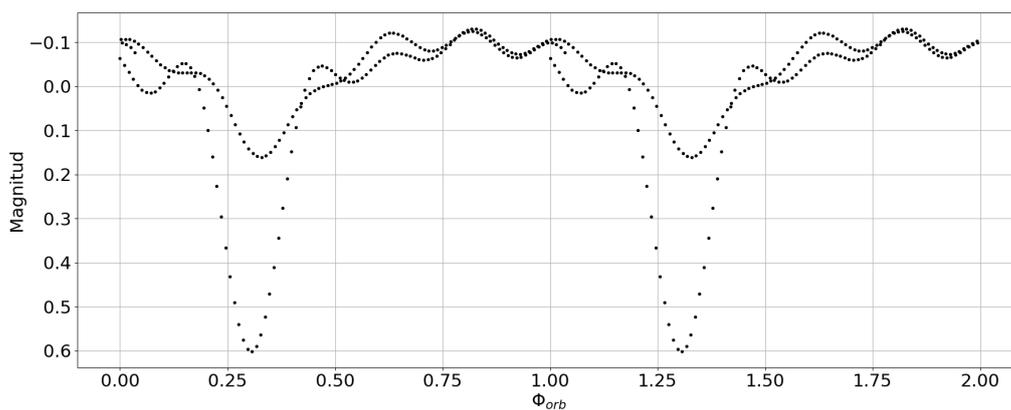
La figura 6.8, es un zoom a la zona oscurecida en el gráfico superior de la figura 6.6. De ésta se puede apreciar la existencia de un máximo en aproximadamente 250 días, que es aproximadamente el periodo largo encontrado para el sistema, el pico puede ser fácilmente considerado como parte del piso de ruido que presenta el periodograma, a pesar de ser un máximo local en el intervalo de confianza en donde se espera encontrar el periodo largo.

Por otra parte, es evidente la existencia de un máximo no solo local, sino mas bien absoluto en el espectro de frecuencia de la serie de tiempo.

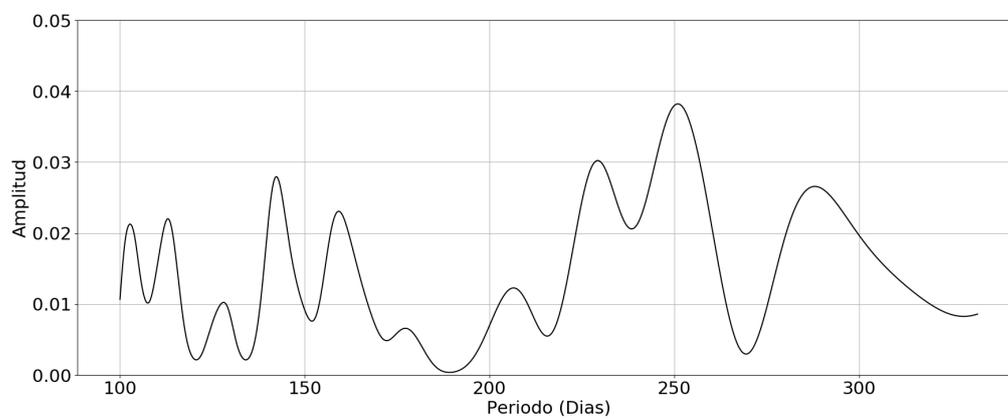
De esta forma, podemos llegar a determinar la existencia de una segunda periodicidad en la curva de luz, y de ser así, determinar el valor del periodo largo de forma inmediata.



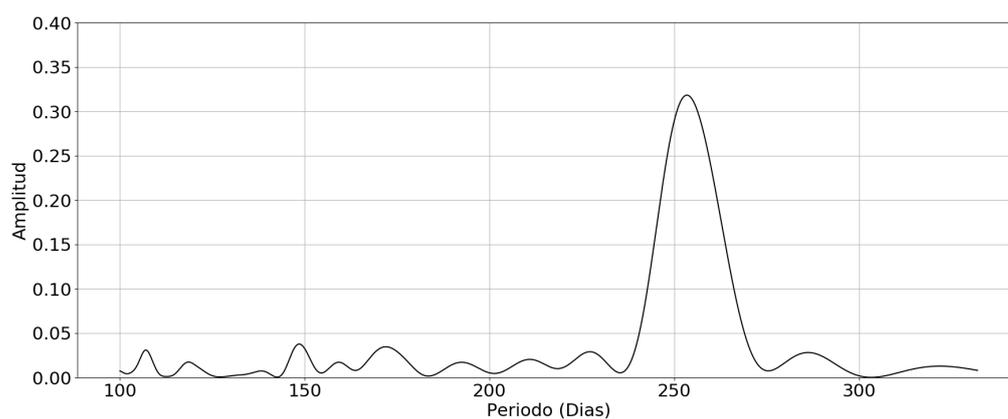
**Figura 6.6:** Periodograma de V393 Sco. La zona oscura es aquella en la que se busca la segunda periodicidad. El primero de ellos, corresponde al periodograma de la curva de luz observada, mientras que el gráfico inferior corresponde al periodograma de la curva residual del mismo objeto (después de la extracción del periodo orbital).



**Figura 6.7:** Armónicos utilizados para la representación de Fourier de la curva de luz del objeto V393 Sco. Estos son sustraídos de la curva de fase para dar como resultado la curva de residuales en donde se buscará el periodo largo.



**Figura 6.8:** Detalle de la zona anteriormente señalada en la figura 6.6.



**Figura 6.9:** Periodograma en la vecindad de 250 días.

## Capítulo 5

### 7. Análisis

La metodología anteriormente descrita fue aplicada en todas las binarias eclipsantes que tuviesen periodos orbitales mayores a un día. En principio, se aplicó el proceso de separación de las componentes periódicas a todo el set de datos, para luego analizar de forma automática las curvas residuales utilizando el algoritmo de Lomb-Scargle. Esta tarea fue implementada a través del módulo de python `astoML`. De esta forma, se buscó aquellas curvas residuales que presentaran periodos en el rango establecido para que se cumpla la relación entre el periodo largo y el periodo orbital. Adicionalmente, se inspeccionó los casos favorables de forma manual para poder distinguir, a través de características morfológicas de las curvas de luz, si la fenomenología observada en su variación correspondía a la de una binaria semi separada, con presencia de un disco en torno a la estrella primaria, y con una clara variación secundaria distinguible de la dispersión local en la curva de fase para el periodo con amplitud máximo en el el periodograma de cada residuo. A partir de esto se obtuvieron 34 resultados positivos con curvas características de segundo periodo mostradas en las figuras de la siguiente sección. Cabe señalar que en este trabajo, se presentan como resultados positivos solo aquellos casos en donde de forma clara se podría aseverar la existencia de un segundo periodo, casos ambiguos o poco claros no fueron agregados por necesitarse un análisis más profundo para incluirlas como candidatas a DPVs.

Cada figura ilustra de la misma forma el periodo orbital y el periodo cíclico. Se presentan las curvas de luz tanto para el filtro I como para el filtro V en caso de que tuviese observaciones en éste último filtro. En la misma figura, se ilustran las curvas de luz para el periodo orbital en rojo a la izquierda, y para el periodo cíclico en negro a la derecha. En la tabla 7.3 se presentan los periodos cíclicos reportados y sus errores asociados obtenidos con PDM de IRAF<sup>4</sup>.

---

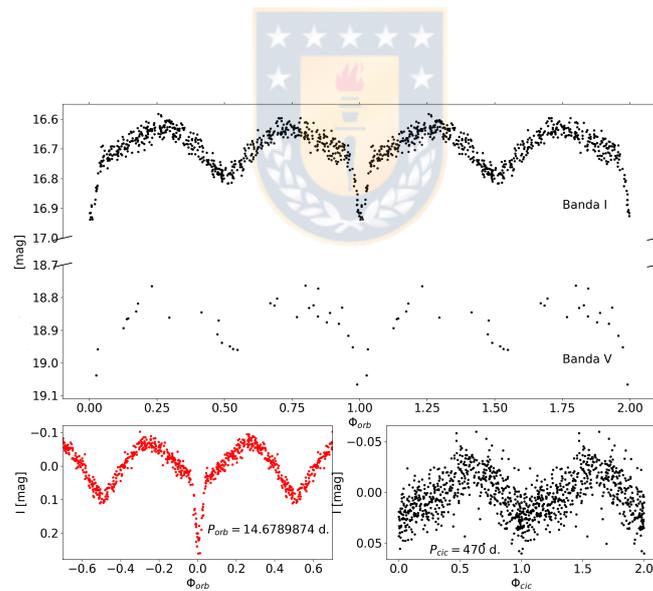
<sup>4</sup>IRAF es distribuido por National Optical Astronomy Observatories, operados por la asociación de universidades para la investigación astronómica, Inc., en virtud de un acuerdo de cooperación con la National Science Foundation.

## 7.1. DPVs Encontradas

**Cuadro 7.1:** Tabla con 34 nuevas DPV galácticas en dirección al bulbo de la Vía Láctea

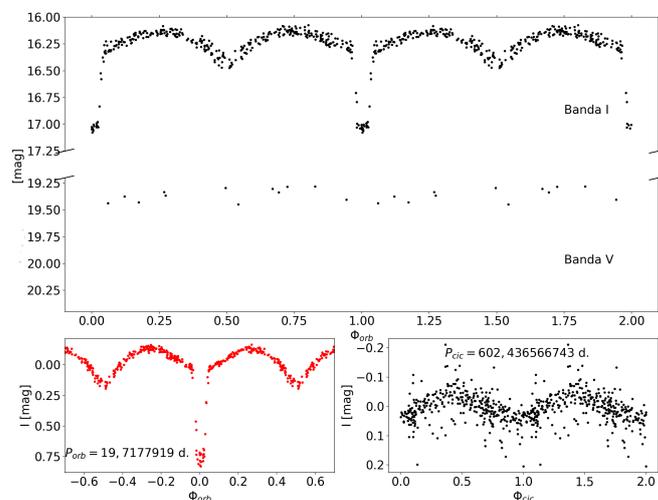
DPVs Encontradas		
OGLE-BLG-ECL-022295	OGLE-BLG-ECL-022845	OGLE-BLG-ECL-026467
OGLE-BLG-ECL-026993	OGLE-BLG-ECL-029922	OGLE-BLG-ECL-072154
OGLE-BLG-ECL-030962	OGLE-BLG-ECL-058684	OGLE-BLG-ECL-062890
OGLE-BLG-ECL-076504	OGLE-BLG-ECL-083987	OGLE-BLG-ECL-101353
OGLE-BLG-ECL-116536	OGLE-BLG-ECL-132549	OGLE-BLG-ECL-137478
OGLE-BLG-ECL-143267	OGLE-BLG-ECL-184474	OGLE-BLG-ECL-186594
OGLE-BLG-ECL-189682	OGLE-BLG-ECL-196052	OGLE-BLG-ECL-198013
OGLE-BLG-ECL-201730	OGLE-BLG-ECL-210744	OGLE-BLG-ECL-216305
OGLE-BLG-ECL-222537	OGLE-BLG-ECL-271003	OGLE-BLG-ECL-275974
OGLE-BLG-ECL-279247	OGLE-BLG-ECL-307730	OGLE-BLG-ECL-327914
OGLE-BLG-ECL-328103	OGLE-BLG-ECL-331967	OGLE-BLG-ECL-369067
	OGLE-BLG-ELL-024487	

### 7.1.1. OGLE-BLG-ECL-022295



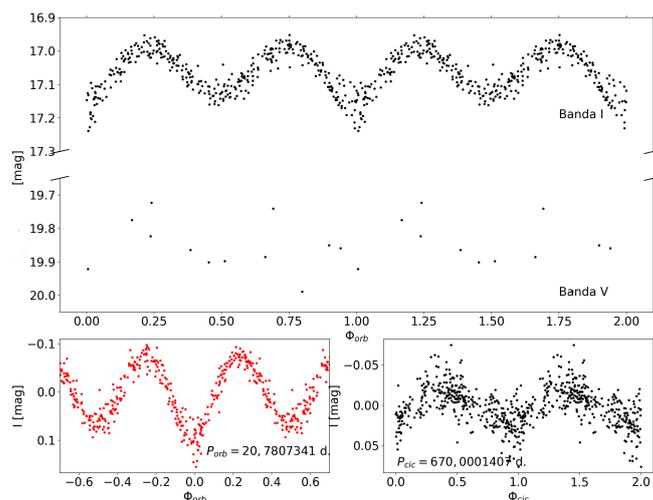
**Figura 7.1:** Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-022295. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 14.6789874 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 14.6789874 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 470 días.

