

Consejo Superior de Investigaciones Científicas  
*Instituto de Astrofísica de Andalucía*



# VARIABILIDAD FOTOMÉTRICA DEL COMETA C/2012 S1 (ISON) A 4.8 UA DEL SOL

IV REUNIÓN DE CIENCIAS PLANETARIAS  
Y EXPLORACIÓN DEL SISTEMA SOLAR

**P. Santos Sanz**, J.L. Ortiz, N. Morales, R. Duffard,  
F. Pozuelos, F. Moreno, y E. Fernández-Valenzuela.

*Alicante, 10 de Junio de 2015*

# Variabilidad fotométrica de ISON a 4.8 UA

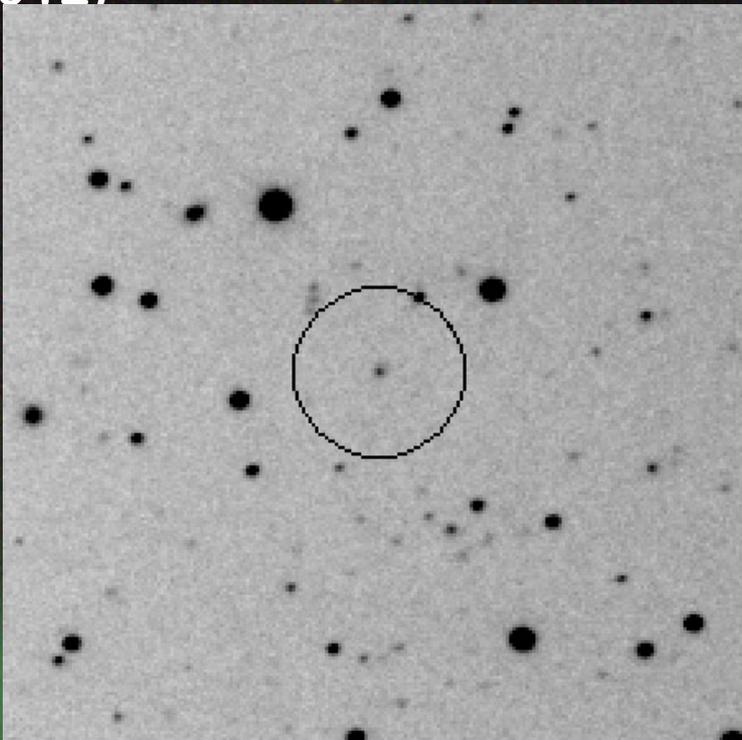
## ESQUEMA de la CHARLA

1. RETRATO de C/2012 S1 (ISON)
2. PERÍODOS de ROTACIÓN de COMETAS (fotometría)
3. OBSERVACIONES
4. FOTOMETRÍA de APERTURA
5. DISCUSIÓN
6. RESUMEN

# Variabilidad fotométrica de ISON a 4.8 UA

## RETRATO de C/2012 S1 (ISON)

- Descubierta el **21 de septiembre de 2012**,  $r_h = 6.3$  AU  $\rightarrow$  Nevski and Novichonok con el “**International Scientific Optical Network**” (ISON) cerca de Kislovodsk, Rusia (Nevski & Novichonok 2012)



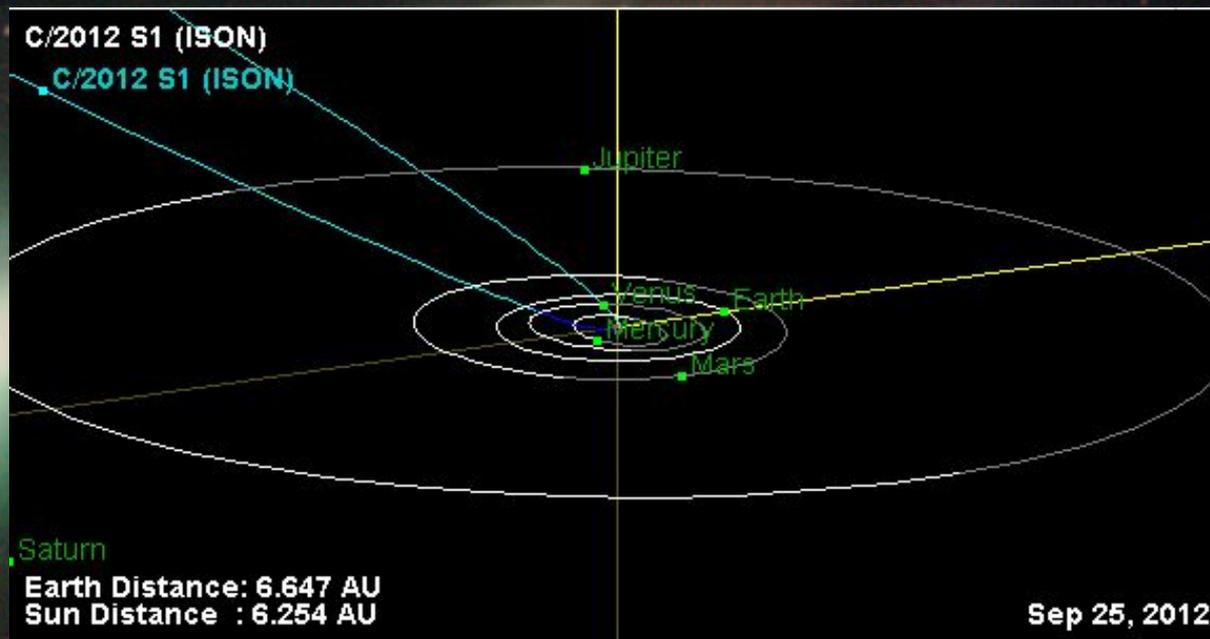
Comet C/2012 S1. 21 Sep. 2012, 01h 15m (UT)  
0.4-m reflector f/3 + CCD, exp. 5x100sec, 2"/pix., crop 200%  
ISON-Kislovodsk observatory  
Observers: V. Nevski, A. Novichonok



