



Tras las huellas de la evolución de estrellas AGB binarias y pPNe: estudio de variabilidad con TESS

Autor: Arturo Pérez Roncero

Supervisoras: Dra. Carmen Sánchez Contreras, Dra. Alba Aller Egea

Estructura

1. **Introducción:** Estrellas AGB, binariedad, flickering, y la misión TESS
2. **Objetivos**
3. **Datos y Métodos:** TESS con Python, Muestras Estelares
4. **Variabilidad no-periódica:** Técnicas de detección de *flickering*
5. **Variabilidad no-periódica:** Resultados y candidatos de *flickering*
6. **Variabilidad periódica**
7. **Conclusiones**

1. Objetivos

1. Aprovechar las **curvas de luz de TESS** para estudiar la **variabilidad de estrellas evolucionadas** (AGB, x-AGB, post-AGB, simbióticas y WD)

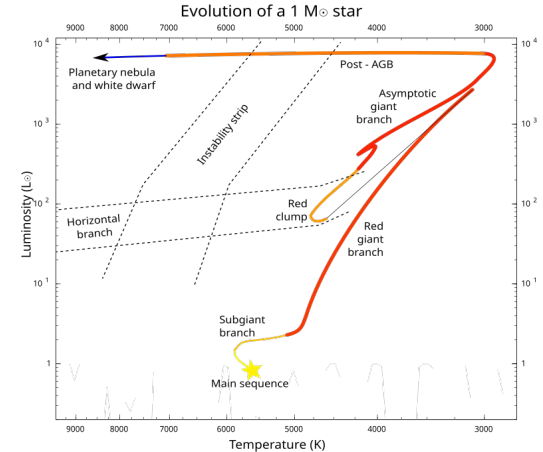
Su corta cadencia (hasta 20 s) permite estudiar el **flickering**

2. Comprobar **efectos del flickering** en curvas de luz (**Merc et al. (2024)**), inferir efectos del disco de acreción
3. Estudio preliminar de variabilidad periódica: binarias

2. Introducción

Estrellas evolucionadas

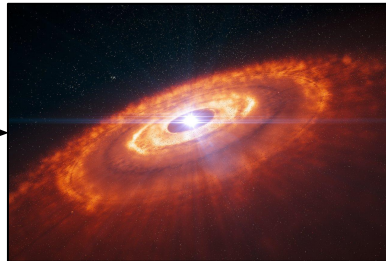
- Estrellas AGB: fase final de estrellas de $1-8 M_{\odot}$
- Características clave: **Pérdida de masa**, pulsaciones, formación de polvo
- Transición a **post-AGB + pPN**
- Morfologías de nebulosas proto-planetarias (pPN) sugieren **interacciones binarias**
- La identificación directa de binarias es difícil
- Acreción entre compañeras → Disco de acreción → **Flickering**
- **Flickering**: variabilidad estocástica de alta frecuencia
- **Un** estudio de flickering con TESS: Merc et al (2024)
- Buscamos validar y mejorar sus resultados



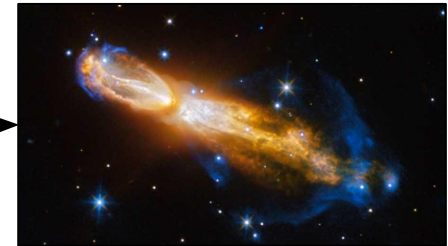
Evolución en un CMD de una estrellas como el Sol.



AGB binaria



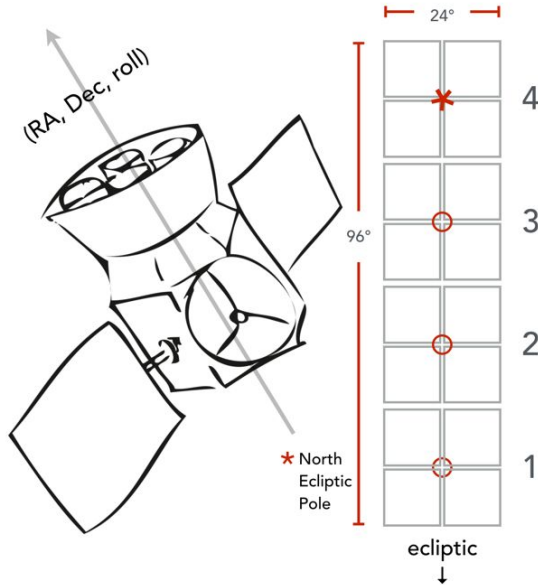
Disco de acreción



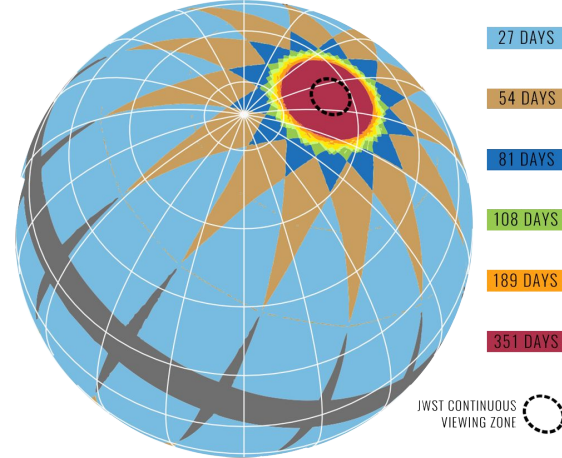
Post-AGB + pPN

TESS: Transiting Exoplanet Survey Satellite

1. Sucesor de Kepler: más cobertura, estrellas más brillantes, cadencia más corta
2. Fotometría de precisión → Curvas de luz { FFI (1800 s) (Merc et al. 2024)
SPOC (120 s) (este trabajo)



TESS 2-YEAR SKY COVERAGE MAP



3. Adquisición y Tratamiento de datos

Adquisición y Tratamiento de datos

1. Adquisición de datos en Python

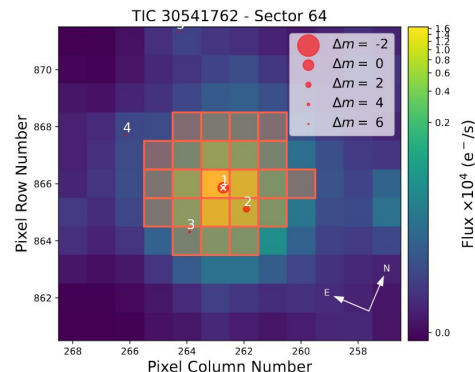
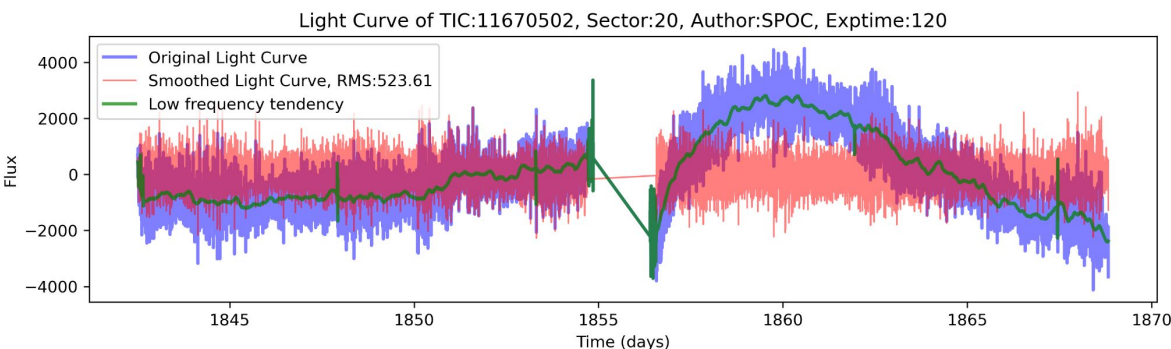
2. Limpieza de datos

3. Normalización

- Descarga de curvas de luz (MAST): SPOC y TESS-SPOC
- Realizado con LightKurve

- PDCSAP + Quality flag
- Filtrado por magnitud $T_{\text{mag}} > 4$
- Filtrado por contaminación de vecinas

- Conversión a PPM

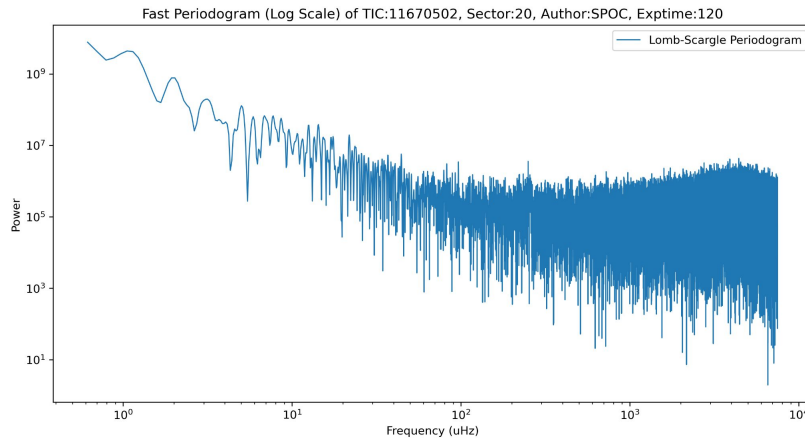


- Filtro Savitzky-Golay para cálculo de RMS

- Rango completo, log-log
 - Bajas frecuencias, lineal + FAPs

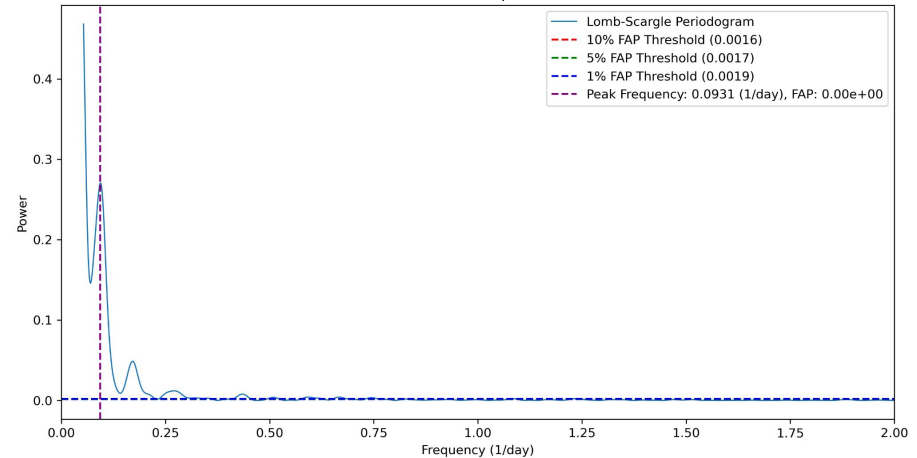
- Binarias
- Contaminadas
- Puntos insuficientes

¿Flickering?



¿Variabilidad periódica?

