



Universidad Internacional de La Rioja
Escuela Superior de Tecnología e Ingeniería

Máster Universitario en Astrofísica y Técnicas de Observación
en Astronomía

Identificación de estrellas AGB mediante la creación y análisis de curvas de luz basadas en la fotometría de Gaia

Trabajo fin de estudio presentado por:	Abel Cuchi Olcina
Tipo de trabajo:	Investigación
Línea de trabajo:	Astrofísica
Director/a:	Roberto Baena Gallé
Codirector/a:	Fran M. Jiménez-Esteban
Fecha:	Septiembre 2023

Resumen

En este trabajo de investigación se explora la clasificación de estrellas variables realizadas por la misión Gaia de la ESA, específicamente para aquellas estrellas evolucionadas de masa baja e intermedia de la etapa AGB y cuya fotometría podría no encajar inicialmente con esta clasificación. Mediante el uso de herramientas de *Virtual Observatory* como TOPCAT y Aladin se pretende ampliar las curvas de luz iniciales con la fotometría de época de otros *surveys*. De esta forma, se puede identificar la variabilidad de las estrellas escogidas y compararla con la clasificación inicial. Finalmente, en el trabajo se proporciona información relevante sobre estos posibles cambios en la clasificación de la variabilidad respecto de la inicial.

Palabras clave: Estrellas variables, AGB, Gaia, Mira, TOPCAT

Índice de contenidos

Resumen	2
Índice de figuras	6
Definiciones y acrónimos.....	9
1. Introducción y objetivos.....	11
1.1. Evolución estelar. Estrellas AGB	11
1.2. Variabilidad estelar	14
1.3. Objetivos	18
1.3.1. Objetivo principal	18
1.3.2. Objetivos específicos	18
2. Selección de estrellas de estudio. Problema	19
2.1. Gaia DR3 5983730058640362752	20
2.2. Gaia DR3 1844678802845241600	20
2.3. Gaia DR3 4519657032625273344	21
2.4. Gaia DR3 5982321339413825536	22
2.5. Gaia DR3 4115807996620053504	22
2.6. Gaia DR3 3107351286096717312	23
2.7. Gaia DR3 2166870447496962048	24
2.8. Gaia DR3 5973472680316966656	24
2.9. Gaia DR3 5351528018192642176	25
2.10. Gaia DR3 4269031848260908672.....	26
2.11. Gaia DR3 5884718589901047040.....	26
2.12. Gaia DR3 5887808767344254720.....	27
3. Proceso de creación de las curvas de luz	29
4. Resultados. Curvas de luz.....	36

4.1.	Gaia DR3 5983730058640362752	36
4.2.	Gaia DR3 1844678802845241600	37
4.3.	Gaia DR3 4519657032625273344	39
4.4.	Gaia DR3 5982321339413825536	41
4.5.	Gaia DR3 4115807996620053504	43
4.6.	Gaia DR3 3107351286096717312	45
4.7.	Gaia DR3 2166870447496962048	47
4.8.	Gaia DR3 5973472680316966656	49
4.9.	Gaia DR3 5351528018192642176	50
4.10.	Gaia DR3 4269031848260908672 → Gaia DR3 4155746038501179520.....	51
4.11.	Gaia DR3 5884718589901047040 → Gaia DR3 2930187943890336128	53
4.12.	Gaia DR3 5887808767344254720.....	54
5.	Discusión	57
5.1.	Gaia DR3 5983730058640362752	57
5.2.	Gaia DR3 1844678802845241600	58
5.3.	Gaia DR3 4519657032625273344	59
5.4.	Gaia DR3 5982321339413825536	59
5.5.	Gaia DR3 4115807996620053504	60
5.6.	Gaia DR3 3107351286096717312	60
5.7.	Gaia DR3 2166870447496962048	61
5.8.	Gaia DR3 5973472680316966656	61
5.9.	Gaia DR3 5351528018192642176	62
5.10.	Gaia DR3 4155746038501179520.....	63
5.11.	Gaia DR3 2930187943890336128.....	64
5.12.	Gaia DR3 5887808767344254720.....	64

5.13. Resumen post análisis	64
6. Conclusiones.....	66
7. Referencias bibliográficas	67

Índice de figuras

Ilustración 1. <i>Diagrama HR de estrella ejemplo de masa intermedia.</i>	14
Ilustración 2. <i>Ejemplo de curva de luz de una variable Mira y SR.</i>	15
Ilustración 3. <i>Curva de la variable eclipsante ASASSN-V J001637.67+624848.7 / MV Cas en la banda V.</i>	17
Ilustración 4. <i>Curva de luz de la estrella variable rotacional ASASSN-V J000405.14+472747.7 en la banda V.</i>	17
Ilustración 5. <i>Ejemplo de curva de luz a estudio con los 3 criterios.</i>	19
Ilustración 6. <i>Curva de luz de Gaia DR3 5983730058640362752 en banda G.</i>	20
Ilustración 7. <i>Curva de luz de Gaia DR3 1844678802845241600 en banda G.</i>	21
Ilustración 8. <i>Curva de Gaia DR3 4519657032625273344 en banda G.</i>	21
Ilustración 9. <i>Curva de luz de Gaia DR3 5982321339413825536 en banda G.</i>	22
Ilustración 10. <i>Curva de luz de Gaia DR3 4115807996620053504 en banda G.</i>	23
Ilustración 11. <i>Curva de luz de Gaia DR3 3107351286096717312 en banda G.</i>	23
Ilustración 12. <i>Curva de luz de Gaia DR3 2166870447496962048 en banda G.</i>	24
Ilustración 13. <i>Curva de luz de Gaia DR3 5973472680316966656 en banda G.</i>	25
Ilustración 14. <i>Curva de luz de Gaia DR3 5351528018192642176 en banda G.</i>	25
Ilustración 15. <i>Curva de luz de Gaia DR3 4269031848260908672 en banda G.</i>	26
Ilustración 16. <i>Curva de luz de Gaia DR3 5884718589901047040 en banda G.</i>	27
Ilustración 17. <i>Curva de luz de Gaia DR3 588780876734425472o en banda G.</i>	27
Ilustración 18. <i>Flujograma de creación de las curvas de luz.</i>	32
Ilustración 19. <i>Ejemplo de concatenación de tablas en TOPCAT con "Join".</i>	34
Ilustración 20. <i>Curva de luz de la estrella ejemplo Gaia DR3 5351103744157630336.</i>	34
Ilustración 21. <i>Curva magnitud-fase en ASAS-SN.</i>	35
Ilustración 22. <i>Curva de luz de Gaia DR3 5983730058640362752.</i>	37

Ilustración 23. <i>Curva de luz de Gaia DR3 1844678802845241600.</i>	38
Ilustración 24. <i>Curva de luz de Gaia 4519657032625273344.</i>	40
Ilustración 25. <i>Curva de luz de Gaia DR3 5982321339413825536.</i>	42
Ilustración 26. <i>Curva de luz de Gaia DR3 4115807996620053504.</i>	44
Ilustración 27. <i>Curva de luz de Gaia DR3 3107351286096717312.</i>	46
Ilustración 28. <i>Curva de luz de Gaia DR3 2166870447496962048.</i>	48
Ilustración 29. <i>Curva de luz de Gaia DR3 5973472680316966656.</i>	49
Ilustración 30. <i>Curva de luz de Gaia DR3 5351528018192642176.</i>	51
Ilustración 31. <i>Curva de luz de Gaia DR3 4155746038501179520.</i>	52
Ilustración 32. <i>Curva de luz de Gaia DR3 2930187943890336128.</i>	54
Ilustración 33. <i>Curva de luz de Gaia DR3 5887808767344254720.</i>	55
Ilustración 34. <i>Captura de Gaia DR3 5983730058640362752. Izquierda en la banda óptica y a la derecha en el infrarrojo cercano.</i>	58
Ilustración 35. <i>Captura de Gaia DR3 5973472680316966656. Izquierda en la banda del infrarrojo cercano y a la derecha en el visible.</i>	62
Ilustración 36. <i>Captura de Gaia DR3 5351528018192642176. Izquierda en la banda óptica y a la derecha en el infrarrojo cercano.</i>	63

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Selección de estrellas para el estudio.</i>	28
Tabla 2. <i>Información básica de Gaia DR3 5983730058640362752.</i>	36
Tabla 3. <i>Información básica Gaia DR3 1844678802845241600.</i>	38
Tabla 4. <i>Información básica Gaia DR3 4519657032625273344.</i>	40
Tabla 5. <i>Información básica de Gaia DR3 5982321339413825536.</i>	42
Tabla 6. <i>Información básica de Gaia DR3 4115807996620053504.</i>	44
Tabla 7. <i>Información básica de Gaia DR3 3107351286096717312</i>	45
Tabla 8. <i>Información básica de Gaia DR3 2166870447496962048.</i>	47
Tabla 9. <i>Información básica Gaia DR3 5973472680316966656.</i>	49
Tabla 10. <i>Información básica de Gaia DR3 5351528018192642176.</i>	50
Tabla 11. <i>Información básica de Gaia DR3 4155746038501179520.</i>	52
Tabla 12. <i>Información básica de Gaia DR3 2930187943890336128.</i>	53
Tabla 13. <i>Información básica de Gaia DR3 5887808767344254720.</i>	55
Tabla 14. <i>Tabla resumen de la variabilidad post análisis de las estrellas de estudio.</i>	65

Definiciones y acrónimos

AAVSO: Las siglas hacen referencia a *American Association of Variable Star Observers*, siendo una colaboración de tipo PROAM con el objetivo de estudiar, catalogar y divulgar los objetos estelares variables. [Vision/Mission | aavso](#).

AGB: Acrónimo en inglés de *Asymptotic Giant Branch*.

ESA: Acrónimo en inglés de *European Space Agency*.

ESAC: Acrónimo en inglés de *European Space Astronomy*. Este centro de la ESA contribuye o ha contribuido en las misiones Rosetta, XMM-Newton, SOHO, Gaia, Planck, Herschel, Mars and Venus Express.

IRAS: Las siglas corresponden a un satélite dedicado a astronomía infrarroja lanzado en 1983 como una colaboración de la NASA, ESA y el Instituto de Ciencias Espaciales y Astronáutica ISAS. Fruto de la misión se catalogaron más de 245.000 objetos estelares.

LPV: Acrónimo en inglés de *Long Period Variable Star*.

M: Acrónimo de estrella variable *Mira*.

PROAM: Siglas que hacen referencia a la colaboración para estudios de índole astronómicos entre profesionales y amateurs.

SR: Acrónimo de estrella variable *Semirregular*.

SRc: Acrónimo de estrella variable *Semirregular de subtipo c*.

R CrB: Acrónimo que hace referencia a estrellas del tipo *R Coronae Borealis*

VSX: Las siglas hacen referencia a *The international Variable Star Index*, siendo una base de datos conformada por varios catálogos de estrellas variables (e.g. *“Combined General Catalog of Variable Stars (GCVS)”*, *“Northern Sky Variability Survey (NSVS)”*, etc.) conformada y mantenida por el equipo de AAVSO.

NEO: Las siglas hacen referencia en inglés a *Near-Earth Objects*, y como su nombre indica son cometas y asteroides compuestos principalmente de metales y aglomerados de polvo formando rocas que orbitan muy cerca de la Tierra.

Identificación de estrellas AGB mediante la creación y análisis de curvas de luz basadas en la fotometría de Gaia

KBO: Las siglas hacen referencia en inglés a *Kuiper Belt Objects*, y como su nombre indica son cuerpos procedentes del cinturón de Kuiper más allá de la órbita de Neptuno, formado principalmente por rocas y volátiles helados.

UA: Unidades Astronómicas.

VO: Acrónimo en inglés de *Virtual Observatory*.

1. Introducción y objetivos

1.1. Evolución estelar. Estrellas AGB

La evolución estelar es muy diversa desde que estos objetos abandonan su fase más estable, la denominada secuencia principal, que es aquella en la que prevalecen la mayor parte de su vida y en la que se produce la fusión de núcleos de hidrógeno en átomos de helio. En cada una de las etapas posteriores de su evolución se dan procesos diferentes tanto de generación como de transferencia de la energía desde los interiores hasta sus atmósferas estelares, y que son enormemente dependientes de la cantidad de masa que posee la estrella.

Para aquellas estrellas de masa baja e intermedia ($0.8M_{\odot} < M_* < 8M_{\odot}$) existe una etapa en los últimos estadios de su evolución, alejada de esa secuencia principal, que se denomina Rama Asintótica Gigante, de aquí en adelante AGB por sus siglas en inglés *Asymptotic Giant Branch*.

Cuando a la estrella, que estaba en su etapa de secuencia principal, se le acaba el hidrógeno en el núcleo, pierde el equilibrio térmico. El núcleo de He inerte empieza a contraerse aumentando así su temperatura, y por ende, la de las capas colindantes. Cuando se alcanza una temperatura en capa de $T \sim 5 \cdot 10^6 K$ comienza la fusión en capa de H mediante algún mecanismo de la cadena protón-protón. Ahora la estrella se encuentra en la etapa de subgigante, donde el interior estelar se encuentra constituido por un núcleo en contracción seguido por una capa con fusión de H y luego su posterior envoltura, que se va expandiendo a medida que el núcleo se contrae por el efecto *mirror*. La expansión de la envoltura hace que la estrella se desplace hacia la derecha en el diagrama HR ya que la T_{eff} disminuye considerablemente pero a una luminosidad L constante.

La capa convectiva durante la fase de subgigante poco a poco va dominando y expandiéndose hacia el interior estelar, hasta que la estrella se vuelve totalmente convectiva y alcanza su fase de gigante roja. Durante esta etapa, el mecanismo de generación de energía de la estrella es el mismo que en la de subgigante, fusión de hidrógeno en capa por a un núcleo inerte de helio en contracción. Como ahora la estrella es totalmente convectiva, asciende por la traza de Hayashi en el diagrama HR con T_{eff} constante, aumentando drásticamente su luminosidad. Precisamente porque el mecanismo de transferencia de energía convectivo es el que domina

durante esta etapa, se produce el primer dragado de material del núcleo a las capas más externas, viéndose en su espectro líneas de He procedentes del núcleo inerte.

Al final de esta etapa de subgigante, el núcleo ha aumentado tanto su temperatura debido a su contracción, que se llega a alcanzar la temperatura necesaria para desencadenar el proceso triple- α $T \sim 10^8 K$. La estrella por tanto entra en una nueva fase estable, con equilibrio hidrostático y térmico gracias a la fusión de He en núcleo. Esta etapa se denomina rama horizontal o secuencia principal de helio por su analogía con la etapa de secuencia principal.

Durante esta etapa, el interior estelar está compuesto del núcleo con fusión de He, seguido de una capa de He inerte, una capa de fusión de H y posteriormente una envoltura rica en H.

El núcleo se va expandiendo poco a poco como consecuencia de esa fusión de He, mientras que la envoltura externa se va contrayendo. El resultado es que tanto la T_{eff} y como la luminosidad van aumentando hasta casi al final de la etapa.

Al agotarse el He en el núcleo, se pierde el equilibrio hidrostático y comienza a contraerse de nuevo el núcleo, mientras que por el efecto *mirror* la envoltura se expande de nuevo. La estrella entra en los últimos estadios de su evolución, la Rama Asintótica Gigante.

Durante esta etapa las estrellas no son capaces de fusionar carbono en el núcleo como si lo hacen sus hermanas de mayor masa, y es que no llegan a alcanzar la temperatura necesaria para fusionarlo. No obstante, la temperatura si es lo suficientemente alta como para que en una fina capa circundante al núcleo se fusione helio por el proceso triple alfa ($T > 10^8 K$).

La estructura interna se basa en un núcleo inerte en contracción, compuesto principalmente de carbono y oxígeno. Tras él, se halla la fina capa de fusión de He seguida por una capa de He inerte, después una capa de fusión de H y por último la envoltura rica en H.

Durante esta etapa las estrellas son totalmente convectivas, y como en la fase de gigantes rojas, ascienden en el diagrama HR por la traza de Hayashi con T_{eff} constante y aumentando mucho su luminosidad.

A su vez, la etapa AGB se subdivide en dos partes, una etapa estable y temprana denominada *Early AGB* o E-AGB; seguida de una etapa con inestabilidades de pulsos térmicos conocida como *Thermo pulse AGB* o TP-AGB y que serán objeto de este trabajo.

Durante la etapa de TP-AGB el mecanismo dominante de generación de energía es la fusión del He en capa y la envoltura de la estrella alcanza un gran tamaño de varias UAs.

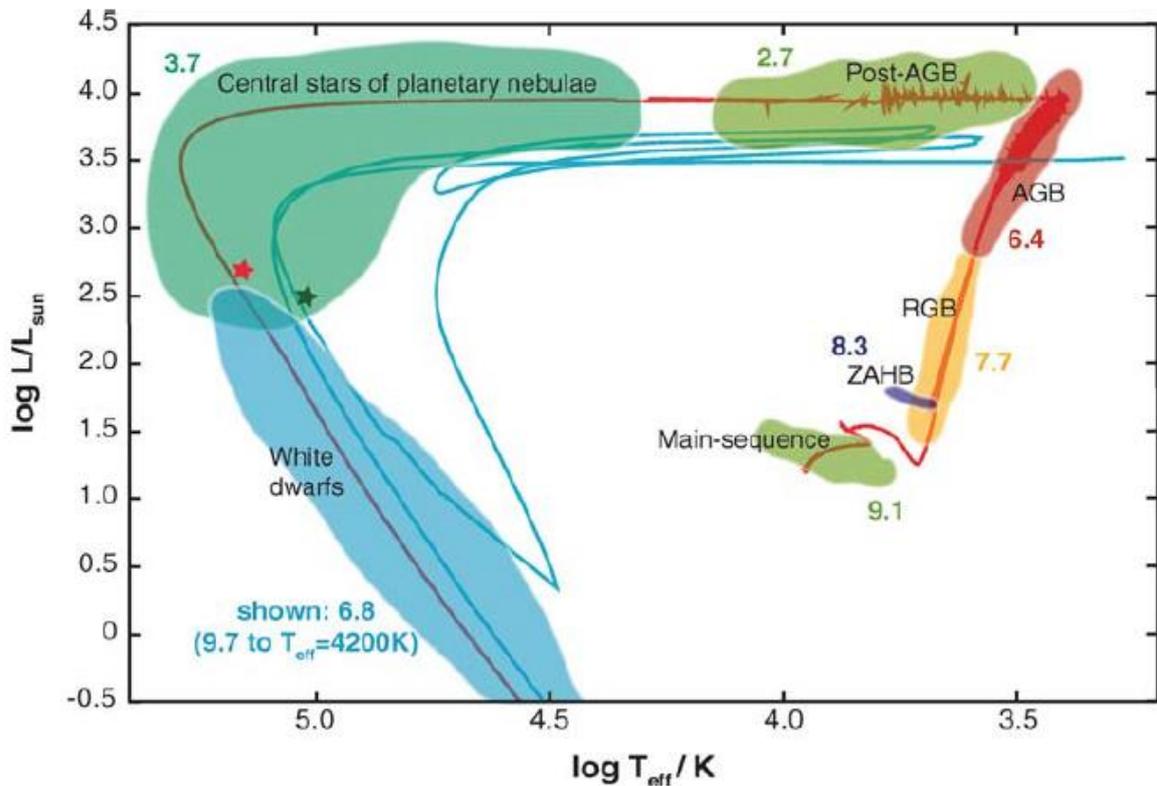
Cuando se agota el He en capa, la fusión de H en capa pasa a ser el mecanismo dominante de generación de energía y se va acumulando He hasta que la densidad es tan alta que se fusiona de manera abrupta y agresiva, produciéndose carbono en un proceso corto de unos cientos de años llamado Flash de Helio o termopulso. Este mecanismo estimula la nucleosíntesis entre las dos capas, los distintos elementos generados son dragados convectivamente hacia las capas exteriores de la estrella. Además, el termopulso también hace que la estrella se expanda enormemente, de manera que las capas más exteriores están tan débilmente ligadas que el viento solar y la presión de radiación propician grandes pérdidas de masa del orden de $10^{-8} - 10^{-5} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$.

El material perdido se va acoplando alrededor de la estrella formando lo que se denomina envoltura circumestelar o sus siglas en inglés CSE. Está compuesta principalmente por el gas y el polvo generado en la atmósfera estelar.

Tras este proceso de expansión y pérdida masiva de material, el ciclo vuelve a comenzar, la capa de H desactivada por la expansión provocada por el termopulso, vuelve a ser el mecanismo principal de generación de energía de la estrella. Por tanto, se tienen estrellas variables pulsantes, con largos periodos y rodeadas de una envoltura de material eyectado constituido principalmente por polvo que las opaca en el visible.

A continuación, se muestra un diagrama Hertzsprung-Russell (diagrama HR) del artículo de (Herwig, 2005), dónde se presenta la vida de una estrella cualquiera de masa intermedia desde que entra en su fase de secuencia principal pasando por todas las etapas hasta acabar siendo enana blanca. He de destacar la etapa coloreada en rojo, la etapa de AGB, y que es la compete a este trabajo.