# Variabilidad fotométrica de ISON a 4.8 UA

## RETRATO de C/2012 S1 (ISON)

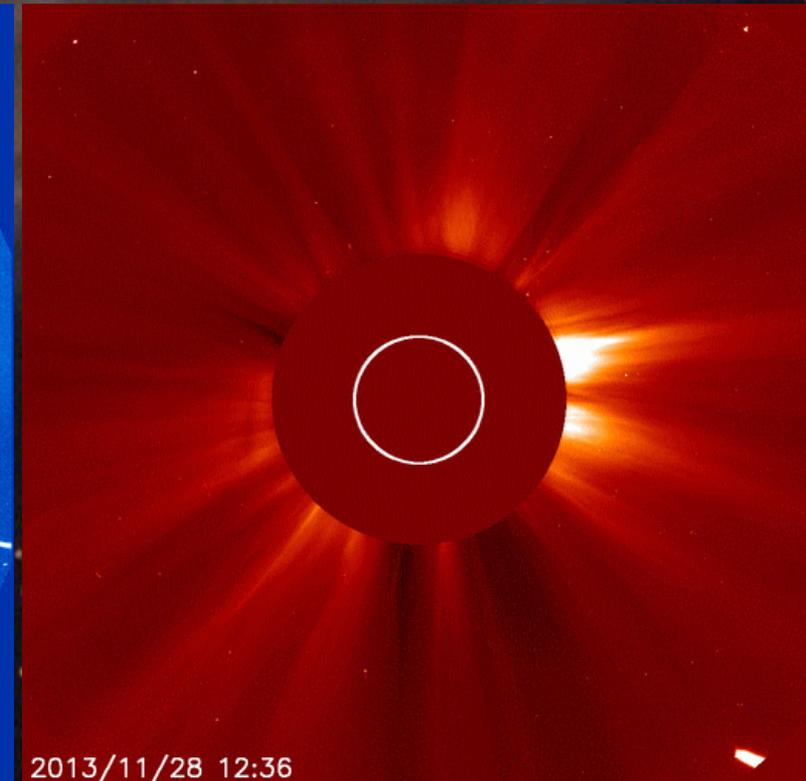
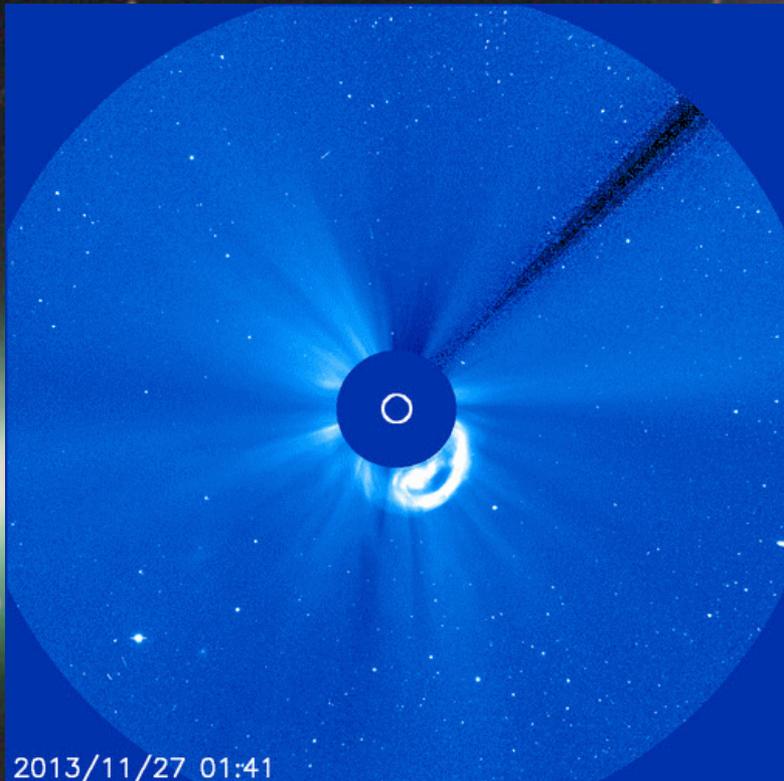
- Se calcula su órbita rápidamente → imágenes predescubrimiento del Mount Lemmon Survey y de Pan-STARRS.
- Órbita casi **parabólica** → cometa dinámicamente nuevo (proveniente directamente de la **nube de Oort**):
  - Núcleo probablemente rico en hielos y especies nunca irradiadas por el Sol (Agúndez et al. 2014)
  - **Gran actividad y brillo esperables** cerca del perihelio.



