

# Detección de Tránsitos Exoplanetarios con TESS y Caracterización

## De TOI 4010 al Análisis Poblacional

JORGE ACEBES HERNÁNDEZ

# Índice

## DATOS PROPIOS

1. Objetivos e Introducción
2. Reducción de Datos
3. Análisis y Resultados

## DATOS DE ARCHIVO

1. Objetivos
2. Misión TESS
3. *Pipeline* y Algoritmos
4. Resultados TOI-4010
5. Análisis Poblacional
6. Conclusiones

# Objetivos

## Objetivos e Introducción

Observar la estrella TOI-4010

Determinar su magnitud en  $V$

MAGNITUD  
APARENTE ( $m$ )

1.0

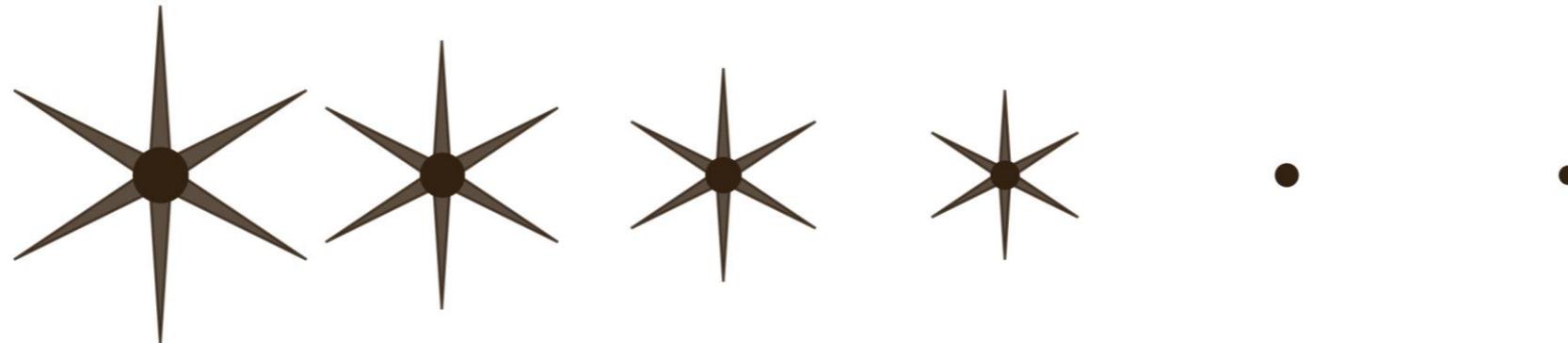
1.5

2.0

2.5

3.0

3.5

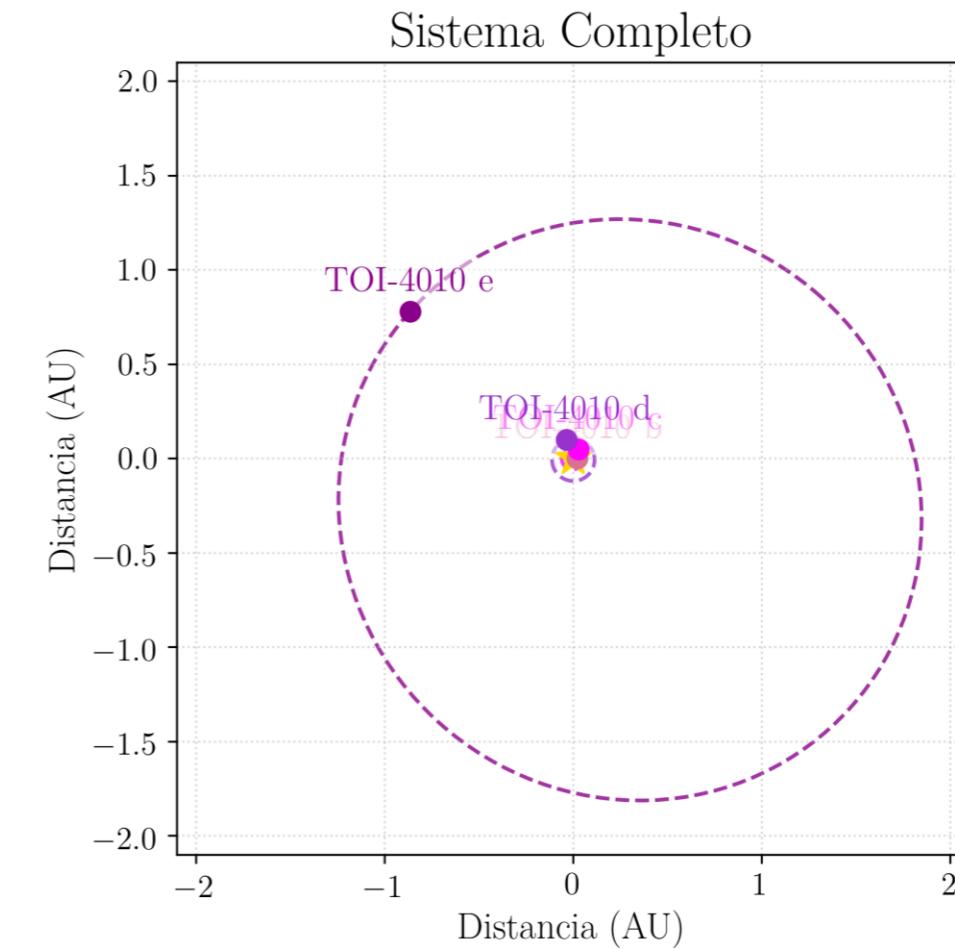
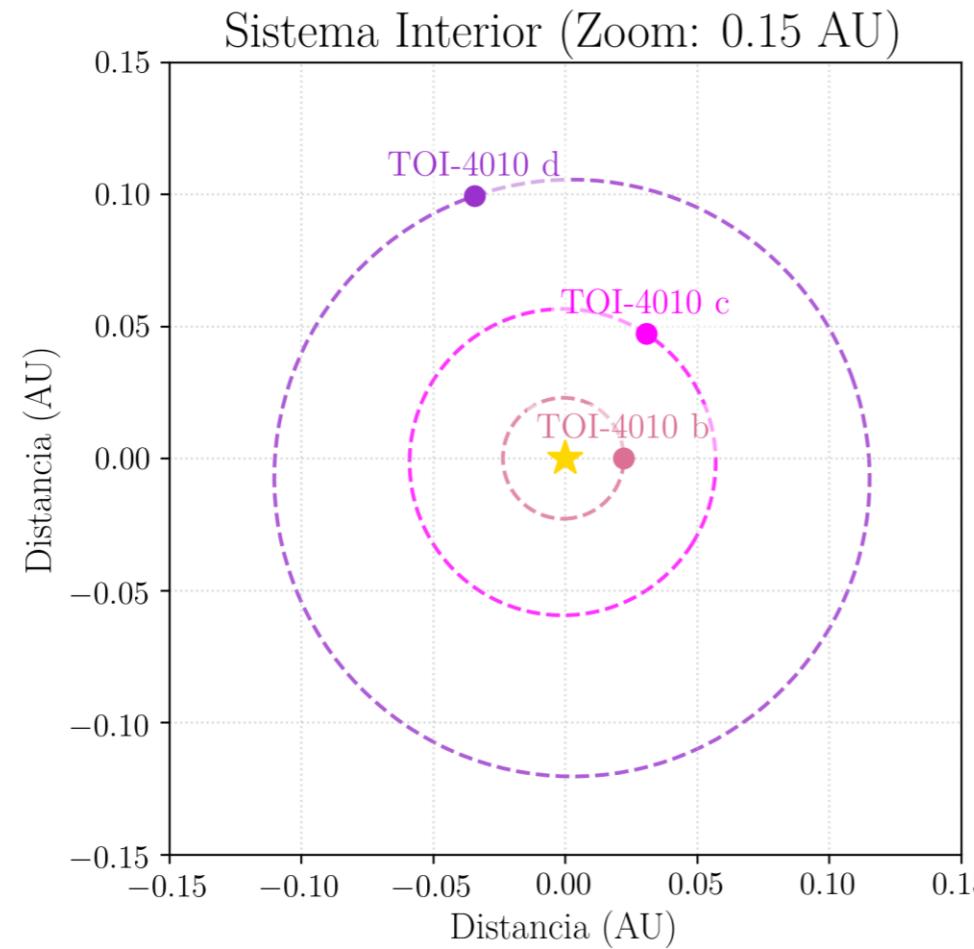


DATOS PROPIOS

# Sistema TOI-4010

## Objetivos e Introducción

### Arquitectura Orbital del Sistema TOI-4010



# Sistema TOI-4010

## Objetivos e Introducción

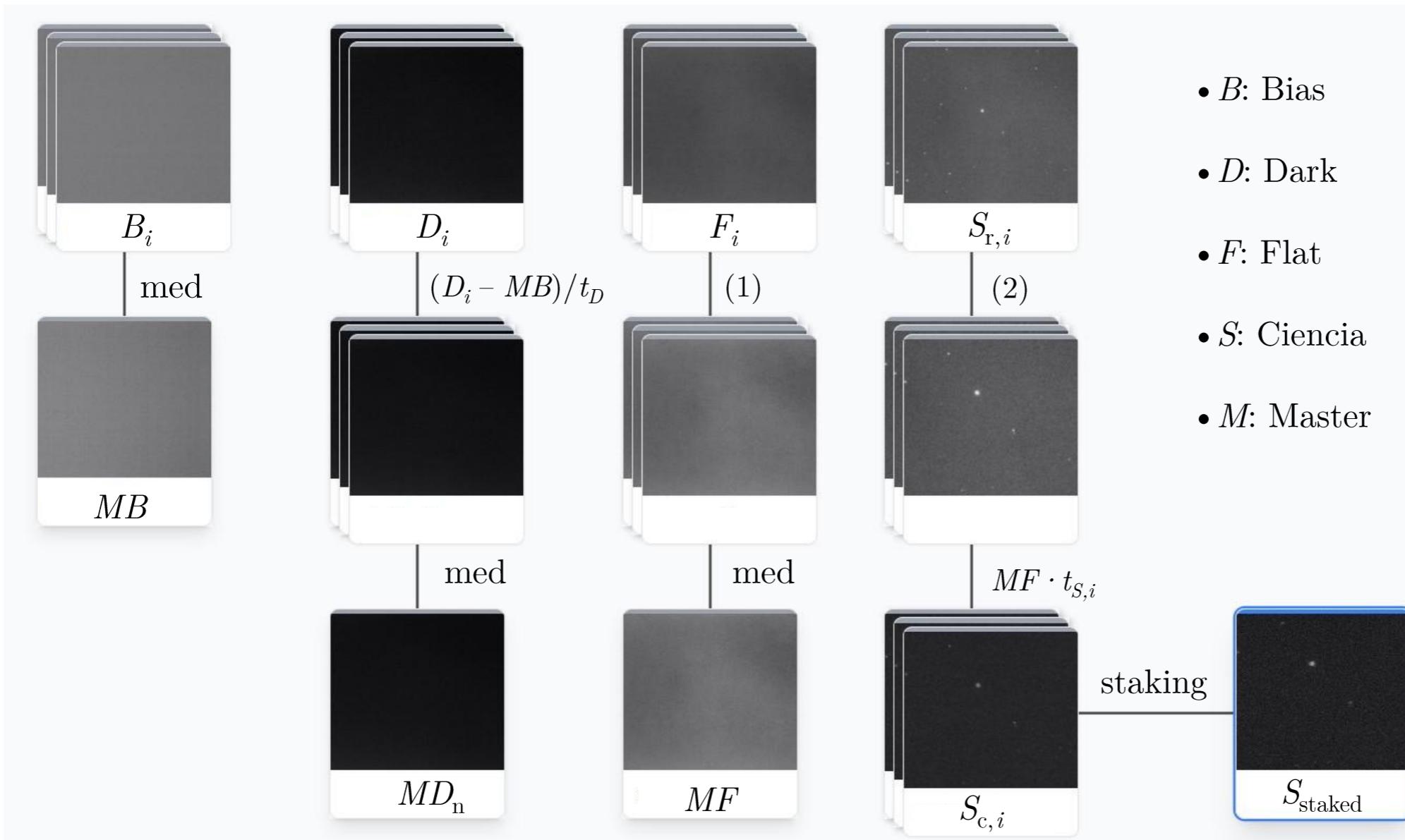
### Estrella TOI-4010

- Enana tipo K ( $T_{\text{eff}} = 4888 \pm 138$  K)
- $M_{\star} = 0.799 \pm 0.097 M_{\odot}$
- $R_{\star} = 0.88 \pm 0.06 R_{\odot}$
- $m_V = 12.41 \pm 0.05$  mag

### Exoplanetas TOI-4010

- TOI-4010 b:  $T = 1.3$  días, subneptuniano
- TOI-4010 c:  $T = 5.4$  días, subsaturniano
- TOI-4010 d:  $T = 14.7$  días, subsaturniano
- TOI-4010 e:  $T = 762 \pm 90$  días