En el diagrama se observa como inicialmente no existen inestabilidades, se está en la etapa comentada arriba de E-AGB, y poco a poco comienza a verlas entrando así en la etapa de TP-AGB.

Ilustración 1. Diagrama HR de estrella ejemplo de masa intermedia.

Fuente: Artículo "Evolution of Asymptotic Giant Branch Stars" de (Herwig, 2005)

1.2. Variabilidad estelar

Como se acaba de ver, las estrellas AGB son estrellas variables pulsantes. Es decir, que la variabilidad en su brillo es producida en esencia por los termopulsos que originan que las capas exteriores se expandan y se contraigan cíclicamente, variando la luminosidad y también la temperatura de la estrella. No obstante, existen otros tipos de estrellas que no son AGB y que también son variables, un ejemplo clásico son las estrellas variables cefeidas.

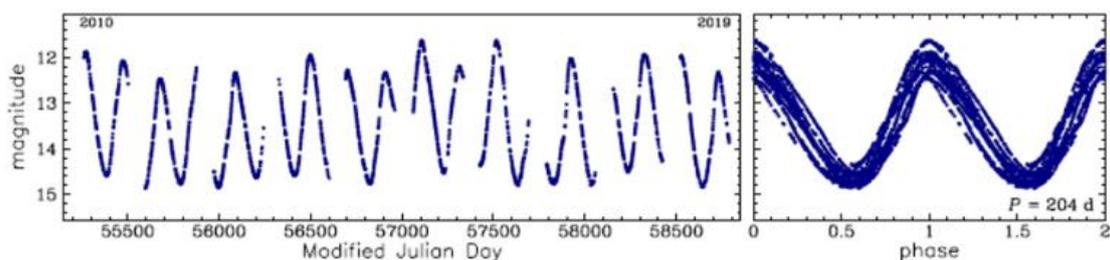
De manera más general, las estrellas que presentan variaciones en su brillo pueden clasificarse en base al origen del fenómeno en extrínsecas e intrínsecas. En las primeras, como se puede deducir por el nombre, el cambio de brillo se produce por factores externos a la propia estrella; por ejemplo, en este grupo entran las binarias eclipsantes o las estrellas variables rotacionales. En contra se tendrían las intrínsecas, dónde el cambio es producido por algún tipo de proceso físico o fenomenológico propia de la estrella; por ejemplo, las estrellas pulsantes como las cefeidas o las estrellas pulsantes de largo periodo LPV.

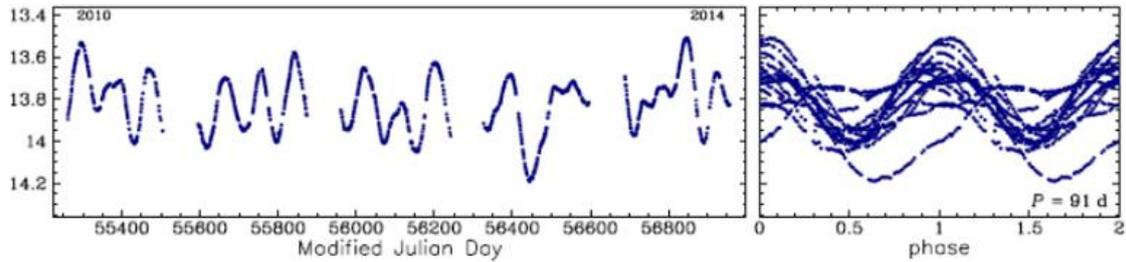
Como se verá más adelante, se parte de que las curvas de luz de las estrellas AGB que se tienen corresponden a variables de tipo LPV. Y es que estas estrellas presentan curvas de luz oscilantes con picos en forma de valles, con ciclos más o menos regulares con periodos en principio superiores a 30 días. Dentro de esta clasificación, de manera más precisa se subdivide en orden de regularidad descendiente los ciclos, en Mira (M), Semirregulares (SR) e Irregulares (L). Pero de estas últimas (L), no se hablará al no haberse detectado en la investigación de este trabajo.

Las estrellas Mira tienen periodos en torno a los (80, >1000d) en los cuales el brillo cae de manera drástica en más de 2.5 mag en la banda V. Indicar que como es lógico, las variaciones de brillo cambian dependiendo de lo energética que sea la banda, disminuyendo para longitudes de onda más rojas y aumentando para las más azules.

Además, estas estrellas suelen pulsar en el modo fundamental un único modo, mientras que las estrellas semirregulares suelen presentar en torno a 2 ó 3 modos aparte del fundamental. Esta es en principio la mayor diferencia entre las estrellas Mira y las semirregulares, dado que, si bien las variaciones de brillo suelen ser inferiores a las 2.5 mag (V) en las semirregulares, en ocasiones es difícil diferenciarlas con sus curvas porque coexisten para ciertos periodos (los periodos característicos de las SR oscilan entre los 30 – 500d). Para esclarecer lo indicado se muestra la siguiente Ilustración 2, donde arriba a la izquierda se tiene la curva de luz para una estrella Mira ejemplo, a su derecha los modos de pulsación en la gráfica magnitud-fase; y debajo sus equivalentes para una estrella semirregular también ejemplo.

Ilustración 2. Ejemplo de curva de luz de una variable Mira y SR.





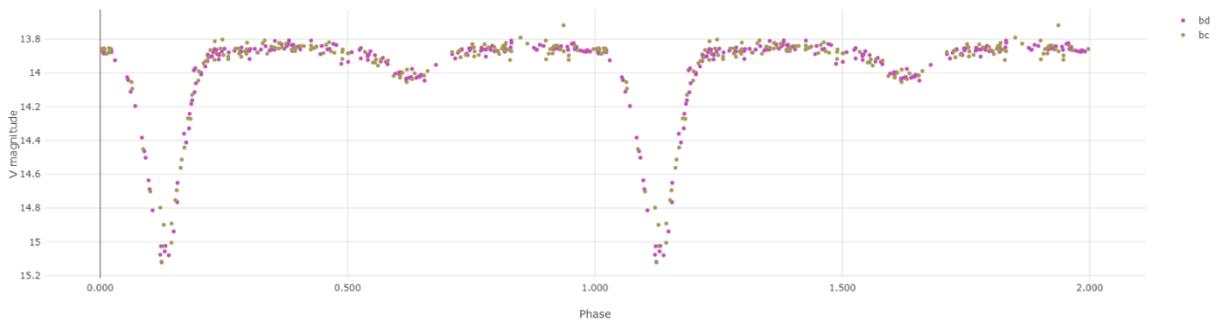
Fuente: OGLE, Atlas of Variable Star, <https://ogle.astrouw.edu.pl/atlas/LPVs.html>.

Como se puede observar, no siempre es fácil distinguir una de otra, y más si no se dispone del diagrama magnitud fase como ocurre en este trabajo. Y es que, de las estrellas de estudio seleccionadas, la fotometría de época es tan escasa que no se pueden tener los diagramas magnitud-fase. No obstante, en este trabajo, sí se han podido distinguir las Miras de las semirregulares gracias a las curvas de luz y a la bibliografía histórica de referencia de los astros.

Aparte de estas estrellas LPV, también se había mencionado como ejemplo las variables rotacionales y las eclipsantes, y es que estos astros variables aparecen en este trabajo, así que se procede a explicarles:

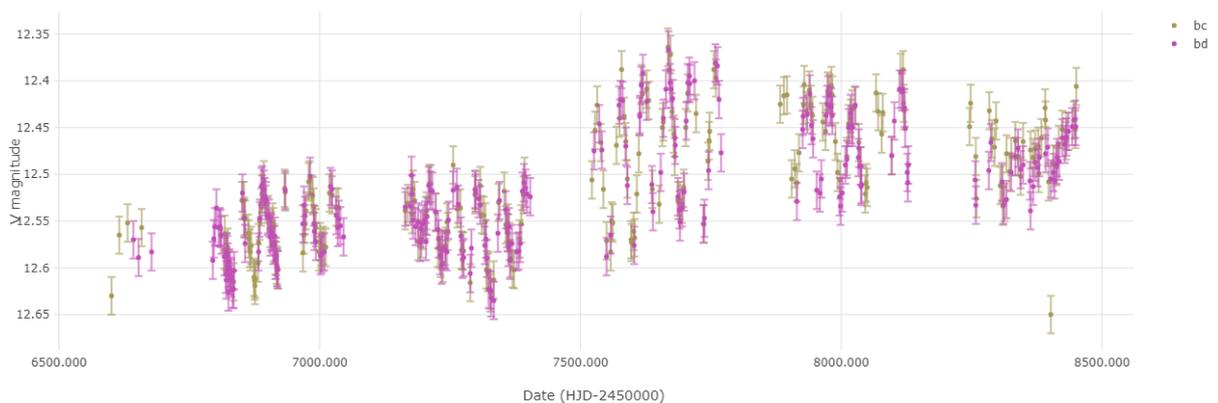
Las binarias eclipsantes son sistemas solares compuestos por al menos dos estrellas, dónde se produce un eclipse en la dirección de alineación entre los astros y el instrumento de captación de la luz, plasmándose en la curva de luz. Al menos se producen dos eclipses, uno primario y otro secundario. Además, estos eclipses que se muestran en las curvas de luz no tienen que ser de igual intensidad, de manera que afecte por igual en la amplitud pico a pico de la variación de brillo o en su ancho, todo depende del tipo de estrella tanto en tamaño como en distancia, etc.

Los periodos son muy variables, pero una buena aproximación podría estar entorno a los 0.2-20d. Ver Ilustración 3 como ejemplo típico de curva de luz de una variable eclipsante con el eclipse primario y secundario.

Ilustración 3. Curva de la variable eclipsante ASASSN-V J001637.67+624848.7 / MV Cas en la banda V.

Fuente: ASAS-SN, 2023.

Por otra parte, se tienen a las variables rotacionales, que son astros cuya curva de luz se ve modificada debido a las grandes manchas solares que aparecen en su superficie y que actúan como micro eclipses de su propio brillo. Evidentemente las variaciones en el brillo son de pequeña magnitud y además como las manchas van moviéndose y cambiando de tamaño, los cambios en el brillo también van variando, no existe una regularidad; introduciéndose mucho ruido e incertidumbre en la curva de luz. Los periodos típicos están entorno los 0.5-100d, ya que como su nombre indica, es el propio giro de la estrella sobre sí misma la que determina el periodo de la curva de luz. Ver Ilustración 4 como ejemplo de estrella variable rotacional.

Ilustración 4. Curva de luz de la estrella variable rotacional ASASSN-V J000405.14+472747.7 en la banda V.

Fuente: ASAS-SN, 2023.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo principal

El objetivo principal de este trabajo es explicar el comportamiento anómalo de un conjunto de estrellas catalogadas como AGB previamente por Gaia, y que no exhiben un comportamiento típico en sus curvas de luz.

1.3.2. Objetivos específicos

Se listan los objetivos:

- Seleccionar un conjunto de estrellas AGB cuyas curvas de luz muestren anomalías en el periodo, en la variación de magnitud u en la forma de un catálogo de estrellas de Gaia.
- Extender temporalmente las curvas de luz de Gaia mediante la inclusión de fotometría de época de los *surveys* APASS, ASAS, ASAS-SN, SuperWasp y ZTF.
- Conocer la variabilidad de la muestra de estrellas mediante el análisis de sus curvas de luz y compararlas con la documentación científica de referencia para cada astro.
- Buscar explicaciones al comportamiento anómalo conocida la variabilidad.

2. Selección de estrellas de estudio. Problema

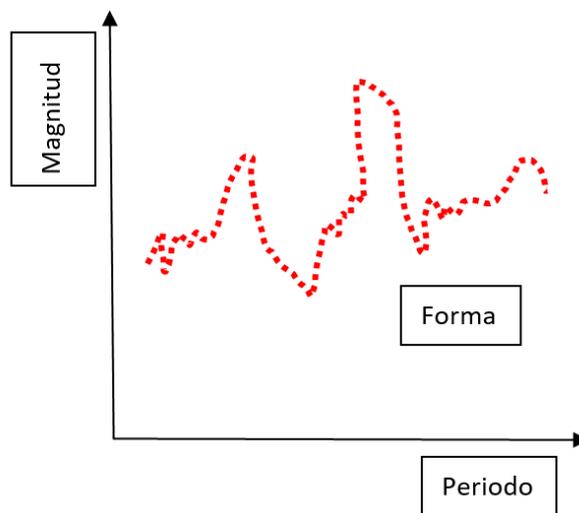
Se parte del trabajo realizado por (Jiménez-Esteban, D. Engels, González, & García-Lario, 2020), que disponen de un listado de estrellas catalogadas por Gaia como AGB. Como se mostrará a continuación, muchas de estas estrellas tienen una fotometría de época extraña a primera vista y que puede no encajar con esta clasificación realizada por GAIA.

Concretamente se parte de ese listado para hacer un primer filtrado, de manera que se tengan amplitudes en la variación de brillo de ≥ 2 mag y periodos ≥ 1800 días. Como se verá más adelante, el análisis de las estrellas seleccionadas en otras bandas puede dirimir en que realmente se tengan periodos y amplitudes menores de lo expuesto aquí.

De esta primera selección de estrellas se escogen 12, teniendo como criterio 3 variables: periodo, forma y magnitud de la curva de luz que se tiene previamente de los datos de GAIA.

Se escogen ya sea porque tiene grandes variaciones de brillo, largos periodos o simplemente por las formas erráticas en la curva de luz. *Ver Ilustración 5.*

Ilustración 5. *Ejemplo de curva de luz a estudio con los 3 criterios.*



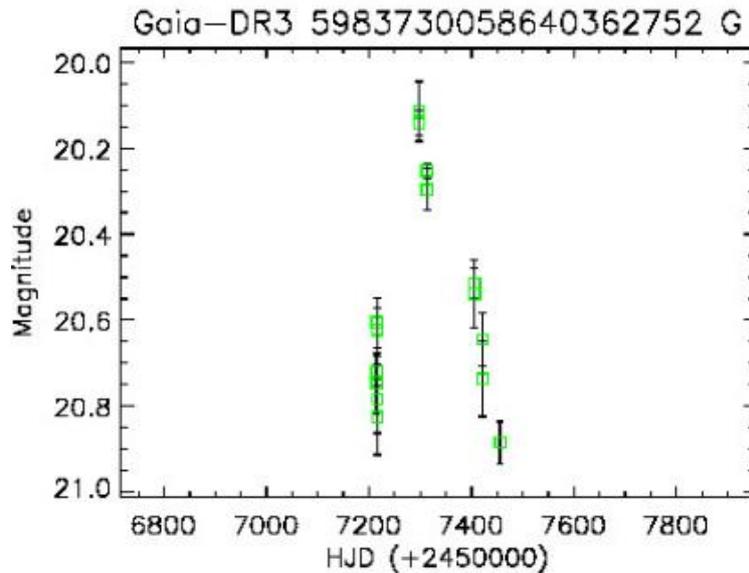
Fuente: Elaboración propia, 2023.

A continuación se muestran las curvas de luz de Gaia de las estrellas de estudio y el porqué de haber sido escogidas para cada una de ellas.

2.1. Gaia DR3 5983730058640362752

Como se observa en la imagen, esta estrella se escoge a estudio por la forma de su curva, ya que únicamente se tiene un pico en la banda G teniendo que el periodo ser ya mayor que 300d.

Ilustración 6. Curva de luz de Gaia DR3 5983730058640362752 en banda G.

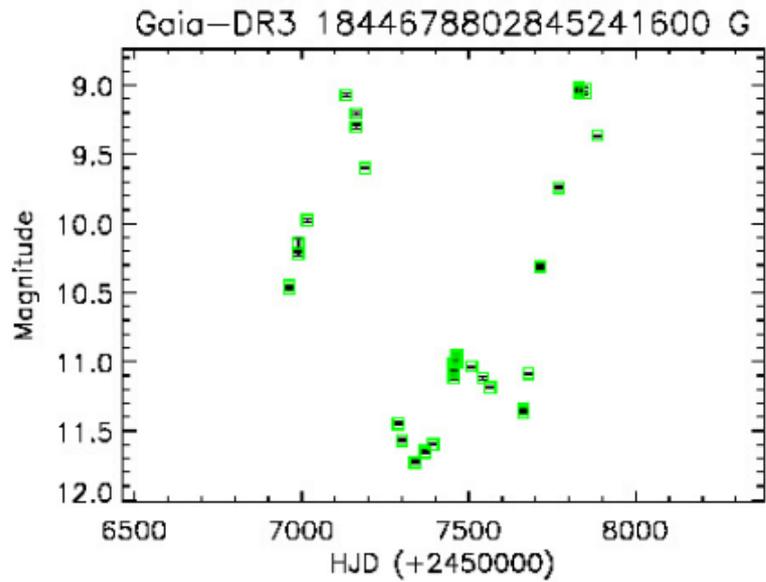


Fuente: Francisco M. Jiménez Esteban, 2020.

2.2. Gaia DR3 1844678802845241600

Esta estrella se escoge tanto por magnitud como por forma. Por magnitud, ya que en lo que parece ser un ciclo su brillo ya descende 2.5 mag. Se escoge por forma, ya que, si bien se aprecian picos, estos disponen de un pequeño pico a mitad que rompe la simetría.

Ilustración 7. Curva de luz de Gaia DR3 1844678802845241600 en banda G.

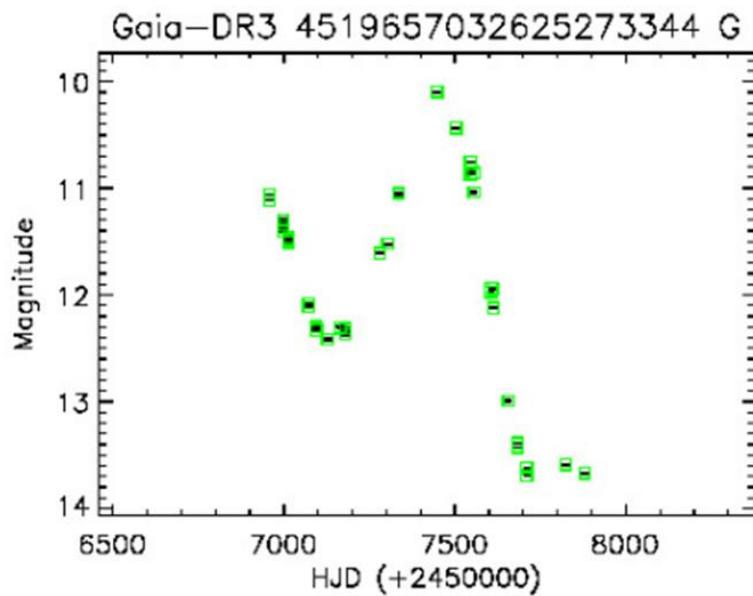


Fuente: Francisco M. Jiménez Esteban, 2020.

2.3. Gaia DR3 4519657032625273344

La estrella se escoge por la variación en su brillo, que parece ser superior a las 4 mag.

Ilustración 8. Curva de Gaia DR3 4519657032625273344 en banda G.

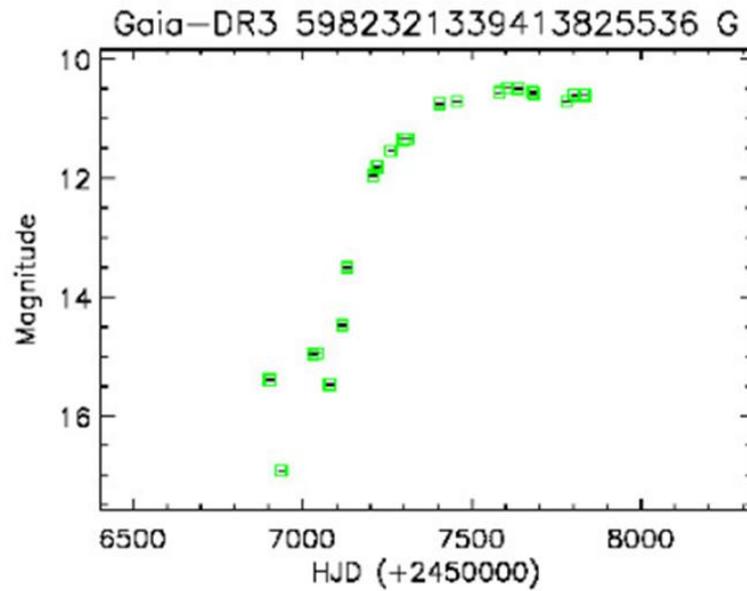


Fuente: Francisco M. Jiménez Esteban, 2020.

2.4. Gaia DR3 5982321339413825536

Esta estrella se escoge por los 3 requisitos, forma, periodo y magnitud. Únicamente se tiene un pico, con una caída de brillo de mínimo 6 mag en la banda G, a través de un periodo de más 1000d.

