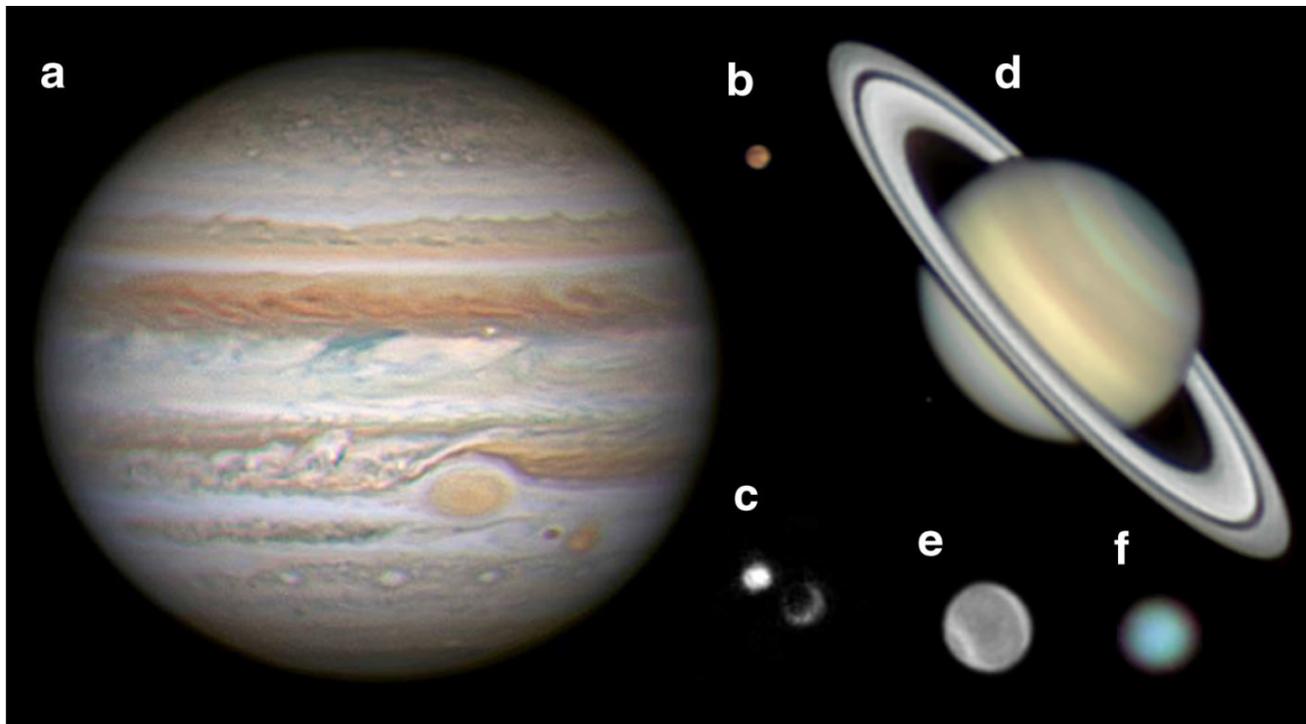


PlanetCam UPV/EHU:

Una cámara lucky imaging para el estudio del sistema solar en el rango de longitudes de onda de 0.38 a 1.7 μm .

R. Hueso, A. Sánchez-Lavega, S. Pérez-Hoyos,
I. Mendikoa, J. F. Rojas, E. García-Melendo

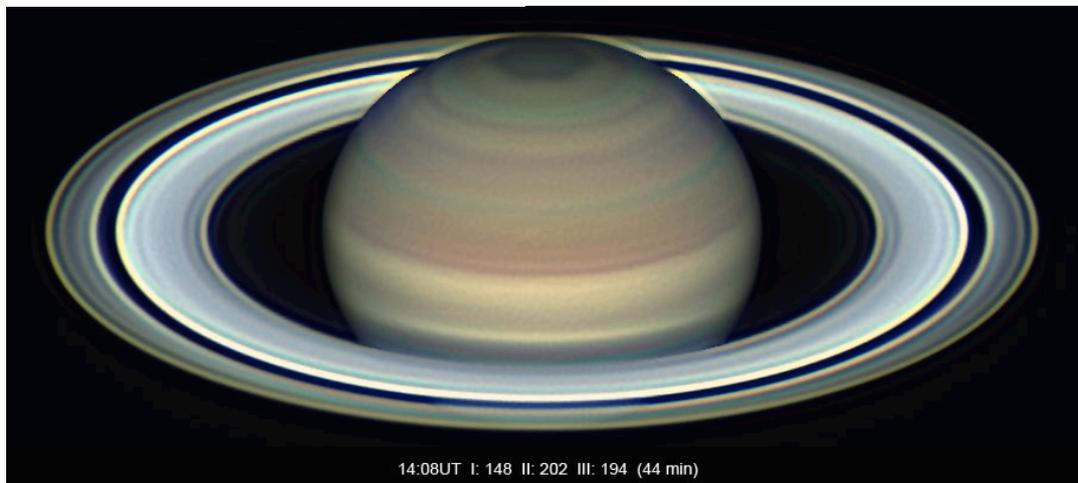
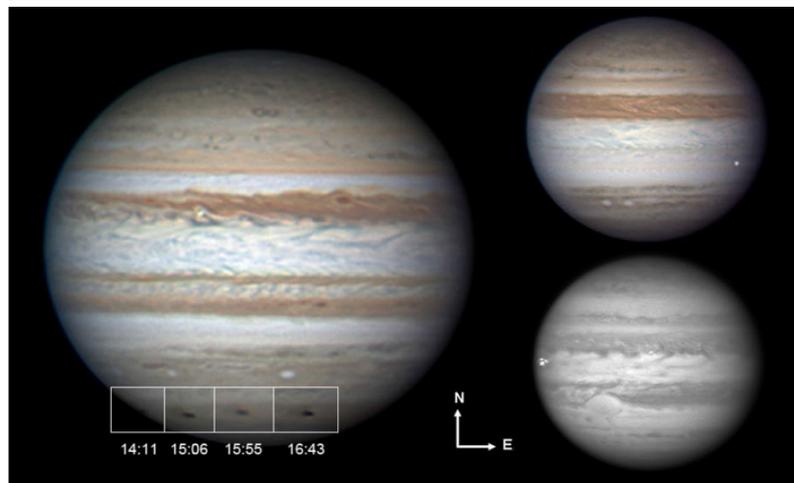
La revolución de la alta resolución espacial liderada por “amateurs”



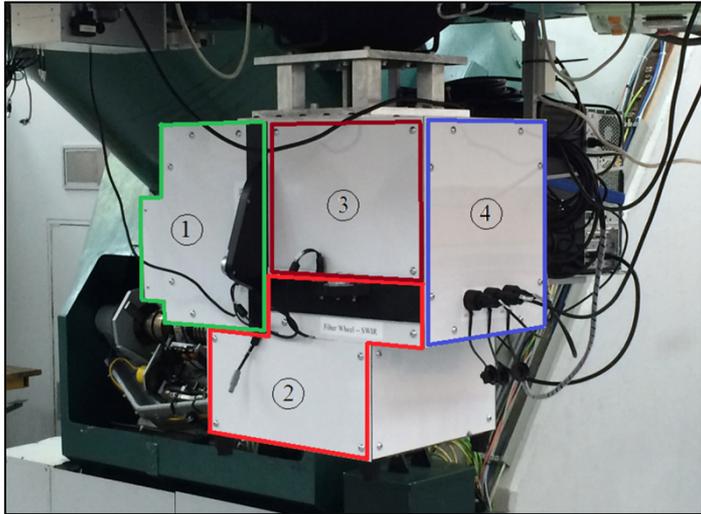
Telescopios pequeños de 40 cm
Filtros anchos
Cámaras rápidas
Maestría técnica
Seeing atmosférico $< 0.7''$

Acumulación de imágenes
selección y
“derotación” de secuencias largas
(10-40 min.)

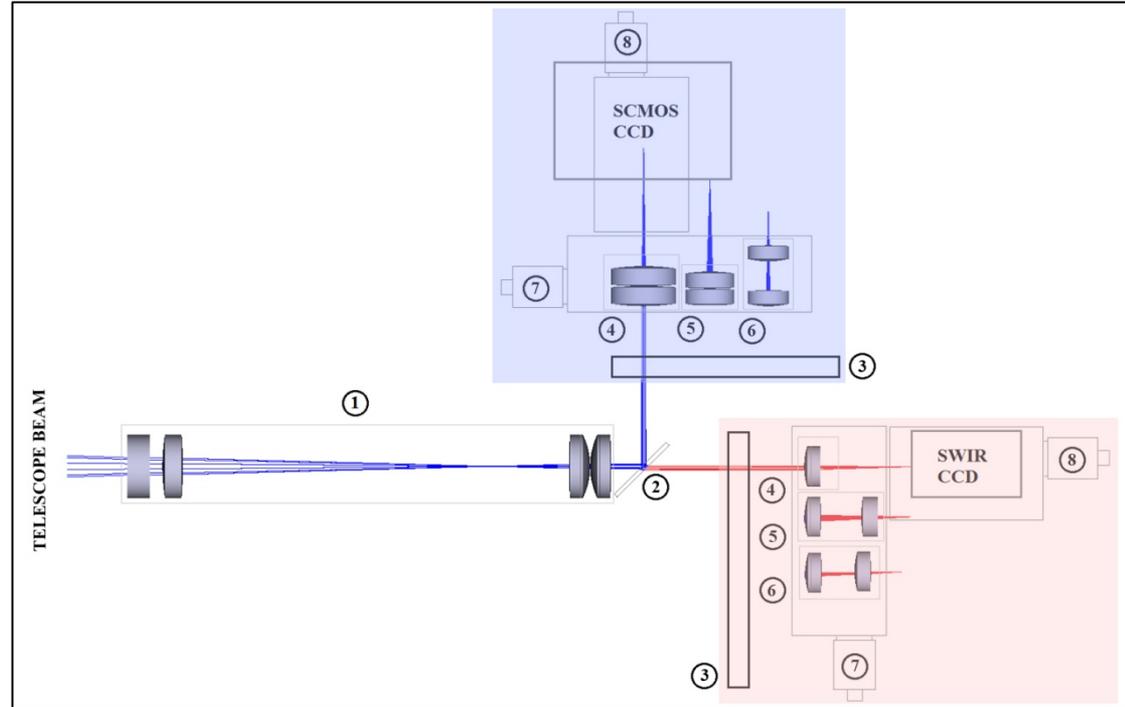
Mousis, Hueso et al. Exp. Astr. 2014



PlanetCam: Un instrumento dual *VISIBLE* ($0.38 - 1 \mu\text{m}$) / *SWIR* ($1 - 1.7 \mu\text{m}$)

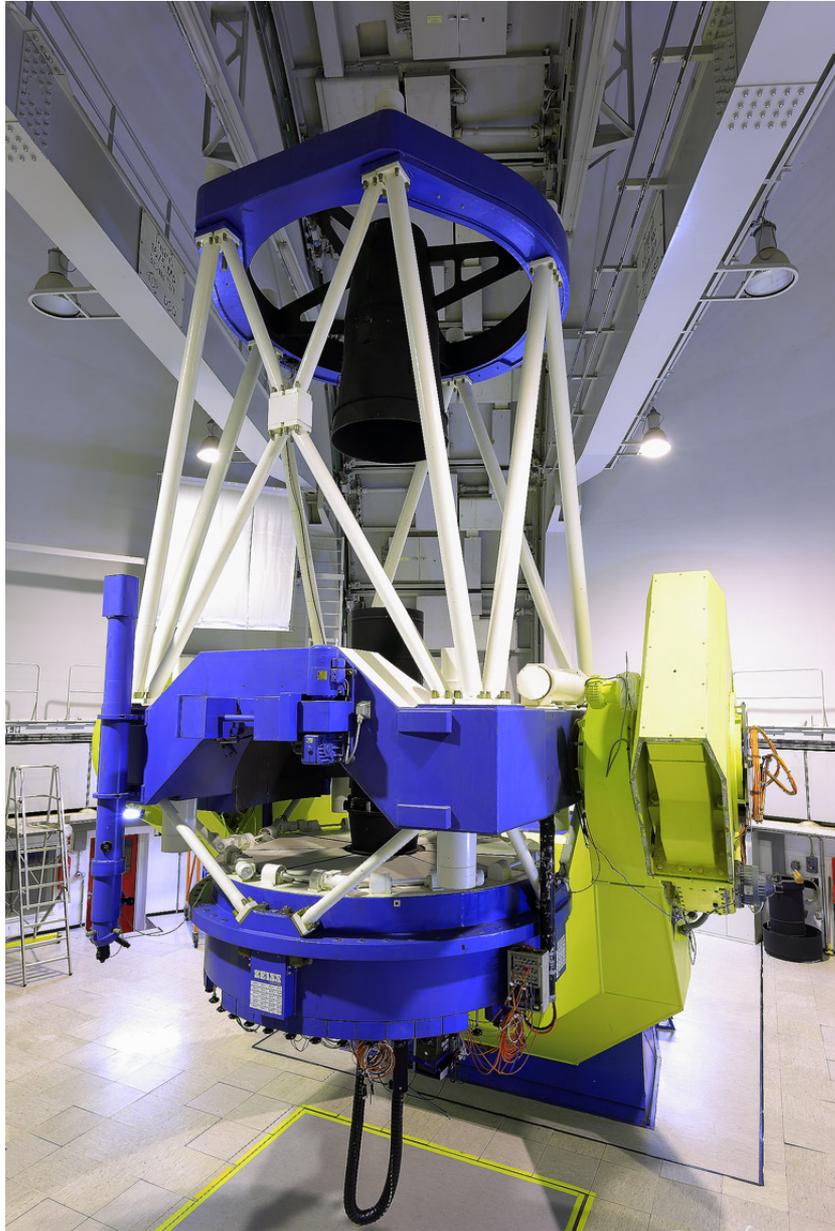


- 1: Brazo visible
- 2: Brazo SWIR
- 3: Colimador
- 4: Electrónica



- 1: Colimador
- 2: Dicroico
- 3: Ruedas de filtros (Visible, SWIR)
- 4: Óptica de ampliación (High-Res)
- 5: Óptica de ampliación (Mid-Res)
- 6: Óptica de ampliación (Low-Res)
- 7: Motores mecánicos para las ópticas
- 8: Detectores
 - VISIBLE: Neo SCMOS (Andor)
 - SWIR: Owl InGaAs (Raptor Photonics)

