

# *Análisis de variaciones a largo plazo en los tiempos de mínimo y en los parámetros del exoplaneta WASP-28b*



**Romina P. Petrucci (IAFE)**

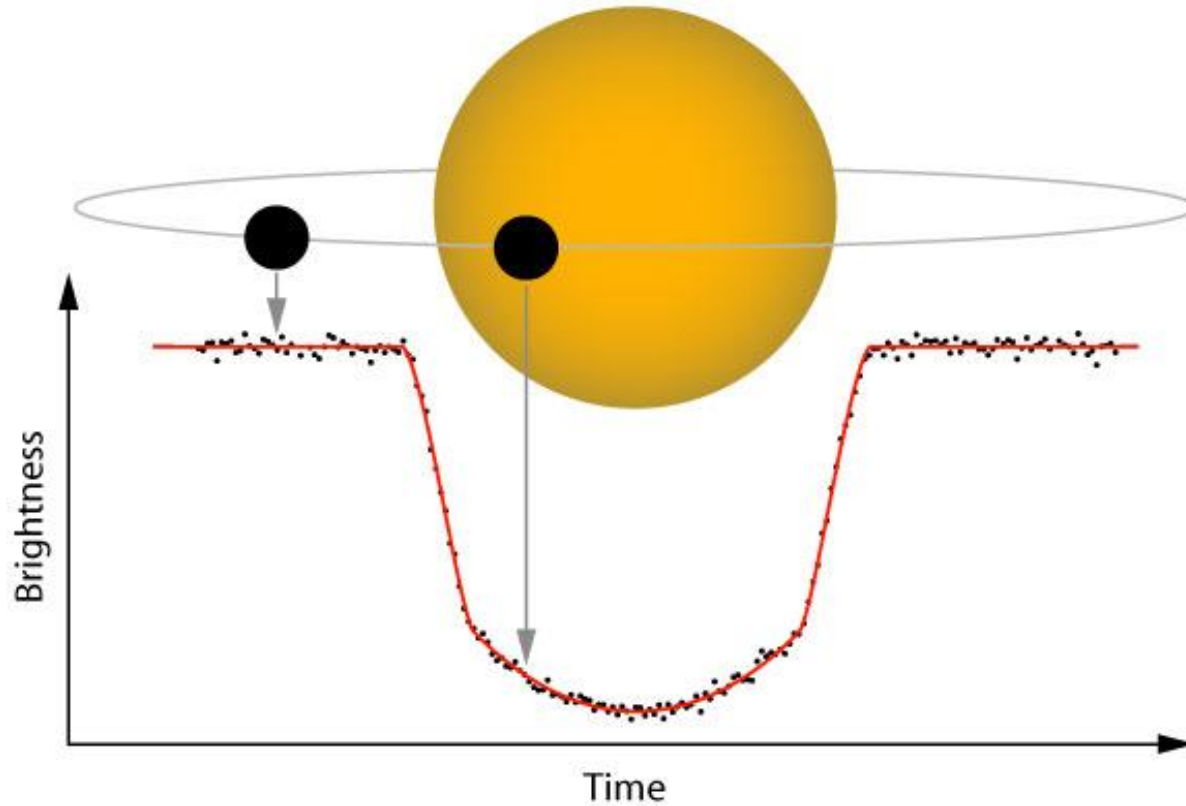
Emiliano Jofré (OAC) – Mario Melita (IAFE)

Mercedes Gómez (OAC) – Pablo Mauas (IAFE)



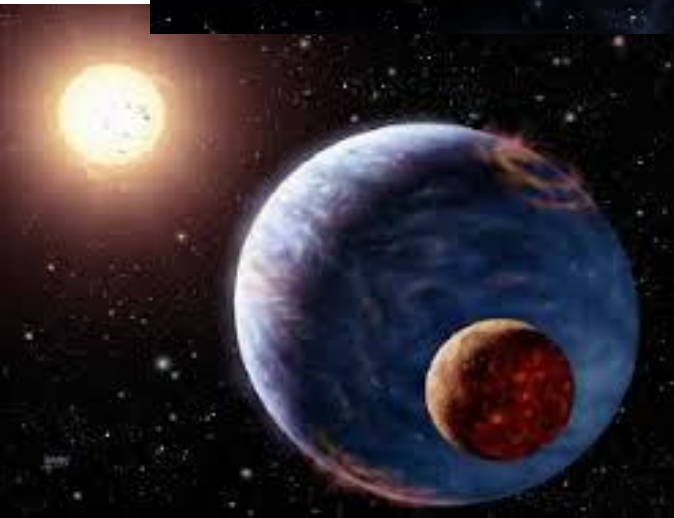
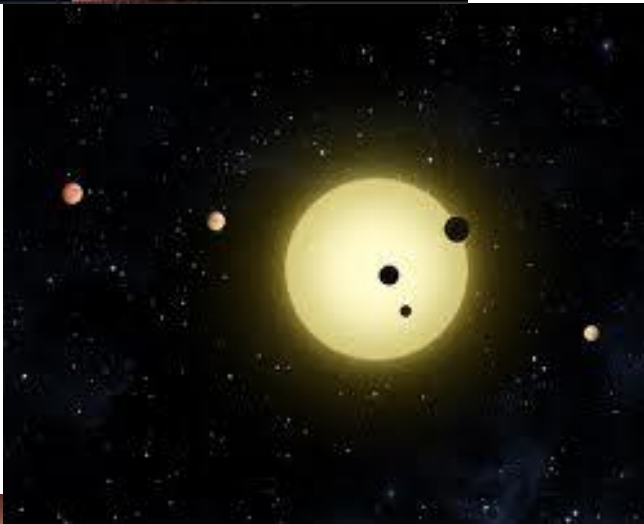
# TRÁNSITOS PLANETARIOS

Técnica más fructífera (más de 1100 planetas detectados)



Parámetros obtenidos a partir de las curvas de luz:

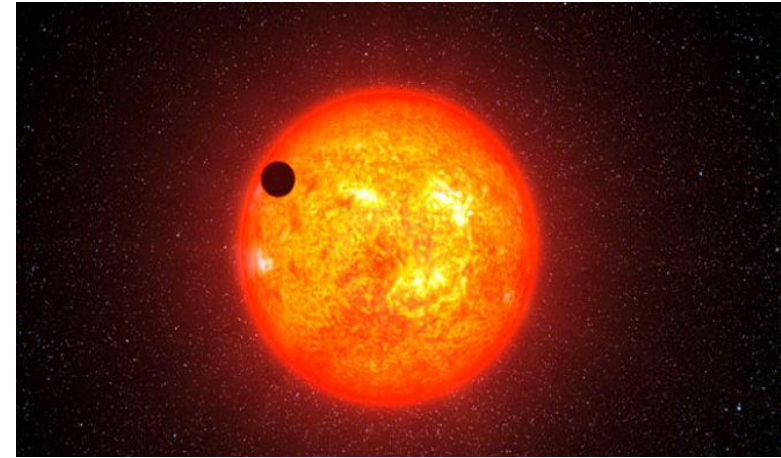
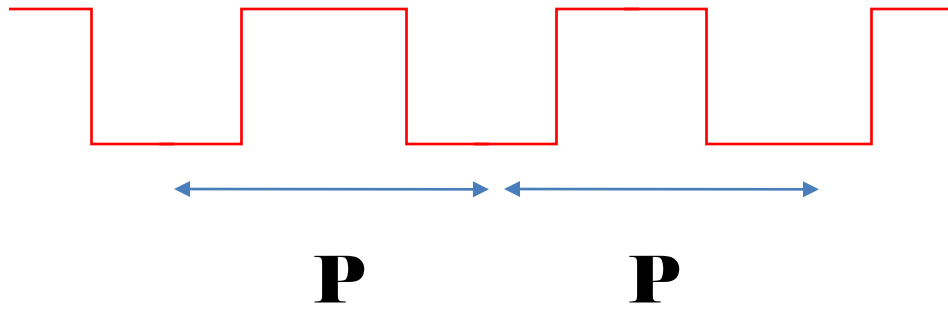
- Inclinación  $\rightarrow i$
- Radio planetario relativo  $\rightarrow R_p/R_* = k$
- Tiempo de mínimo  $\rightarrow T_0$
- Período orbital  $\rightarrow P$



¿Podemos encontrar otros  
cuerpos en sistemas con planetas  
transitantes?

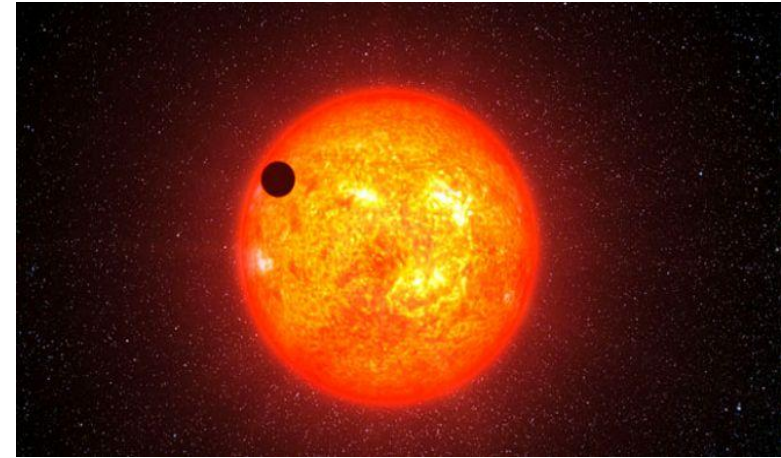
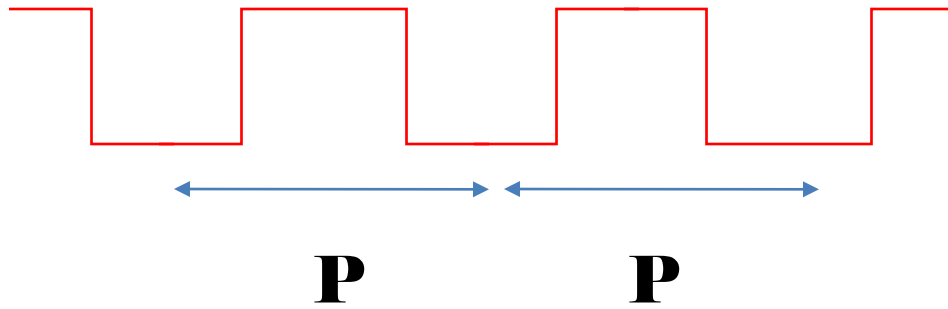
# TTVs (Transit Timing Variations)

Estrella + Planeta ( $P=constante$ )



