

# **La variabilidad fotométrica de estrellas T Tauri pertenecientes al proto-cúmulo de $\rho$ Ophiuchi y la detectabilidad de embriones planetarios**

## **SEGUNDO SEMINARIO DE DOCTORADO**

Lic. Flavia Lovos

Directora: Dra. Mercedes Gómez

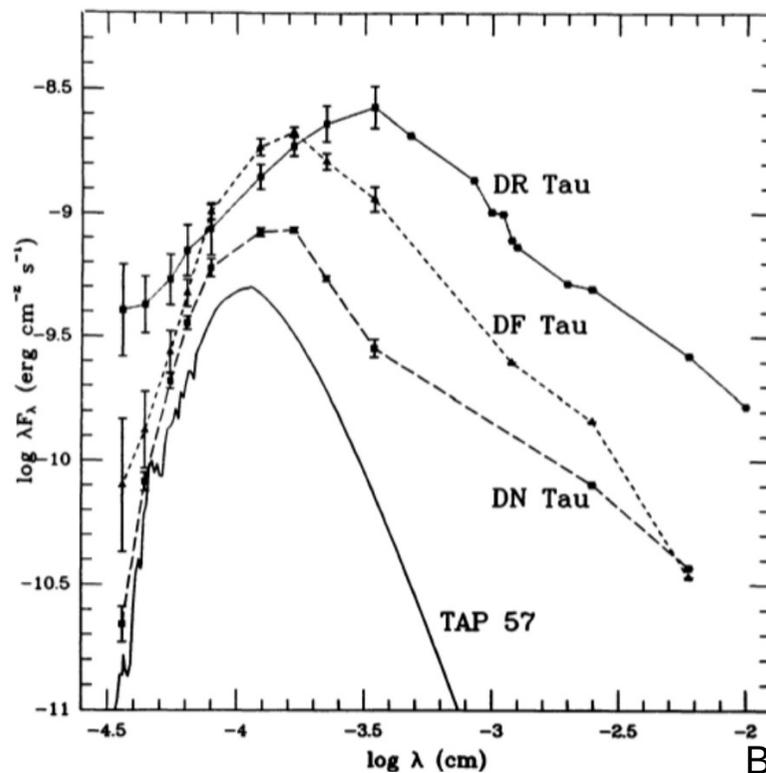
Comisión asesora: Dr. Javier A. Ahumada, Dr. Guillermo Günthardt, Dr. David Merlo

## Motivaciones de este trabajo

Las estrellas T Tauri son estrellas de pre-secuencia principal ( $< 3 M_{\text{sol}}$ ), con edades de algunos millones de años

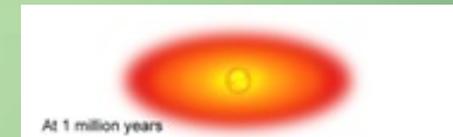
**CTTS** → Más jóvenes (de 1 a 5 millones de años) y activas, con discos primordiales

**WTTS** → Con edades de 10 millones de años, no todas presentan discos, o bien presentan discos evolucionados



CTTS

WTTS



Bertout (1989)

# Motivaciones de este trabajo

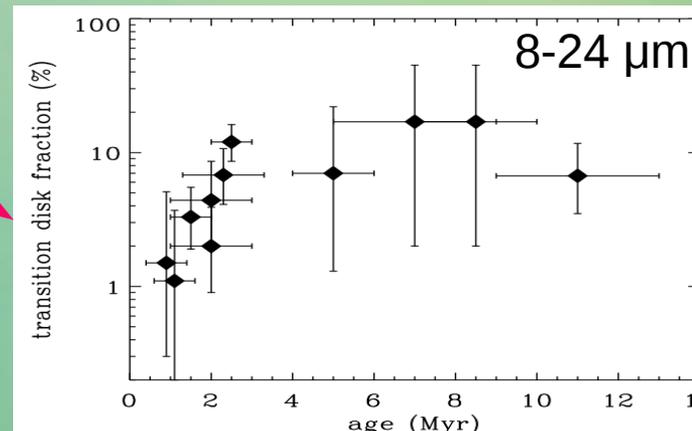
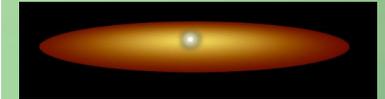
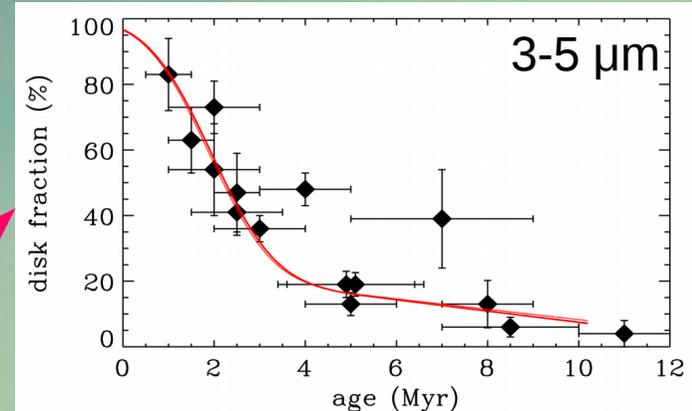
Existe evidencia observacional y modelos teóricos que indican que el tiempo de formación planetaria en los discos es de unos pocos a diez millones de años

