



Astrometría y medida del diámetro estelar en la ocultación de HD 61660 por Ganimedes (14 Octubre 2025)

E. Velasco

Agrupación Astronómica de Madrid
Grupo de Cálculo Astronómico de FAAE

CEA 2026, Sabadell

- **Grupo de Estudios de la AAM**

<https://www.aam.org.es/>



- **Proyecto OLED (AAM-FAAE-SAF-IOTA)**



<https://sites.google.com/aam.org.es/oled>

- **Grupo de Cálculo Astronómico FAAE**



JCAAC

Journal of Computational Astronomy and Astronomical Computing

<https://jcaac.org/>

Journal of Computational Astronomy & Astronomical Computing

Revista de astronomía computacional y cálculo astronómico

Nº 5. April 2026

In this issue:

Editorial

- 5 **Occultation of HIP 37442 by Ganymede: astrometry and measurement of stellar diameter** Enrique Velasco
- 25 **Cálculo de eventos del terminador lunar** Sergio Díaz
- 41 **Sistema de supervisión de seguridad instrumental y evaluación del seeing en un observatorio solar** Javier de Elías
- 59 **Astronomical Computing: Efemérides precisas mediante integración numérica. Aplicación a los planetas y al asteroide Apophis** Tomás Alonso
- 85 **Software for Photometry & Astrometry: Cómo analizar tránsitos de exoplanetas con AstrolmageJ** Ramón Naves y Montse Campàs

Edited by **Federación de Asociaciones Astronómicas de España** in Madrid (c/Serrano, 117)

The Journal of Computational Astronomy & Astronomical Computing is an effort by the FAAE - Grupo de Cálculo Astronómico (GCA) to encourage the use of software tools and the development of codes and algorithms for astronomical applications within the framework of amateur astronomy, as well as to connect the amateur community with the professional astronomy community and promote cross-collaboration and ProAm projects between both groups.



Sociedad Española de
Astronomía



Federación de Asociaciones
Astronómicas de España



This work is licensed under a Creative
Commons Attribution 4.0 License

JCAAC (2026), 5, 25–39

APPLICATIONS

Cálculo de eventos del terminador lunar

Sergio Díaz Ruiz

Asociación Astronomía Sevilla, Spain. E-mail: sergio.diaz.ruiz@gmail.com

Keywords: Terminador lunar, Efemérides, Aplicación web, python, streamlit, flask, three.js, 3D, Digital Elevation Model

© Este artículo está protegido bajo una licencia Creative Commons Attribution 4.0 License

Resumen

La observación de la Luna siempre es fascinante. En particular, el terminador, esa línea que separa la zona iluminada y la zona en sombra en la Luna, recibe la luz en un ángulo muy rasante por lo que el juego de luces y sombras debido al relieve, junto con la ausencia del efecto suavizador de la atmósfera, resulta dramático. Se revelan cordilleras, paredes y picos centrales de cráteres, rugosidades, crestas y depresiones, con máximo contraste, generando esos *claroscuros* tan pintorescos. Para la observación de un accidente selenográfico es fundamental calcular las condiciones de iluminación. En este artículo se presenta la herramienta *LunarTerm3d*, que permite determinar los instantes en los que el terminador matutino o vespertino lunar alcanza un punto selenográfico dado y por ello puede ser de interés para la planificación de observaciones visuales y fotográficas.

Abstract

Observing the Moon is always fascinating. In particular, the terminator, the line separating the illuminated and shadowed areas of the Moon, receives light at a very low angle, so the play of light and shadow due to the relief, together with the absence of the softening effect of the atmosphere, is dramatic. Mountain ranges, walls and central peaks of craters, roughness, ridges and depressions are revealed with maximum contrast, generating those picturesque *chiaroscuro* effects. To observe a selenographical feature, it is essential to calculate the lighting conditions. This article presents the tool *LunarTerm3d*, which allows you to determine the moments when the lunar morning or evening terminator reaches a given selenographic point and may therefore be of interest for planning visual and photographic observations.

1. Introducción

Para estimar las condiciones de iluminación se usa habitualmente la **edad lunar**, es decir, los días transcurridos desde la Luna nueva más reciente. De manera equivalente, se puede especificar la **fase** junto con la **fracción iluminada**, habitualmente dada como un porcentaje. De hecho, es habitual que indiquemos estos valores en nuestros dibujos y fotos de la Luna.

Sin embargo, tanto la edad como la fase lunar están ligadas a nuestra *perspectiva de observación desde la Tierra*, mientras que *las condiciones de iluminación solo dependen de las posiciones relativas de la Luna y el Sol*. La órbita lunar no es circular y por tanto su velocidad varía conforme avanza en su cada rotación, por lo que las *lunaciones* (intervalo entre fases idénticas) no siempre duran lo mismo, es decir, el *período sinódico* no es constante. El valor *promedio* es de aproximadamente 29.5 días, pero puede variar hasta 7 horas alrededor del mismo [1]. Si a esto le unimos que la órbita lunar está inclinada unos 5° respecto de la eclíptica (el plano de la órbita terrestre), el efecto combinado lleva a que la Luna *no siempre presente exactamente la misma cara hacia la Tierra*. Este cabeceo aparente de la Luna, que se produce tanto en longitud como en latitud, se denomina **libración**. Incluso el movimiento diurno de

JCAAC (2026), 5, 41–57

HARDWARE

Sistema de supervisión de seguridad instrumental y evaluación del seeing en un observatorio solar

Javier de Elías

Agrupación Astronómica de Madrid, Spain. E-mail: javiendeelias@gmail.com

Keywords: Hardware, seeing, observatorio solar.

© Este artículo está protegido bajo una licencia Creative Commons Attribution 4.0 License
Este artículo adjunta un *software* accesible en <https://github.com/JCAAC-FAAE>

Resumen

En este trabajo se presenta el diseño e implementación de un sistema integrado para la supervisión de la seguridad instrumental y la evaluación del seeing en observatorios solares que compartan montura con telescopios de observación nocturna. La solución propuesta combina un dispositivo compacto de medida —equipado con fotorecistencias destinadas a detectar la entrada de luz en tubos nocturnos y un fotodiodo infrarrojo para monitorizar el centelleo solar— con una aplicación de control desarrollada en Python que comunica con la montura mediante el protocolo ASCOM Alpaca. El sistema actúa de manera autónoma y en tiempo real: identifica situaciones de riesgo derivadas de una exposición accidental al Sol y aplica medidas correctoras intrínsecas para proteger la instrumentación nocturna; simultáneamente, proporciona una estimación continua del seeing solar basada en el análisis estadístico de las fluctuaciones de intensidad registradas por el fotodiodo. Se describe la arquitectura hardware y software, incluyendo el diseño electrónico, las envolventes mecánicas imprimibles en 3D y los mecanismos de control de seguridad. Las pruebas realizadas en un observatorio real han validado el correcto funcionamiento del sistema, demostrando tanto la eficacia de los mecanismos de protección como la coherencia de las medidas de seeing obtenidas. La solución es modular, de bajo coste y fácilmente extensible, y sienta las bases para futuras integraciones con software de captura automática en condiciones óptimas de observación.

Abstract

This work presents the design and implementation of an integrated system for instrumental safety monitoring and seeing assessment in solar observatories that share mounts with nighttime observing telescopes. The proposed solution combines a compact measurement device —equipped with photoresistors to detect light entering nighttime optical tubes and an infrared photodiode to monitor solar scintillation—with a control application developed in Python that communicates with the mount via the ASCOM Alpaca protocol. The system operates autonomously and in real time: it identifies hazardous situations arising from accidental solar exposure and applies intrusive corrective measures to protect nighttime instrumentation; at the same time, it provides a continuous estimate of solar seeing based on the statistical analysis of intensity fluctuations recorded by the photodiode. The hardware and software architecture are described, including the electronic design, 3D-printable mechanical enclosures, and safety control mechanisms. Tests conducted at an operational observatory have validated the proper functioning of the system, demonstrating both the effectiveness of the protection mechanisms and the consistency of the seeing measurements obtained. The solution is modular, low-cost, and easily extensible, and it lays the groundwork for future integration with automated acquisition software under optimal observing conditions.

Resumen

- **Relevancia de las ocultaciones en el SS**
- **Ocultación de HD *61660* por Ganímedes**
- **Análisis**
 - **astrometría**
 - **diámetro estelar**

Relevancia de las ocultaciones en el Sistema Solar

- **Un cuerpo del Sistema Solar (planeta, satélite, asteroide, transneptuniano, ...) pasa por delante de una estrella**
- **La sombra barre la superficie de la Tierra y el fenómeno se modeliza**
- **Observaciones múltiples permiten reconstruir forma, tamaño, posición, atmósfera, ... del cuerpo y a veces de la estrella**



Objetivos

- Obtener la **astrometría de Ganímedes** (mejora de efemérides)
- Estimar el **diámetro de la estrella**
HIP 37442 = HD 61660

No existen medidas directas del diámetro de HIP 37442, sólo indirectas a través de medidas fotométricas (0.44 – 0.48 mas)

P Cruzalèbes et al., *A catalogue of stellar diameters and fluxes for mid-infrared interferometry*, MNRAS **490**, 3, 3158 (2019)

A&A 420, 1171–1183 (2004)
DOI: 10.1051/0004-6361:20034565
© ESO 2004

**Astronomy
&
Astrophysics**

New accurate ephemerides for the Galilean satellites of Jupiter

I. Numerical integration of elaborated equations of motion

V. Lainey¹, L. Duriez^{1,2}, and A. Vienne^{1,2}

¹ Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Éphémérides – Observatoire de Paris, UMR 8028 du CNRS,
77 avenue Denfert-Rochereau, 75014 Paris, France

² Université Lille1 IMCCE/LAL, 1 Impasse de l'Observatoire, 59000 Lille, France

Received 23 October 2003 / Accepted 15 March 2004

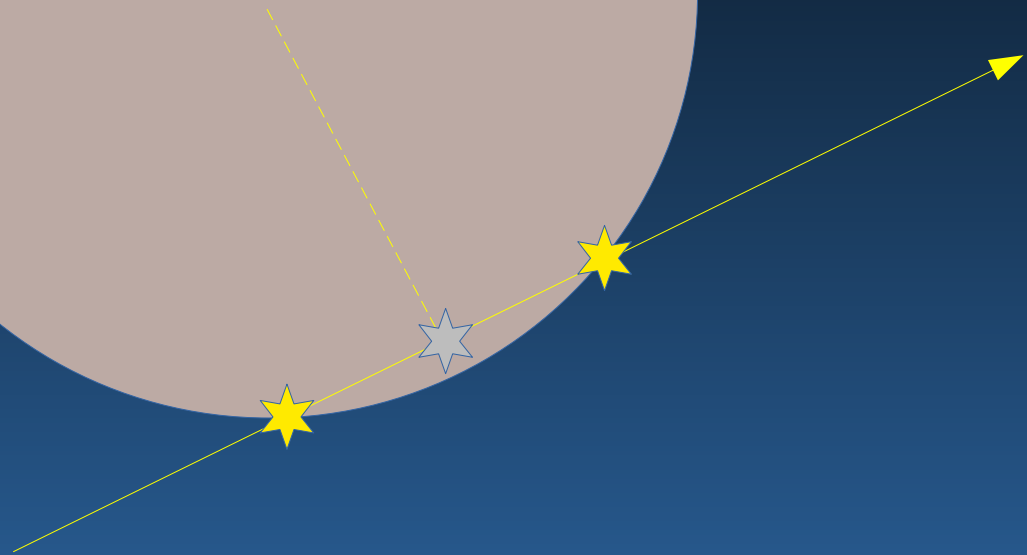
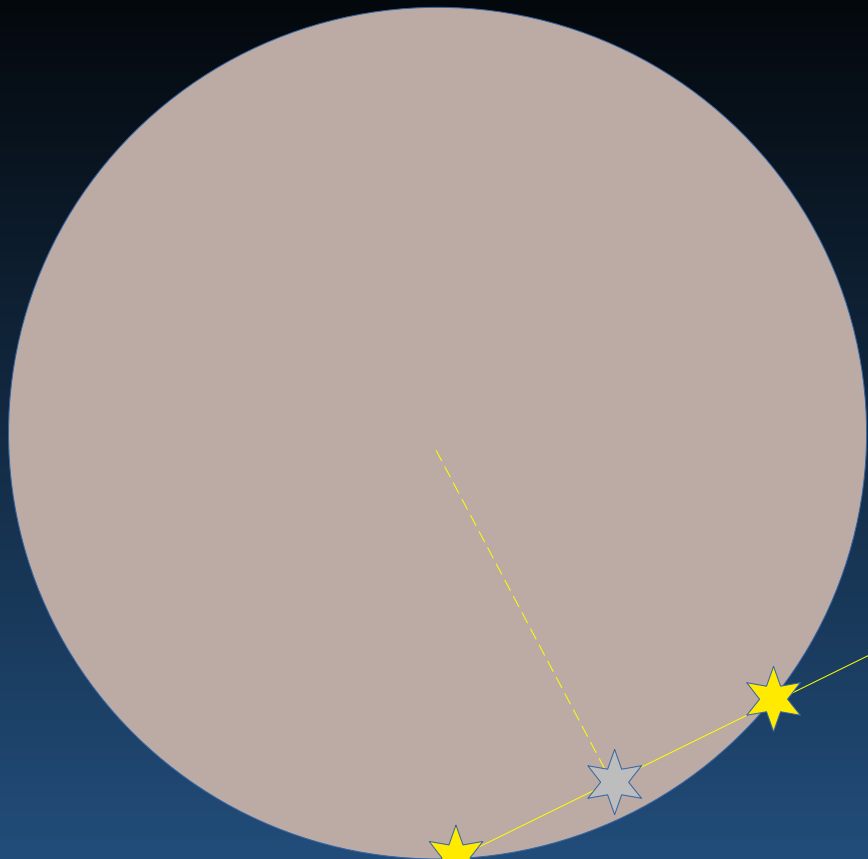
Abstract. We present a new theory of the four Galilean satellites Io, Europa, Ganymede and Callisto. This theory aims to deliver highly accurate ephemerides able to represent the Galilean satellites' motion over several centuries. It is based on the numerical integration of elaborated equations of motion. This first paper describes and tests many usually neglected perturbations. We are then able to retain some of them in the dynamical model for the Galilean system. A numerical method developed to adjust the model to the observations is given. We used a general formalism so it can be extended to systems other than the Galilean one. As an example of this method, we compare our model to the current E5 ephemerides of the four Galileans.