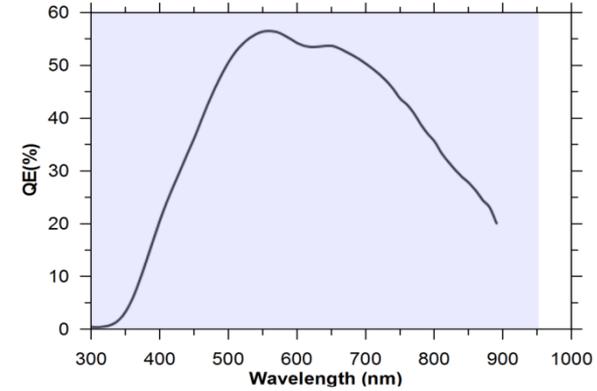
Telescopios principales: Calar Alto 2.2m y 1.2m



Neo SCMOS (Andor)



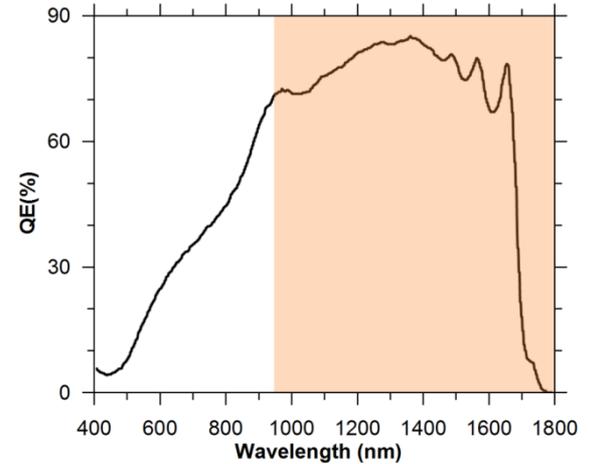
SCMOS 2560x2180 | 100 fps
Tamaño pixel: 6.5 μm x 6.5 μm pixel
T=-40°C



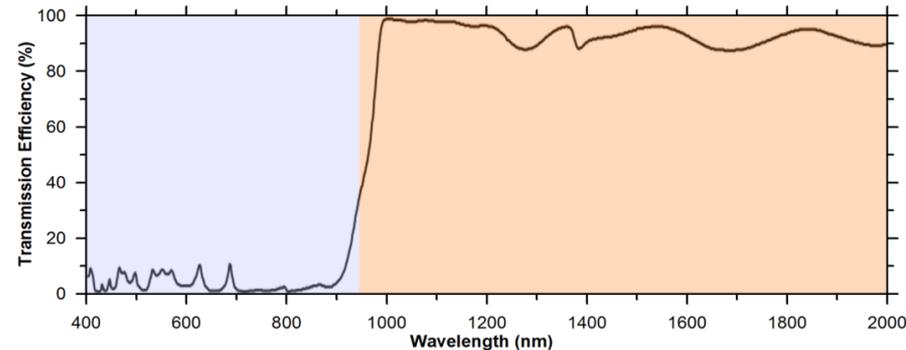
OWL 640 (Raptor)



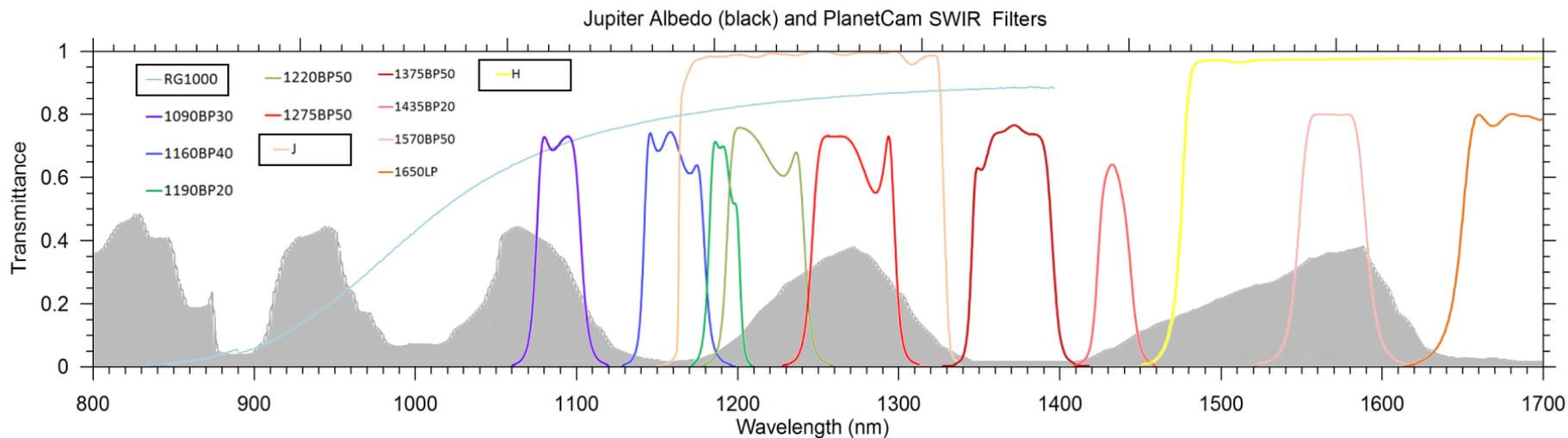
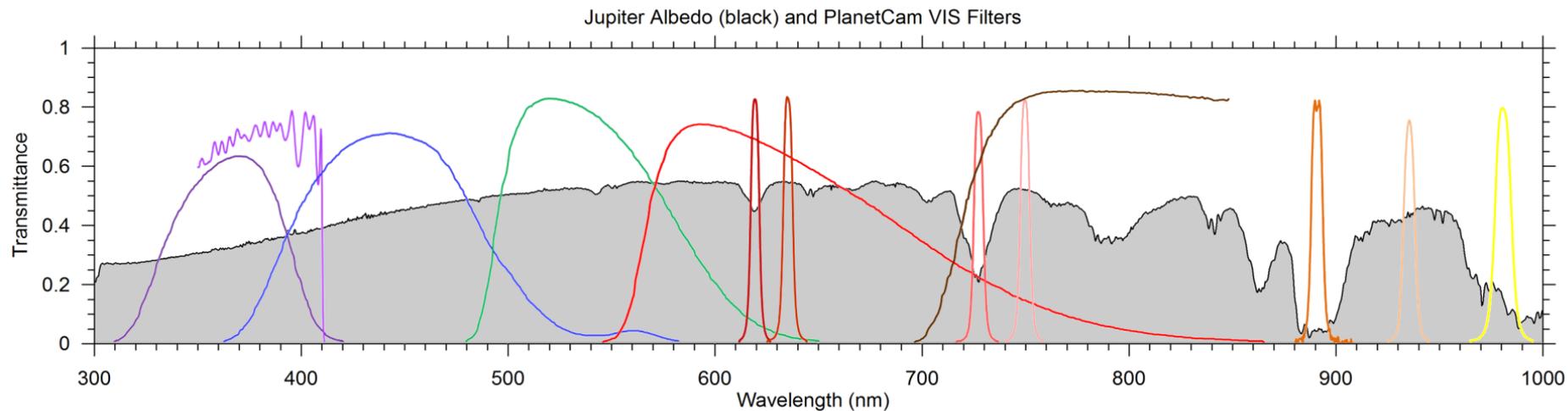
InGaAs 640x512 | Hasta 120 fps
Tamaño pixel: 15 μm x 15 μm
Requiere corrección NUC de 3 puntos
T=-15°C (Refrigeración por placa fría)



Dicroico (Omega Optics)



Filtros: Anchos y estrechos en bandas de absorción atmosféricas (CH₄, CO₂)



Límite difracción (500 nm) 2.2m ~ 0.05" → Escala pixel 0.025"/pix
 1.2m ~ 0.10" → Escala pixel 0.05"/pix

Canal VISIBLE

| Calar Alto 1.23m Telescope | | | | |
|----------------------------|------------------|--------------|---------------|---------|
| Amplification | Total Focal (mm) | Scale ("/mm) | Scale ("/pix) | FOV (") |
| 1.18x | 11631 | 17.7 | 0.115 | 144* |
| 2.10x | 20700 | 9.96 | 0.08 | 144* |
| 2.65x | 26121 | 7.90 | 0.05 | 128 |
| Calar Alto 2.2m Telescope | | | | |
| Amplification | Total Focal (mm) | Scale ("/mm) | Scale ("/pix) | FOV (") |
| 1.18x | 20781 | 9.93 | 0.065 | 108* |
| 2.10x | 36983 | 5.58 | 0.036 | 72* |
| 2.65x | 46669 | 4.42 | 0.028 | 72 |

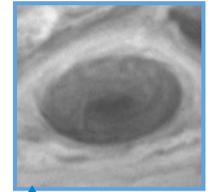
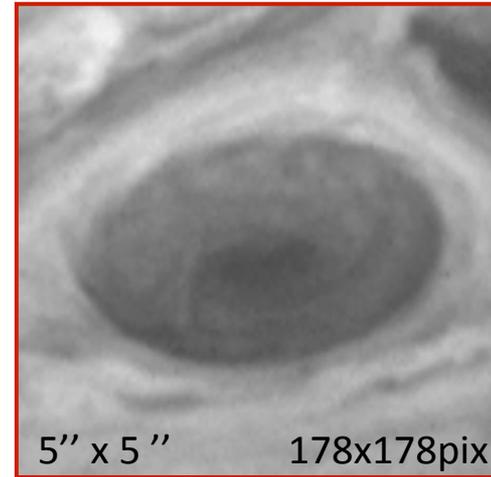
Baja SNR → Óptimo binarias cercanas y brillantes
 Planetario PERO con seeing < 0.5"

Binning x2: 0.056 - 0.072"/pix

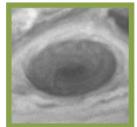
Canal SWIR

| Calar Alto 1.23m Telescope | | | | |
|----------------------------|------------------|--------------|---------------|---------|
| Amplification | Total Focal (mm) | Scale ("/mm) | Scale ("/pix) | FOV (") |
| 1.1x | 10843 | 19.0 | 0.29 | 144* |
| 1.65x | 16264 | 12.7 | 0.19 | 116* |
| 2.00x | 19714 | 10.5 | 0.16 | 102 |
| Calar Alto 2.2m Telescope | | | | |
| Amplification | Total Focal (mm) | Scale ("/mm) | Scale ("/pix) | FOV (") |
| 1.1x | 19372 | 10.7 | 0.16 | 86* |
| 1.65x | 29058 | 7.10 | 0.11 | 70 |
| 2.00x | 35222 | 5.86 | 0.088 | 56 |

Simulación Gran Mancha Roja con diferentes resoluciones



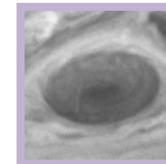
Modo BAJA resolución



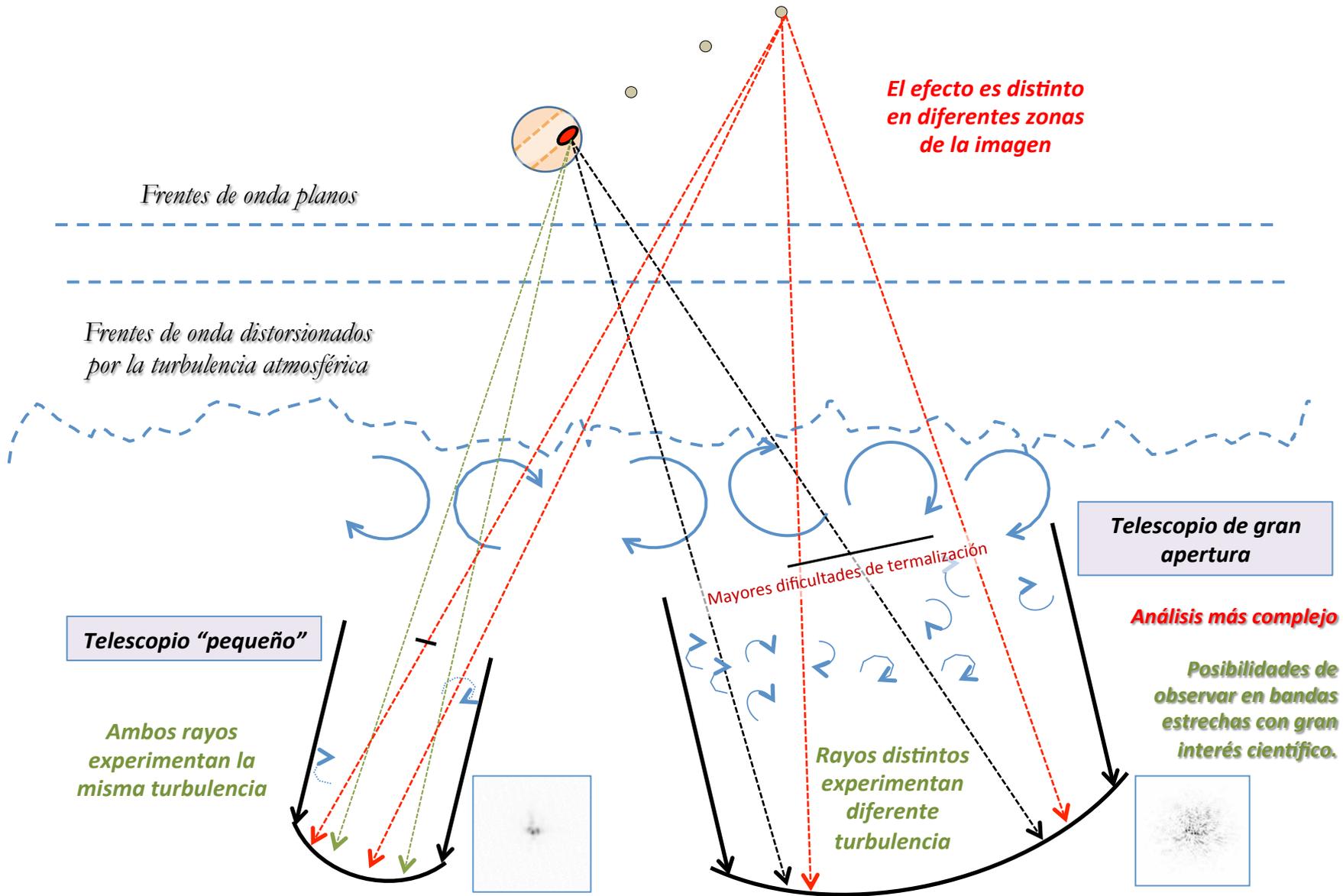
Seeing mediocre no impide fotometría con resolución espacial.