# Reducción de Datos



- $B$ : Bias
- $D$ : Dark
- $F$ : Flat
- $S$ : Ciencia
- $M$ : Master

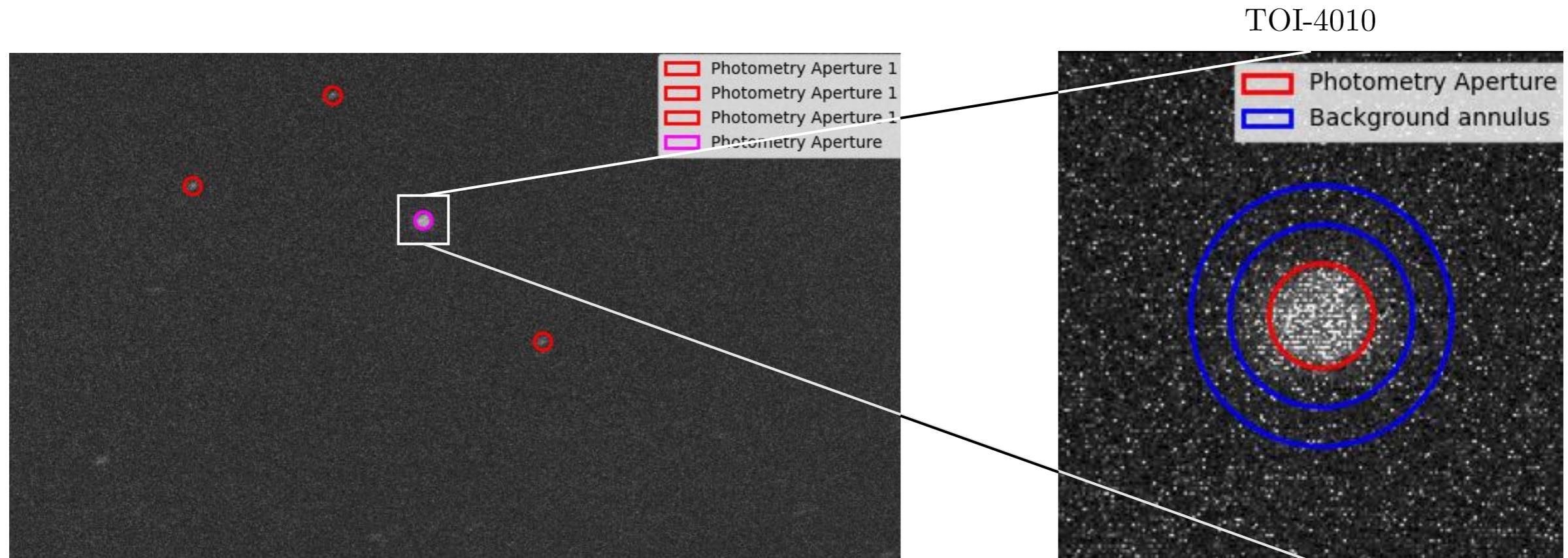
$$(1) : \frac{F_i - MB - MD_n \cdot t_F}{\text{med}(F_i - MB - MD_n \cdot t_F)}$$

$$(2) : S_{r,i} - MB - MD_n \cdot t_{S,i}$$

DATOS PROPIOS

# Análisis Fotométrico

## Análisis y Resultados



$$F_{\text{fondo}} = f_{\text{corona}} \cdot A_{\text{apertura}}$$

$$m_{\text{inst}} = -2.5 \log_{10}(F_{\text{apertura}} - F_{\text{fondo}})$$

$$m = m_{\text{inst}} + C$$

DATOS PROPIOS

$F$ : flujo

$f$ : densidad de flujo

$A$ : área

$m$ : magnitud

inst: instrumental

$C$ : cte.

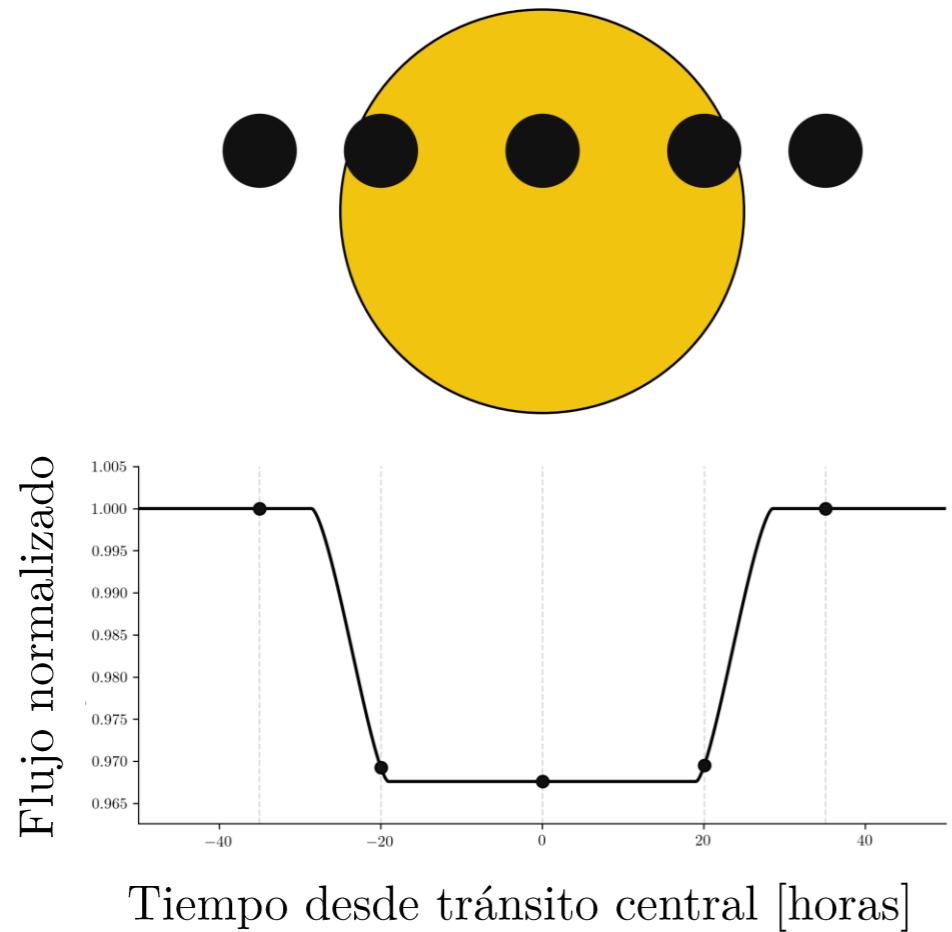
# Resultados

## Análisis y Resultados

Parámetro	Experimental	Zacharias et al.
$m_V$ (mag)	$12.1 \pm 0.5$	$12.41 \pm 0.05$
$\epsilon_{\text{medida}} = 4.0\%$	$\uparrow$ Seeing	$\downarrow$ Elevación

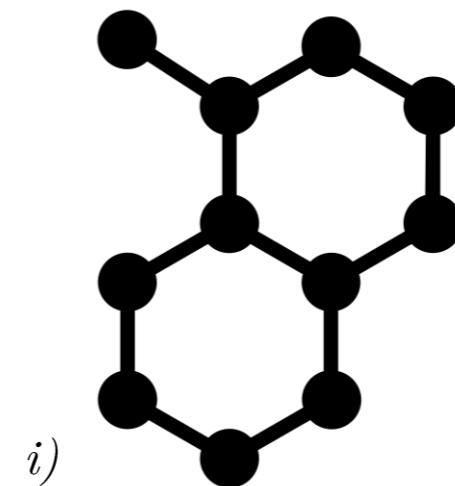
# Objetivos

Detectar y Caracterizar Exoplanetas  
mediante Fotometría de Tránsito



DATOS DE ARCHIVO

Análisis Poblacional de  
Composición y Habitabilidad

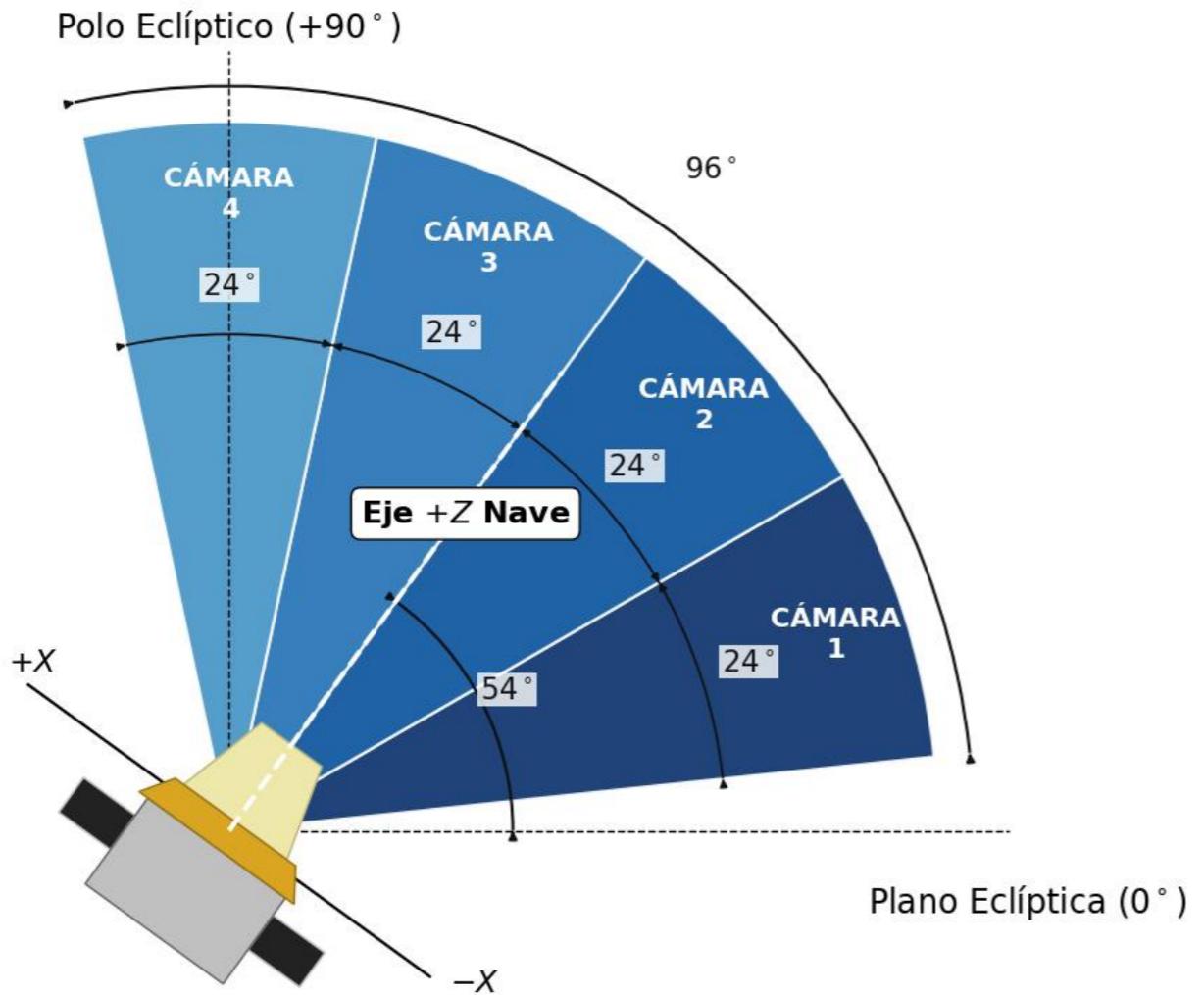


i)

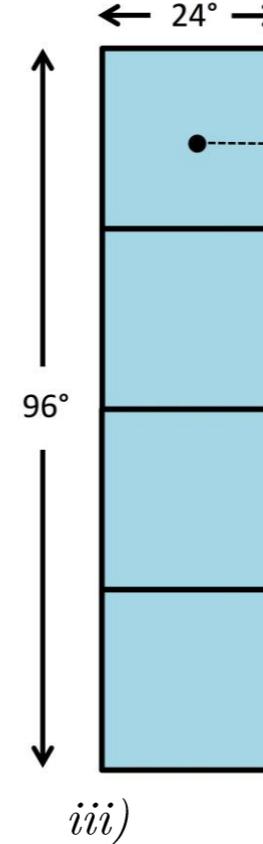


ii)