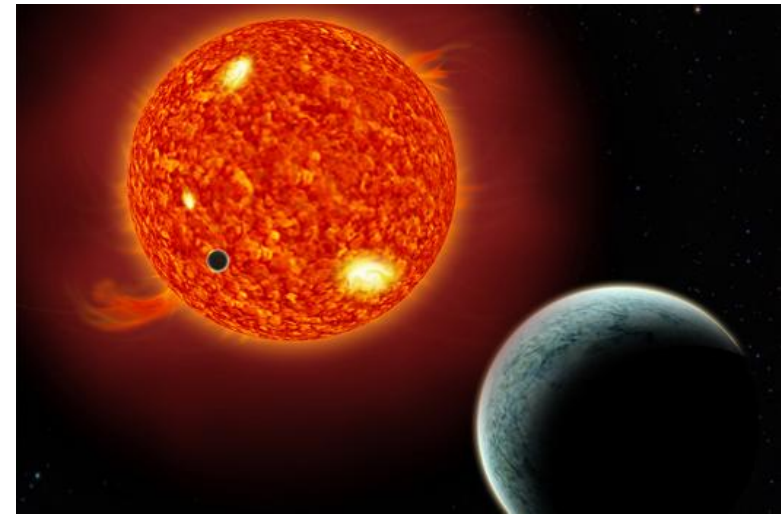
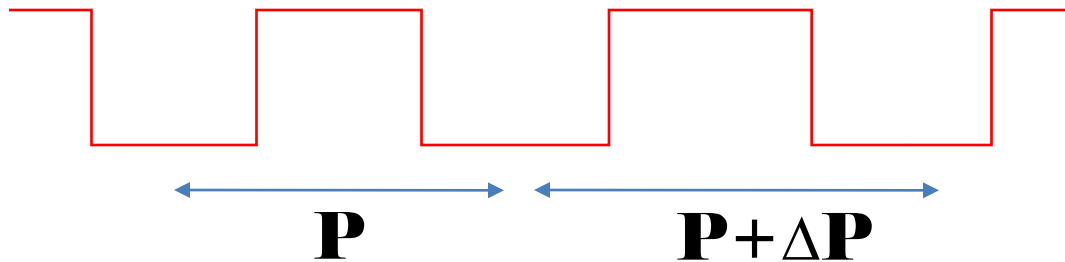
# TTVs (Transit Timing Variations)

Estrella + Planeta ( $P=constante$ )

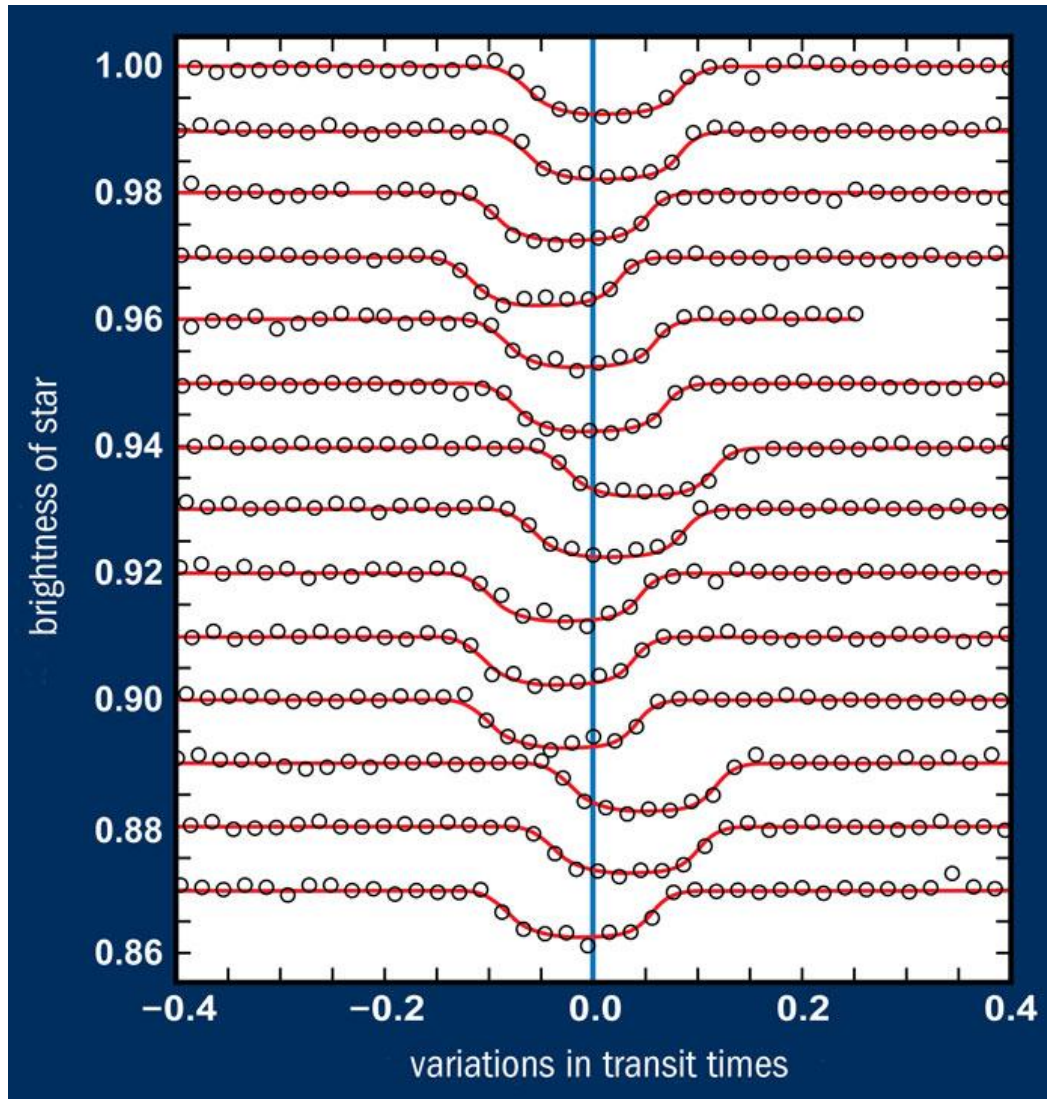


...Pero

Estrella + Planeta + Perturbador



# TTVs (Transit Timing Variations)

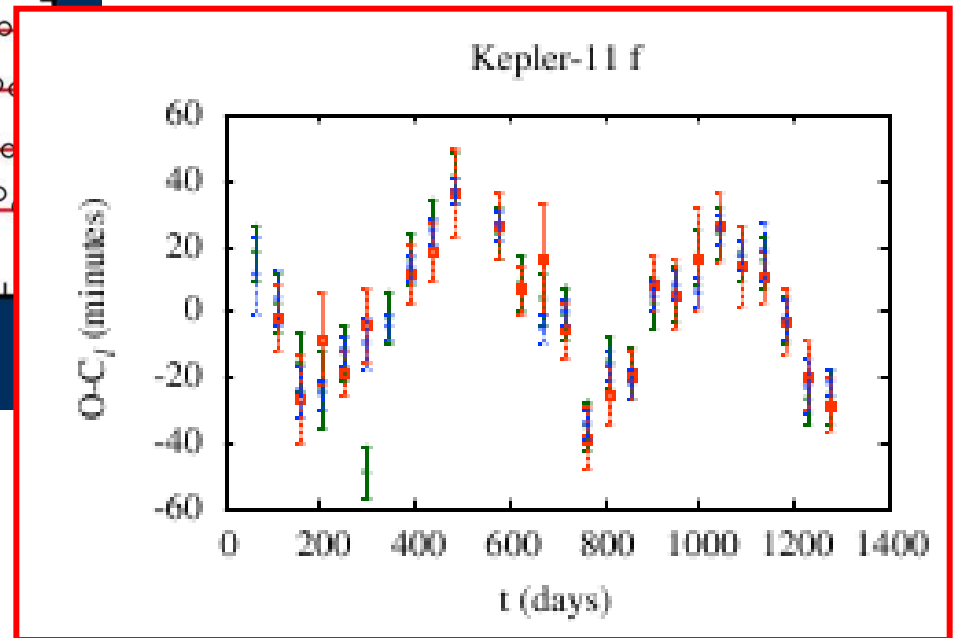
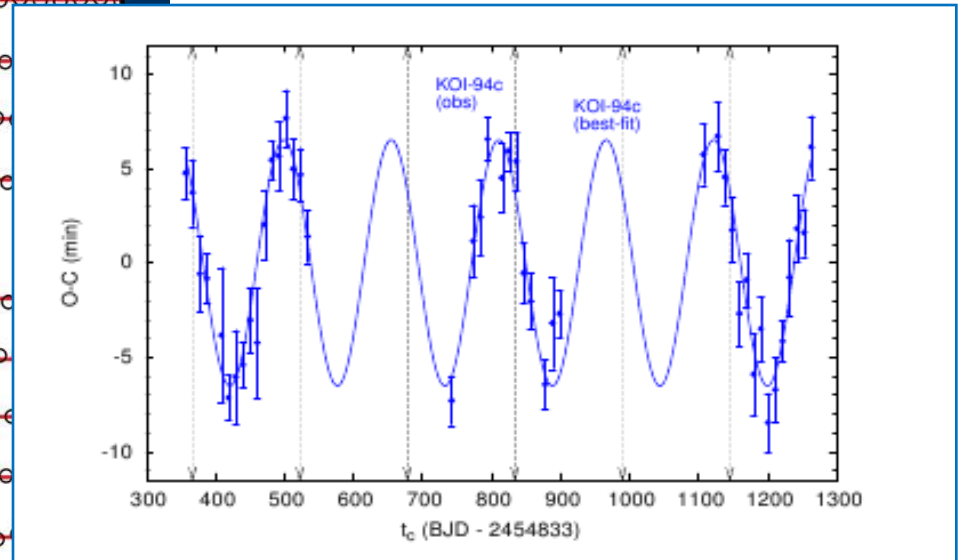
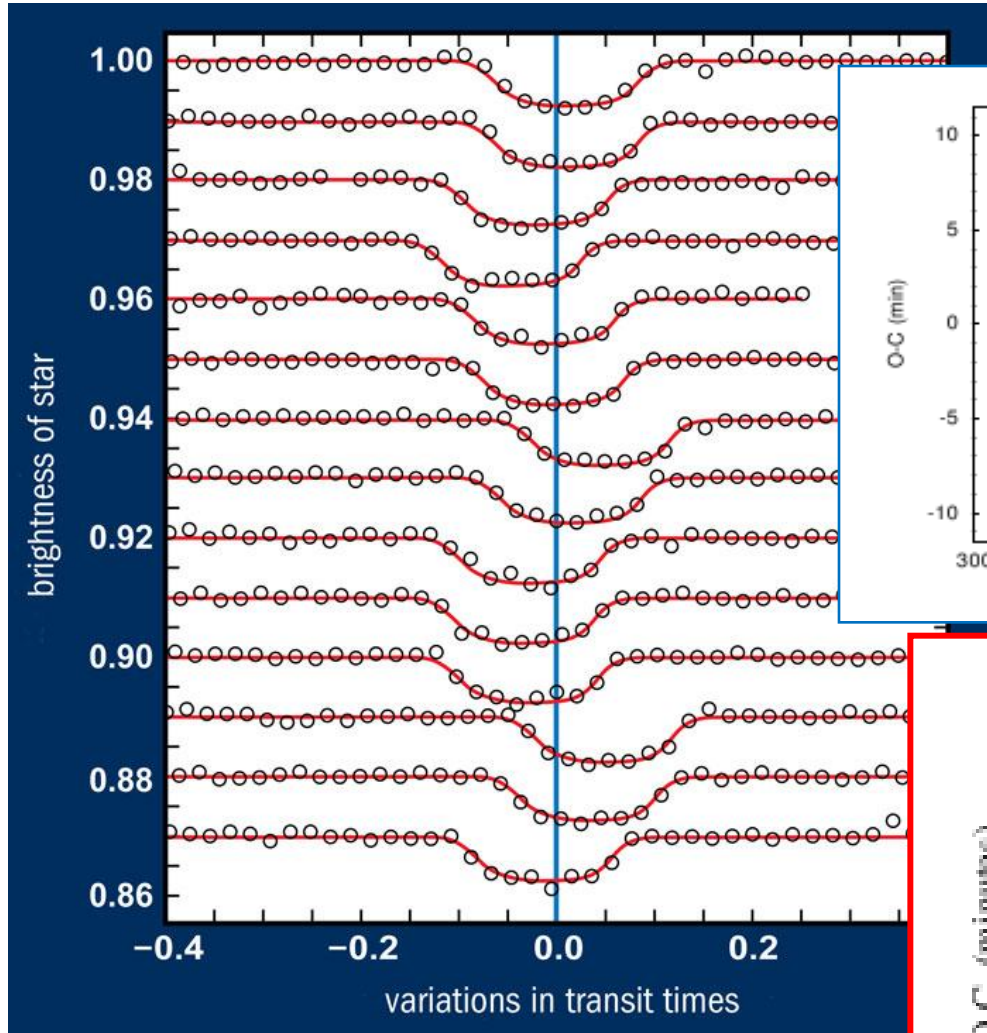