### 7.1.2. OGLE-BLG-ECL-022845



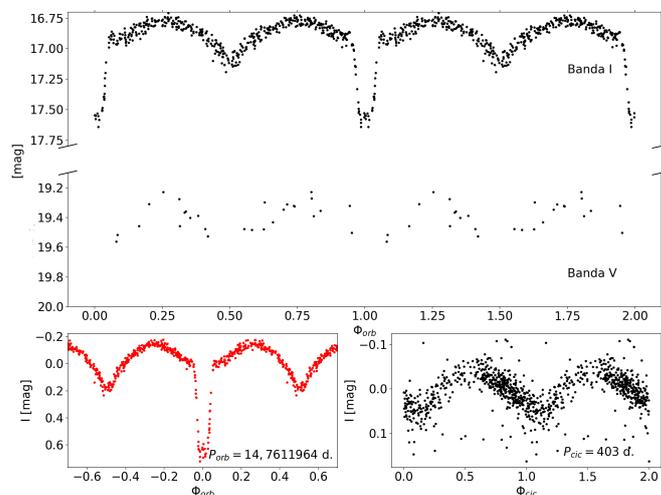
**Figura 7.2:** Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-022845. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 19,7177919 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 19,7177919 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 602,436566743 días.

### 7.1.3. OGLE-BLG-ECL-026467



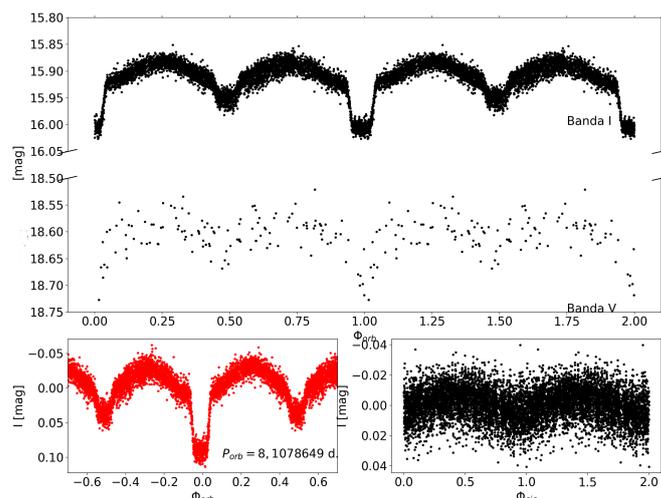
**Figura 7.3:** Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-026467. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 20.7807341 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 20.7807341 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 670.0001407 días.

## 7.1.4. OGLE-BLG-ECL-026993



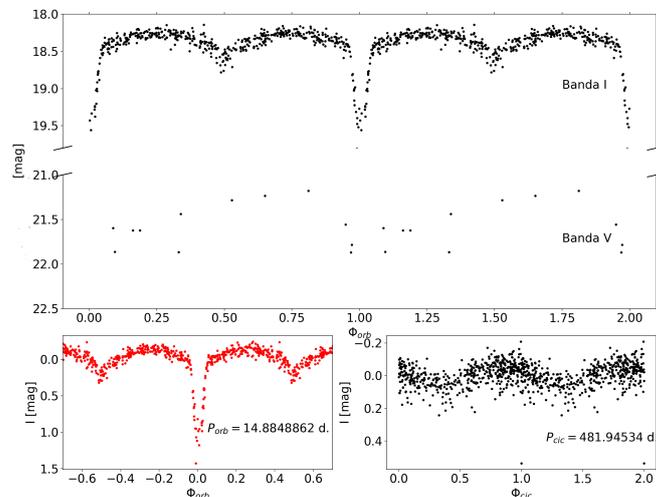
**Figura 7.4:** Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-026993. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 14.7611964 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 14.7611964 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 403 días.

## 7.1.5. OGLE-BLG-ECL-029922



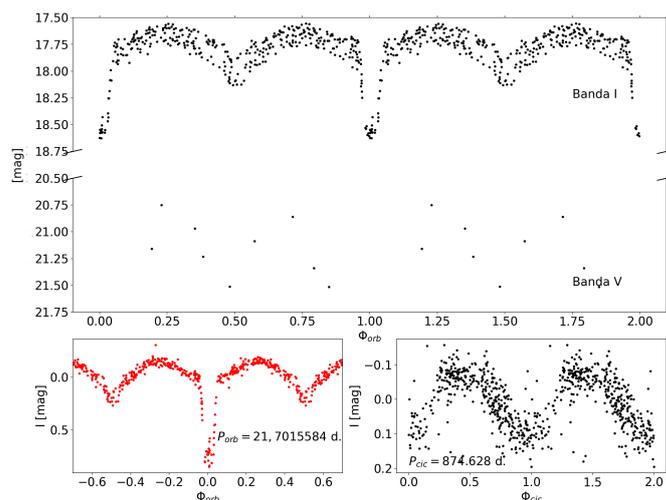
**Figura 7.5:** Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-029922. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 8.1078649 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 8.1078649 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 310.88 días.

### 7.1.6. OGLE-BLG-ECL-030962



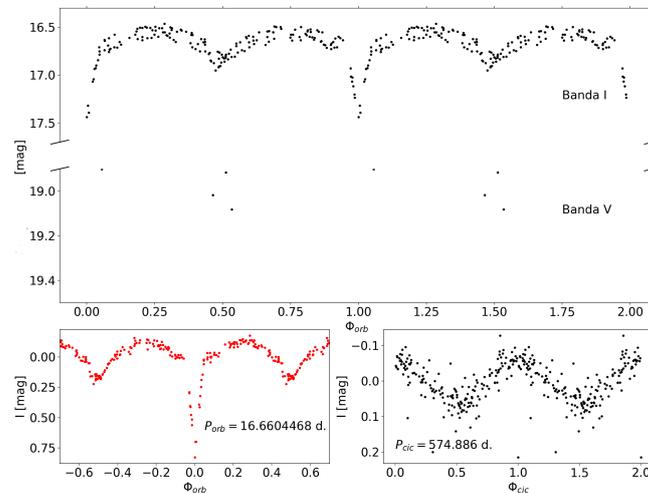
**Figura 7.6:** Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-030962. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 14.8848862 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 14.8848862 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 481.94534 días.

### 7.1.7. OGLE-BLG-ECL-058684



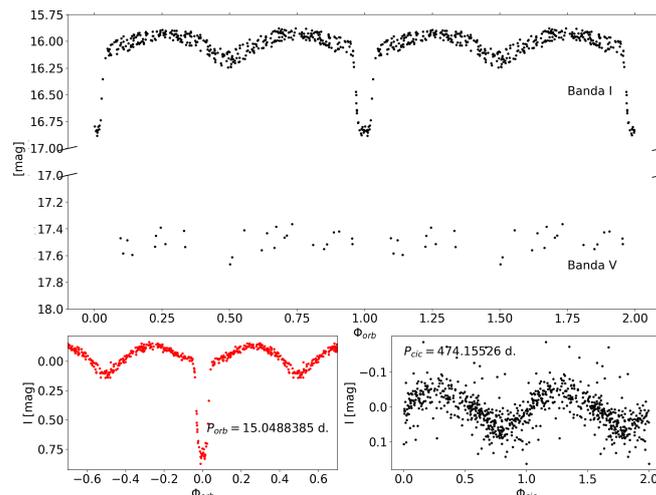
**Figura 7.7:** Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-058684. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 21.7015584 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 21.7015584 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 874.628 días.

## 7.1.8. OGLE-BLG-ECL-062890



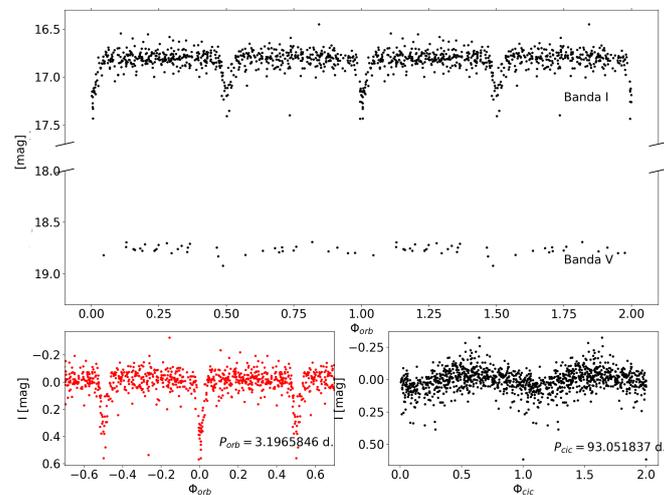
**Figura 7.8:** Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-062890. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 16.6604468 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 16.6604468 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 574.8861739717397 días.

## 7.1.9. OGLE-BLG-ECL-072154



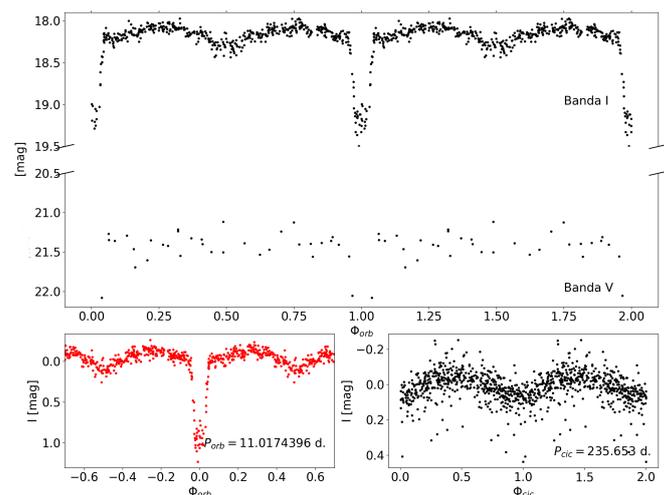
**Figura 7.9:** Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-072154. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 15.0488385 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 15.0488385 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 474.15526 días.

### 7.1.10. OGLE-BLG-ECL-076504



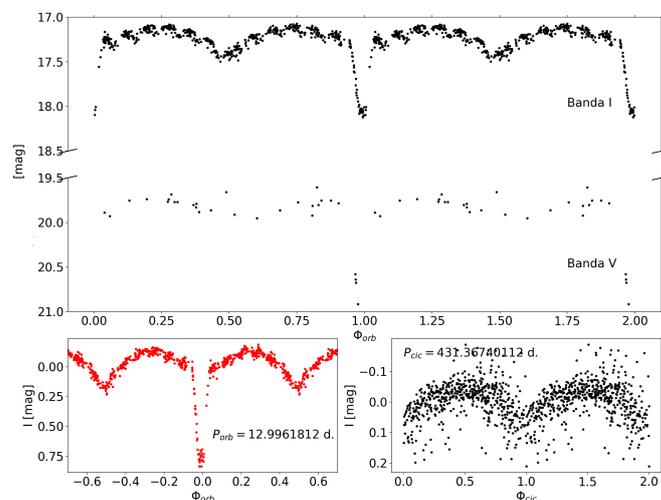
**Figura 7.10:** Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-076504. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 3.1965846 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 3.1965846 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 93.051837 días.

### 7.1.11. OGLE-BLG-ECL-083987



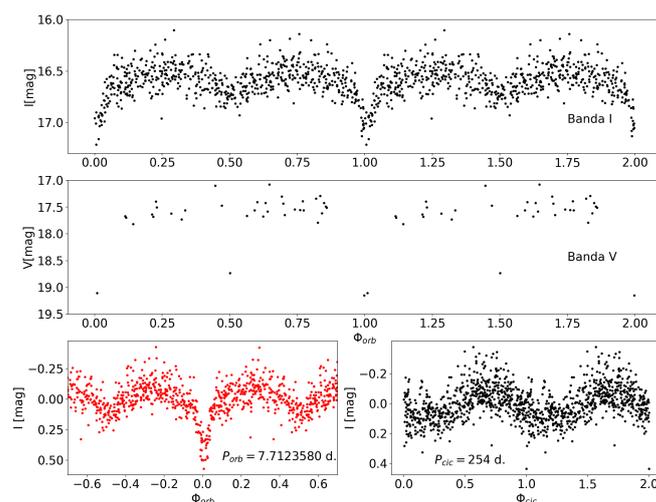
**Figura 7.11:** Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-083987. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 11.0174396 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 11.0174396 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 235.65312087 días.