En escalas de 5 a 10 millones de años se observa un vaciamiento en las regiones internas de los discos protoplanetarios (Strom et al. 1989, Hillenbrand, 2005).

Se corresponde con un aumento en la frecuencia de discos evolucionados que emiten en el MIR (Muzerolle et al. 2010).

Agotamiento del polvo en regiones internas

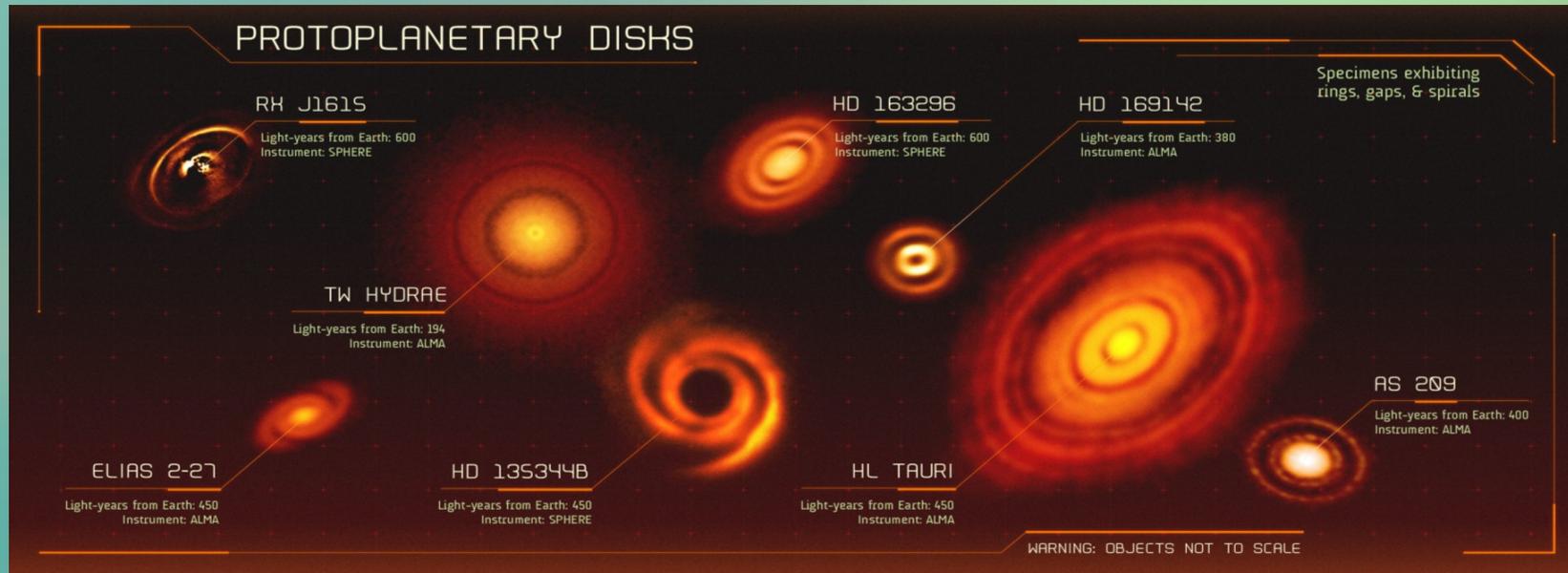
Formación de partículas más grandes



## Motivaciones de este trabajo

Existe evidencia observacional y modelos teóricos que indican que el tiempo de formación planetaria en los discos es de unos pocos a diez millones de años

Recientemente con ALMA se han observado numerosos discos proto-planetarios con estructuras que podrían indicar el inicio de formación planetaria.