# Variabilidad fotométrica de ISON a 4.8 UA

## RETRATO de C/2012 S1 (ISON)

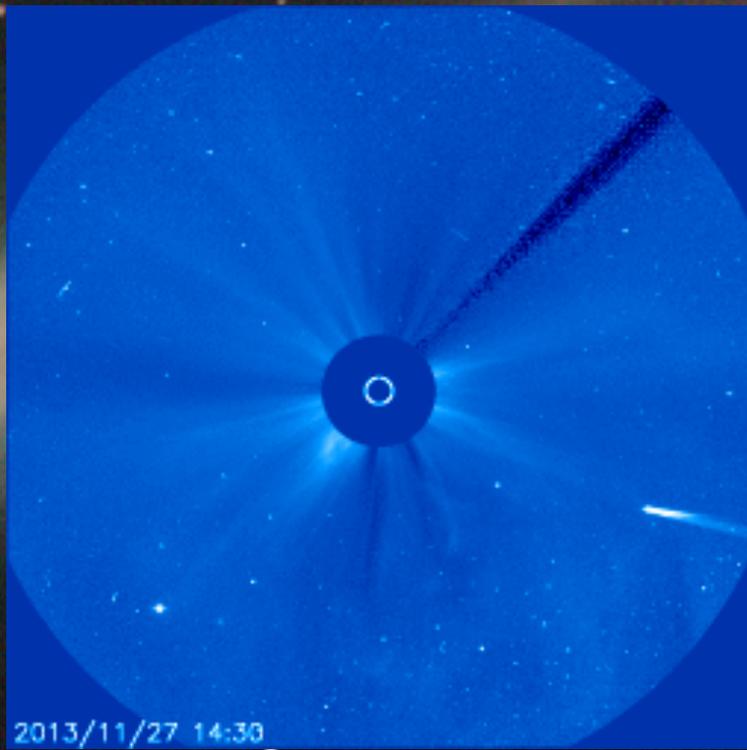
- ISON rozó el sol (**sungrazing**), pasando a sólo **0.012 UA** del sol ( **$2.7 R_{\text{Solares}}$** )
- **Perihelio: 28 Noviembre 2013**,  $m_v \sim -2$  mag (imágenes de SOHO/STEREO: Knight et al. 2013)
- Acercamiento tan grande al Sol  $\rightarrow$  **posible desintegración del núcleo.....**



# Variabilidad fotométrica de ISON a 4.8 UA

## RETRATO de C/2012 S1 (ISON)

- El núcleo (o algún trozo del mismo) **pareció sobrevivir al perihelio** → **el brillo de ISON decayó dramáticamente en corto período de tiempo** (Knight & Battams 2014; Combi et al. 2013; Moreno et al. 2014)
- No se recupera tras perihelio (Sako et al. 2014)
- **El núcleo no sobrevivió** el acercamiento al Sol y se volatilizó totalmente (Sekanina & Kracht 2014)



- **Fotometría de series temporales** → **períodos de rotación** de núcleos cometarios (Fay & Wisniewski 1978; Jewitt 1990; Meech et al. 1997; Gutiérrez et al. 2003; Snodgrass et al. 2005, 2008; Lamy et al. 2005; Lowry et al. 2012; Mottola et al. 2014)
- Más sencillo para **núcleo inactivo** (no coma de gas/polvo) → también posible cuando hay actividad/coma.
- Variabilidad de brillo en un núcleo cometario activo puede deberse a:
  - a) la **rotación de núcleo no esférico** que refleja diferente cantidad de luz solar dependiendo de la sección de área
  - b) **Variaciones periódicas de la producción gas/polvo** debidas a la insolación diurna.
  - c) **Estallidos de actividad** y/o otros cambios aleatorios.

# Variabilidad fotométrica de ISON a 4.8 UA

## PERÍODOS de ROTACIÓN de COMETAS

- Luego...para obtener la variabilidad debida a la rotación del núcleo es **preferible que esté inactivo**
- En caso de **actividad** es posible obtener el período rotacional del núcleo mediante **fotometría de la coma interna** → da información de variaciones de actividad cíclicas diurnas relacionadas con la rotación nuclear (Millis & Schleicher 1986; Schleicher et al. 1990)
- En nuestras observaciones de ISON ( $r_h = 4.8$  UA) el cometa presentaba coma en un estado “**inactivo**” (**estable**) → se puede derivar el período de rotación del núcleo por fotometría de apertura.
- Un factor importante a tener en cuenta son las **posibles variaciones de seeing** durante cada noche y de noche a noche lo que podría afectar la fotometría final y producir **períodidades espurias** (Jewitt 1990; Licandro et al. 2000)

# Variabilidad fotométrica de ISON a 4.8 UA

## OBSERVACIONES

- **Telescopio 0.77 m**, f/3 del Observatorio de La Hita (Toledo)
- Observado 8,9,11-14 de **Febrero de 2013 (6 noches)**. Sin filtro.
- CCD 4000 x 4000, escala= 0.705 arsec/pixel (**FOV= 48.1' x 48.1'**)
- $r_h = 4.84 - 4.77$  UA,  $\Delta = 4.01$  UA,  $FWHM_{\text{median}} = 4.8''$
- Tiempo integración: suficiente S/R + cometa no elongado (~150 s)