Modo con buena SNR y resolución alta/moderada

SWIR (alta resolución)

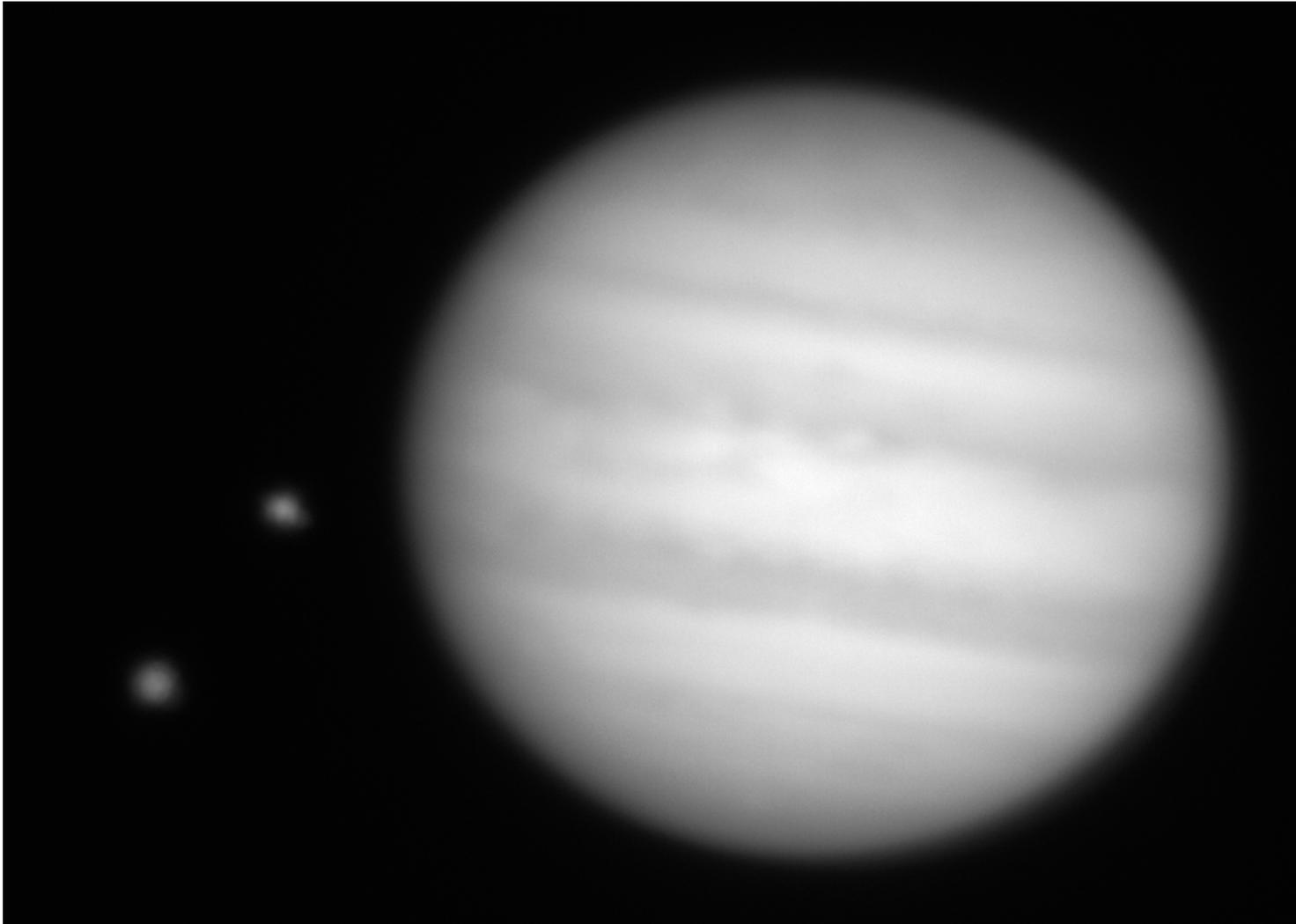


Dificultades: El Seeing y las imágenes múltiples en un telescopio de gran apertura



Imágenes dobles, triples o cuádruples son comunes incluso con buen “seeing”

Serie de 300 de 0.01 s (telescopio TCS, filtro I)



**Campaña de observación
(centenares de Gbs)**



**Reducción astronómica
fotograma a fotograma**



**Selección de mejores
fotogramas**



**Combinación de imágenes
movidas y deformadas**



Resultado final



**Imagen “sumada”
Con alto rango dinámico y resolución espacial mejorada**

PLAY LIST: PLANetarY Lucky Images Stacker (*Software de reducción automático*)

Suma de imágenes (coregistradas)

Fotograma actual con puntos de identificación para deformación

Preview procesado automático

Referencia

Fotograma actual

Diferencia

Mapa correlación

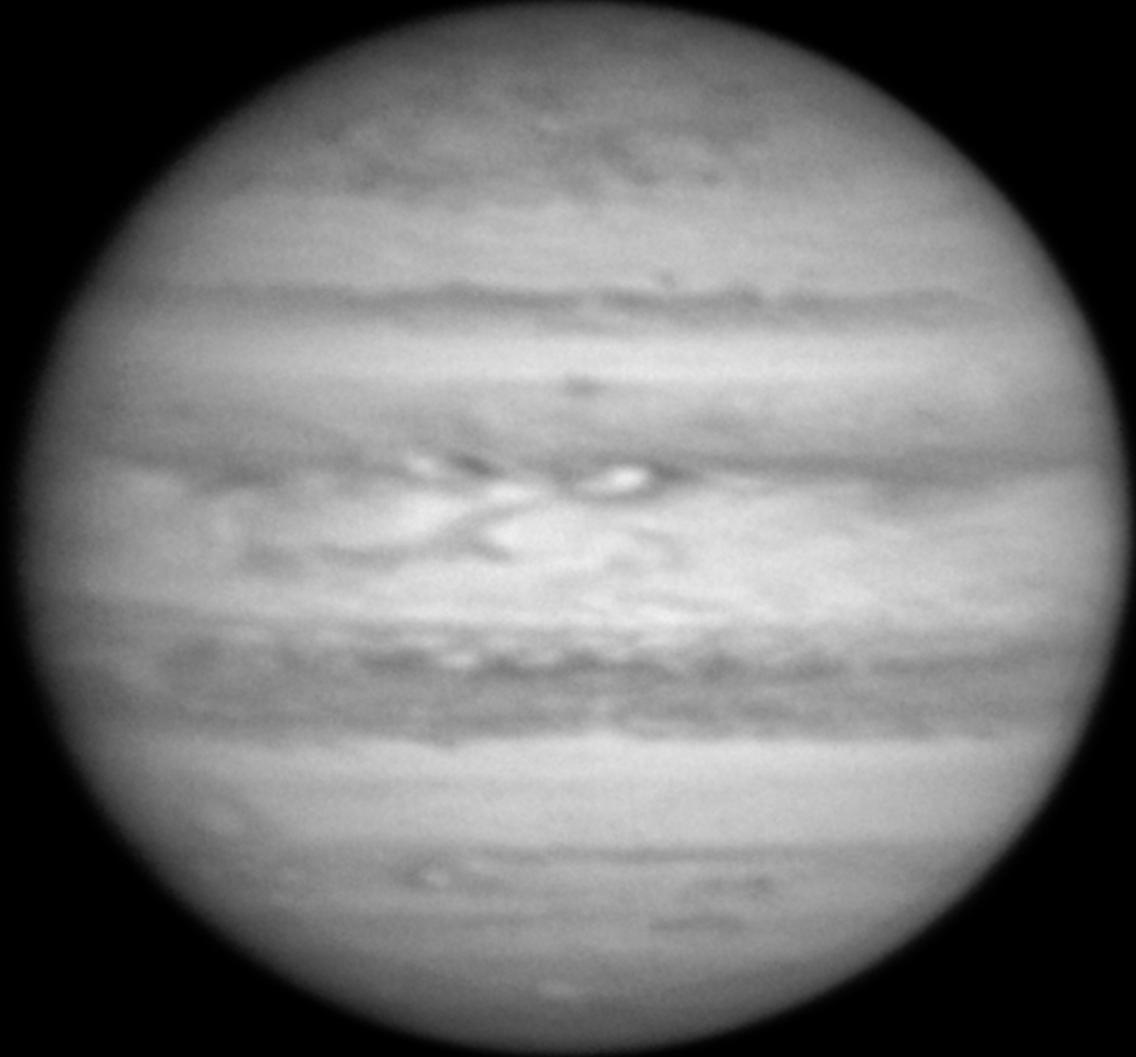
Múltiples versiones del resultado jerarquizados en una escala de calidades. Mejor 1%, Mejor 5%, ...

Mejor 1% de una serie de 300 fotogramas de 0.01 s (Test en telescopio TCS, filtro I)