Línea azul: posición esperada para el mínimo.

Si existe un perturbador, la posición del mínimo se mueve de un lado al otro de la línea azul.

# TTVs (Transit Timing Variations)

• KOI-94c

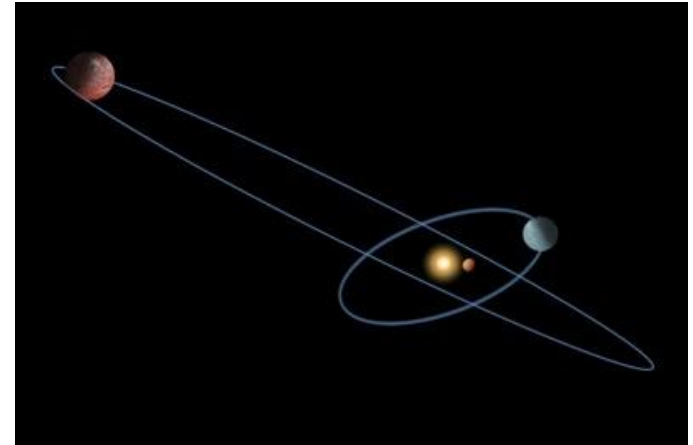


*TTVs detectadas no sólo desde el espacio sino también desde Tierra!!*

## Otros indicadores de posibles compañeros:

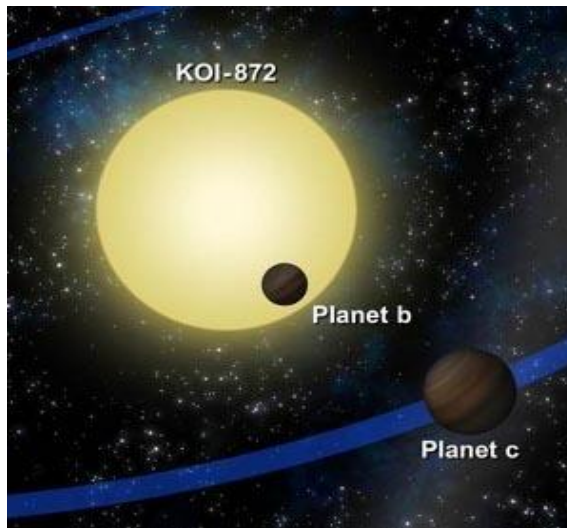
### • Variaciones en la inclinación

-- Perturbador en una órbita no-coplanar  
(Coughlin et al. 2008)

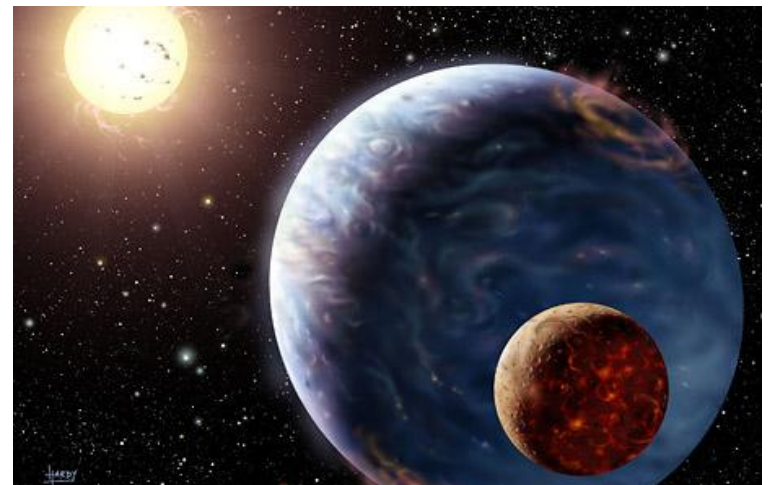


### • Variaciones en la profundidad

-- Perturbador: **Otro planeta**  
Masuda et al. (2013)



-- Perturbador: **Satélite**  
(Sartoretti & Schneider 1999)

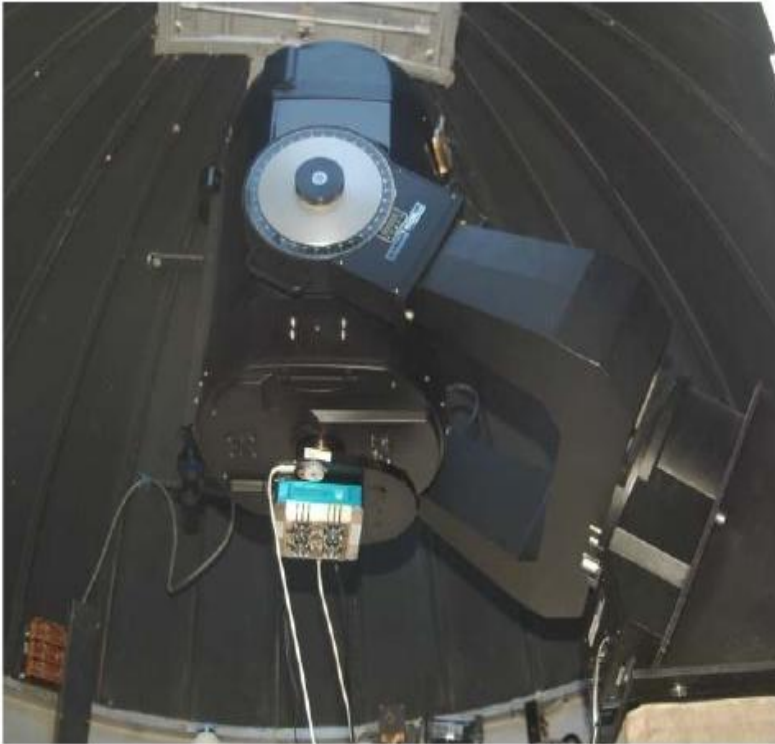




# Nuestro trabajo

**2011: comienzo monitoreo fotométrico continuo de estrellas con planetas transitantes del Hemisferio Sur con el objetivo de buscar TTVs. Instrumental: telescopios argentinos.**

0.40 m THG (CASLEO)



+

1.54 m (EABA)



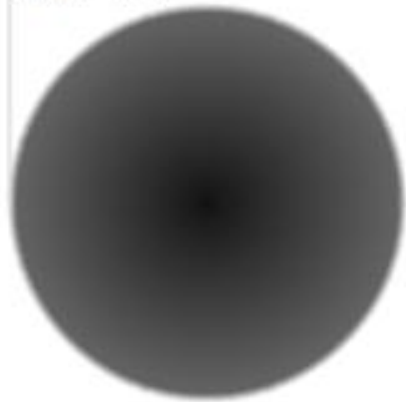
Colaboradores:

Emiliano Jofré (OAC), Mario Melita (IAFE), Virginia Cúneo (OAC), Leticia Ferrero (OAC), Leila Saker (OAC), Pablo Perna (IAFE), Andrea Buccino (IAFE), Estefanía Vendemmia (OAC), Flavia Lovos (OAC).

# WASP-28 b

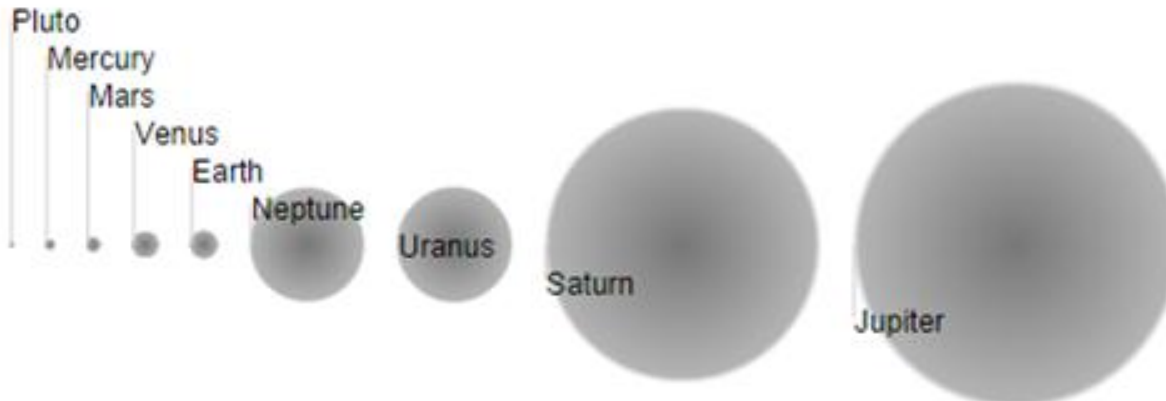
- Descubierta por el relevamiento SuperWASP (Anderson et al. 2014).
- Sistema: estrella F8 + “Hot-Júpiter” ( $M_p = 0.907 M_J$ ,  $R_p = 1.213 R_J$ ) en una órbita circular con  $P = 3.408$  días y  $a = 0.044$  UA.