El esquema evolutivo actual de discos apunta a las T Tauri como objetos en los que buscar evidencia de formación planetaria (Williams & Cieza, 2011)

## Motivaciones de este trabajo

Las estrellas T Tauri son estrellas de pre-secuencia principal ( $< 3 M_{\text{sol}}$ ), con edades de algunos millones de años

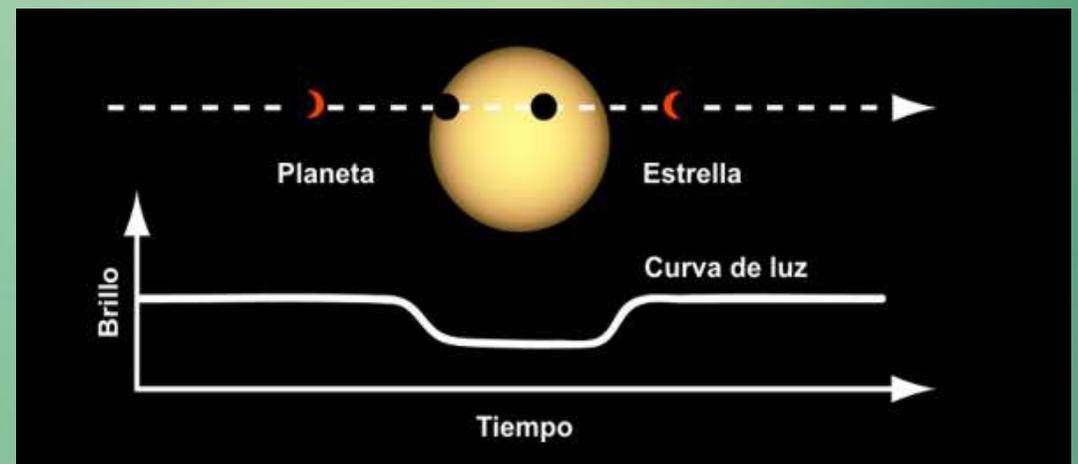
**CTTS** → Más jóvenes (de 1 a 5 millones de años) y activas, con discos primordiales

**WTTS** → Con edades de 10 millones de años, no todas presentan discos, o bien presentan discos evolucionados

Existe evidencia observacional y modelos teóricos que indican que el tiempo de formación planetaria en los discos es de unos pocos a diez millones de años

Apunta a las T Tauri como objetos en donde buscar formación planetaria

La detección de planetas por la técnica de tránsitos se ve complicada por la gran variabilidad presente en este tipo de estrellas



## Motivaciones de este trabajo

La motivación principal de este trabajo es profundizar nuestro conocimiento de la variabilidad general en estrellas T Tauri



Para comprender cómo estos efectos podrían influir/dificultar la detectabilidad de proto-planetas transitantes



Se propone un análisis de variabilidad en estrellas jóvenes pertenecientes a la región de formación estelar  $\rho$  Ophiuchi