Zoom x 2.3



Detalles de 0.15" visibles



Io

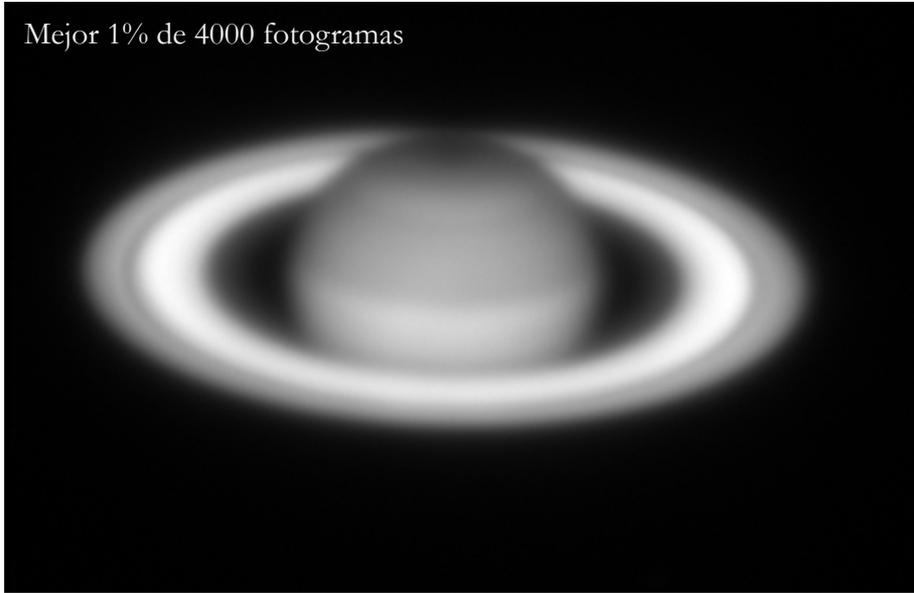


Ganymede

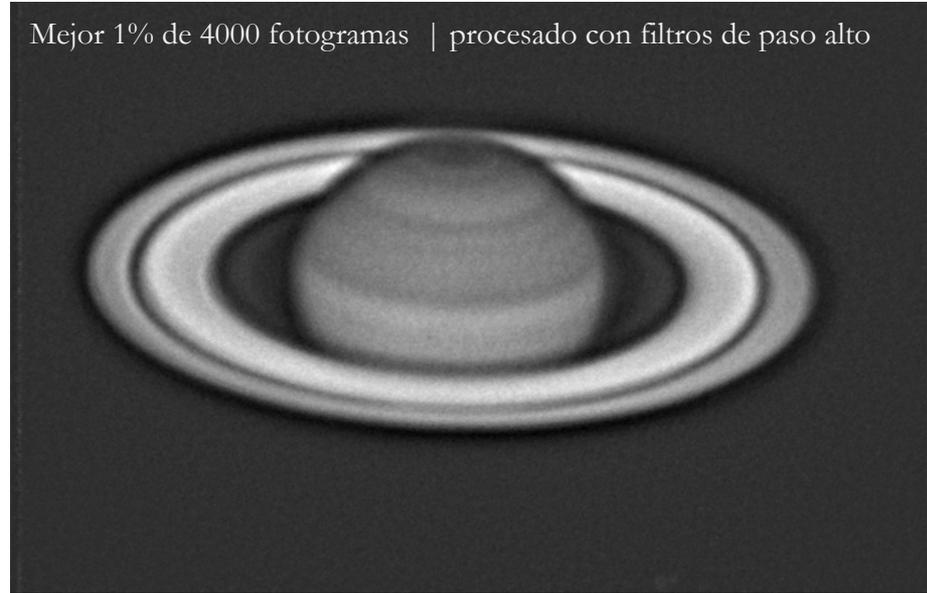


Enormes diferencias de calidad entre fotogramas de la misma secuencia

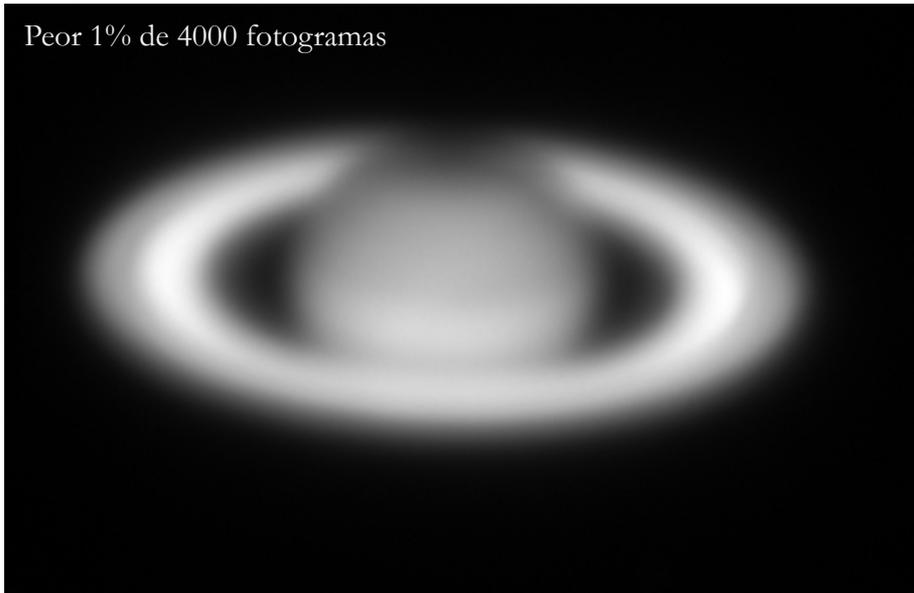
Mejor 1% de 4000 fotogramas



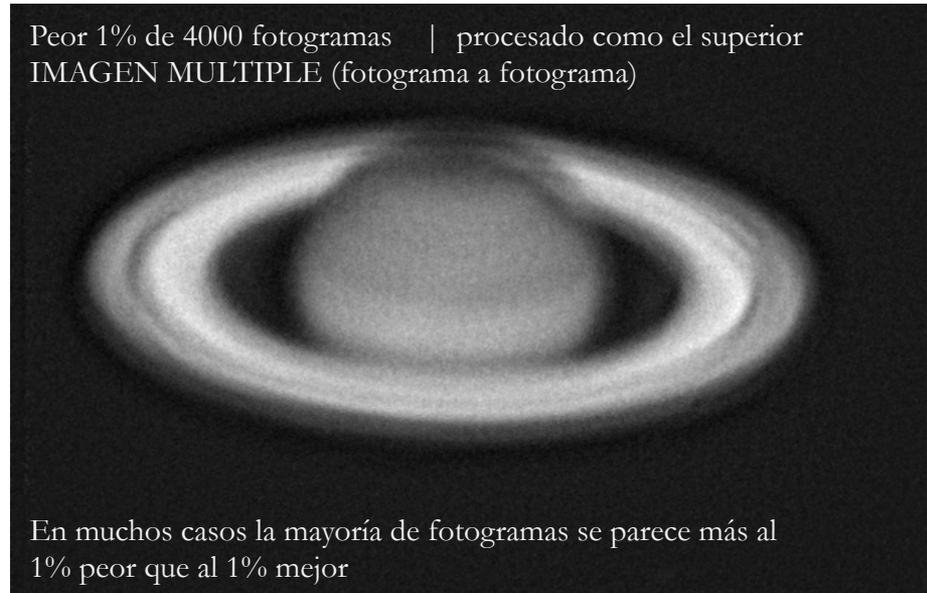
Mejor 1% de 4000 fotogramas | procesado con filtros de paso alto



Peor 1% de 4000 fotogramas

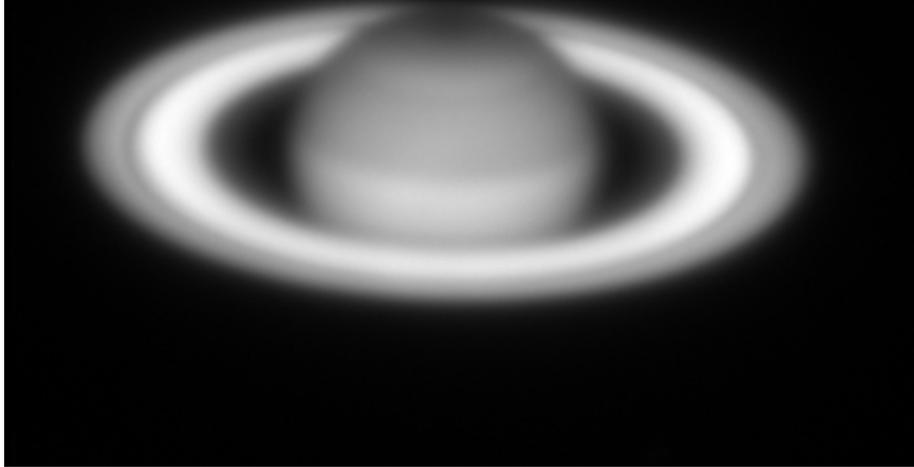


Peor 1% de 4000 fotogramas | procesado como el superior
IMAGEN MULTIPLE (fotograma a fotograma)

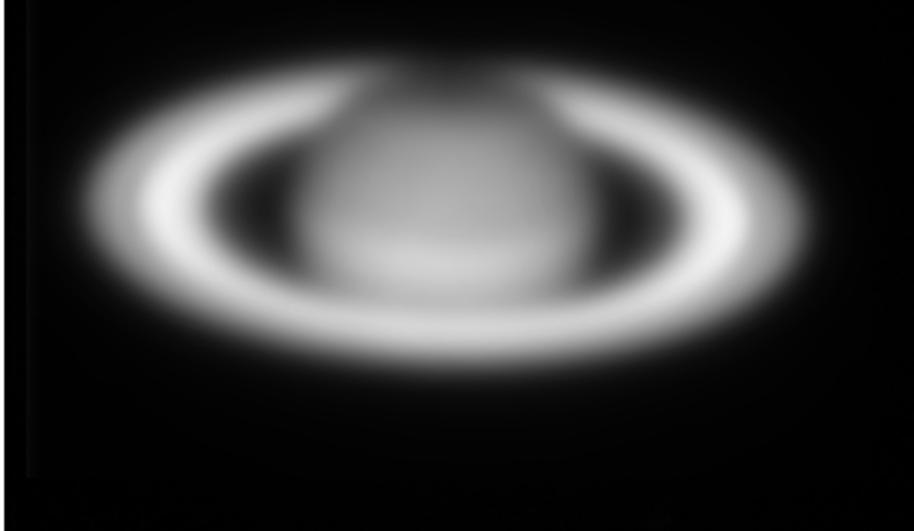


En muchos casos la mayoría de fotogramas se parece más al 1% peor que al 1% mejor

Imagen de referencia construida por PLAYLIST a partir del mejor 1%



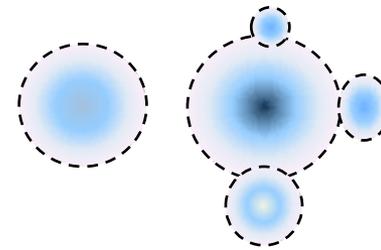
Fotograma típico de calidad media



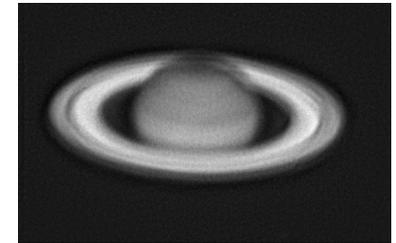
Convolución con múltiples PSF de diferente radio e intensidad



PSF "sencillas"
(gaussianas de radio variable)



PSF "múltiples"

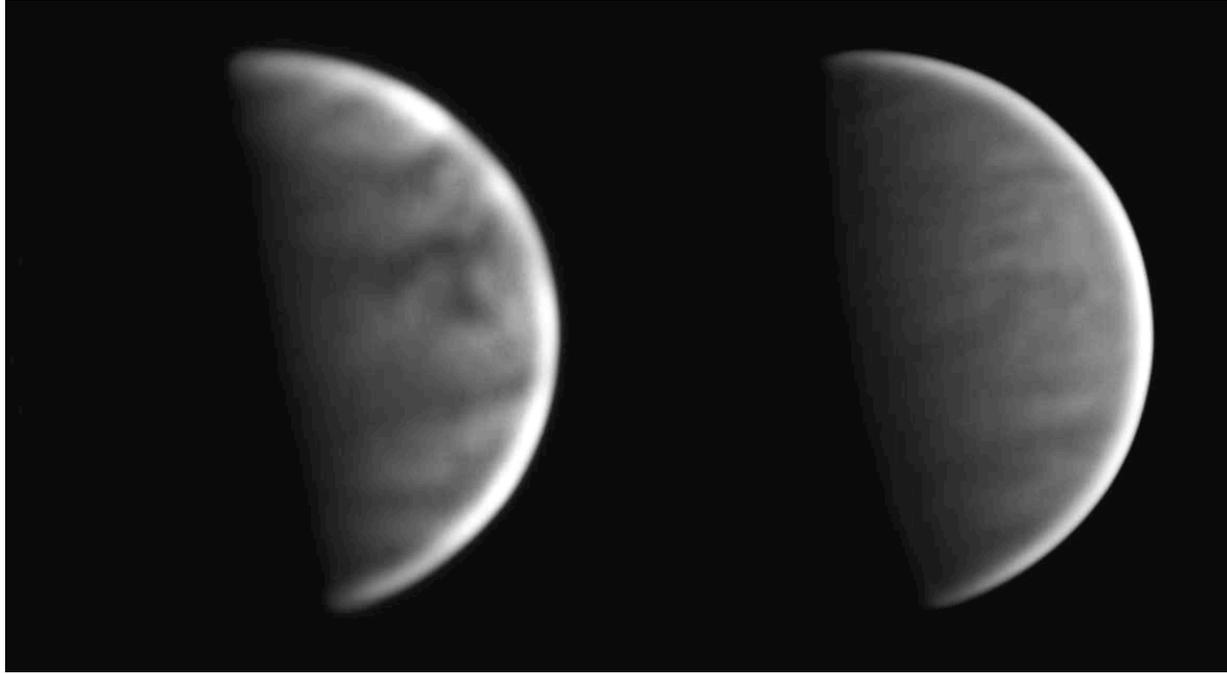


Encontrar PSF_i tal que

$(Referencia * PSF_i - Frame ACTUAL) = \text{Mínimo}$

Deconvolución $(Frame, PSF_i) \rightarrow$ Frame corregido

RETO COMPUTACIONAL!
en curso...



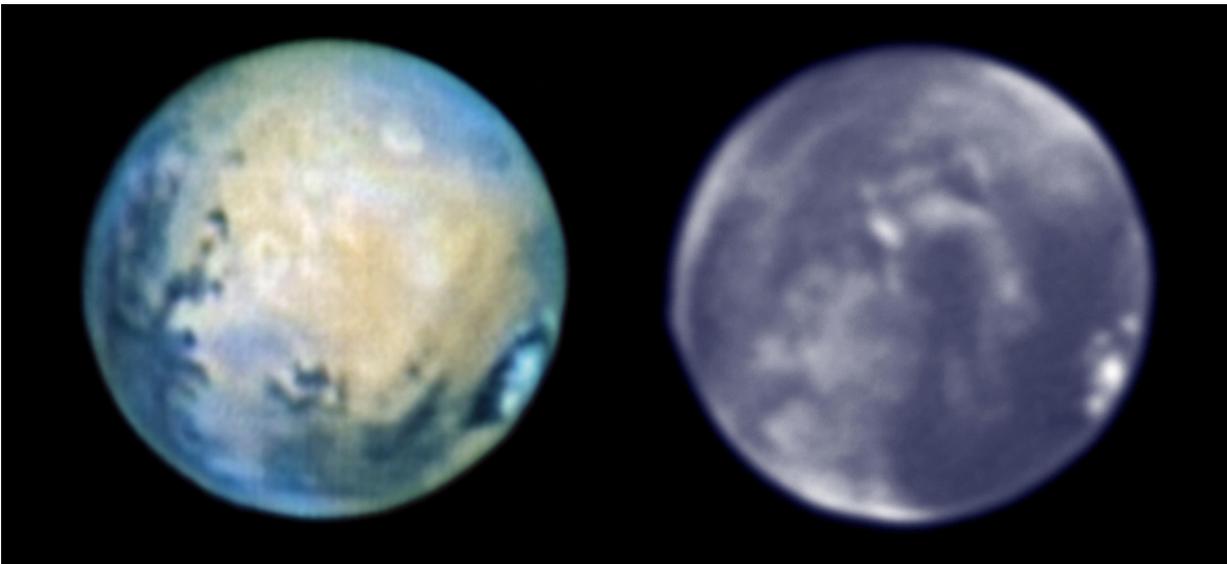
VENUS

*Posibilidad de estudiar la
dinámica atmosférica*

Nubes superiores (UV, Vio)

Nubes intermedias (900 nm)