Ilustración 9. Curva de luz de Gaia DR3 5982321339413825536 en banda G.

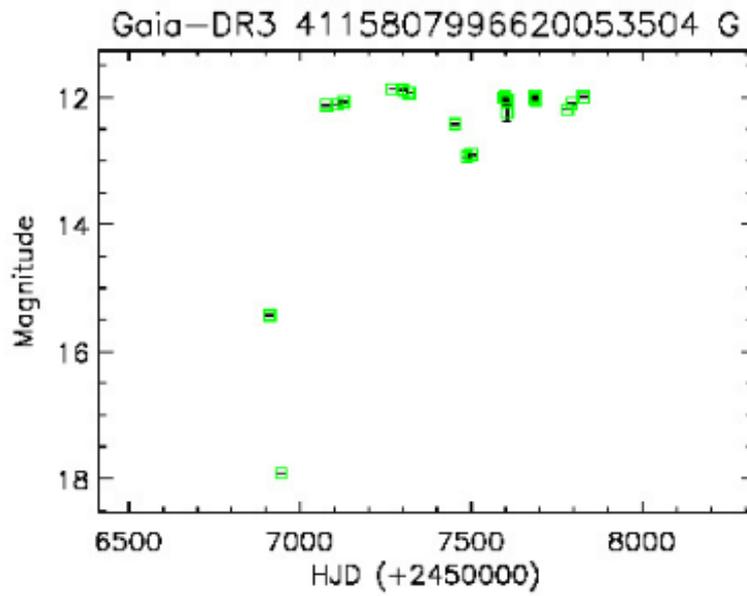


Fuente: Francisco M. Jiménez Esteban, 2020.

2.5. Gaia DR3 4115807996620053504

Al igual que en el caso anterior, se escoge por los tres factores.

Ilustración 10. Curva de luz de Gaia DR3 4115807996620053504 en banda G.

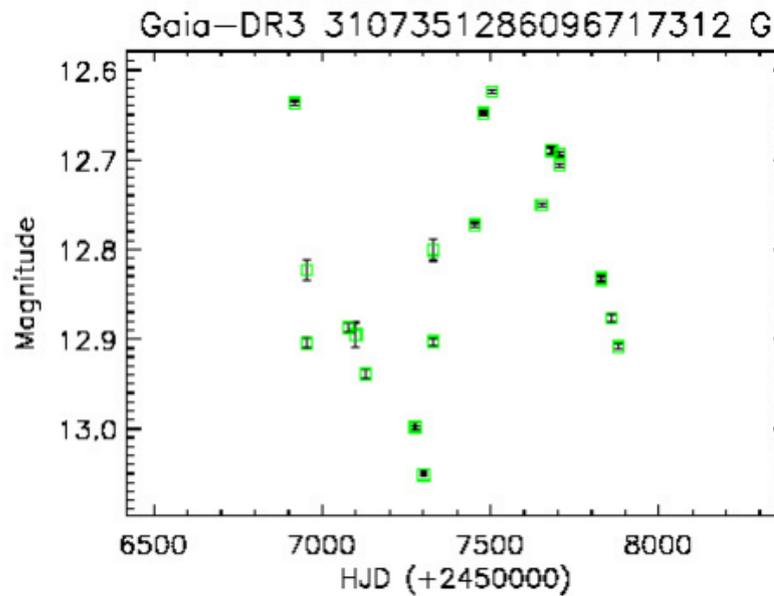


Fuente: Francisco M. Jiménez Esteban, 2020.

2.6. Gaia DR3 3107351286096717312

Este astro es escogido por su forma, ya que está poco definida.

Ilustración 11. Curva de luz de Gaia DR3 3107351286096717312 en banda G.

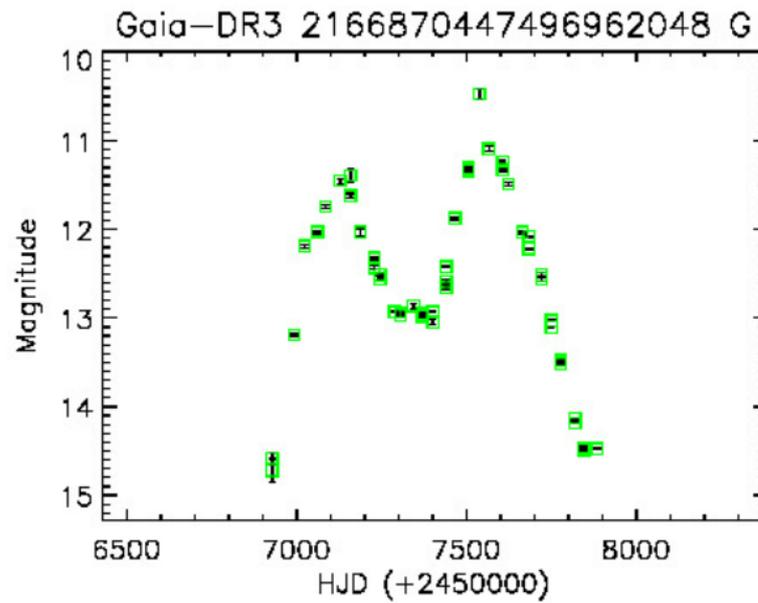


Fuente: Francisco M. Jiménez Esteban, 2020.

2.7. Gaia DR3 2166870447496962048

Se la estudiará debido a la variación de magnitud que parece de más de 5 unidades, y además, por su forma al tener una caída entre los dos picos principales inferior.

Ilustración 12. Curva de luz de Gaia DR3 2166870447496962048 en banda G.

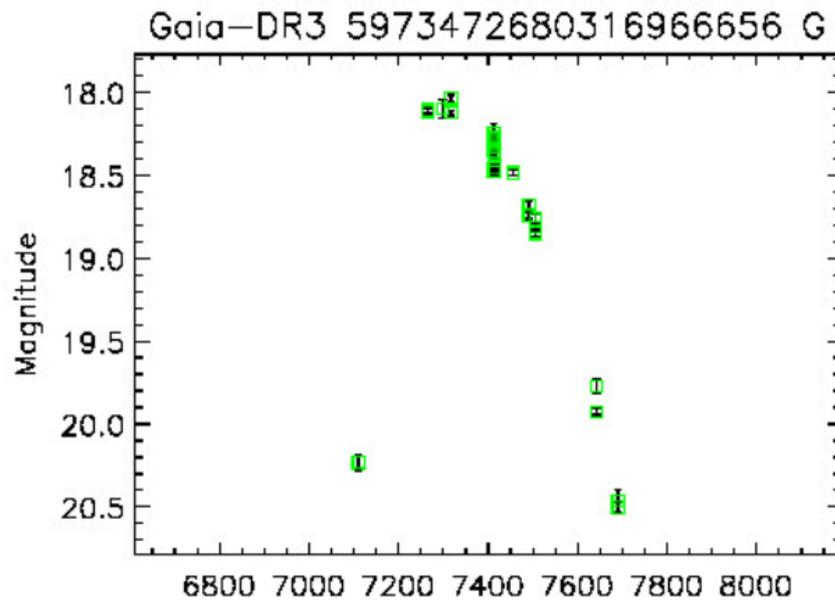


Fuente: Francisco M. Jiménez Esteban, 2020.

2.8. Gaia DR3 5973472680316966656

Esta estrella es escogida por su forma, ya que aparentemente presenta un único pico, y que además varía en más de 2.5 mag.

Ilustración 13. Curva de luz de Gaia DR3 5973472680316966656 en banda G.

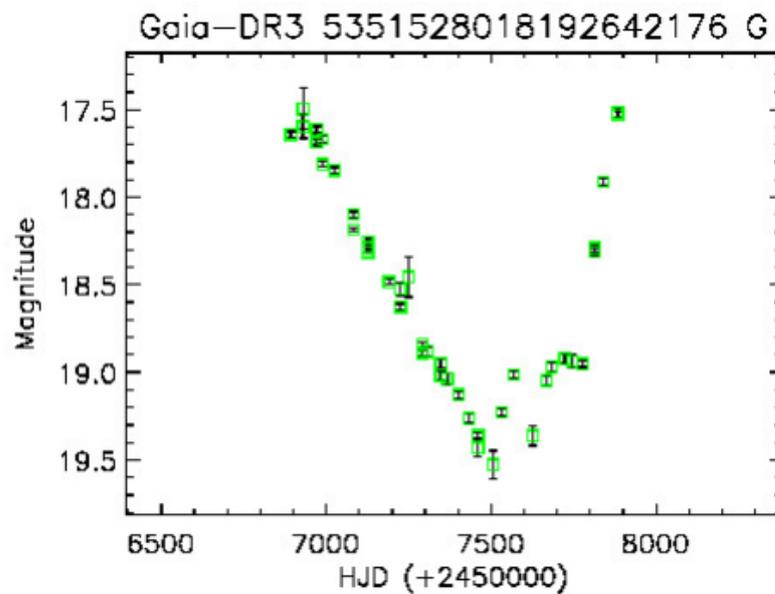


Fuente: Francisco M. Jiménez Esteban, 2020.

2.9. Gaia DR3 5351528018192642176

Se escoge por su forma, por el descenso y aumento del brillo muy marcado; además de por su periodo ya que ronda los 1000d.

Ilustración 14. Curva de luz de Gaia DR3 5351528018192642176 en banda G.

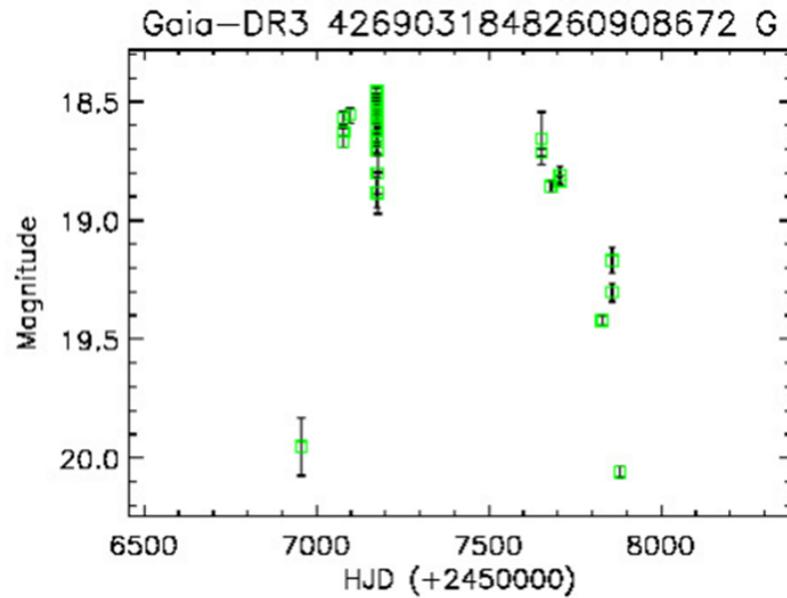


Fuente: Francisco M. Jiménez Esteban, 2020.

2.10. Gaia DR3 4269031848260908672

Es elegida por su forma, ya que es prácticamente indistinguible.

Ilustración 15. Curva de luz de Gaia DR3 4269031848260908672 en banda G.

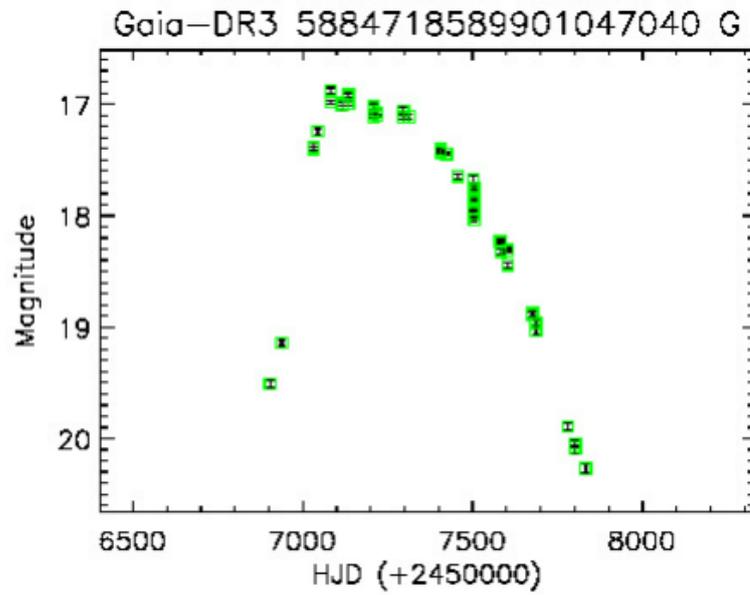


Fuente: Francisco M. Jiménez Esteban, 2020.

2.11. Gaia DR3 5884718589901047040

Es escogida por su forma, ya que aparentemente presenta un único pico, y además varía en más de 3 mag.

Ilustración 16. Curva de luz de Gaia DR3 5884718589901047040 en banda G.

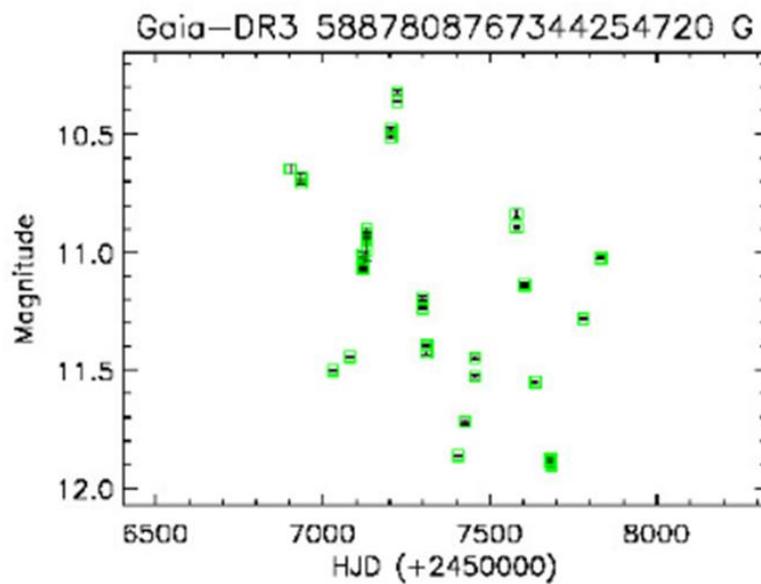


Fuente: Francisco M. Jiménez Esteban, 2020.

2.12. Gaia DR3 5887808767344254720

Se escoge por forma, al no reconocerse en esta ningún ciclo de variabilidad, y también, se escoge por la magnitud al variar posiblemente en más de 2.5 magnitudes.

Ilustración 17. Curva de luz de Gaia DR3 5887808767344254720 en banda G.



Fuente: Francisco M. Jiménez Esteban, 2020.

En resumen, se tendría el listado que se muestra a continuación. *Ver Tabla 1.* Como se verá más adelante a lo largo del trabajo, ciertas estrellas serán sustituidas por otras para su posterior estudio al no disponerse de suficientes datos de fotométricos.

Tabla 1. Selección de estrellas para el estudio.

SOURCE_ID	MAGNITUD	PERIODO	FORMA
GAIA DR3 5983730058640362752			X
GAIA DR3 1844678802845241600	X		X
GAIA DR3 4519657032625273344	X		
GAIA DR3 5982321339413825536	X	X	X
GAIA DR3 4115807996620053504	X	X	X
GAIA DR3 3107351286096717312			X
GAIA DR3 2166870447496962048	X		X
GAIA DR3 5973472680316966656	X	X	X
GAIA DR3 5351528018192642176		X	X
GAIA DR3 4269031848260908672			X
GAIA DR3 5884718589901047040	X	X	X
GAIA DR3 5887808767344254720	X	X	

Fuente: Elaboración propia, 2023.

3. Proceso de creación de las curvas de luz

Una vez realizada la selección de estrellas en base a los criterios explicados en el apartado 2 anterior, se procede a realizar y componer las curvas de luz mediante la herramienta VO TOPCAT. Acorde al propio desarrollador¹, TOPCAT es una herramienta gráfica interactiva que permite realizar análisis y manipulación de datos en formato tabla, cuyo uso mayoritario es para el tratamiento de datos de carácter astronómico ya que usa los estándares VO.

Para poder componer dichas curvas, se ha de disponer la fotometría de época aportada en varios catálogos o *surveys*. En este trabajo se han usado datos de varios *surveys* cuyas bandas están centradas en el visible y en el infrarrojo cercano. Concretamente se explican los catálogos:

- **GAIA**

La misión Gaia² de la Agencia Espacial Europea (ESA) tenía la misión de realizar un cartografiado 3D de la Galaxia, y en el proceso además determinar la composición, formación y evolución de esta. Para ello, la misión medía de manera muy precisa la posición RA-DEC, paralaje y la velocidad radial de aproximadamente 1 billón de estrellas de nuestra galaxia y también del Grupo Local. La línea principal de investigación ha conllevado a la múltiple detección de exoplanetas, de enanas marrones, de supernovas, así como a la detección temprana y estudio de NEOs y KBOs. Para este trabajo, se han usado el tercer y último lanzamiento de datos de la misión, el *Gaia Data Release 3* (de aquí en adelante DR3) del 13 de junio de 2022.

Y más concretamente, se ha utilizado la fotometría de época en la banda G, G_{BP} y G_{RP}; cuyos límites de magnitud máximo es del orden de 20.7 mag y de 20.0 a 20.5 para G_{BP} y G_{RP}.

- **APASS**

¹ TOPCAT: <https://www.star.bristol.ac.uk/mbt/topcat/>

² GAIA: [Gaia Data Release 3 overview - Gaia - Cosmos \(esa.int\)](#)

Las siglas *APASS* hacen referencia a *All-Sky Photometric Survey*³. Este catálogo de fotometría promovido y mantenido por la asociación AAVSO, se compone de datos en 8 bandas: Johnson B y V, y Sloan u' , g' , r' , i' , z_s y Z.

Como se verá más adelante en las curvas de luz, la fotometría de APASS no tiene mucha extensión en el tiempo, lo que deriva en que no aporte información relevante para el estudio de este trabajo.

- **ASAS**

Las siglas *ASAS* hacen referencia a *All-Sky Automated Survey*⁴, siendo un proyecto cuyo objetivo principal es el de crear un catálogo con aproximadamente 10 millones de estrellas que presenten variabilidad en magnitudes superiores a 14, permitiendo su estudio y seguimiento. ASAS provee fotometría en la banda V e I, pero todos los datos en este trabajo se hallan en la banda V.

- **ASAS-SN**

Las siglas *ASAS-SN* hacen referencia a *All Sky Automated Survey for SuperNovae*⁵, siendo una evolución tecnológica y científica del catálogo de ASAS. Concretamente este *survey* se especializa en la detección y seguimiento de eventos transitorios, especialmente supernovas; y para ello tiene información en el visible de todo el cielo para magnitudes entre 9-18 mag en las bandas V y g.

- **SuperWASP**

Este nombre hace referencia a un programa de detección de exoplanetas mediante el método de los tránsitos, de manera que permite la detección y catalogación también de estrellas variables por su curva de luz. El programa *SuperWasp*⁶ también está siendo utilizado para encontrar objetos de naturaleza más exótica como pequeños agujeros negros en sistemas binarios con estrellas compañeras. Este catálogo se encuentra en la banda V y su límite teórico de magnitud se halla entorno a $V=15$ mag.

