

INTRODUCCIÓN

CVSO 315 es una estrella variable con comportamiento multiperódico, mostrando dos períodos muy cercanos entre sí : 0.414 y 0.461 días. Su pertenencia al complejo de formación estelar en Orión es incierta debido a falta de precisión en la astrometría GAIAEDR3 (ruwe> 2.4) para este objeto. El análisis de su curva de luz obtenida con TESS revela un patrón característico de la suma de dos funciones sinusoidales con una ligera diferencia de fase, típicamente observado en estrellas con manchas y rotación diferencial. En este trabajo, presentamos una caracterización de esta estrella utilizando Starry y PyMC3 para realizar inferencia bayesiana entre los parámetros observacionales proporcionados por TESS y los datos simulados con STARRY. Además, proporcionamos nuevas perspectivas sobre la posible ubicación y las características de la estrella.

Características de CVSO315

Esta estrella de baja masa con tipo espectral M2, clasificada como T Tauri en el complejo de formación estelar en Orión (Briceño et al. 2019) presenta rasgos de actividad estelar, particularmente en las líneas de Ca II H y K, que indican una fuerte actividad cromosférica. Curiosamente, encontramos discrepancias en las líneas de absorción de litio las cuales no son significativas en comparación a lo esperado , lo cual plantea dudas sobre la juventud de este objeto, ya que el litio suele ser más prominente en estrellas jóvenes. Además, fotometría óptica e infrarroja sugieren una ausencia de disco .