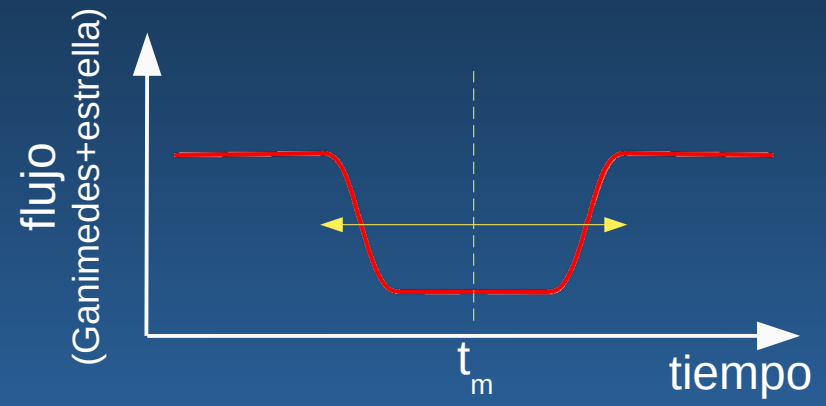
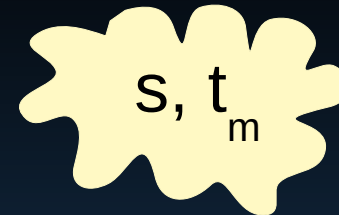
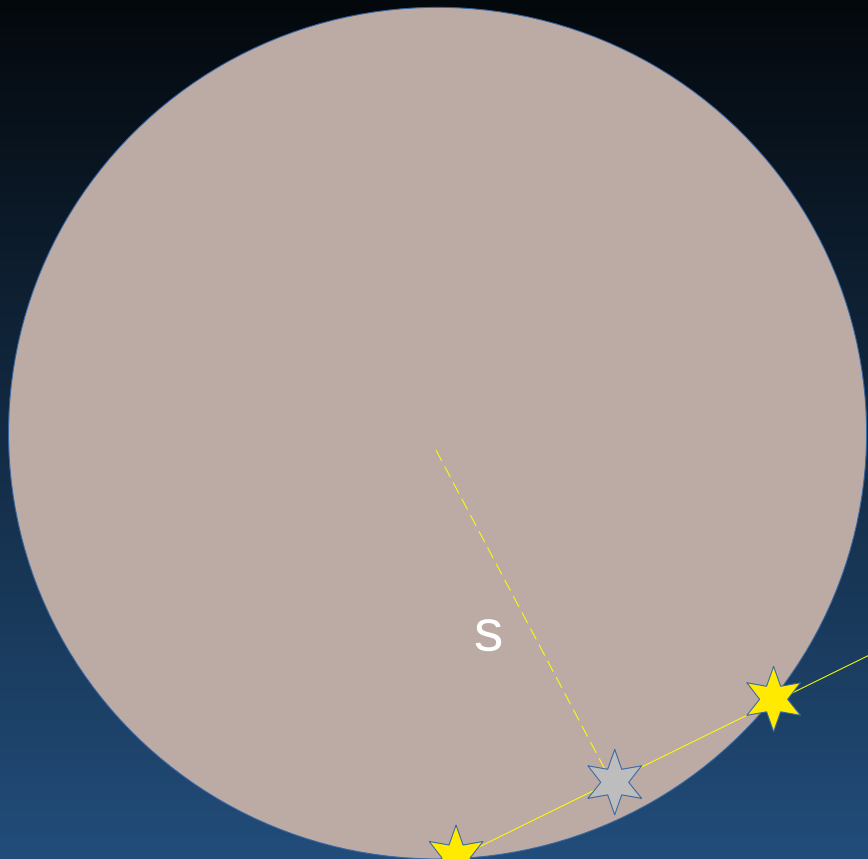
Key words. celestial mechanics – planets and satellites: individual: Jupiter – ephemerides



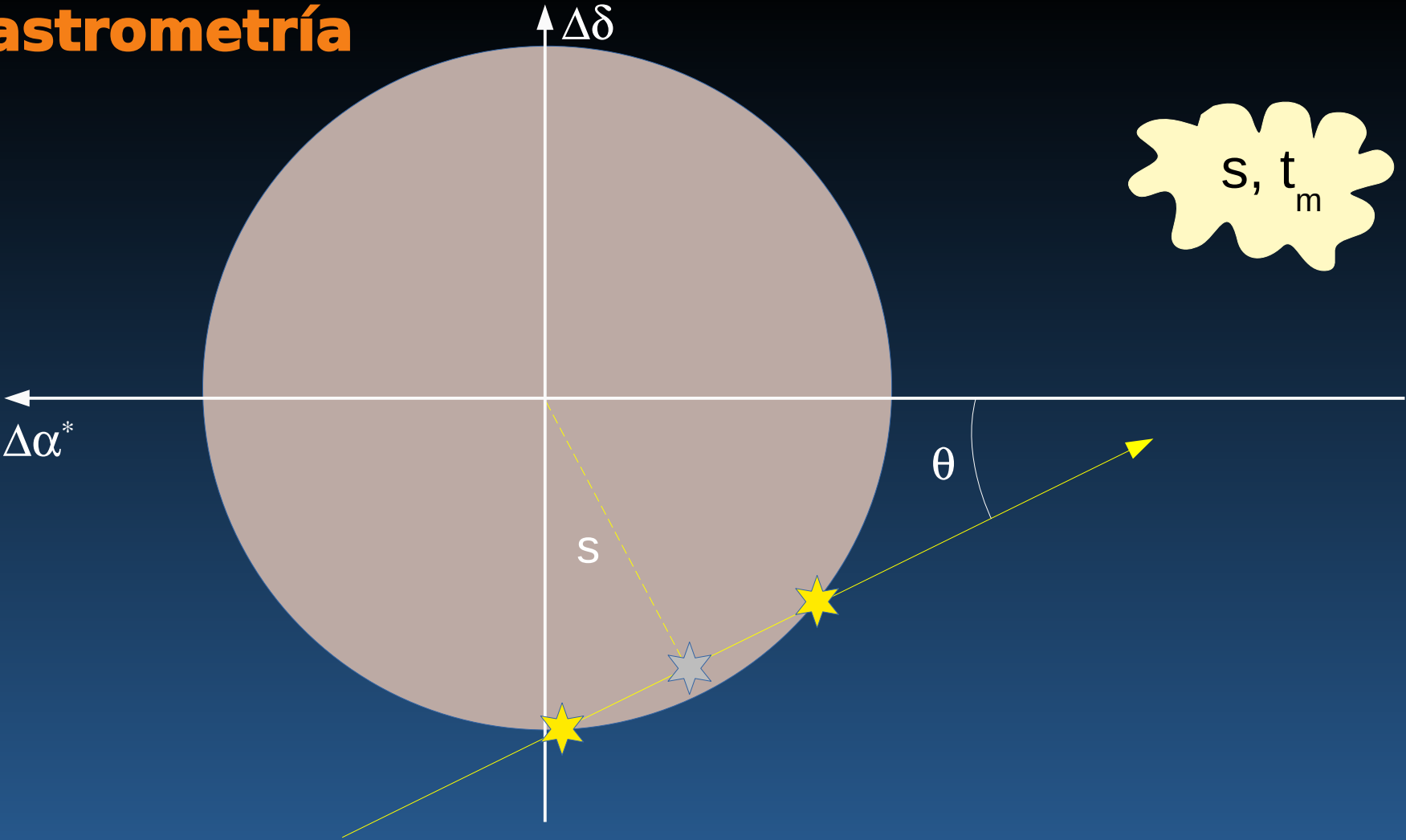
Velocidades aparentes y resolución angular

- **Luna:** $0.4''/\text{s}$ → **4 mas** muestreando a 10 ms
- **Asteroides cinturón principal:** $0.03''/\text{s}$
→ **0.3 mas** a 10 ms
- **Satélite galileano:** $0.001''/\text{s}$
→ **0.01 mas** a 10 ms !!