## 7.1.12. OGLE-BLG-ECL-101353



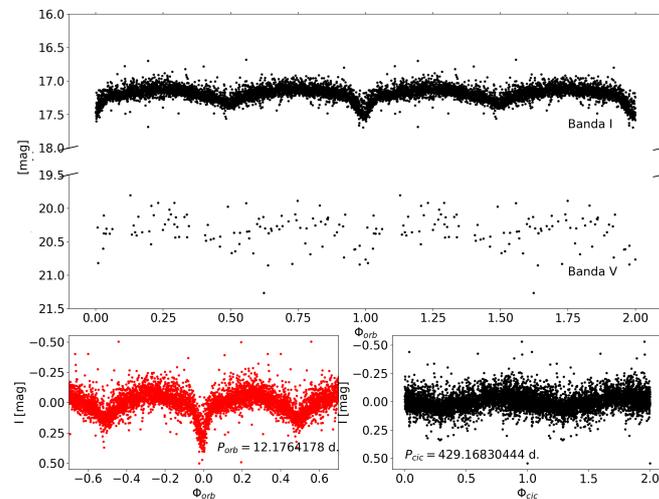
**Figura 7.12:** Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-101353. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 12.9961812 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 12.9961812 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 431.36740112 días.

## 7.1.13. OGLE-BLG-ECL-116536



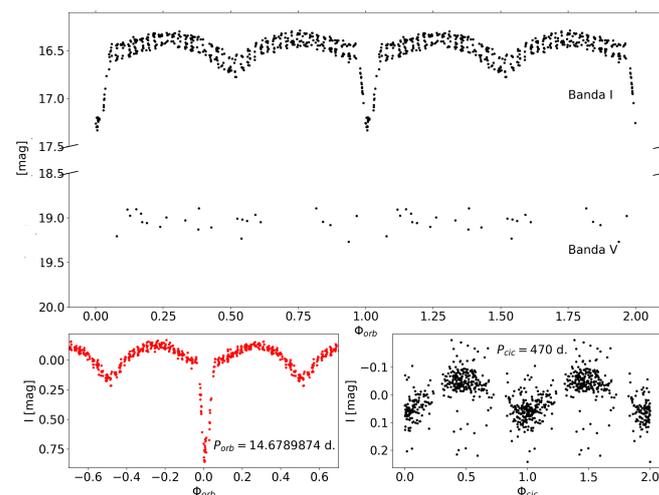
**Figura 7.13:** Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-116536. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 7.7123580 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 7.7123580 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 254 días.

### 7.1.14. OGLE-BLG-ECL-132549



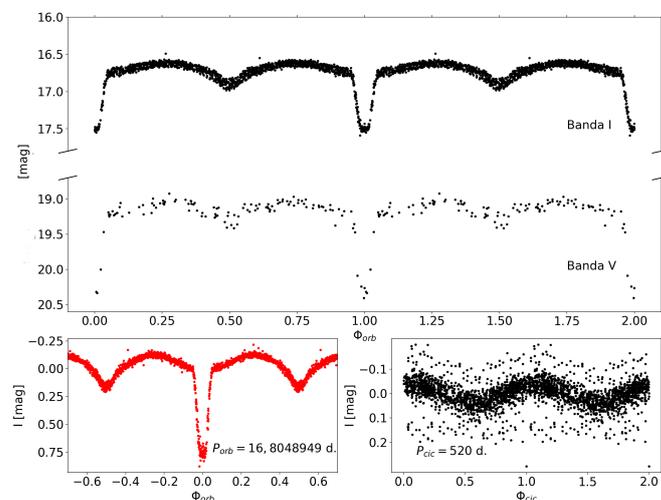
**Figura 7.14:** Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-132549. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 12.1764178 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 12.1764178 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 429.16830444 días.

### 7.1.15. OGLE-BLG-ECL-137478



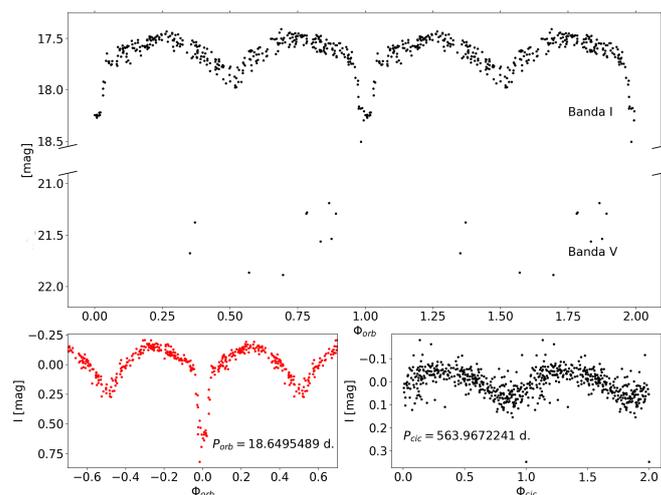
**Figura 7.15:** Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-137478. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 21.4695003 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 21.4695003 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 760.8478476284763 días.

## 7.1.16. OGLE-BLG-ECL-143267



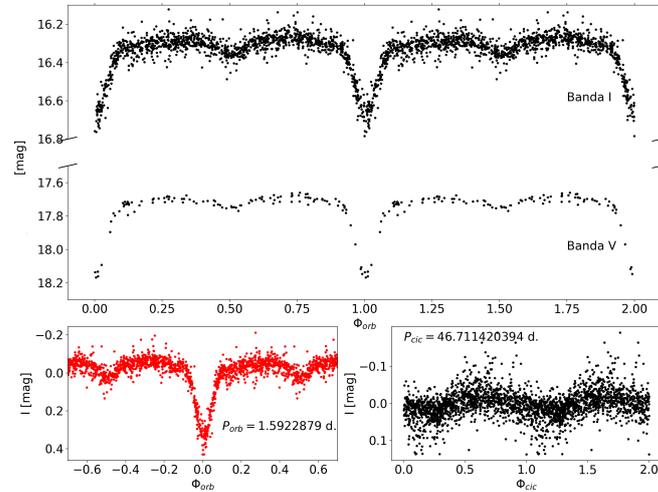
**Figura 7.16:** Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-143267. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 16.8048949 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 16.8048949 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 520 días.

## 7.1.17. OGLE-BLG-ECL-184474



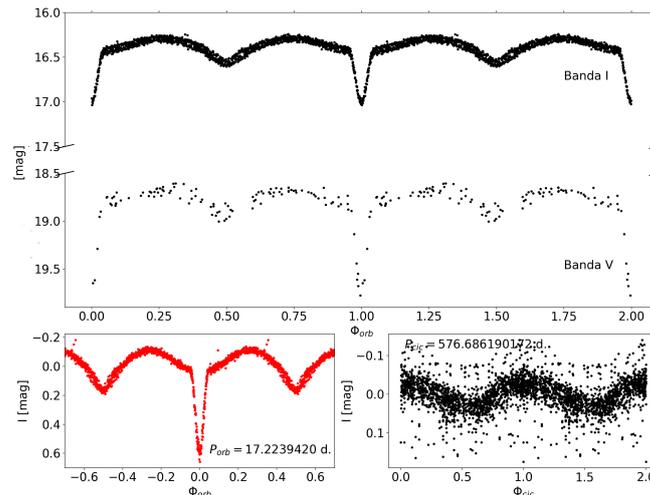
**Figura 7.17:** Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-184474. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 18.6495489 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 18.6495489 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 563.9672241 días.

### 7.1.18. OGLE-BLG-ECL-186594



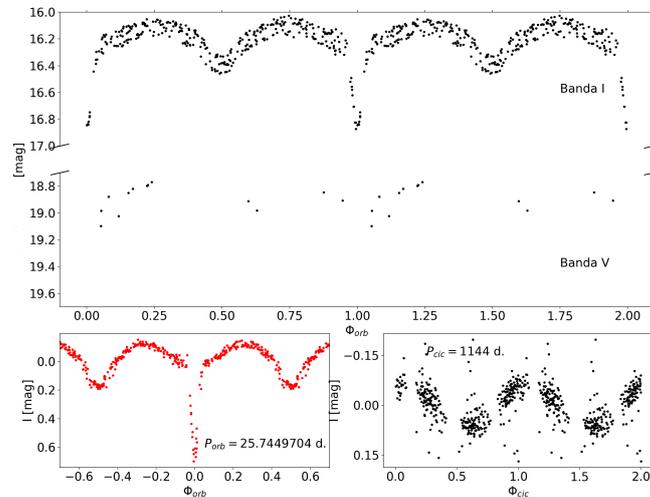
**Figura 7.18:** Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-186594. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 1.5922879 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 1.5922879 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 46.711420394 días.

### 7.1.19. OGLE-BLG-ECL-189682



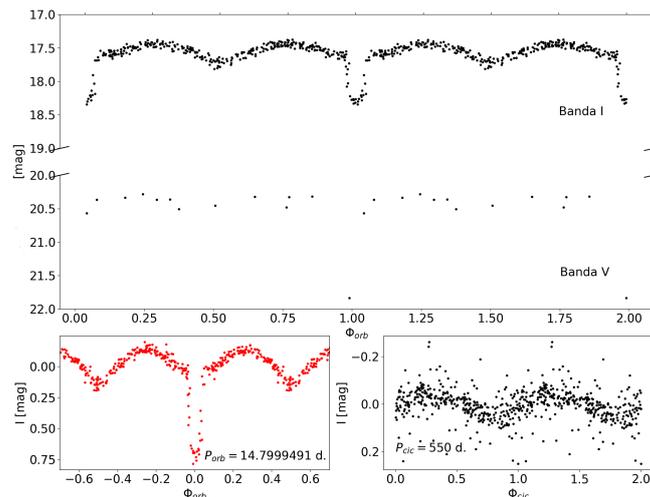
**Figura 7.19:** Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-189682. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 17.2239420 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 17.2239420 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 576.686190172 días.

## 7.1.20. OGLE-BLG-ECL-196052



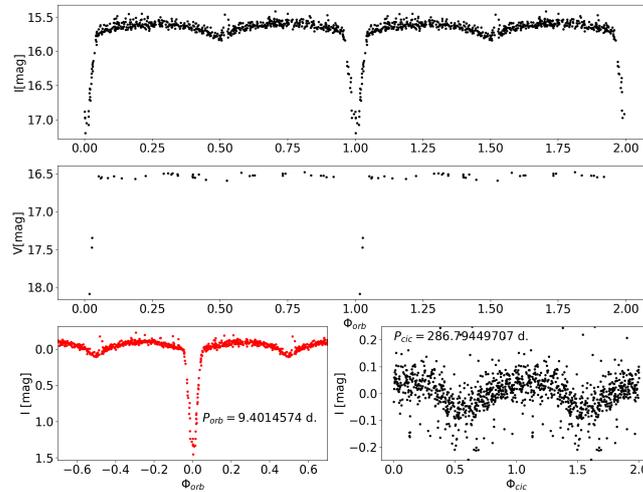
**Figura 7.20:** Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-196052. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 25.7449704 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 25.7449704 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 1144 días.

## 7.1.21. OGLE-BLG-ECL-198013



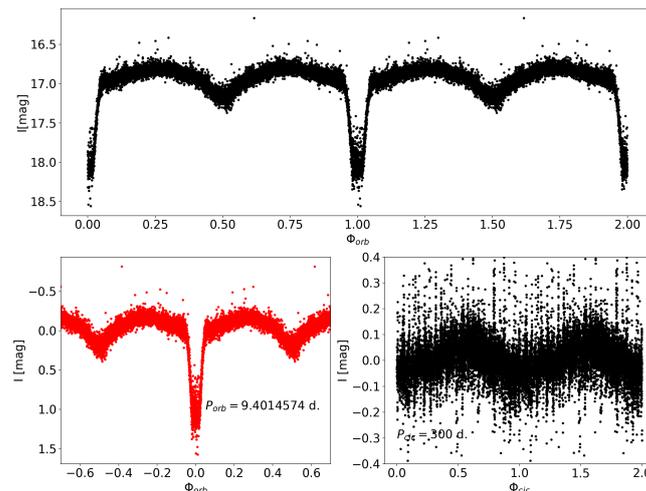
**Figura 7.21:** Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-198013. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 14.7999491 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 14.7999491 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 535.50581954 días.