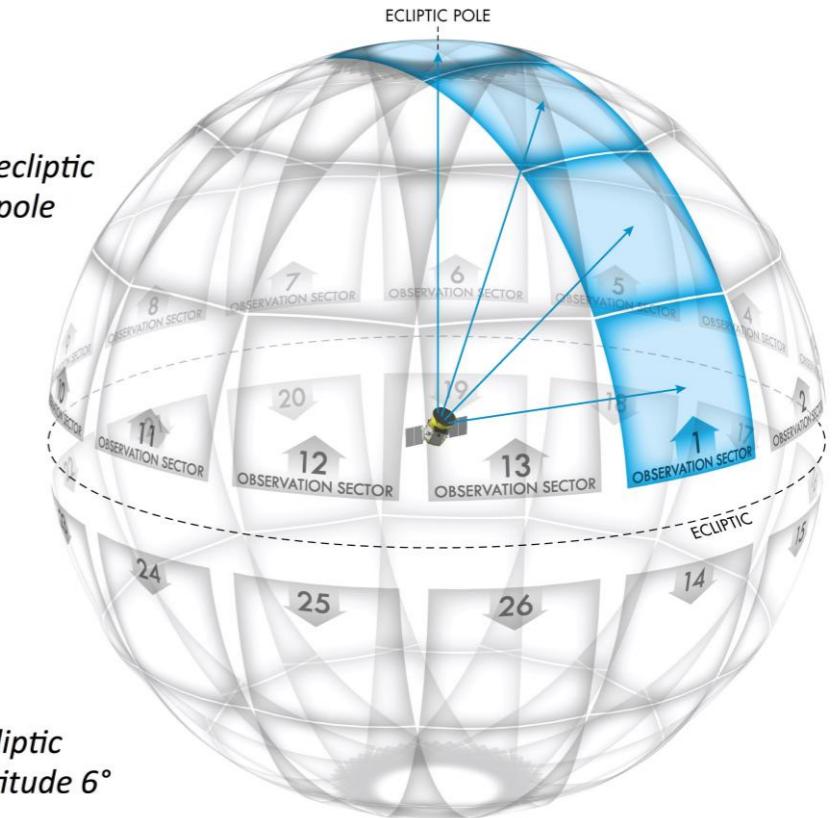
# Misión TESS



DATOS DE ARCHIVO

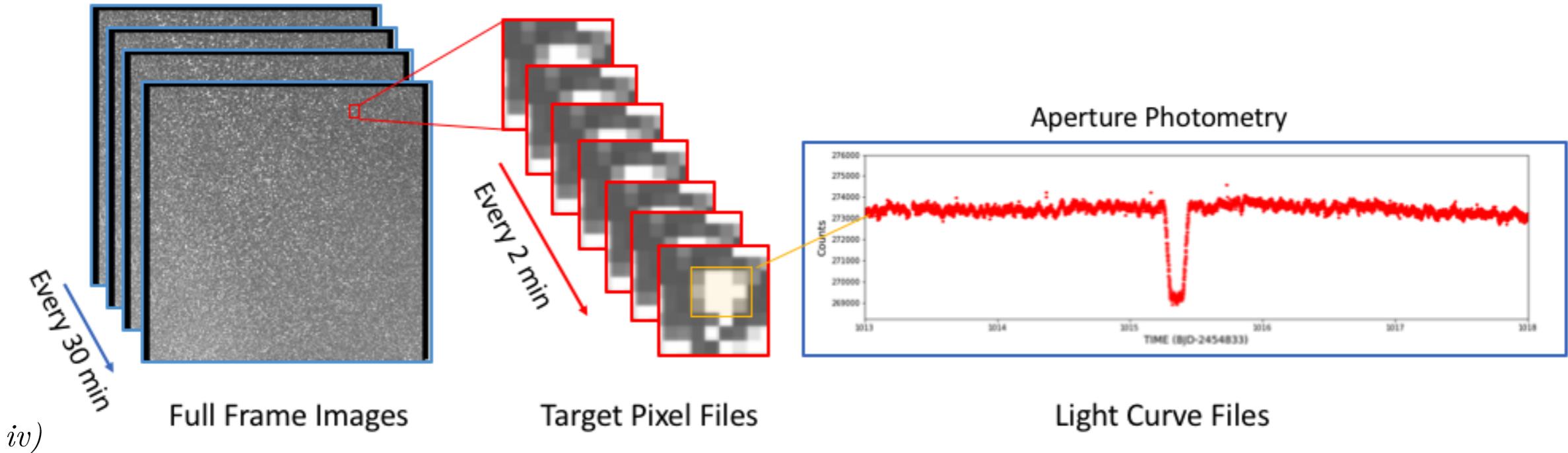


iii)



iii) NASA TESS Science Support Center

# Misión TESS



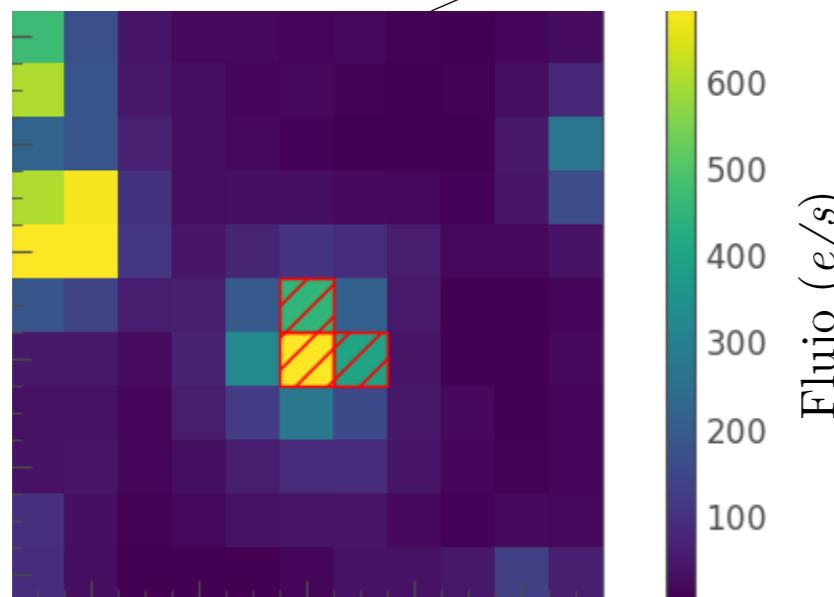
DATOS DE ARCHIVO

iv) NASA TESS Science Support Center

# PIPELINE TPFs

Pipeline y Algoritmos

TOI-4010

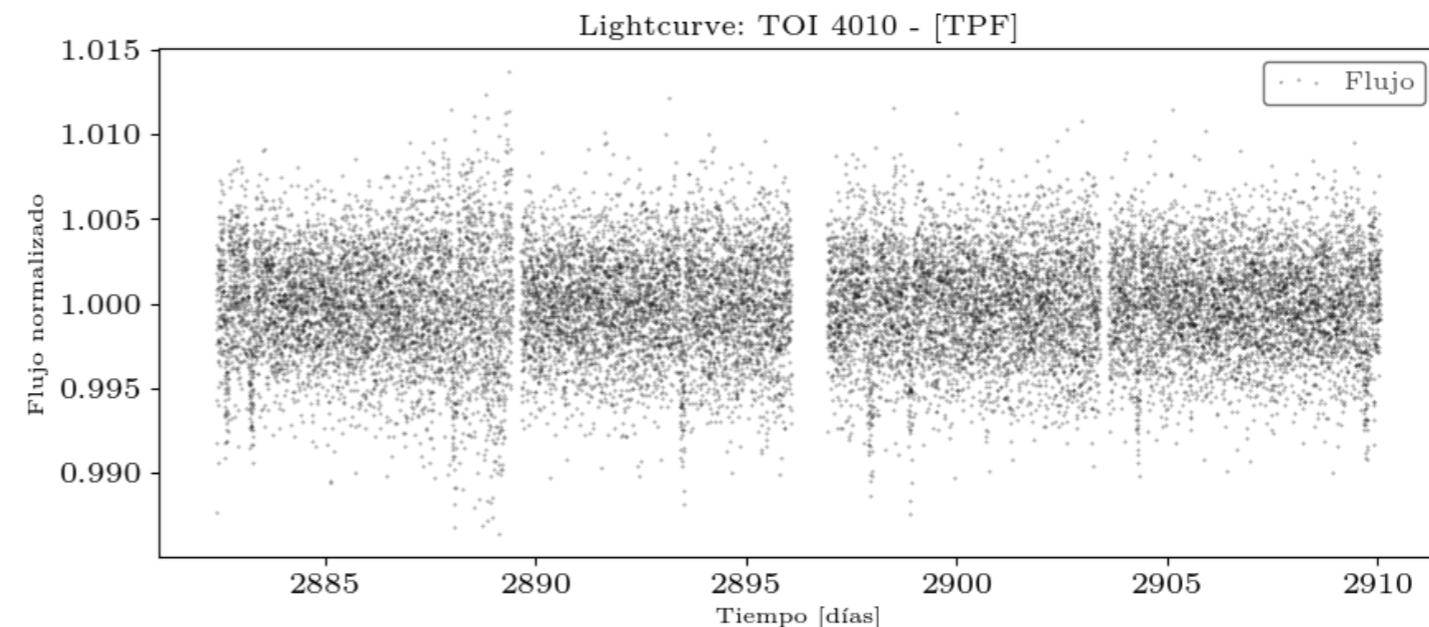


Pixel Level Decorrelation (PLD)

+

Principal Component Analysis (PCA)

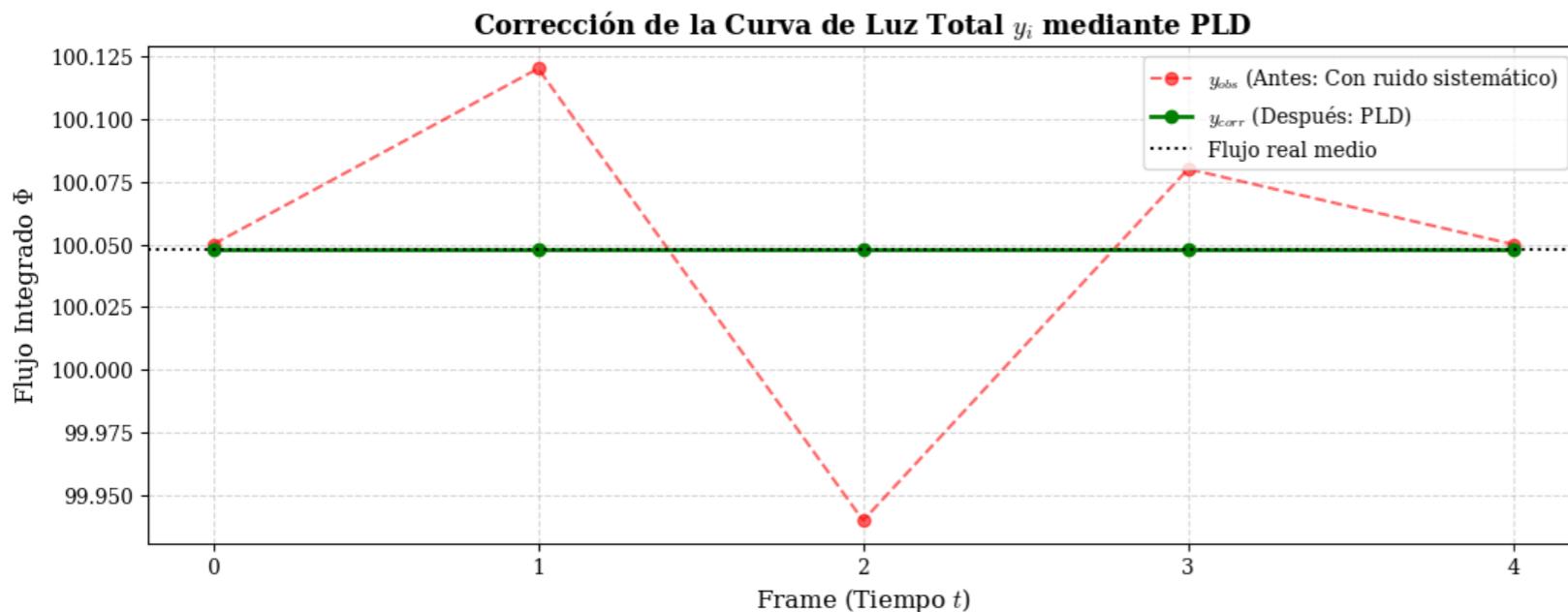
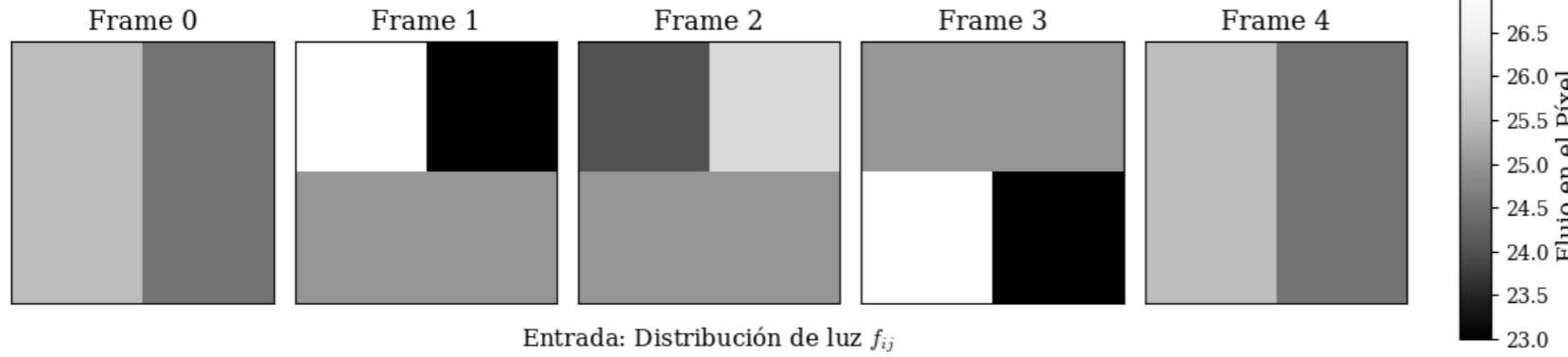
+ normalización