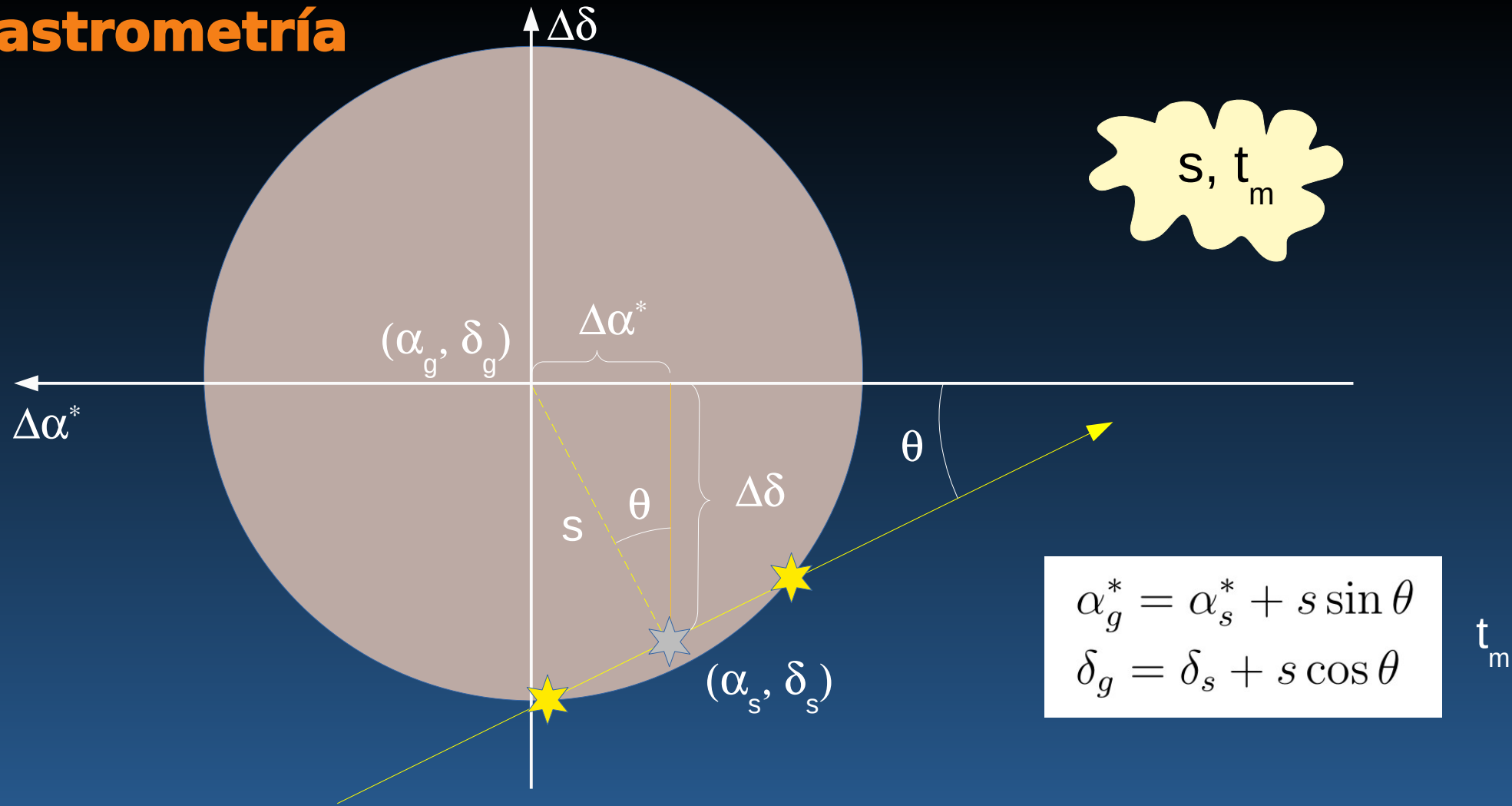




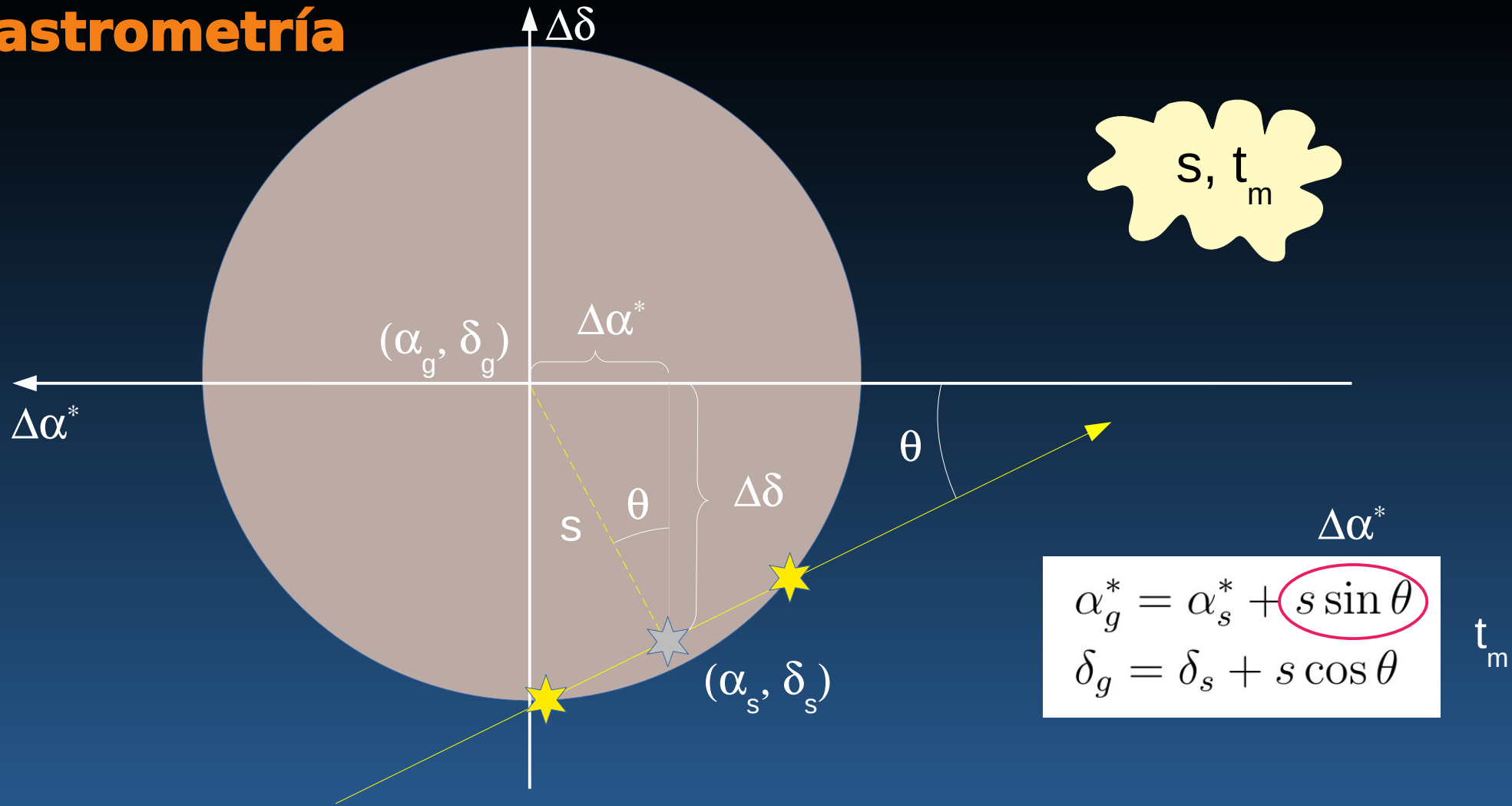
astrometría



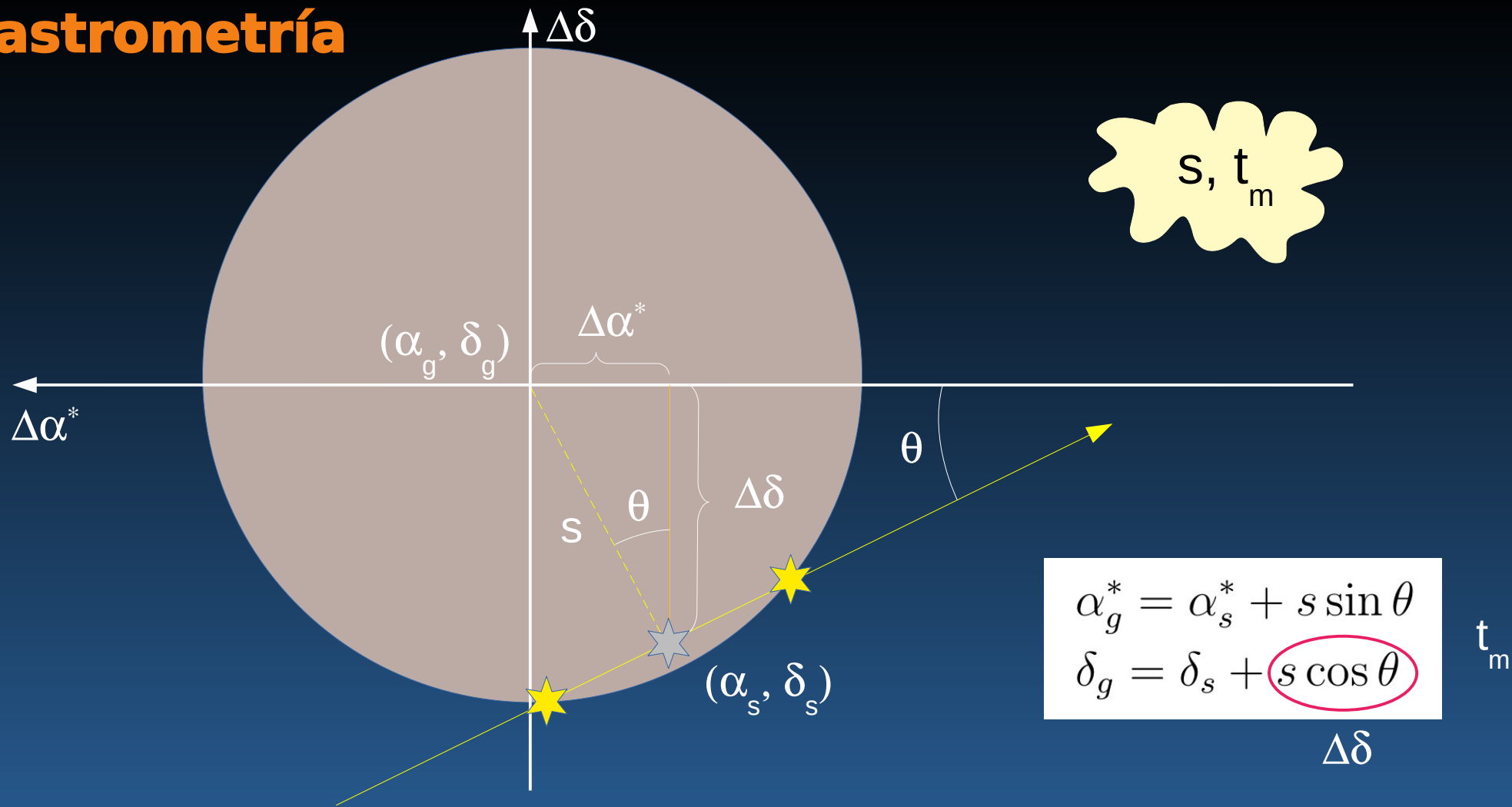
astrometría



astrometría



astrometría



**modelo físico
de curva de luz**

**FLUJO
(curva de luz)**

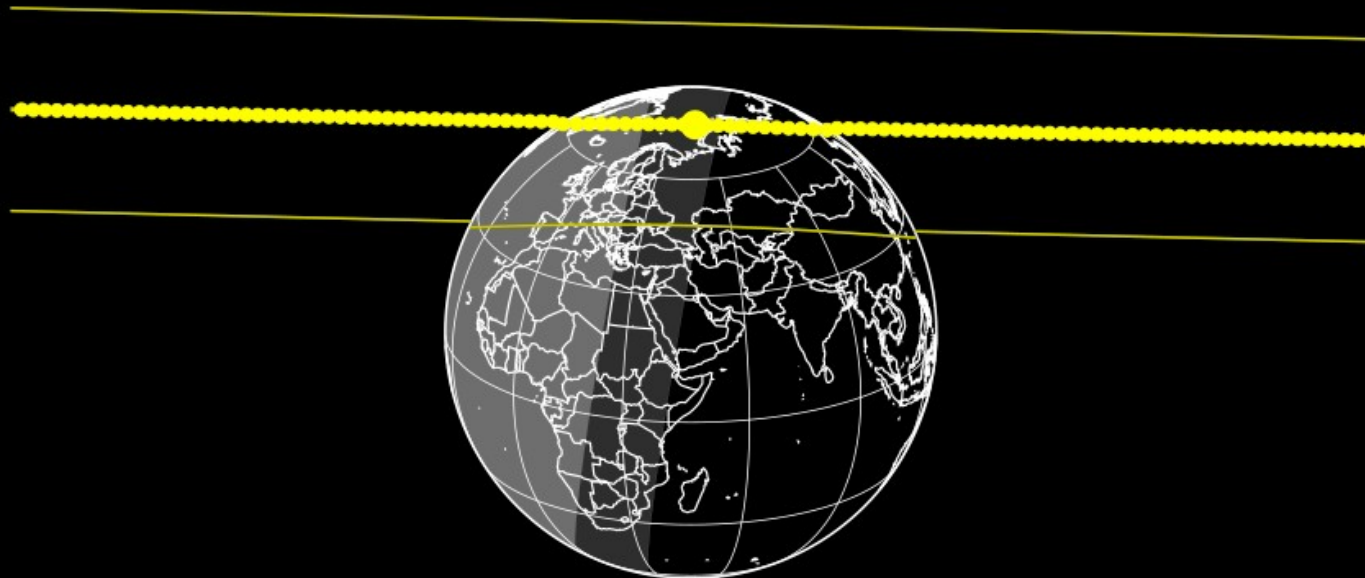


```
graph LR; A[FLUJO (curva de luz)] --> B[modelo físico de curva de luz]; B --> C[s, t_m]
```

The diagram illustrates a process flow. It begins with the text 'FLUJO (curva de luz)' in white on the bottom left. A blue arrow points from this text to a yellow, cloud-like shape in the upper center containing the text 'modelo físico de curva de luz' in blue. Another blue arrow points from the yellow shape to the text 's, t_m' in white on the bottom right.

s, t_m

Ganymede, GaiaDR3+pmGaiaDR3, INPOP19a-NOE5-2023app.dis.to planet: 9.3R_p
updated: 2024-08-30 by Lucky Star



yyyy mm dd hh:mm:ss.s	RA_star_J2000	DE_star_J2000	C/A	P/A	vel	Delta	G	RP	H
2025-10-14 03:04:44.7	07 41 12.7200	+21 26 47.821	1.447	1.43	5.12	5.1298	7.5	6.8	5.3