### 7.1.22. OGLE-BLG-ECL-201730



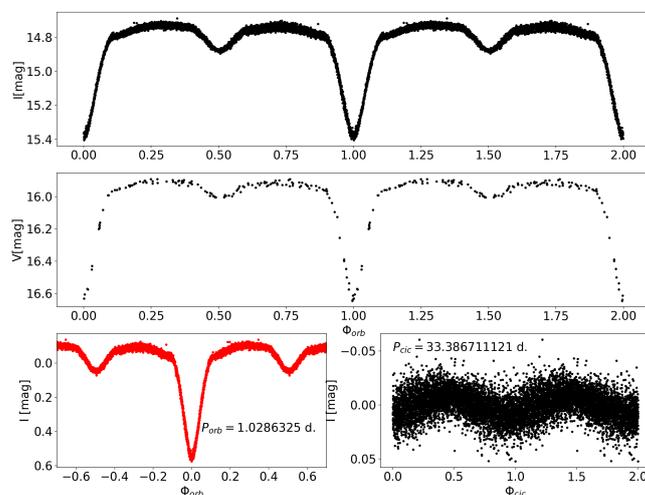
**Figura 7.22:** Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-201730. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 9.4014574 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 9.4014574 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 286.79449707 días.

### 7.1.23. OGLE-BLG-ECL-210744



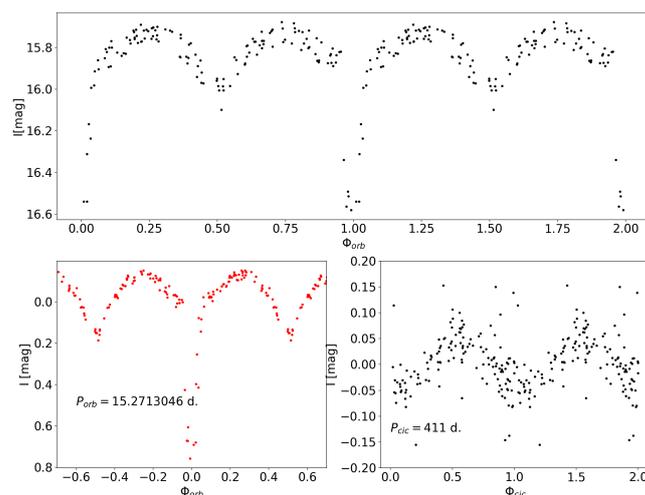
**Figura 7.23:** Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-210744. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 12.6001325 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 12.6001325 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 300 días.

## 7.1.24. OGLE-BLG-ECL-216305



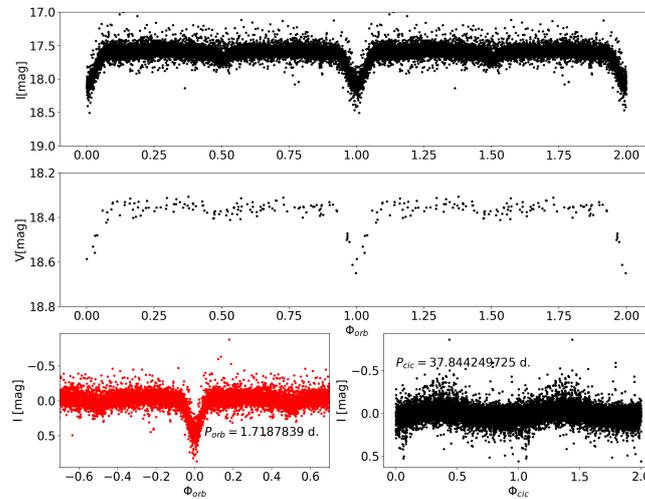
**Figura 7.24:** Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-216305. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 1.0286325 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 1.0286325 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 33.3867 días.

## 7.1.25. OGLE-BLG-ECL-222537



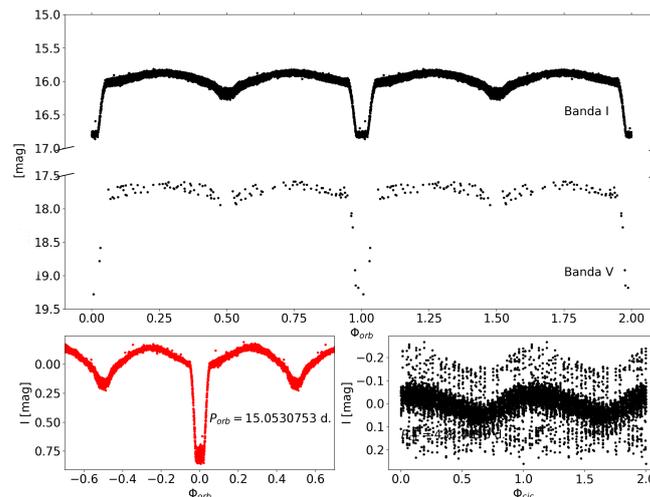
**Figura 7.25:** Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-222537. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 15.2713046 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 15.2713046 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 417.4547571 días.

### 7.1.26. OGLE-BLG-ECL-271003



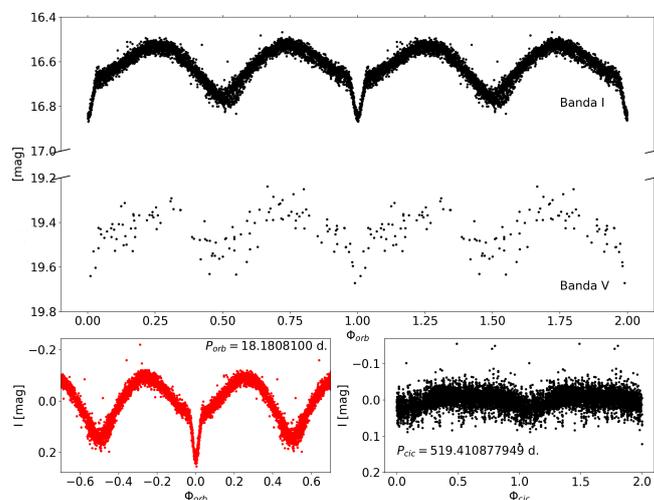
**Figura 7.26:** Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-271003. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 1.7187839 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 1.7187839 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 37.844249725 días.

### 7.1.27. OGLE-BLG-ECL-275974



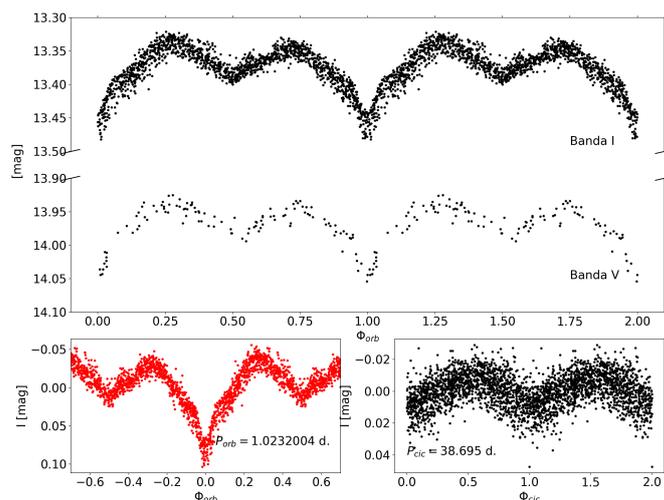
**Figura 7.27:** Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-275974. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 18.1808100 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 18.1808100 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 540.47137451 días.

## 7.1.28. OGLE-BLG-ECL-279247



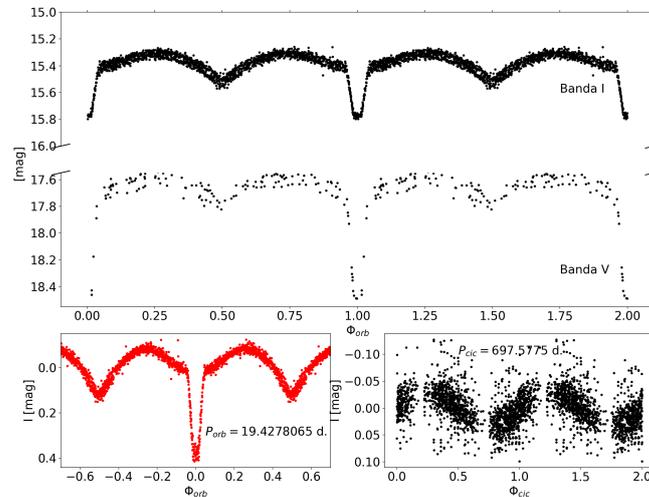
**Figura 7.28:** Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-279247. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 15.0530753 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 15.0530753 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 438.4898 días.

## 7.1.29. OGLE-BLG-ECL-307730



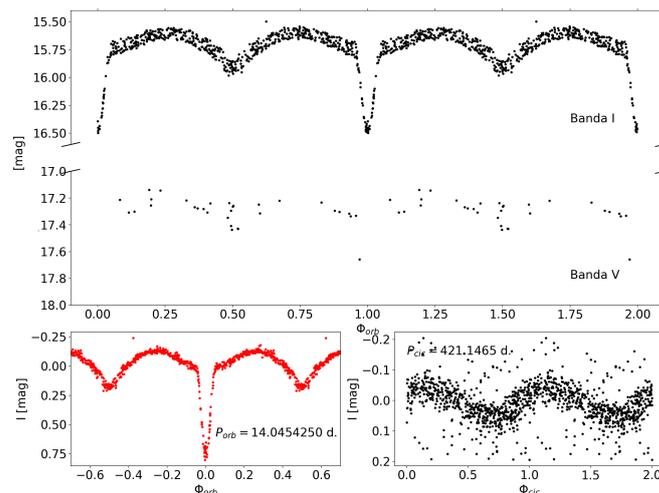
**Figura 7.29:** Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-307730. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 1.0232004 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 1.0232004 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 38.695 días.

### 7.1.30. OGLE-BLG-ECL-327914



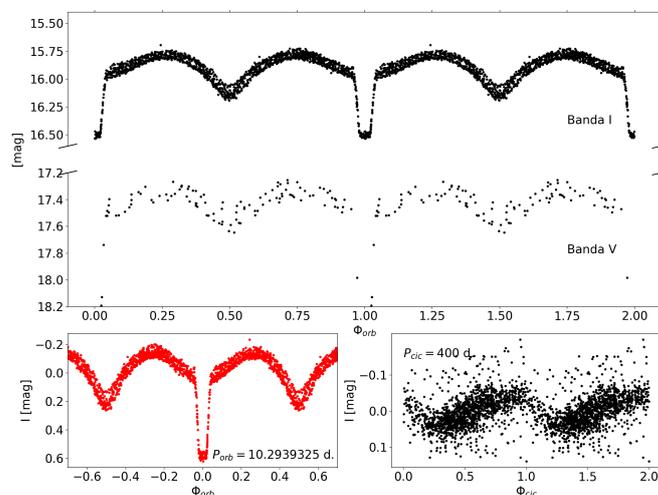
**Figura 7.30:** Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-327914. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 19.4278065 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 19.4278065 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 697.5775 días.

### 7.1.31. OGLE-BLG-ECL-328103



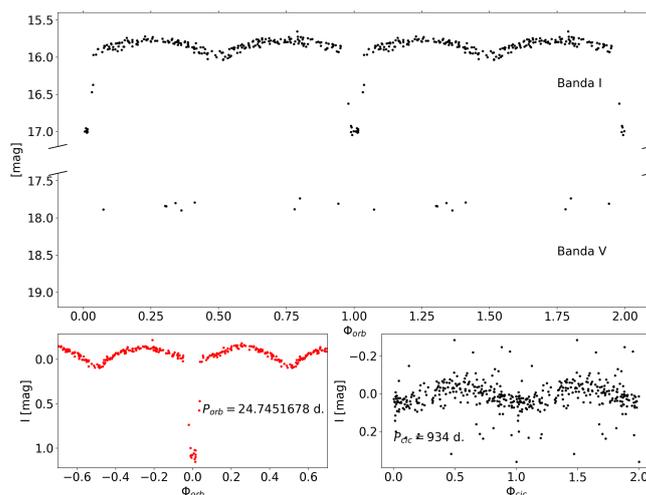
**Figura 7.31:** Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-328103. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 14.0454250 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 14.0454250 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 421.146 días.