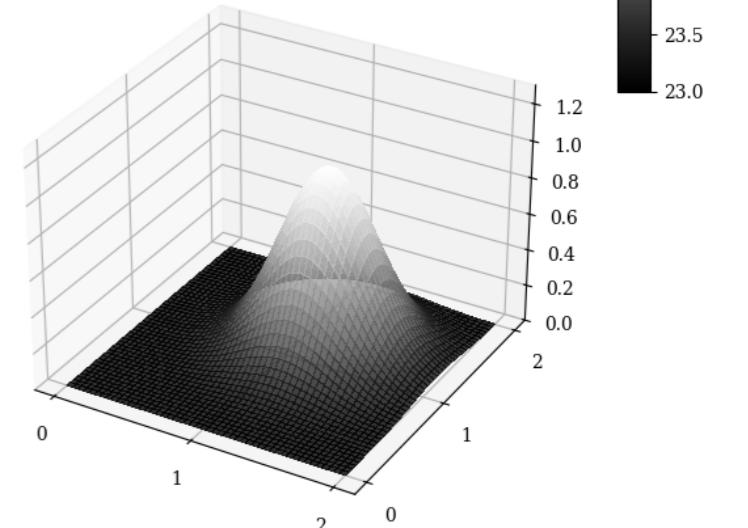
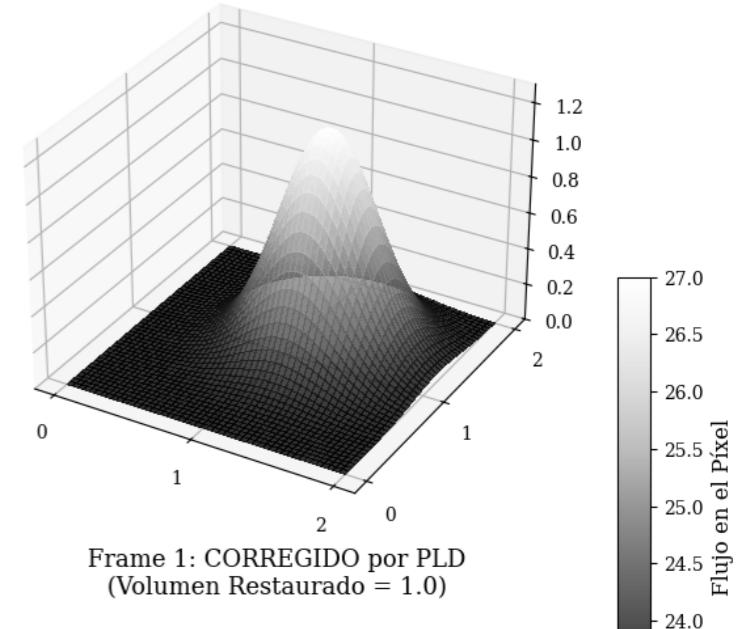
DATOS DE ARCHIVO

# PLD

## Pipeline y Algoritmos

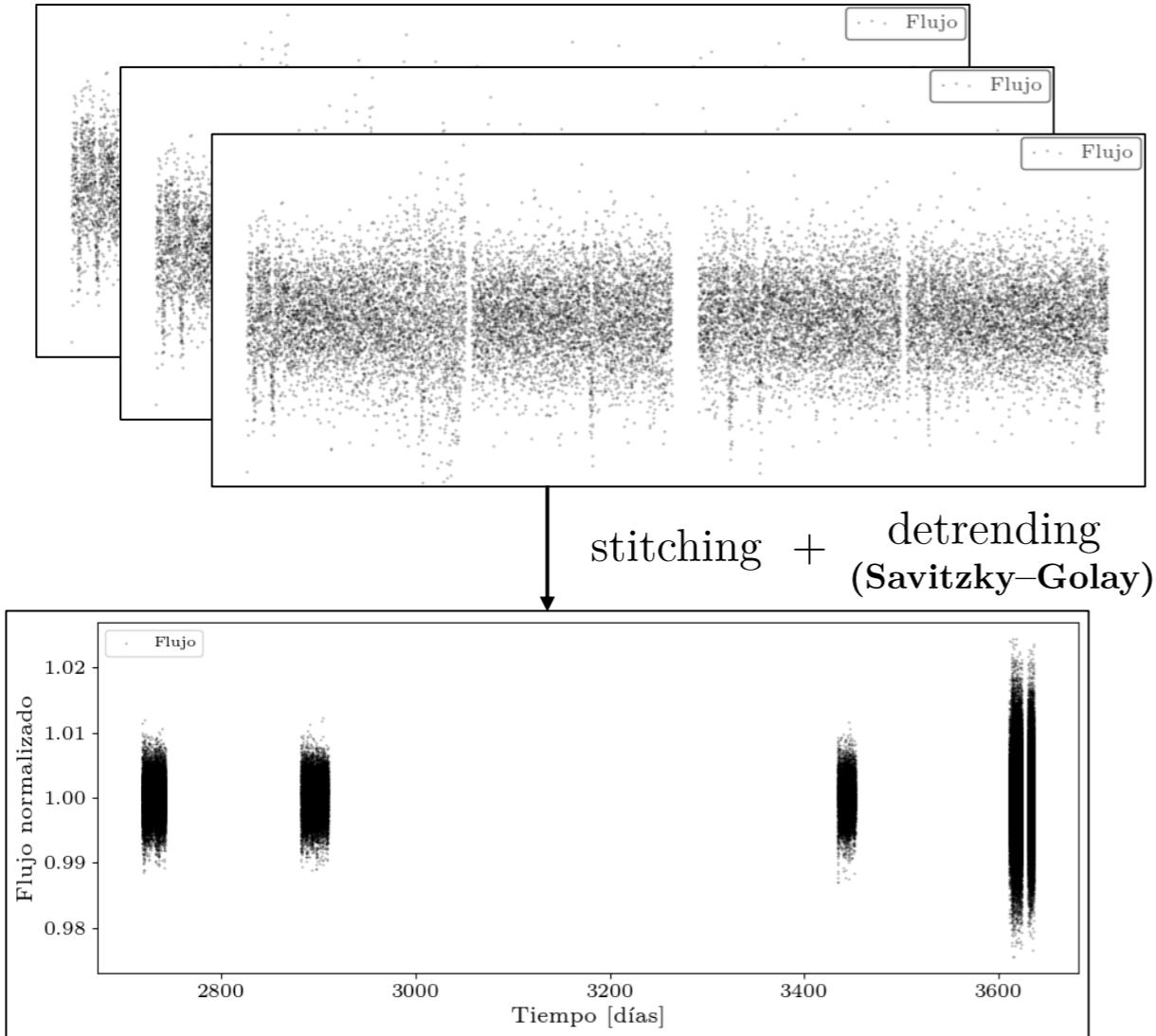


Frame 1: OBSERVARDO  
(Volumen Inflado = 1.2)



# *Stitching y Detrending*

## Pipeline y Algoritmos



DATOS DE ARCHIVO

11

$\alpha$ : relación señal-ruido efectiva

$\delta$ : profundidad del tránsito

$n$ : n.º puntos de datos

$q$ : relación tránsito-periodo

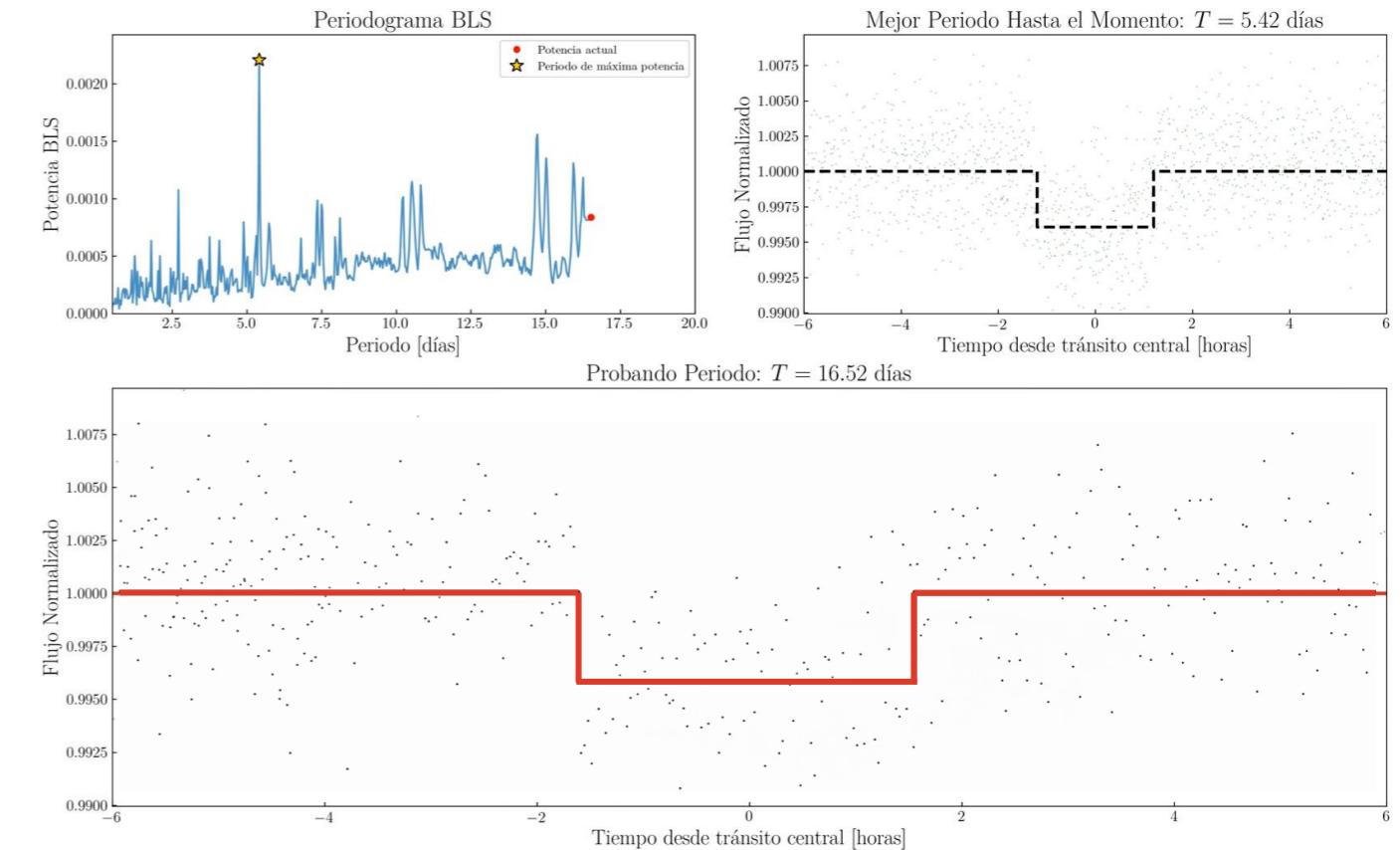
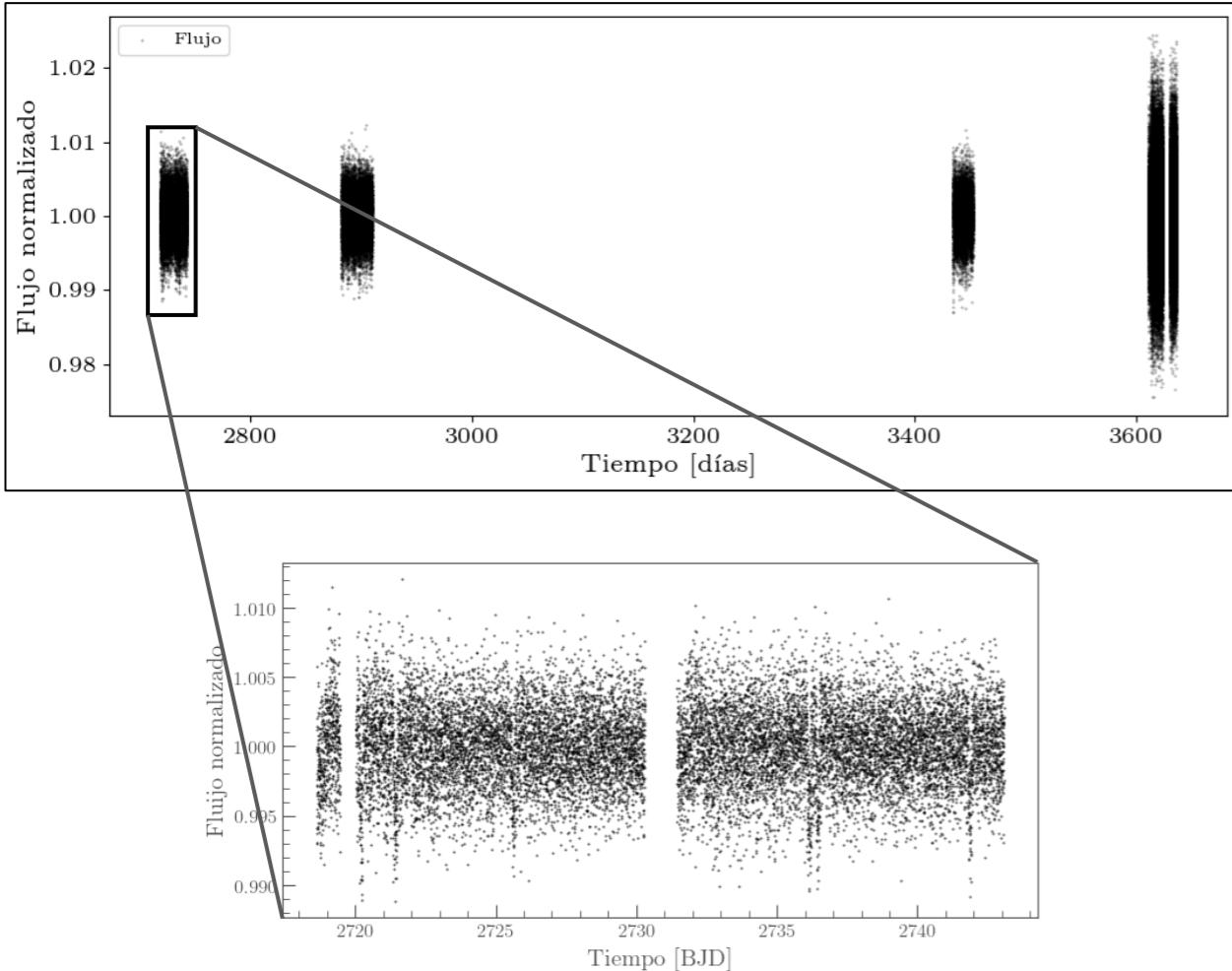
Aumentar SNR