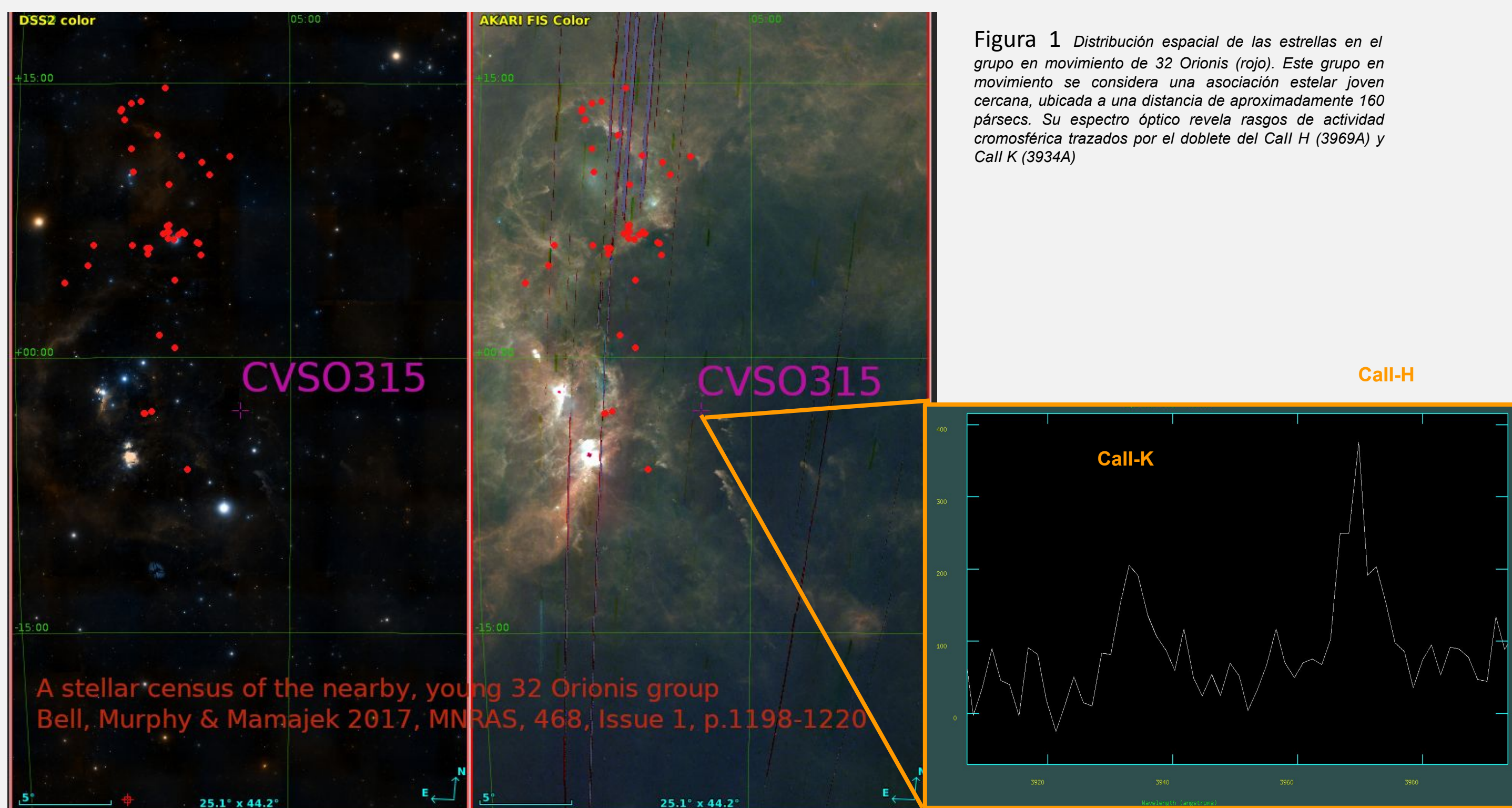


Figura 1: Distribución espacial de las estrellas en el grupo en movimiento de 32 Orión (rojo). Este grupo en movimiento se considera una asociación estelar joven cercana, ubicada a una distancia de aproximadamente 160 pársecs. Su espectro óptico revela rasgos de actividad cromosférica trazados por el doblete del Call H (3969Å) y Call K (3934Å)

El paralaje GAIA EDR3 para CVSO 315 corresponde a una distancia de 167.8 pc, significativamente menor a la distancia al complejo de formación estelar en Orión. Además, CVSO 315 tiene un RUWE (Renormalized Unit Weight Error) de 2.4, lo cual indica que o bien se trata de un sistema binario eclipsante no resuelto o que los parámetros astrométricos no son fiables.

En este sentido la velocidad radial reportada por GAIA-EDR3 $V_{rad}=24.8$ km/s es compatible con el valor medio para el grupo en movimiento 32 Ori, localizado en la misma región del cielo (24.82 km/s) pero con diferentes valores de movimiento propio: PMRA (movimiento propio en ascensión recta) de 0.320 mas/año y PMDEC (movimiento propio en declinación) de -3.05 mas/año. Estas similitudes en la velocidad radial sugieren la posibilidad de que CVSO 315 podría pertenecer a este grupo en movimiento en primer plano, ubicado frente a la región de Orión

Latidos en CVSO315 registrados por TESS

Los datos fotométricos de CVSO 315 fueron recopilados por TESS en dos sectores de observación, con mediciones a intervalos de 30 minutos en el Sector 5 y de 10 minutos en el Sector 32. Estos datos de alta cadencia revelan dos periodicidades cercanas: aproximadamente 0.414 y 0.459 días en el Sector 5, y 0.414 y 0.461 días en el Sector 32. Las curvas de luz muestran un patrón sinusoidal que puede modelarse como dos sinusoides con un ligero desfase de fase, lo que sugiere una dinámica de rotación compleja. En este trabajo se asume que dicha multiperiodicidad es un indicador de rotación diferencial en la superficie de CVSO 315. La variabilidad en la curva de luz se explica por la presencia de manchas estelares localizadas en distintas latitudes sobre la superficie estelar. Para ello se utiliza la herramienta computacional STARRY..