Periodogram of TIC:11670502, Sector:20
Author:SPOC, Exptime:120



4. Identificando flickering con TESS

4.a Validación Merc et al (2024) simbióticas

4.b Otros métodos

Stellar Category	No. of objects	No. of light curves	Reference
Isolated AGB stars	155	431	Suh (2021)
Merc et. al. stars (no flickering detected)	41	113	Merc, J. et al. (2024)
Merc et. al. stars (flickering detected)	17	35	Merc, J. et al. (2024)
post-AGBs from the TESS VSC	22	105	Fetherolf et al. (2023)
post-AGB binaries (van Winkle objects)	17	31	Oomen et al. (2018)
x-AGB	13	34	Guerrero et al. (2024)
WD+IR	13	93	Farihi et al. (2025)

Accretion-induced flickering variability among symbiotic stars from space photometry with NASA TESS

J. Merc¹, P. G. Beck^{2,3}, S. Mathur^{2,3}, and R. A. García⁴

¹ Astronomical Institute, Faculty of Mathematics and Physics, Charles University, V Holešovičkách 2, 180 00 Prague, Czech Republic

e-mail: jaroslav.merc@mff.cuni.cz

² Instituto de Astrofísica de Canarias, 38200 La Laguna, Tenerife, Spain

³ Departamento de Astrofísica, Universidad de La Laguna, 38206 La Laguna, Tenerife, Spain

⁴ Université Paris-Saclay, Université Paris Cité, CEA, CNRS, AIM, 91191 Gif-sur-Yvette, France

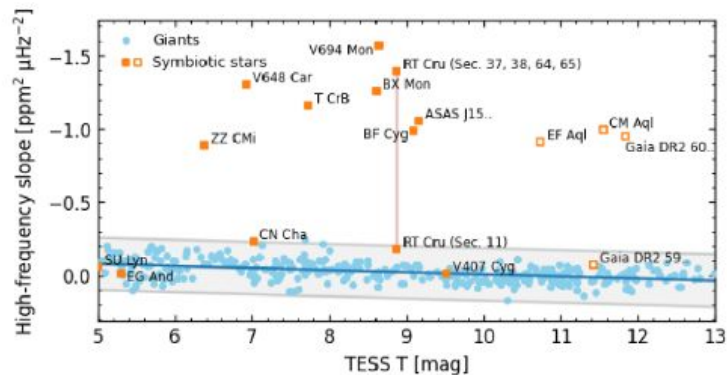
Received 29 September 2023 / Accepted 18 December 2023

- 283 Estrellas simbióticas
- 22 Estrellas simbióticas con flickering identificado en la literatura por otros métodos, confirman 7 de ellas
- 13 Nuevas estrellas simbióticas con flickering identificado con TESS
- Muestra de control de estrellas AGB aisladas (desconocida)

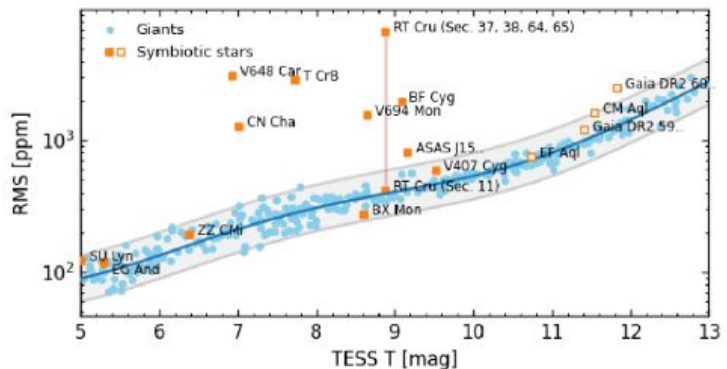
Stellar Category	No. of objects	No. of light curves	Reference
Isolated AGB stars	155	431	Suh (2021)
Merc et. al. stars (no flickering detected)	41	113	Merc, J. et al. (2024)
Merc et. al. stars (flickering detected)	17	35	Merc, J. et al. (2024)
post-AGBs from the TESS VSC	22	105	Fetherolf et al. (2023)
post-AGB binaries (van Winkle objects)	17	31	Oomen et al. (2018)
x-AGB	13	34	Guerrero et al. (2024)
WD+IR	13	93	Farihi et al. (2025)

4a. Validación Merc et al (2024) simbióticas

Análisis del flickering en Merc et al

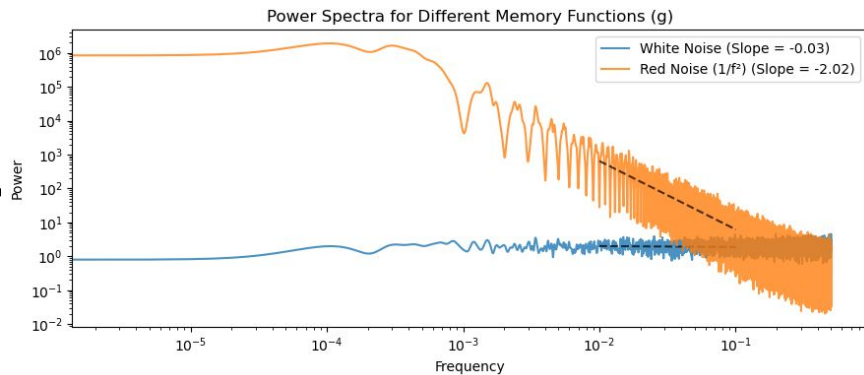


(a) High-frequency slope vs. Magnitude.

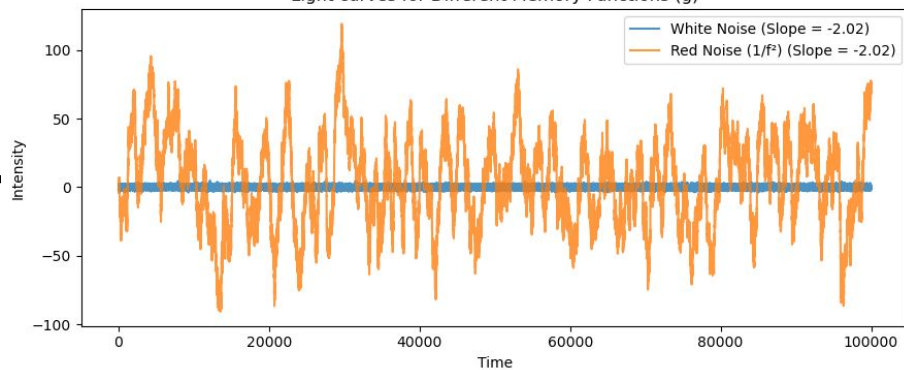


(c) RMS vs. Magnitude.

Periodograma

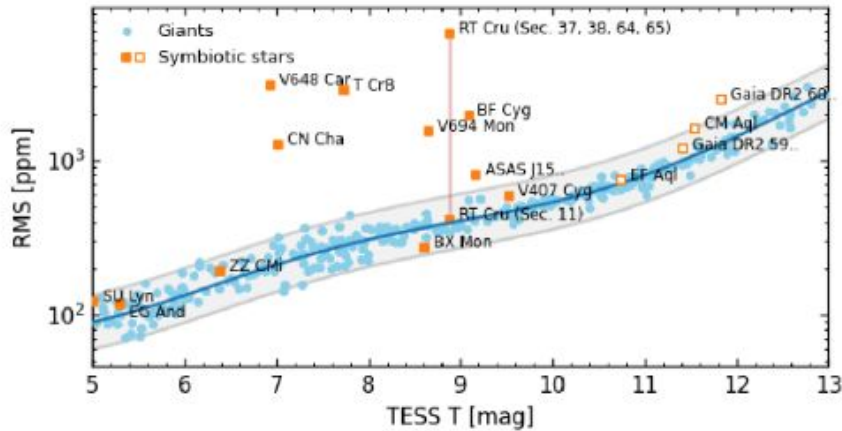


Light curves for Different Memory Functions (g)



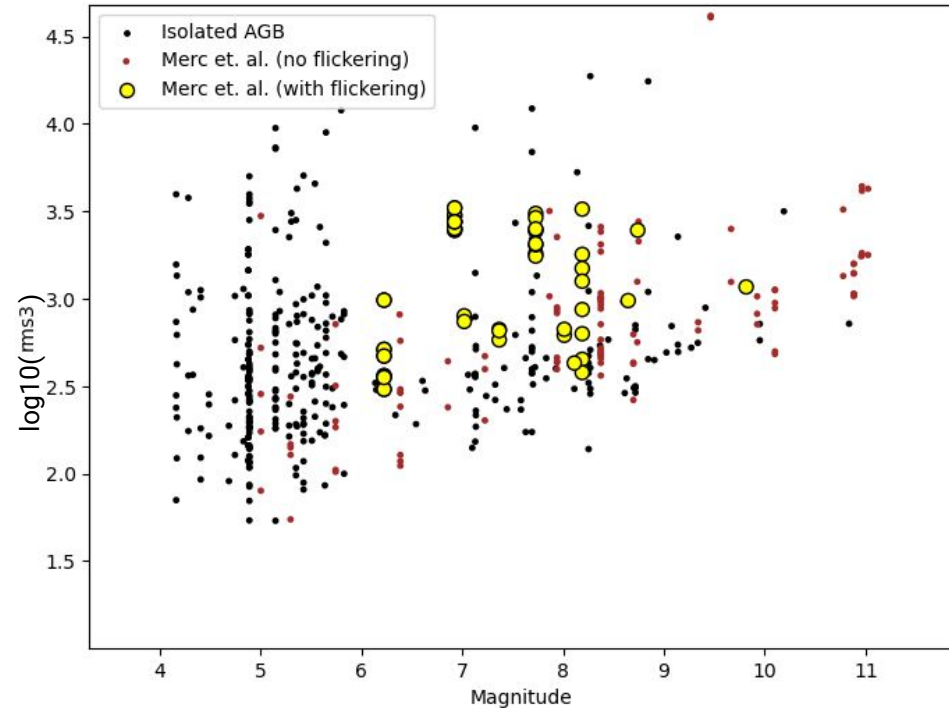
Curva de luz

Validación del método de Merc et al: 1. RMS



(c) RMS vs. Magnitude.

Resultados del RMS en Merc et al.

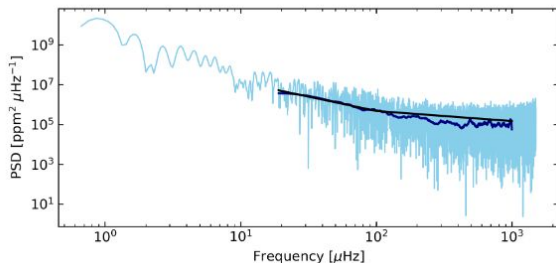


Estrellas con flickering en Merc (amarillo datos de este trabajo) y estrellas sin flickering (negro y marrón datos de este trabajo)

Validación del método 2. Slopes de Merc et al: Diferencias

Nuestro trabajo:

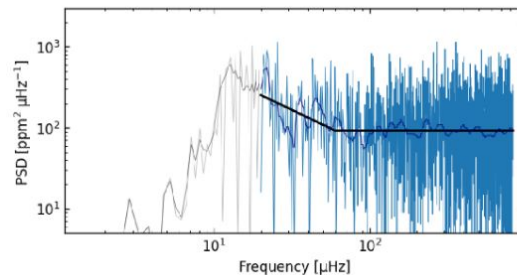
- SPOC (cadencia de 120 s)
 - Not-smoothed
- Breakpoint acotado



(a) Periodogram of the Sector 27 data of the red giant TIC 374859063. This work's fixed bilinear fitting model.