$$\alpha = -\frac{\delta}{\sigma} \sqrt{nq}$$

Detección Exoplanetas de  
Largo Periodo

# BLS

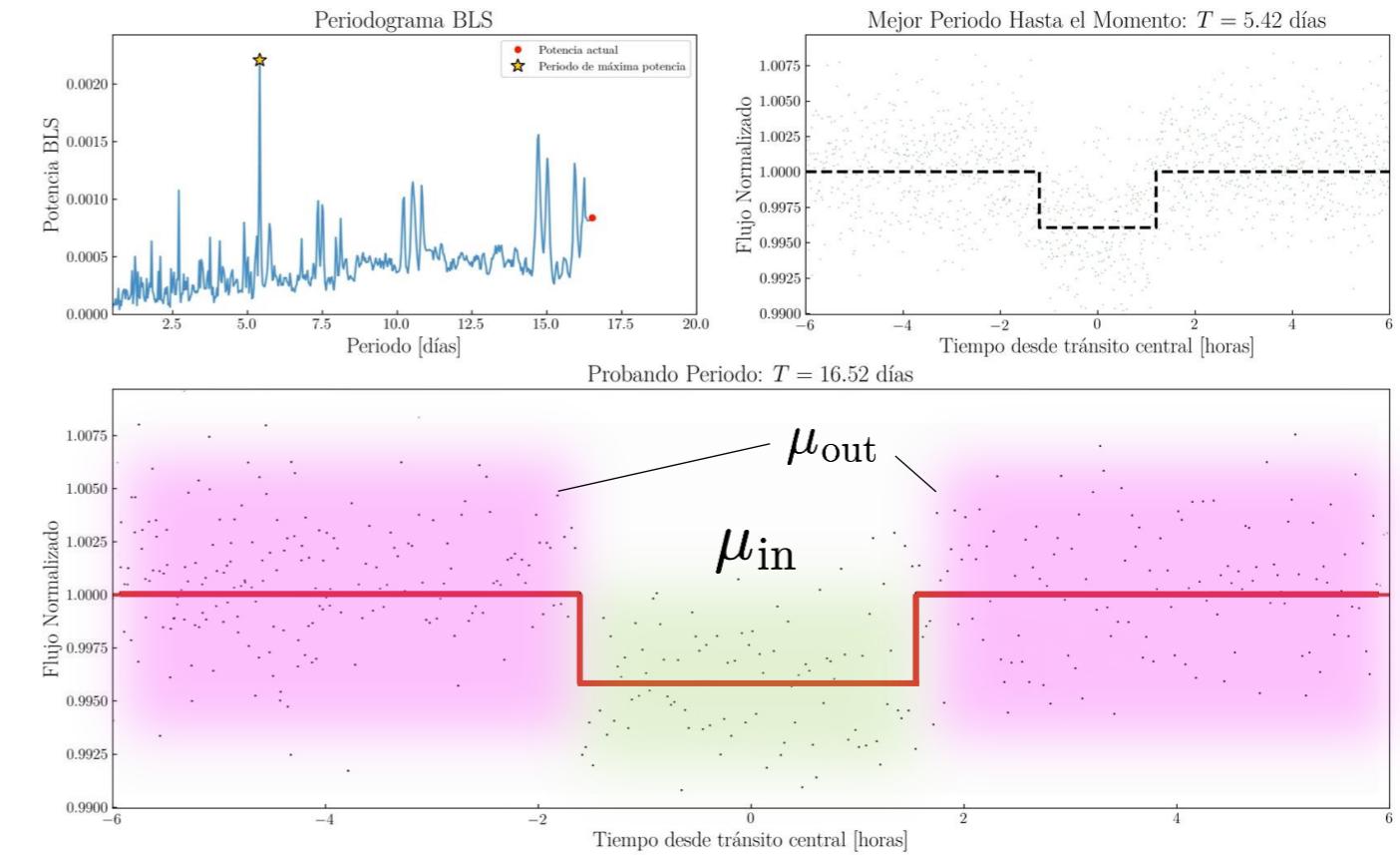
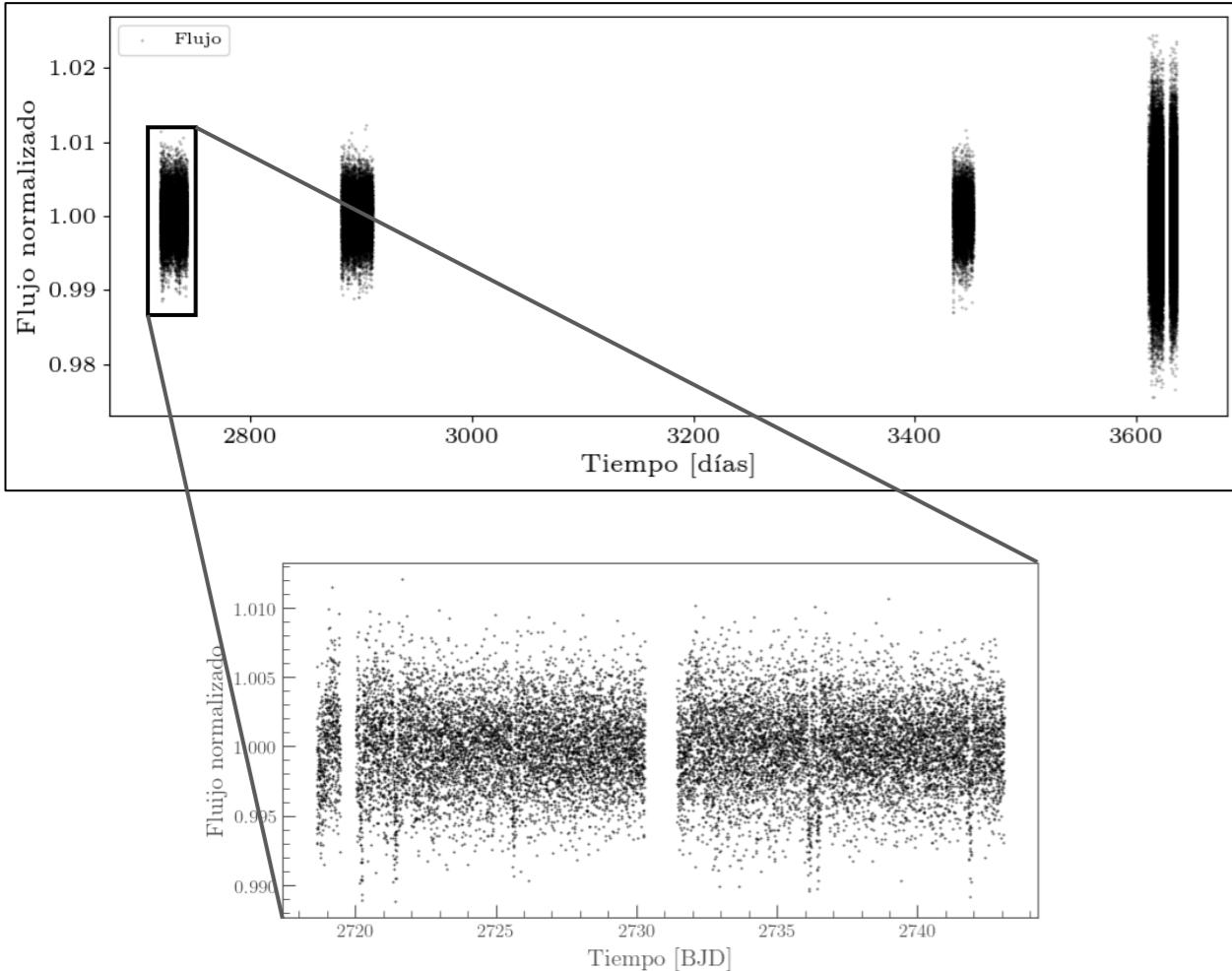
## Pipeline y Algoritmos