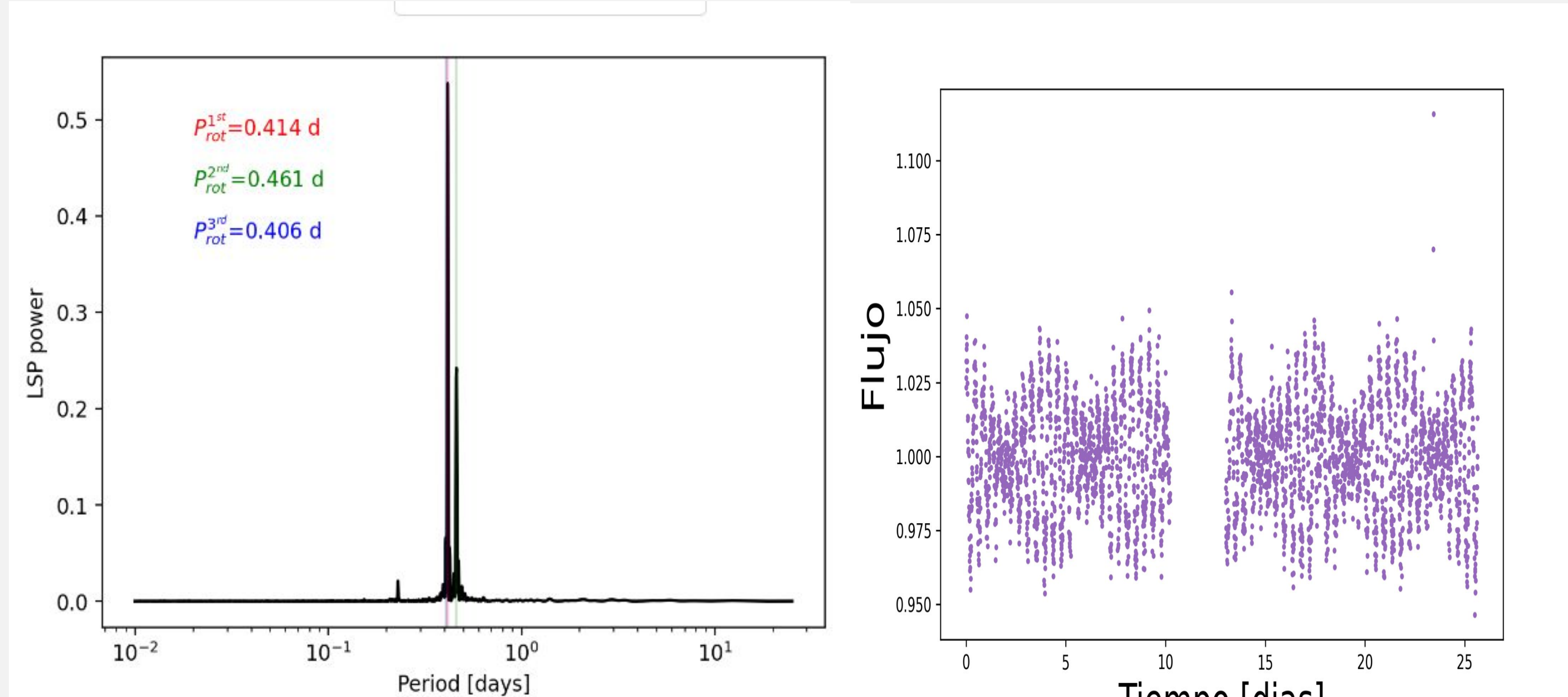


Figura 2: Periodograma de CVSO315 Sector 32, Extraído por TESSEXTRACTOR (Serrina et al), con dos períodos notables y muy cercanos

Figura 3: Curva de luz de CVSO315 en el Sector 32

STARRY

STARRY es una librería de Python especializada en el modelado de curvas de luz (Luger 2019). Permite simular estrellas con parámetros específicos, definiendo sus superficies y características como manchas estelares. Además, permite implementar diferencias rotacionales, asignando distintas velocidades rotacionales a cada latitud de la superficie estelar. Con estos parámetros, STARRY genera una curva de luz precisa que refleja la rotación y que puede compararse con la curva del luz observada.