Merc et al:

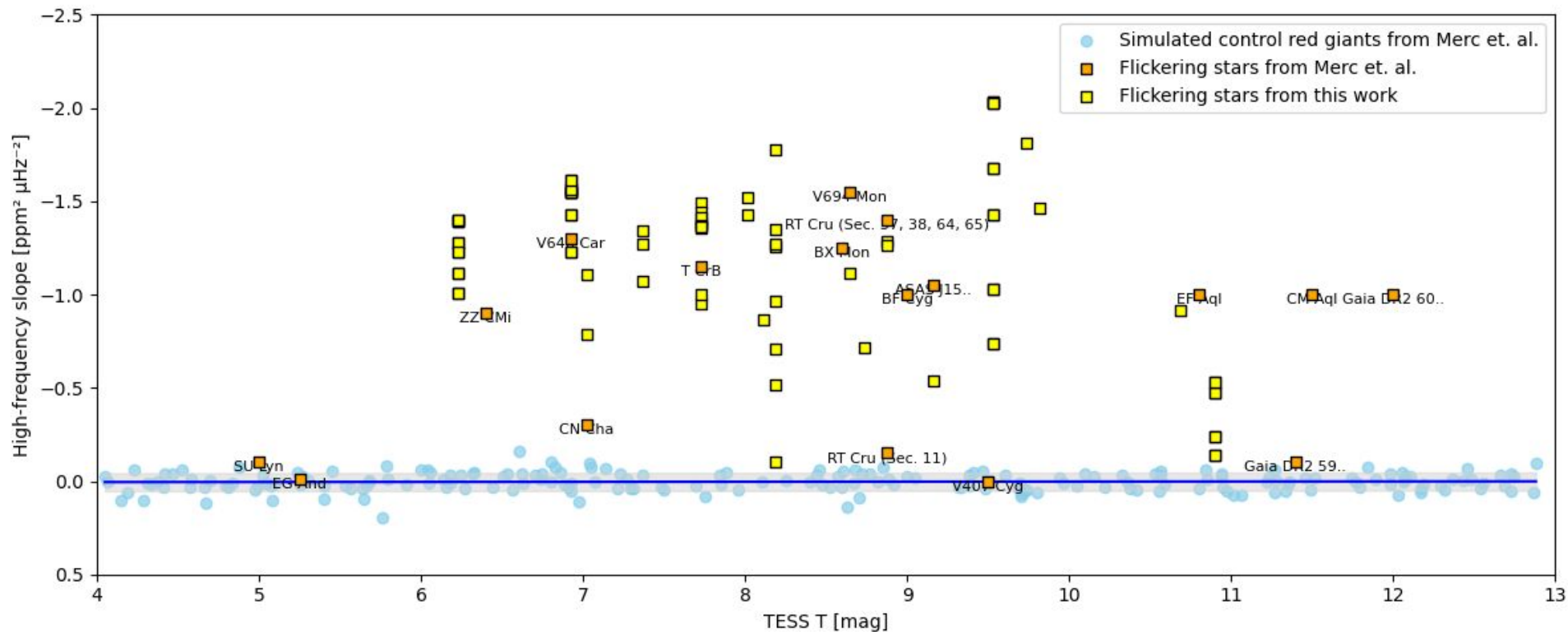
- Full Frame Images (cadencia de 1800 s)
- Smoothed
- Breakpoint libre



(b) Fig.10 in [Merc, J. et al. \(2024\)](#). Periodogram of the Sector 27 data of the red giant TIC 374859063.

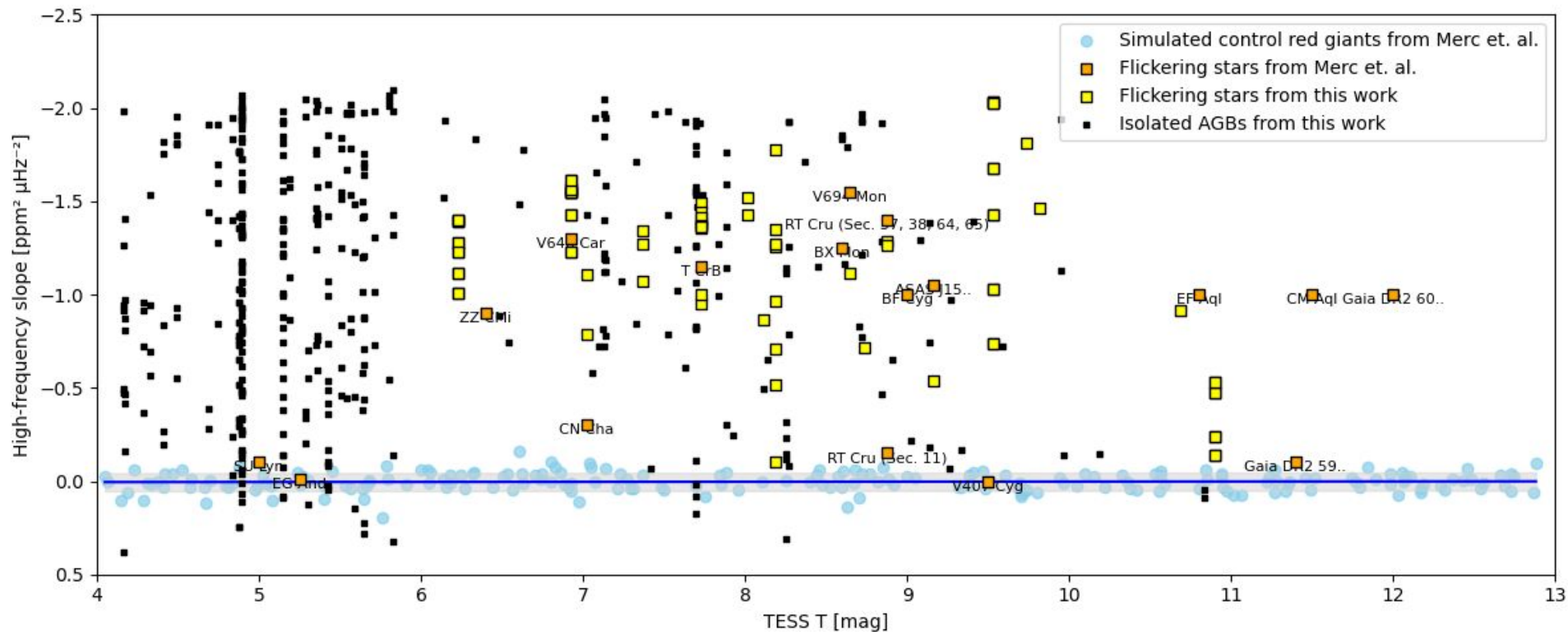
Ejemplos de periodogramas ajustados en Merc et al (izquierda) y en este trabajo (derecha) para la misma estrella.

Validación del método de Merc et al: 2. Slopes



Estrellas con flickering (naranja datos de Merc, amarillo datos de este trabajo)

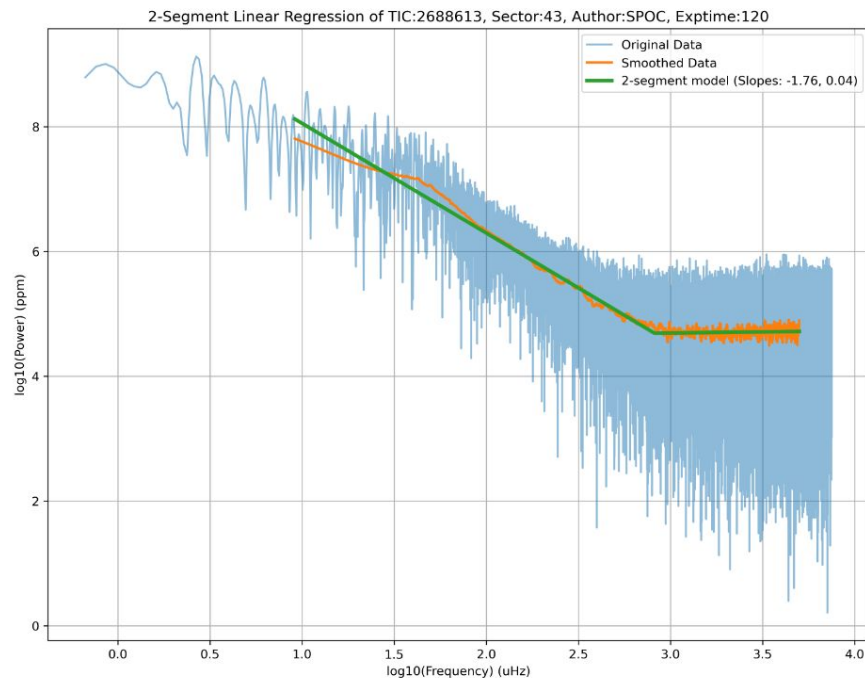
Validación del método de Merc et al: 2. Slopes



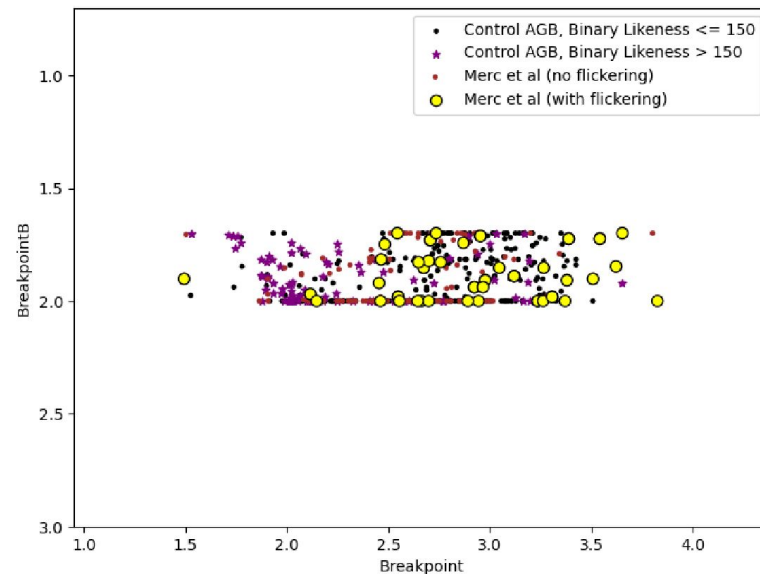
Estrellas con flickering (naranja datos de Merc, amarillo datos de este trabajo) y estrellas aisladas (negro datos de este trabajo)