1416 mas

relación de
tamaños = 3147

Ganimedes

HIP 37442

~0.4 mas

$v_0 = 1.31 \text{ mas/s}$



1416 mas

relación de
tamaños = 3147

Ganimedes

0.34 s

x

s

τ

HIP 37442

~ 0.4 mas

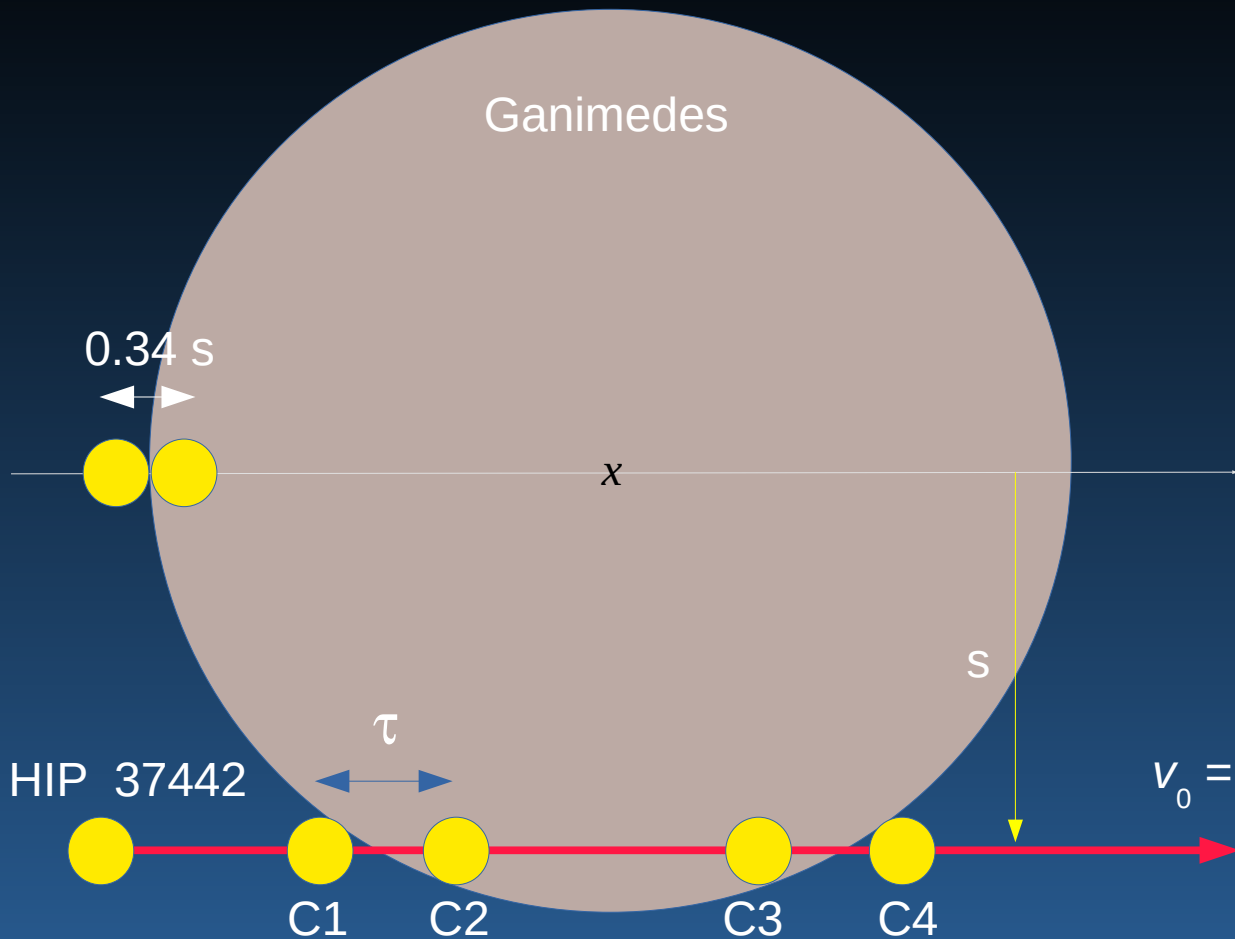
C1

C2

C3

C4

$v_0 = 1.31$ mas/s



Estaciones

observador	$\lambda(^{\circ})$ $\varphi(^{\circ})$	elev (m)	UTC _m	$\alpha_g^{(m)}$ (h m s) $\delta_g^{(m)}$ ($^{\circ}$ ' ")	v_0 ("/min)	$\theta(^{\circ})$
Velasco	−04.248473 +41.151615	851	02:51:12.000	+07 41 12.71776 +21 26 48.5227	0.07838	−0.06154
Molina	−04.248446 +41.151586	851	02:51:12.000	+07 41 12.71776 +21 26 48.5227	0.07838	−0.06154
Prieto	−03.706725 +41.601389	905	02:51:26.000	+07 41 12.71804 +21 26 48.5150	0.07837	−0.08086
Hernández	−06.987778 +42.222500	1272	02:51:02.000	+07 41 12.71806 +21 26 48.4777	0.07865	−0.03919

$$v_0 = 0.0784 \text{ ("/min)} = 1.31 \text{ mas/s} \sim 5 \text{ km/s}$$

Fotometría

F_g flujo Ganimedes

F_s flujo estrella

$$\left. \begin{array}{l} m_g = 5.31 \\ m_s = 7.87 \end{array} \right\} \text{(visual)}$$

$$F_s = 10^{-0.4m_s} = 0.000711, \quad F_g = 10^{-0.4m_g} = 0.007516$$

$$f = \frac{F_s}{F_s + F_g} = 0.08644 \quad (\text{parámetro a determinar})$$

Tamaños

R_s radio aparente de la estrella

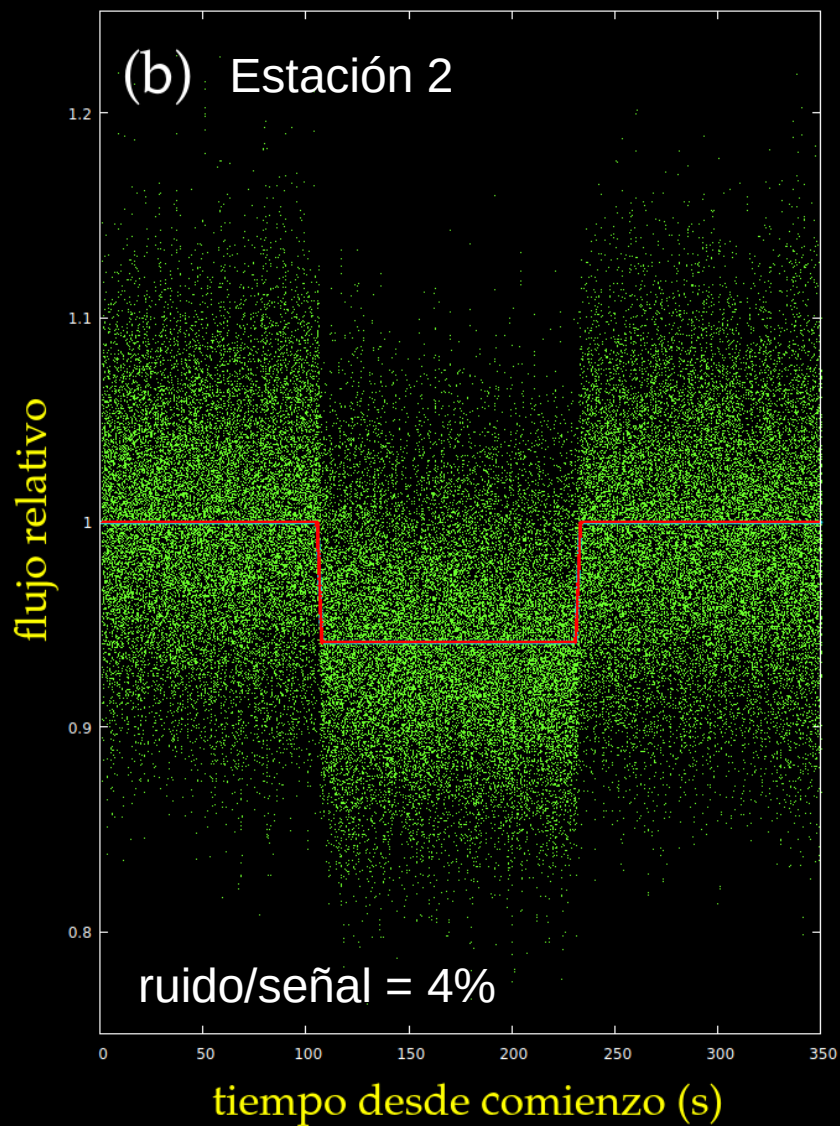
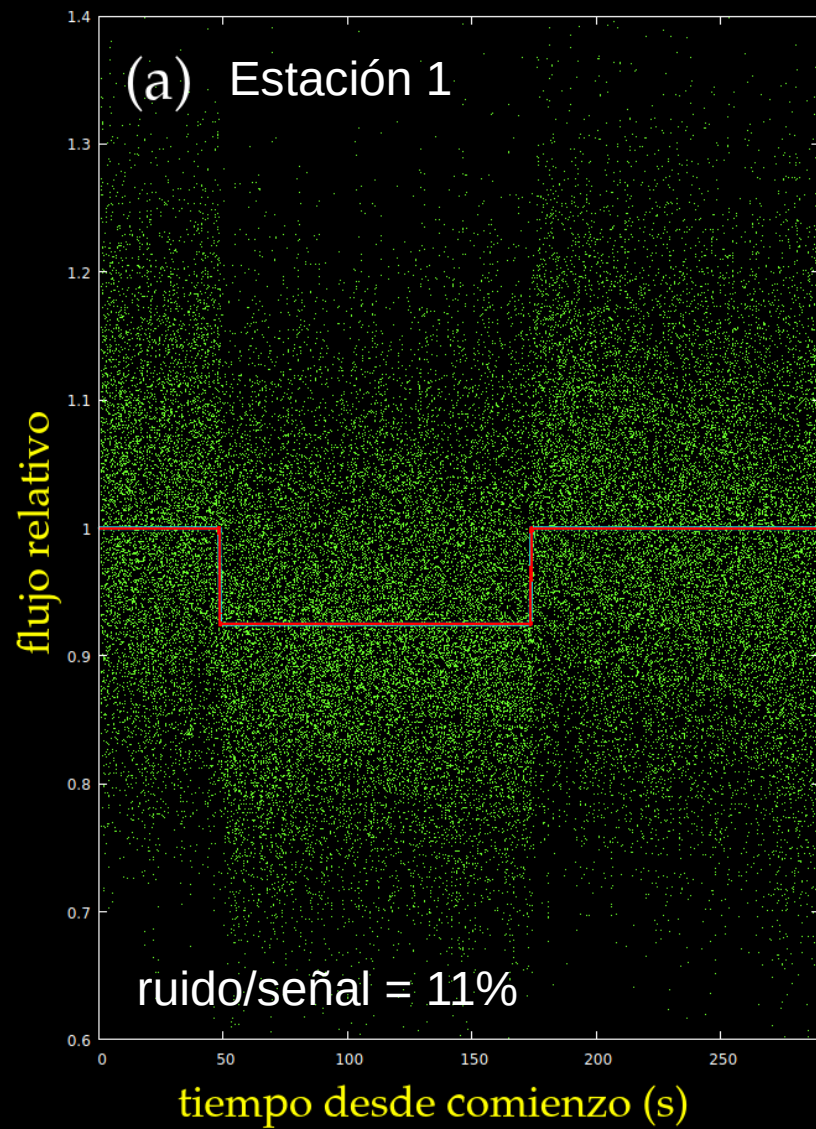
R_g radio aparente de Ganimedes