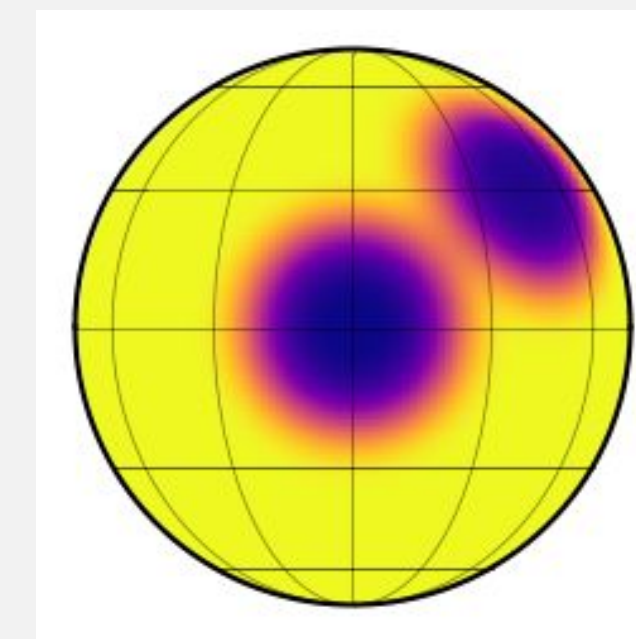


Figura 4: Estrella con manchas simulada por STARRY

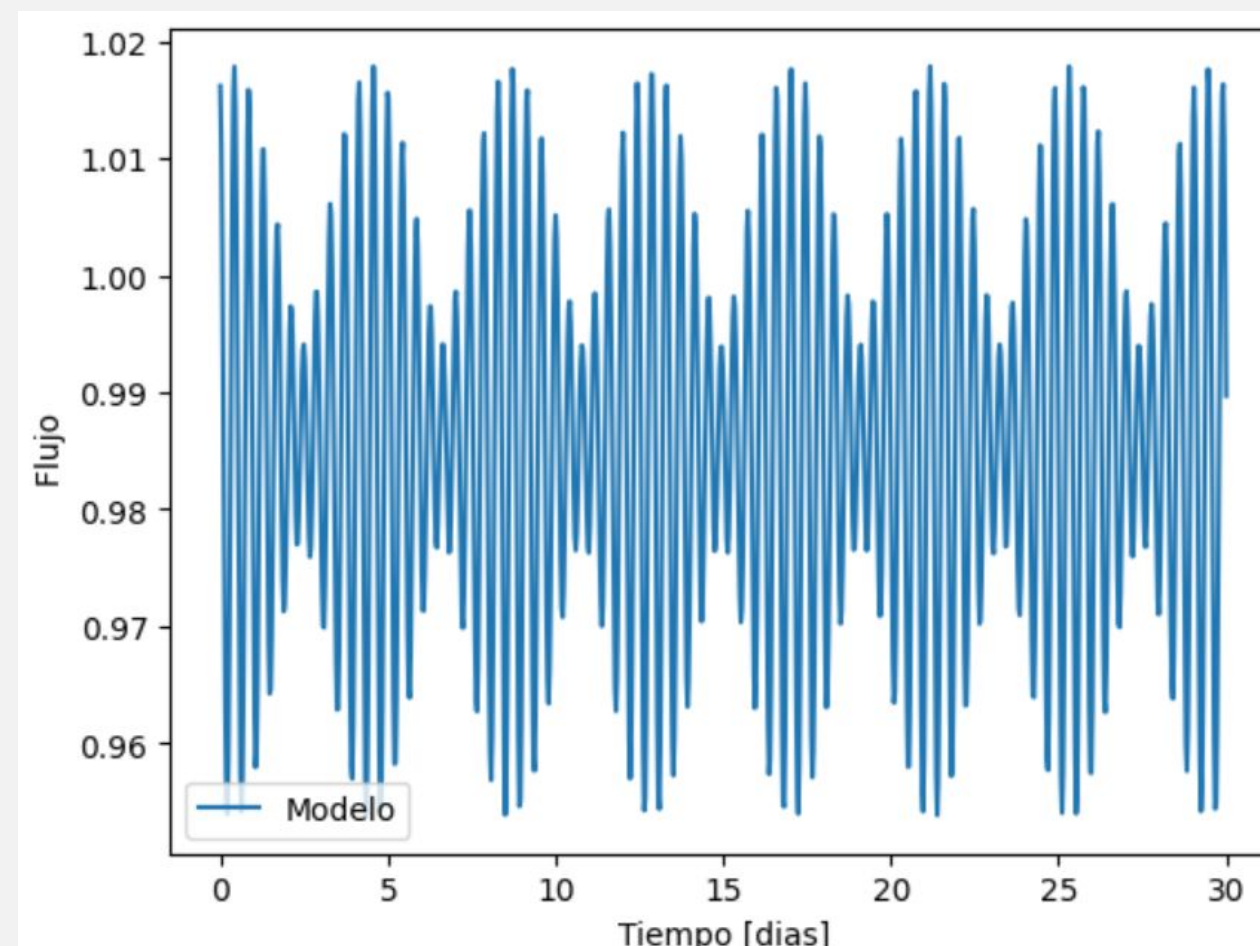


Figura 5: Curva de luz generada por Starry

Implementamos un modelo de rotación diferencial usando STARRY para recrear el comportamiento de CVSO315. Este modelo incluye dos manchas ubicadas a distintas latitudes y con velocidades de rotación diferentes, determinadas por un parámetro alfa, el cual define la variación de velocidad en cada latitud de la estrella según los dos periodos característicos de CVSO315 (Reinhold et al. 2013).

$$\alpha = \frac{P_2 - P_1}{P_{max}} \quad (1)$$

Para ajustar el modelo, se introducen diversos parámetros: la inclinación(Inc) del eje estelar, el parámetro alfa(Alpha) de rotación diferencial, la intensidad(Intensity) y el tamaño de las manchas(SpotSize), así como sus latitudes(Lat) y longitudes(Lon), Adicionalmente un coeficiente de oscurecimiento del limbo en la estrella, por último se utilizó un parámetro de normalización (Scale) para asegurar la coherencia de la curva de luz generada con las observaciones reales.

Inferencia Bayesiana

Se realizó una inferencia utilizando el método MCMC implementado en la librería PyMC3, definiendo los parámetros de la estrella a partir de distribuciones normales. Como paso previo, se optimizaron los priors mediante un algoritmo de descenso de gradiente para mejorar la convergencia y obtener el mejor ajuste de la curva de luz.