4b. Otros métodos

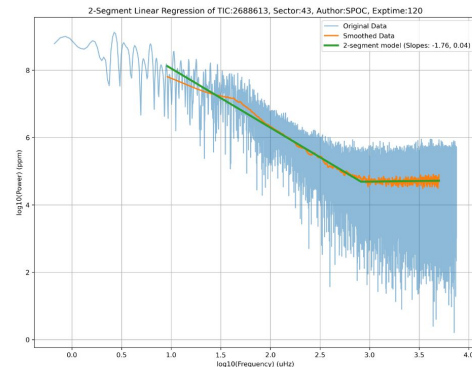
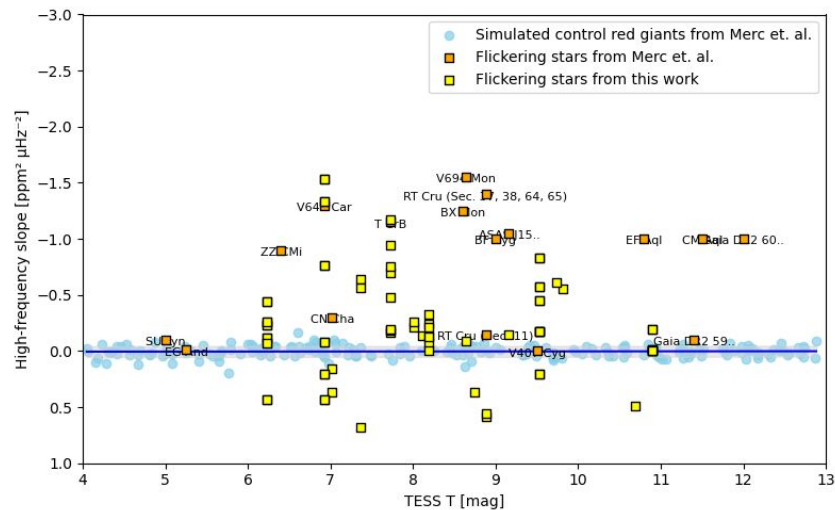
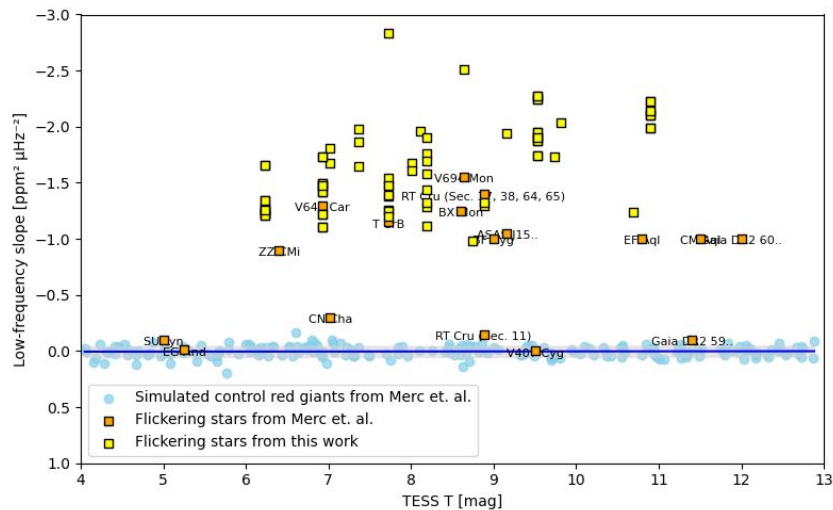
Método Bilineal con Breakpoint libre



- Eje Y es el breakpoint fijado (Merc)
- El breakpoint libre (eje X) tiende a 1000 uHz, no 80 uHz

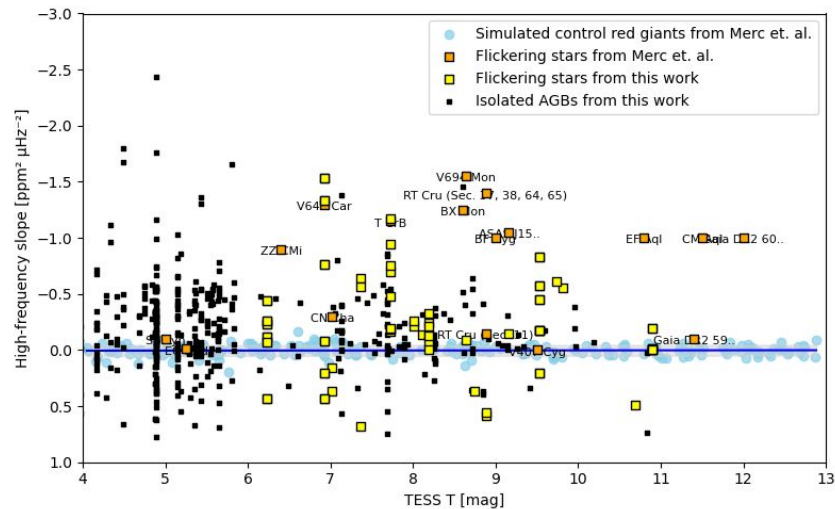
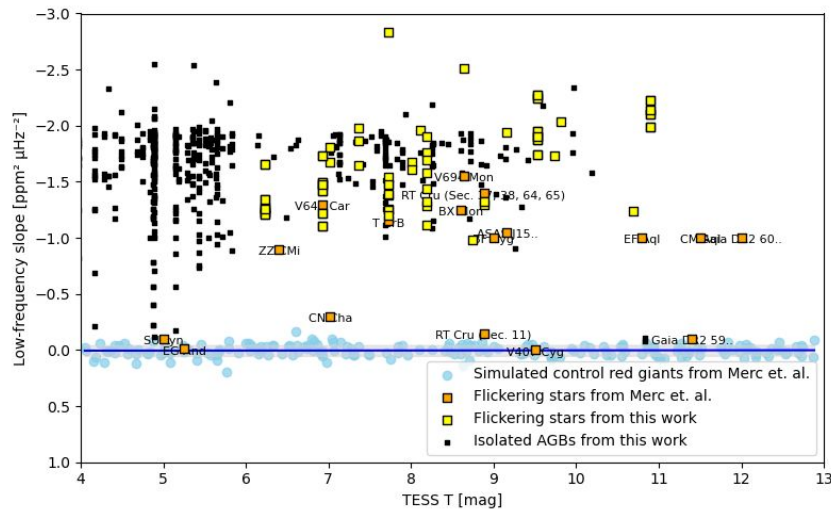
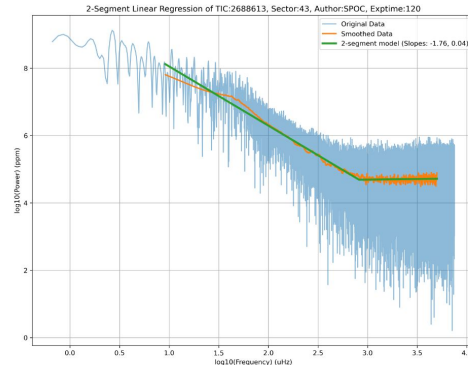


Método Bilineal con Breakpoint libre



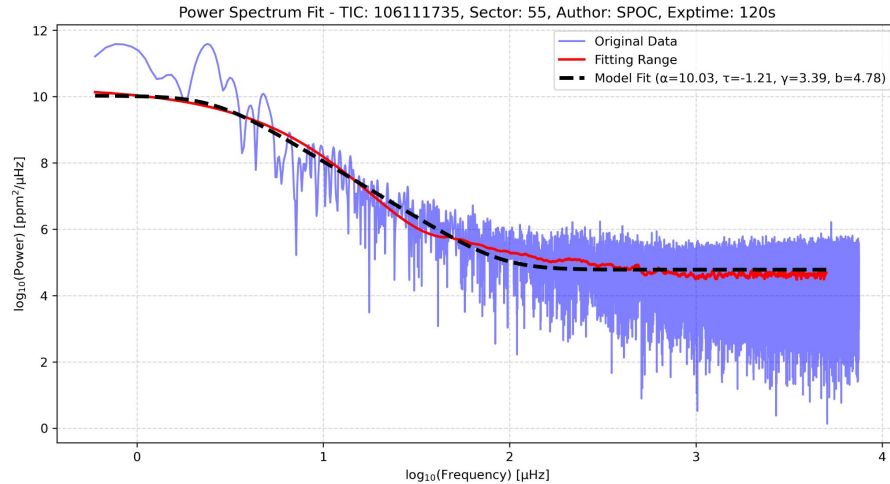
Estrellas con flickering (naranja datos de Merc, amarillo datos de este trabajo)

Método Bilineal con Breakpoint libre



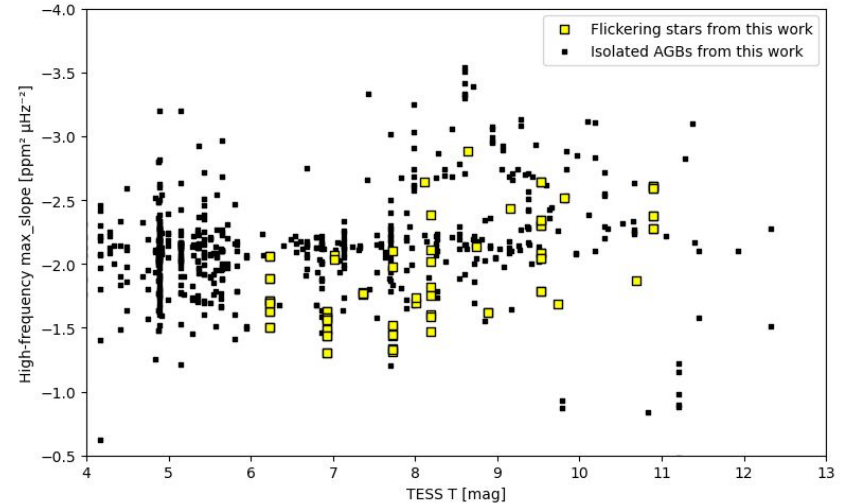
Estrellas con flickering (naranja datos de Merc, amarillo datos de este trabajo) y estrellas sin flickering (negro datos de este trabajo)

Método no-lineal



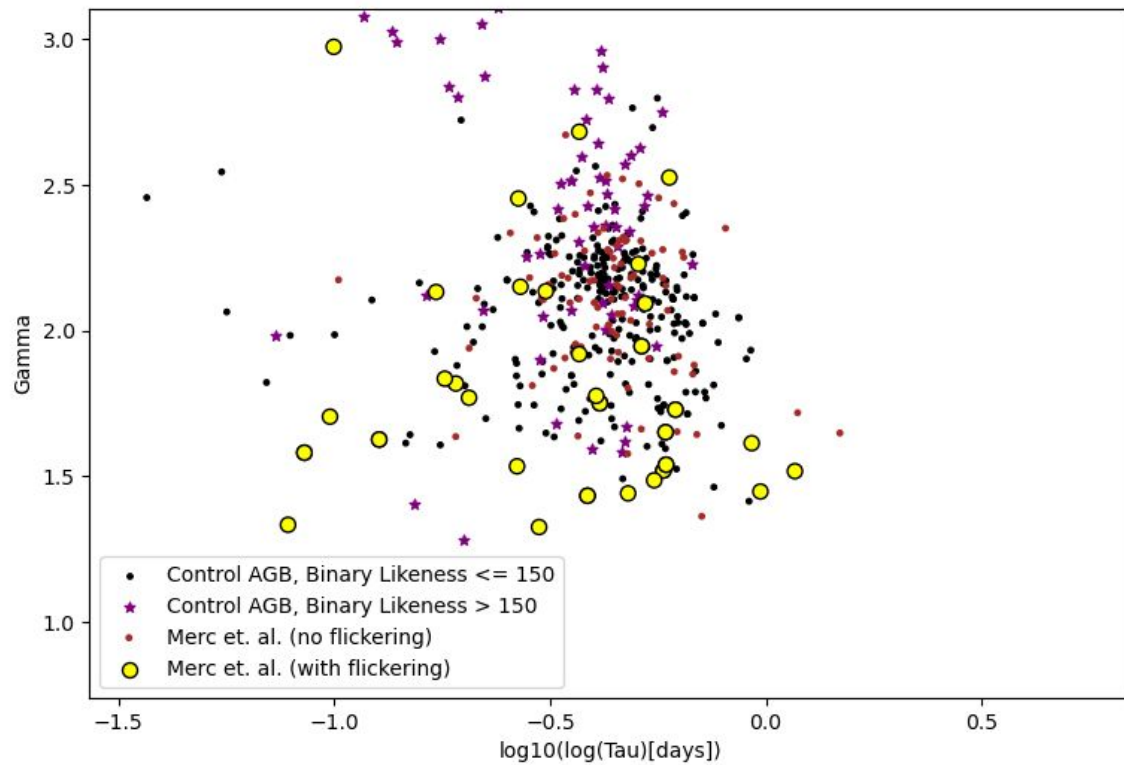
Ejemplo de ajuste no-lineal

$$P(\nu) = B + \frac{A}{1 + (2\pi\tau\nu)^\gamma}$$



Slopes del ajuste no-lineal. En amarillo fuentes con flickering, en negro estrellas aisladas de control