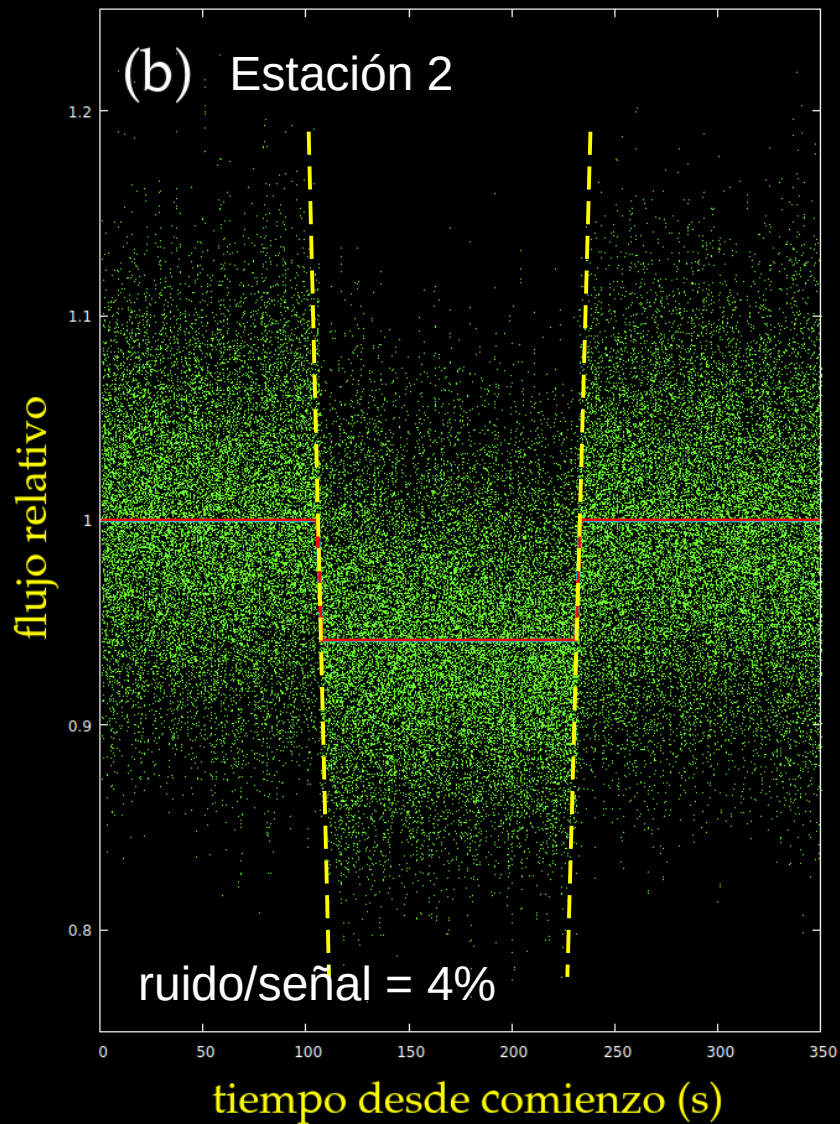
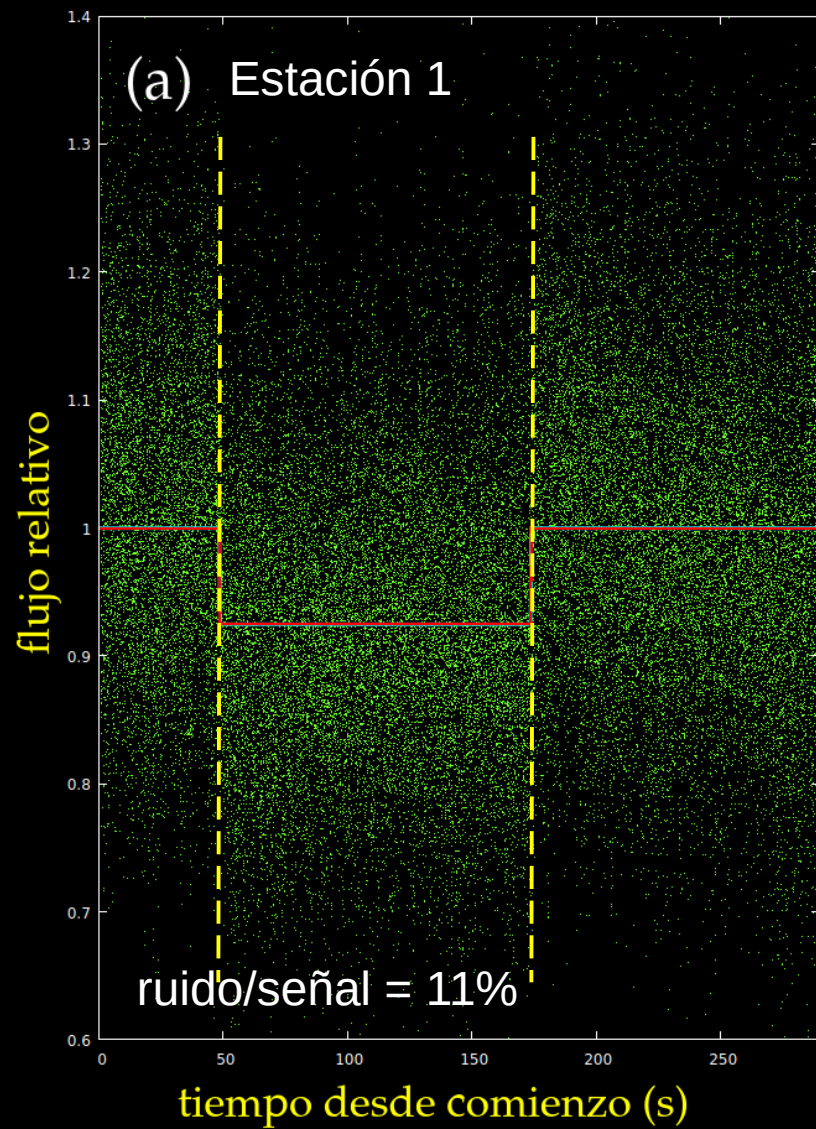
$$a_s = \pi R_s^2, \quad a_g = \pi R_g^2$$

$$\sin R_g = \frac{2634}{5.130 \times 149597870.7} = 3.432 \times 10^{-6}, \quad R_g = 708 \text{ mas}$$

(lo tomamos como fijo)

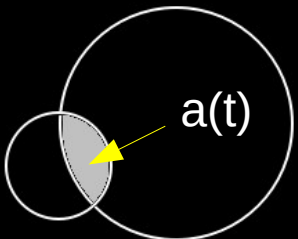
 $\Delta = 5.130 \text{ UA}$





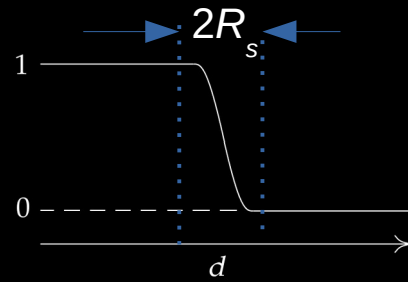
Modelo de curva de luz $F(t)$

Modelo simplificado. Sólo tiene en cuenta las áreas y discos uniformemente iluminados

$$F(t) = \frac{1}{F_s + F_g} \left[\overbrace{F_s \left(1 - \frac{a(t)}{a_s} \right)}^{\text{flujo de la estrella}} + \underbrace{F_g}_{\text{flujo de Ganímedes}} \right],$$


$$F(t) = f \left(1 - \frac{a(t)}{a_s} \right) + 1 - f = 1 - f \frac{a(t)}{a_s} + f_0$$

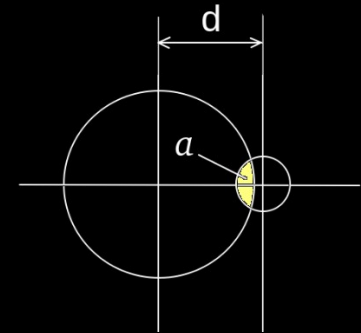

Área de solape $a(d)$



$$a = \eta a_s,$$

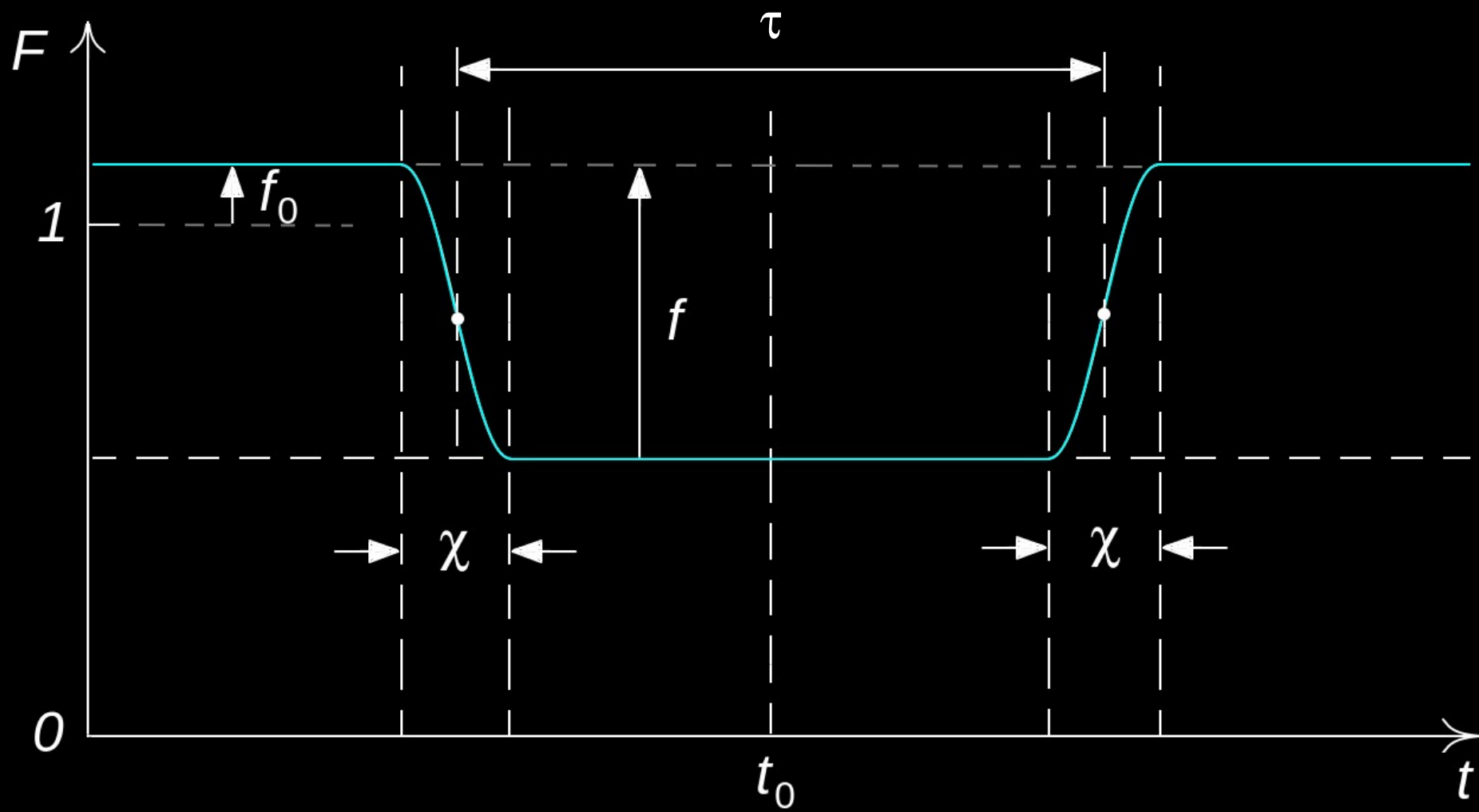
$$\eta = \begin{cases} 0, \\ \frac{1}{\pi} \left[\left(\frac{R_g}{R_s} \right)^2 \arccos \left(\frac{d^2 + R_g^2 - R_s^2}{2dR_g} \right) + \arccos \left(\frac{d^2 + R_s^2 - R_g^2}{2dR_s} \right) \right. \\ \left. - \frac{1}{2R_s^2} \sqrt{(R_g + R_s + d)(R_g + R_s - d)} \right. \\ \left. \times \sqrt{(R_g - R_s + d)(R_s - R_g + d)} \right], \\ 1, \end{cases}$$

$$d \geq R_g + R_s$$



$$R_g - R_s < d < R_g + R_s,$$

$$d \leq R_g - R_s.$$



Ajuste a modelo de curva de luz

Método de mínimos cuadrados:

$$\chi^2(f_0, f, \xi, t_0, R_s) = \sum_{i=1}^N \left[\frac{F(t_i; f_0, f, \xi, t_0, R_s) - F_i}{\sigma_i} \right]^2$$

- Minimización de χ^2 con respecto a **cinco** variables
- Minimización parcial con respecto a **cuatro** variables

$$f_0, f, \xi, t_0 \quad \longrightarrow \quad \tilde{\chi}^2(R_s)$$

f_0	f	t_0 (s)	s/R_g	R_s (mas)	$\chi^2_{\min}$
-0.0110	0.07514	111.185	0.99331	0.0301	0.8137407821
-0.0112	0.07514	111.084	0.99362	0.0000	0.8137292178

+0.014 0/00

f_0	f	t_0 (s)	s/R_g	R_s (mas)	$\chi^2_{\min}$
+0.0008	0.05521	169.353	0.99333	0.1749	1.0881615683
+0.0008	0.05521	169.322	0.99365	0.0000	1.0883591921

-0.182 0/00

f_0	f	t_0 (s)	s/R_g	R_s (mas)	$\chi^2_{\min}$
-0.0052	0.05381	147.580	0.98209	0.0478	0.9928020459
-0.0050	0.05381	147.681	0.98216	0.0000	0.9927702967

+0.032 0/00

f_0	f	t_0 (s)	s/R_g	R_s (mas)	$\chi^2_{\min}$
-0.0144	0.06923	229.698	0.93014	0.0052	0.9571599905
-0.0138	0.06977	228.336	0.92936	0.0000	0.9570110732

+0.156 0/00

Estación 2

alfa normalizacion flujo 1 : 0.00080
 FS/(FS+FG) flujo estrella : 0.05521
 RS radio estrella (mas) : 0.17489 $\leftarrow 2 R_s = 0.35 \text{ mas}$
 s parametro de impacto : 0.99329
 t0 max acercamiento : 169.35227
 UTC max acercamiento : 2.5112352 $\leftarrow 02:51:49 +37s$
 UTC C1 : 2.5008516
 UTC primer contacto medio : 2.5009664
 UTC C2 : 2.5010831
 UTC C3 : 2.5213873
 UTC segundo contacto medio : 2.5215041
 UTC C4 : 2.5216189
 RA* corregida : 7.41126696
 DEC corregida : 21.2647820
 RA de Ganimedes en maximo acercamiento: 7.41138735
 DEC de Ganimedes en maximo acercamiento: 21.2648505