*Nubes profundas lado nocturno
(1.7 micras)*



MARTE

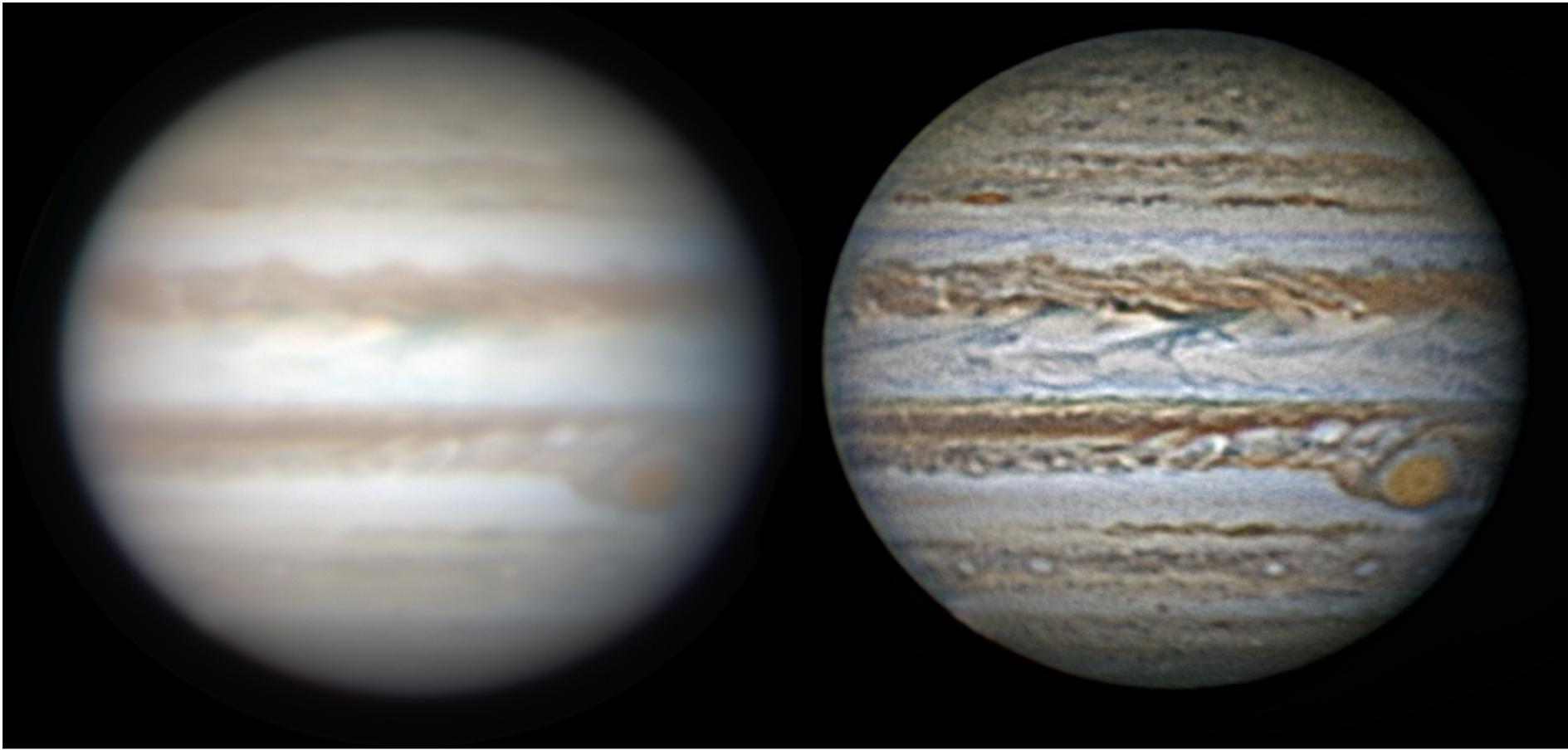
Nubes y nieblas (UV, Vio, B)

*Objetivos claros en las nubes altas del
límbico*

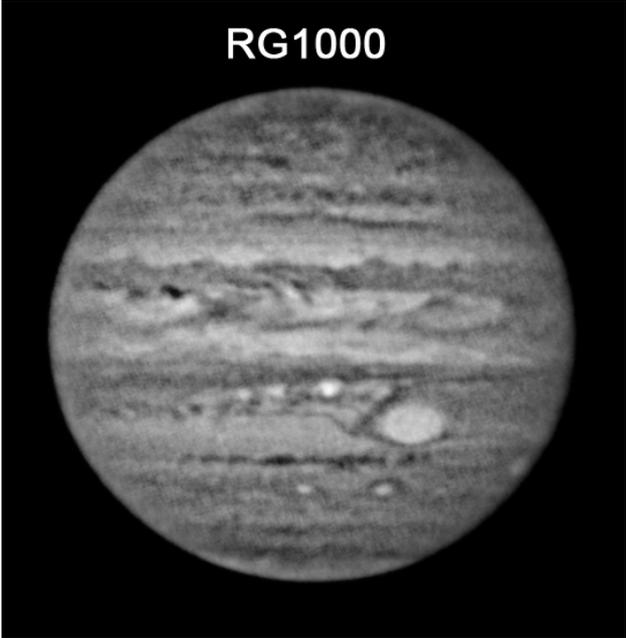
(Sánchez-Lavega et al. 2014)



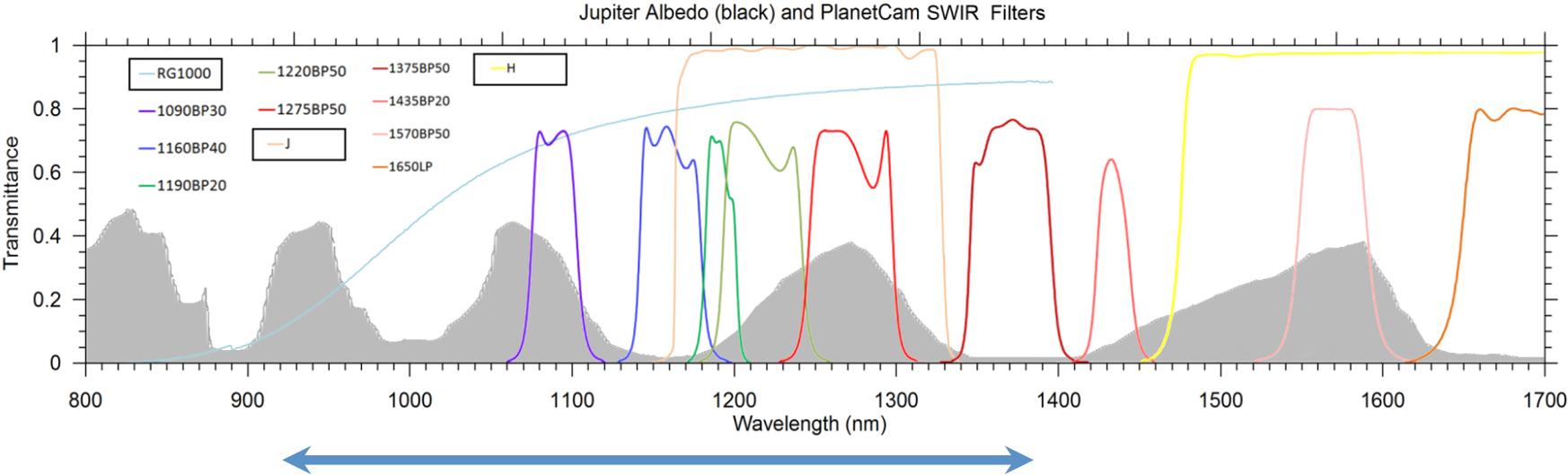
- Fotometría multilongitud de onda – **Estructura vertical de nubes en alta resolución.**
Basta resolución espacial de $0.3''$ sobre la imagen fotométrica (1000 km) (alcanzable con seeing de $1.2''$).

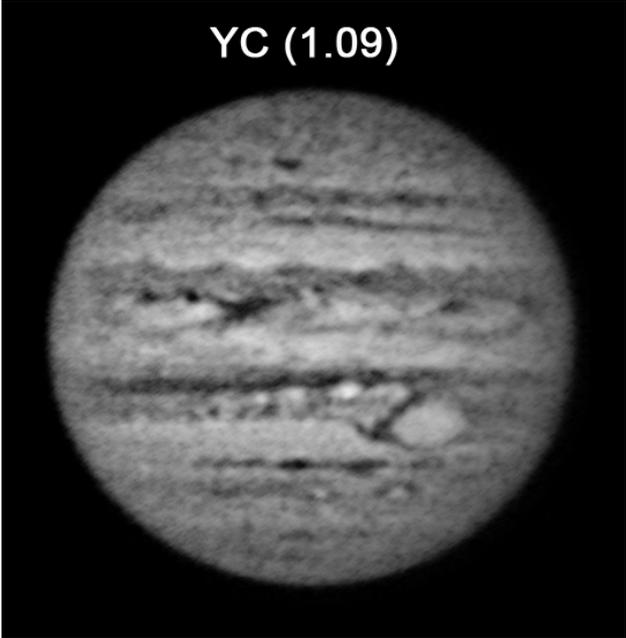


- Fotometría multilongitud de onda – **Estructura vertical de nubes en alta resolución.**
Basta resolución espacial de 0.3'' sobre la imagen fotométrica (1000 km) (alcanzable con seeing de 1.2'').
- **Dinámica atmosférica:** Vientos zonales, perturbaciones atmosféricas, interacciones vórtices, etc...
Basta resolución espacial de 0.15'' sobre la imagen final (500 km) (resultado alcanzable con seeing < 1'').
- **Sobrevuelo de Juno/NASA (2016).**