WASP-28 b

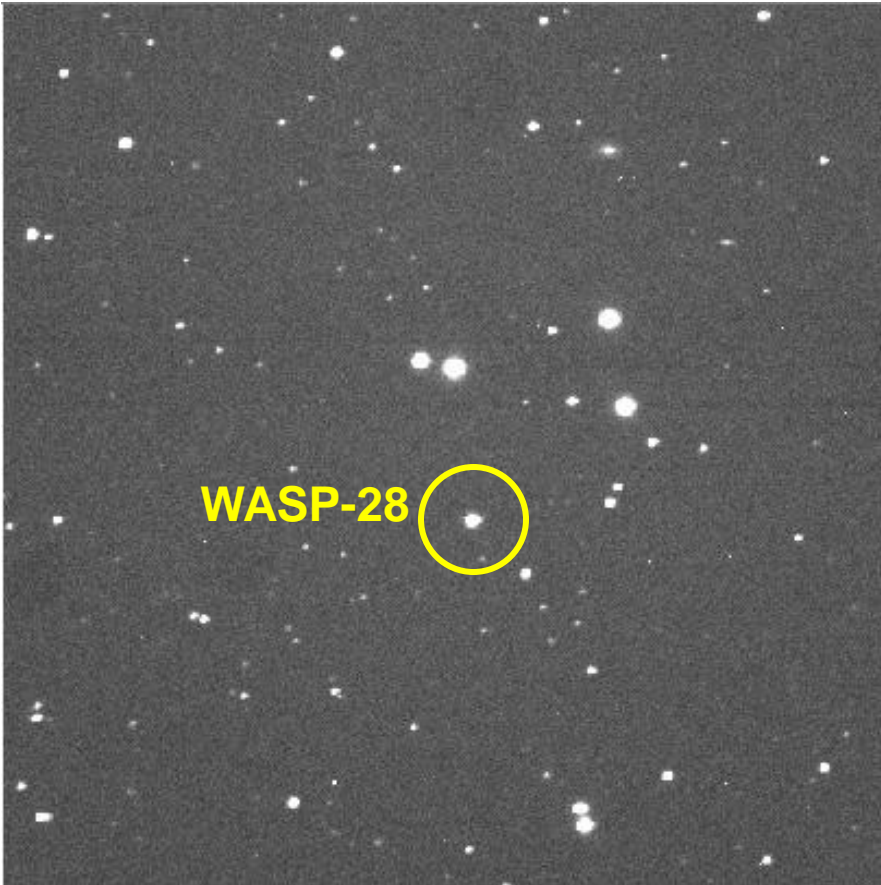


▪ WASP-28 es pobre en metales,  $[Fe/H] = -0.29$  dex.

▪ No posee ningún estudio previo de TTVs.



# Observaciones



- 4 tránsitos con el THG (2011-2013)

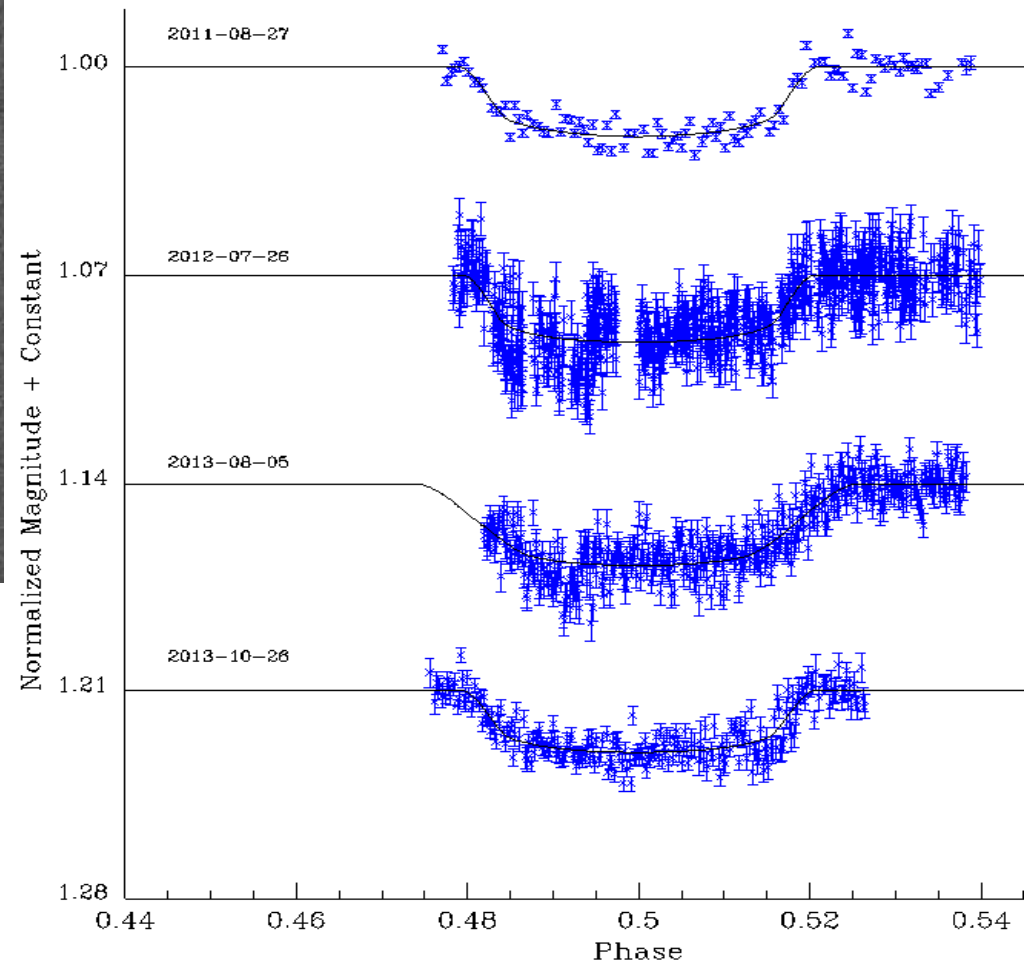
Fotometría diferencial:  
FOTOMCC (Petrucci et al. 2013)  
Fotometría de apertura

# Observaciones

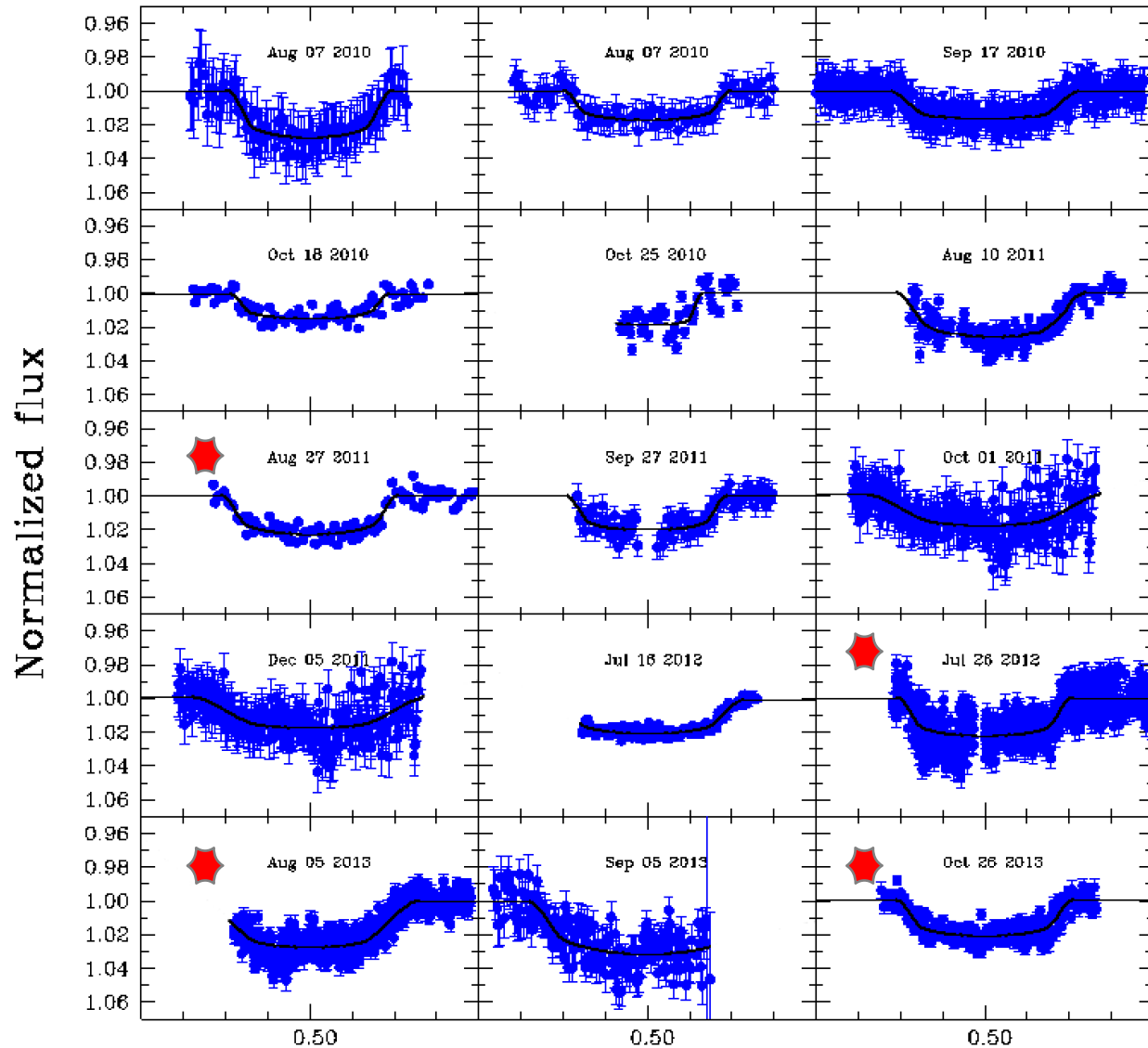
- 4 tránsitos con el THG (2011-2013)