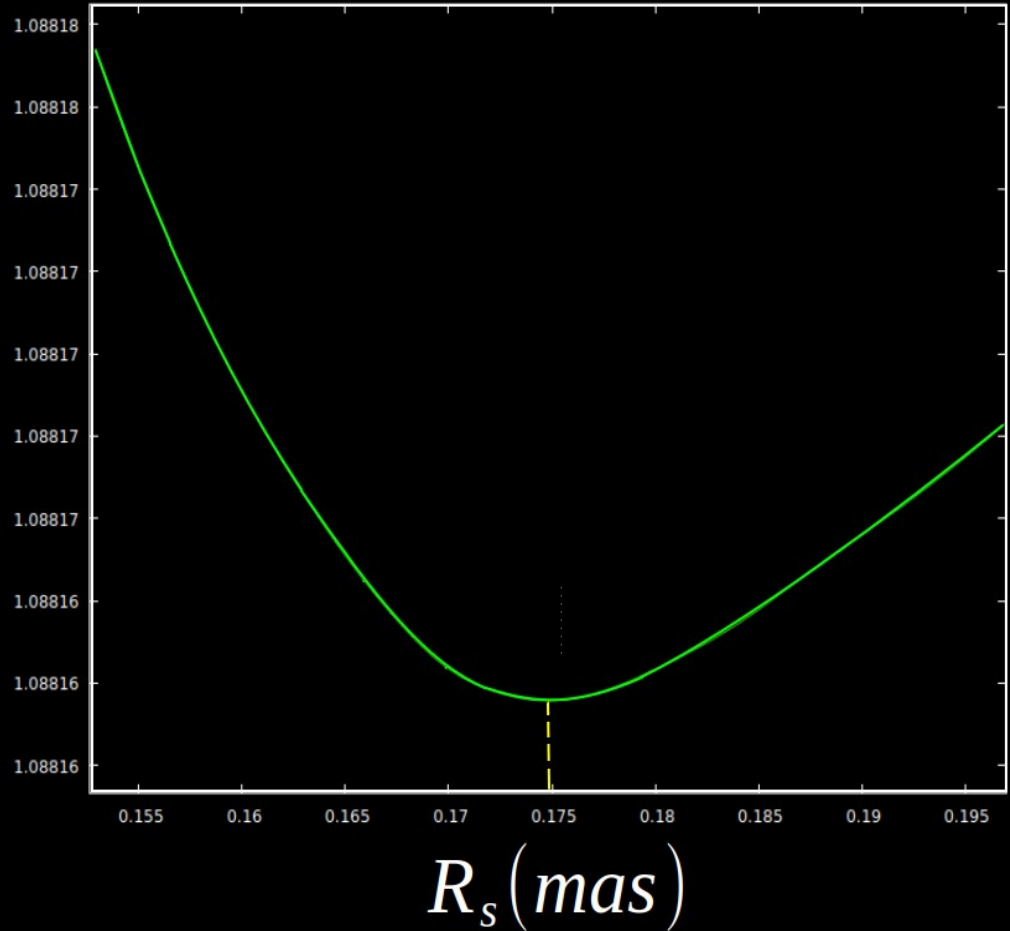
$\chi^2(R_s)$

$$C2 - C1 = C4 - C3 = 2.315s$$

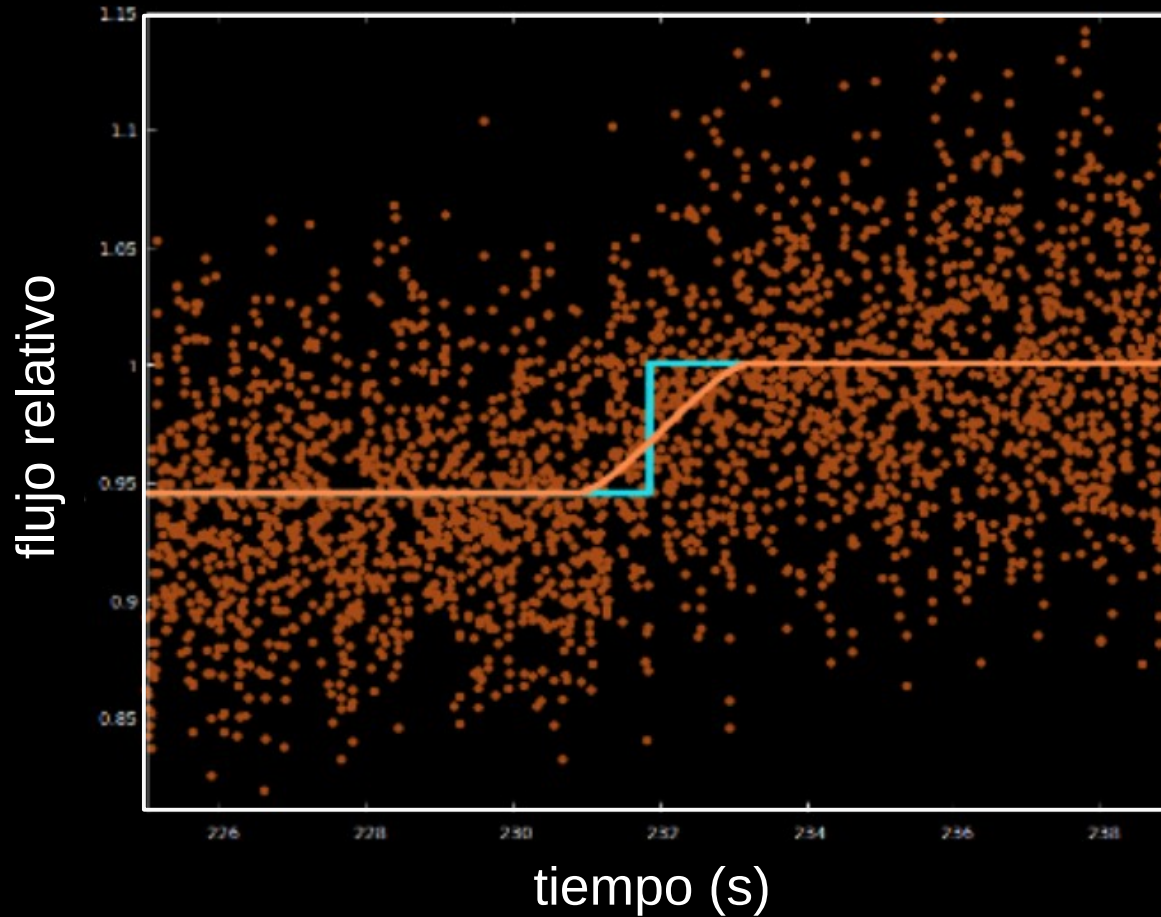
**Corrección a
efemérides de
Ganimedes**

$$O-C_{\alpha^*} = +31 \text{ mas}$$

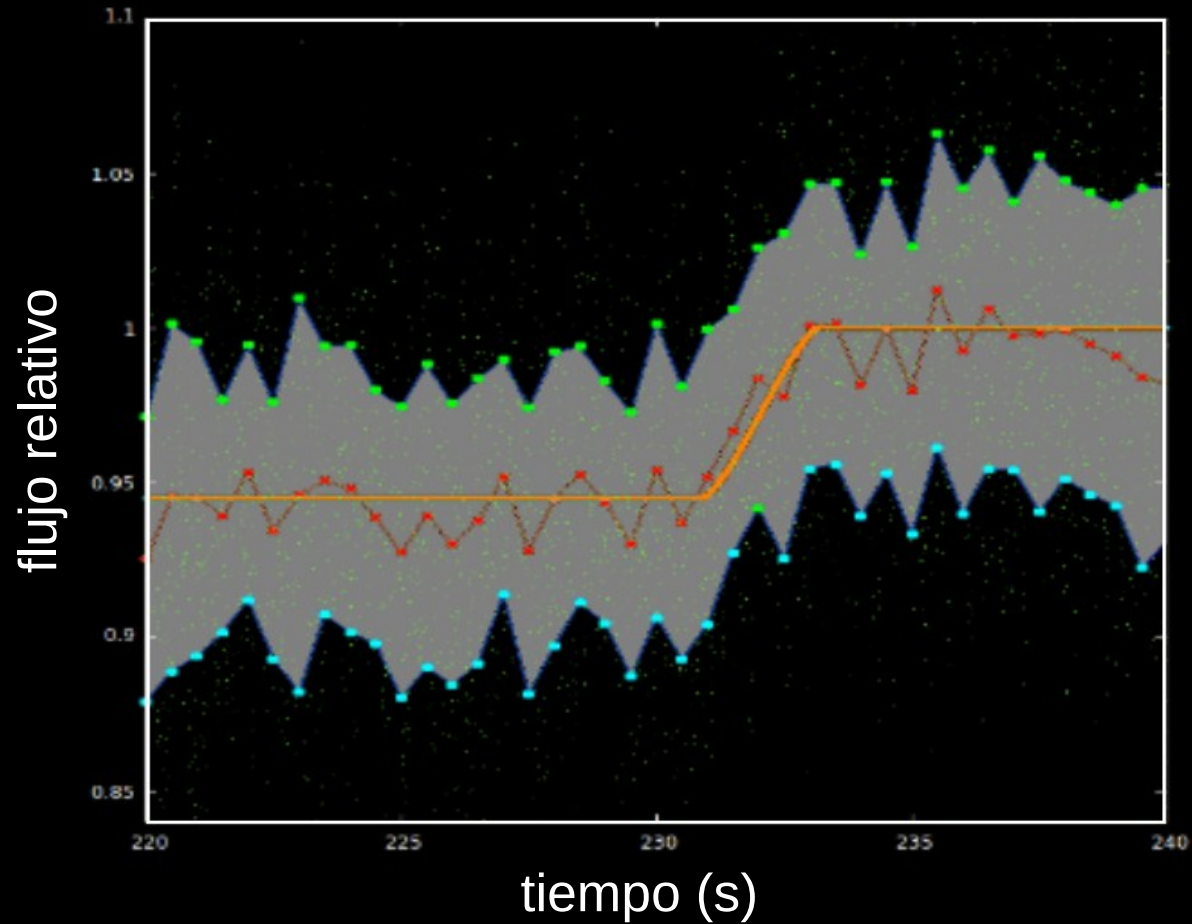
$$O-C_{\delta} = +2 \text{ mas}$$

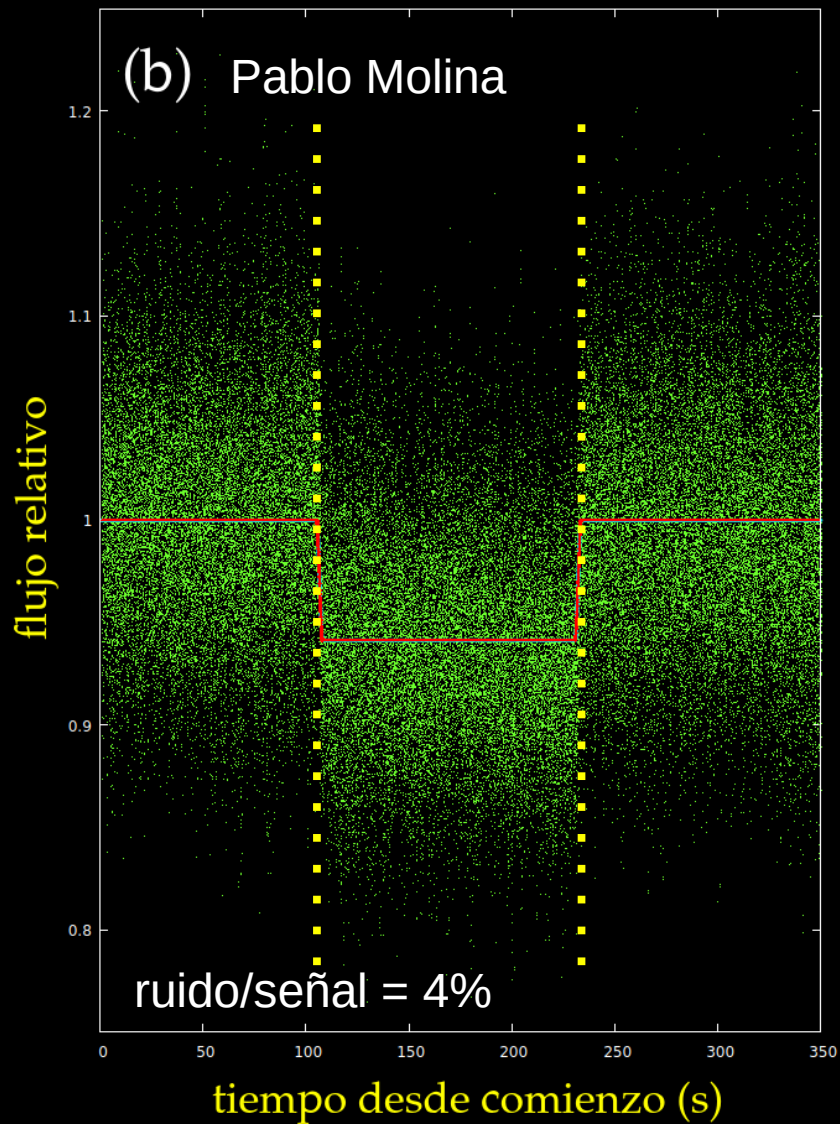
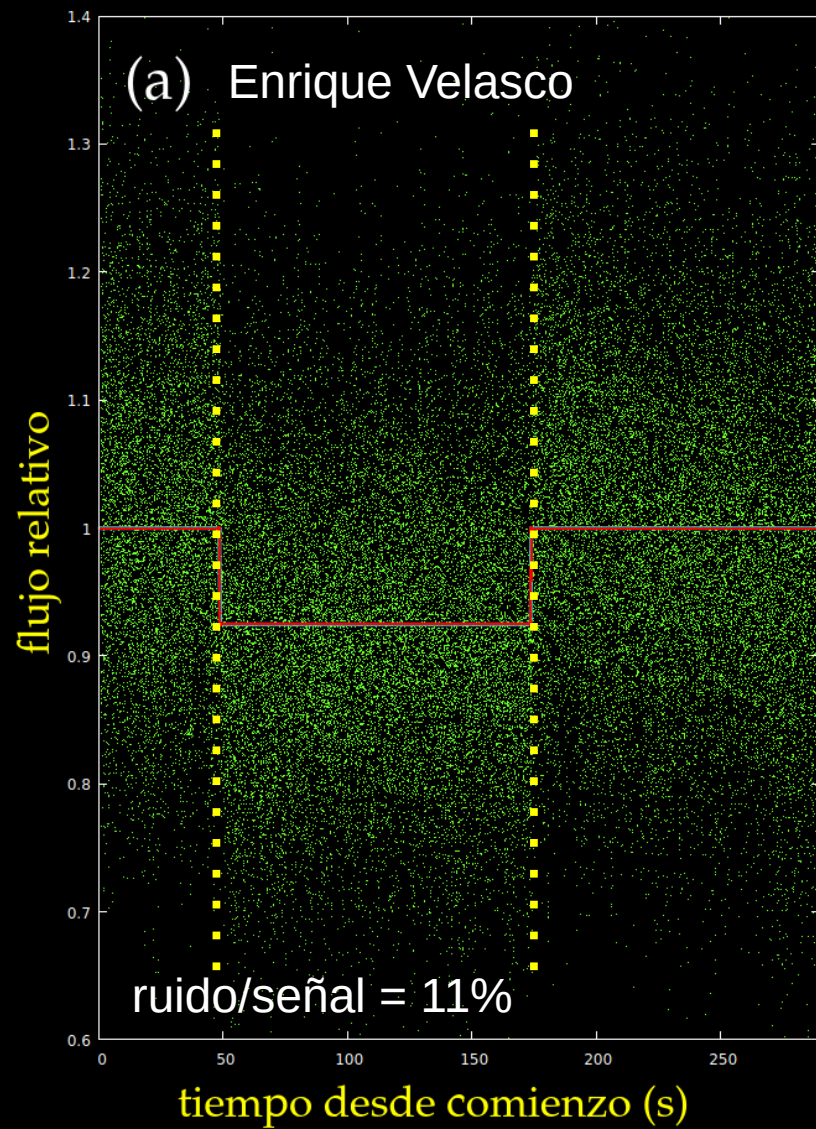