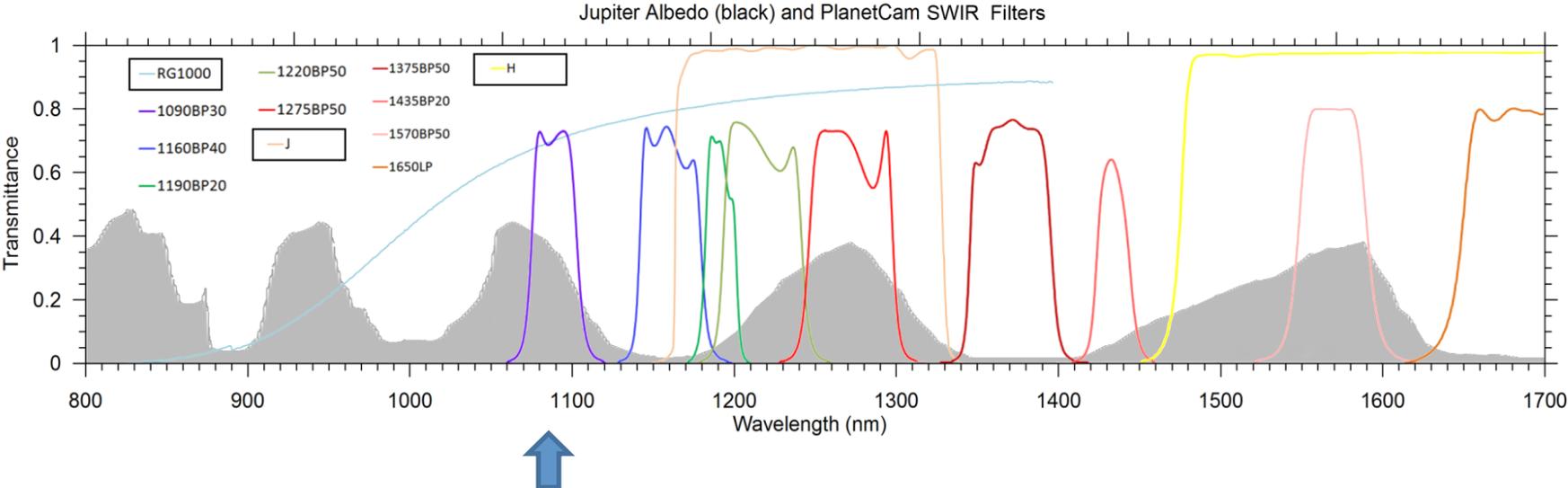


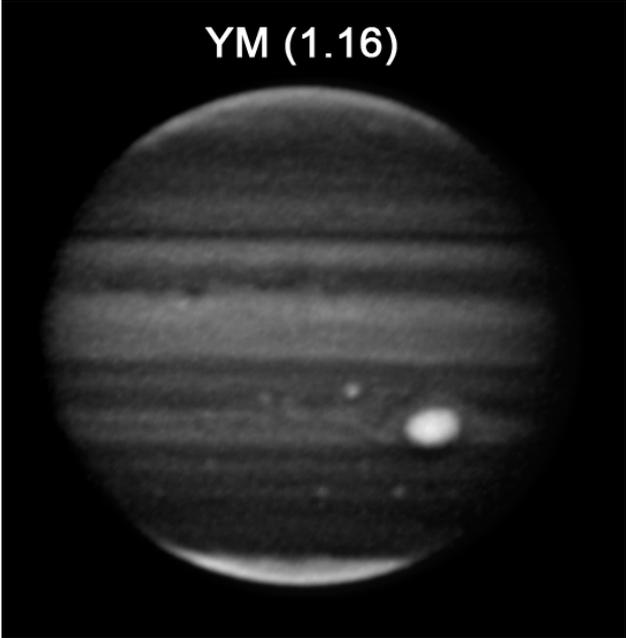
JÚPITER SWIR



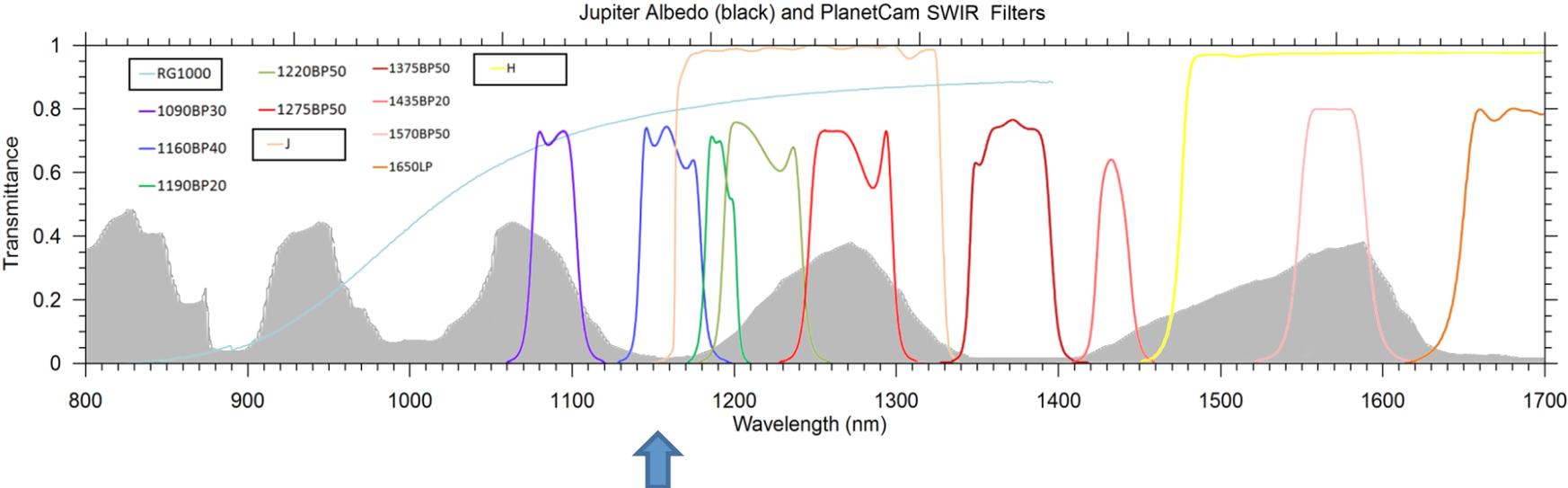


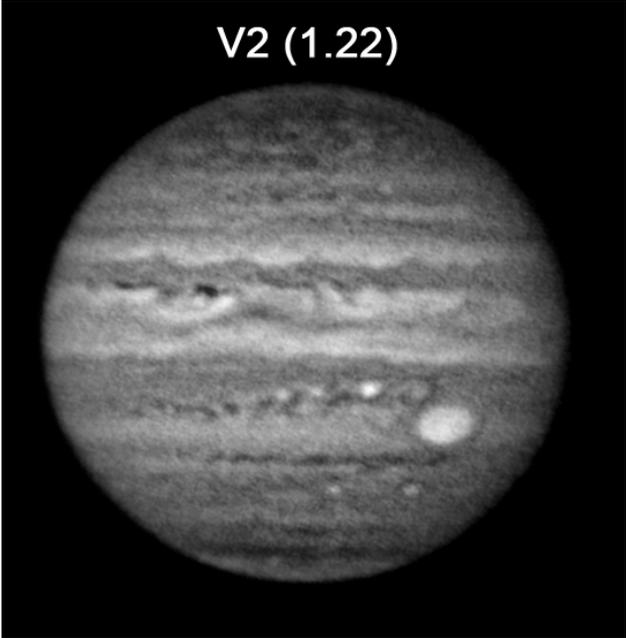
JÚPITER SWIR



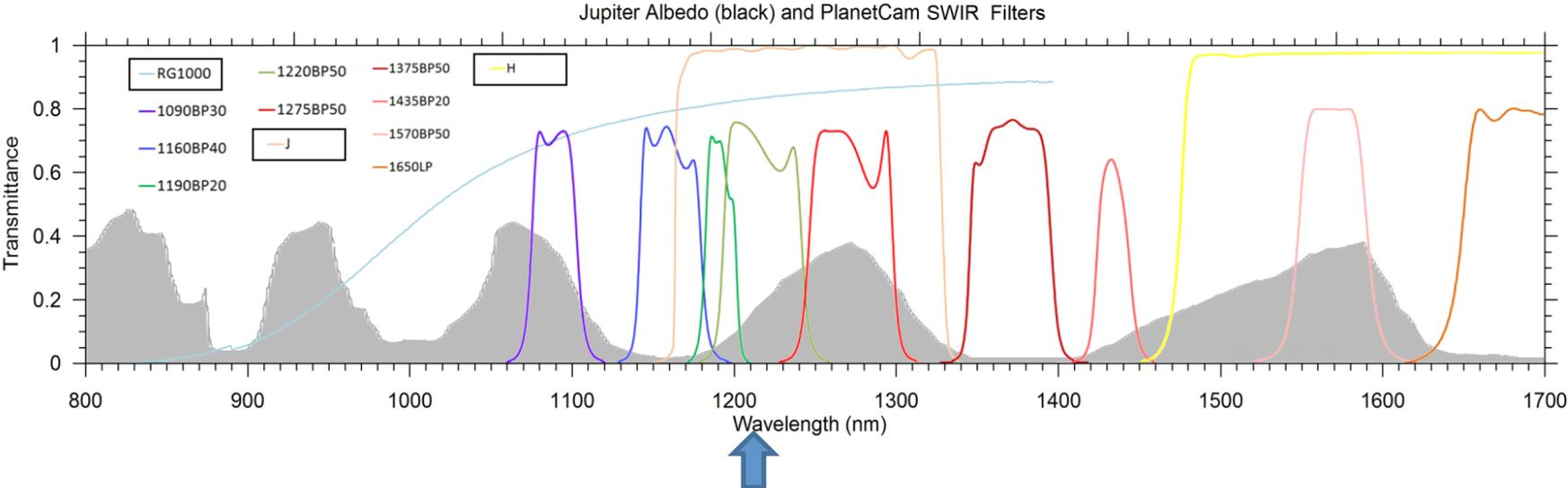


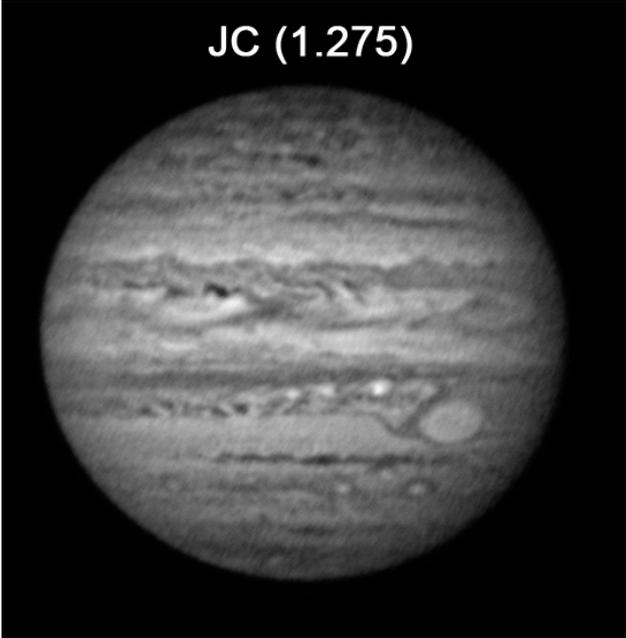
JÚPITER SWIR



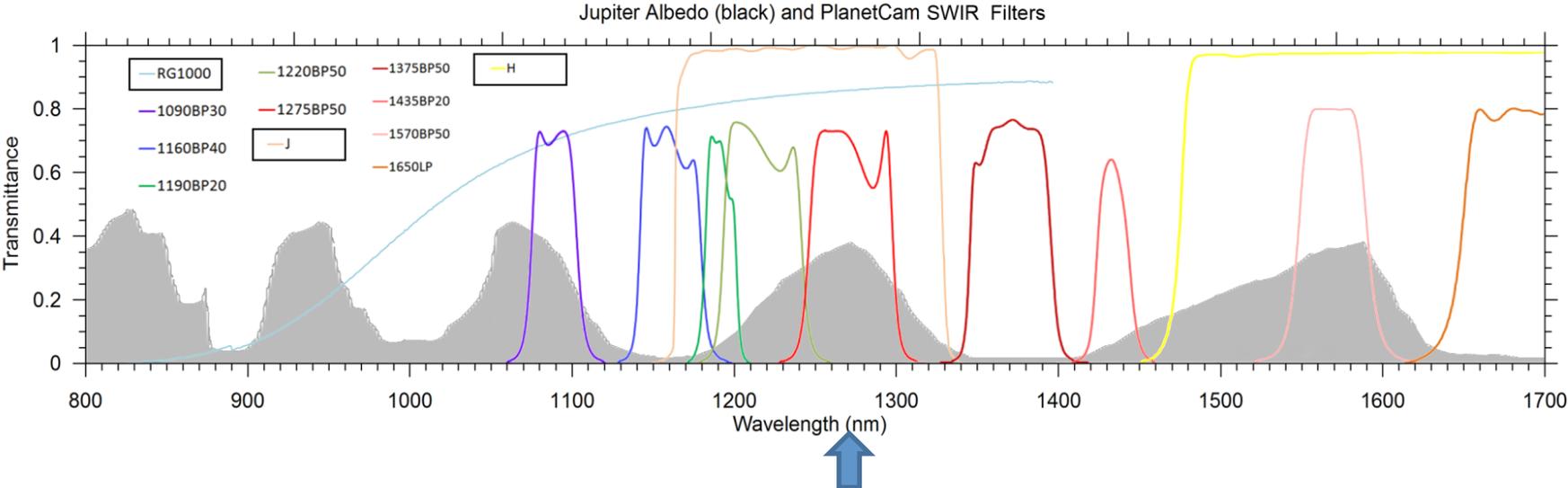


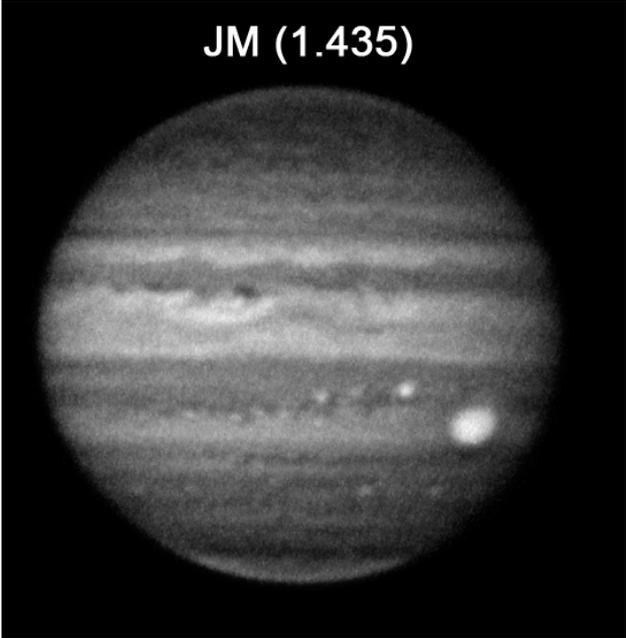
JÚPITER SWIR



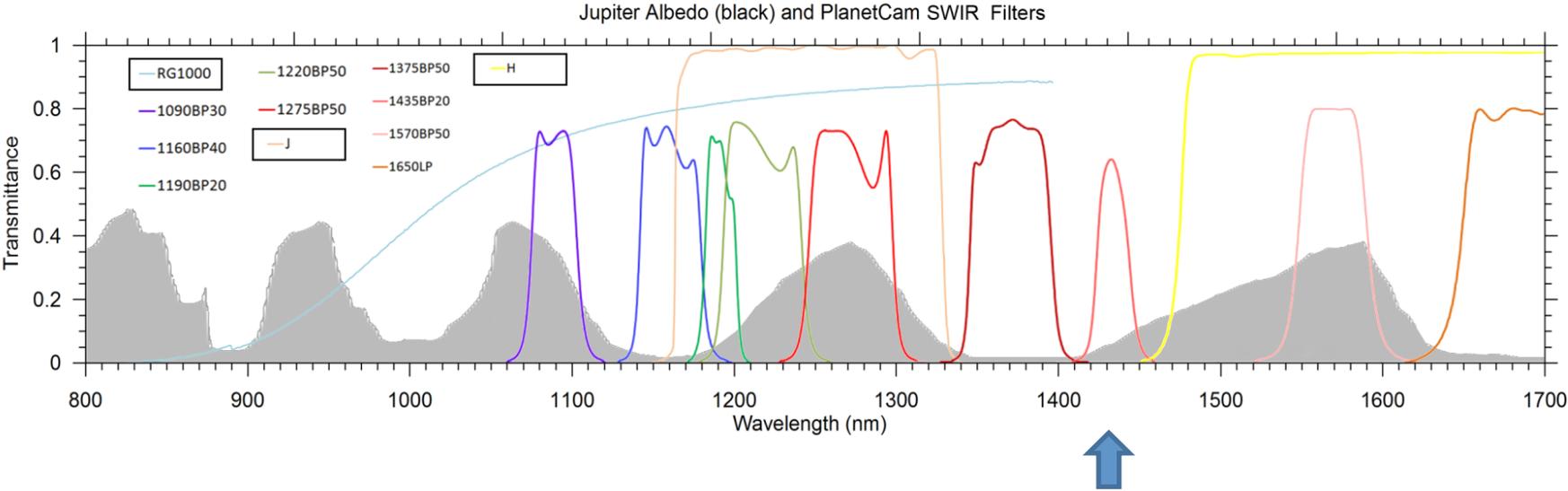


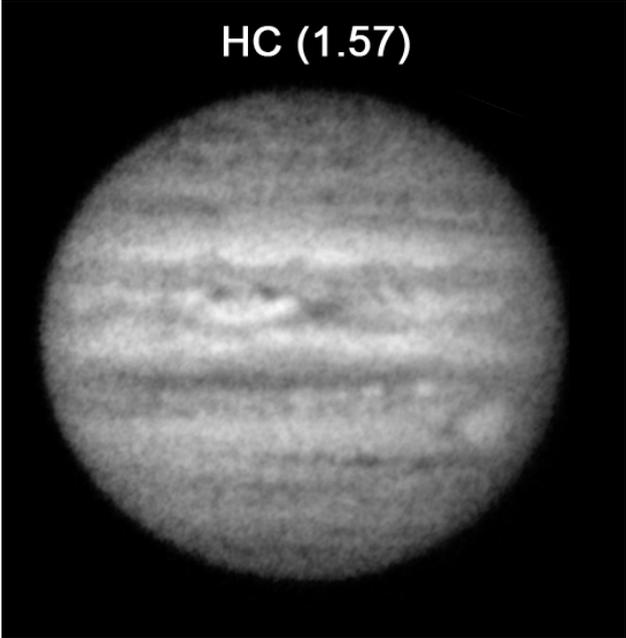
JÚPITER SWIR



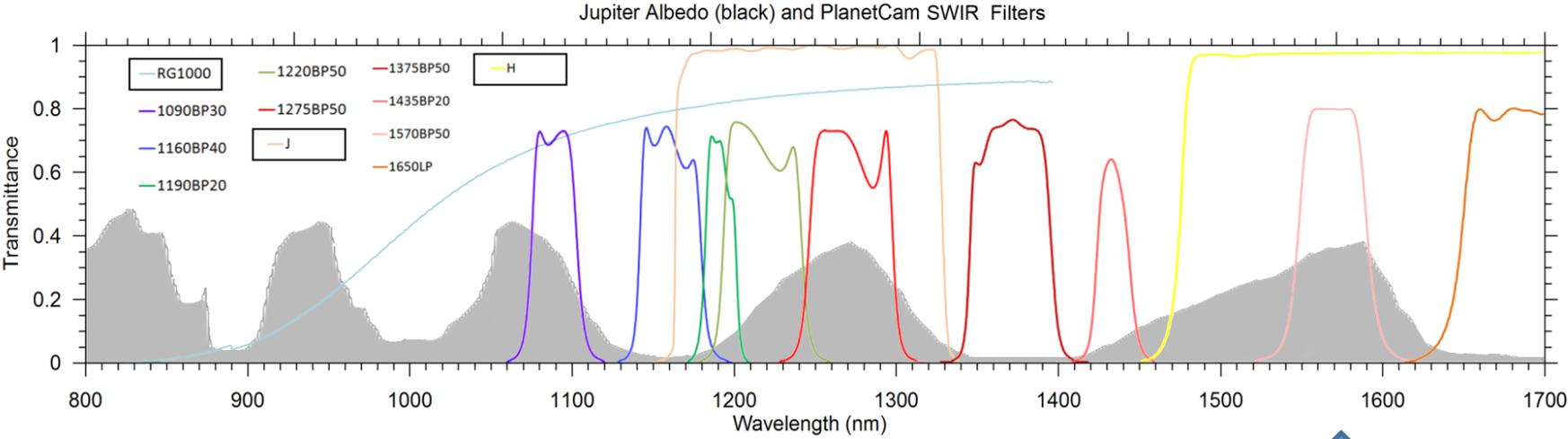