DATOS DE ARCHIVO

# BLS

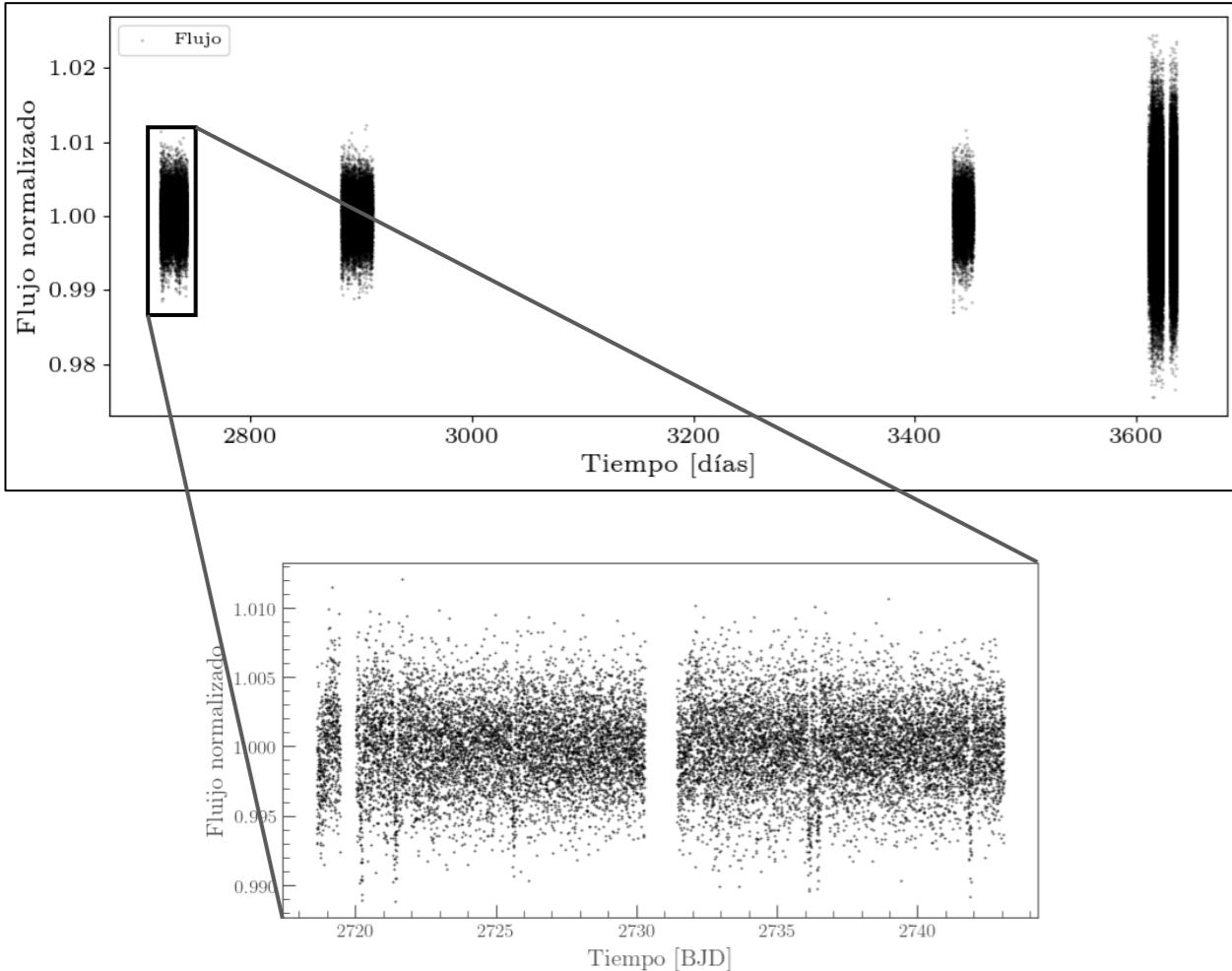
## Pipeline y Algoritmos



DATOS DE ARCHIVO

# BLS

## Pipeline y Algoritmos



## DATOS DE ARCHIVO

12

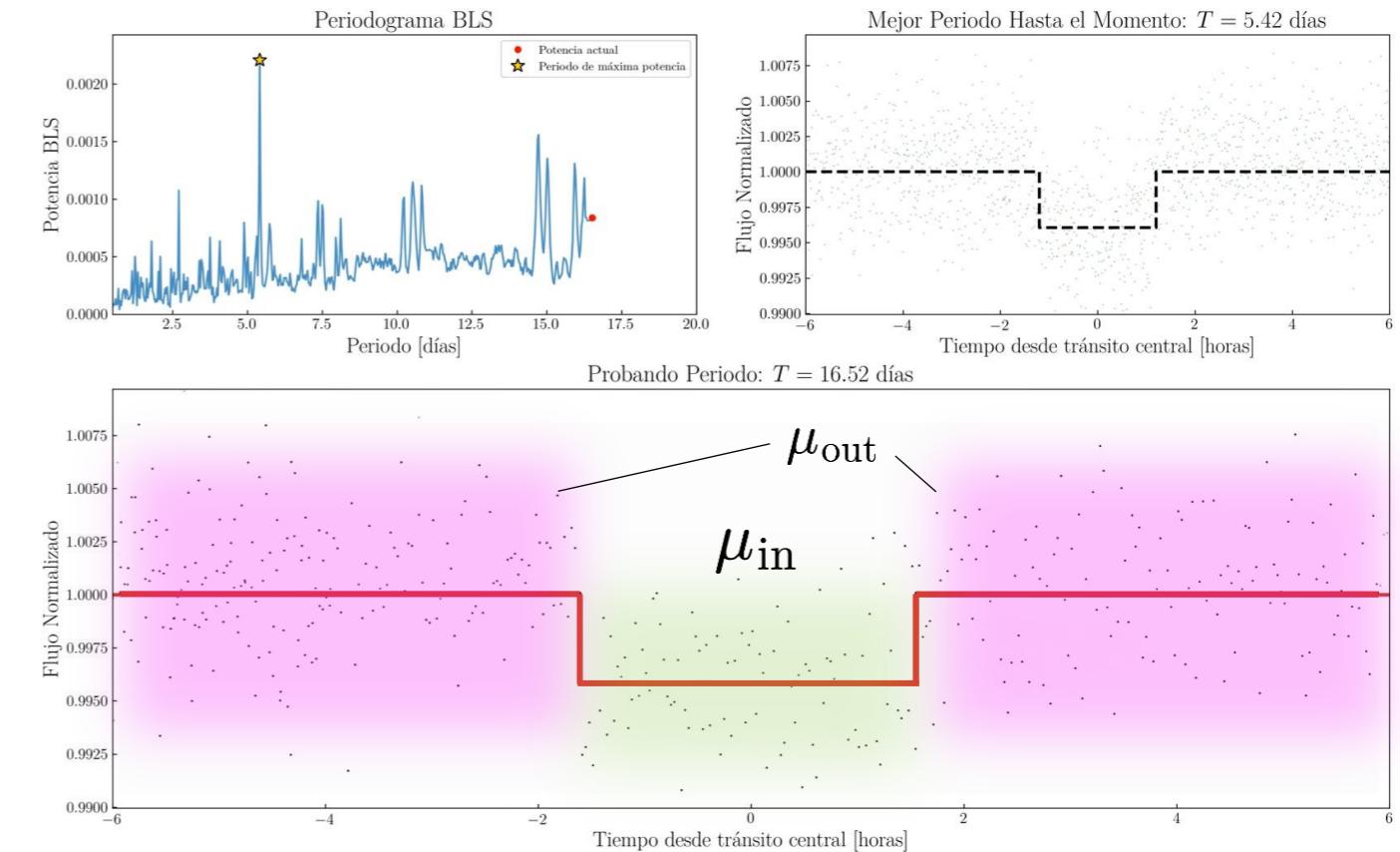
$\delta$ : profundidad del tránsito

$^*$ : valor óptimo

$\mathcal{W}$ : suma de pesos

$\mu$ : promedio ponderado de los flujos

$$\log \mathcal{L} \propto \frac{1}{2} \mathcal{W}_{\text{in}} (\mu_{\text{out}} - \mu_{\text{in}})^2$$



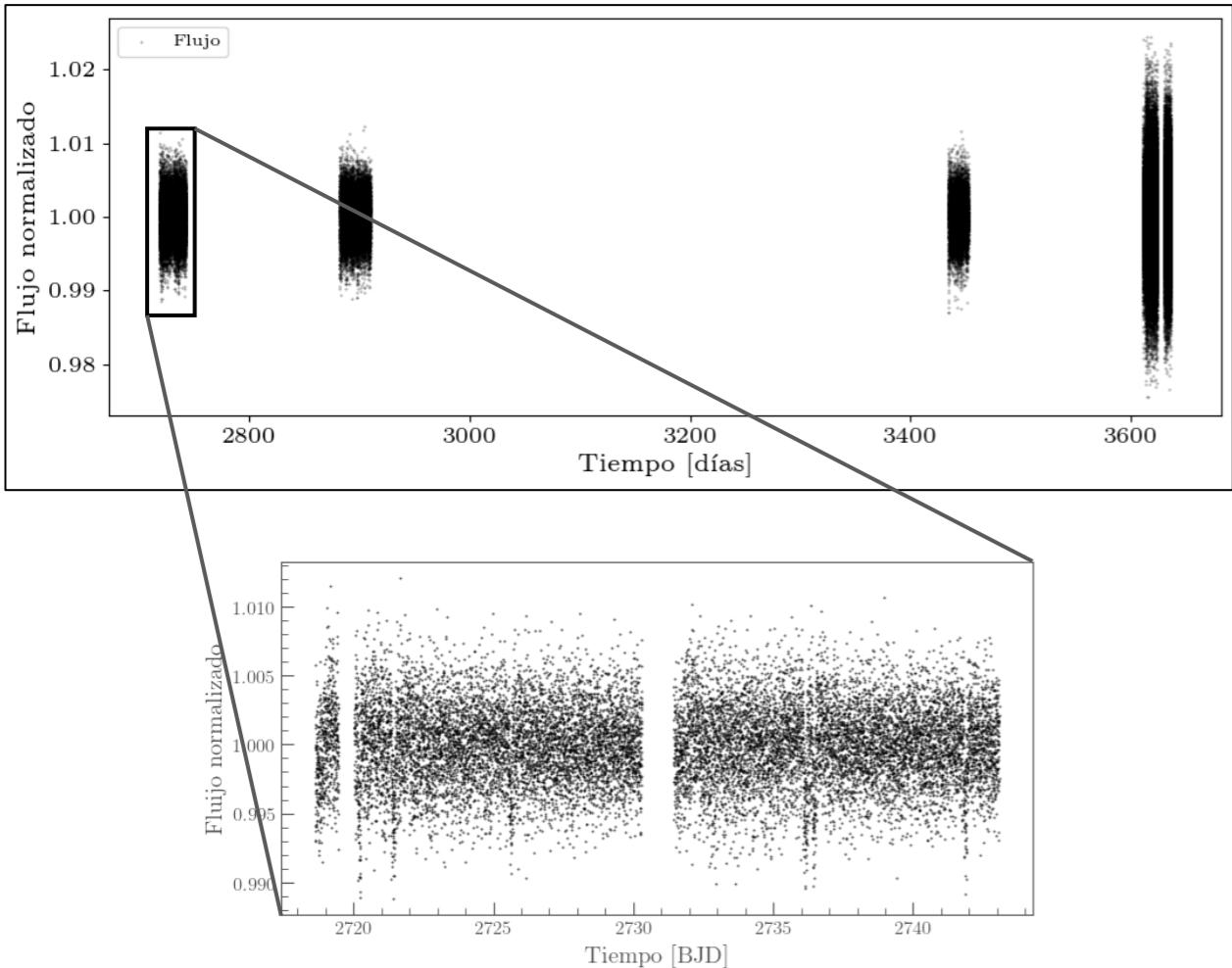
$$\delta = \mu_{\text{out}}^* - \mu_{\text{in}}^*$$



# BLS

Pipeline y Algoritmos

## MÚLTIPLOS Y SUBMÚLTIPLOS



## DATOS DE ARCHIVO

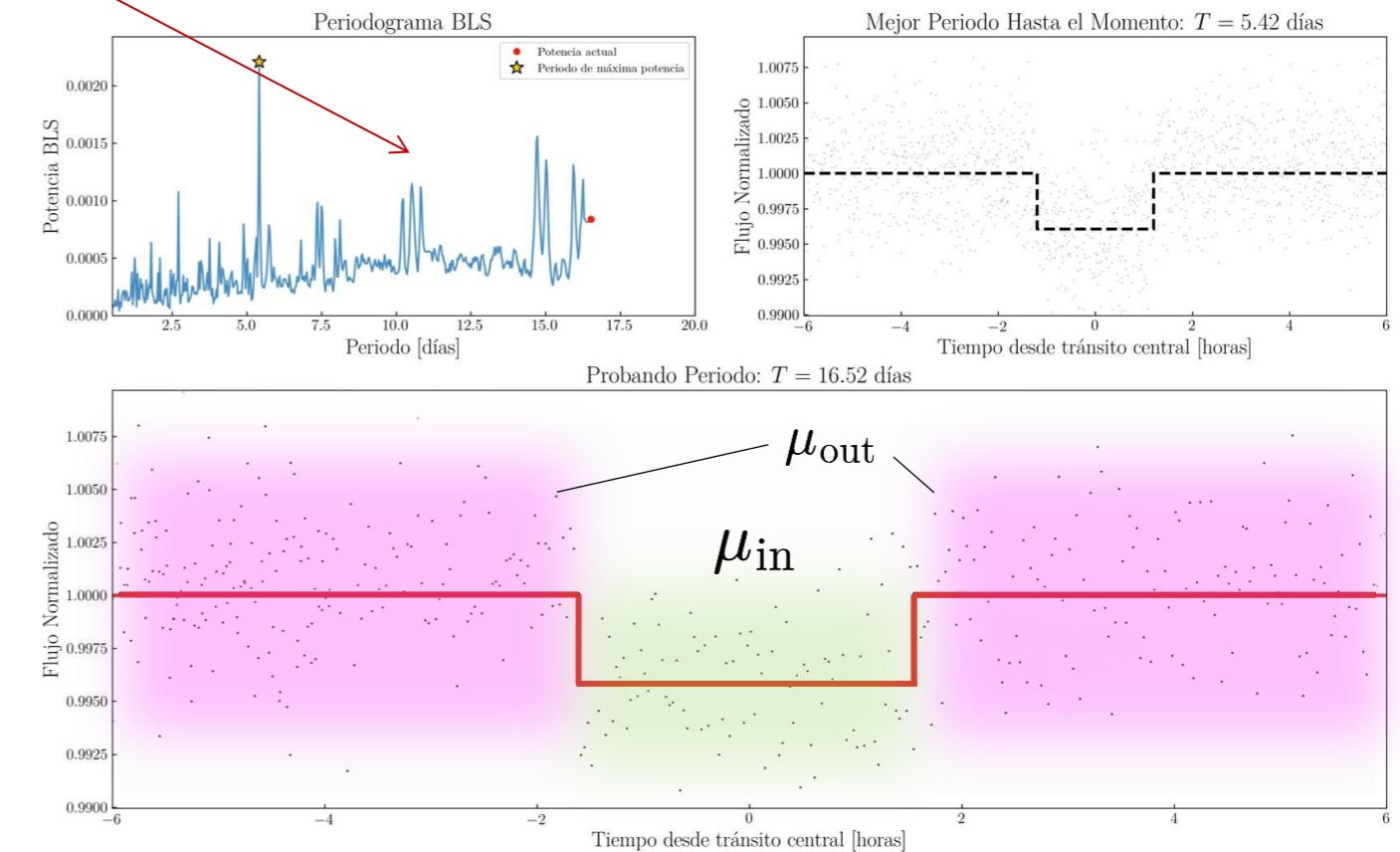
$\delta$ : profundidad del tránsito

$^*$ : valor óptimo

$\mathcal{W}$ : suma de pesos

$\mu$ : promedio ponderado de los flujos

$$\log \mathcal{L} \propto \frac{1}{2} \mathcal{W}_{\text{in}} (\mu_{\text{out}} - \mu_{\text{in}})^2$$