Comparación de Gamma vs. Tau

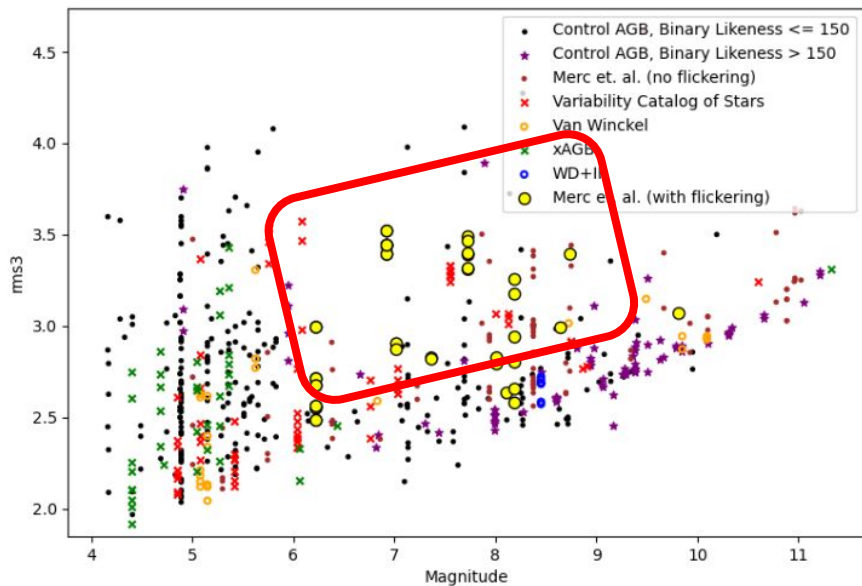


Valores típicos de Tau menores a
0.5 días = 12 horas

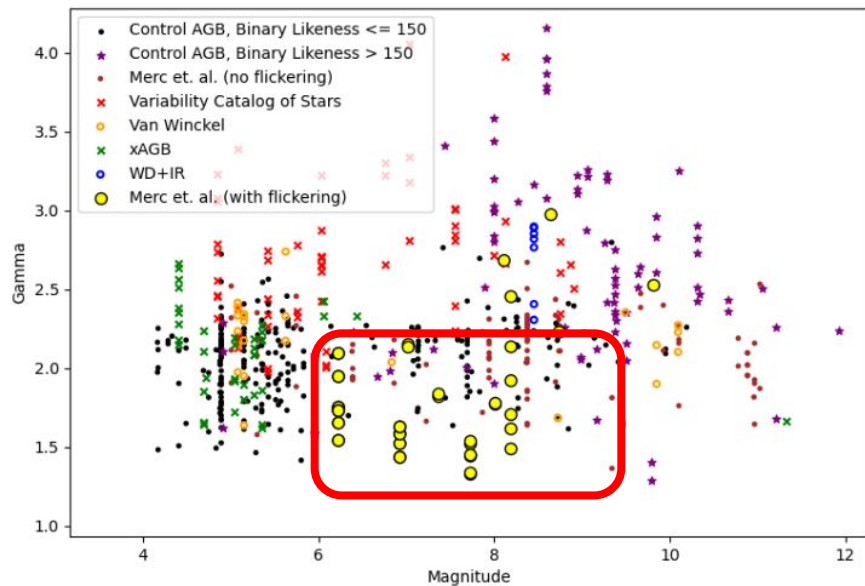
Estrellas con flickering (amarillo) y estrellas aisladas de control (negro y marrón).

5. Variabilidad no-periódica: Resultados de *Flickering* de las muestras extendidas

Correlaciones con la Magnitud TESS



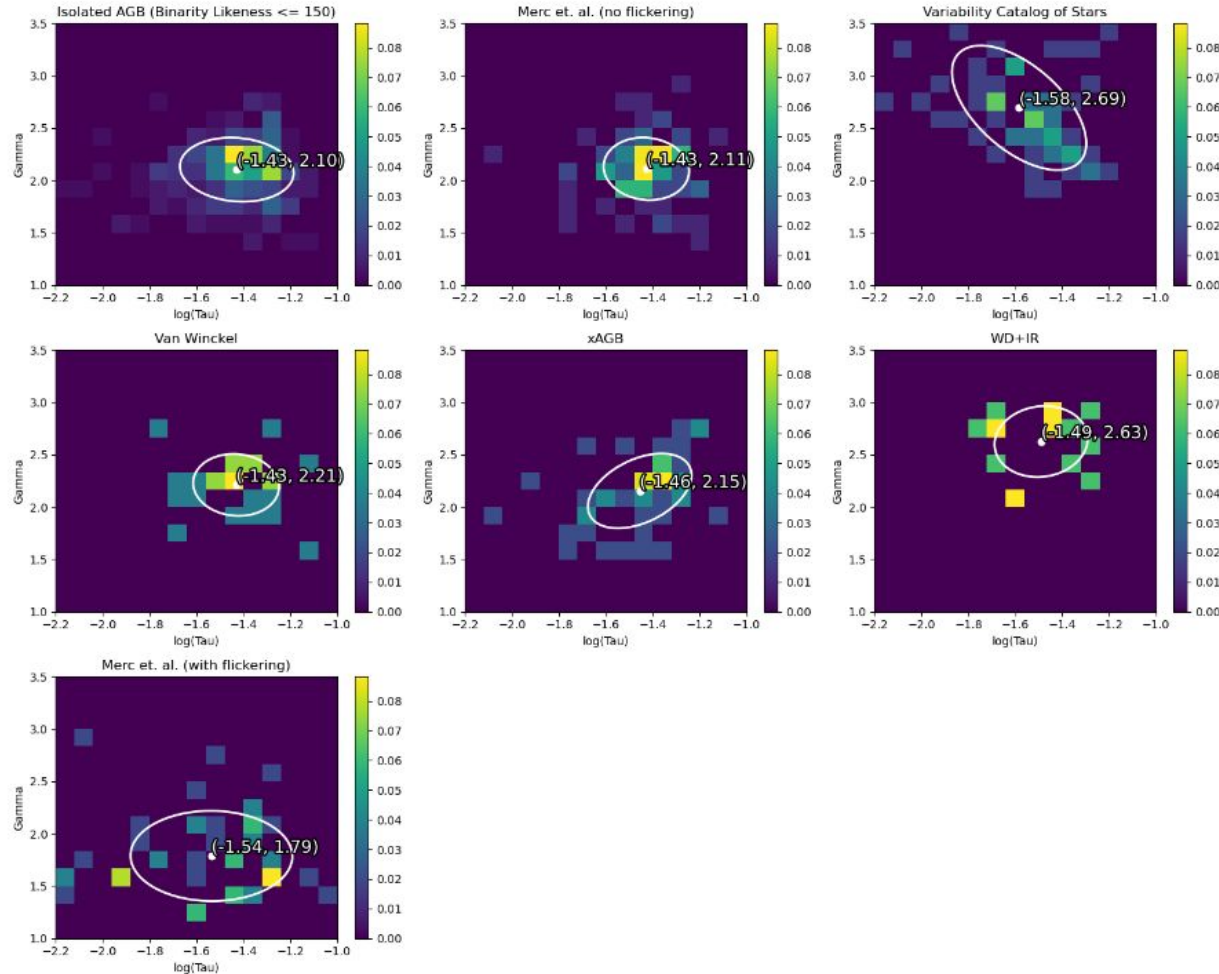
(a) $\log_{10}(RMS_{abs})$ vs. the TESS magnitude.



(b) γ vs. the TESS magnitude.

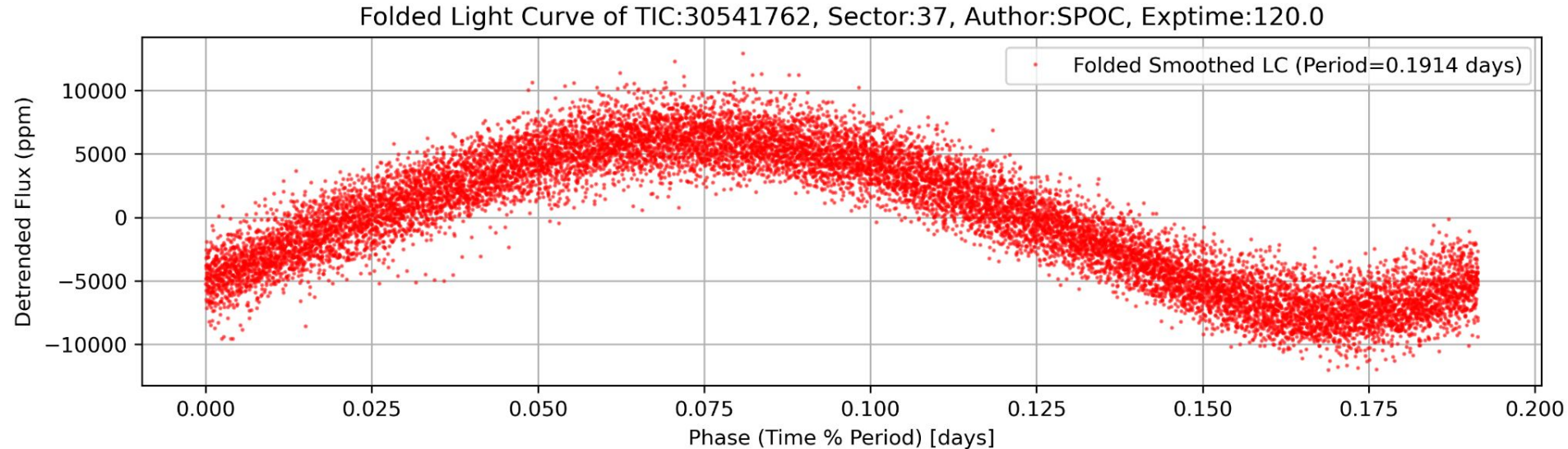
Figure 12: RMS plots.