Date	JD [days]	Images	$r_h$ [AU]	$\Delta$ [AU]	$\alpha$ [deg]	$FWHM$ [arcsec]
2013-Feb.-08	2 456 332.47479–2 456 332.58176	42	4.839	4.010	6.963	4.87
2013-Feb.-09	2 456 333.37477–2 456 333.62491	97	4.828	4.009	7.169	4.65
2013-Feb.-11	2 456 335.38203–2 456 335.61912	68	4.806	4.008	7.587	5.30
2013-Feb.-12	2 456 336.40498–2 456 336.50574	40	4.796	4.008	7.780	5.01
2013-Feb.-13	2 456 337.42286–2 456 337.60275	76	4.784	4.008	7.996	4.59
2013-Feb.-14	2 456 338.32476–2 456 338.60417	79	4.773	4.008	8.188	4.14

# Variabilidad fotométrica de ISON a 4.8 UA

## FOTOMETRÍA de APERTURA

- Imágenes corregidas de flat y bias con las técnicas habituales
- **Fotometría de apertura relativa** usando Daophot (Stetson 1987) y un **máximo de 25 estrellas** de comparación.
- Errores medios en la magnitud relativa de ISON **~ 0.02 mag**
- Mucho cuidado con las fuentes de fondo para no introducir contaminación en la fotometría. Se descartan imágenes con cósmicos o artefactos dentro de la apertura.
- Se probaron **aperturas entre 5.6'' – 14.0''**
- Apertura suficientemente pequeña para **maximizar S/R** y suficientemente grande para **perder mínimo flujo**. Apertura ~ FWHM

# Variabilidad fotométrica de ISON a 4.8 UA

## FOTOMETRÍA de APERTURA

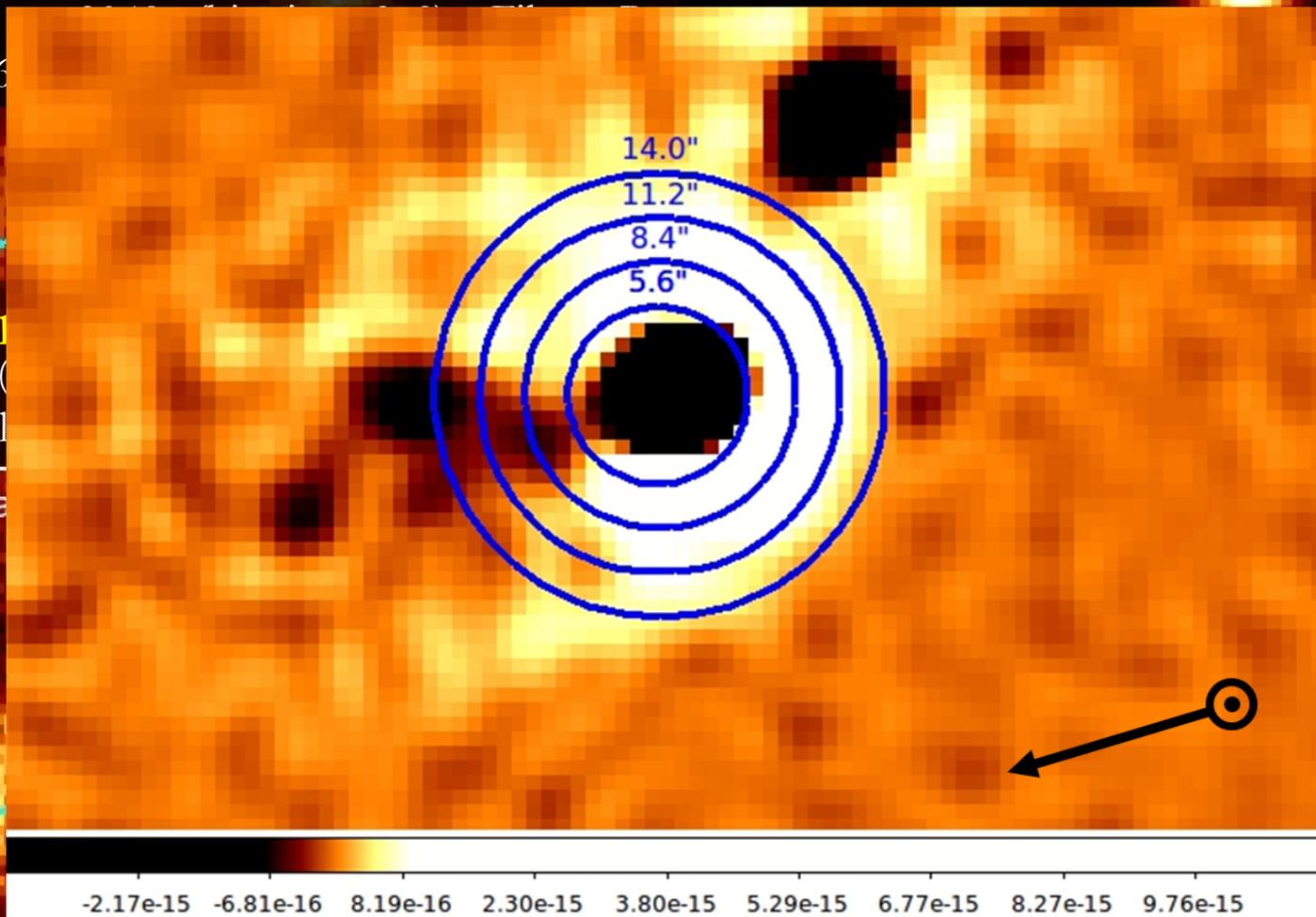
Unfiltered

Low-Pass filter

CCD 2048  
Escala= 0.46

Apertura óptica  
resolución (CSIC)  
Moreno et al.