Estación 2 (emersión): comparativa modelos



Estación 2 (emersión): binning y curva de luz





estación 1

UTC (1 ^{er} contacto)	UTC (min)	UTC (2 ^o contacto)	$\alpha_g^{(0)}$ (corregida)	$\delta_g^{(0)}$ (corregida)	O-C _{α^*} (mas)	O-C _{δ} (mas)
02:50:09.442	02:51:12.084	02:52:14.726	07 ^h 41 ^h 12.7178 ^s	21°26'48.523"	+32	+2

estación 2

UTC (1 ^{er} contacto)	UTC (min)	UTC (2 ^o contacto)	$\alpha_g^{(0)}$ (corregida)	$\delta_g^{(0)}$ (corregida)	O-C _{α^*} (mas)	O-C _{δ} (mas)
C1 02:50:08.517	02:51:12.353	C3 02:50:10.833	07 ^h 41 ^h 12.7178 ^s	21°26'48.523"	+31	+2
M 02:50:09.664		M 02:52:15.041				
C2 02:50:10.833		C4 02:52:16.189				
$\tau = 2.315s$		$\tau = 2.315s$				

estación 3

UTC (1 ^{er} contacto)	UTC (min)	UTC (2 ^o contacto)	$\alpha_g^{(0)}$ (corregida)	$\delta_g^{(0)}$ (corregida)	O-C _{α^*} (mas)	O-C _{δ} (mas)
02:49:43.058	02:51:24.681	02:53:07.058	07 ^h 41 ^h 12.7201 ^s	21°26'48.516"	+30	+1

estación 4

UTC (1 ^{er} contacto)	UTC (min)	UTC (2 ^o contacto)	$\alpha_g^{(0)}$ (corregida)	$\delta_g^{(0)}$ (corregida)	O-C _{α^*} (mas)	O-C _{δ} (mas)
02:47:40.717	02:50:59.336	02:54:19.718	07 ^h 41 ^h 12.7200 ^s	21°26'48.479"	+31	+1

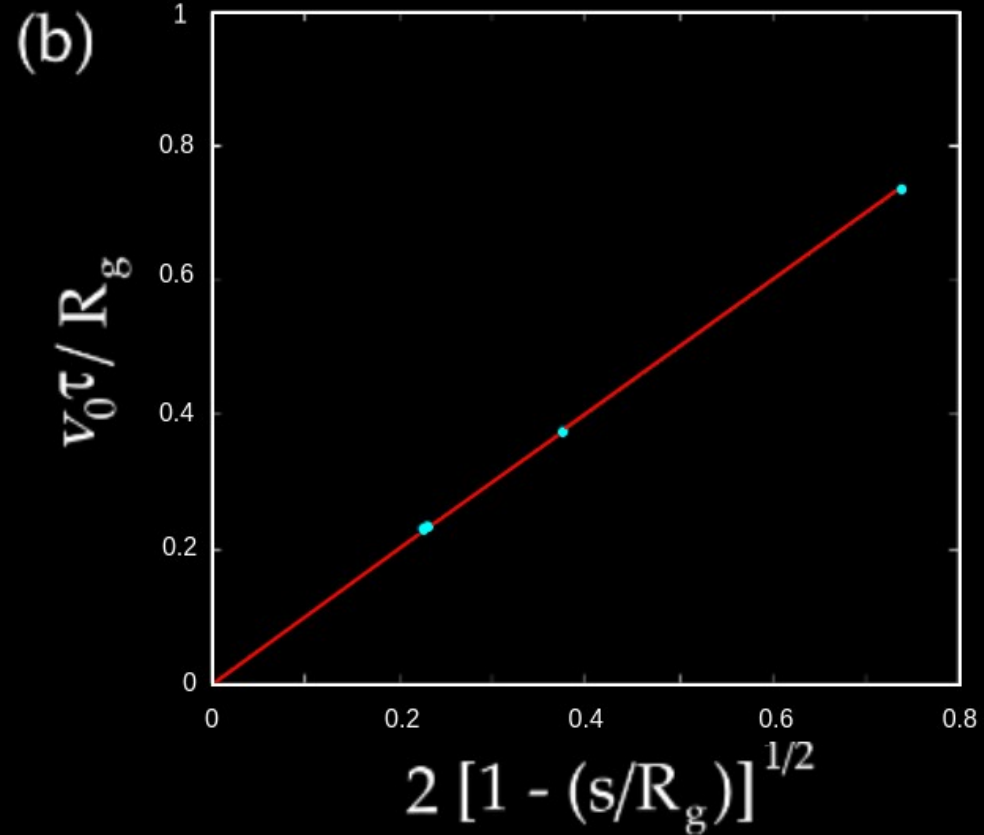
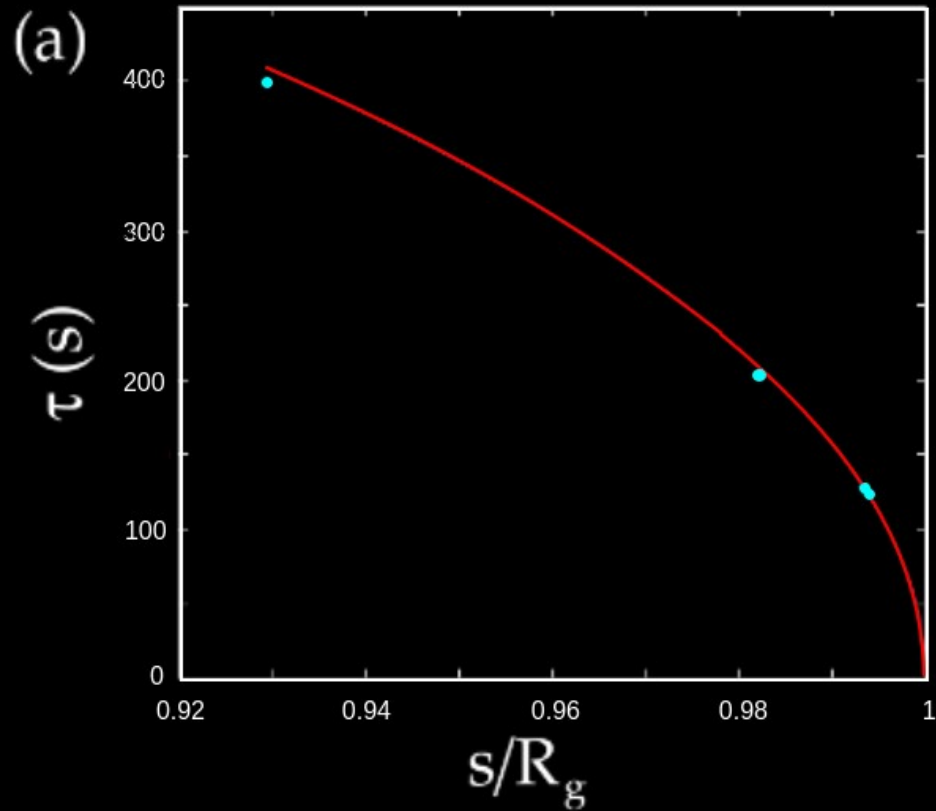
Comparativa entre estaciones

Estación	O-C _{min} (s)	τ (s)	$\Delta\tau$ (s)	s/R_g	O-C _{α^*} (mas)	O-C _{δ} (mas)
{ 1	+37	125.3	+54.2	0.99362	+32	+2
2	+37	127.7	+56.6	0.99333	+31	+2
3	+36	204.0	+36.0	0.98210	+30	+1
4	+36	399.0	+31.9	0.92936	+31	+1

382 m de diferencia

diferencia entre duración
observada y predicha

Duración del evento vs. parámetro de impacto



Comparativa entre estaciones

Estación	O-C _{min} (s)	τ (s)	$\Delta\tau$ (s)	s/R_g	O-C $_{\alpha}^*$ (mas)	O-C $_{\delta}$ (mas)
{1	+37	125.3	+54.2	0.99362	+32	+2
2	+37	127.7	+56.6	0.99333	+31	+2
3	+36	204.0	+36.0	0.98210	+30	+1
4	+36	399.0	+31.9	0.92936	+31	+1

la corrección astrométrica
para Ganímedes es casi la
misma para todas

Idéntica a la obtenida por el
grupo del Obs. de París

HD 61660 SIMBAD CDS – J2000.0

other query modes :

Identifier query

Coordinate query

Criteria query

Reference query

Basic query

Script submission

TAP

Output options

Object types

Help

Query : HIP 37442

Basic data :

HD 61660 -- Star

Other object types: ?

* (HD,AG,...), NIR (2MASS), IR (IRAS)

ICRS coord. ($ep=J2000$) :

07 41 12.6987146160 +21 26 48.870647376 (Optical) [0.0227 0.0187 90] A 2020yCat.1350....0G

FK4 coord. ($ep=B1950\ eq=1950$) : 07 38 15.0481581189 +21 33 53.334629197 [0.0227 0.0187 90]

Gal coord. ($ep=J2000$) :

198.4964282811439 +20.1950643810523 [0.0227 0.0187 90]

Proper motions mas/yr :

11.353 -40.678 [0.026 0.019 90] A 2020yCat.1350....0G

Radial velocity / Redshift / cz :

V(km/s) -37.87 [0.14] / z(spectroscopic) -0.000126 [0.000000] / cz -37.87 [0.14]
(Opt) A 2018yCat.1345....0G

Parallaxes (mas) :

4.4005 [0.0278] A 2020yCat.1350....0G

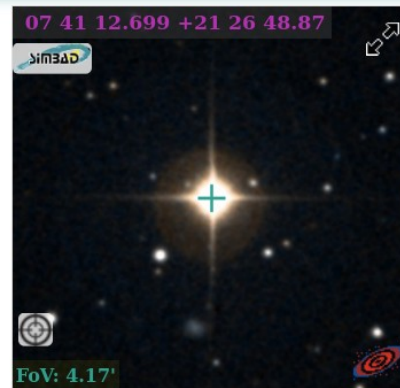
Spectral type:

K2 E 1993yCat.3135....0C

Fluxes (7) :

U 10.100 [0.010] C 1987A&AS...71..5610
B 9.040 [0.007] C 1987A&AS...71..5610
V 7.870 [0.009] C 1987A&AS...71..5610
G 7.526033 [0.002893] C 2020yCat.1350....0G
J 5.814 [0.023] C 2003yCat.2246....0C
H 5.316 [0.020] C 2003yCat.2246....0C
K 5.132 [0.020] C 2003yCat.2246....0C

SIMBAD within 2 arcmin



☐ 2MASS ☒ DSS ☐ SDSS

All (CDSPortal)

Send to



within 5 arcsec ?