Correlaciones con el parámetro no-lineal gamma



1. Estrellas con flickering (simbióticas) tienen valores de Gamma bajos
2. Post-AGB y WD+IR tienen alto Gamma y bajo Tau

6. Variabilidad Periódica



7. Conclusiones

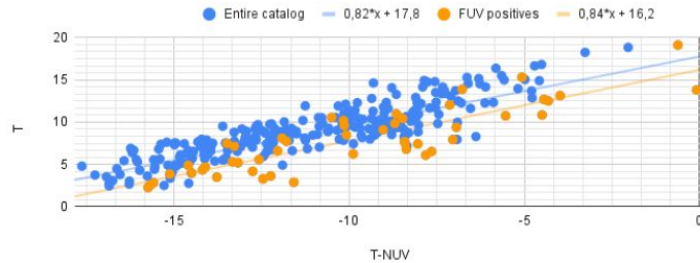
TIC ID	Magnitude	Catalog	Sectors
4385592	9.50	Isolated AGB	72
422989548	7.69	Isolated AGB	17, 25
58227898	9.13	Isolated AGB	70
397514892	8.25	Isolated AGB	78
120504920	8.14	Isolated AGB	69
129077819	8.84	Isolated AGB	67
129684571	7.88	Isolated AGB	57
264248402	8.27	Isolated AGB	56
264413925	7.52	Isolated AGB	72
316417053	7.13	Isolated AGB	75
388775434	9.66	Merc et. al. (no flickering)	82
333326188	8.74	Merc et. al. (no flickering)	80
282619434	7.86	Merc et. al. (no flickering)	81
237100139	8.37	Merc et. al. (no flickering)	74, 75, 84
83299618	7.94	Merc et. al. (no flickering)	75
6348255	9.46	Merc et. al. (no flickering)	80
337886863	7.55	Variable post-AGB from VSC+TESS	16, 17, 18, 24, 57, 58, 77, 84

1. TESS detecta *flickering*, pero con grandes limitaciones
2. Los resultados de Merc et al. son difíciles de reproducir
3. Gamma es un parámetro prometedor para trazar binarias, pero se requiere más trabajo para confirmarlo
4. Nuevos candidatos para seguimiento, basados en RMS

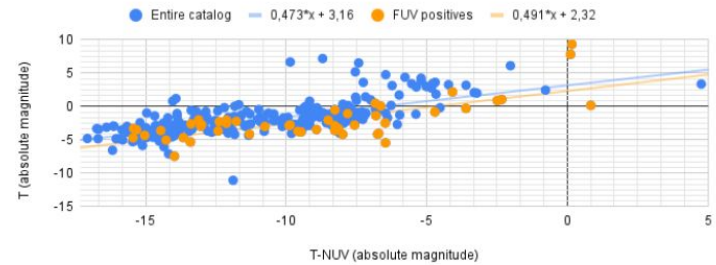
Gracias

Anexos

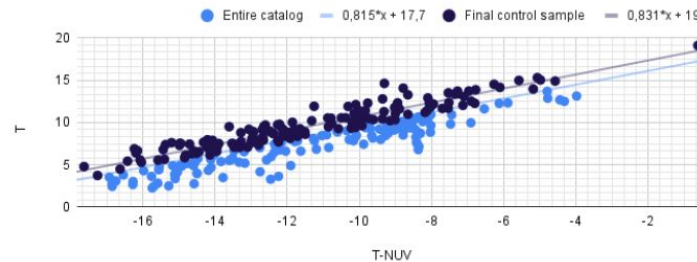
Muestra de control de estrellas aisladas



(a) Apparent magnitudes



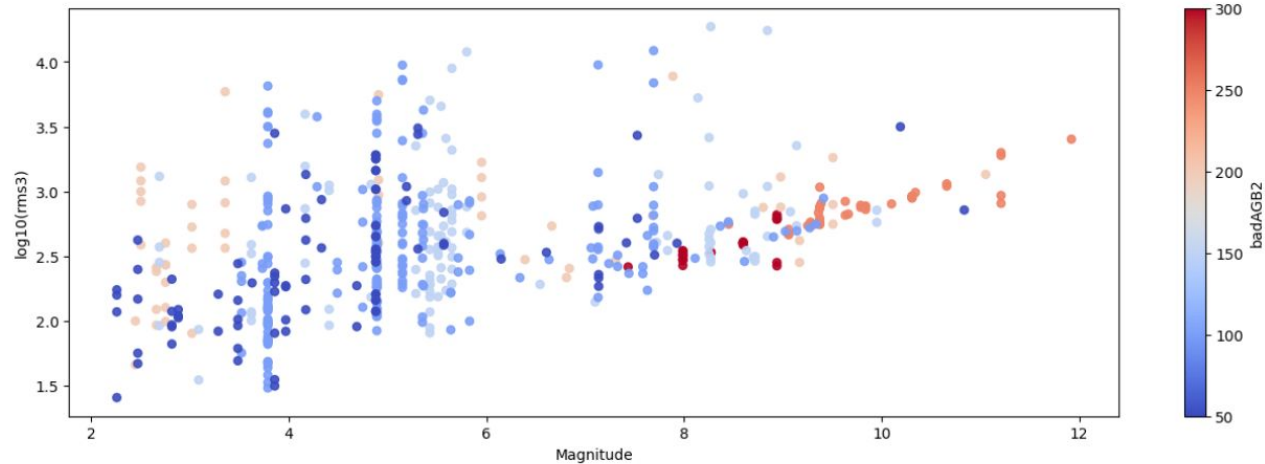
(b) Absolute magnitudes



(c) Final control sample of isolated AGB candidates.

Tmag vs. T-NUV. Fuentes con emisión en Galex-FUV en naranja. El resto de fuentes en azul. Muestra de control final en negro.

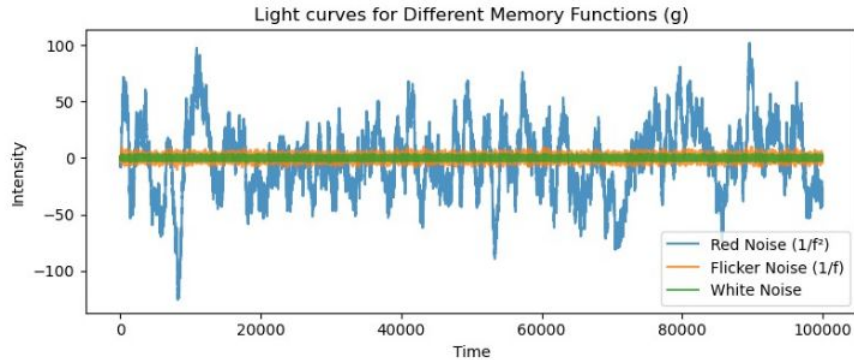
Dependencia con la magnitud



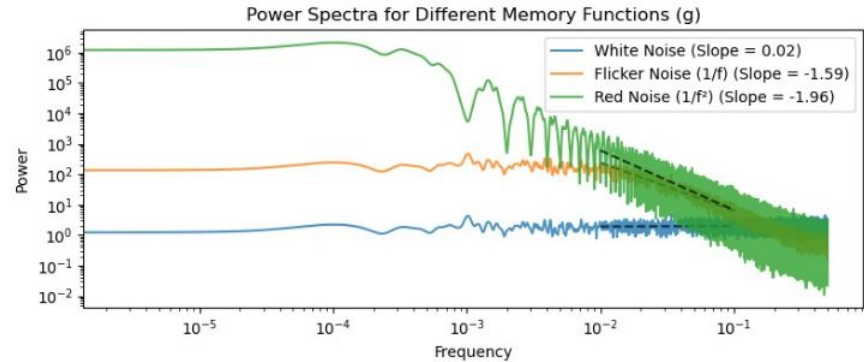
RMS vs. Magnitud de la muestra de estrellas AGB consideradas para la muestra de control de estrellas aisladas. En azul las más probables de ser aisladas, en rojo las menos probables.

Flickering teórico

- Disco de acreción: concentración de masa alrededor de un disco
- Kepler: órbitas más próximas son más rápidas, y calientes
- Caótico: rápida fluctuación en tamaño, temperatura, y por tanto variabilidad
- Dependencia entre los distintos modos de oscilación: fuentes de frecuencia alta acopladas a los de baja frecuencia



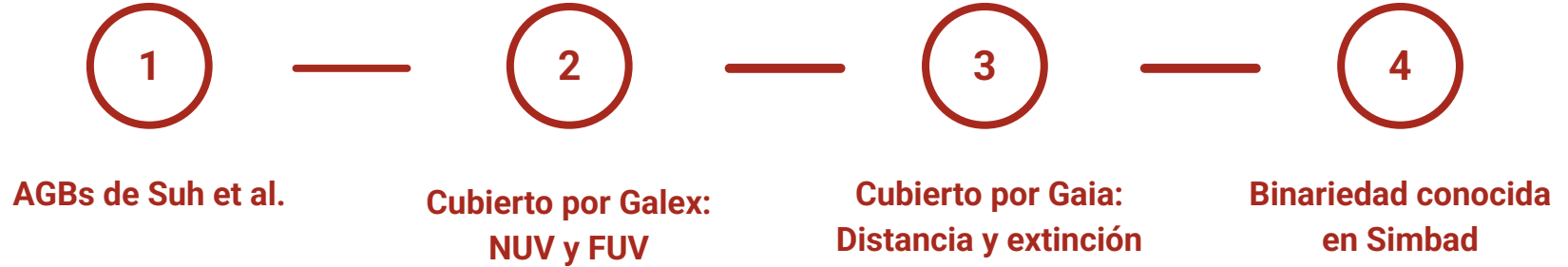
(a) Synthetic light curves.



(b) Periodogram of the synthetic light curves.

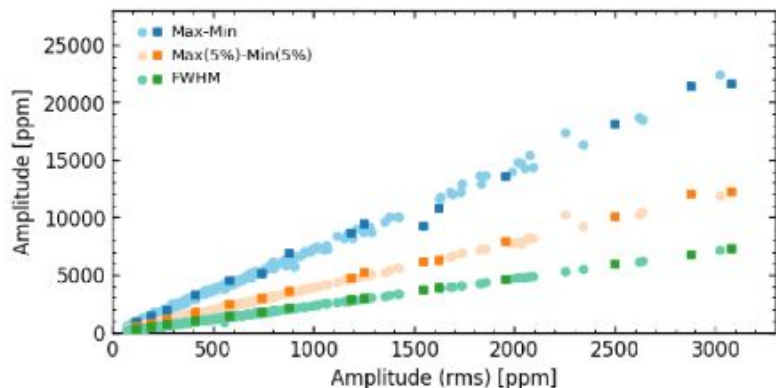
Curvas de luz y periodogramas teóricos.

Muestra de control de estrellas aisladas

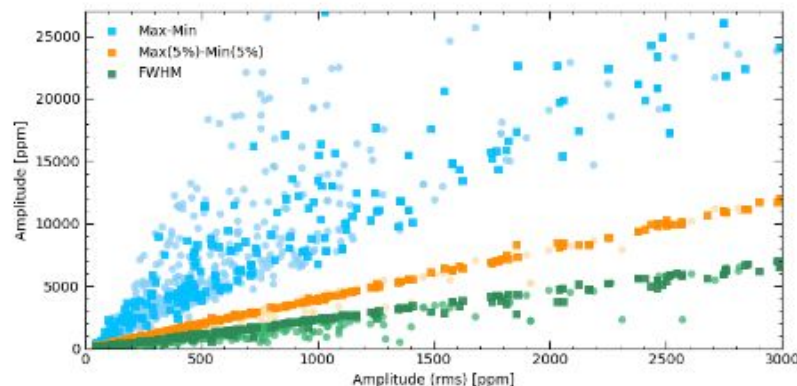


Validación del método de Merc et al:

1. RMS



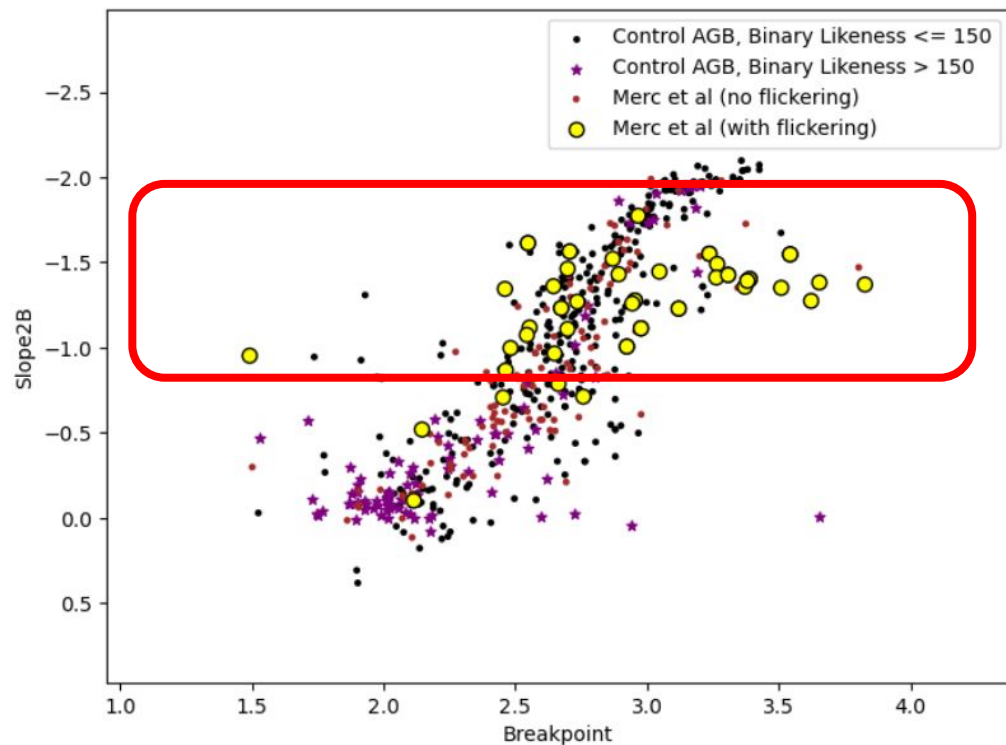
(a) RMS values from [Merc, J. et al. \(2024\)](#).