# Contenido

## Introducción

Antecedentes de la región de  $\rho$  Ophiuchi

Objetivos

Instrumentos empleados

## Metodología

Observaciones

Variabilidad

Fotometría

## Análisis

Periodicidad

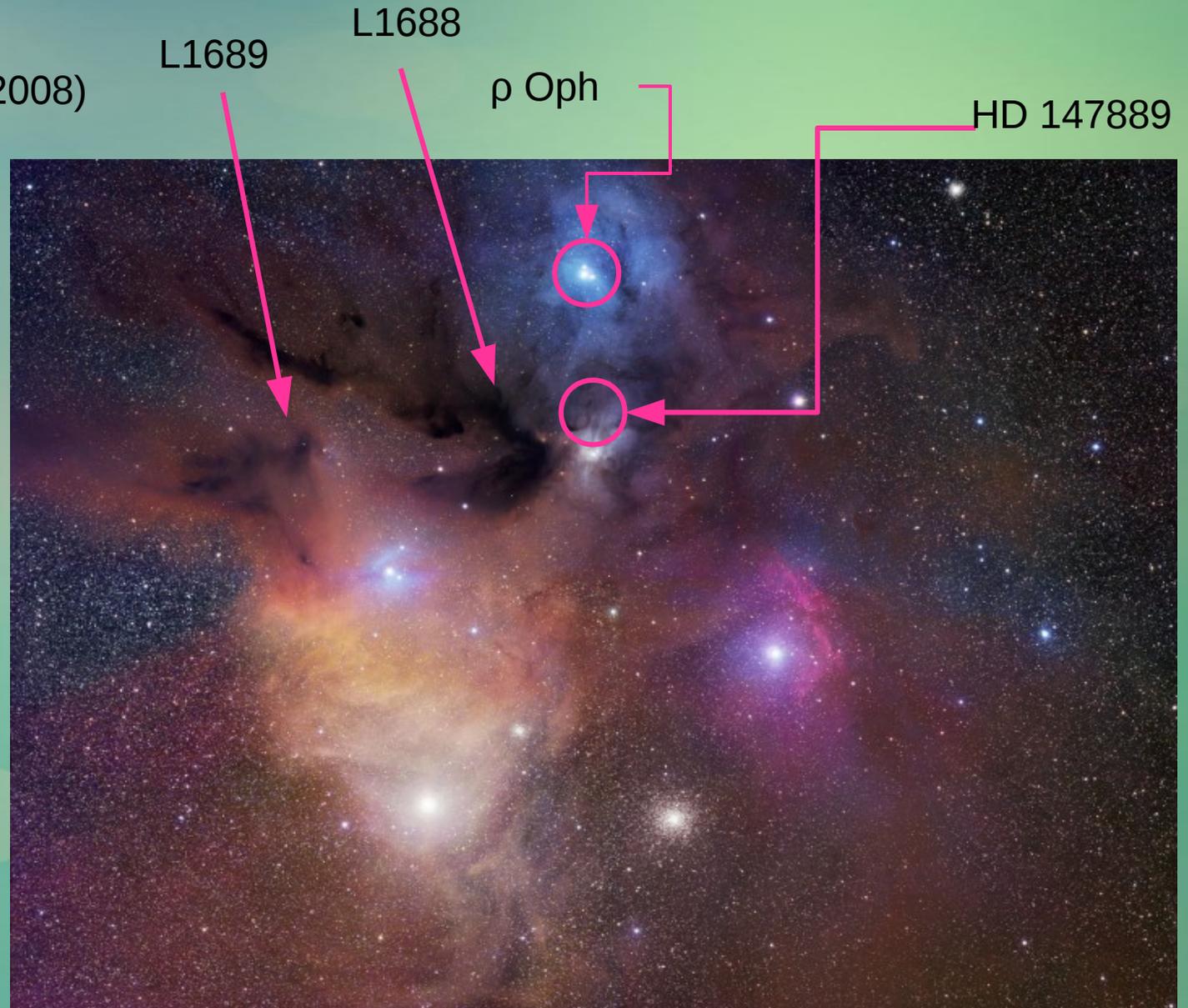
Curvas de luz y procesos involucrados

## Resultados y Conclusiones

Clasificación y resultados

# Región de Formación Estelar Austral $\rho$ Ophiuchi

- Complejo molecular oscuro en la asociación OB de Scorpius-Centaurus
- $119 \pm 6$  pc (Lombardi et al. 2008)
- $A_V = 3 - 5$  mag
- L1688: L1709, L1740, L1744, L1755 y L1765
- L1689: L1712, L1729



# Región de Formación Estelar Austral

## $\rho$ Ophiuchi

### Antecedentes en variabilidad

- Existen numerosos estudios estadísticos de variabilidad de objetos en esta región, tanto en el óptico como en IR: Shevchenko & Herbst (1998), Barsony et al. (2005), Alves de Oliveira & Casali (2008), Scholz (2012), Faesi et al. (2012), Günther et al. (2014), Parks et al. (2014), Rebull et al. (2014) → Estos estudios no incluyen el análisis detallado de curvas de luz.
- Recientemente otros trabajos realizados a partir de datos de la misión K2 de objetos en  $\rho$  Ophiuchi, reportan un estudio más detallado de las curvas de luz, en el que se caracterizan diferentes tipos de variabilidad: Ansdell et al. (2016), Stauffer et al. (2017), Cody et al. (2017), Rizzuto et al. (2017), Rebull et al. (2018), entre otros.