Fotometría diferencial:  
FOTOMCC (Petrucci et al. 2013)  
Fotometría de apertura

WASP-28



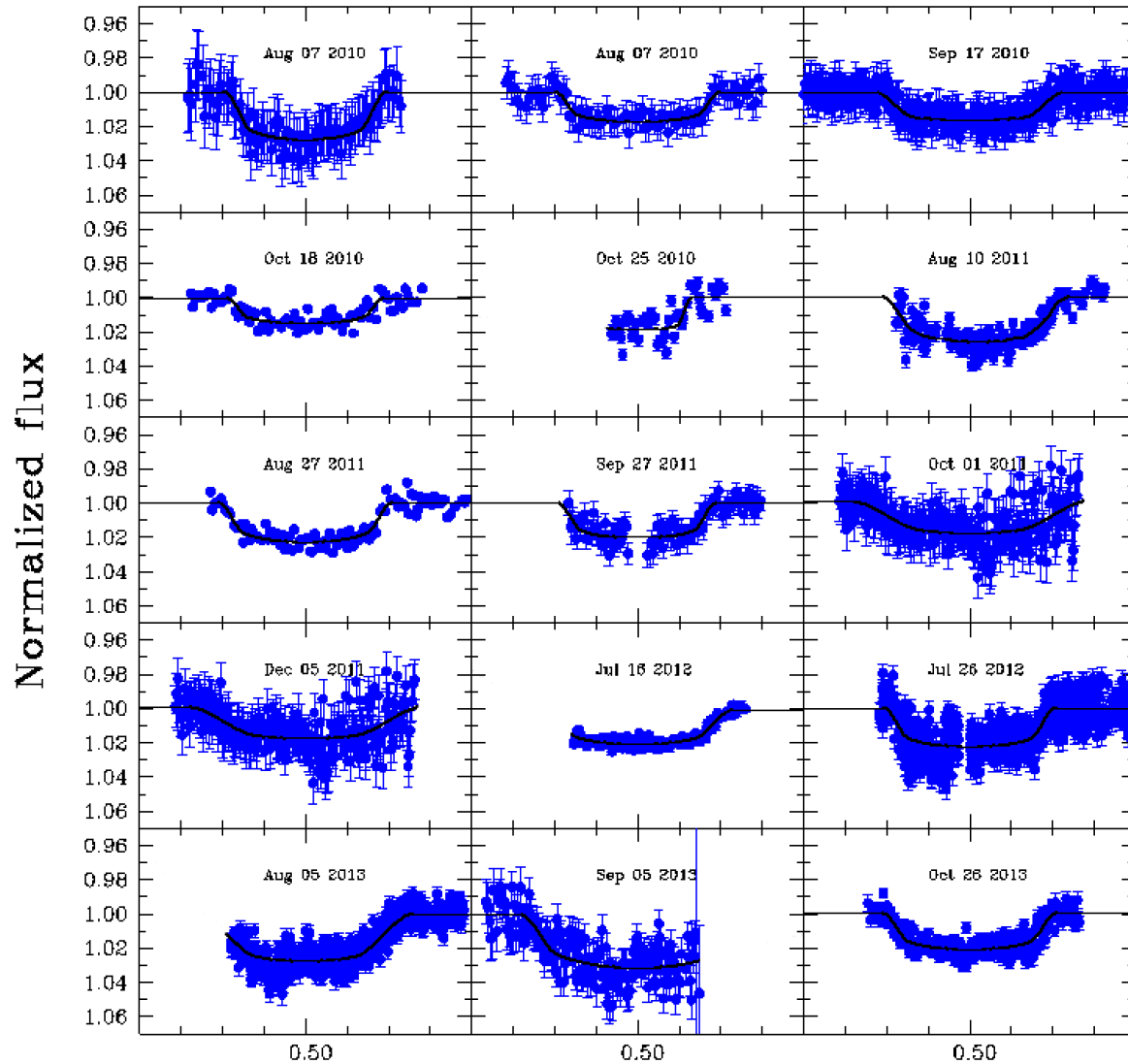
# 15 Curvas de Luz: 11 (ETD) + 4 THG (cobertura temporal: 3 años)



Phase

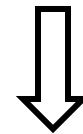
Petrucci et al. (2014, MNRAS, enviado)

# 15 Curvas de Luz: 11 (ETD) + 4 THG (cobertura temporal: 3 años)



Análisis Homogéneo

JKTEBOP  
(Southworth et al. 2008)



$i, r_*, r_p, T_0$

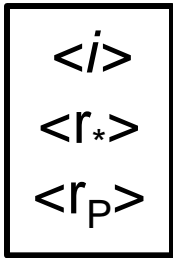
# Parámetros físicos de la estrella y el exoplaneta

• Tránsitos completos y de alta calidad

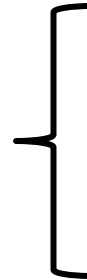
$$\longrightarrow PNR = \frac{rms}{\sqrt{\Gamma}} < 5$$

Fulton et al. (2011)

• 5 curvas de luz:



JKTABSDIM  
(Southworth 2009)

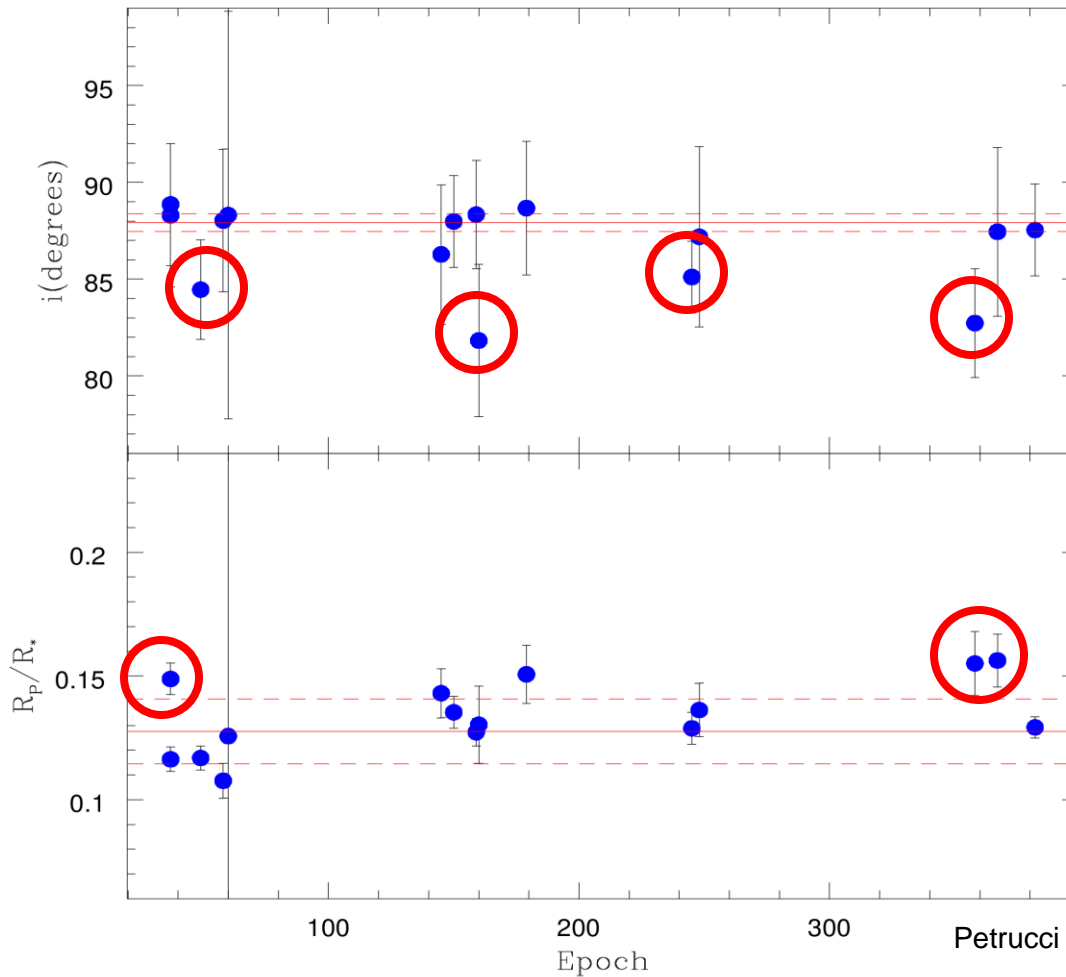


$M_*, M_p, R_*, R_p, a, \text{Edad y } \log g_*$   
+  
 $g_p, T_{eq}$

Parameter	Value
Stellar Mass $M_*$ ( $M_\odot$ )	$1.011 \pm 0.028$
Stellar Radius $R_*$ ( $R_\odot$ )	$1.123 \pm 0.052$
Stellar gravity $\log g_*$ (cgs)	$4.342 \pm 0.040$
Planet Mass $M_p$ ( $M_{Jup}$ )	$0.899 \pm 0.035$
Planet Radius $R_p$ ( $R_{Jup}$ )	$1.354 \pm 0.166$
Planet equilibrium temperature $T_{eq}$ (K)	$1473 \pm 30$
Planet surface gravity $\log g_p$ (cgs)	$3.083 \pm 0.091$
Semimajor axis $a$ (UA)	$0.0445 \pm 0.0004$
Age (Gyr)	$4.2 \pm 1.0$

**Buen acuerdo con los parámetros reportados en Anderson et al. (2014)**

# Búsqueda de variaciones a largo plazo en $i$ y $k$



Petrucci et al. (2014, MNRAS, enviado)

• Algunos puntos fuera de la zona de  $\pm \sigma$ .