- **ZTF**

³ APASS: [APASS: The AAVSO Photometric All-Sky Survey | aavso](#)

⁴ ASAS: [All Sky Automated Survey \(astrouw.edu.pl\)](#)

⁵ ASAS-SN: [ASAS-SN's Homepage \(ohio-state.edu\)](#)

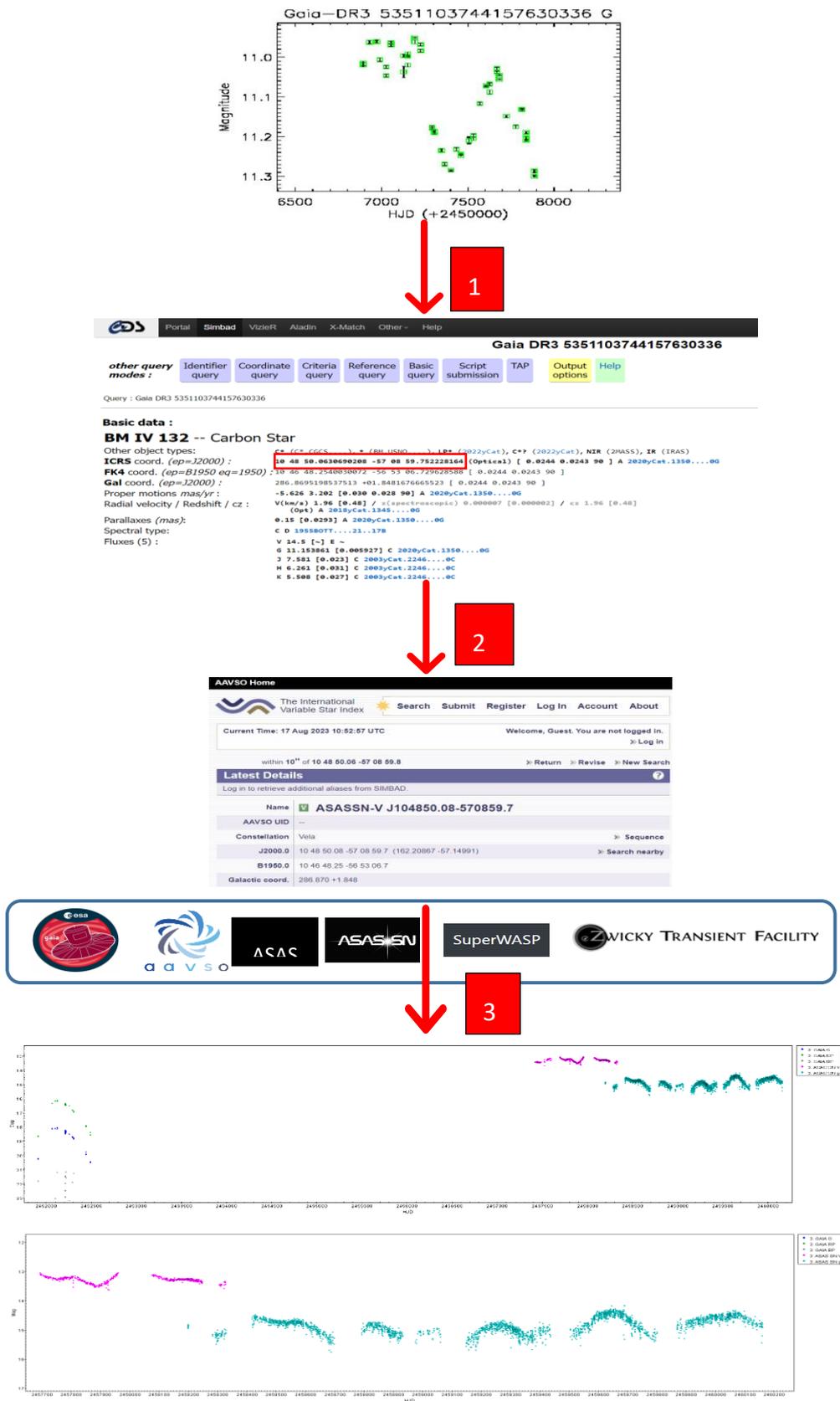
⁶ SuperWasp: [SuperWASP](#)

Las siglas *ZTF* hacen referencia al catálogo llamado *Zwicky Transient Facility*, colaboración público-privada estadounidense que escanea el cielo nocturno del hemisferio norte cada 2 días, con el fin entre otras cosas, la de estudiar NEOs, objetos variables, así como las supernovas más brillantes y otros fenómenos transitorios. Los datos fotométricos se captan en las bandas *g*, *r* e *i*; no obstante, en este trabajo los datos utilizados serán los correspondientes a los filtros *g* y *r*; que tendrán como límite de magnitud, 20.5 y 20.0 respectivamente.

De todas las estrellas de estudio se parte de la propia curva de luz de Gaia como punto de interés para profundizar más en el tipo de astro. En base a esta se construyen curvas más extensas temporalmente con el objetivo de poder esclarecer los datos de Gaia. Como se verá en adelante y particularmente para cada astro, no todas las estrellas dispondrán datos de todos los *surveys*. Es más, aun habiendo datos, estos, no siempre aportarán ni la suficiente información ni detalle relevante.

Con objeto de amenizar la lectura, se va a explicar detalladamente la creación de una curva de luz de una estrella ejemplo cualquiera de manera gráfica. Ver el flujograma de la Ilustración 18.

Ilustración 18. Flujoograma de creación de las curvas de luz.



Fuente: Elaboración propia, 2023.

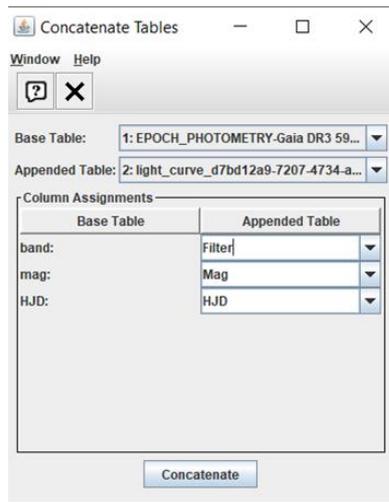
El proceso de creación de la curva de luz comienza cuando se selecciona una estrella por una de las tres causas ya citadas previamente.

El caso escogido de ejemplo, GAIA DR3 5351103744157630336, parece ser una estrella de carbono relativamente definida su curva de luz y con un periodo que ha de rondar en torno a los 1000d con una bajada de brillo de 0.3 mag.

1. Una vez seleccionada, se ha buscado la información básica relevante en Simbad⁷, que en este caso ha sido:
 - Coordenadas referenciadas en J2000.
 - Tipo de objeto (catalogación de VizieR).
 - Identificadores del objeto en otros *surveys*.
 - Referencias históricas, citaciones en papers y bibliografía.
2. Con las coordenadas, se busca en la BBDD de VSX, y en el desplegable de *External Links* se va seleccionando cada uno de los *surveys* mencionados con anterioridad, descargándose la fotometría de época en un formato adecuado para hacer ciencia VO que admita TOPCAT (e.g. VOTable, CSV, o incluso .txt).
3. Con cada una de las tablas con fotometría de época ya en TOPCAT, se procede a hacer un *Join*, no sin antes adaptar los datos con los tipos correctos y corregir la fecha Juliana, HJD, al formato +2450000d. Ver ejemplo de uso de *Join* en TOPCAT en la Ilustración 19.

⁷ Simbad es una BBDD astronómica con información básica como, por ejemplo, las coordenadas e identificadores, así como referencias históricas y citaciones de papers de millones de objetos astronómicos de fuera del Sistema Solar. [SIMBAD Astronomical Database - CDS \(Strasbourg\) \(u-strasbg.fr\)](http://simbad.u-strasbg.fr)

Ilustración 19. Ejemplo de concatenación de tablas en TOPCAT con "Join".

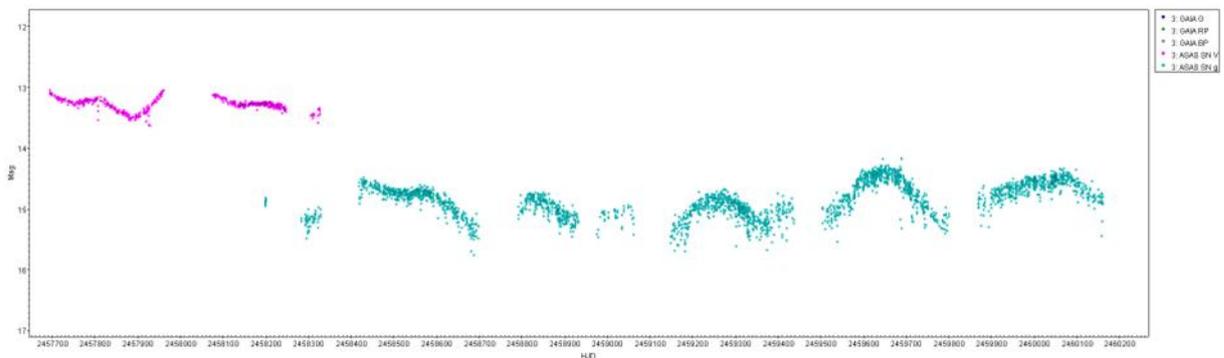


Fuente: Elaboración propia en TOPCAT, 2023.

Una vez unificadas todas las tablas ya se tendría la curva de luz para su estudio. Es importante destacar que cada banda se mide en un rango de longitud de onda determinada. Por tanto, únicamente las que estén en el mismo rango del espectro podrán compararse directamente. No obstante, en este trabajo se muestran todas, ya que la carencia de fotometría de época que permita crear curvas extendidas de luz lo exige. Además, sí se puede inferir información de cada banda y sí se puede determinar el comportamiento general de la variabilidad de la estrella teniendo una imagen global con varias bandas.

Concretamente para la estrella ejemplo se tendría la siguiente curva de luz para el *survey* de ASAS-SN.

Ilustración 20. Curva de luz de la estrella ejemplo Gaia DR3 5351103744157630336.



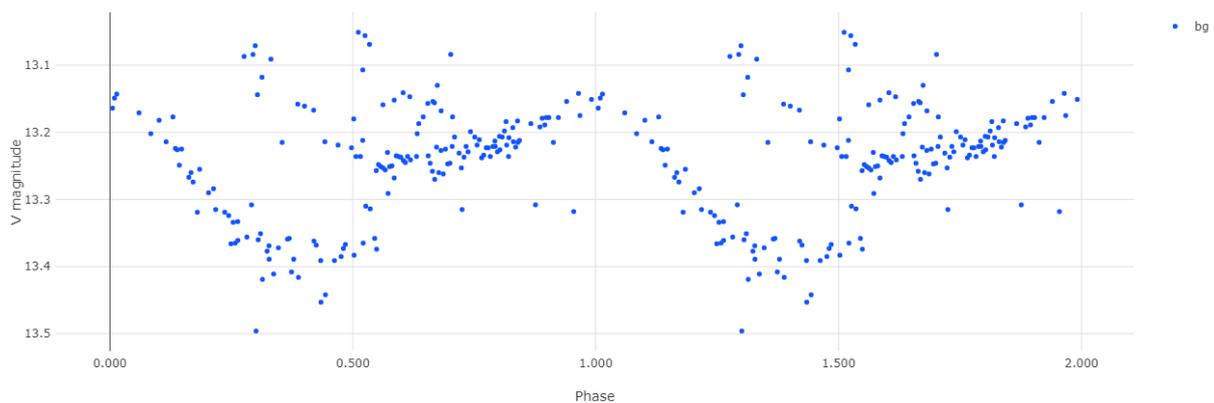
Fuente: Elaboración propia en TOPCAT, 2023.

Se puede observar que es una estrella variable de tipo pulsante, aunque tanto el periodo como la variación del brillo no están definidos de manera inequívoca. En la banda V de ASAS-SN no parece que la variación supere las unidades, estando acotado en torno a la variación de una 1 mag. De igual manera sucede si nos fijamos en la banda g, con variaciones de la magnitud inferiores a la unidad.

En cuanto al periodo, si se fija uno en la fotometría de la banda g, parece que está en torno al orden de los 200-300d. Concretamente según los datos proporcionados por ASAS-SN, el periodo es de 216,44d.

Además, si a esto se le suma el hecho de cómo se producen las variaciones de fase respecto al periodo de mayor amplitud, ya que para esta estrella sí que se tiene el diagrama de magnitud-fase, se ve que la estrella ha de pertenecer al tipo semirregular o SR de manera inequívoca. Ver Ilustración 21.

Ilustración 21. Curva magnitud-fase en ASAS-SN.



Fuente: ASAS-SN, 2023.

Posteriormente en algunas ocasiones, y con el fin de asegurar cual es la variabilidad de la estrella, se busca en la herramienta ALADIN para comprobar como brilla tanto la estrella como las de su entorno en el óptico y en el infrarrojo. Esto permite determinar si tiene o no, una envoltura de polvo que opaque la luz visible y como de gruesa es, también permite además determinar si es una estrella gigante/supergigante enrojecida o amarilla y saber si posee una posible compañera que la eclipse.

4. Resultados. Curvas de luz

4.1. Gaia DR3 5983730058640362752

Identificada como estrella de carbono a finales de la década de los 80s gracias al observatorio espacial IRAS (Little-Marenin, Ramsay, Stephenson, Little, & Price, 1987), presenta posteriormente varios indicios de emisión máser de OH en los 1612 MHz (te Lintel Hekkert, et al., 1991). Ver la siguiente tabla.

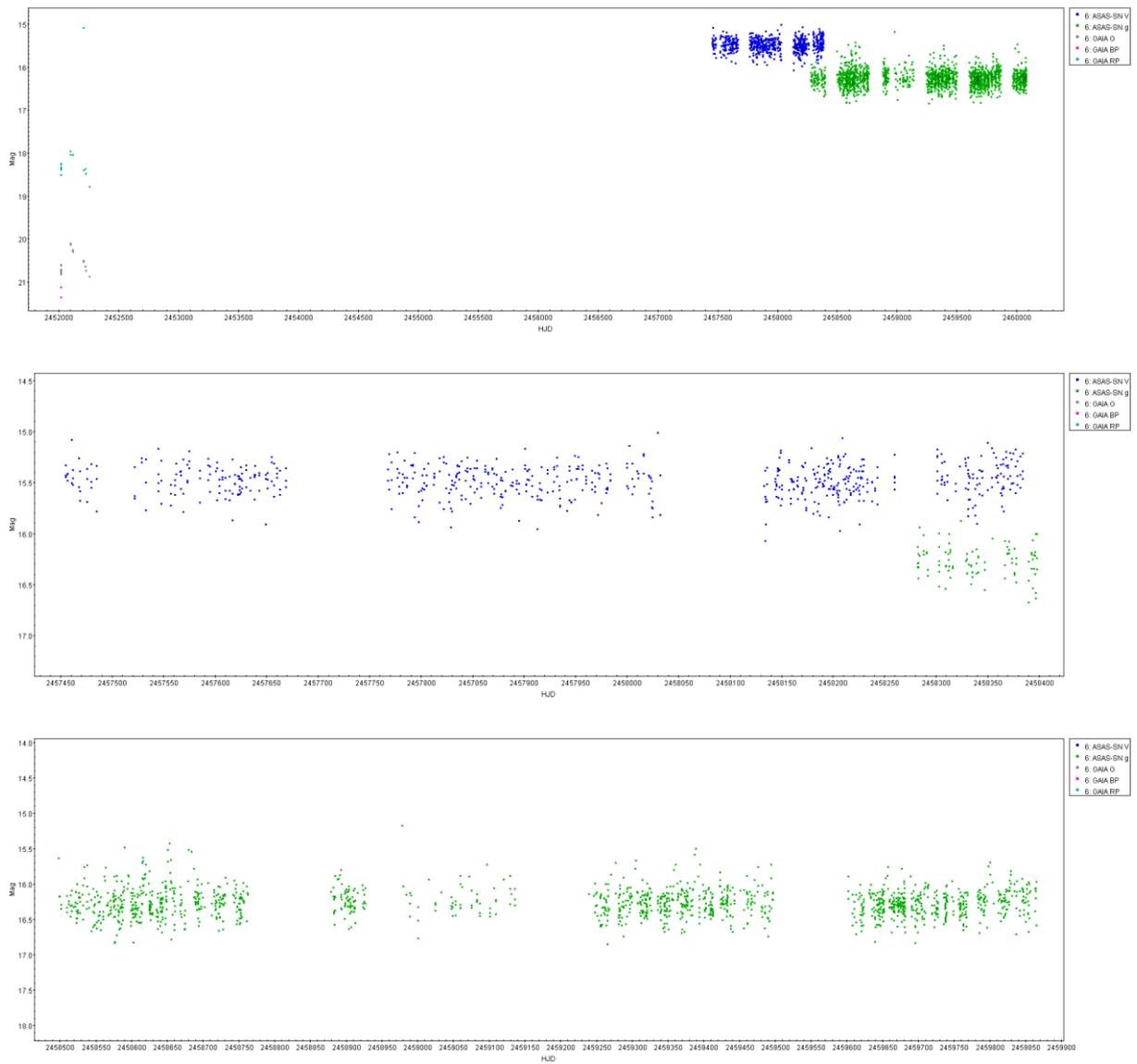
Tabla 2. Información básica de Gaia DR3 5983730058640362752.

ID.	RA	DEC	TYPE	VARIABILITY	SURVEYS
	J2000	J2000	VIZIER	TYPE	
Gaia DR3 5983730058640362752	16 11 33.9184232544	-48 19 50.929495140	Carbon Star	M (Mira)	Gaia DR3
IRAS 16079-4812					ASAS
CGCS 3670					ASAS-SN
WISE J161133.96-481949.7					
V458 Nor					
2MASS J16113392-4819508					
TIC 215998198					

Fuente: Elaboración propia, 2023.

A continuación, se presenta la curva de luz de la estrella construida con la fotometría de época de los *surveys* presentes en la Tabla 2.

Ilustración 22. Curva de luz de Gaia DR3 5983730058640362752.



Fuente: Elaboración propia en TOPCAT, 2023.

4.2. Gaia DR3 1844678802845241600

Catalogada como estrella de carbono a lo largo de la década de los 80s, actualmente se mantiene ese consenso y se presenta en varios catálogos de estrellas variables de los últimos años (Heinze, et al., 2018). En base a su variabilidad, está clasificada como estrella de tipo Mira. Ver la siguiente tabla.

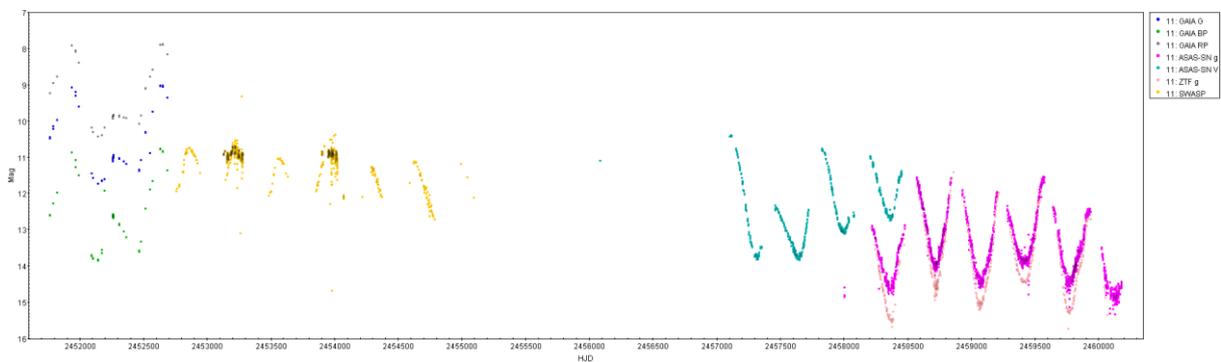
Tabla 3. Información básica Gaia DR3 1844678802845241600.

ID.	RA	DEC	TYPE	VARIABILITY	SURVEYS
	J2000	J2000	VIZIER	TYPE	
Gaia DR3 1844678802845241600	20 59 36.8311700208	+26 28 34.421511324	M	M	Gaia DR3
			(Mira)	(Mira)	
IRAS 20574+2616					ASAS
CGCS 5069					ASAS-SN
WISE J205937.00+262833.8					APASS
V420 Vul					KWS
2MASS J20593683+2628342					SWASP
TIC 247321732					ZTF

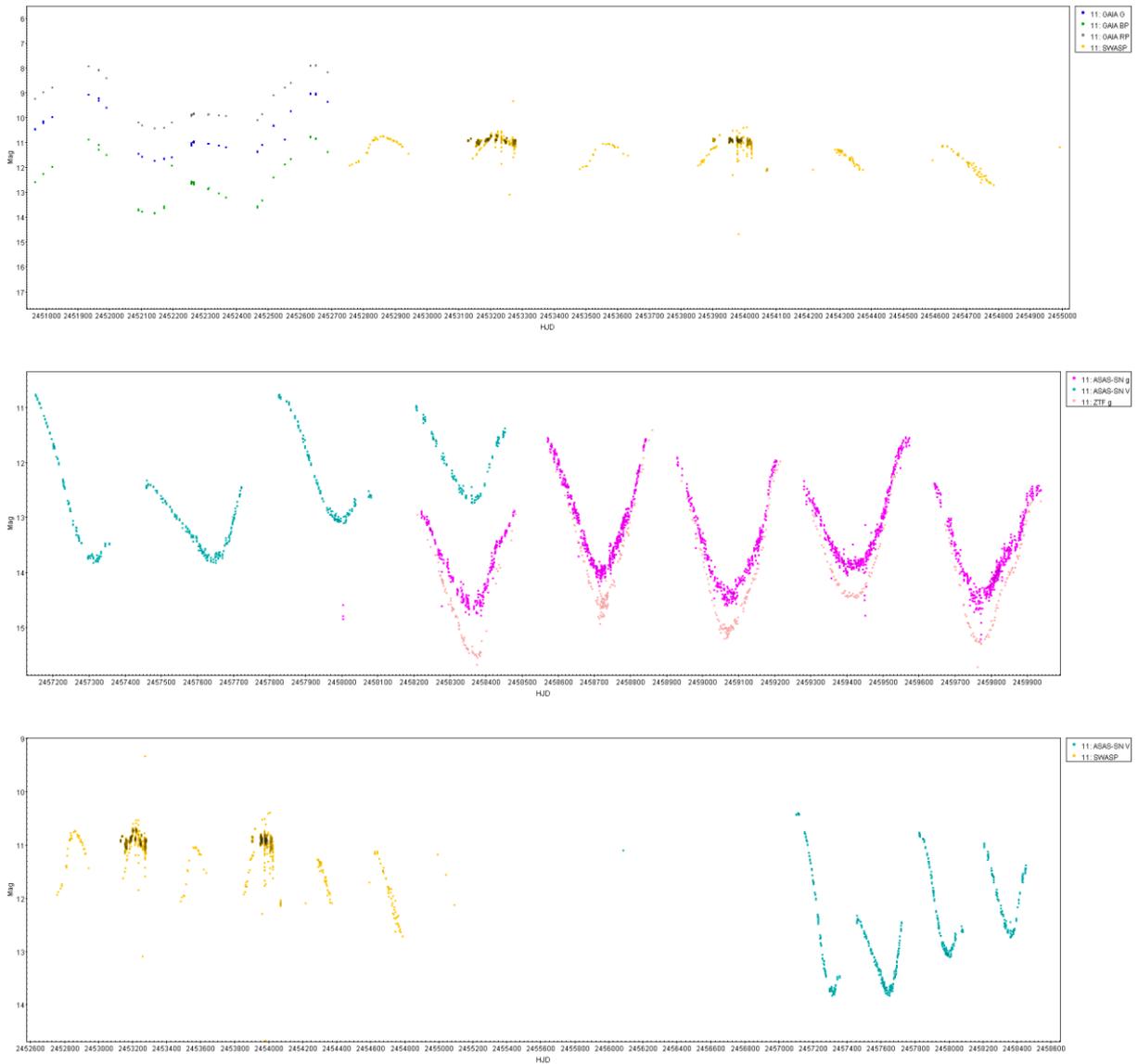
Fuente: Elaboración propia, 2023.