$$\delta = \mu_{\text{out}}^* - \mu_{\text{in}}^*$$



# Derivación Parámetros físicos

*Pipeline y Algoritmos*

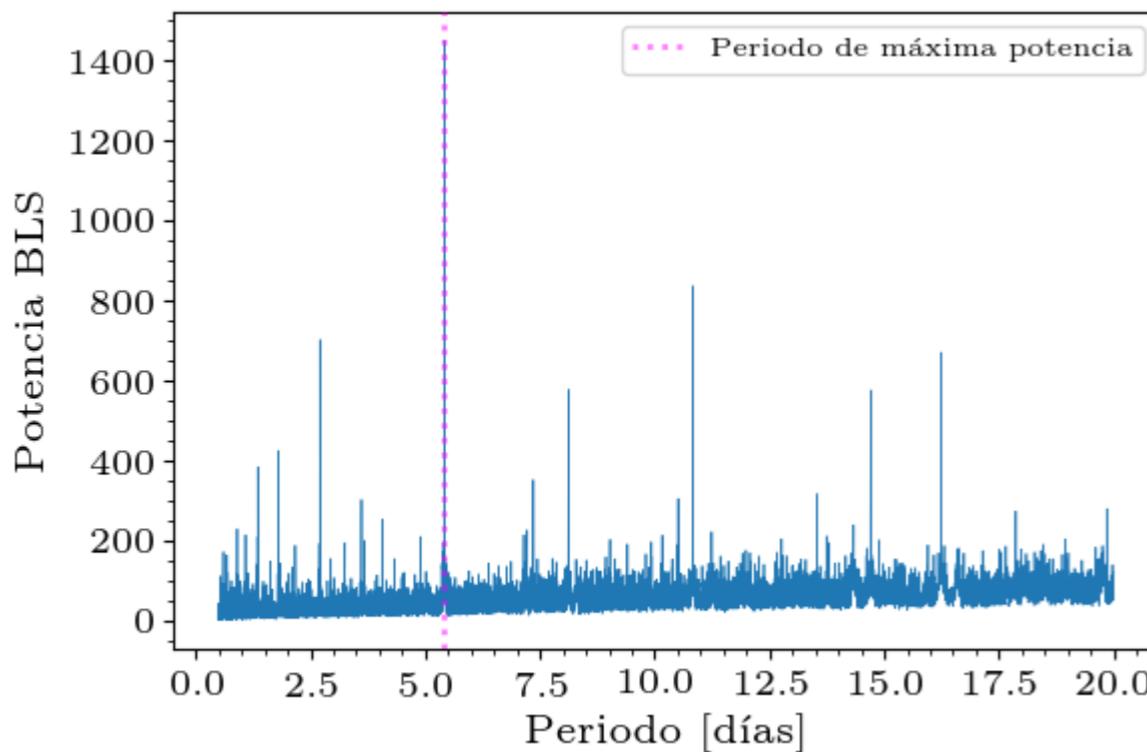
$$\delta = \left( \frac{R_p}{R_\star} \right)^2 \Rightarrow R_p = R_\star \sqrt{\delta}$$

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{GM_\star} a^3 \Rightarrow a = \sqrt[3]{\frac{GM_\star T^2}{4\pi^2}}$$

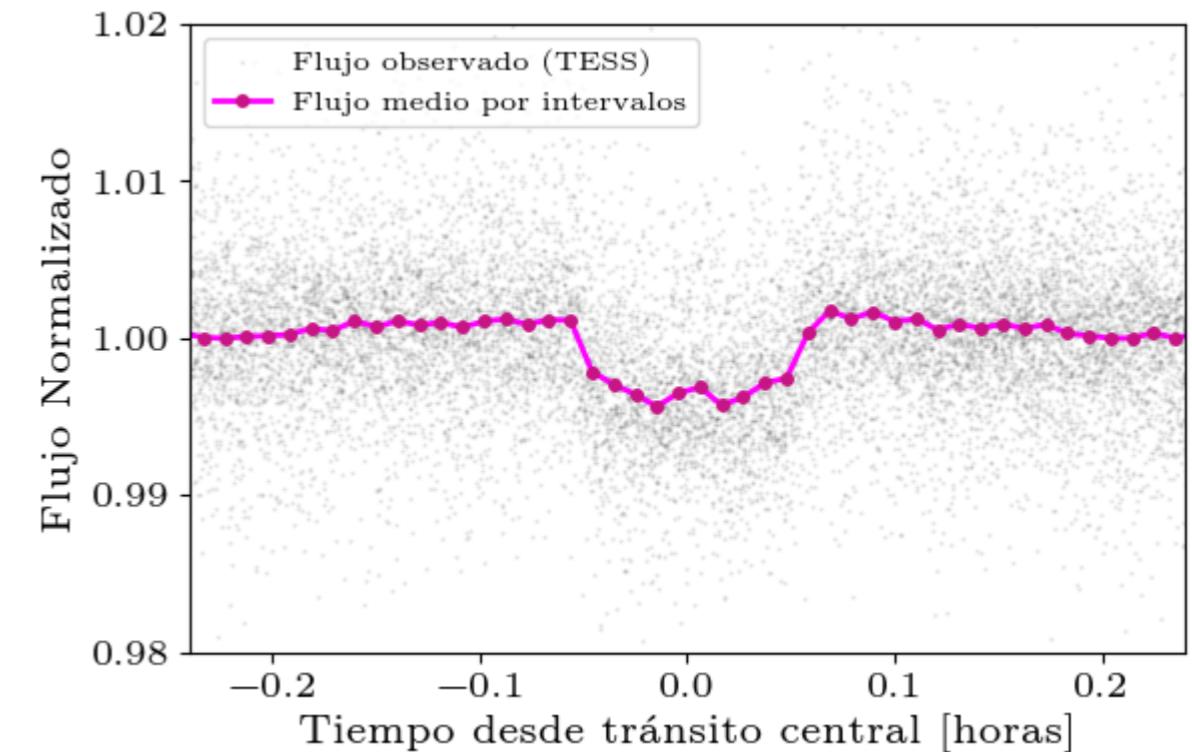
DATOS DE ARCHIVO

# Resultados TOI-4010

PERIODOGRAMA



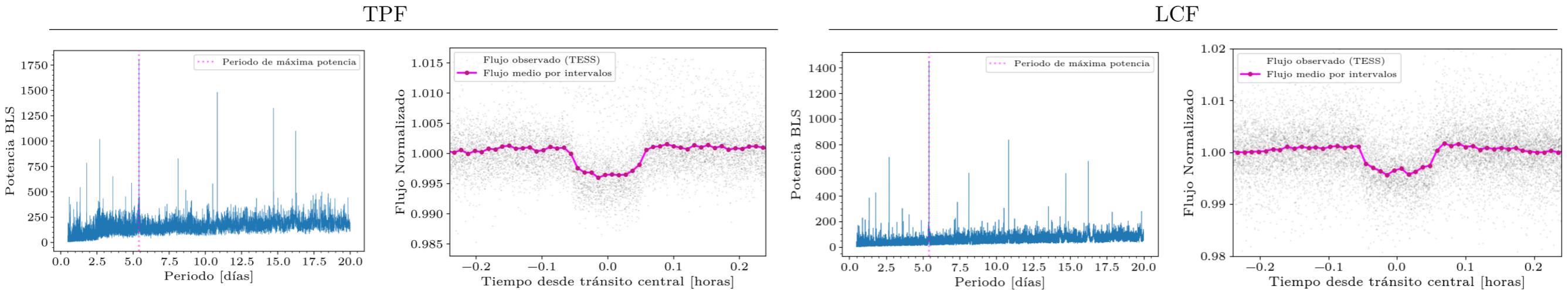
TRÁNSITO FASEADO



DATOS DE ARCHIVO

# Resultados TOI-4010

Parámetro	Origen	TOI-4010 b	TOI-4010 c	TOI-4010 d
$R_p (R_\oplus)$	TPF	$3.15 \pm 0.21$	$5.7 \pm 0.4$	$5.8 \pm 0.4$
	LCF	$3.24 \pm 0.22$	$6.0 \pm 0.4$	$6.0 \pm 0.4$
	Kun23	$3.02^{+0.08}_{-0.08}$	$5.93^{+0.11}_{-0.12}$	$6.18^{+0.14}_{-0.15}$
$a$ (UA)	TPF	$(2.22 \pm 0.09) \cdot 10^{-2}$	$(5.60 \pm 0.22) \cdot 10^{-2}$	$(1.09 \pm 0.04) \cdot 10^{-1}$
	LCF	$(2.22 \pm 0.09) \cdot 10^{-2}$	$(5.60 \pm 0.22) \cdot 10^{-2}$	$(1.09 \pm 0.04) \cdot 10^{-1}$
	Kun23	$(2.29^{+0.02}_{-0.02}) \cdot 10^{-2}$	$(5.8^{+0.1}_{-0.1}) \cdot 10^{-2}$	$(1.13^{+0.01}_{-0.01}) \cdot 10^{-1}$