(b) RMS values from this work.

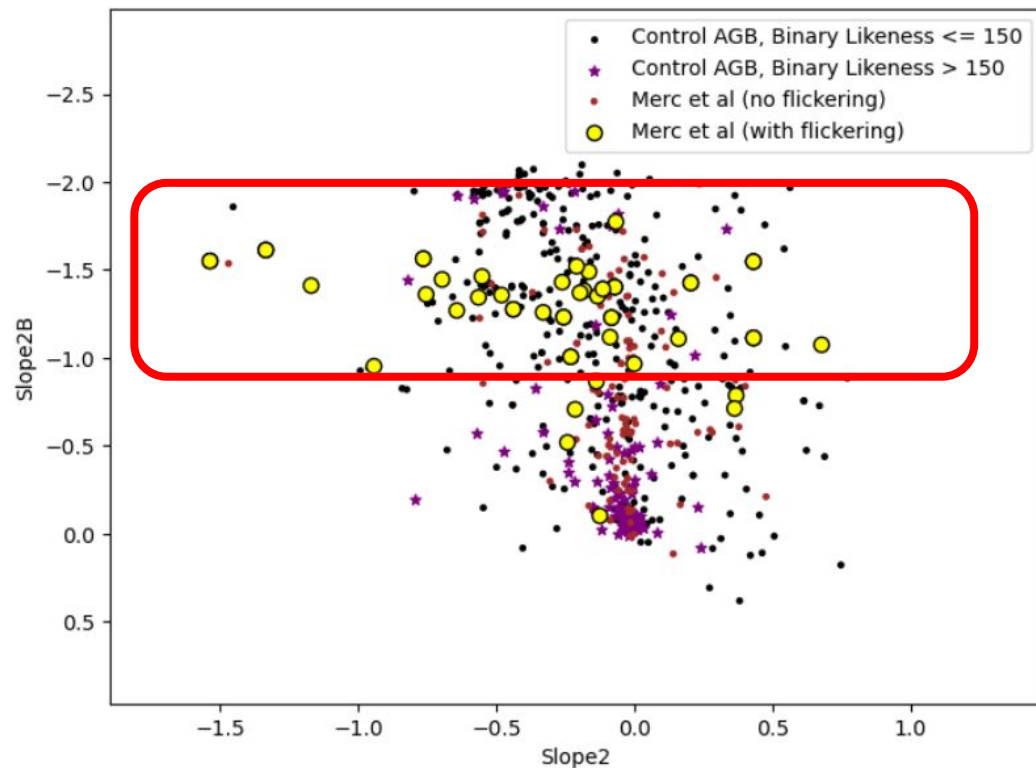
Comparación de métodos de obtención del RMS. Merc et al (izquierda) y este trabajo (derecha). Máximo-Mínimo en azul, Máximo 5% - Mínimo 5% en naranja, ajuste gaussiano en verde, RMS absoluto en el eje x.

Método Bilineal con Breakpoint libre

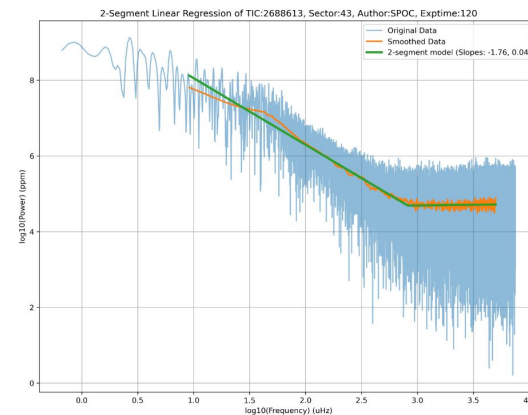


- Correlación entre Breakpoint libre (eje X) y Hi-fi Slope fija (eje Y)
- Detección de flickering en Merc señalado en rojo
- La muestra de control probablemente binaria (morado) tiene Slope2B cercano a 0

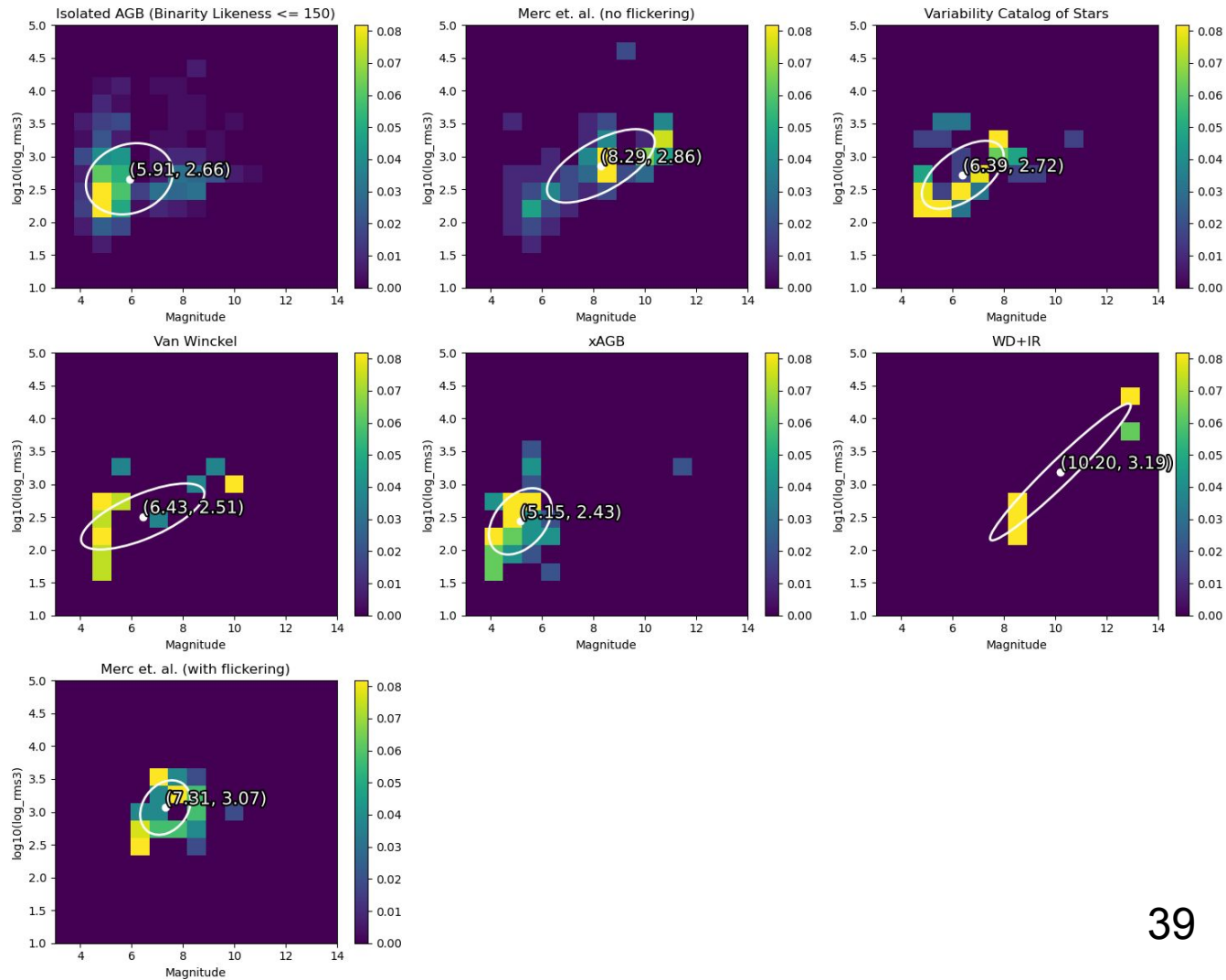
Método Bilineal con Breakpoint libre



- Modelo libre (eje X) identifica mejor el ruido blanco instrumental
- Detección de flickering en Merc señalado en rojo