A continuación, se presenta la curva de luz de la estrella construida con la fotometría de época de los *surveys* presentes en la Tabla 3.

Ilustración 23. Curva de luz de Gaia DR3 1844678802845241600.



Identificación de estrellas AGB mediante la creación y análisis de curvas de luz basadas en la fotometría de Gaia



Fuente: Elaboración propia en TOPCAT, 2023.

4.3. Gaia DR3 4519657032625273344

Se tiene constancia de la fotometría infrarroja de esta estrella desde la década de los 70s (Joyce, et al., 1977). Posteriores estudios también en la banda infrarroja, realizados a finales de la década de los 80s principios de los 90s han podido determinar que es una estrella AGB de tipo carbono gracias a la tecnología del satélite IRAS. Destacando los trabajos de (Little-Marenin, Ramsay, Stephenson, Little, & Price, 1987) y (Jura & Kleinmann, 1990).

Los estudios más recientes concuerdan en la estrella como variable de tipo LPV gracias a los datos aportados por la misión Gaia (Gaia Collaboration, 2022), y específicamente como

Identificación de estrellas AGB mediante la creación y análisis de curvas de luz basadas en la fotometría de Gaia
 estrella de tipo Mira gracias al sistema *Asteroid Terrestrial-impact Last Alert System (ATLAS)*
 (Heinze, et al., 2018).

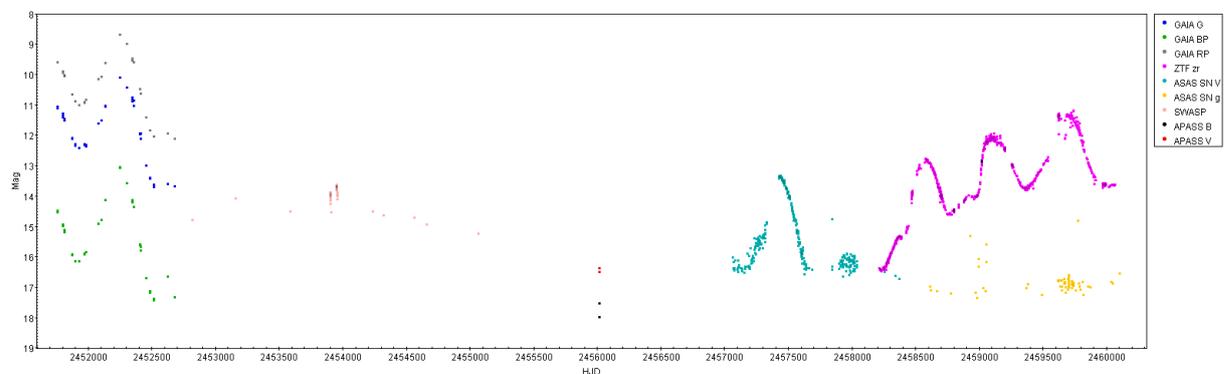
Tabla 4. Información básica Gaia DR3 4519657032625273344.

Id.	RA	DEC	Type	Variability	Surveys
	J2000	J2000	Vizier	Type	
Gaia DR3 4519657032625273344	19 05 06.6475930032	+20 22 03.912190356	Carbon Star	M (Mira)	Gaia DR3
IRAS 19029+2017					ASAS
CGCS 6767					ASAS-SN
WISE J19050664+2022040					APASS
RAFGL 2318					SWASP
2MASS J20593683+2628342					ZTF
TIC 451651968					

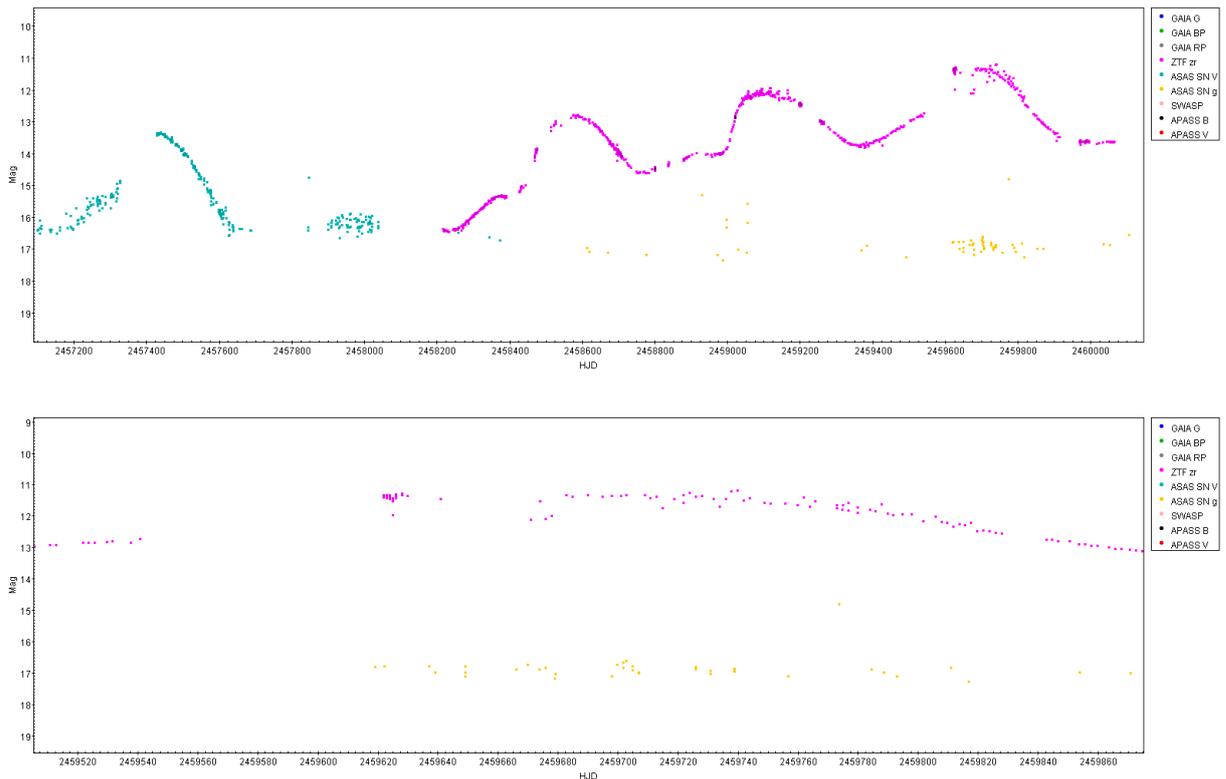
Fuente: Elaboración propia, 2023.

A continuación, se presenta la curva de luz de la estrella construida con la fotometría de época de los *surveys* presentes en la Tabla 4.

Ilustración 24. Curva de luz de Gaia 4519657032625273344.



Identificación de estrellas AGB mediante la creación y análisis de curvas de luz basadas en la fotometría de Gaia



Fuente: Elaboración propia en TOPCAT, 2023.

4.4. Gaia DR3 5982321339413825536

Esta estrella aparece primeramente en *A General Catalogue of Cool Carbon Stars* en la primera edición en la década de los 70s (Stephenson, 1973). Posteriormente, estudios espectroscópicos gracias al satélite IRAS dan indicios de que la envoltura circumestelar de esta estrella posee contenido en silicatos. Explicar esta “incongruencia” dirige estudios donde se determina que es una estrella del subtipo J de las estrellas de carbono (Lloyd Evans, 1991) y (Chen, Lou, & Li, 1993). Muchos años de investigaciones han tomado para intentar dirimir que son y que procesos tienen estas estrellas J. Actualmente, el consenso general indica que las estrellas con silicatos de subtipo J, son objetos binarios con una estrella compañera, posiblemente en su MS, que no se ha detectado con un disco circumbinario que las rodea.

Los últimos estudios de la última década determinan que esta estrella es del tipo *R Coronae Borealis* o R CrB. Estos astros son genuinamente extraños, acorde a (Percy, 2023) son supergigantes amarillos de baja masa ricos en carbonos y pobres en hidrógeno que de manera impredecible sufren variaciones en su magnitud de 8 o más unidades en un periodo de tiempo

Identificación de estrellas AGB mediante la creación y análisis de curvas de luz basadas en la fotometría de Gaia que ronda los 10d. Además, a lo largo de varias semanas pueden ir variando muy ligeramente su magnitud también debido a la pulsación.

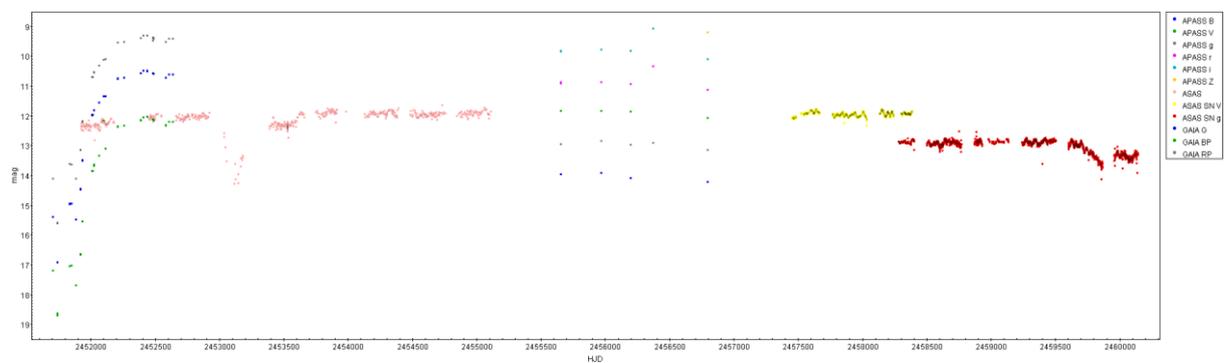
Tabla 5. Información básica de Gaia DR3 5982321339413825536.

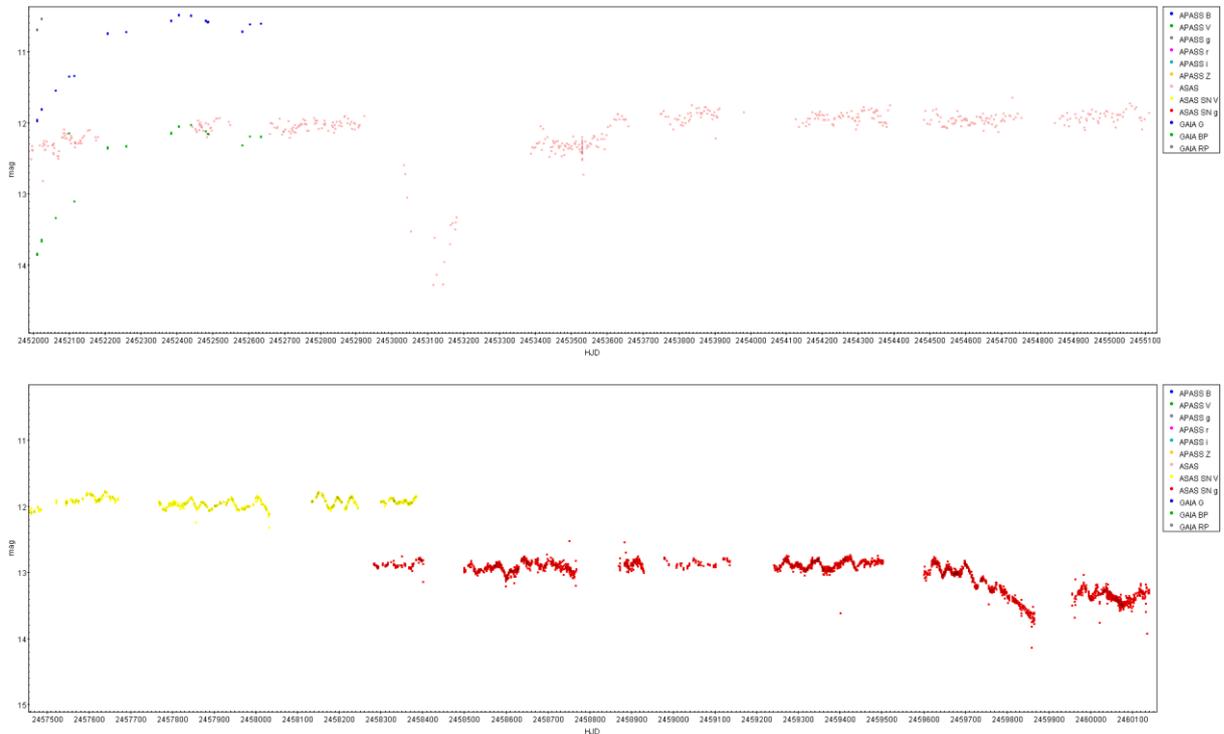
Id.	RA		DEC		Type	Variability	Surveys
	J2000		J2000		Vizier	Type	
Gaia DR3 5982321339413825536	15 44 25.0733838216	-50 45 01.262858364	R CrB	R CrB			Gaia DR3
IRAS 15407-5035							ASAS
CGCS 3628							ASAS-SN
WISE J154425.07-504501.3							APASS
V409 Nor							
2MASS J15442507-5045012							
TIC 264846940							

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Se muestra la curva de luz generada con todos los surveys que constan en la Tabla 5 para esta estrella:

Ilustración 25. Curva de luz de Gaia DR3 5982321339413825536.





Fuente: Elaboración propia en TOPCAT, 2023.

4.5. Gaia DR3 4115807996620053504

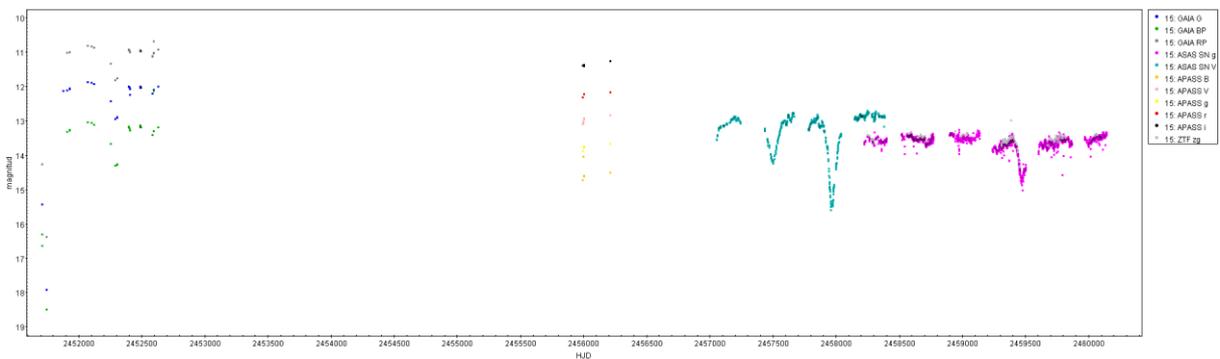
Como ocurre para el astro anterior, esta estrella aparece ya catalogada en la década de los 70s como estrella de carbono en el *A General Catalogue of Cool Carbon Stars* (Stephenson, 1973), y en sus dos ediciones posteriores. Además, y de igual manera, esta estrella también es catalogada en esta última década como RCB, destacando el sobre todo el trabajo de (Tisserand, et al., 2013). A continuación se muestra la tabla con la información básica.

Tabla 6. Información básica de Gaia DR3 4115807996620053504.

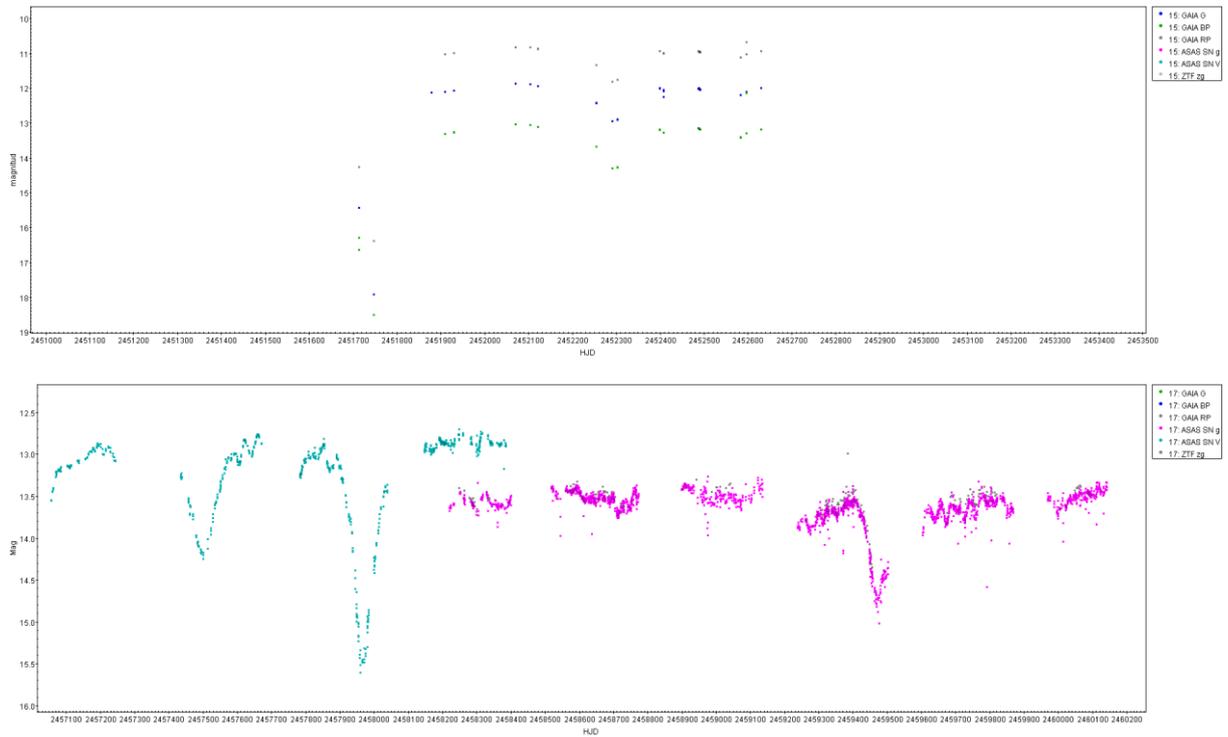
Id.	RA	DEC	Type	Variability	Surveys
	J2000	J2000	Vizier	Type (VSX)	
Gaia DR3 4115807996620053504	17 14 14.4557880024	-21 26 13.781301576	R CrB	R CrB	Gaia DR3
IRAS 17112-2122					ASAS-SN
CGCS 3790					APASS
WISE J171414.45-212613.7					ZTF
V2902 Oph					
2MASS J17141445-2126136					
TIC 77814643					

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Se muestra la captura con la fotometría de todos los *surveys* que constan en la anterior Tabla 6.

Ilustración 26. Curva de luz de Gaia DR3 4115807996620053504.

Identificación de estrellas AGB mediante la creación y análisis de curvas de luz basadas en la fotometría de Gaia



Fuente: Elaboración propia en TOPCAT, 2023.

4.6. Gaia DR3 3107351286096717312

Catalogada primeramente como estrella de carbono en el trabajo de (MacConnell, 1988) y seguidamente en el *General Catalog of Galactic Carbon Stars, GCGCS* (Alksnis, et al., 2001), actualmente no existen discrepancias en su catalogación, existiendo una unanimidad ser una estrella de tipo semirregular. Se muestra la siguiente tabla con la información básica.