Nuestro trabajo se enmarca dentro de este segundo grupo de estudios

Estudio de variabilidad en  $\rho$  Ophiuchi de acuerdo a un análisis detallado de curvas de luz



# Contenido

## Introducción:

Antecedentes de la región de  $\rho$  Ophiuchi

Objetivos

Instrumentos empleados

## Metodología

Observaciones

Variabilidad

Fotometría

## Análisis

Periodicidad

Curvas de luz y procesos involucrados

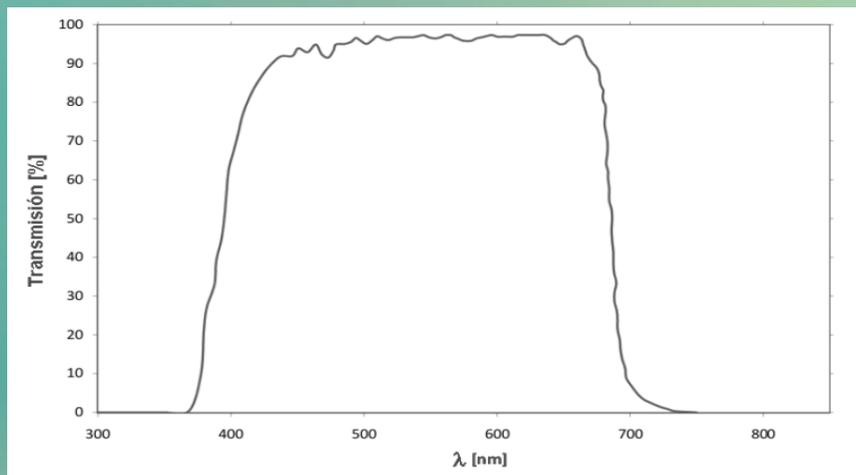
## Resultados y Conclusiones

Clasificación y resultados

# Astrógrafo para el Hemisferio Sur 2 (ASH2)

## Características principales

- Reflector de 0.45 m ubicado en el cerro Burek (CASLEO)
- Operado de acuerdo al convenio de IAA y CASLEO
- Modo *service observing*
- Gran campo cubierto: 97.8' x 65.2'
- Escala de placa: 1.47" /pixel
- Filtro *Luminance* centrado en 5500 Å y con un ancho de banda de 3000 Å →  $R \approx L + 0.84$



# Contenido

## Introducción:

Antecedentes de la región de  $\rho$  Ophiuchi

Objetivos

Instrumentos empleados

## Metodología

Observaciones

Variabilidad

Fotometría

## Análisis

Periodicidad

Curvas de luz y procesos involucrados

## Resultados y Conclusiones

Clasificación y resultados

# Astrógrafo para el Hemisferio Sur 2 (ASH2)

## Observaciones

- Dos regiones centradas en L1688 y L1689
- Observadas entre abril y junio de 2014, 2015 y 2017:

789 imágenes en 2014

764 imágenes en 2015

1160 imágenes en 2017

- Tiempo de exposición:  
60 seg



# Metodología

## Procesamiento de las imágenes

- Imágenes de calibración: *bias*, *darks*, *flatfields* de cielo y de cúpula
- Procesadas de forma estándar con el *software* IRAF