## 7.1.32. OGLE-BLG-ECL-331967



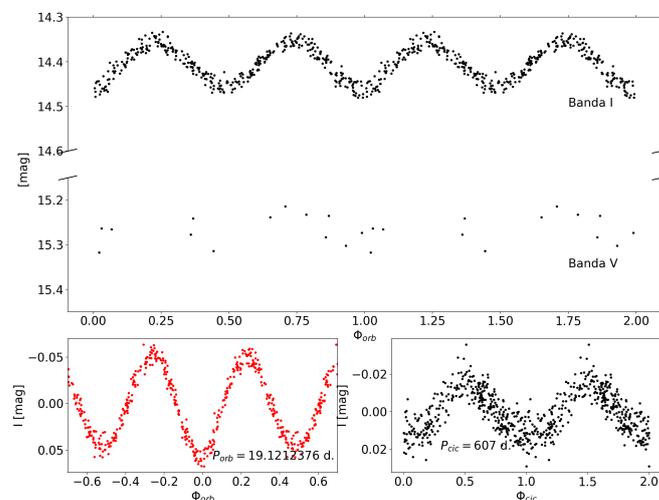
**Figura 7.32:** Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-331967. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 10.2939325 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 10.2939325 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 400 días.

## 7.1.33. OGLE-BLG-ECL-369067



**Figura 7.33:** Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ECL-369067. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 24.7451678 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 24.7451678 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 934 días.

## 7.1.34. OGLE-BLG-ELL-024487



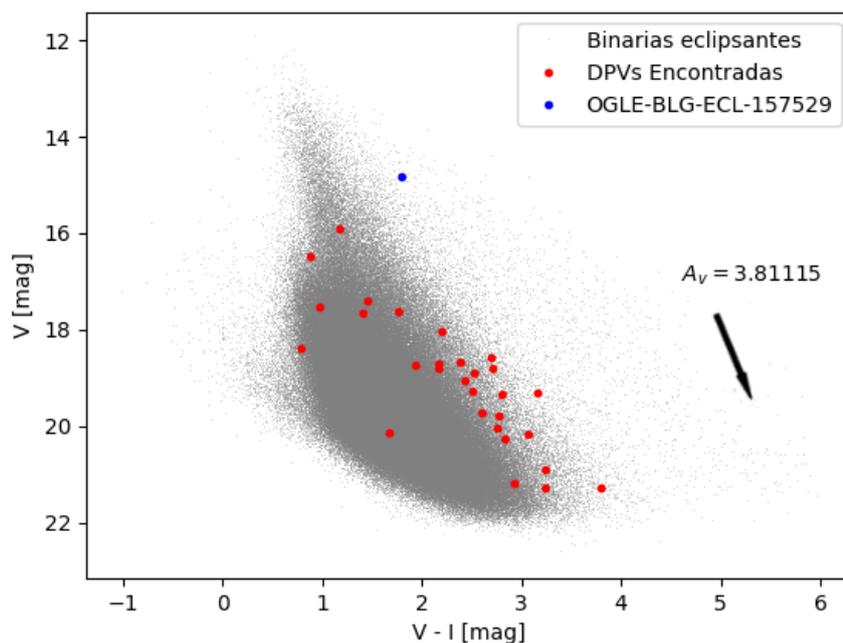
**Figura 7.34:** Curvas de fase para el objeto OGLE-BLG-ELL-024487. La figura superior corresponde a los datos observados faseados con un periodo de 19.1212376 días. Las figuras inferiores corresponden a cada componente periódica, a la izquierda (rojo), la fase orbital de 19.1212376 días, a la derecha (negro) el periodo largo de 607 días.

**Cuadro 7.2:** Tabla con 34 nuevas DPV galácticas en dirección al bulbo de la galaxia, se muestran los periodos orbitales y largos, y sus magnitudes en el filtro I y V, además de los colores V-I asociados. El periodo cíclico reportado en esta tabla es el pico máximo del periodograma Lomb-Scargle.

OGLE ID	I (OGLE) (mag)	V (OGLE) (mag)	V-I (OGLE) (mag)	$P_{orb}$ (días)	$P_{cicLS}$ (días)	$P_{cic}/P_{orb}$	$T_0(min_c)$ -2450000	$T_0(max_r)$ -2450000	RA (J2000)	DEC (J2000)
OGLE-BLG-ECL-022295	16.630	18.802	2.172	14.6789874	470	32.0186	7002.20280	6221.53798	17:30:11.87	-28:30:05.5
OGLE-BLG-ECL-022845	16.137	19.294	3.157	19.7177919	602.436566743	30.5529	7007.81820	6770.84989	17:30:30.80	-30:50:26.1
OGLE-BLG-ECL-026467	16.994	19.771	2.777	20.7807341	670.0001407	32.2414	7013.27600	6140.613	17:32:08.78	-30:35:27.1
OGLE-BLG-ECL-026993	16.778	19.291	2.513	14.7611964	403	27.3013	7014.65510	6497.67542	17:32:20.45	-28:00:25.8
OGLE-BLG-ECL-029922	15.886	18.573	2.687	8.1078649	310.88	38.343	7007.39340	6422.89724	17:33:18.50	-27:34:55.5
OGLE-BLG-ECL-030962	18.252	21.177	2.925	14.8848862	481.94534	32.3782	7010.45620	5819.52403	17:33:35.56	-28:33:39.9
OGLE-BLG-ECL-058684	17.661	20.902	3.241	21.7015584	874.628	40.3025	7010.65090	5663.7617	17:39:53.70	-33:20:44.7
OGLE-BLG-ECL-062890	16.534	18.699	2.165	16.6604468	574.8861739717397	34.506	7009.98090	6093.66014	17:40:45.16	-37:41:37.3
OGLE-BLG-ECL-072154	15.940	17.387	1.447	15.0488385	474.15526	31.5078	7000.75200	6789.68451	17:42:27.03	-21:37:33.7
OGLE-BLG-ECL-076504	16.789	18.727	1.938	3.1965846	93.051837	29.1098	7002.42830	6432.58779	17:43:10.65	-34:29:42.5
OGLE-BLG-ECL-083987	18.042	21.274	3.232	11.0174396	235.65312087120873	21.3891	7009.91020	7108.82873	17:44:18.78	-32:52:45.2
OGLE-BLG-ECL-101353	17.118	19.719	2.601	12.9961812	431.36740112	33.1919	7000.79800	7221.77464	17:46:41.42	-21:52:56.1
OGLE-BLG-ECL-116536	16.543	17.521	0.978	7.7123580	254	32.9342	7004.11970	7175.69763	17:48:46.77	-35:03:15.6
OGLE-BLG-ECL-132549	17.108	20.168	3.06	12.1764178	429.16830444	35.2459	7005.65140	6910.59577	17:50:48.55	-30:40:20.0
OGLE-BLG-ECL-137478	16.382	18.899	2.517	21.4695003	760.8478476284763	35.4385	7008.75880	5312.79447	17:51:20.86	-22:51:19.5
OGLE-BLG-ECL-143267	16.613	19.050	2.437	16.8048949	520	30.9434	7013.25920	5752.60412	17:51:53.66	-32:52:22.0
OGLE-BLG-ECL-184474	17.495	21.290	3.795	18.6495489	563.9672241	30.2403	7015.29520	6119.8089	17:55:23.67	-22:09:16.3
OGLE-BLG-ECL-186594	16.253	17.663	1.41	1.5922879	46.711420394	29.336	7001.18520	6754.80665	17:55:34.15	-32:49:34.2
OGLE-BLG-ECL-189682	16.292	18.676	2.384	17.2239420	576.686190172	33.4817	7016.73180	6017.75677	17:55:50.33	-31:31:09.1
OGLE-BLG-ECL-196052	16.097	18.809	2.712	25.7449704	1144	38.8425	7011.32540	5749.69812	17:56:21.93	-20:31:35.7
OGLE-BLG-ECL-198013	17.435	20.263	2.828	14.7999491	535.50581954	36.183	7000.96510	6097.85894	17:56:32.45	-21:34:05.7
OGLE-BLG-ECL-201730	15.586	16.467	0.881	9.4014574	286.79449707	30.5053	7007.89320	6020.757	17:56:51.04	-35:09:18.6
OGLE-BLG-ECL-210744	16.803	-	-	12.6001325	300	23.8093	7000.13890	5451.64449	17:56:51.11	-31:32:41.7
OGLE-BLG-ECL-216305	14.725	15.895	1.17	1.0286325	33.3867	35.7457	7000.03310	5702.9194	17:58:06.10	-30:35:23.5
OGLE-BLG-ECL-222537	15.737	-	-	15.2713046	417.4547571	27.3359	7005.01890	5378.84396	17:58:38.36	-34:25:27.4
OGLE-BLG-ECL-271003	17.592	18.375	0.783	1.7187839	37.844249725	22.018	7000.14640	6041.69092	18:03:00.42	-28:39:53.7
OGLE-BLG-ECL-275974	15.866	17.637	1.771	15.0530753	438.4898	29.1296	7014.19940	5358.68008	18:03:27.99	-27:43:43.1
OGLE-BLG-ECL-279247	16.527	19.327	2.8	18.1808100	540.47137451	29.7276	7013.71530	6441.91424	18:03:45.59	-26:57:40.5
OGLE-BLG-ECL-307730	13.338	13.934	0.596	1.0232004	38.695	37.8176	7000.30190	5296.86608	18:06:24.46	-27:15:02.6
OGLE-BLG-ECL-327914	15.308	17.584	2.276	19.4278065	697.5775	35.9061	7009.63670	6834.52974	18:08:32.17	-25:29:53.2
OGLE-BLG-ECL-328103	15.598	17.168	1.57	14.0454250	421.146	29.9846	7009.46630	5323.91675	18:08:33.24	-29:58:07.4
OGLE-BLG-ECL-331967	15.786	17.309	1.523	10.2939325	400	38.8578	7005.16780	5450.60697	18:08:59.52	-26:36:48.5
OGLE-BLG-ECL-369067	15.786	17.749	1.963	24.7451678	934	37.7447	7016.20880	7313.52415	8:13:28.58	-23:35:56.8
OGLE-BLG-ECL-024487	14.353	15.186	0.833	19.1212376	607	31.7448	7010.47320	6109.72304	18:18:18.63	-28:07:26.6

**Cuadro 7.3:** Periodos largos reportados para las 34 nuevas DPVs encontradas, se especifican además los valores de error asociados encontrados con PDM de IRAF.