Tabla 7. Información básica de Gaia DR3 3107351286096717312

Id.	RA	DEC	Type	Variability	Surveys
	J2000	J2000	Vizier	Type (VSX)	
Gaia DR3 3107351286096717312	06 45 00.2521037193	-00 57 05.622692717	Carbon Star	SR	Gaia DR3
IRAS 06424-0054					ASAS-SN
CGCS 1382					ZTF

WISE J064500.25-005705.5

V420 Vul

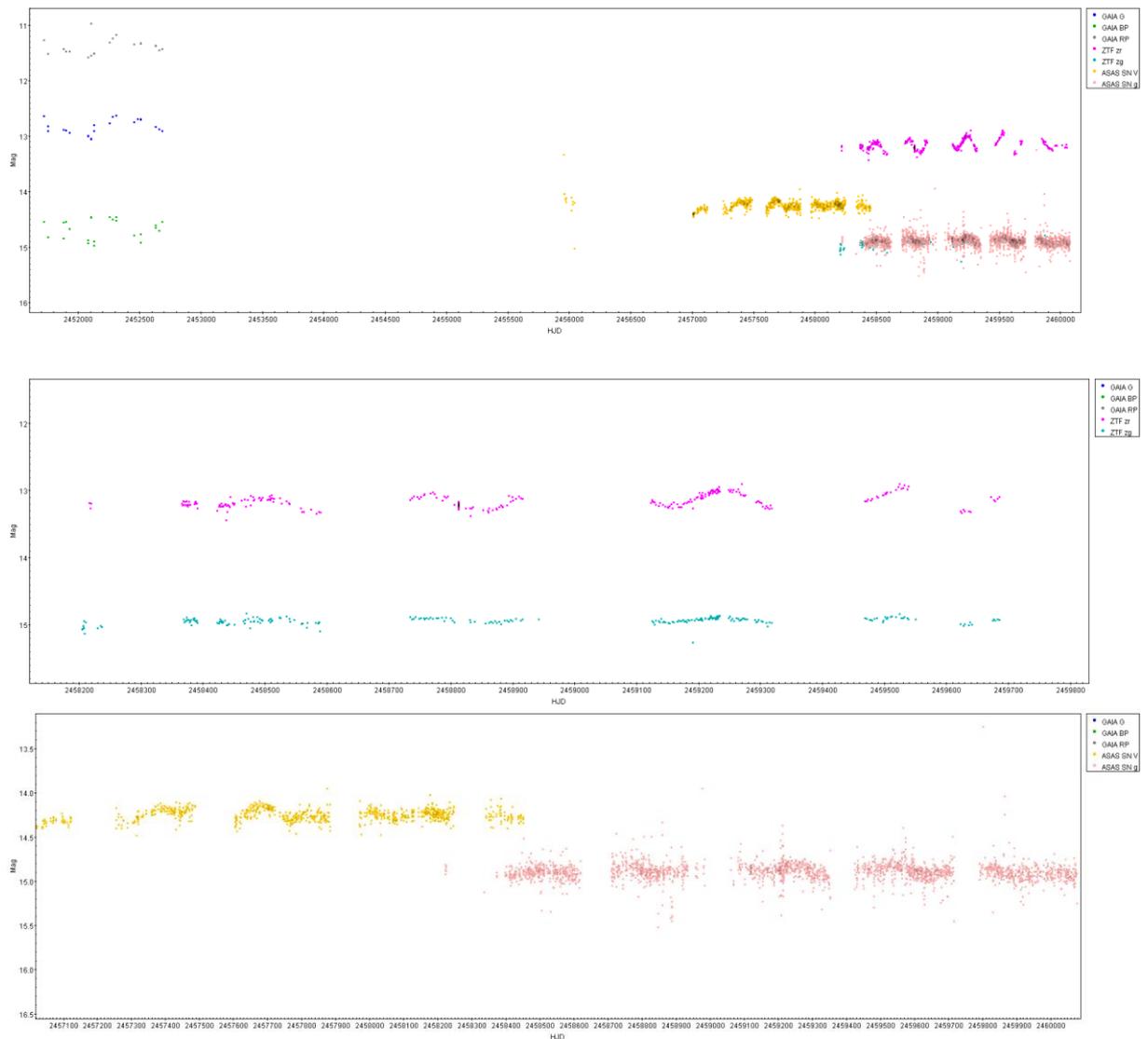
2MASS J06450024-0057056

TIC 280642448

Fuente: *Elaboración propia, 2023.*

Se muestra la captura con la fotometría de todos los *surveys* que constan en la Tabla 7 anterior.

Ilustración 27. Curva de luz de Gaia DR3 3107351286096717312.



Fuente: *Elaboración propia en TOPCAT, 2023.*

4.7. Gaia DR3 2166870447496962048

La primera constancia de esta estrella se tiene gracias al catálogo de baja resolución espectral del satélite IRAS que consta en el trabajo de (A Olon, et al., 1986). Posteriormente se clasifica también gracias al satélite IRAS como estrella de tipo OH/IR, ya que se detecta emisión por parte del astro en la banda de 1612 MHz correspondiente a la transición del OH.

Si bien es cierto, actualmente no existe unanimidad en el tipo de estrella que es específicamente, sabiéndose únicamente que es del tipo LPV.

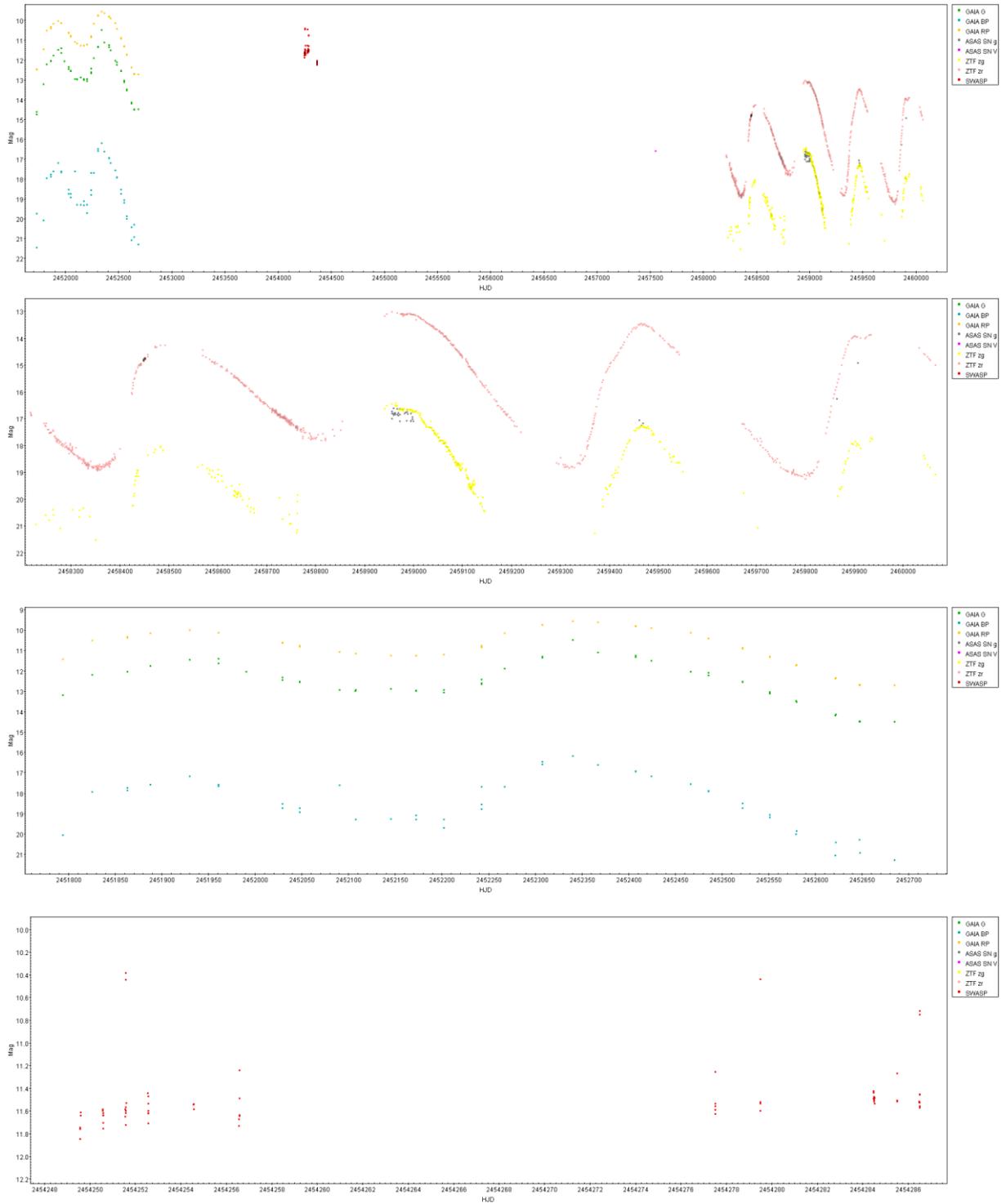
Tabla 8. Información básica de Gaia DR3 2166870447496962048.

Id.	RA	DEC	Type	Variability	Surveys
	J2000	J2000	Vizier	Type (VSX)	
Gaia DR3 2166870447496962048	06 45 00.2521037193	-00 57 05.622692717	LPV	M (Mira)	Gaia DR3
IRAS 20499+4657					ASAS-SN
TIC 276136835					SWASP
WISE J064500.25-005705.5					ZTF
2MASS J20513664+4709094					

Fuente: Elaboración propia, 2023.

A continuación, se muestra la curva de luz del astro con los datos procedentes de todos los *surveys* mostrados en la Tabla 8.

Ilustración 28. Curva de luz de Gaia DR3 2166870447496962048.



Fuente: Elaboración propia en TOPCAT, 2023.

4.8. Gaia DR3 5973472680316966656

La única referencia que se ha encontrado de esta estrella es un artículo (C. Stroh, et al., 2019) en el que se infiere la presencia de un máser SiO en esta estrella rica en oxígeno. Esta estrella y el resto de AGBs que se encuentran en su entorno son de gran interés, ya que no se encuentra fotometría de época más allá de la obtenida por Gaia. Si bien es cierto que sí se dispone de fotometría de esta estrella en el *survey* de ASAS-SN, no está catalogada en su base de datos. Estas estrellas con fuerte emisión máser son completamente opacas en el óptico y muy enrojecidas en el infrarrojo, de modo que se podría inferir que si todas tienen el mismo origen común y en nuestra estrella de estudio se detecta emisión máser SiO, es bastante probable que en el resto también debería de detectarse.

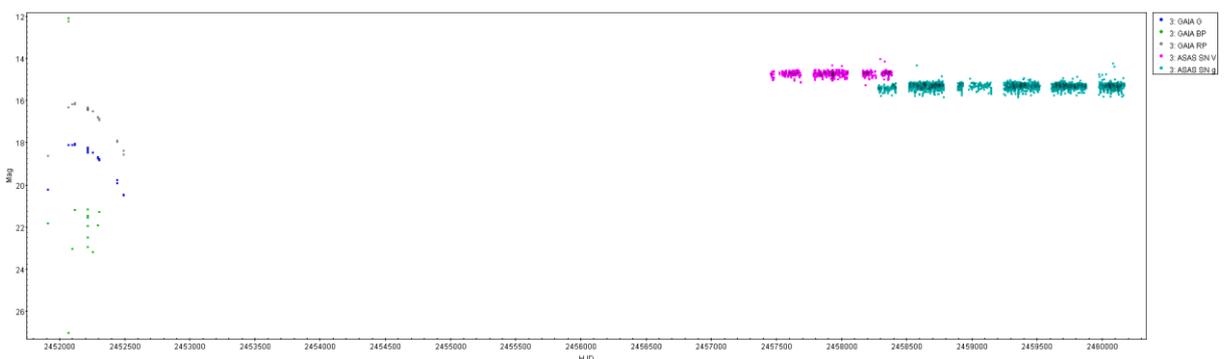
Tabla 9. Información básica Gaia DR3 5973472680316966656.

Id.	RA	DEC	Type	Variability	Surveys
	J2000	J2000	Vizier	Type	
Gaia DR3 5973472680316966656	17 15 36.9464897040	-38 22 03.729123840	O-Rich	LPV?	Gaia DR3
IRAS 17121-3818					ASAS-SN
WISE J171536.94-382203.5					
2MASS J17153695-3822036					
TIC 189455150					

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Se muestra la curva de luz de la estrella con la fotometría proporcionada por los *surveys* de la Tabla 9 anterior:

Ilustración 29. Curva de luz de Gaia DR3 5973472680316966656.



Fuente: *Elaboración propia en TOPCAT, 2023.*

4.9. Gaia DR3 5351528018192642176

En la década de los 80s, numerosos artículos entre los que destaca el de (Le Bertre, Epchtein, Gispert, Nguyen-Q-Rieu, & Truong-Bach, 1984) detectaban la banda de los 1612 MHz asociada a emisión máser OH en esta estrella. Estudios posteriores siguen esta línea y la confirman como estrella rica en oxígeno, detectándose también emisión máser SiO y confirmando que posee una envoltura circumestelar muy gruesa y caliente (Nyman, Hall, & Le Bertre, 1993).

Se muestra la siguiente tabla con la información básica del astro.

Tabla 10. Información básica de Gaia DR3 5351528018192642176.

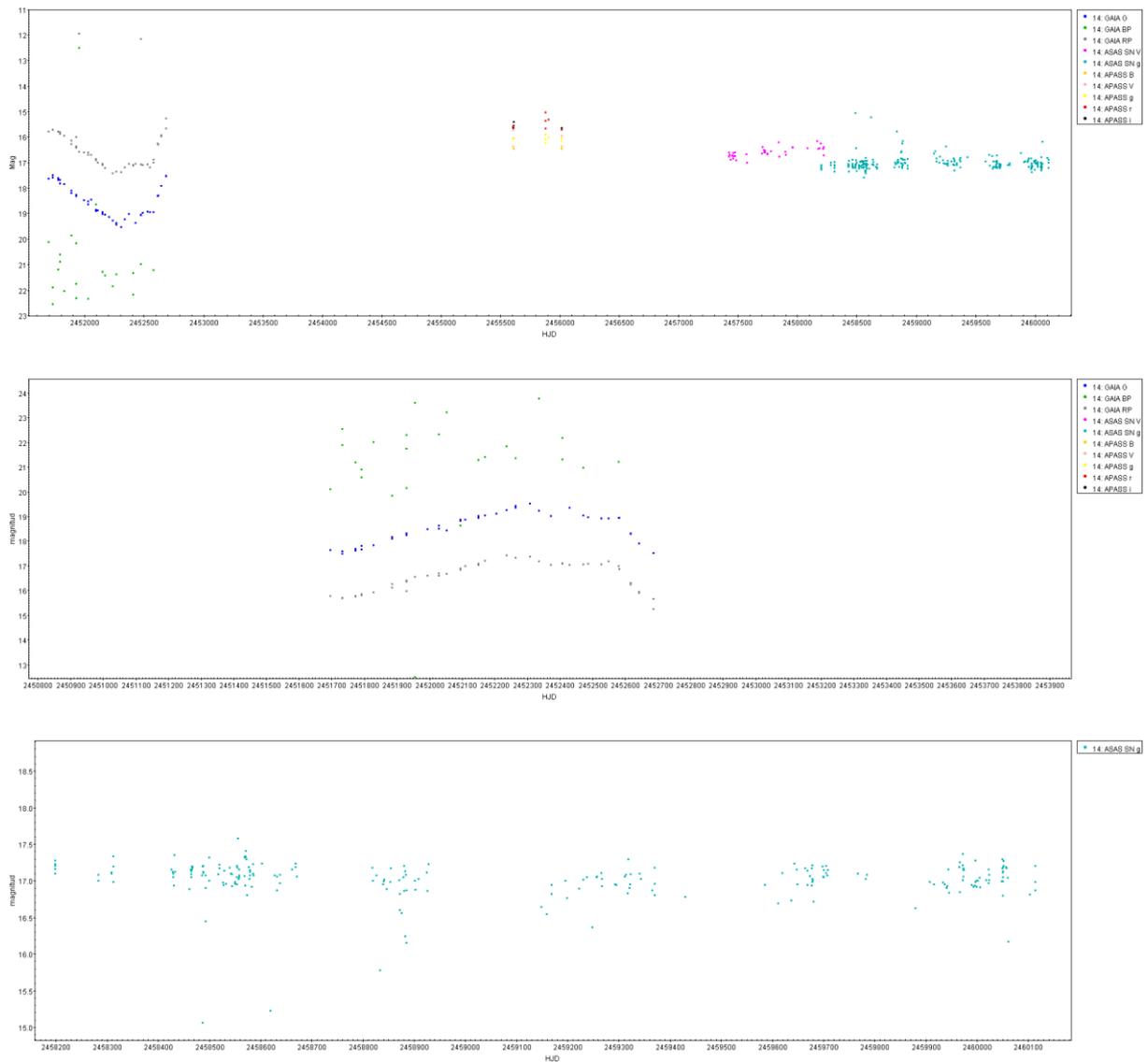
Id.	RA	DEC	Type	Variability	Surveys
	<i>J2000</i>	<i>J2000</i>	Vizier	Type	
Gaia DR3 5351528018192642176	10 30 36.4973833992	-57 48 52.840540260	OH/IR	SRC ⁸	Gaia DR3
V* V434 Car					APASS
IRAS 10287-5733					ASAS
WISE J103036.49-574852.8					ASAS-SN
OH 285.05+00.07					
2MASS J10303650-5748528					
TIC 457507722					

Fuente: *Elaboración propia, 2023.*

Se muestra la curva de luz obtenida con los datos de los *surveys* de la Tabla 10 anterior.

⁸ SRC: Según AAVSO, son supergigantes de tipo tardío semirregulares (M, C, S o Me, Ce, Se) con amplitudes de aproximadamente 1 mag. y períodos de variación de luz desde los 30 días hasta varios miles de días. Fuente: <https://www.aavso.org/vsx/index.php?view=about.vartypes>

Ilustración 30. Curva de luz de Gaia DR3 5351528018192642176.



Fuente: Elaboración propia en TOPCAT, 2023.

4.10. Gaia DR3 4269031848260908672 → Gaia DR3 4155746038501179520

Al igual que pasaba con la estrella Gaia DR3 5973472680316966656, es una estrella con emisión máser OH, y no se dispone de fotometría de época en algún *survey* para esta estrella más allá de los datos de Gaia. Pero es que además, los datos de Gaia en este caso, no aportan mucha información relevante para esclarecer su identificación. Debido a esto, se ha buscado otro objeto estelar también rico en oxígeno y con emisión máser OH, escogiéndose el denominado como Gaia DR3 4155745828024250880. No obstante, tras una búsqueda bibliográfica y en base a lo expuesto en Simbad, este objeto está catalogado como Nebulosa

Identificación de estrellas AGB mediante la creación y análisis de curvas de luz basadas en la fotometría de Gaia Planetaria. Así que por ello, se vuelve a buscar otro objeto de igual características que el primero y cercano a este. Finalmente se selecciona el Gaia DR3 4155746038501179520, y que además no dispone de ningún tipo de referencia previa.

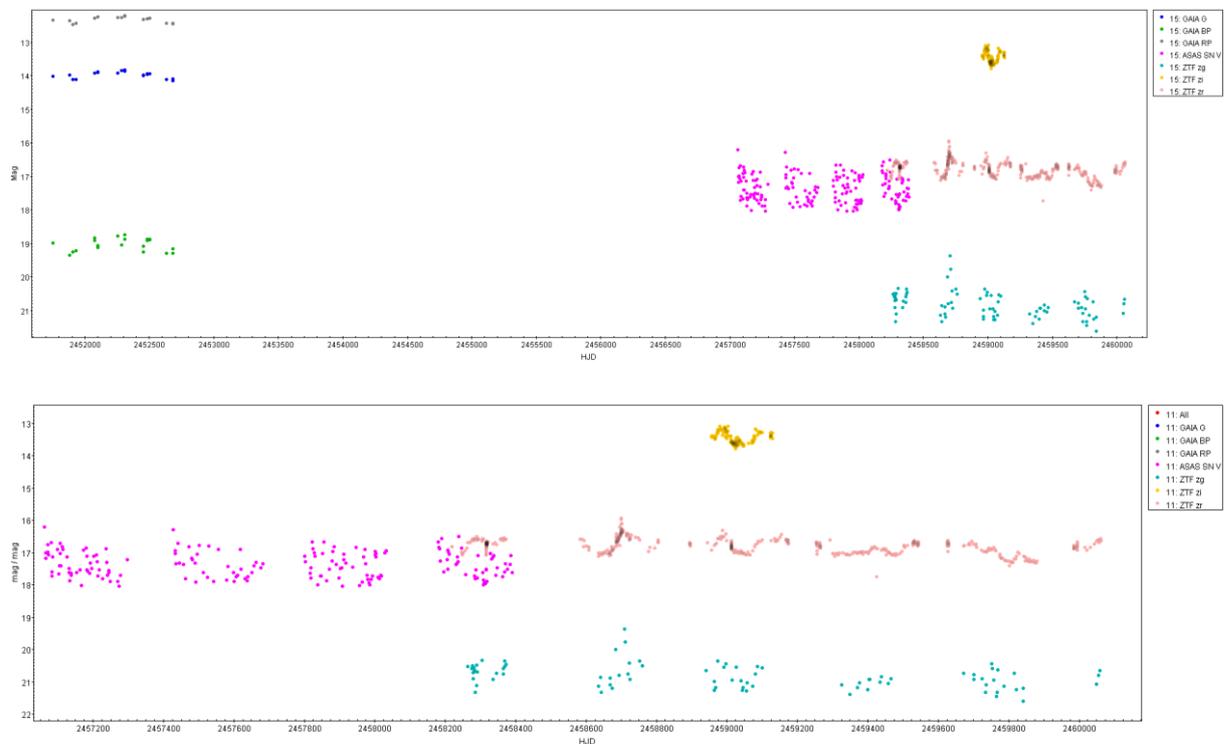
Tabla 11. Información básica de Gaia DR3 4155746038501179520.