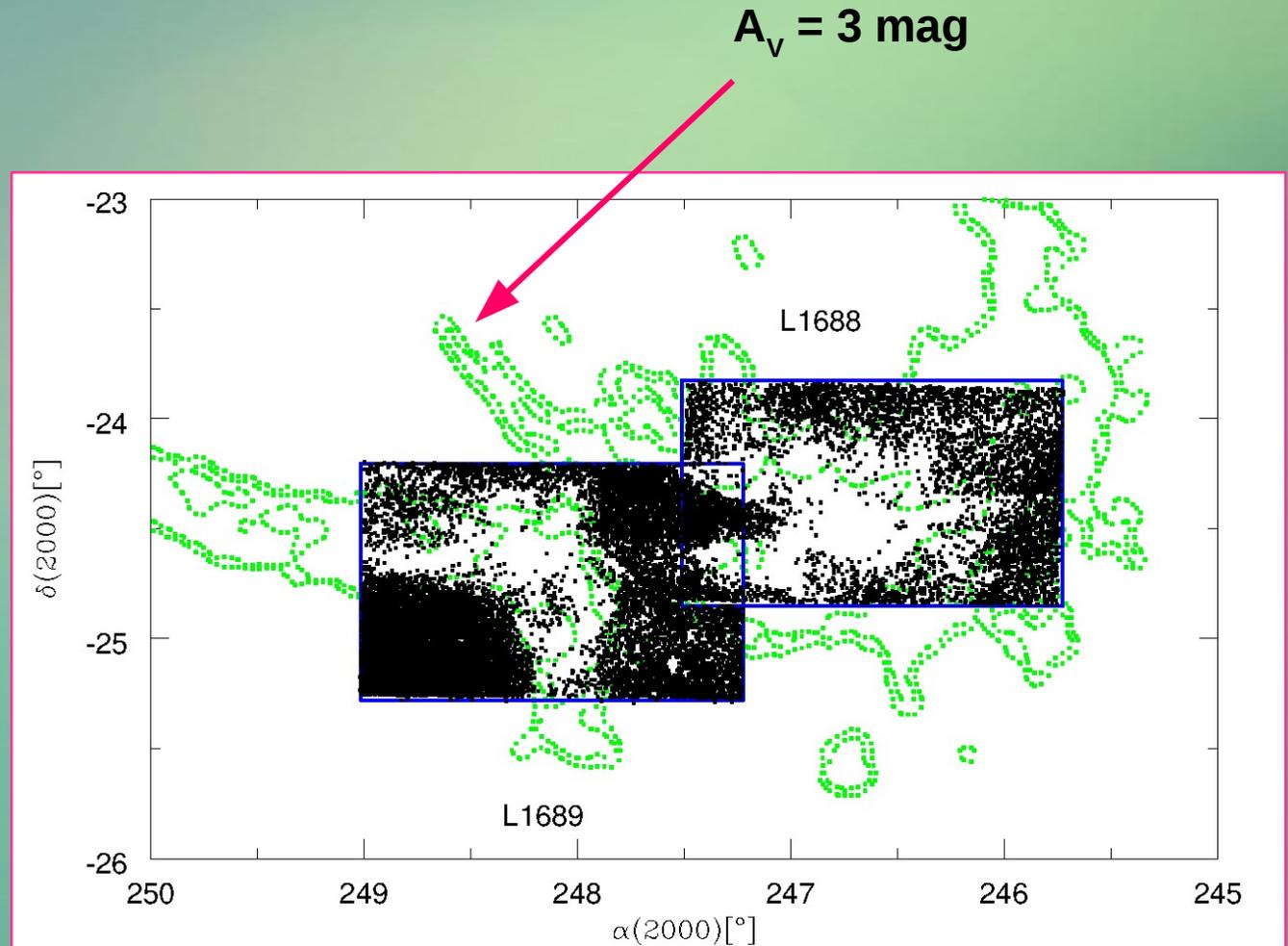
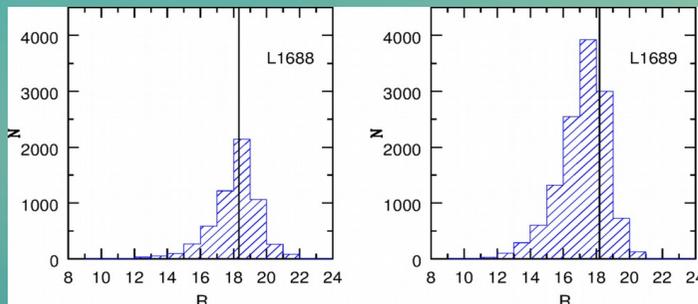
# Metodología

## Procesamiento de las imágenes

- Imágenes de calibración: *bias*, *darks*, *flatfields* de cielo y de cúpula
- Procesadas de forma estándar con el *software* IRAF

## Detección de fuentes

- Se detectaron 5828 en L1688 y 12676 en L1689
- Límites de completitud en  $R \sim 19$  y de detección en  $R \sim 21$



# Contenido

## Introducción:

Antecedentes de la región de  $\rho$  Ophiuchi

Objetivos

Instrumentos empleados

## Metodología

Observaciones

Variabilidad

Fotometría

## Análisis

Periodicidad

Curvas de luz y procesos involucrados

## Resultados y Conclusiones

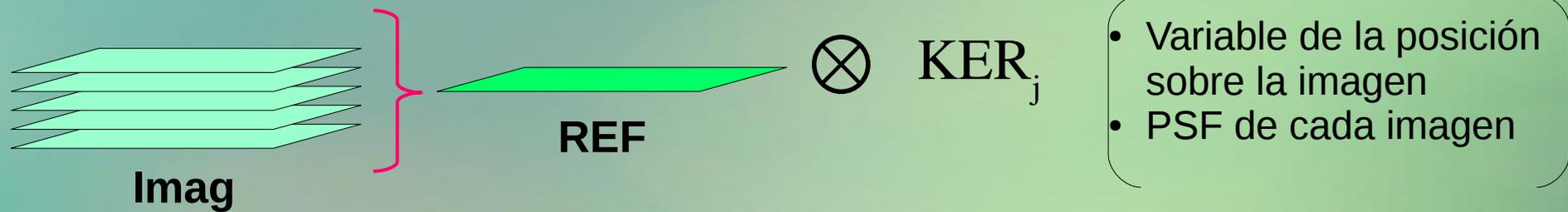
Clasificación y resultados

# Metodología: detección de variabilidad

## Detección de variabilidad

- Método DIA (“Análisis Diferencial de Imágenes”; Alard & Lupton 1998)