OGLE ID	$P_{orb}$ (días)	$P_{cic}$ (días)	$P_{cic(error)}$ (días)
OGLE-BLG-ECL-022295	14.6789874	470	30
OGLE-BLG-ECL-022845	19.7177919	600	46
OGLE-BLG-ECL-026467	20.7807341	647	29
OGLE-BLG-ECL-026993	14.7611964	403	18
OGLE-BLG-ECL-029922	8.1078649	300	10
OGLE-BLG-ECL-030962	14.8848862	481	33
OGLE-BLG-ECL-058684	21.7015584	874	46
OGLE-BLG-ECL-062890	16.6604468	574	56
OGLE-BLG-ECL-072154	15.0488385	474	29
OGLE-BLG-ECL-076504	3.1965846	92.9	1
OGLE-BLG-ECL-083987	11.0174396	235	8
OGLE-BLG-ECL-101353	12.9961812	431	32
OGLE-BLG-ECL-116536	7.7123580	254	10
OGLE-BLG-ECL-132549	12.1764178	430	15
OGLE-BLG-ECL-137478	21.4695003	795	57
OGLE-BLG-ECL-143267	16.8048949	522	32
OGLE-BLG-ECL-184474	18.6495489	563	39
OGLE-BLG-ECL-186594	1.5922879	46.7	0.7
OGLE-BLG-ECL-189682	17.2239420	576	51
OGLE-BLG-ECL-196052	25.7449704	1144	131
OGLE-BLG-ECL-198013	14.7999491	535	32
OGLE-BLG-ECL-201730	9.4014574	286	14
OGLE-BLG-ECL-210744	12.6001325	300	12
OGLE-BLG-ECL-222537	15.2713046	415	10
OGLE-BLG-ECL-275974	15.0530753	438	30
OGLE-BLG-ECL-271003	1.7187839	37.84	0.2
OGLE-BLG-ECL-216305	1.0286325	33.36	0.26
OGLE-BLG-ECL-279247	18.1808100	538	33
OGLE-BLG-ECL-307730	1.0232004	38.68	0.23
OGLE-BLG-ECL-327914	19.4278065	700	50
OGLE-BLG-ECL-328103	14.0454250	421	21
OGLE-BLG-ECL-331967	10.2939325	386	20
OGLE-BLG-ECL-369067	24.7451678	934	30
OGLE-BLG-ELL-024487	19.1212376	607	40

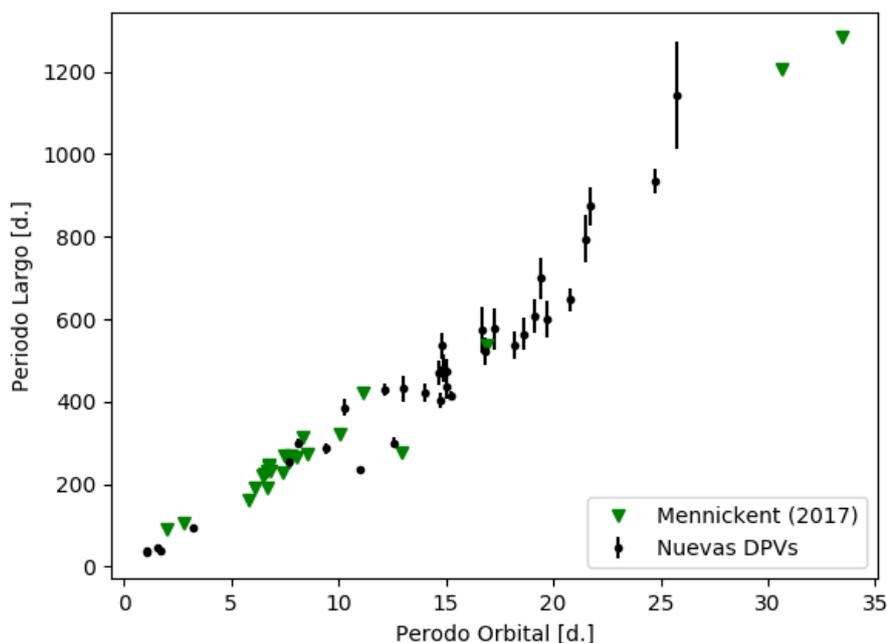


**Figura 7.35:** Diagrama Color-Magnitud para las DPVs encontradas (en rojo), adicionalmente, se presenta la DPV anteriormente encontrada (en azul), y de fondo los colores para el resto de las binarias del catálogo (gris). Las fuentes representadas en este diagrama están afectadas por enrojecimiento.

Es importante además señalar que la influencia del enrojecimiento por extinción en esta región de la galaxia es clara y necesita ser parametrizada de alguna forma. Es por esto que mediante un vector de enrojecimiento se señala hacia donde se moverían las fuentes producto de la absorción generada por el polvo hacia esta zona de la galaxia. Para ello, se especifican en la siguiente tabla los coeficientes de absorción obtenidos con dos métodos, el de Schlegel et al. (1998) y el de Schlafly and Finkbeiner (2011), ambos obtenidos desde *Galactic Dust Reddening and Extinction Service*<sup>5</sup>. Estos se ilustran en la tabla 7.4. Desde aquí, se obtendrá un promedio de la absorción en esta dirección, con el fin de ilustrar a partir de un vector de enrojecimiento hacia donde se mueven las fuentes en el diagrama Color-Magnitud debido a la absorción por el medio interestelar, que se representará en la figura 7.35.

La absorción promedio es de  $A_v = 3,81115$  mag.

<sup>5</sup><https://irsa.ipac.caltech.edu/applications/DUST/>



**Figura 7.36:** Relación entre periodo cíclico y orbital para las 34 DPVs encontradas en este trabajo (puntos negros). Se muestran además las 24 DPVs desde Mennickent (2018).

**Cuadro 7.4:** Coeficientes de absorción para las coordenadas en donde se encuentran las nuevas DPVs, obtenidos desde *Galactic Dust Reddening and Extinction Service*, fueron utilizados para estimar el enrojecimiento promedio de las fuentes de la figura 7.35.

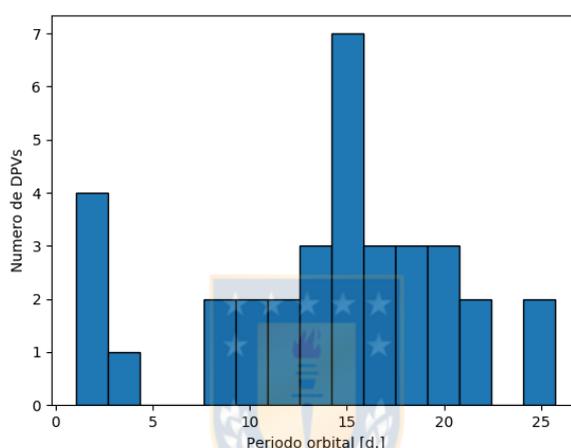
RA (deg)	DEC (deg)	$A_{V S\&F}$ (mag)	$A_{V SFD}$ (mag)	RA (deg)	DEC (deg)	$A_{V S\&F}$ (mag)	$A_{V SFD}$ (mag)
262.549460	-28.501530	3.8217	4.4438	262.628330	-30.840580	10.2439	11.9115
263.036580	-30.590860	10.9929	12.7824	263.085210	-28.007170	4.0707	4.7334
263.327080	-27.582080	4.3768	5.0893	263.398170	-28.561080	5.0571	5.8803
264.973750	-33.345750	7.0603	8.2097	265.188170	-37.693690	3.5047	4.0753
265.612620	-21.626030	2.0417	2.3741	265.794380	-34.495140	2.9942	3.4816
266.078250	-32.879220	6.6435	7.7250	266.672580	-21.882250	3.7751	4.3896
267.194880	-35.054330	2.3152	2.6921	267.702290	-30.672220	4.8000	5.5814
267.836920	-22.855420	4.0344	4.6912	267.973580	-32.872780	3.3179	3.8580
268.848630	-22.154530	7.4844	8.7028	268.892290	-32.826170	2.2391	2.6036
268.959710	-31.519190	3.2528	3.7823	269.091380	-20.526580	4.3077	5.0089
269.135210	-21.568250	5.4477	6.3345	269.212670	-35.155170	1.2022	1.3979
269.212960	-31.544920	3.3041	3.8420	269.525420	-30.589860	3.9668	4.6126
269.659830	-34.424280	1.2045	1.4006	270.751750	-28.664920	2.2194	2.5807
270.866630	-27.728640	2.3237	2.7019	270.939960	-26.961250	5.1564	5.9958
271.601920	-27.250720	2.4858	2.8904	272.134040	-25.498110	4.3661	5.0769
272.138500	-29.968720	1.2320	1.4325	272.248000	-26.613470	3.5221	4.0955
273.369080	-23.599110	3.6068	4.1939	274.577630	-28.124060	1.0756	1.2507

## Capítulo 6

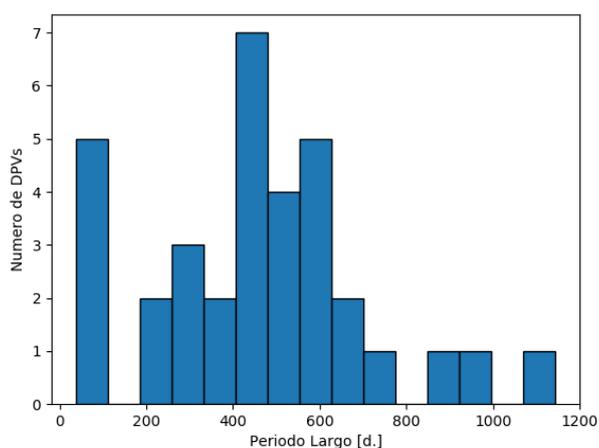
### 8. Discusión

#### 8.1. Distribución Periodos

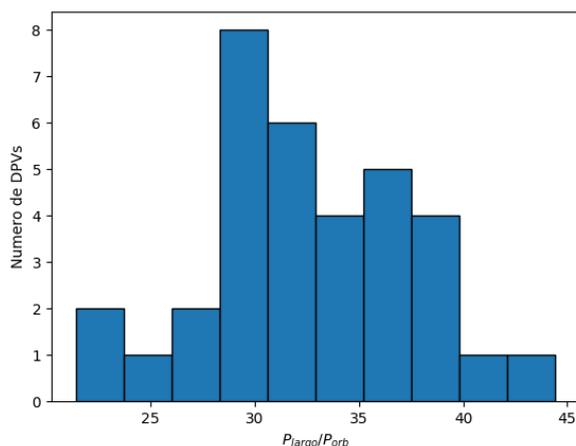
A continuación se presentan tres histogramas que representan la distribución del número de DPVs según su periodo orbital, largo, y razón entre ambos.



**Figura 8.1:** Distribución de periodos orbitales para las 34 DPVs encontradas hacia el bulbo de la Vía Láctea, los periodos se ubican entre 1 y 26 días. En el histograma se ilustran 15 barras.



**Figura 8.2:** Distribución de periodos largos para las 34 DPVs encontradas hacia el bulbo de la Vía Láctea, los periodos se ubican entre 33 y 1144 días. En el histograma se ilustran 15 barras.

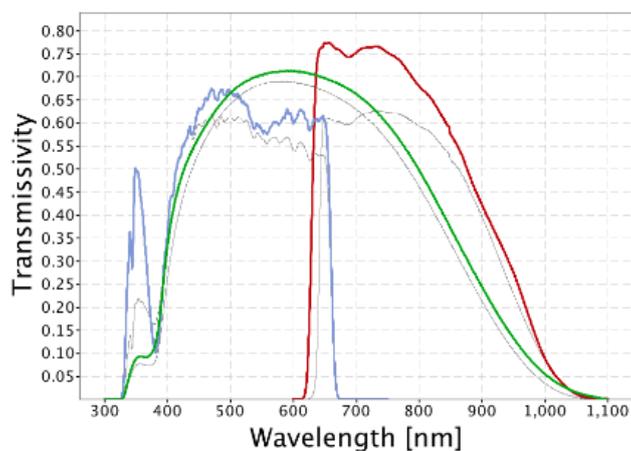


**Figura 8.3:** Distribución de la relación entre el periodo largo y el periodo orbital para las 34 DPVs encontradas. El histograma muestra razones desde 20 a 45.

## 8.2. Paralajes de Gaia Data Release 2

En adición a los valores entregados en el apartado anterior, se suman los datos obtenidos de la misión Gaia.

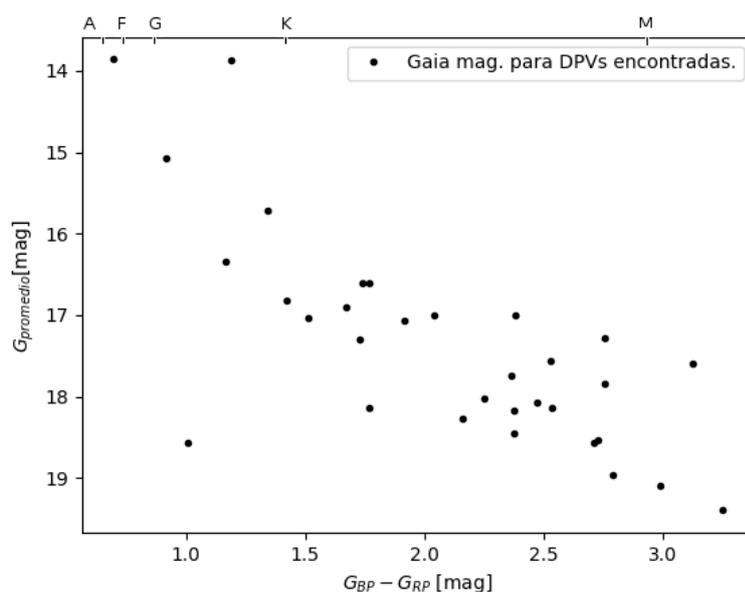
Gaia es una misión espacial de la Agencia Espacial Europea (ESA por sus siglas en inglés), enviada al espacio el 19 de diciembre de 2013 (ver Gaia Collaboration et al. (2016)). Gaia proporciona medidas astrométricas de múltiples fuentes, como también fotometría de las mismas. En particular en esta sección entregaremos algunos valores de las fuentes encontradas que coincidan con fuentes observadas por la misión Gaia en su segunda generación de datos (ver Gaia Collaboration et al. (2018)).