• Periodograma de Lomb-Scargle  
(Horne & Baliunas 1986)

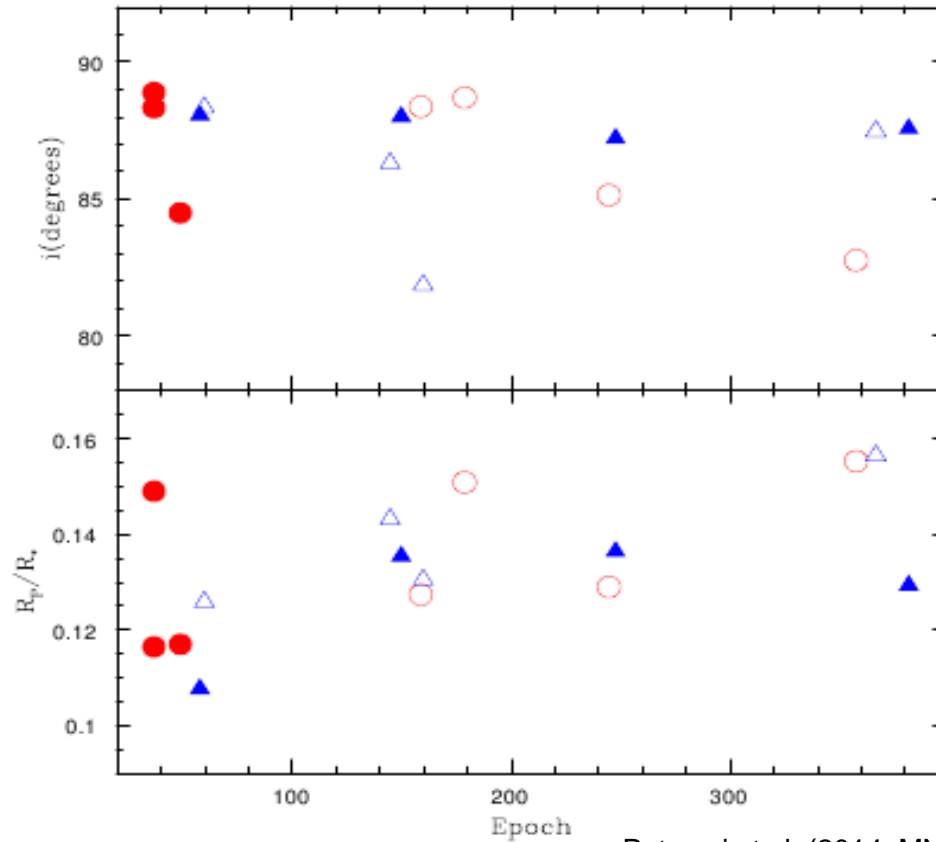


Ningún pico significativo



# Búsqueda de variaciones a largo plazo en $i$ y $k$

## Tránsitos incompletos:

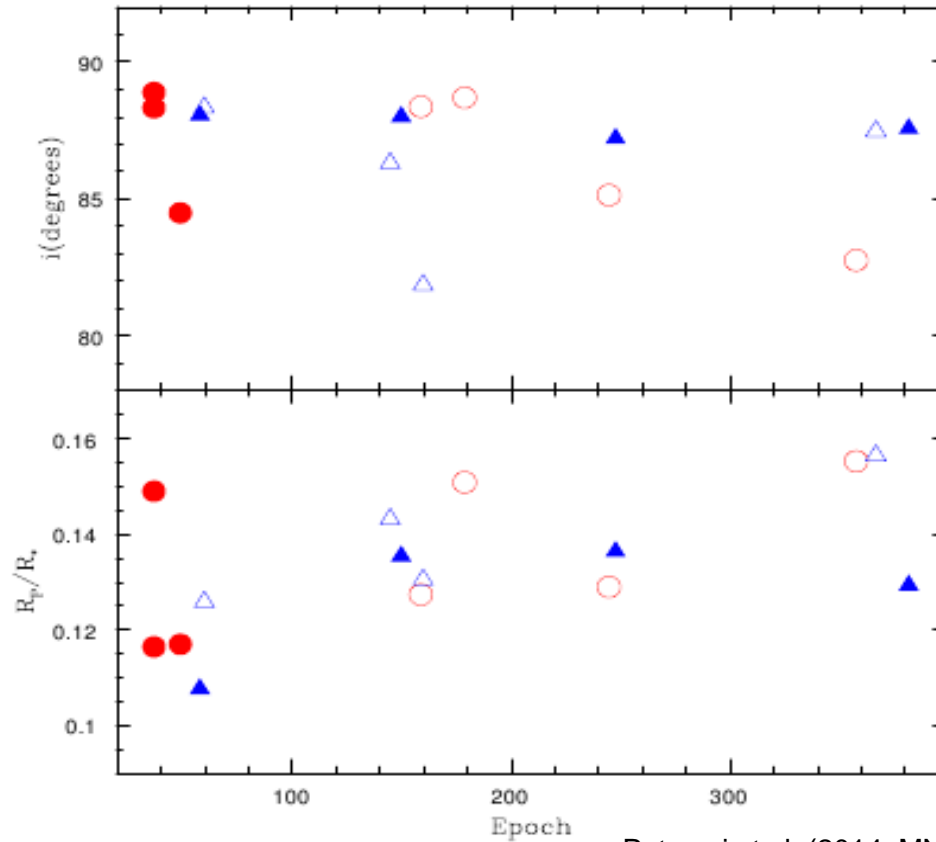


Transit	$i_{\text{median}}$	$\sigma_i$	$k_{\text{median}}$	$\sigma_k$
Complete	87.98	1.43	0.129	0.014
Incomplete	86.86	2.64	0.136	0.013

Petrucci et al. (2014, MNRAS, enviado)

# Búsqueda de variaciones a largo plazo en $i$ y $k$

**Tránsitos incompletos: no afectarían los valores de  $i$  y  $k$ .**

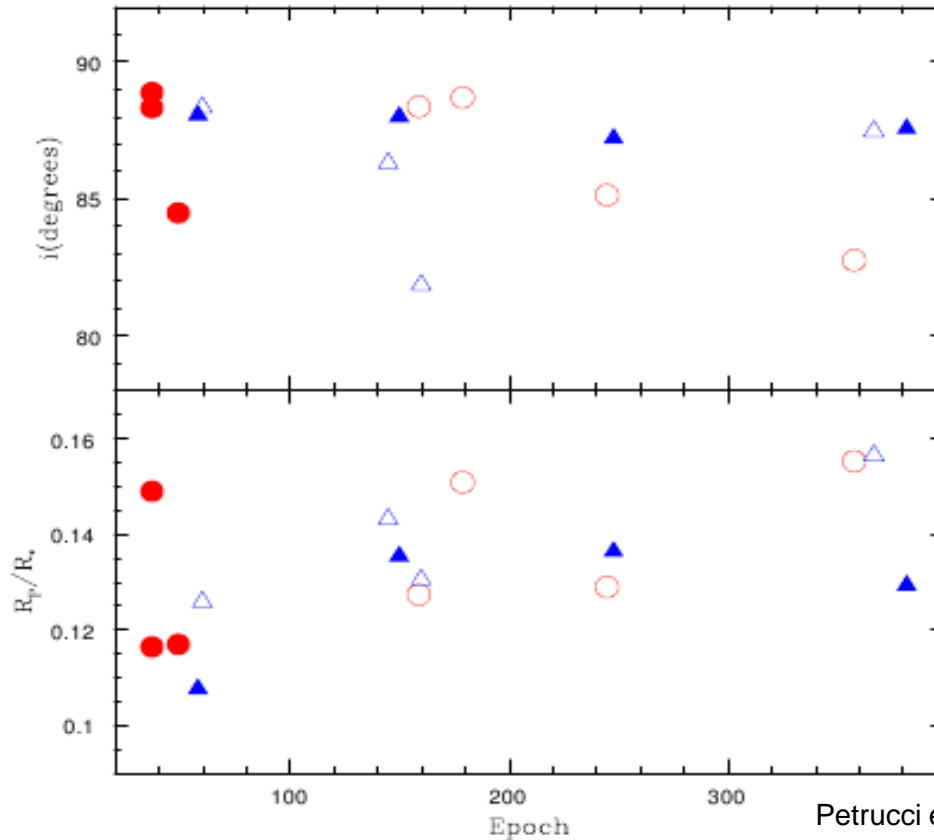


Transit	$i_{\text{median}}$	$\sigma_i$	$k_{\text{median}}$	$\sigma_k$
Complete	87.98	1.43	0.129	0.014
Incomplete	86.86	2.64	0.136	0.013

Petrucci et al. (2014, MNRAS, enviado)

# Búsqueda de variaciones a largo plazo en $i$ y $k$

Tránsitos incompletos: no afectarían los valores de  $i$  y  $k$ .



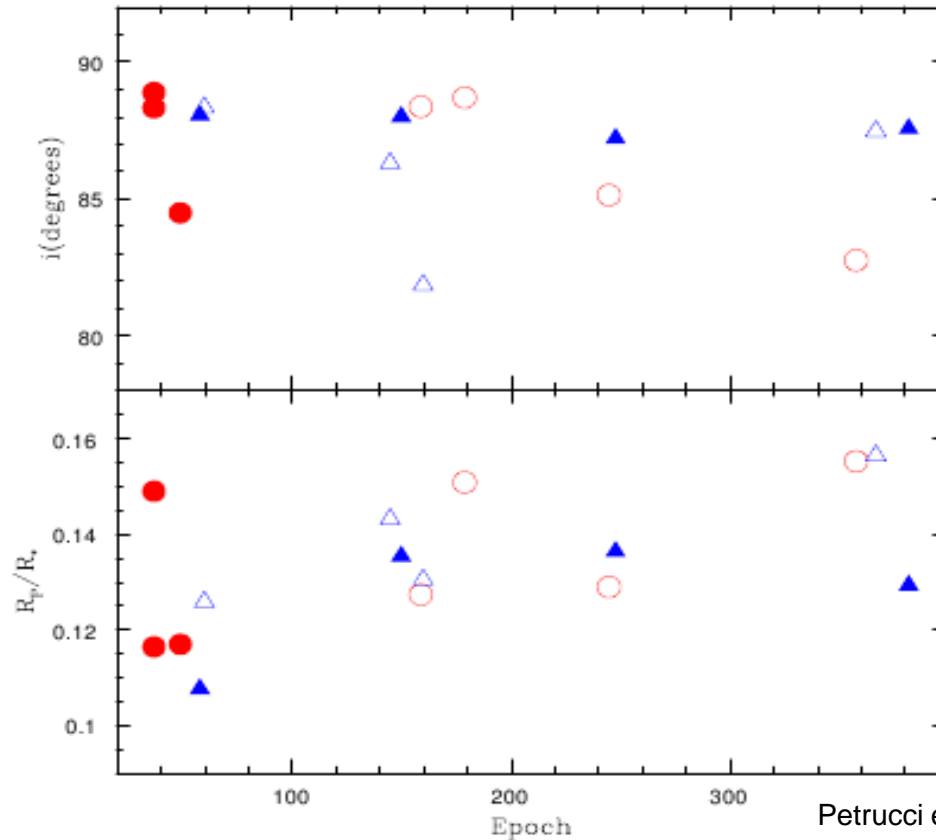
Transit	$i_{\text{median}}$	$\sigma_i$	$k_{\text{median}}$	$\sigma_k$
Complete	87.98	1.43	0.129	0.014
Incomplete	86.86	2.64	0.136	0.013

Petrucci et al. (2014, MNRAS, enviado)

Conclusiones opuestas: tránsitos incompletos **SÍ** influirían en los valores de ciertos parámetros del sistema (Barros et al. 2013).