↓  
**DIAPL (Wozniak, 2000)**



$$\text{Imag}_j - \text{REF} \otimes \text{KER}_j \rightarrow \text{Imagen Diferencial}$$

# Metodología: detección de variabilidad

## Detección de variabilidad

- Método DIA (“Análisis Diferencial de Imágenes”; Alard & Lupton 1998)



## DIAPL (Wozniak, 2000)

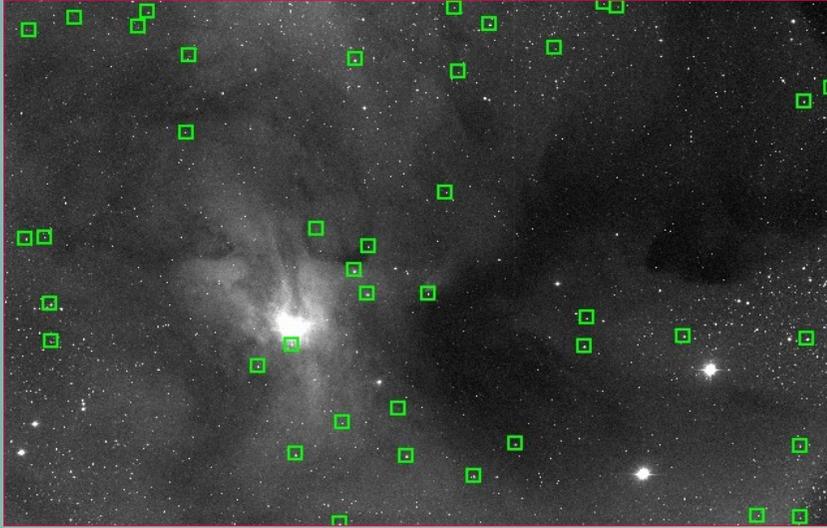
### Identificación de variables con GETVAR:

- Cada imagen diferencial aporta un punto a la Curva de Luz
- Analiza los cocientes entre los apartamientos de un flujo medio y las estimaciones de ruido
- Pixel “variable” si
  - 3 puntos consecutivos se apartan  $3\sigma$  en una dirección
  - 10 puntos se apartan  $4\sigma$  en la misma dirección

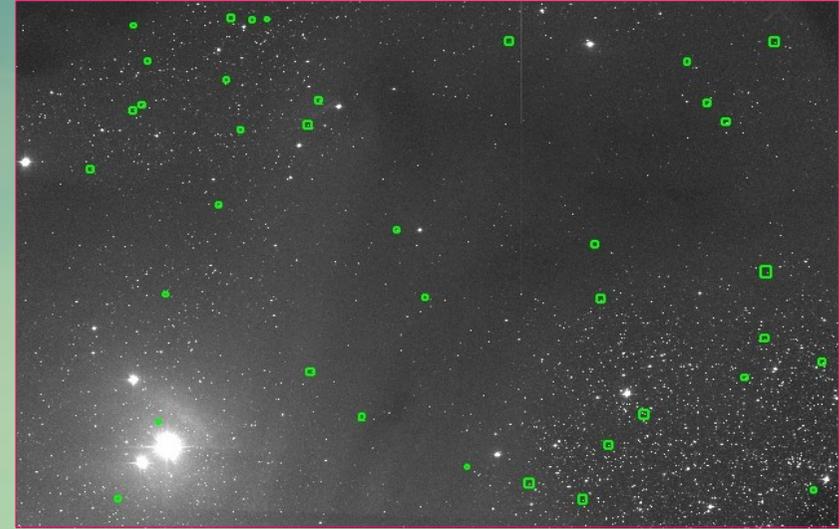
De esta forma se consideran variables periódicas y de fenómenos transitorios