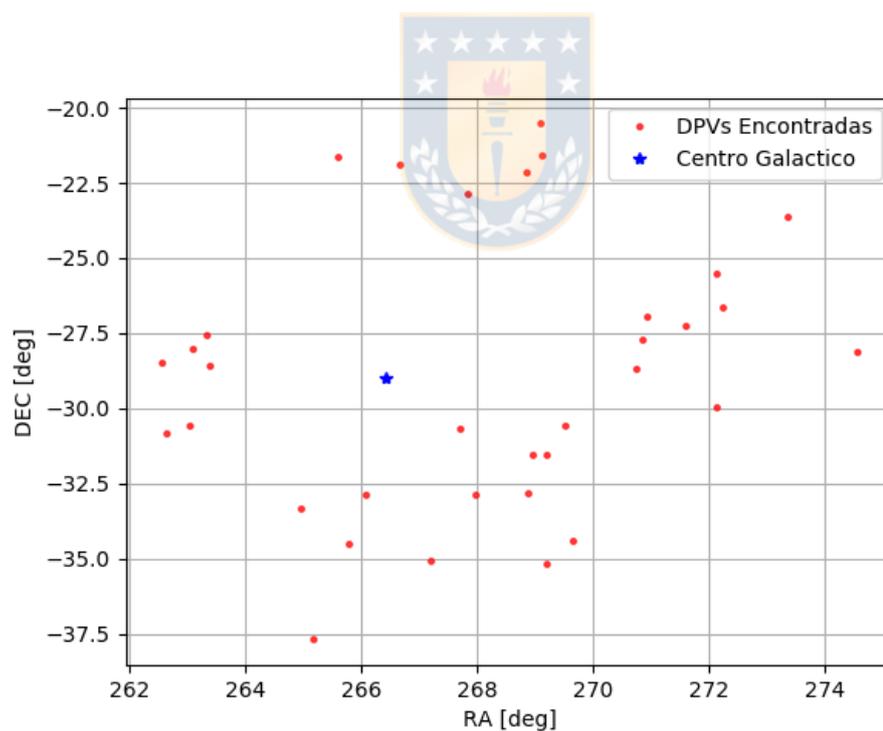
**Figura 8.4:** Respuesta de los filtros utilizados en las observaciones de Gaia. En verde el filtro G, en azul el filtro  $G_{BP}$  y en rojo el filtro  $G_{RP}$ . Credits:ESA/Gaia/DPAC, P. Montegriffo, F. De Angeli, C. Cacciari.

**Cuadro 8.1:** Tabla con los valores astrométricos y fotométricos en los filtros de la figura 8.4 proporcionados por Gaia DR2 para las 34 nuevas fuentes DPV.

OGLE ID	GAIA DR2 ID	RA (grados)	RA <sub>error</sub>	DEC (grados)	DEC <sub>error</sub>	Paralaje (mas)	Paralaje <sub>error</sub> (mas)	Paralaje <sub>error</sub> (mas)	phot_g_mean_mag (mag)	bp_rp
OGLE-BLG-ECL-022295	4059639067258895744	262.54947	0.37752	-28.50153	0.29886	-0.24144087535303443	0.49551382170579833	0.49551382170579833	18.023611	2.247743
OGLE-BLG-ECL-022845	4058383214396129792	262.62833	0.13121	-30.84061	0.10375	0.15049999449522863	0.13462564769067112	0.13462564769067112	17.58889	3.123512
OGLE-BLG-ECL-026467	4058412561955635200	263.03654	0.30390	-30.59090	0.24404	0.06940776414848733	0.40504976674274823	0.40504976674274823	18.443573	2.373100
OGLE-BLG-ECL-026993	4061178280367459072	263.08516	0.29268	-28.00717	0.26113	0.11954412486092232	0.37094910193446345	0.37094910193446345	18.1303	2.53279
OGLE-BLG-ECL-029922	4061332173305654784	263.32708	0.12561	-27.58206	0.10235	0.4717122573992822	0.1379051910761281	0.1379051910761281	17.277449	2.756432
OGLE-BLG-ECL-030962	4060362236629564928	263.39916	0.13721	-28.56028	0.11109	0.1878005783606986	0.3708618446692934	0.3708618446692934	17.842049	2.75290
OGLE-BLG-ECL-058084	4054089728856267136	264.97369	0.35821	-33.34577	0.29337	0.22293959478130034	0.1349815005316575	0.1349815005316575	19.397545	3.250370
OGLE-BLG-ECL-062890	5962347679912482560	265.18706	0.24801	-37.69446	0.19501	1.510111865596519	0.23107905161613274	0.23107905161613274	18.2622	2.1567
OGLE-BLG-ECL-072154	4117300308832961536	265.61261	0.24516	-21.62602	0.22048	1.6681912223377502	0.29281651089289495	0.29281651089289495	17.036972	1.512544
OGLE-BLG-ECL-076504	4041409812916791168	265.79437	0.15339	-34.49517	0.13311	-0.09209895309387936	0.19394162889711372	0.19394162889711372	18.133593	1.765615
OGLE-BLG-ECL-083987	4054021726646677632	266.07784	0.23201	-32.88056	0.19709	0.10033748779229795	0.25754395589196044	0.25754395589196044	16.60375	1.739881
OGLE-BLG-ECL-101353	4117055220760934912	266.67258	0.23778	-21.88226	0.20691	0.0847462647964944	0.24511391709975547	0.24511391709975547	18.540531	2.727111
OGLE-BLG-ECL-116536	4041451216622543104	267.19483	0.61867	-35.05435	0.47583	0.6731526458955299	0.29977927559259554	0.29977927559259554	18.56803	1.00860
OGLE-BLG-ECL-132549	4055964323202554880	267.70267	0.23089	-30.67105	0.26277	0.2455663588561688	0.3677329500649584	0.3677329500649584	18.561682	2.710924
OGLE-BLG-ECL-137478	4068717008811334656	267.83655	0.17239	-22.85493	0.15260	0.15538316710074687	0.1688184639350168	0.1688184639350168	17.707527	—
OGLE-BLG-ECL-143267	4043445219367511936	267.97357	0.22736	-32.87282	0.21037	0.375565838774587	0.2266877738620969	0.2266877738620969	18.165632	2.374231
OGLE-BLG-ECL-184474	4070345419869644928	268.84862	0.39105	-22.15454	0.34608	-0.19592366169579328	0.36763514230537686	0.36763514230537686	19.095861	2.986677
OGLE-BLG-ECL-186594	404338085713192960	268.89227	0.13833	-32.82619	0.11632	0.030640718580354262	0.13190751705802556	0.13190751705802556	17.29046	1.731094
OGLE-BLG-ECL-189682	4044028162487970048	268.95968	0.18071	-31.51922	0.15410	0.1510805749025506	0.19805754211370927	0.19805754211370927	17.745493	2.364786
OGLE-BLG-ECL-196052	4071096871744594432	269.09135	0.15076	-20.52660	0.13505	-0.021819113924500293	0.1830788732190101	0.1830788732190101	17.560526	2.526500
OGLE-BLG-ECL-198013	4070400743382331392	269.13518	0.28700	-21.56827	0.26426	0.5005522567106184	0.4056061832327796	0.4056061832327796	18.96662	2.7884502
OGLE-BLG-ECL-201730	4040569343728012160	269.21263	0.10667	-35.15522	0.16068	-0.011844863216717972	0.2476177219590426	0.2476177219590426	16.345749	1.166715
OGLE-BLG-ECL-210744	4043983430350079232	269.21174	0.03555	-31.54453	0.03052	0.5016175281636087	0.036306835057602176	0.036306835057602176	13.876553	1.190237
OGLE-BLG-ECL-216305	4044187286699854720	269.52540	0.05262	-30.58989	0.05444	0.5392868848907836	0.07327485611388682	0.07327485611388682	15.709392	1.340989
OGLE-BLG-ECL-222537	4042299425167375232	269.65982	0.19667	-34.42429	0.18394	0.11767140132969767	0.1708415333360482	0.1708415333360482	16.821386	1.421008
OGLE-BLG-ECL-275974	4062445875639289728	270.75170	0.61911	-28.66493	0.57857	0.16104725714945345	0.586364194405774	0.586364194405774	18.578283	—
OGLE-BLG-ECL-279247	4063208975255757312	270.86661	0.10955	-27.72865	0.10088	0.21995103264567697	0.14631727397949482	0.14631727397949482	17.073744	1.913634
OGLE-BLG-ECL-307730	4063045251148852224	271.60190	0.05195	-27.96127	0.21077	-0.6954036537300711	0.23300015180887962	0.23300015180887962	18.070492	2.472757
OGLE-BLG-ECL-327914	4064913871121147520	272.13399	0.65693	-27.25074	0.04489	0.40761639946375533	0.04725715408519535	0.04725715408519535	13.858944	0.693786
OGLE-BLG-ECL-328103	4050108397338857472	272.13845	1.45956	-25.49814	0.63675	—	—	—	16.995811	2.3782473
OGLE-BLG-ECL-331967	4064591782972066048	272.24798	0.10432	-26.61347	0.09105	0.21994412676719158	0.10194078677568982	0.10194078677568982	16.89841	1.669220
OGLE-BLG-ECL-369067	4066352612143857024	273.36910	0.13298	-23.59911	0.10066	-0.05209836442031663	0.138748677541643848	0.138748677541643848	16.992847	2.041247
OGLE-BLG-ELL-024487	4052152595588792704	274.57765	0.04984	-28.12406	0.04886	0.1451759439074821	0.05639070941499018	0.05639070941499018	15.064244	0.918067



**Figura 8.5:** Diagrama Color-Magnitud con datos fotométricos de Gaia DR2.  $G_{BP} - G_{RP}$  vs  $G_{mean}$ . En la parte superior se ubican algunos tipos espectrales según el color  $G_{BP} - G_{RP}$ .



**Figura 8.6:** Mapa de las DPVs encontradas en dirección al bulbo galáctico.

### 8.2.1. Distancias

Si bien es directo pensar que los paralajes medidos por Gaia podrían indicarnos directamente las distancias a las fuentes mediante el inverso del paralaje, según Bailer-

Jones et al. (2018) la forma de determinar las distancias geométricas no es del todo directa (paralaje inverso). De esta forma, es necesaria la concideración de la no linealidad de la transfromación y adicionalmente, el hecho que la distribución de probabilidad asociada no es simétrica. Es por esto, que para la medida de las distancias, se recurrió a la utilización de el catálogo mencionado en Bailer-Jones et al. (2018), en donde se calculan las distancias con un método explicado en la publicación. De esta forma, inferir distancias a partir de la inversión del paralaje medido no es un método riguroso, y en concecuencia, se podría estar sesgando la medición de ésta mediante la técnica empleada para su determinación. Cabe señalar que se encontraron distancias calculadas en la publicación anteriormente descrita para 32 de las 34 fuentes. Tanto para el objeto Gaia DR2 4064913871121147520 como para el objeto Gaia DR2 4050108397338857472 no se encontraron coincidencias en el catálogo de distancias.



**Cuadro 8.2:** Tabla con los valores de distancia calculados para 32 fuentes de Gaia DR2.  $r_{est}$  es la distancia medida estimada a el punto donde se encuentra la fuente,  $r_{lo}$  y  $r_{hi}$  son la cota inferior y superior a esta medición respectivamente, con un intervalo de confianza de 68% y  $r_{len}$  es la longitud de escala que varía con la latitud y longitud ( $l, b$ ) y que se describe en la publicación de Astraatmadja and Bailer-Jones (2016).