Id.	RA	DEC	Type	Variability	Surveys
	J2000	J2000	Vizier	Type	
Gaia DR3 4155746038501179520	18 29 44.1321357726	-10 13 44.838095723	LPV	LPV?	Gaia DR3
ASASSN-V J182944.09-101344.7					APASS
GDS_J1829449-101344					ASAS
2MASS J18294414-1013448					ASAS-SN

Fuente: Elaboración, 2023.

Se muestra la curva de luz con toda la fotometría de época de los surveys de la Tabla 11.

Ilustración 31. Curva de luz de Gaia DR3 4155746038501179520.



Fuente: Elaboración propia en TOPCAT, 2023.

4.11. Gaia DR3 5884718589901047040 → Gaia DR3 2930187943890336128

El objeto Gaia DR3 5884718589901047040, es una estrella rica en oxígeno con un amplio consenso en varios artículos de la presencia de emisión máser SiO. De esta estrella se tienen datos en ASAS-SN, en ASAS y en Gaia. No obstante, al igual que sucedía con el caso anterior, se ha de buscar un nuevo candidato; ya que, si bien en este caso si existe fotometría, esta, excede los límites de magnitud para cada *survey*. Esto significa que la incertidumbre en los datos de ASAS-SN y ASAS es tan alta que no es fiable usar dichos datos.

Y como no se puede estudiar este astro más allá de la fotometría de época de Gaia, se escoge otra estrella para el estudio que si tenga datos fotométricos y que presenten un comportamiento similar a la original en la curva de luz de Gaia. El objeto escogido es Gaia DR3 2930187943890336128, y se incluye la siguiente tabla con su información básica.

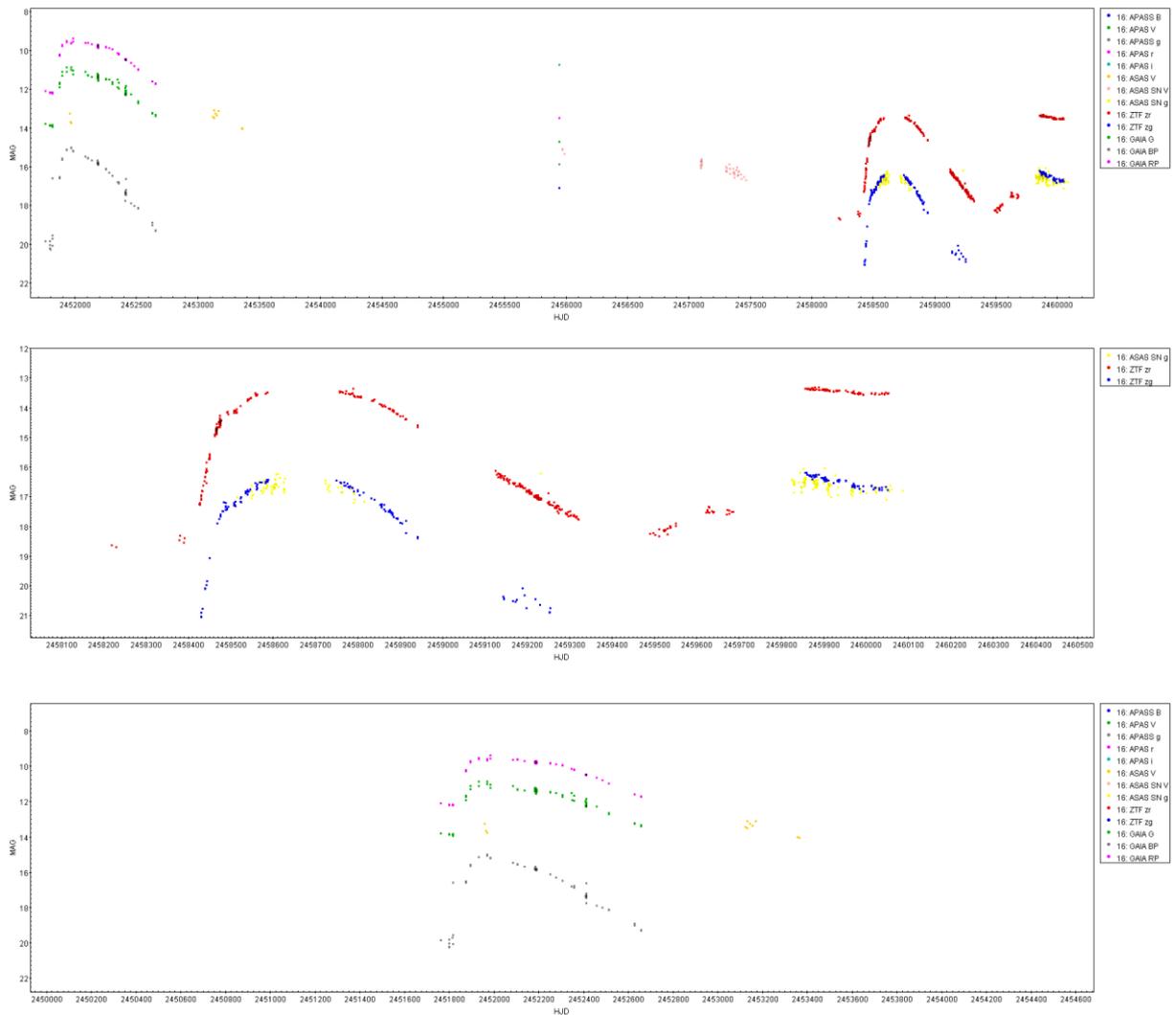
Tabla 12. Información básica de Gaia DR3 2930187943890336128.

Id.	RA	DEC	Type	Variability	Surveys
	J2000	J2000	Vizier	Type	
Gaia DR3 2930187943890336128	07 24 24.4245337224	-20 11 56.095515528	Mira (M)	Mira (M)	Gaia DR3
IRAS 07222-2005					ASAS
TIC 412677641					ASAS-SN
2MASS J07242442-2011560					
OGLE-GD-LPV-000204					

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Se muestra la curva de luz con todos los *surveys* presentes en la Tabla 12 anterior.

Ilustración 32. Curva de luz de Gaia DR3 2930187943890336128.



Fuente: Elaboración propia en TOPCAT, 2023.

4.12. Gaia DR3 5887808767344254720

Amplio consenso en la clasificación de este astro como estrella de carbono ya desde los primeros años de la década de los 70s hasta la actualidad (Stephenson, 1973).

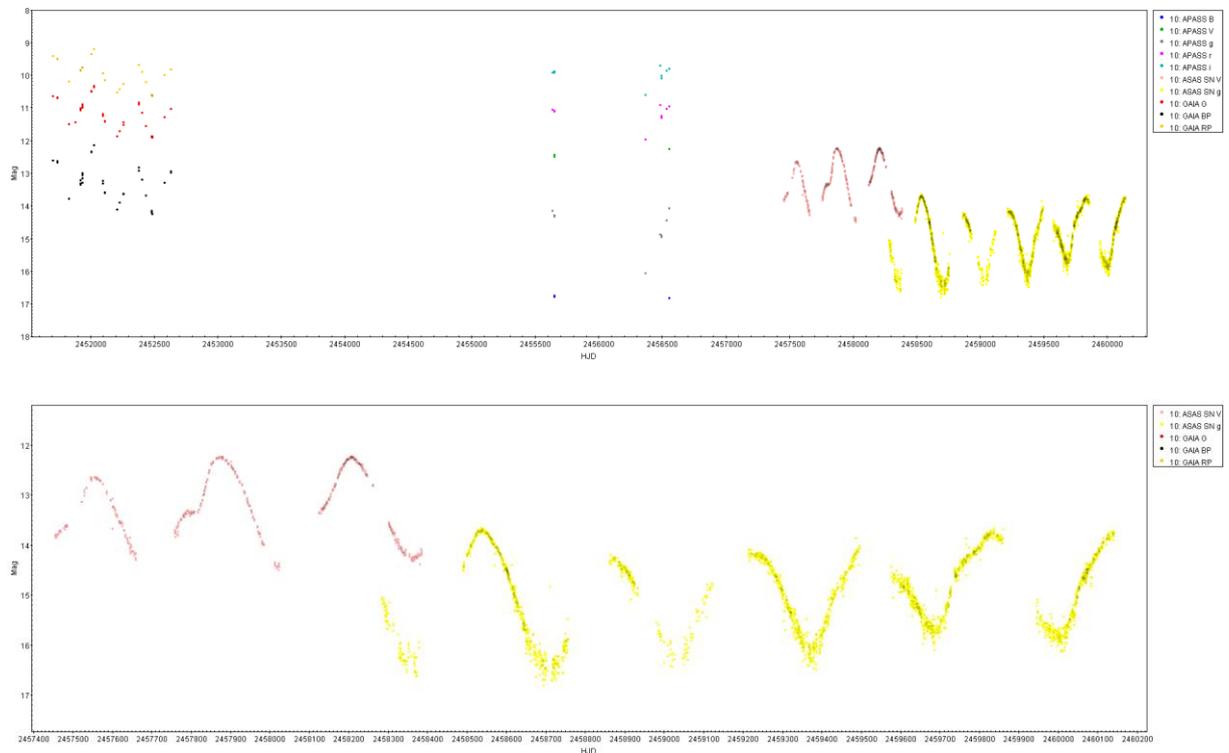
Tabla 13. Información básica de Gaia DR3 5887808767344254720.

Id.	RA	DEC	Type	Variability	Surveys
	J2000	J2000	Vizier	Type	
Gaia DR3 5887808767344254720	15 08 59.0364236856	-53 33 30.087493596	Carbon Star	SRC	Gaia DR3
CGCS 3565					APASS
IRAS 15053-5322					ASAS-SN
[W71b] 102-03					
2MASS J15085903-5333300					
TIC 121169110					

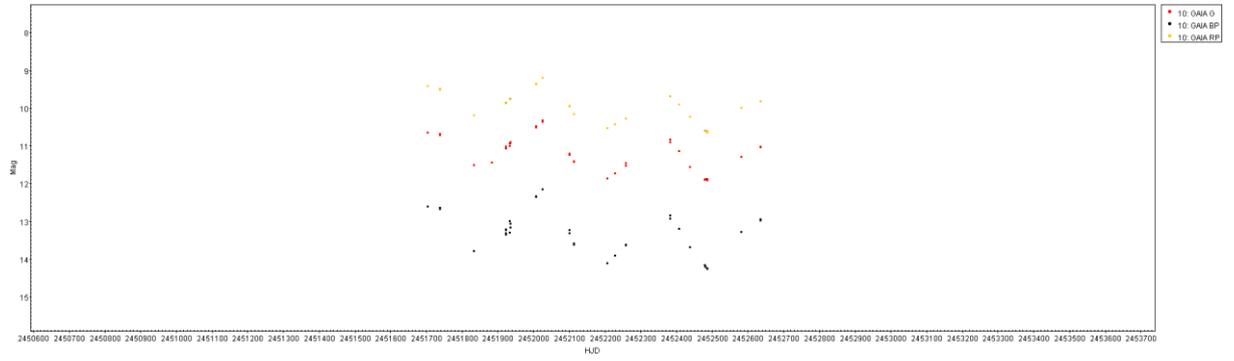
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Se muestra la curva de luz de los surveys mostrados en la Tabla 13:

Ilustración 33. Curva de luz de Gaia DR3 5887808767344254720.



Identificación de estrellas AGB mediante la creación y análisis de curvas de luz basadas en la fotometría de Gaia



Fuente: Elaboración propia en TOPCAT, 2023.

5. Discusión

5.1. Gaia DR3 5983730058640362752

La curva de luz de la estrella presenta mucho ruido tanto en la banda V como g de ASAS-SN. Esto impide discernir de manera inequívoca el periodo a través de la curva de luz, aunque por un par de ciclos relativamente claros se podría llegar a concluir que ha de tener un periodo comprendido entre los 20-30d. Por otra parte, sí se puede determinar que la amplitud de las variaciones en la magnitud no supera las decenas en cualquier de las bandas de ASAS-SN.

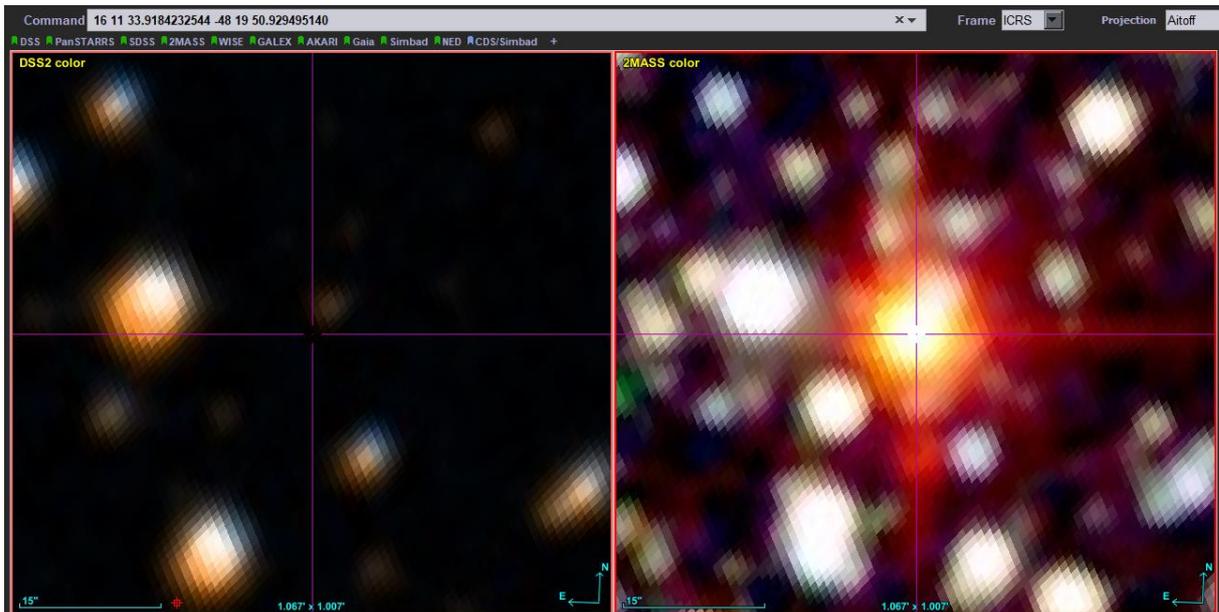
Todos estos factores ya determinan que la estrella no es de tipo Mira cómo se tenía constancia (Ver Tabla 2); ahora bien, su comportamiento sí se puede ajustar a otros tipos de variables.

Concretamente se va a considerar que su curva de luz ajusta a varios factores:

Primero, la curva se ajusta bien a que esta estrella sea de tipo rotacional; ya que su curva de luz presenta gran cantidad de ruido y las variaciones de magnitud son pequeñas. Por otra parte, se conoce que la estrella presenta una capa circumestelar, qué si es lo suficientemente gruesa también ha de afectar notablemente a la curva en las bandas ópticas, pero si se considera el hecho de que también presenta emisión máser, este apantallamiento tiene que ser diferente dependiendo de la dirección, lo que también explicaría el ruido presente en la curva de luz. Ver Ilustración 22.

Como se puede ver en la siguiente Ilustración 34 de Aladin, la envoltura circumestelar hace completamente invisible a la estrella en el óptico, pero extraordinariamente enrojecida en el infrarrojo cercano.

Ilustración 34. Captura de Gaia DR3 5983730058640362752. Izquierda en la banda óptica y a la derecha en el infrarrojo cercano.



Fuente: Elaboración propia, ALADIN VO 2023.

Del mismo modo, en la imagen de arriba también se observa que en las inmediaciones de la estrella existe una compañera. Este hecho es notablemente relevante, ya que la curva de luz podría también estar determinada por un sistema de binarias eclipsantes. Esto se ve más claro si nos fijamos en la curva de la banda g de ASAS-SN, dónde efectivamente sí se ven picos agudos de descenso de la magnitud. Ver Ilustración 22.

Por tanto, se puede concluir que puede ser un sistema de binarias eclipsantes.

5.2. Gaia DR3 1844678802845241600

La curva de luz está bastante bien definida, lo que permite que se halle el periodo que rondaría entre los 300-350d. Ver Ilustración 23.

Por otro lado, la amplitud de la variación del brillo supera las 2.5 unidades en la banda V de ASAS-SN y por tanto para la banda g de ZTF y ASAS-SN también). No obstante, no lo hace para la banda V de SuperWASP, con amplitudes entorno a las 2 unidades.

Se sabe que un claro indicador de que una estrella es de tipo Mira es justamente variaciones por encima de ese orden de magnitud en ciclos con periodos de 80 a incluso >1000d.

Todos los datos de fotometría de época que constan en la curva de luz de la Ilustración 23 se incluyen en estos rangos de valores, y además esta curva presenta una clara regularidad en sus ciclos. Por tanto, esta estrella ha de ser una variable de tipo Mira.

5.3. Gaia DR3 4519657032625273344

En base a la curva de luz construida, los *surveys* de APASS, SWASP y la banda g de ASAS-SN no aportan ningún tipo de información relevante para esclarecer cual es la variabilidad de la estrella. Ver Ilustración 24

No obstante, observando la banda V de ASAS-SN y la fotometría en el filtro r de ZTF se puede concluir que el astro presenta un periodo de unos 500-600d. Además, las amplitudes en las variaciones de la magnitud también concuerdan con una estrella regular de tipo Mira.

5.4. Gaia DR3 5982321339413825536

Los datos fotométricos de APASS, si viene es cierto que se posee datos en multitud de filtros (B,V,g,r,i,Z), al no aportar datos fotométricos extendidos en el tiempo para esta estrella, no son relevantes para conocer el tipo de variable y no serán utilizados.

Se recuerda que esta estrella estaba catalogada como R CrB (Ver Tabla 5), que conforme a VSX se definen como estrellas deficientes en hidrógeno, y muy ricas en carbono y en helio, que presentan unos desvanecimientos lentos no periódicos de 1-9 mag. (V) que duran entre un mes hasta cientos de días. Estos desvanecimientos comienzan de manera rápida seguidos de una recuperación más lenta, y están superpuestos a pulsaciones cíclicas de tipo SR, con amplitudes de hasta varias décimas de magnitud y períodos en el rango de 30-100 días. Estas estrellas pueden ser el resultado de una fusión de enanas blancas de helio y carbono.

Es especialmente reseñable el hecho de que le desvanecimiento no se produzca de forma periódica, pues sino estaríamos seguramente ante una binaria eclipsante.

Observando la curva de luz para ASAS y ASAS-SN en V, g se observa todos los comportamientos mencionados arriba. Ver Ilustración 25.

En ASAS, con un desvanecimiento rápido de 2.5 mag y una recuperación más tardía. Para las bandas de ASAS-SN, un patrón de variable semirregular, con variaciones de decenas de magnitud con ciclos de periodo de 40 días y otros de 80d.

5.5. Gaia DR3 4115807996620053504

Eliminando los datos fotométricos que no aportan información, al igual que sucedía con la estrella anterior, el astro es catalogado como R CrB. Ver Tabla 6.

Si se observa la curva de luz de la estrella (ver Ilustración 26), la fotometría no deja duda de que se trata de este tipo; ya que no existe una periodicidad en los desvanecimientos, que caen en torno a 2.5 mag en la banda V de ASAS-SN. Fuera de los desvanecimientos, la estrella sigue un comportamiento semirregular, con picos de sierra marcados sin un patrón fijo y con periodos entrono los 30-50d para amplitudes del orden de las decenas (aprox. 0.30 mag).

5.6. Gaia DR3 3107351286096717312

Partiendo de la curva de luz de la Ilustración 27, destaca el hecho de gran presencia de ruido en las bandas g y V de ASAS-SN. En este caso, el *survey* ZTF tanto para su banda r como g permiten conocer el periodo, de aproximadamente 270d. Por otra parte, las caídas de magnitud son muy moderadas, estando por debajo de la unidad en todas las bandas de la curva.