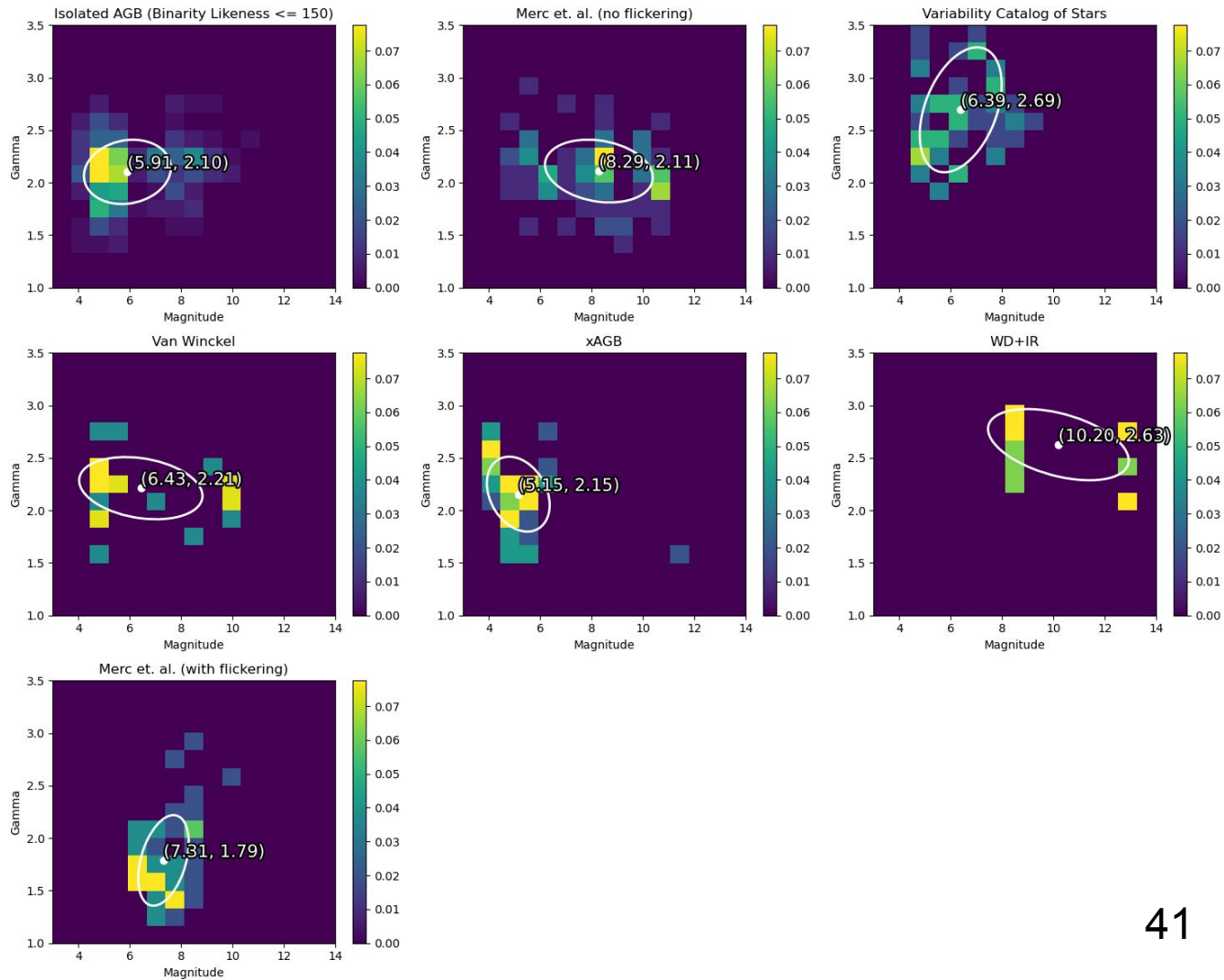
RMS vs. Magnitude



Candidatas a flickering: RMS

TIC ID	Magnitude	Catalog	Sectors
4385592	9.50	Isolated AGB	72
422989548	7.69	Isolated AGB	17, 25
58227898	9.13	Isolated AGB	70
397514892	8.25	Isolated AGB	78
120504920	8.14	Isolated AGB	69
129077819	8.84	Isolated AGB	67
129684571	7.88	Isolated AGB	57
264248402	8.27	Isolated AGB	56
264413925	7.52	Isolated AGB	72
316417053	7.13	Isolated AGB	75
388775434	9.66	Merc et. al. (no flickering)	82
333326188	8.74	Merc et. al. (no flickering)	80
282619434	7.86	Merc et. al. (no flickering)	81
237100139	8.37	Merc et. al. (no flickering)	74, 75, 84
83299618	7.94	Merc et. al. (no flickering)	75
6348255	9.46	Merc et. al. (no flickering)	80
337886863	7.55	Variable post-AGB from VSC+TESS	16, 17, 18, 24, 57, 58, 77, 84

Gamma vs. Magnitude

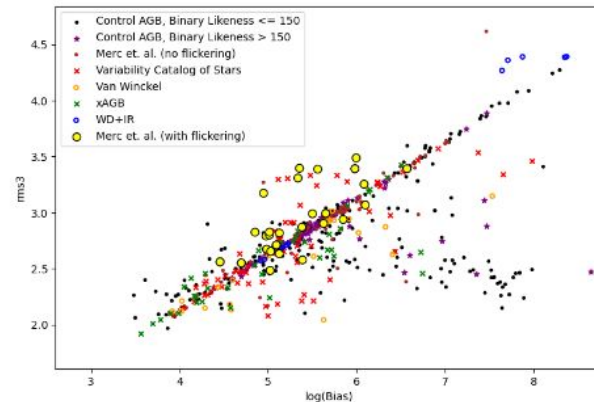


Candidatas a flickering: Gamma

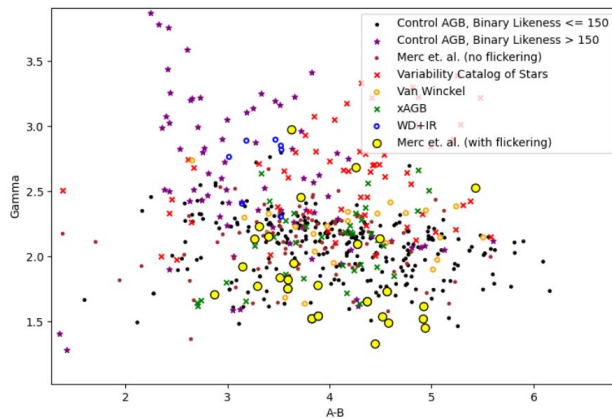
TIC ID	Magnitude	TypeColor	Sector
264248402	8.270800	Isolated AGB	57
458581443	6.862900	Isolated AGB	44, 61, 88
452980210	7.124600	Isolated AGB	61
129077819	8.844700	Isolated AGB	27
422989548	7.692300	Isolated AGB	20
316417053	7.130100	Isolated AGB	49
219850271	8.718300	Isolated AGB	57
231062839	6.338400	Isolated AGB	69
232628114	7.888600	Isolated AGB	57
267942318	6.789900	Isolated AGB	17
264413925	7.527500	Isolated AGB	71
282619434	7.866100	Merc et. al. (no flickering)	81
30541762	8.693500	Merc et. al. (no flickering)	37, 64
237100139	8.375000	Merc et. al. (no flickering)	58, 77
58761688	7.225700	Merc et. al. (no flickering)	37
302824830	6.084600	Variable post-AGB from VSC+TESS	43
188569689	8.725400	Van Winckel post-AGB	69
132636906	8.403800	x-AGB	61

Correlaciones con el ruido

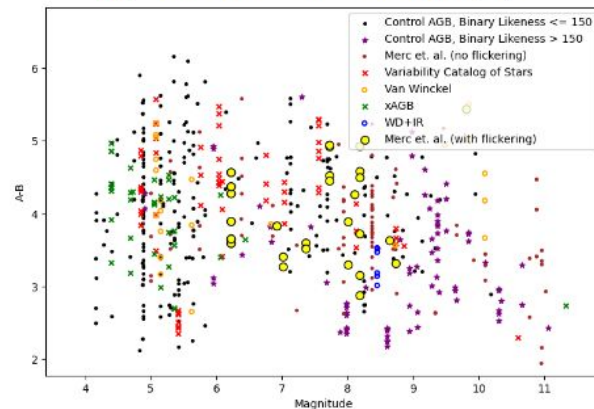
- B acoplado con RMS
- Gamma y A-B no están acoplados con Tmag, Gamma traza pendiente



(a) Absolute RMS vs. $\log_{10}(B)$.



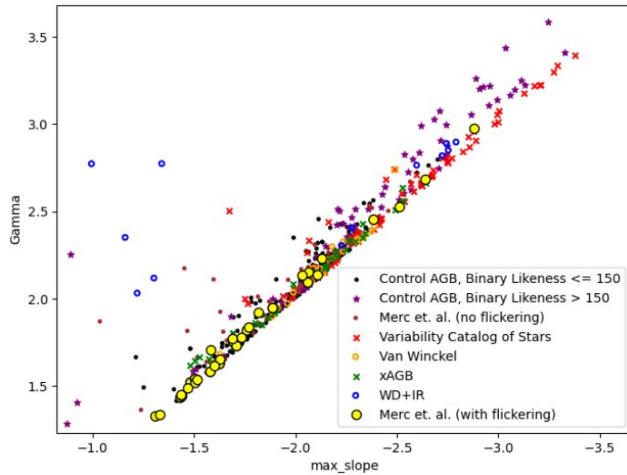
(b) γ vs. $\log_{10}(A) - \log_{10}(B)$.



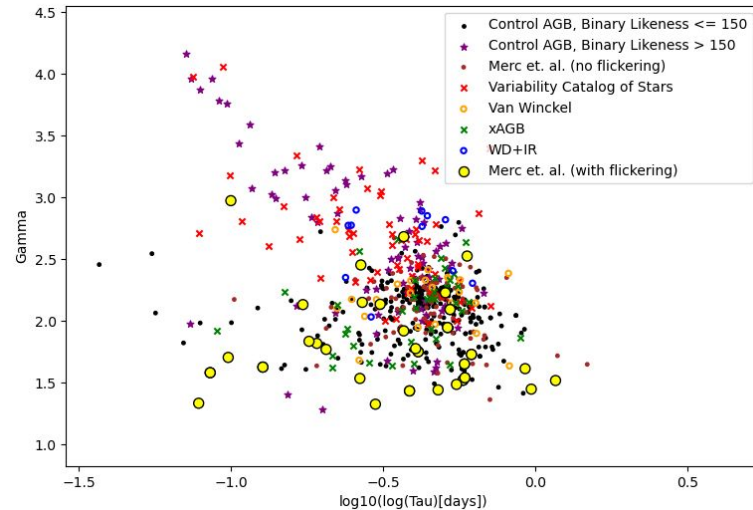
(c) $\log_{10}(A) - \log_{10}(B)$ vs. magnitude.

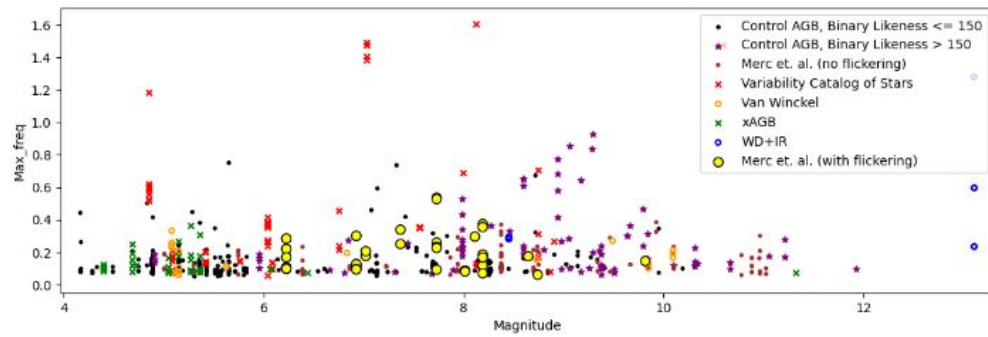
Correlaciones con el parámetro no-lineal gamma

1. Gamma correlacionada con la pendiente
2. Estrellas con flickering (simbióticas) tienen valores de Gamma bajos
3. Post-AGB y WD+IR tienen alto Gamma y bajo Tau

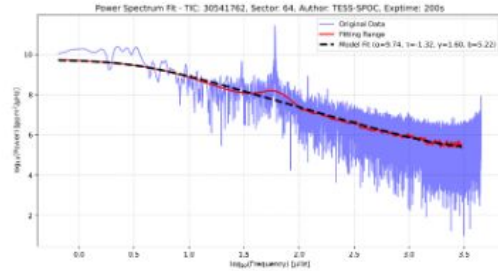


(a) γ vs. the slope from the non-linear model.

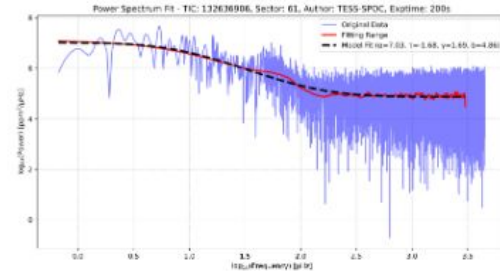




Frecuencia de máxima emisión en función de la magnitud.



(a) Example of a periodogram of binary system CRTS J131559.4-370018. Notice the peak at $\log_{10}(F) = 1.7$. A folded light curve of this object for that frequency can be found at [GitHub page](#).



(b) Example of a periodogram of a star with solar-like oscillations. Notice the gaussian bump at $\log_{10}(F) = 1.7$.

Periodograma de binaria espectroscópica (izquierda) y de oscilaciones de tipo solar (derecha).