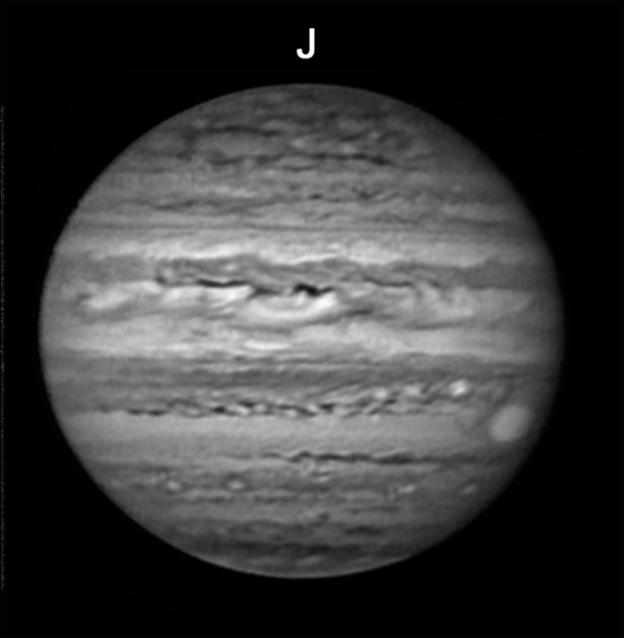
JÚPITER SWIR



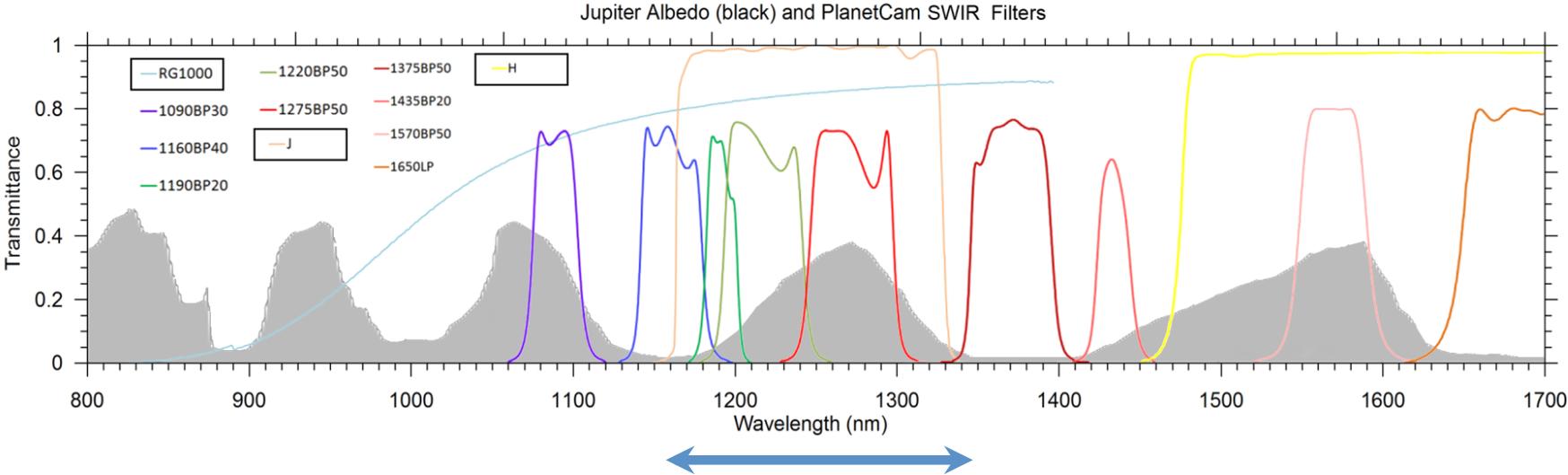


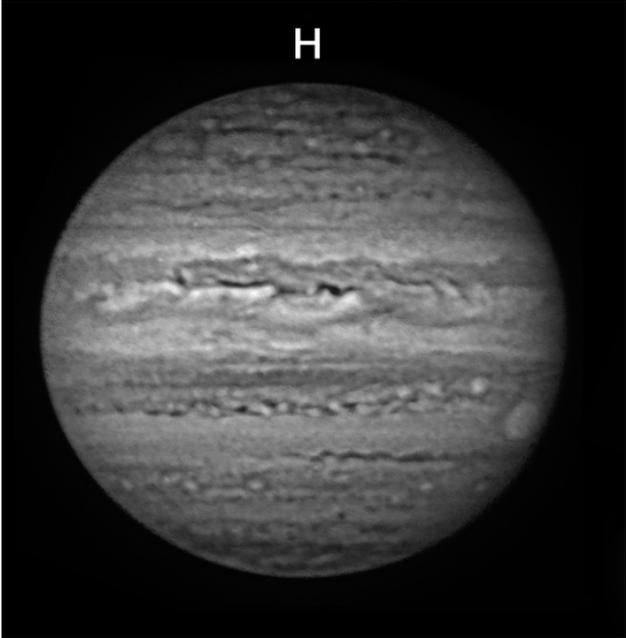
JÚPITER SWIR



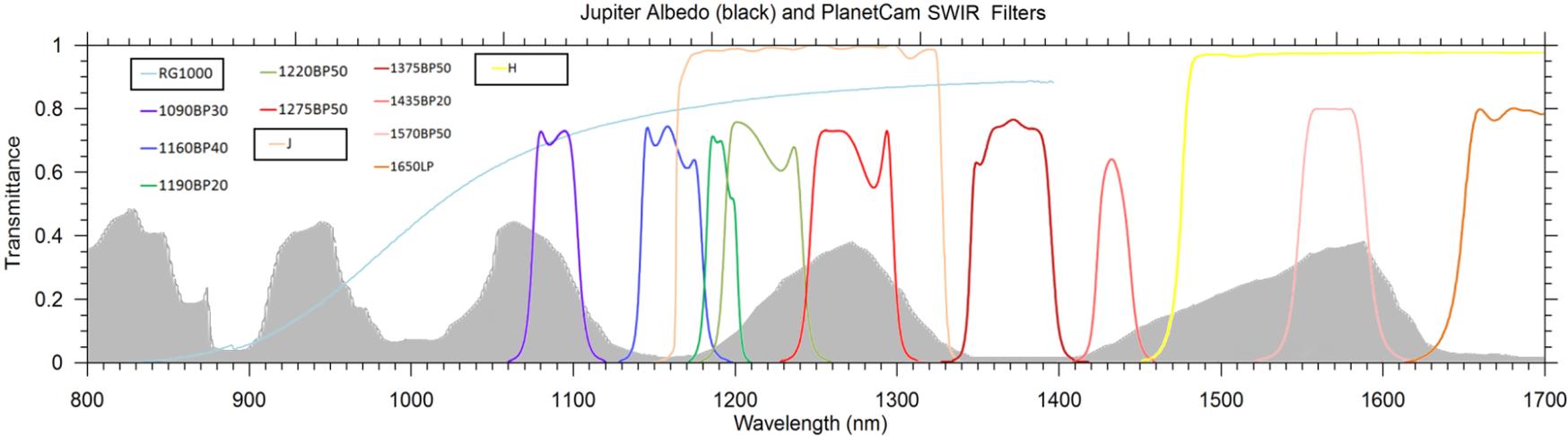


JÚPITER SWIR





JÚPITER SWIR



CAHA 2.2 m: Visible

R, V, B

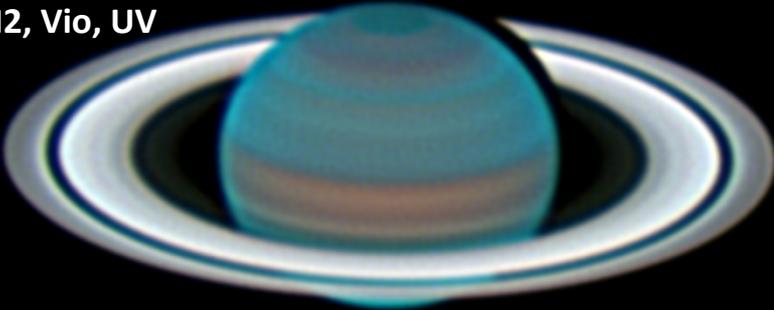


CAHA 2.2 m: Visible

R, V, B



M2, Vio, UV



CAHA 2.2 m: Visible

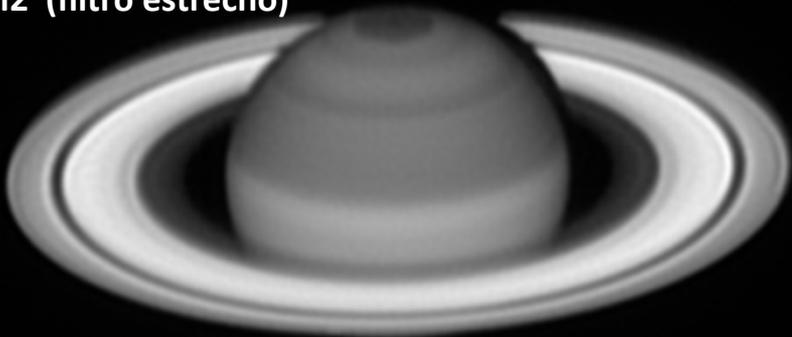
R, V, B



M2, Vio, UV

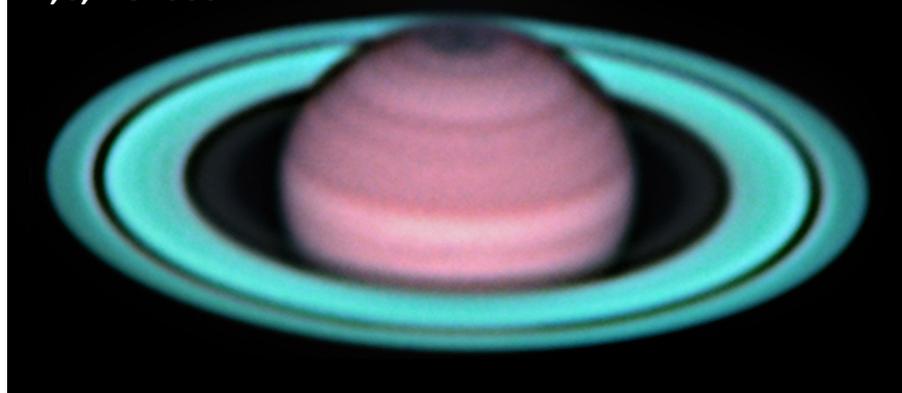


M2 (filtro estrecho)