Larson-Seka



- Elegimos sólo las **estrellas de referencia** que dan **menos dispersión** (se descartan las variables)
- **Fotometría final** → mediana de todas las CLs obtenidas con respecto a cada estrella de referencia: **minimiza dispersión y elimina resultados espurios**
- Idealmente: **mismas estrellas referencia** (FOV grande) → no es posible para ISON ( $v \sim 0.55$  arcsec/min) → **mismas referencias 2-3 noches** → conjuntos de noches con diferentes referencias se calibran usando imágenes de los mismos campos tomadas después de la campaña bajo condiciones fotométricas.
- Se prueba la estabilidad del método usando diferentes aperturas.

# Variabilidad fotométrica de ISON a 4.8 UA

## RESULTADOS

- Se buscan **periodicidades** usando la técnica de **Lomb** (1976)
- Se corrigen las JD por tiempo luz ( $\sim 33$  min.)
- Se corrigen las magnitudes relativas por el cambio de  $r_h$  y  $\Delta$ :

$$m(1, 1) = -2.5 \cdot \log(\text{flux}) - n \cdot \log(r_h) - 5 \cdot \log(\Delta)$$

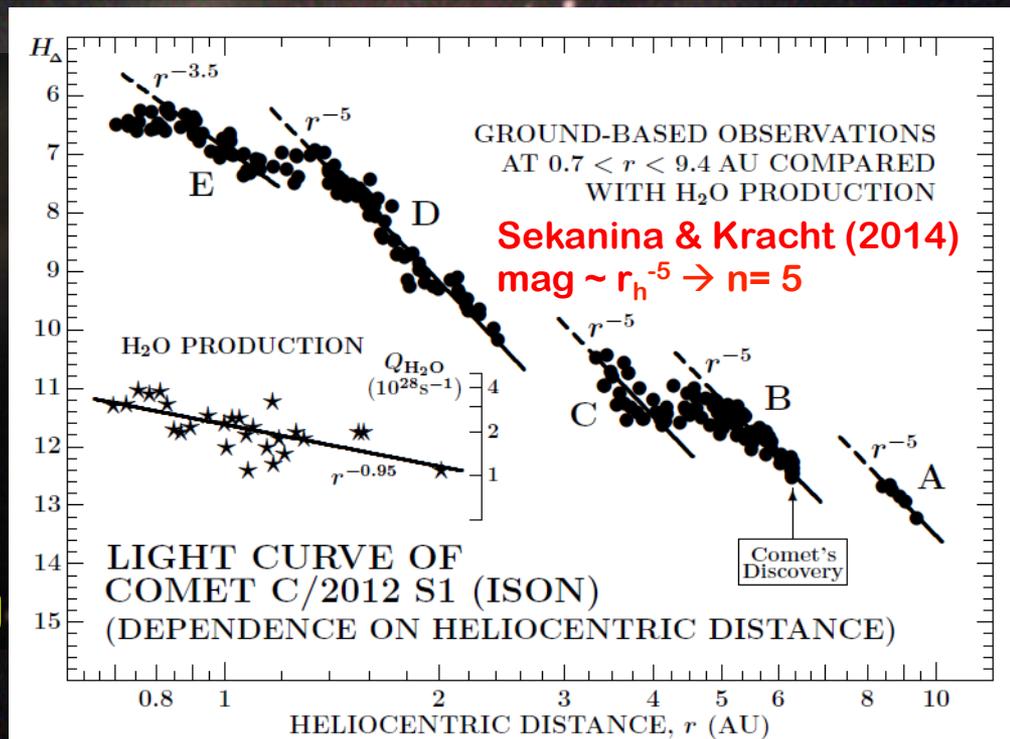
$n \rightarrow$  **cambio magnitud con  $r_h$** :

$n = 5$  no atmósfera (asteroides)