HD 61660 SIMBAD CDS – J2000.0

$$\alpha_0 = 07^{\text{h}} 41^{\text{m}} 12,698715^{\text{s}}$$

$$\delta_0 = +21^{\circ} 26' 48,87065''$$

$$\mu_{\alpha}^* = 11,353 \text{ mas/a}$$

$$\mu_{\delta} = -40,678 \text{ mas/a}$$

$$v_r = -37,87 \text{ km/s}$$

$$\pi = 4,4005 \text{ mas}$$

2025/10/04

02:50:00 UTC

$$\alpha_s = 07^{\text{h}} 41^{\text{m}} 12,71999^{\text{s}}$$

$$\delta_s = +21^{\circ} 26' 47,8211''$$

Es necesario hacer una
extrapolación 3D de la trayectoria.
No vale con hacerlo en 2D (plano
del cielo)

diferencias de -4.6 mas en α_s
+0.7 mas en δ_s

Pero:

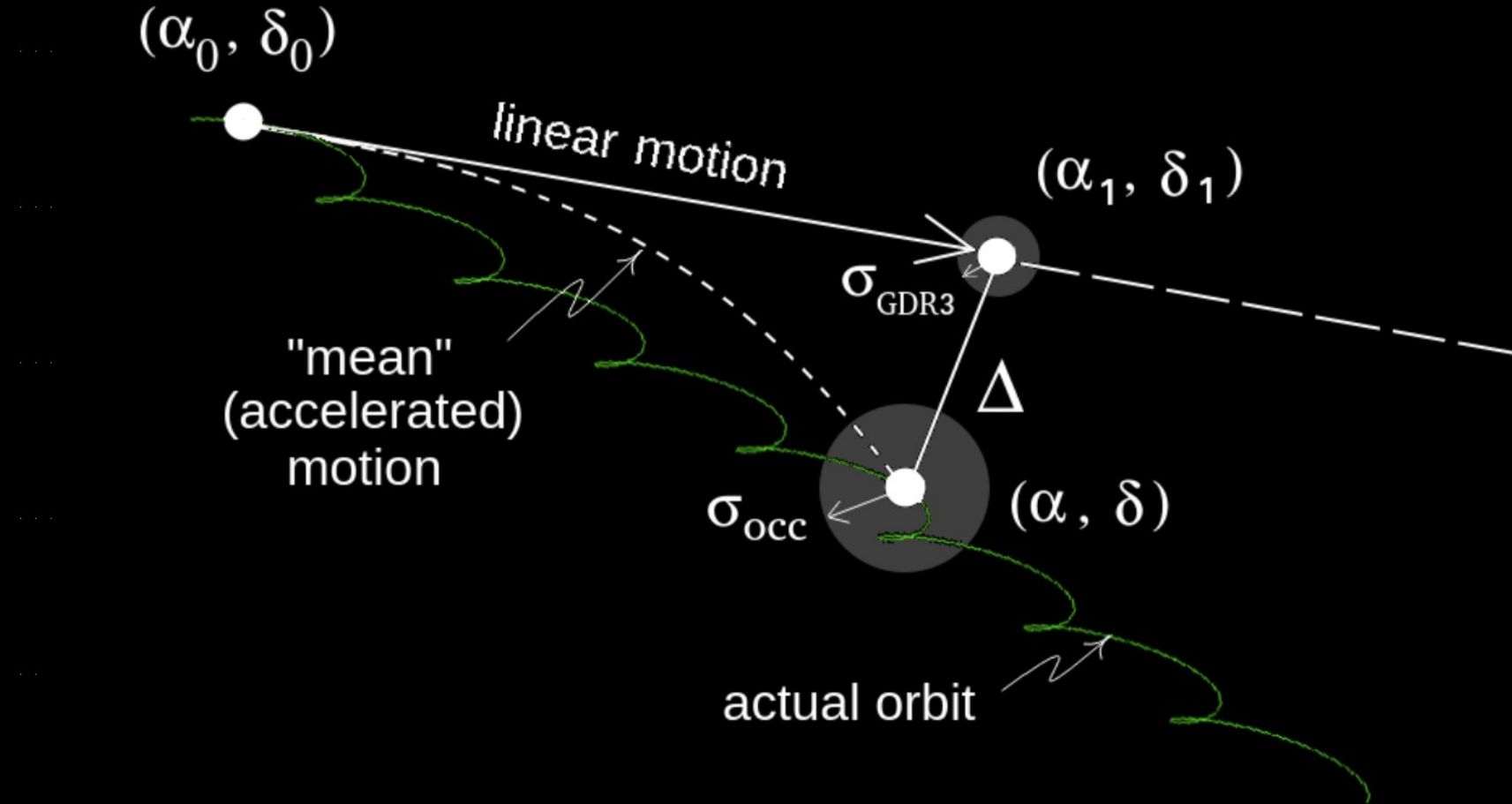
la estrella se encuentra en un catálogo de estrellas **aceleradas**

➡ las *coordenadas* en la época de observación *podrían ser incorrectas*

Kervella et al., *Binarity from Gaia DR2 and Hipparcos proper motion anomaly and common proper motion*, Mem. S.A.It. 90, 340 (2019).



Aceleración estelar (debida a duplicidad)



Diámetro estelar de HD 61660

Estación 2

f_0	f	t_0 (s)	s/R_g	R_s (mas)	$\chi^2_{\min}$
+0.0008	0.05521	169.353	0.99333	0.1749	1.0881615683
+0.0008	0.05521	169.322	0.99365	0.0000	1.0883591921

Diámetro estelar: $2 R_s = 0.35_{+0.039}^{-0.025}$ mas

(cf. Antares 57 mas, Deneb 2 mas, ...)

$\pi = 4.4$ mas, $r = 740$ al

$D_s = 0.08$ UA

No existen medidas directas del diámetro de HD 61660, sólo indirectas a través de medidas fotométricas

P Cruzalèbes et al., *A catalogue of stellar diameters and fluxes for mid-infrared interferometry*, MNRAS **490**, 3, 3158 (2019)

Ley de Stefan – Boltzmann $L = 4 \pi R^2 \sigma T^4$

Dividiendo entre la misma ley pero aplicada al Sol:

$$\frac{L}{L_{\odot}} = \left(\frac{R}{R_{\odot}}\right)^2 \left(\frac{T}{T_{\odot}}\right)^4 \quad \xrightarrow[T_{\odot} = 5700 \text{ K}]{T = 4900 \text{ K}} \quad \frac{R}{R_{\odot}} = 1,353 \sqrt{\frac{L}{L_{\odot}}}.$$

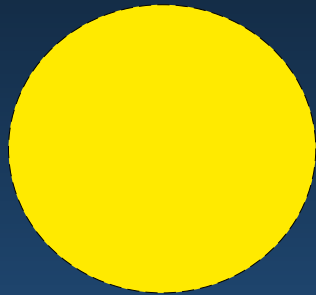
Para una estrella de espectro K2, ajustamos la fotometría a un modelo de Kurucz e integramos para obtener la luminosidad:

$$\begin{cases} L = 52,5 L_{\odot} \\ R_{\odot} = 696340 \text{ km} \end{cases}$$

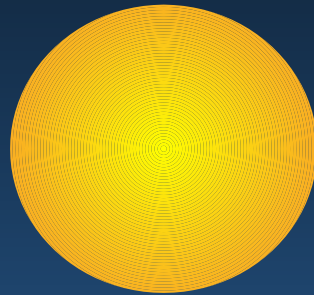
$$\longrightarrow D_s = 2.706 R_{\odot} \sqrt{52.5} = 19.6 R_{\odot} = 0.09 \text{ UA}$$

Esto proporciona: $2R_s = 0.46 \text{ mas}$

Nuestra estimación de 0.35 mas está afectada por el **oscurecimiento del limbo**:

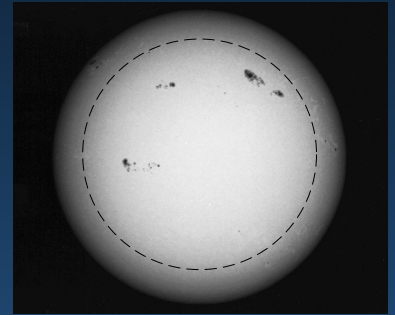


disco
uniforme

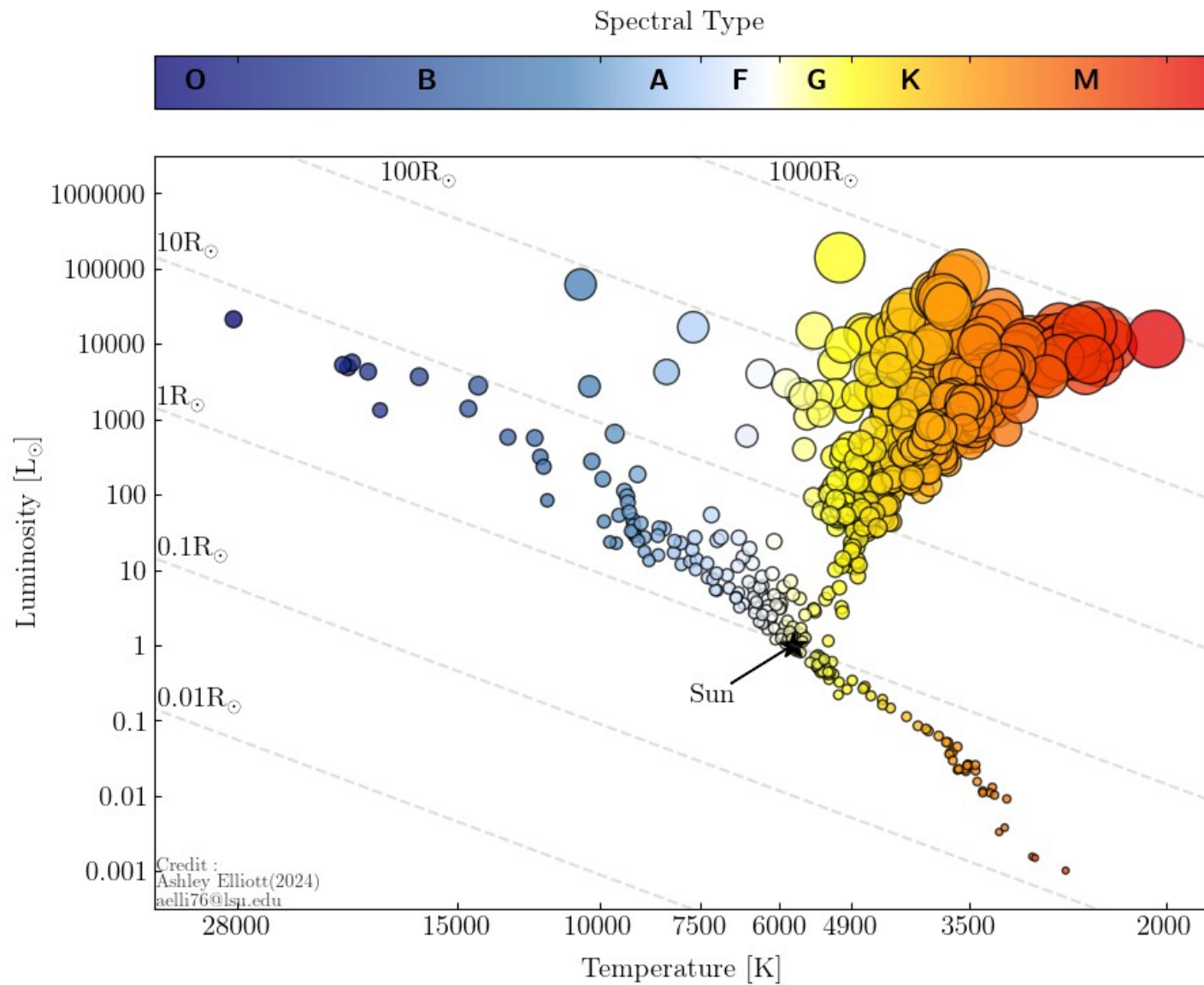


disco no
uniforme

Sol en luz visible



Típicamente la aproximación de disco uniforme reduce el diámetro estimado entre un 2% y un 10%



A. Elliott (Louisiana State University) as an update to von Braun & Boyajian 2017

Conclusiones

- Las 4 curvas de luz proporcionan astrometría consistente
- La corrección astrométrica concuerda con los resultados obtenidos por el Observatorio de París
- La astrometría final está limitada por la estrella de referencia
- Una curva de luz permite determinar el diámetro estelar