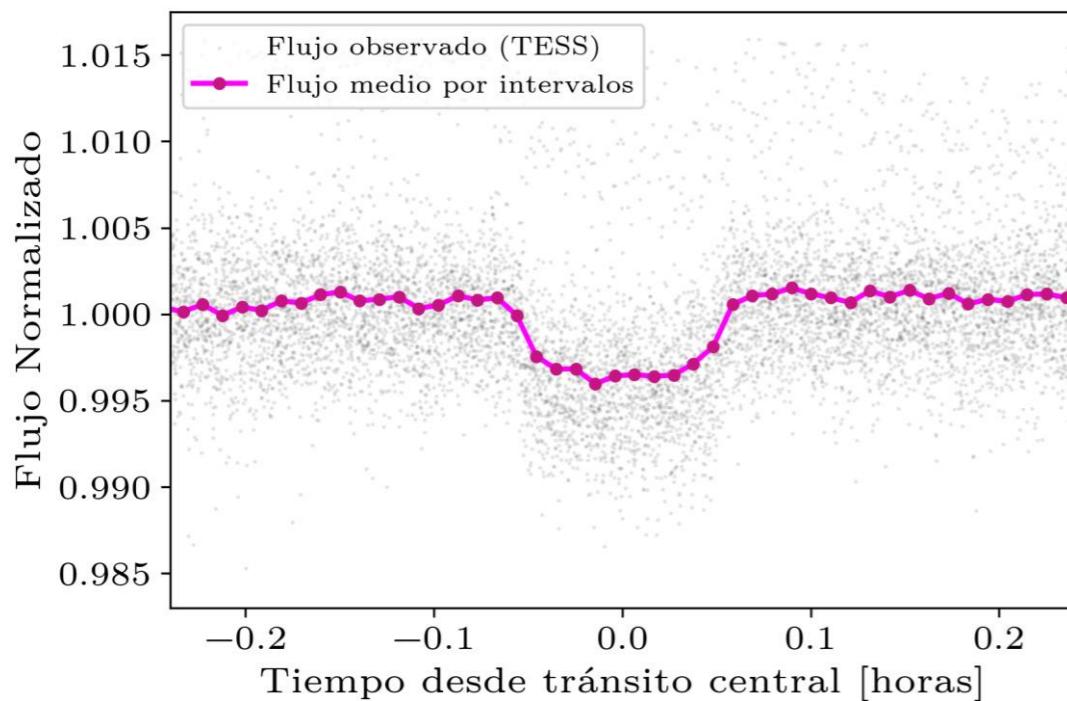
DATOS DE ARCHIVO

# Resultados TOI-4010

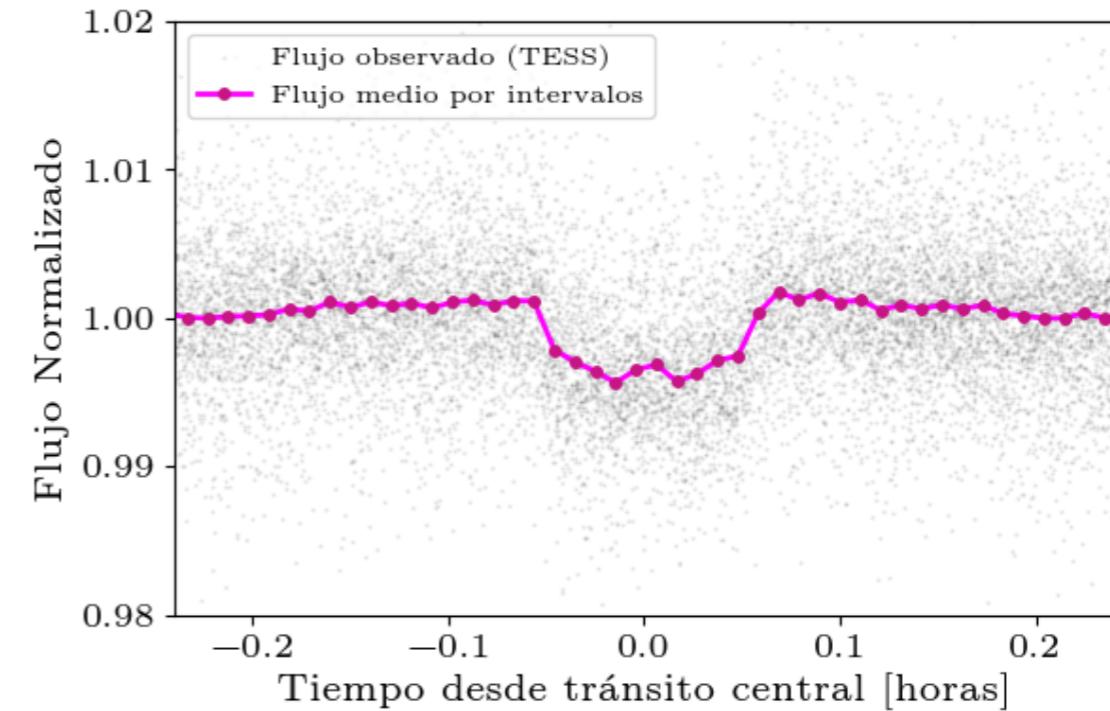
$$R_p = R_\star \sqrt{\delta}$$

$$a = \sqrt[3]{\frac{GM_\star T^2}{4\pi^2}}$$

TPF



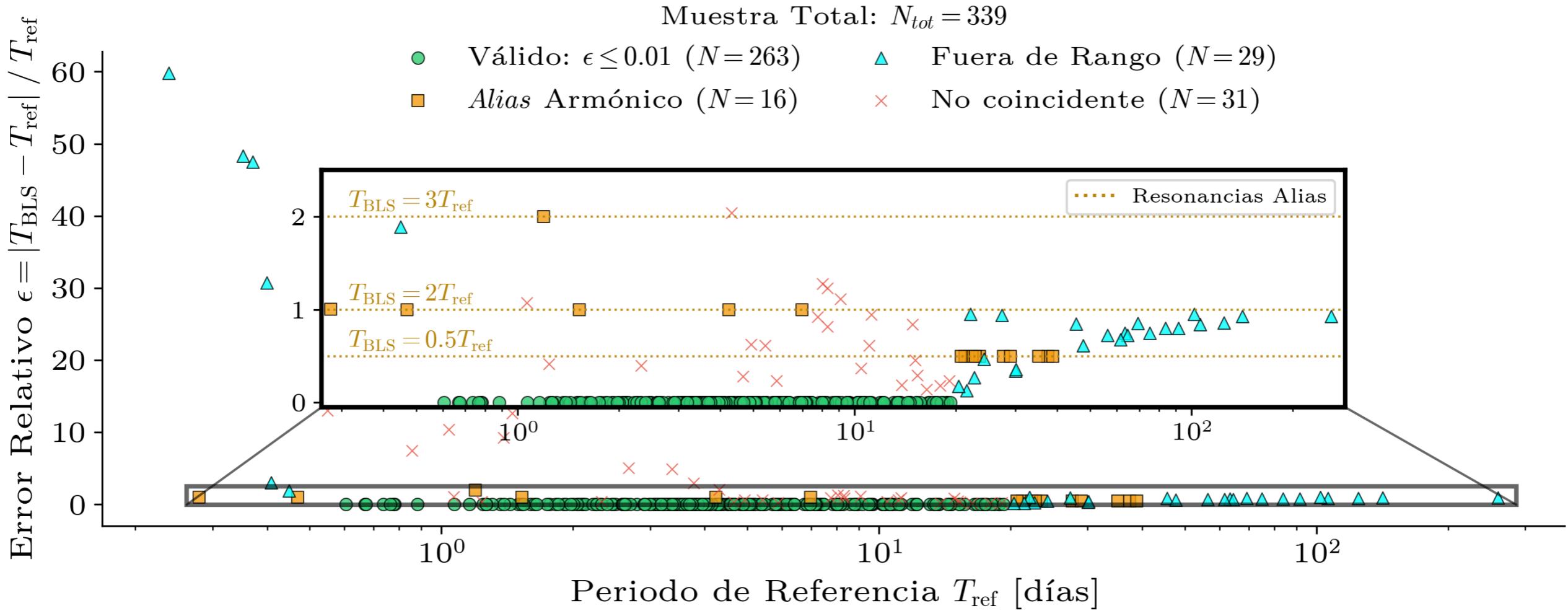
LCF



DATOS DE ARCHIVO

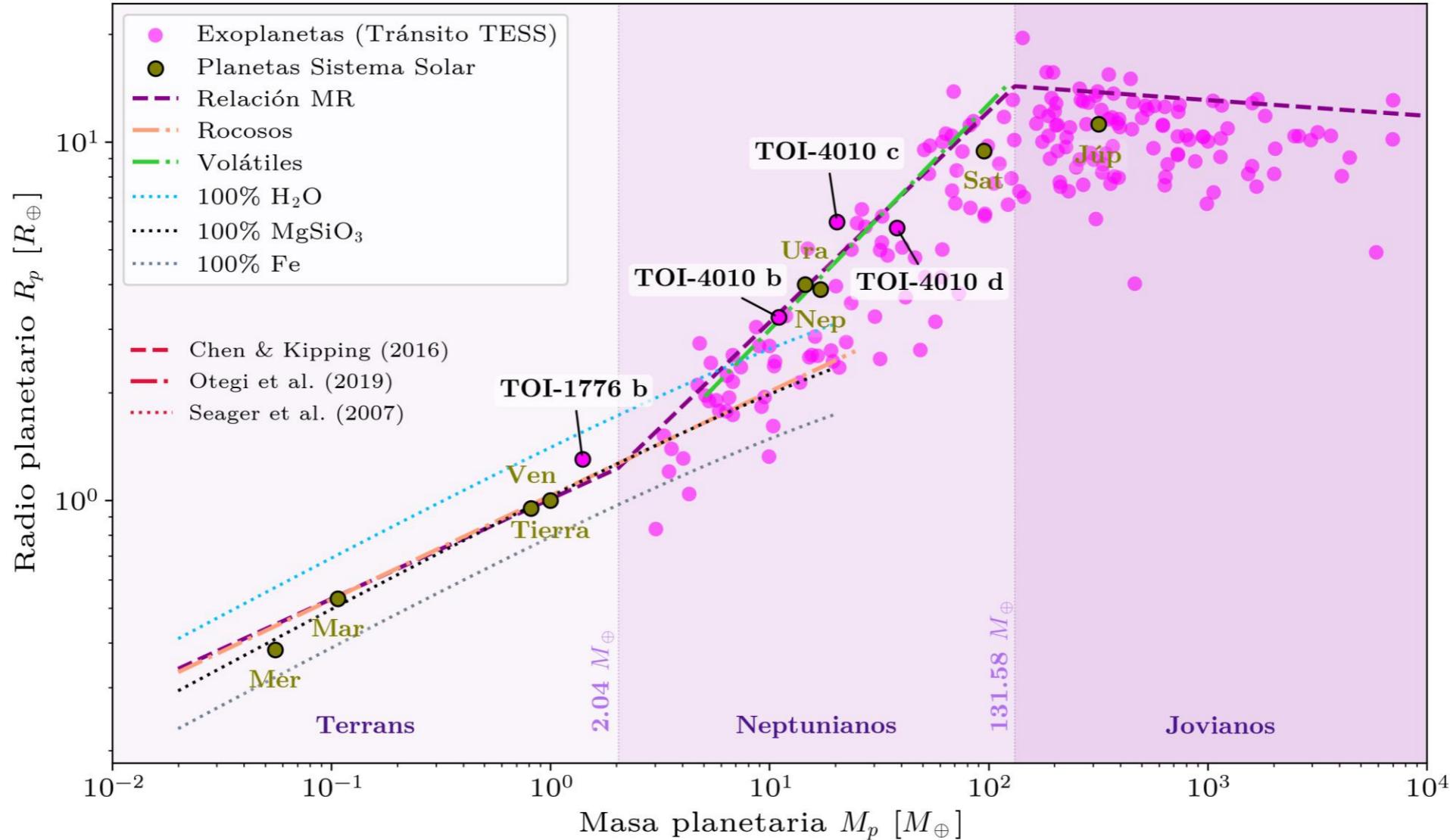
# Precisión BLS

## Análisis Poblacional



# Análisis Composicional

## Análisis Poblacional

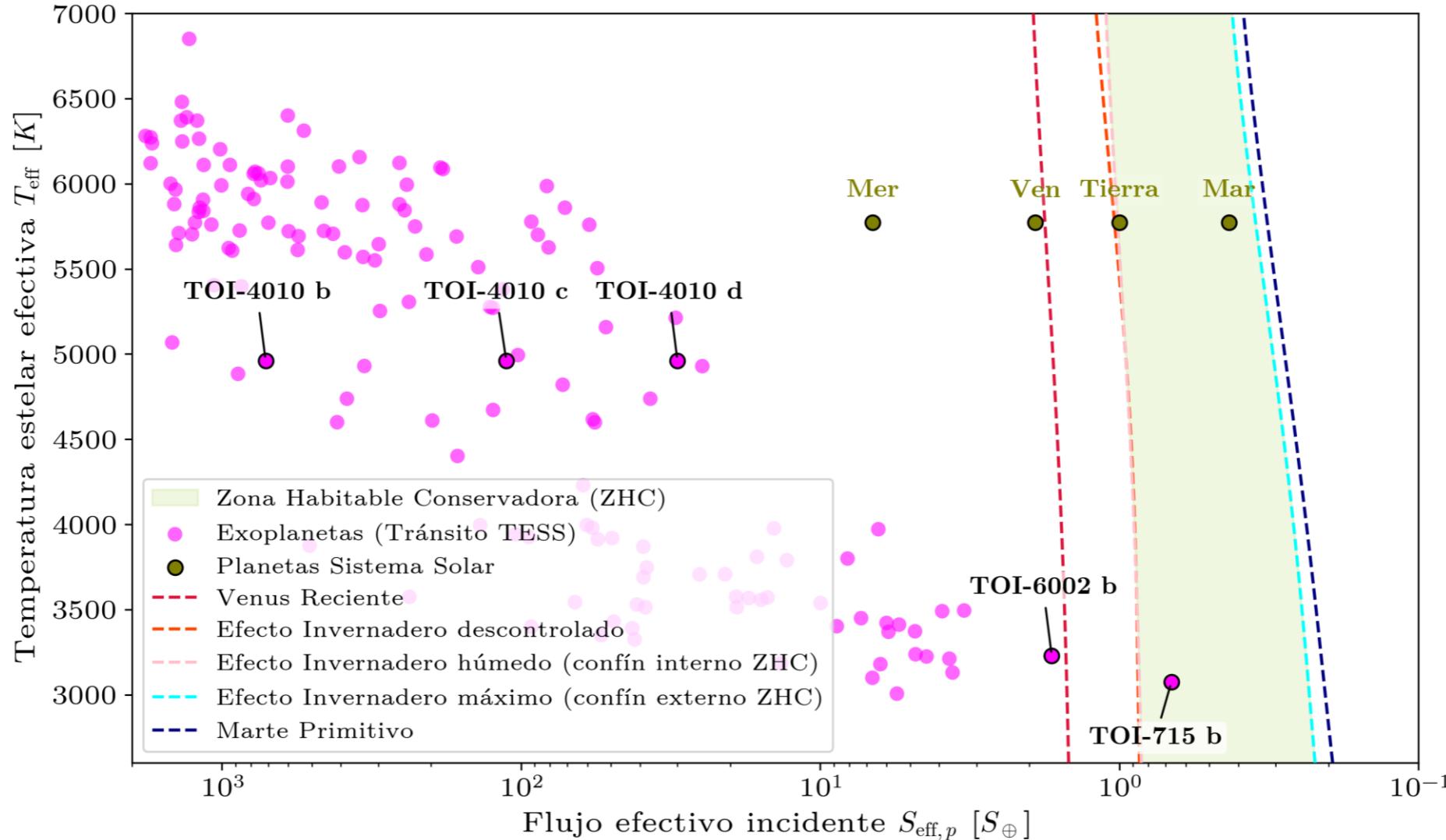


$$\alpha = \frac{\delta}{\sigma} \sqrt{nq}$$

$$\delta = \left( \frac{R_p}{R_\star} \right)^2$$

# Análisis de Habitabilidad

## Análisis Poblacional



# Conclusiones

## TOI-4010

- Todas las mediciones:  $< 1\sigma$
- TOI-4010 c:  $\epsilon_{\text{rel}} = 1.2\%$ ,  $z\text{-score} = 0.17$

## TPF vs LCF

- $R_p$ : ↑ Sensible sobreprocesado: LCF > TPF
- $a$ : Independiente (parámetro temporal)

## Precisión BLS

- $\sim 85\%$  periodos con precisión 99%
- $\sim 5\%$  alias armónicos  $\rightarrow$  TLS

## Análisis Poblacional

- Composición: sesgo hacia gaseosos
- Detección en ZHC: TOI-715 b