$n = 20$  atmósfera /coma activa

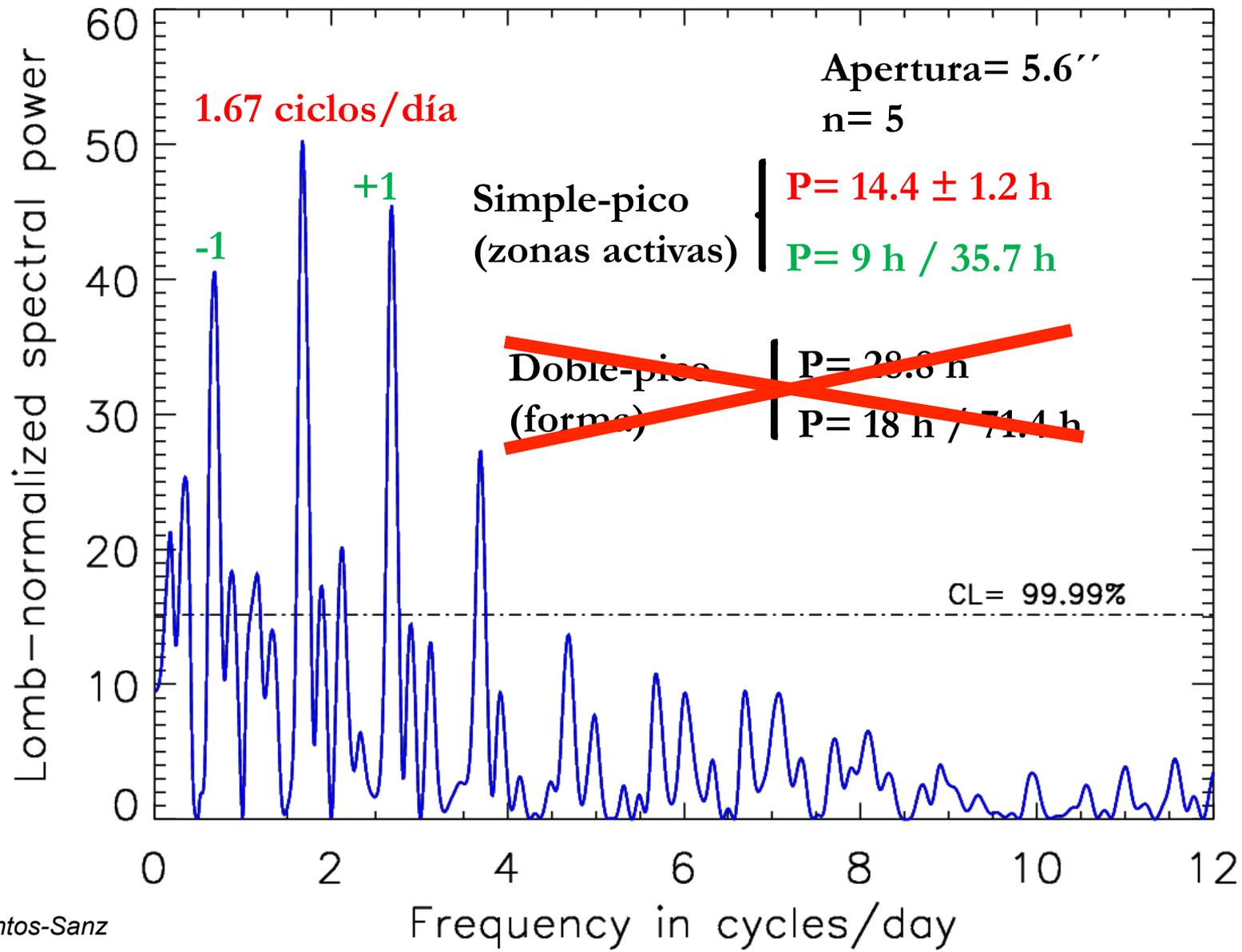
• Períodogramas de Lomb compatibles

• **No periodicidades con el seeing**



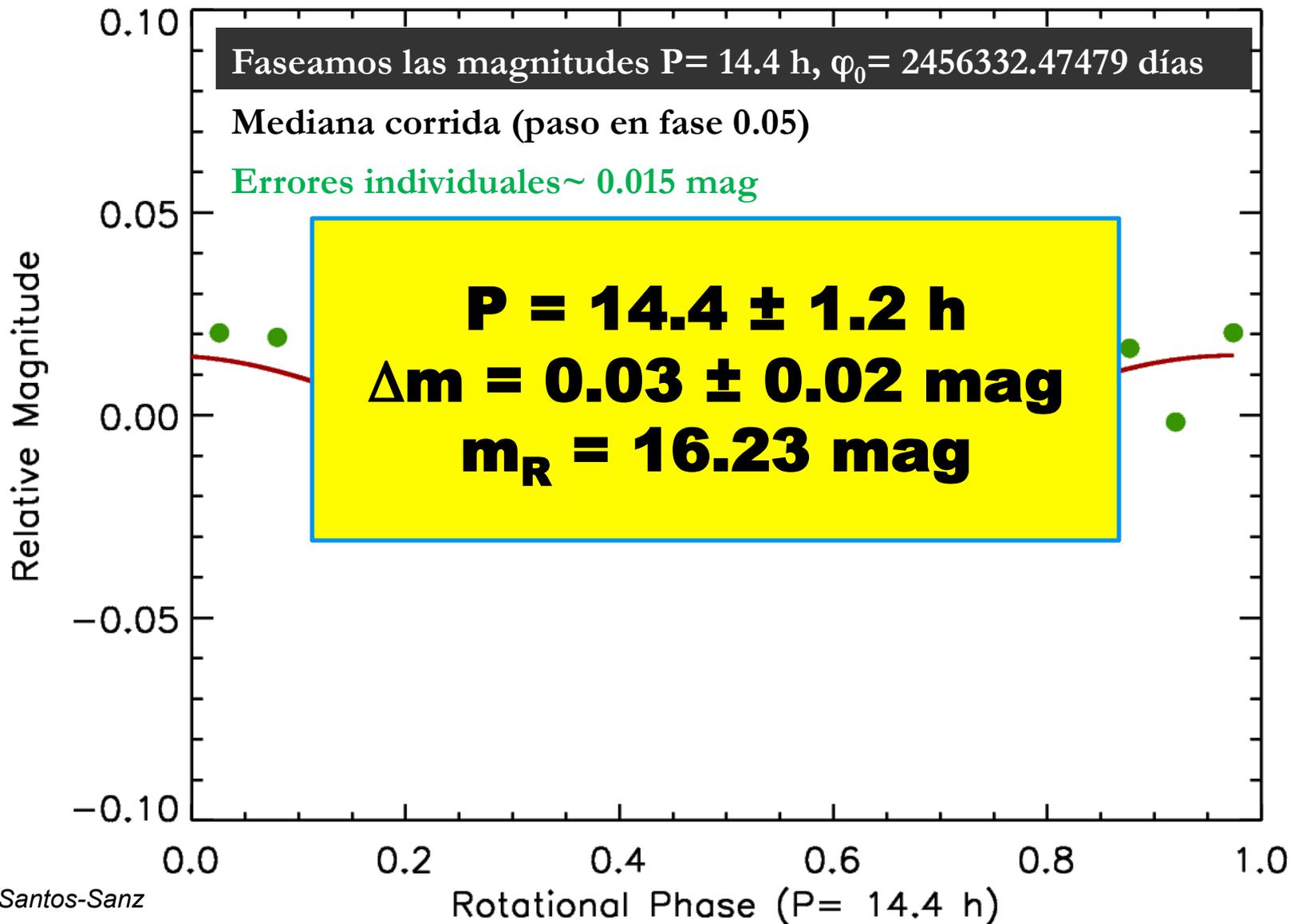
# Variabilidad fotométrica de ISON a 4.8 UA