ID	$r_{est}$ (pc)	$r_{lo}$ (pc)	$r_{hi}$ (pc)	$r_{len}$ (pc)
GAIA DR2				
4059639067258895744	5433.07835465905	2781.314011633	9830.28739036831	2365.06232392301
4058383214396129792	5004.13876202054	3126.52908867567	8640.86478100754	2249.85228757655
4058412561955635200	4856.22748642356	2453.93123644521	9005.14268489385	2274.64153047486
4061178280367459072	4908.96666132654	2472.67018384984	9181.29852378186	2358.19098161297
4061332173305654784	2191.69160723281	1555.84420295681	3613.41234350875	2347.2570118596
4060362236629564928	4651.97326838621	2901.38333700624	8296.97276000839	2354.17129978143
4054089728856267136	4205.36452998347	2092.9439445152	8076.28684315605	2128.1348189032
5962347679912482560	675.875639357227	574.829614728366	819.520292862178	1931.23998678067
4117300308832961536	622.23720200543	511.81307174787	793.115501954099	1997.90611824757
4041409812916791168	6221.82241957817	3807.33237966553	10155.9003046358	2104.51631866286
4054021726646677632	4950.95459739469	2723.2695502006	8944.4121767947	2228.94387879458
4117055220760934912	4557.7848261817	2637.44641878025	7948.95405758616	1910.34258938879
4041451216622543104	1968.3007782527	1077.21686027934	5433.42714154919	2180.49583614053
4055964323202554880	4536.28948554998	2207.51870804032	8787.56457282218	2372.81942825401
4068717008811334656	4361.30463473979	2711.23271566352	7438.02533087413	1847.00584309741
4043445219367511936	3279.23209966793	1794.50925354079	7108.83782902315	2327.60567118786
4070345419869644928	4577.61514221645	2614.09444407057	7800.88958549705	1745.25407216975
404338085713192960	6608.37192561069	4169.06111579843	10749.915711733	2362.36274946495
4044028162487970048	5015.22322884275	2837.90327915909	9160.47144140433	2390.28883481841
4071096871744594432	5186.98274063178	3301.00554200459	8272.69593076817	1690.89254065046
4070400743382331392	2778.69921998977	1383.61141318345	5761.2860311942	1705.93516952574
4040569343728012160	5646.02146260562	3184.95053011814	9857.15913993336	2293.2013884888
4043983430350079232	1895.37835966636	1770.36037881784	2039.00180302282	2393.44775200467
4044187286699854720	1797.74501562207	1573.76105773455	2094.27170743099	2386.73921703024
4042299425167375232	5298.22304601796	3134.11830724169	9308.32253276486	2331.90132897403
4062445875639289728	4577.06485623423	2127.41624565372	8765.28412409428	2268.04310122186
4063100570245826304	4155.82626371102	2580.33435206348	7492.86262009617	2179.89945882555
4063208975255757312	8011.73298920602	5180.96943654718	12219.3450140439	2097.80163858637
4063045251148852224	2315.22901616527	2078.35569093736	2611.34584625272	2119.76346317612
4064591782972066048	4036.35891828629	2783.85471909359	6539.6751054073	2047.37014387944
4066352612143857024	6230.28319106969	4137.57863165808	9528.55719660597	1764.55303990574
4052152595588792704	5462.98735148478	4134.40622015108	7713.96227310785	2175.76752511107

## Capítulo 7

### 9. Conclusión

A modo de conclusión, podemos mencionar el hecho de el hallazgo de 34 nuevas fuentes DPVs en dirección hacia el centro de la Vía lactea, búsqueda en la cual se escogieron los candidatos que mejor reflejaban las características descritas en los apartados anteriores para este tipo de objetos, aumentando en un 130% la población de DPVs conocidas en la galaxia, 33 de ellas catalogadas como binarias eclipsantes y 1 binaria elipsoidal. Los periodos reportados en esta tesis pueblan la región de periodos mas largos de la relación entre el periodo largo y el orbital, completando una región no tan poblada anteriormente por las DPVs galácticas conocidas con anterioridad.

Por otra parte, se debe señalar que existen algunas otras fuentes que no se presentan en este trabajo, pero que si podrían tener un comportamiento bastante proximo al fenómeno estudiado, que de alguna forma fueron puestos en duda y no incluidos por presentar una amplitud de variación de periodo largo menor a la dispersión local de los mismos datos, y en consecuencia, no es trivial incluirlas ni desecharlas como posibles candidatos.

Además se implementaron métodos estadísticos y herramientas de minería de datos a la hora de trabajar con los cientos de miles de curvas de luz disponibles desde el catálogo utilizado, que en definitiva, representó el mayor desafío para este proyecto, el cual duplicó la cantidad de DPVs conocidas en la Vía lactea, y nos permite estudiar a futuro el fenómeno en un escenario distinto a las DPVs de la nube grande y chica de Magallanes, producto de las diferentes condiciones que presenta el bulbo en comparación a los otros dos mencionados anteriormente. Si bien en este trabajo, se implementaron diferentes métodos para la búsqueda de los objetos de interés, es importante señalar que el último paso fué la examinación de las curvas de luz que dieron positivo a la metodología aplicada de forma manual, es decir, con una última discriminación supervisada para encontrar y distinguir entre todos los objetos binarios del catálogo, aquellos que en primera instancia tienen una segunda variabilidad incorporada en la curva de luz. Para aportar mayor información a cerca de las fuentes encontradas, se incorporó la información obtenida desde Gaia DR2, con el fin de aumentar valores de observables para los objetos, e incorporar los datos que proporciona la astronomía observacional de vanguardia. Es necesario además señalar que para un mayor entendimiento de cada una de estas nuevas fuentes, que habían sido observadas pero no catalogadas como DPVs, se requieren técnicas adicionales como observaciones espectroscopicas de las fuentes con el objetivo de apuntar a obtener la razón de masa espectroscópica de cada fuente, y en esta misma arista, poder generar modelos que representen de forma fidedigna, a través de parámetros físicos, como es la configuración que se esta observando, y además, llegar más profundo en el entendimiento del fenómeno que nos presentan estos astros. En definitiva, estos resultados son de utilidad para poder

comprender aún más a partir de casos particulares un fenómeno que se muestra de forma general en este tipo de objetos.



## Referencias

- Astraatmadja, T. L. and Bailer-Jones, C. A. L. (2016). Estimating Distances from Parallaxes. III. Distances of Two Million Stars in the Gaia DR1 Catalogue. *ApJ*, 833:119.
- Bailer-Jones, C. A. L., Rybizki, J., Fouesneau, M., Mantelet, G., and Andrae, R. (2018). Estimating Distance from Parallaxes. IV. Distances to 1.33 Billion Stars in Gaia Data Release 2. *AJ*, 156(2):58.
- Eggleton, P. P. (1983). Approximations to the radii of Roche lobes. *ApJ*, 268:368.
- Gaia Collaboration, Brown, A. G. A., Vallenari, A., Prusti, T., de Bruijne, J. H. J., Babusiaux, C., Bailer-Jones, C. A. L., Biermann, M., Evans, D. W., Eyer, L., and et al. (2018). Gaia Data Release 2. Summary of the contents and survey properties. *A&A*, 616:A1.
- Gaia Collaboration, Prusti, T., de Bruijne, J. H. J., Brown, A. G. A., Vallenari, A., Babusiaux, C., Bailer-Jones, C. A. L., Bastian, U., Biermann, M., Evans, D. W., and et al. (2016). The Gaia mission. *A&A*, 595:A1.
- Hilditch, R. W. (2001). *An Introduction to Close Binary Stars*. Cambridge University Press.
- Ivezić, Ž., Connelly, A. J., VanderPlas, J. T., and Gray, A. (2014). *Statistics, Data Mining, and Machine Learning in Astronomy*. Princeton University Press.
- Kallrath, J. and Milone, E. F. (2009). *Eclipsing Binary Stars: Modeling and Analysis*. Springer, New York, NY.
- Kippenhahn, R. and Weigert, A. (1990). *Stellar Structure and Evolution*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Lomb, N. R. (1976). Least-squares frequency analysis of unequally spaced data. , 39:447–462.
- Mennickent, R. E. (2017). Long Photometric Cycles in Hot Algols. *Serbian Astronomical Journal*, 194:1–21.
- Mennickent, R. E., Cidale, L., Díaz, M., Pietrzyński, G., Gieren, W., and Sabogal, B. (2005). Revealing the nature of double-periodic blue variables in the Magellanic Clouds. *MNRAS*, 357:1219–1230.
- Mennickent, R. E., Otero, S., and Kołaczkowski, Z. (2016). Interacting binaries W Serpentids and double periodic variables. *MNRAS*, 455:1728–1745.
- Mennickent, R. E., Pietrzyński, G., Diaz, M., and Gieren, W. (2003). Double-periodic blue variables in the Magellanic Clouds. *A&A*, 399:L47–L50.
- Michalska, G., Mennickent, R. E., Kołaczkowski, Z., and Djurašević, G. (2010). Light Curves of Galactic Eclipsing Double Periodic Variables. In Prša, A. and Zejda, M., editors, *Binaries - Key to Comprehension of the Universe*, volume 435 of *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, page 357.

- Nyquist, H. (1928). Certain Topics in Telegraph Transmission Theory. *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers, Volume 47, Issue 2, pp. 617-624*, 47:617–624.
- O’Connell, D. J. K. (1951). The so-called periastron effect in close eclipsing binaries ; New variable stars (fifth list). *Publications of the Riverview College Observatory*, 2:85–100.
- Poleski, R., Soszyński, I., Udalski, A., Szymański, M. K., Kubiak, M., Pietrzyński, G., Wyrzykowski, Ł., and Ulaczyk, K. (2010). The Optical Gravitational Lensing Experiment. The OGLE-III Catalog of Variable Stars. X. Enigmatic Class of Double Periodic Variables in the Large Magellanic Cloud. *Acta Astron.*, 60:179–196.
- Pustylnik, I. (1998). The Early History of Resolving the Algol Paradox. *Astronomical and Astrophysical Transactions*, 15:357.
- Samus’, N. N., Kazarovets, E. V., Durlevich, O. V., Kireeva, N. N., and Pastukhova, E. N. (2017). General catalogue of variable stars: Version GCVS 5.1. *Astronomy Reports*, 61:80–88.
- Scargle, J. D. (2002). Bayesian blocks in two or more dimensions: Image segmentation and cluster analysis. In Fry, R. L., editor, *Bayesian Inference and Maximum Entropy Methods in Science and Engineering*, volume 617 of *American Institute of Physics Conference Series*, pages 163–173.
- Schlafly, E. F. and Finkbeiner, D. P. (2011). Measuring Reddening with Sloan Digital Sky Survey Stellar Spectra and Recalibrating SFD. *ApJ*, 737:103.
- Schlegel, D. J., Finkbeiner, D. P., and Davis, M. (1998). Maps of Dust Infrared Emission for Use in Estimation of Reddening and Cosmic Microwave Background Radiation Foregrounds. *ApJ*, 500:525–553.
- Schleicher, D. R. G. and Mennickent, R. E. (2017). A dynamo mechanism as the potential origin of the long cycle in double periodic variables. *A&A*, 602:A109.
- Shannon, C. E. (1949). Communication in the Presence of Noise. *IEEE Proceedings*, 37:10–21.
- Soszyński, I., Pawlak, M., Pietrukowicz, P., Udalski, A., Szymański, M. K., Wyrzykowski, Ł., Ulaczyk, K., Poleski, R., Kozłowski, S., Skowron, D. M., Skowron, J., Mróz, P., and Hamanowicz, A. (2016). The OGLE Collection of Variable Stars. Over 450 000 Eclipsing and Ellipsoidal Binary Systems Toward the Galactic Bulge. *Acta Astron.*, 66:405–420.
- Stellingwerf, R. F. (1978). Period determination using phase dispersion minimization. *ApJ*, 224:953–960.
- Udalski, A., Szymański, M. K., and Szymański, G. (2015). OGLE-IV: Fourth Phase of the Optical Gravitational Lensing Experiment. *Acta Astron.*, 65:1–38.