CAHA 2.2 m SWIR

H, J, RG1000



CAHA 1.2 m

I, R, V, B



B, Vio, UV



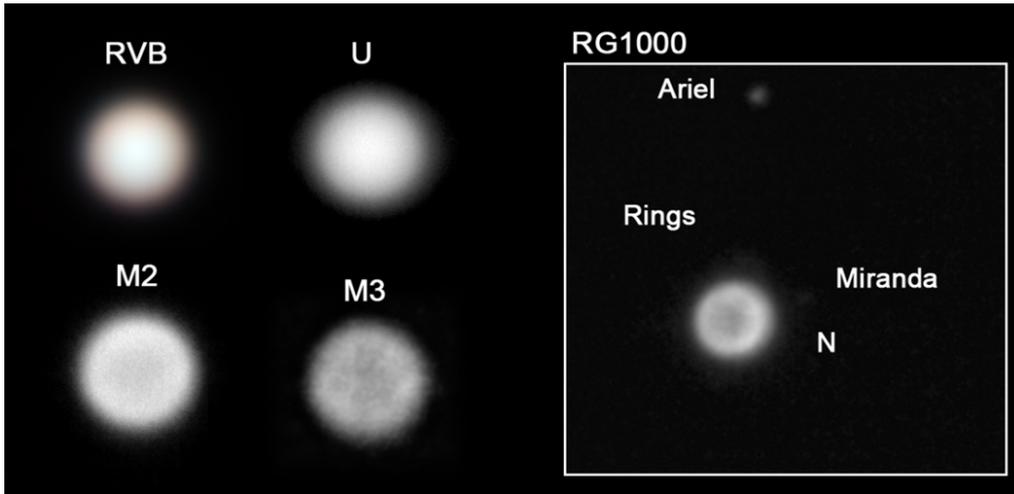
M1, M2, M3



C1, C2, C3



CAHA 2.2m Diciembre 2014

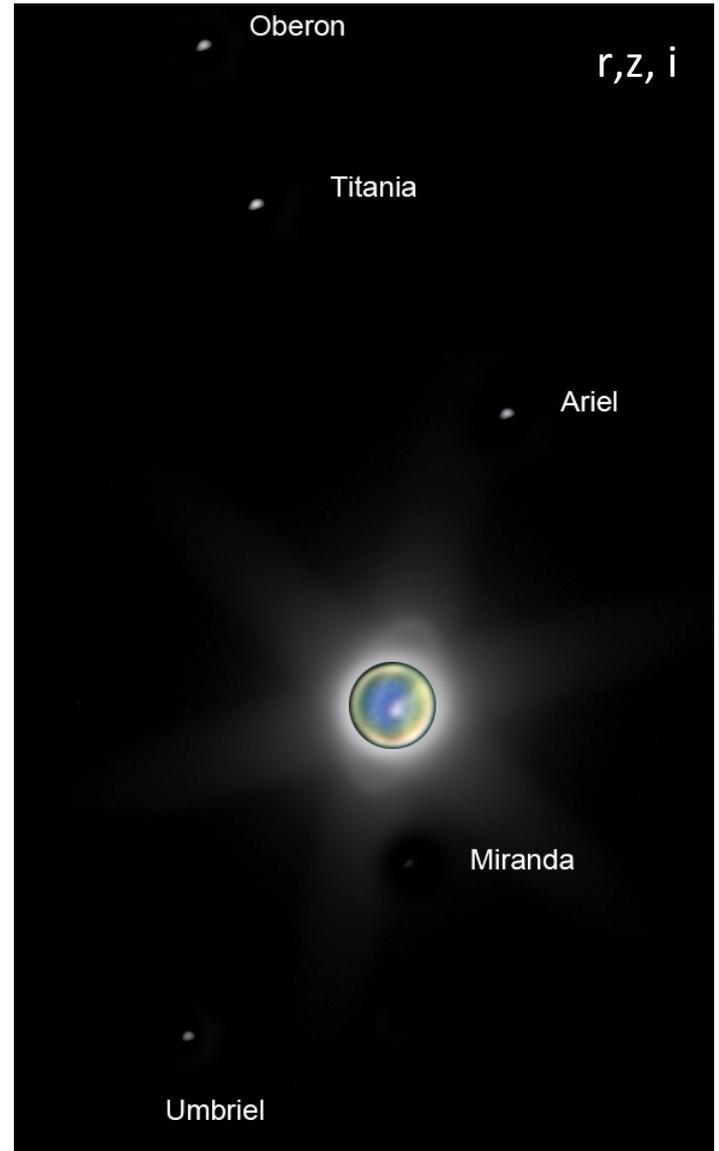


Urano: Magnitud +6.0 (diámetro 3.6-3.7'')

Ariel: Magnitud +14.8

Miranda: Magnitud +16.6

GTC/OSIRIS Fast frames Noviembre 2014



25 de Julio de 2014

Posible ocultación de una estrella de magnitud 17.3 por Quaoar (magnitud 18.8)

Caída de brillo de 1.7 magnitudes; Duración prevista de 66.5s

Finalmente la ocultación no se produjo. Excelente entrenamiento observacional.

25 de Julio de 2014

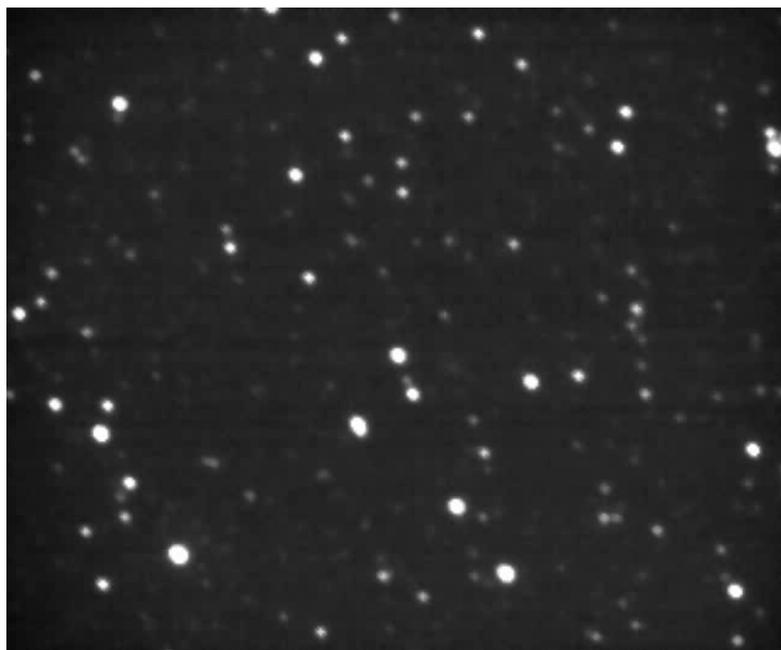
Posible ocultación de una estrella de magnitud 17.3 por Quaoar (magnitud 18.8)

Caída de brillo de 1.7 magnitudes; Duración prevista de 66.5s

Finalmente la ocultación no se produjo. Excelente entrenamiento observacional.

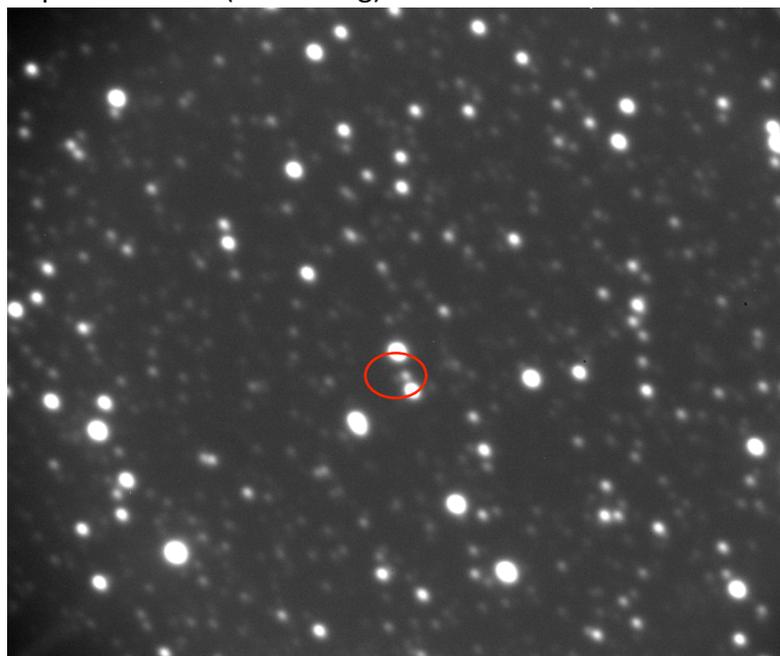
2014-07-25T23:21:54 -- 2014-07-25T23:46:52

Exposiciones de 5 s bin 2x2; sin filtro



2014-07-25T00:31:11

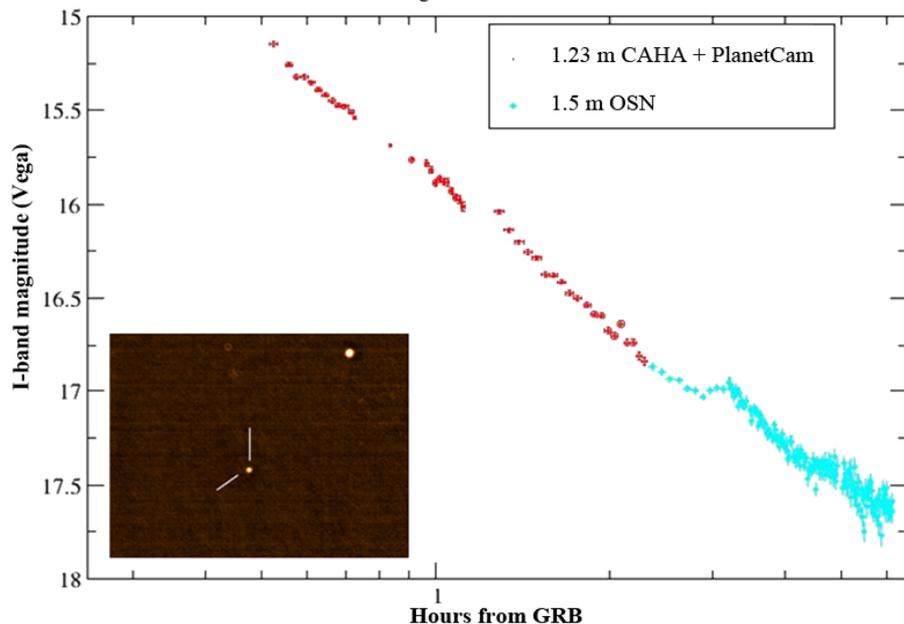
Exposure=180 s (no binning)



*Podríamos haber resuelto una ocultación como esta con bin 4 x 4 y tiempos de 1 s en el 2.2m
SWTR: Límite de tiempo de exposición, no binning; Magnitud límite 17.*

GRB130418 I-band lightcurve

Calibration with close star assuming $I=14.1804 \pm 0.0194$



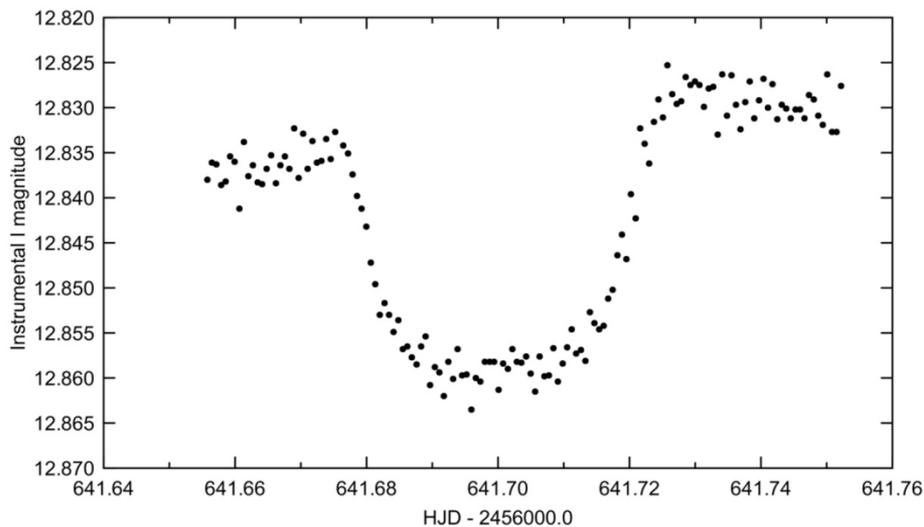
Uno de los primeros tests con PlanetCam

CAHA1.2m

Exposiciones de 60 s

Perdido con magnitud límite 17.5

GRB más lejano (en su momento) para el que se ha podido asociar una SN.



WASP- 43b

Duración ~ 70 minutos

Profundidad del tránsito (3%)

CAHA 1.2m

Exposiciones de 60 segundos

Error fotométrico

(dispersión de las medidas) ~ 2 mmag,

1.) Instrumento de alta resolución espacial y temporal **muy versátil**:

- 1.a) **Alta resolución** espacial (planetas) y temporal (ocultaciones, exoplanetas, impactos).
- 1.b) Capacidad de observar en **bandas estrechas** (5 nm) de interés (20 posiciones por rueda de filtros).

2) Telescopios de 1.2 y 2.2m de Calar Alto pero también en otros (Pic du Midi 1.05m, Telescopio Carlos Sánchez 1.5m)

3) Software **PLAYLIST**: PlanetCam / AstraLux / FastCam / Osiris FastFrame images (GTC) (IDL con interfaz gráfica)

- **Referencias y publicaciones en curso:**

- **Descripción del instrumento:**

- Sánchez-Lavega et al. “PlanetCam UPV/EHU: A simultaneous visible and near infrared lucky-imaging camera to study Solar System objects. Proc. of SPIE Vol. 8446 84467X-1” (2013)
- Mendikoa et al. “PlanetCam UPV/EHU: A two channel lucky imaging camera for Solar System studies in the spectral range 0.38 – 1.7 μm ”, (en preparación)

Descripción del software:

- Hueso et al. “PLAYLIST: PLANetarY Lucky Images Stacker: A software for high-resolution observations of the planets in 1-2 m telescopes.” (en preparación).