# Búsqueda de variaciones a largo plazo en $i$ y $k$

Tránsitos incompletos: no afectarían los valores de  $i$  y  $k$ .



Petrucci et al. (2014, MNRAS, enviado)

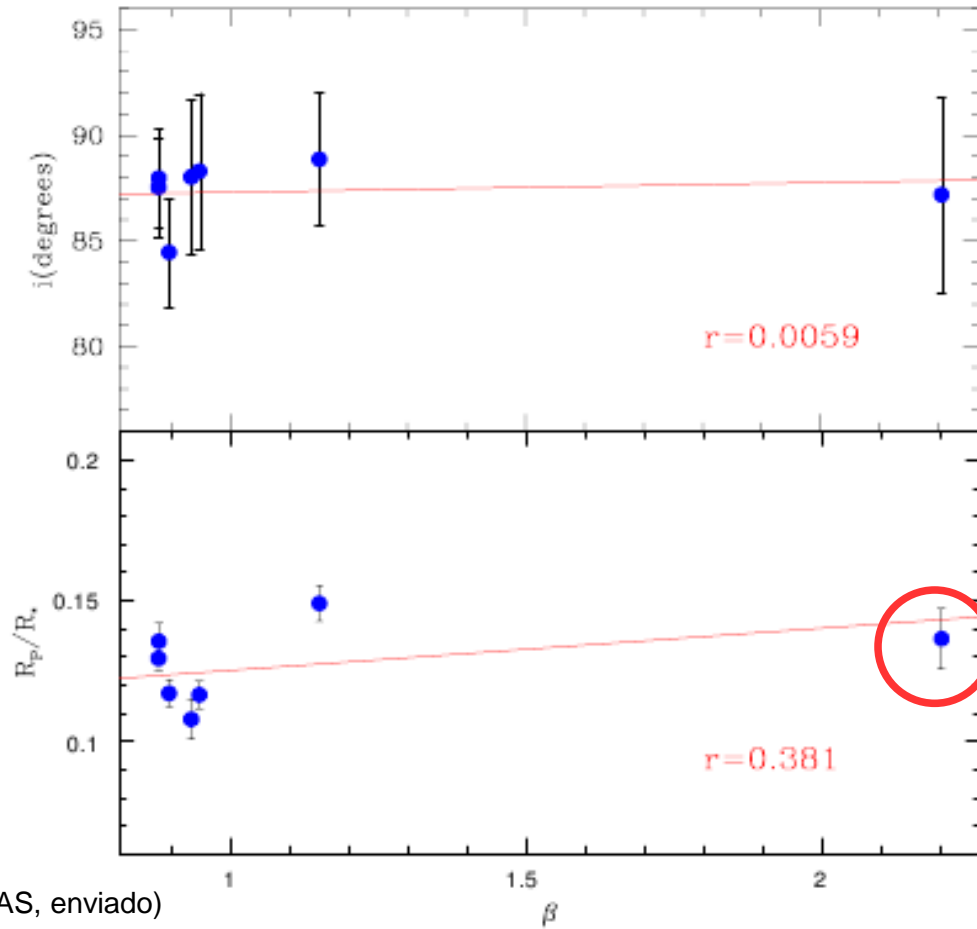
Transit	$i_{\text{median}}$	$\sigma_i$	$k_{\text{median}}$	$\sigma_k$
Complete	87.98	1.43	0.129	0.014
Incomplete	86.86	2.64	0.136	0.013

Conclusiones opuestas: tránsitos incompletos **SÍ** influirían en los valores de ciertos parámetros del sistema (Barros et al. 2013).

Excluir **TRÁNSITOS INCOMPLETOS**

# Búsqueda de variaciones a largo plazo en $i$ y $k$

## Ruido Rojo ( $\beta$ ):



Excluyendo el tránsito con  $\beta=2.2, r=0.577$

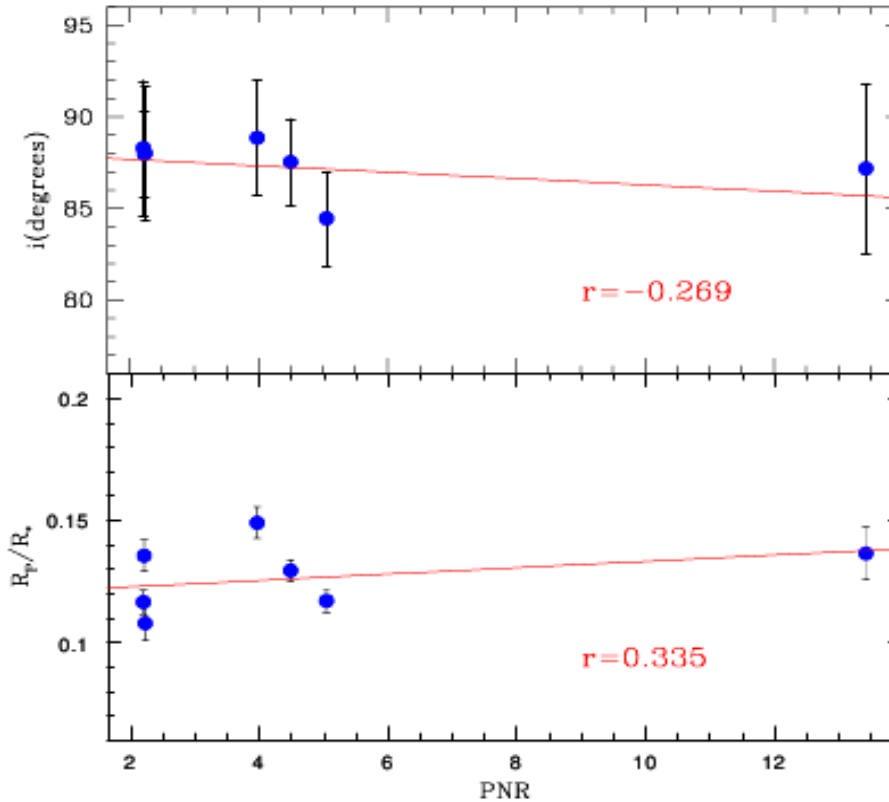
Petrucci et al. (2014, MNRAS, enviado)

$\beta=1$  no hay ruido rojo presente

Ruido Rojo: - Sobrestimación de  $R_p$ .  
- No influiría sobre  $i$ .

# Búsqueda de variaciones a largo plazo en $i$ y $k$

## Photon Noise Rate (PNR):



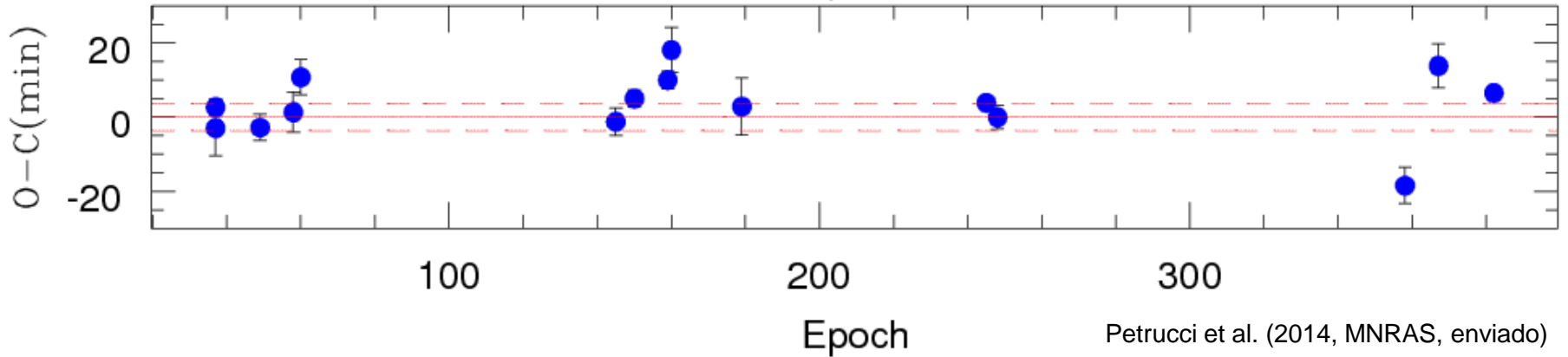
Anticorrelación entre  $i$  y PNR

Correlación entre  $k$  y PNR

Petrucci et al. (2014, MNRAS, enviado)

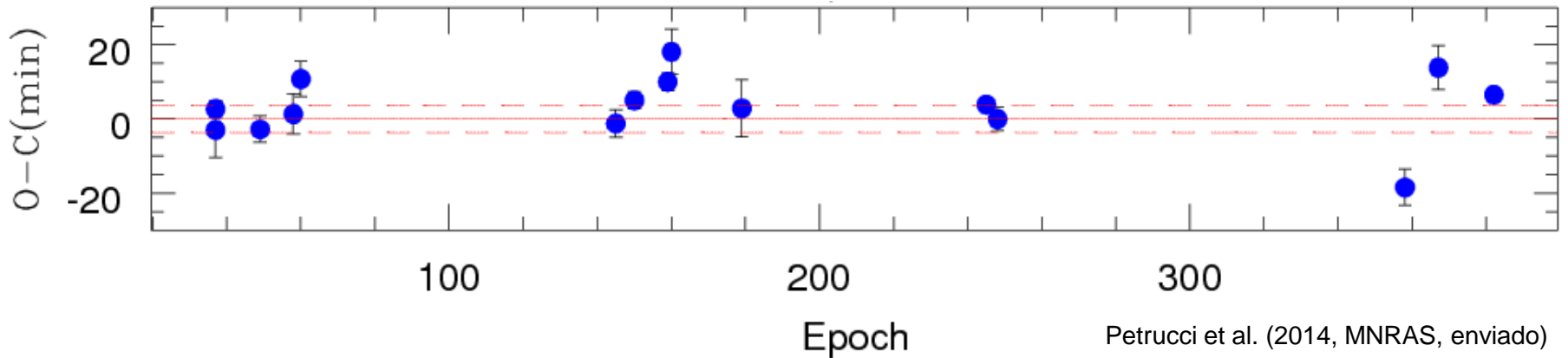
PNR: - Sobrestimación de  $R_p$ .  
- Subestimación de  $i$ .