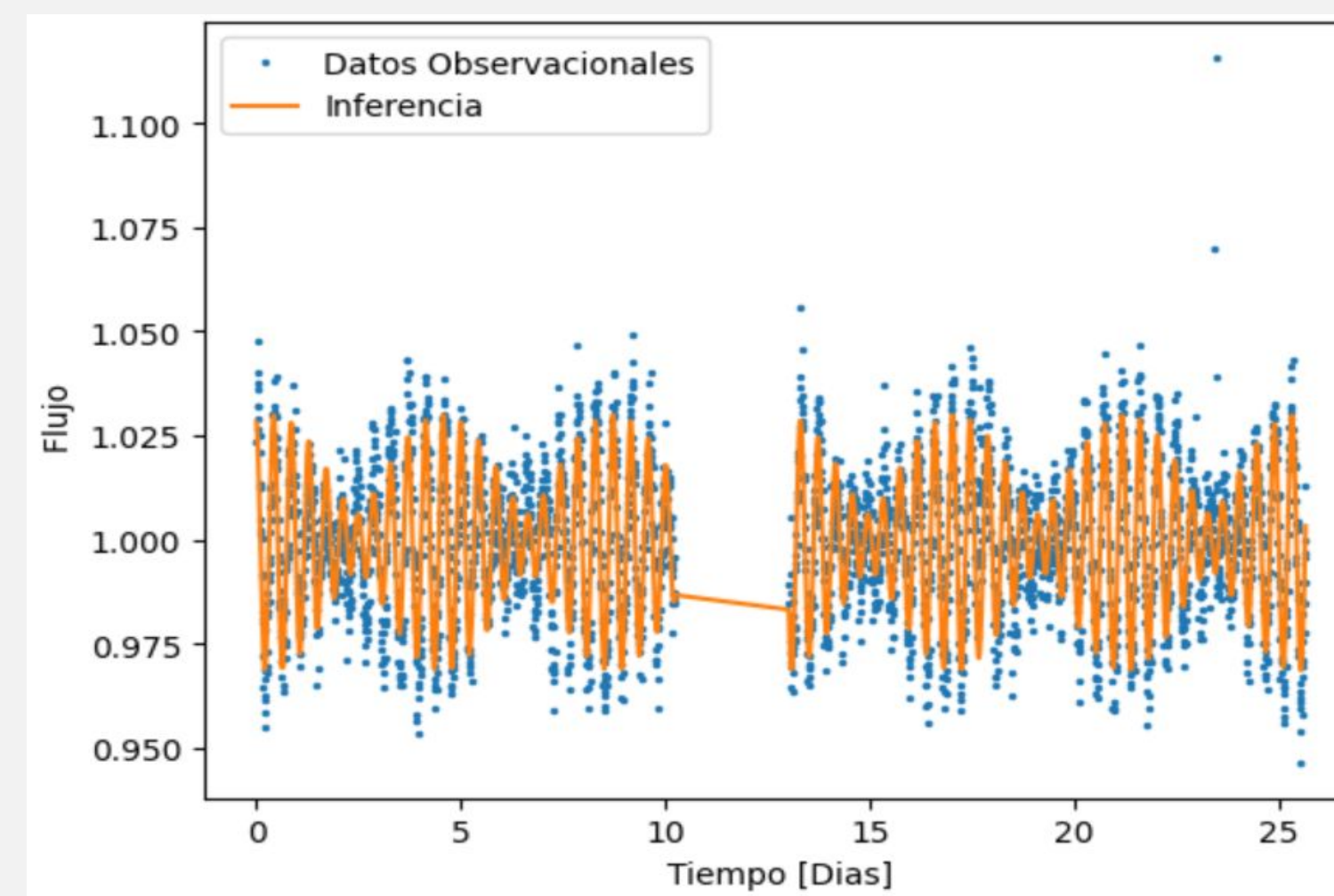


Figura 6: Comparativa de curvas de luz, generada por starry luego de la inferencia Bayesiana y los datos observacionales de CVSO315

El análisis generó distribuciones posteriores bien definidas para la mayoría de los parámetros, destacándose una correlación significativa entre lat_1 y $alpha$. El ajuste teórico alcanzó un error cuadrático medio (MSE) de $8.56e-5$ en comparación con datos observados del satélite TESS, lo que sugiere una concordancia razonable además de presentar la misma forma que la curva de luz observacional