## RESULTADOS

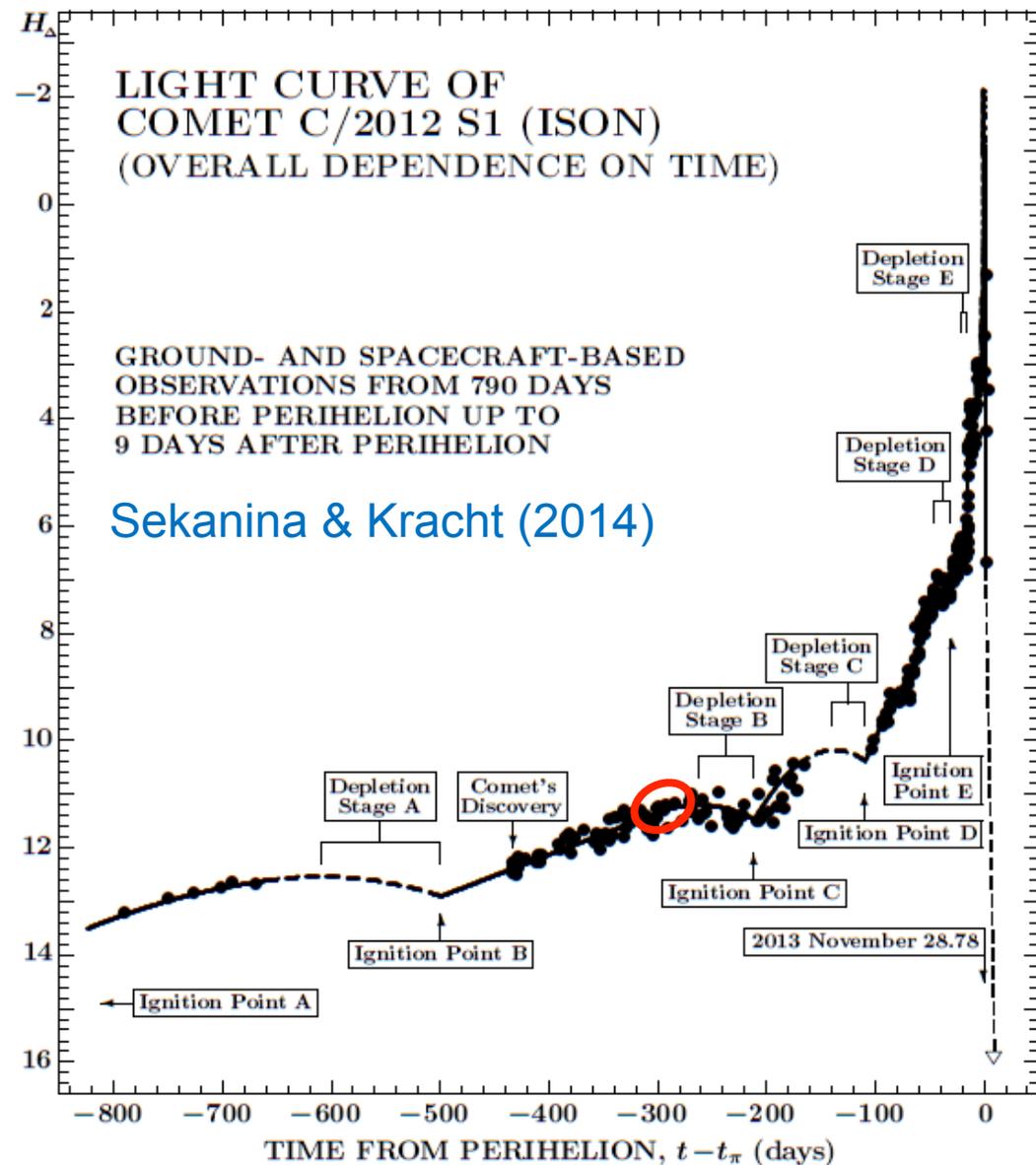


# Variabilidad fotométrica de ISON a 4.8 UA

## RESULTADOS



- Estas observaciones se obtuvieron cuando ISON se encontraba a **293-287 días previos al perihelio**, cuando el cometa no estaba muy activo ‘**estado de reposo**’ (sin variación dramática o actividad) → **período de rotación del núcleo se puede obtener mediante fotometría de apertura**