# Búsqueda de variaciones en los tiempos de mínimo (TTVs)



Considerando los 15 puntos  $\longrightarrow \chi_r^2 = 3.27 \longrightarrow$  **Variación no-lineal!**

# Búsqueda de variaciones en los tiempos de mínimo (TTVs)

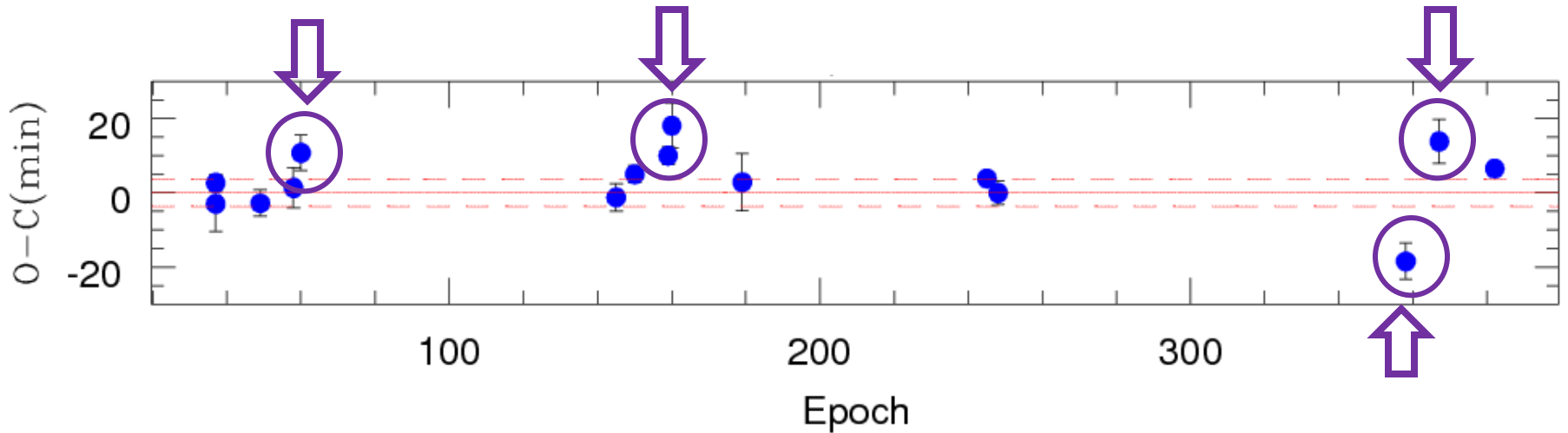


Considerando los 15 puntos  $\longrightarrow \chi_r^2 = 3.27 \longrightarrow$  **Variación no-lineal!**

Periodograma Lomb-Scargle:  
Ningún pico significativo  $\longrightarrow$  **Excluye la presencia de un perturbador**



## Búsqueda de variaciones en los tiempos de mínimo (TTVs)

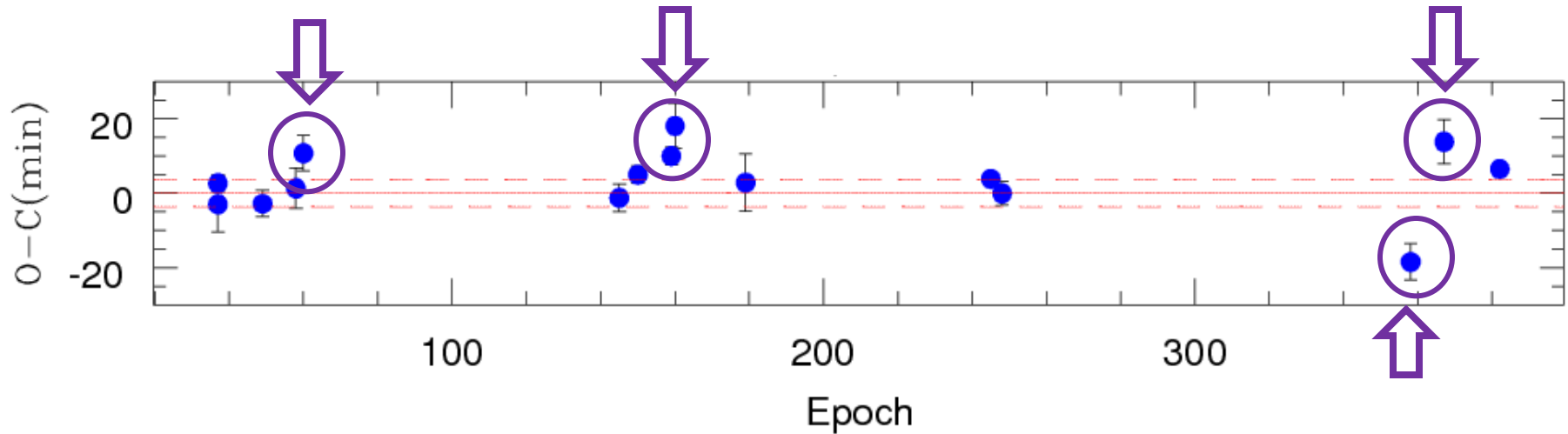


Petrucci et al. (2014, MNRAS, enviado)

### ➡ TRÁNSITOS INCOMPLETOS

Gibson et al. (2009), mostraron que en un alto porcentaje de casos, los tiempos de mínimo de tránsitos parciales son irreales.

## Búsqueda de variaciones en los tiempos de mínimo (TTVs)



Petrucci et al. (2014, MNRAS, enviado)

### ➡ TRÁNSITOS INCOMPLETOS

Gibson et al. (2009), mostraron que en un alto porcentaje de casos, los tiempos de mínimo de tránsitos parciales son irreales.

Considerando sólo los tránsitos completos →  $\chi_r^2 = 0.7$  **Efemérides Lineal**

# Límites a las masas de posibles perturbadores en MMR

$$\sigma_{O-C} = 3.6 \text{ min}$$



$$\Delta t = \frac{P_1}{4.5j} \frac{M_2}{M_2 + M_1}$$

2:1

3:2

4:3

5:4


Agol et al. (2005)

j: N° de órbitas e/conjunciones

$M_2 = 1 M_{\oplus} - 10 M_{\text{jup}}$

# Límites a las masas de posibles perturbadores en MMR

$$\sigma_{O-C} = 3.6 \text{ min}$$



$$\Delta t = \frac{P_1}{4.5j} \frac{M_2}{M_2 + M_1}$$

Agol et al. (2005)

j: N° de órbitas e/conjunciones

$M_2 = 1 M_{\oplus} - 10 M_{\text{jup}}$

2:1	1.9 $M_{\oplus}$
3:2	2.8 $M_{\oplus}$
4:3	3.8 $M_{\oplus}$
5:4	4.7 $M_{\oplus}$



Masas mínimas detectables

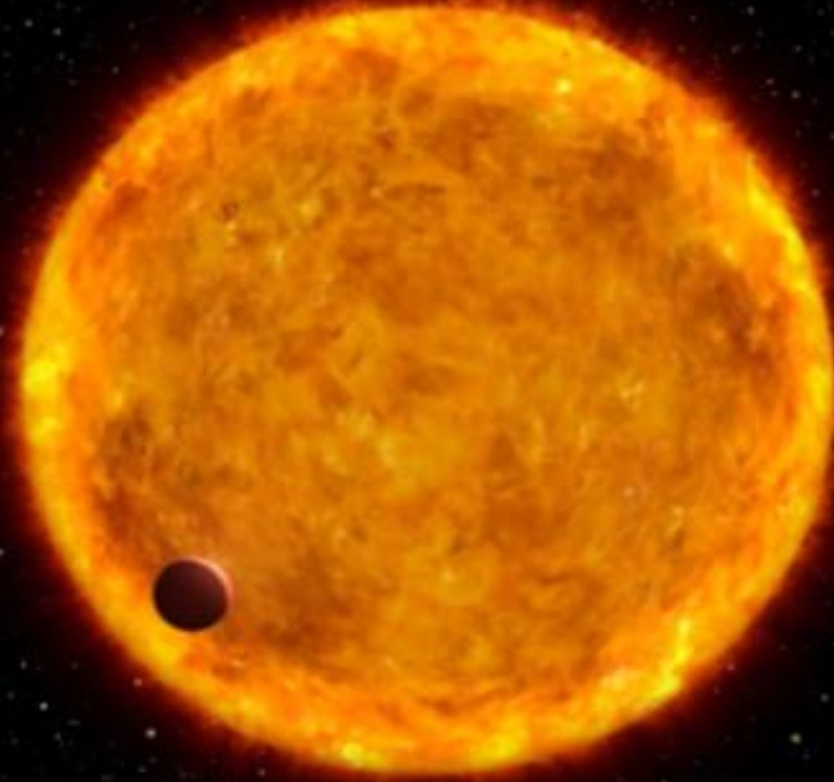
**IMPORTANTE:**

**Para obtener resultados más precisos es necesario realizar un estudio riguroso que emplee ecuaciones de movimiento.**

# Resumen y conclusiones

- Presentamos **4 nuevos tránsitos** del planeta WASP-28b, observados entre 2011 y 2013. Junto con otros 11 tránsitos extraídos del ETD, desarrollamos un **análisis homogéneo de todos los datos**.
- **Parámetros físicos de la estrella y el exoplaneta** consistentes con determinaciones previas.
- Comportamiento a largo plazo de  $i$  y  $k$ , no muestra ningún pico significativo.
- Anticorrelación débil entre el factor PNR e  $i$ . Para  $k$ , 2 posibles correlaciones con  $\beta$  y PNR. Sin embargo, se necesita una muestra estadísticamente más significativa para confirmar estas tendencias.
- **Primer análisis de TTVs**. Efemérides lineal: muy buen ajuste a los tiempos de mínimo  $\rightarrow$  **se excluye la presencia de un perturbador**, para la precisión de nuestros datos (3.6 min).
- Primera aproximación: para las resonancias de primer orden (2:1, 3:2, 4:3 y 5:4) nuestros datos permiten excluir un perturbador externo con  $M > 1.9, 2.8, 3.8$  y  $4.7 M_{\oplus}$  respectivamente.

# *Análisis de variaciones a largo plazo en los tiempos de mínimo y en los parámetros del exoplaneta WASP-28b*



**Romina P. Petrucci (IAFE)**

Emiliano Jofré (OAC) – Mario Melita (IAFE)

Mercedes Gómez (OAC) – Pablo Mauas (IAFE)