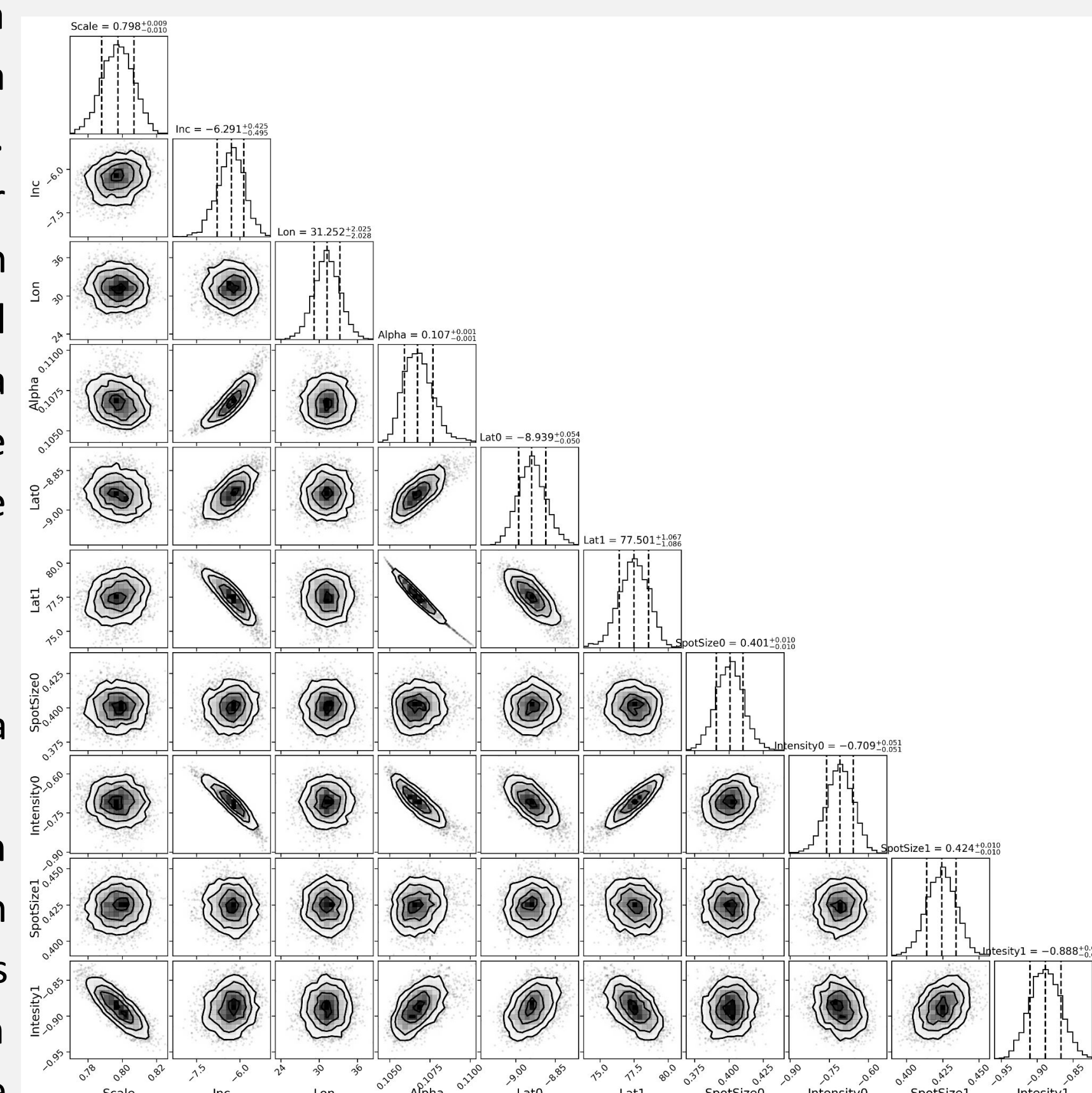


Figura 8: Corner plot de los valores posteriores de la inferencia a los cuales se ajustan mejor a la curva observada.

Referencias

- [1] Rodrigo Luger et al. «STARRY: Analytic occultation light curves». En: The astronomical journal 157.2 (2019), pág. 64.
- [2] E Zari et al. «3D mapping of young stars in the solar neighbourhood with Gaia DR2». En: Astronomy & Astrophysics 620 (2018), A172
- [3] César Briceño et al. «The CIDA Variability Survey of Orion OB1. II. Demographics of the Young, Low-mass Stellar Populations». En: The Astronomical Journal 157.2 (2019), pág. 85.
- [4] Serna et al 2024, in preparation.
- [5] Cameron PM Bell, Simon J Murphy y Eric E Mamajek. «A stellar census of the nearby, young 32 Orionis group». En: Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 468.1 (2017), págs. 1198-1220