En este punto, indicar que, a pesar que los valores del astro encajan dentro de los de una estrella SR, el objeto no debe de ser de ese tipo, puesto que el comportamiento a lo largo del tiempo no es errático; sino todo lo contrario, es bastante regular y por ello ha de ser otro tipo de objeto.

Acorde a la catalogación realizada por ASAS-SN, este objeto es del tipo YSO⁹ con una probabilidad del 0.783. Estas siglas se refieren a *Young Stellar Object*, y como su propio

⁹ Referencia al tipo YSO: [ASAS-SN Variable Stars Database ASASSN-V J064500.28-005705.5 \(osu.edu\)](https://asas-sn.osu.edu/ASASSN-V/J064500.28-005705.5)

Identificación de estrellas AGB mediante la creación y análisis de curvas de luz basadas en la fotometría de Gaia

nombre indica pueden hacer referencia a protoestrellas o a estrellas en pre-secuencia principal. No obstante, los datos aportados en la base de datos de ASAS-SN no encajan para ser catalogada como YSO, tal y como se indica en el estudio de clasificación de YSOs del DR3 de Gaia de (Marton, et al., 2023).

Entonces, si no se tiene un objeto variable del tipo SR o YSO, se opta por definir este objeto como Mira de tipo carbono.

5.7. Gaia DR3 2166870447496962048

La curva de luz con la fotometría de Gaia y de ZTF en r como en g permiten realizar un buen análisis de la variabilidad del astro. Partiendo de los datos de ZTF se tiene que el periodo de la estrella es de aproximadamente 480-500d. Además, las amplitudes son grandes, en la banda g de hasta 5,5 mag y en torno a 3 mag de media en el resto de las bandas. Sin duda es una estrella de tipo Mira, y además, como se detecta emisión máser OH ha de ser rica en oxígeno. Ver la curva de luz de la Ilustración 28.

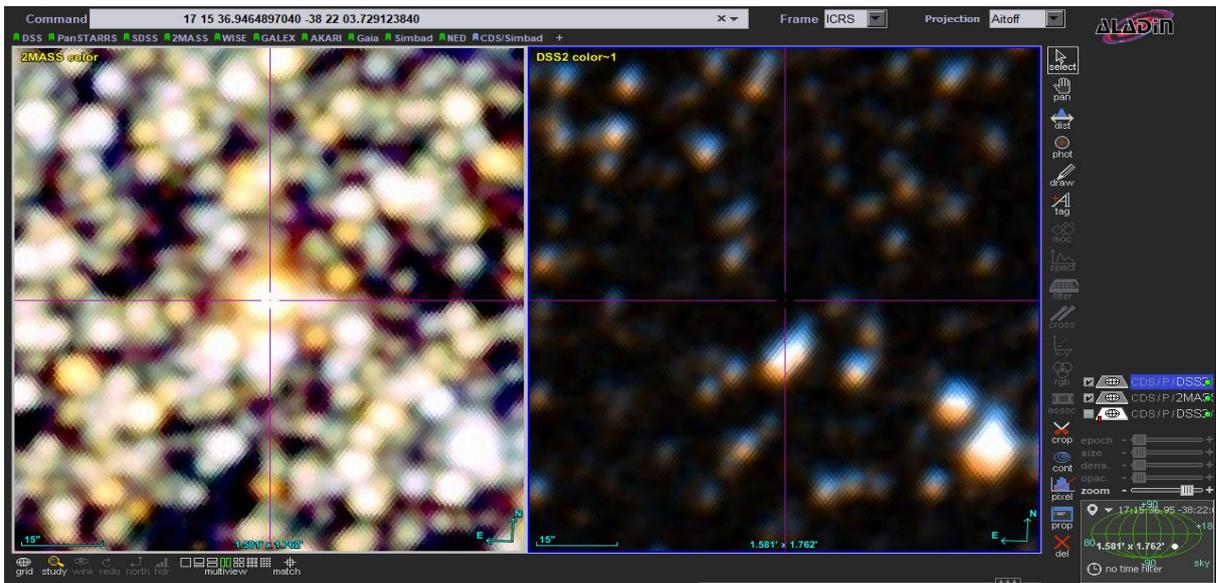
5.8. Gaia DR3 5973472680316966656

Al igual que ocurría con la estrella Gaia DR3 5983730058640362752, la curva de luz presenta mucho ruido lo que la hace difícilmente catalogable (ver Ilustración 29). Además, esta estrella posee una envoltura circumestelar tan gruesa que es totalmente invisible en el óptico, pudiéndose ver muy luminosa en el infrarrojo. Este apantallamiento, que afecta a las bandas visibles como las que se tiene, sumado a la presencia de emisión máser de SiO, podría ser la causa del ruido en la curva de luz. Ver Ilustración 35.

De esta estrella es imposible poder decir algo más, salvo que las amplitudes máximas han de estar acotadas en 1 unidad tanto para la banda V y g de ASAS-SN; algo que ya se podía inferir debido al alto grado de oscurecimiento en el visible.

A continuación, se muestra una imagen en Aladin para que se vea el grado de opacidad en el óptico de esta estrella, y como en el infrarrojo se presenta muy luminosa.

Ilustración 35. Captura de Gaia DR3 5973472680316966656. Izquierda en la banda del infrarrojo cercano y a la derecha en el visible.



Fuente: Elaboración propia, ALADIN VO 2023.

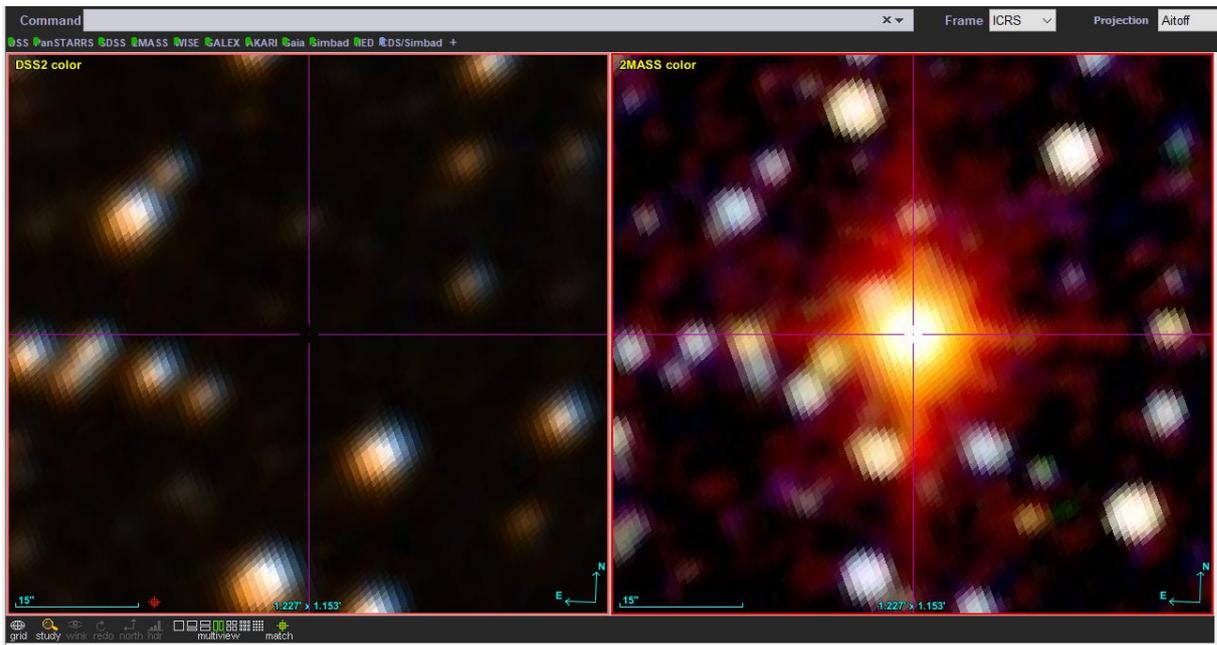
5.9. Gaia DR3 5351528018192642176

Como el caso anterior, Gaia DR3 5973472680316966656, esta estrella también cuenta con la presencia de emisión máser SiO, y como en la curva de luz de esa misma estrella, existe una gran cantidad de ruido que apantalla el comportamiento variable dificultando o haciendo imposible conocer el tipo de estrella que es. Ver la curva de luz de Ilustración 30.

En este caso, las bandas G y G_{RP} son las que más detalle proveen, y es que se deduce lo que podría ser un ciclo de amplitud aproximada de 2 unidades de magnitud.

Al visualizar el astro en Aladin (ver Ilustración 36), no solo se observa, como en el resto de las estrellas con emisión máser, una estrella invisible en el óptico y luminosa en el infrarrojo, sino que además en este caso parece haber la presencia de una estrella compañera. Esta estrella sería también opaca en el visible; por lo tanto, este sistema binario podría ser una de las causa del ruido de la curva de luz en las bandas V,g de ASAS-SN.

Ilustración 36. Captura de Gaia DR3 5351528018192642176. Izquierda en la banda óptica y a la derecha en el infrarrojo cercano.



Fuente: Elaboración propia, ALADIN VO 2023.

No obstante, y basándose en la última publicación del catálogo GCVS (Samus', Kazarovets, Durlevich, Kireeva, & Pastukhova, 2017), el astro ha de ser una variable semirregular de subtipo c ó SRc con un periodo de entorno a los 1500d.

Este subtipo de SR hace referencia a supergigantes rojas de tipo tardío con amplitudes en torno a 1 mag. y con periodos del orden de los de SR.

Por tanto, como no se conoce inequívocamente si presenta o no una estrella compañera, se entiende que la estrella se acoge a lo indicado en el catálogo GCVS de ser SRc.

5.10. Gaia DR3 4155746038501179520

Los datos de ZTF tanto en la banda r como i aportan mucha más información que los datos de Gaia y los datos llenos de ruido de ASAS-SN. Para los datos de ZTF, los descensos de magnitud rondan la unidad en una serie de ciclos irregulares en torno a los 120-150d. No obstante, si es cierto que en la banda V de ASAS-SN se puede deducir ciclos más o menos regulares de 1 magnitud en torno a los 30d.

Además, es curioso el hecho de que no haya datos fotométricos ni de ASAS-SN ni de ZTF para las mismas épocas. Ver Ilustración 31. Esto lleva a pensar que la estrella puede presentar manchas en su superficie, catalogándose así como variable rotacional, pero además su comportamiento real podría ser de tipo semirregular.

5.11. Gaia DR3 2930187943890336128

Esta estrella tiene un claro comportamiento regular, con un periodo difícil de determinar ya que es muy extenso en el tiempo y faltan datos, pero de aproximadamente de 1200d. Además, ya para la banda r de ZTF, más roja que la banda V de ASAS-SN, hay caídas de magnitud del orden de 5 unidades. Ver Ilustración 32.

Por tanto, ha de ser una estrella tipo Mira.

5.12. Gaia DR3 5887808767344254720

Como se puede observar en la curva de luz en la Ilustración 33, los datos de APASS no son utilizables y no aportan ningún tipo de información relevante, sobre todo si se compara con las curvas de ASAS-SN, que en este caso son muy determinantes. Las curvas son muy regulares, con un periodo de ciclo a ciclo aproximado de entre 330 y 350 días, y con caídas en su brillo de hasta 3 magnitudes en la banda g y de 2.5 en V. A pesar de que esta estrella había sido catalogada como SR, la fotometría es clara y muestra que se trata de una variable tipo Mira.

5.13. Resumen post análisis

A continuación, se procede a unificar y resumir el tipo de estrella variable tras analizar sus curvas de luz en la siguiente tabla.

Tabla 14. *Tabla resumen de la variabilidad post análisis de las estrellas de estudio.*

GAIA SOURCE_ID	TIPO ANTES ANÁLISIS	TIPO DESPUÉS ANÁLISIS
GAIA DR3 5983730058640362752	Mira	Binaria eclipsante
GAIA DR3 1844678802845241600	Mira	Mira
GAIA DR3 4519657032625273344	Mira	Mira
GAIA DR3 5982321339413825536	R CrB	R CrB
GAIA DR3 4115807996620053504	R CrB	R CrB
GAIA DR3 3107351286096717312	SR	Mira
GAIA DR3 2166870447496962048	LPV (Posible Mira)	Mira
GAIA DR3 5973472680316966656	LPV (Unknown)	LPV (Unknown)
GAIA DR3 5351528018192642176	SRc	SRc
GAIA DR3 4155746038501179520	LPV (Unknown)	SR, Variable rotacional
GAIA DR3 2930187943890336128	Mira	Mira
GAIA DR3 5887808767344254720	SRc	Mira

Fuente: Elaboración propia, 2023.

6. Conclusiones

Partiendo de la información proporcionada en la Tabla 14 del apartado anterior, y teniendo en cuenta la investigación llevada a cabo, he de destacar lo siguiente:

De las 12 estrellas estudiadas finalmente, en 6 de ellas, la curva de luz combinada con datos de los *surveys* que constan en el apartado 3, ha permitido confirmar que la catalogación previa de la variabilidad era adecuada. No obstante, en 5 de ellas se concluyó que pertenece a otro tipo de variabilidad, y en 1 no se ha podido llegar a ninguna conclusión que sea inequívoca.

Otro hecho relevante, es que la mayoría de las estrellas cuya variabilidad se ha modificado después del análisis son estrellas con curvas de luz complejas, ricas en oxígeno y que presentan líneas de emisión máser de OH o SiO. En general, para la inmensa mayoría de los objetos pulsantes, el estudio y determinación de su variabilidad es más complicado que un simple análisis a través de sus curvas de luz. Esto sugiere que, para poder tener una confianza plena en la clasificación de los astros en base a su variabilidad, se debería contrastar la información por lo menos con su espectro.

Finalmente he de indicar que, a través del análisis de esta variabilidad, se ha demostrado que no todas las estrellas catalogadas previamente como AGB por Gaia realmente pertenecían a esa categoría. A tenor del análisis, se ha confirmado que tanto GAIA DR3 5982321339413825536 como Gaia DR3 4115807996620053504 son, de hecho, estrellas pulsantes del tipo R CrB y no AGB. Además, el objeto GAIA DR3 5983730058640362752 se ha catalogado como un sistema de binarias eclipsantes, por lo que no es necesario que una, o las dos de sus estrellas sean AGB. Aunque en este caso sí que parece que una de ellas es AGB.

Estos ejemplos pueden conllevar a la posibilidad de que en el catálogo de Gaia de estrellas AGB existan más casos con una identificación errónea. De manera que se podría, en una investigación futura, hacer una búsqueda de estas estrellas identificadas erróneamente en el catálogo de Gaia.

El resto de astros si pertenecen todos a la etapa AGB, aunque cada una de las estrellas presente un comportamiento variable diferente, siendo Miras o semirregulares.

7. Referencias bibliográficas

- A Olon, F. M., Raimond, E., Neugebauer, G., van Duinen, R. J., Habing, H. J., Aumann, H. H., . . . Young, E. (1986, September). IRAS catalogues and atlases. Atlas of low-resolution spectra. *Astronomy & Astrophysics Supplement Series*, *65*, 607-1065. Retrieved from <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1986A&AS...65..607O>
- Alksnis, A., Balklavs, A., Dzervitis, U., Eglitis, I., Paupers, O., & Pundure, I. (2001). VizieR Online Data Catalog: General Catalog of galactic Carbon stars. III/227. Retrieved from <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2001yCat.3227....0A>
- C. Stroh, M., M. Pihlström, Y., O. Sjouwerman, L., O. Lewis, M., J. Claussen, M., R. Morris, M., & Rich, R. M. (2019, September 27). The Bulge Asymmetries and Dynamical Evolution (BAaDE) SiO Maser Survey at 86 GHz with ALMA. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, *25*, 244-265. doi:10.3847/1538-4365/ab3c35
- Chen, P.-s., Lou, E.-r., & Li, J.-q. (july de 1993). Candidates for Carbon stars with silicate features. *Chinese Astronomy and Astrophysics*, *17*, 92-97. doi: 10.1016/0275-1062(93)90108-2
- Chen, X., Wang, S., Deng, L., de Grijs, R., & Yang, M. (2 de August de 2018). Wide-field Infrared Survey Explorer (WISE) Catalog of Periodic Variable Stars. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, *28*, 237-250. doi:10.3847/1538-4365/aad32b
- F. M. Jiménez-Esteban, D. E.-L. (2021). An infrared study of Galactic OH/IR stars. III. Variability. *MNRAS*, 1-20.
- Gaia Collaboration. (may de 2022). VizieR Online Data Catalog: Gaia DR3 Part 4. Variability (Gaia Collaboration, 2022). *VizieR Online Data Catalog*, I/358. Obtenido de <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2022yCat.1358....0G>
- Heinze, A. N., Tonry, J. L., Denneau, L., Flewelling, H., Stalder, B., Rest, A., . . . Weiland, H. (2018, november). A First Catalog of Variable Stars Measured by the Asteroid Terrestrial-impact Last Alert System (ATLAS). *The Astronomical Journal*, *5*, 156-241. doi:10.3847/1538-3881/aae47f

- Herwig, F. (september de 2005). Evolution of Asymptotic Gigant Branch Stars. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 43, 437-479. doi:10.1146/annurev.astro.43.072103.150600
- Jiménez-Esteban, F. M., D. Engels, D. S., González, J. B., & García-Lario, P. (2020). An infrared study of Galactic OH/IR stars. III. Variability. *MNRAS*, 1-20.
- Joyce, R., Capps, R., Gillett, F., Grasdalen, G., Kleinmann, S., & Sargent, D. (1977, May). Accurate photometric positions for 60 sources from the AFCRL Sky Survey. *The Astrophysical Journal*, 213, L125-L127. doi:10.1086/182423
- Jura, M., & Kleinmann, S. (1 de December de 1990). Very Dusty Carbon-rich Asymptotic Giant Branch Stars between approximately 1 and approximately 2.5 Kiloparsecs from the Sun. *The Astrophysical Journal*, 364, 663-671. doi:10.1086/169449
- Le Bertre, T., Epchtein, N., Gispert, N., Nguyen-Q-Rieu, & Truong-Bach. (1984, September 16). Infrared observations of four OH maser sources. Shell physical parameters and OH excitation. *Astronomy And Astrophysics*, 132, 75-79. Retrieved from <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1984A&A...132...75L>
- Little-Marenin, I., Ramsay, M., Stephenson, C., Little, S., & Price, S. (1987, March). New Carbon Stars Identified from Low-Resolution IRAS Spectra. *The Astronomical Journal*, 93, 663. doi:10.1086/114348
- Lloyd Evans, T. (april de 1991). Carbon stars with silicate dust shells - II. More stars with enhanced ¹³C (J stars). *Mon. Not. R. astr. Soc.*, 249, 409-416. doi:10.1093/mnras/249.3.409
- MacConnell, D. (July de 1988). New Galactic Carbon Stars Found on Southern, Near-Infrared Spectrum Plates. *THE ASTRONOMICAL JOURNAL*, 96(1), 354-364. doi:10.1086/114813
- Marton, G., Abrahám, P., Rimoldini, L., Audard, M., Kun, M., Nagy, Z., . . . Eyer, L. (2023). Gaia Data Release 3 Validating the classification of variable Young Stellar Object candidates. *Astronomy & Astrophysics*, 674, A21. doi:<https://doi.org/10.1051/0004-6361/202244101>

- Nyman, L.-A., Hall, P., & Le Bertre, T. (December de 1993). Infrared and SiO maser observations of OH/IR stars. *Astronomy And Astrophysics*, 280, 551-566. Obtenido de <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1993A&A...280..551N>
- Percy, J. (March de 2023). Studies of R CrB Star Pulsation Using ASAS-SN Photometry. *JAAVSO*, 51(1), 64-67. Obtenido de <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2023JAVSO..51...64P>
- Samus', N. N., Kazarovets, E. V., Durlevich, O. V., Kireeva, N. N., & Pastukhova, E. N. (2017, january). General catalogue of variable stars: Version GCVS 5.1. *Astronomy Reports*, 61(1), 80-88. doi:10.1134/S1063772917010085
- Stephenson, C. (january de 1973). A general catalogue of cool carbon stars. *Publications of the Warner & Swasey Observatory*.
- te Lintel Hekkert, P., Caswell, J. L., Habing, H. J., Haynes, R. F., Haynes, R. F., & Norris, R. P. (1991, October 11). 1612 MHz OH survey of IRAS point sources. I. Observations made at Dwingloo, Effelsberg and Parkes. *Astronomy And Astrophysics Supplement Series*, 90, 327-253. Retrieved from <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1991A&AS...90..327T>
- Tisserand, P., Clayton, G. C., Welch, D., Pilecki, B., Wyrzykowski, L., & Kilkenney, D. (2013, November). The ongoing pursuit of R Coronae Borealis stars: the ASAS-3 survey strikes again. *Astronomy & Astrophysics*, 551, 156-241. doi:<https://doi.org/10.1051/0004-6361/201220713>