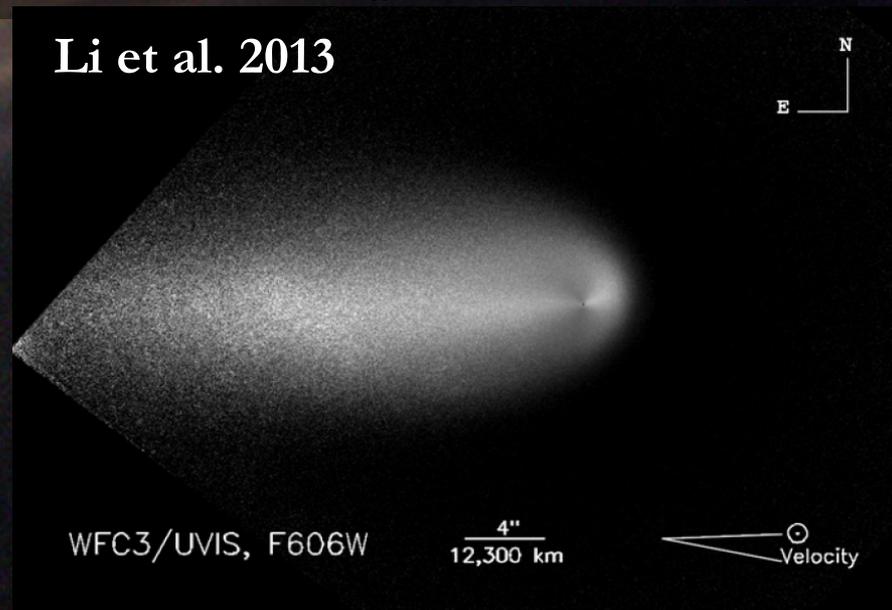
- Indicios de que la **iluminación del núcleo** fue **casi constante** hasta la semana anterior al perihelio → **casi misma zona del núcleo fue iluminada por el sol** hasta  $r_h = 1$  UA (Moreno et al. 2014; Li et al. 2013)
- Modelos de polvo (Moreno et al. 2014, Feb. 2013) y detección directa en imágenes del HST (Li et al. 2013, Abr. 2013) → **Chorro apuntando en dirección solar** (ángulo apertura  $45^\circ$ ) → el chorro no cambia durante HST y campañas desde tierra → dirección cuasi-polar ( $l = 50-80^\circ$ ). Polo apuntando ~ hacia la tierra (**pole-on**,  $\theta \sim 0^\circ$ )

- Baja amplitud  $0.03 \pm 0.02$  mag:

i) **núcleo no esférico** ( $\theta \sim 0^\circ$ )  
variabilidad debida a  $\neq$  area

ii) núcleo en rotación con  
diferentes **zonas activas**

Li et al. 2013



# Variabilidad fotométrica de ISON a 4.8 UA

## DISCUSIÓN

- Si asumimos un **núcleo de 4 km** (Li et al. 2013) con  $p_V = 5\%$ ,  $r_h = 4.8$  UA,  $\Delta = 4.0$  UA embebido en la coma  $\rightarrow m_R = 21.9$  mag ( $\sim 0.5\%$  del flujo total –núcleo+coma–  $m_R = 16.2$  mag)
- Si el núcleo en rotación fuera **muy elongado** (Jacobi  $a > b > c$ ,  $a/b = 2$ ,  $\theta = 90^\circ$ )  $\rightarrow \Delta m = 0.003$  mag ( $\sim 10\%$  de la  $\Delta m$  medida en ISON)
- Comoquiera que  **$D < 4$  km** (Delamere et al. 2013,  $D < 1.2$  km),  **$a/b < 2$** ,  **$\theta \neq 90^\circ$**  ( $\theta \sim 0^\circ$ )  $\rightarrow$  contribución de la luz reflejada en un núcleo en rotación al flujo total  **$< 10\%$**
- La **variabilidad que medimos** en la coma interna se debe probablemente a **regiones activas** en el núcleo  $\rightarrow$  producen variabilidad detectable (**de pequeña amplitud**) relacionada con el período de rotación nuclear  $\rightarrow$  Esto es posible si el polo no está exáctamente situado en el punto subsolar  $\rightarrow$  exposición periódica de pequeñas regiones nucleares que se activarían

- Se obtiene **fotometría precisa** de serie temporal de la coma interna de C/2012 S1 (ISON) - $r_h = 4.8$  UA,  $\Delta = 4.0$  UA- (6 días entre el 8-14 Febrero 2013).  **$m_R = 16.23$  mag**
- Se obtiene posible **período de rotación sinódico** (simple-pico) para el núcleo de ISON mediante periodograma de Lomb-Scargle  **$14.4 \pm 1.2$  h**. Dos alias a  $\pm 24$  h también posibles soluciones (9.0 h / 35.7 h). Los períodos doble-pico también son posibles (aunque menos probables)
- Se obtiene  **$\Delta m$  pico-valle** de la CL faseada  **$0.03 \pm 0.02$  mag**
- Todos estos resultados son compatibles con la configuración geométrica e iluminación del núcleo de ISON obtenida en Febrero de 2013 (Li et al. 2013; Moreno et al. 2014) y apuntan a **variabilidad debida a regiones activas** en el núcleo

**¡MUCHAS GRACIAS!**