# Metodología: detección de variabilidad

## Detección de variabilidad



L 1688: 40 variables

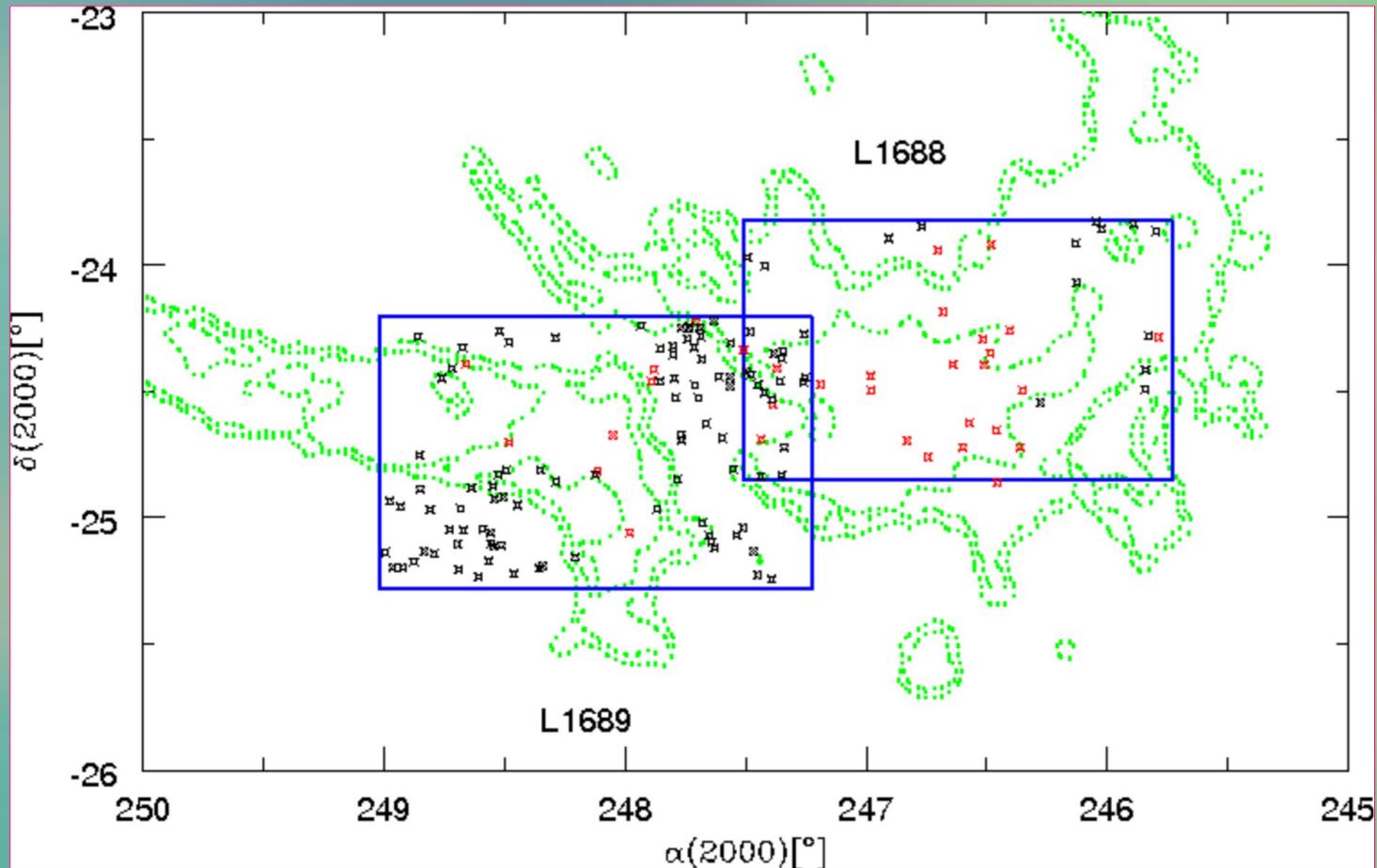


L 1689: 33 variables

73 Variables → 29 Variables jóvenes conocidas

# Metodología: detección de variabilidad

## Detección de variabilidad



73 Variables → 29 Variables jóvenes conocidas

# Contenido

## Introducción:

Antecedentes de la región de  $\rho$  Ophiuchi

Objetivos

Instrumentos empleados

## Metodología

Observaciones

Variabilidad

Fotometría

## Análisis

Periodicidad

Curvas de luz y procesos involucrados

## Resultados y Conclusiones

Clasificación y resultados

# Metodología: fotometría diferencial

## Fotometría Diferencial → Imágenes originales

- Flujo de un objeto relativo al de otro supuesto constante

- Cercano en el campo
- De color similar

Masa de aire y extinción  
es similar en ambos

- Selección de estrellas de comparación → entre 4 y 6 repartidas en toda el área (no variables conocidas)



# Metodología: fotometría diferencial

## Fotometría Diferencial → Imágenes originales

FOTOM\_DIAPL → script en entorno de IRAF

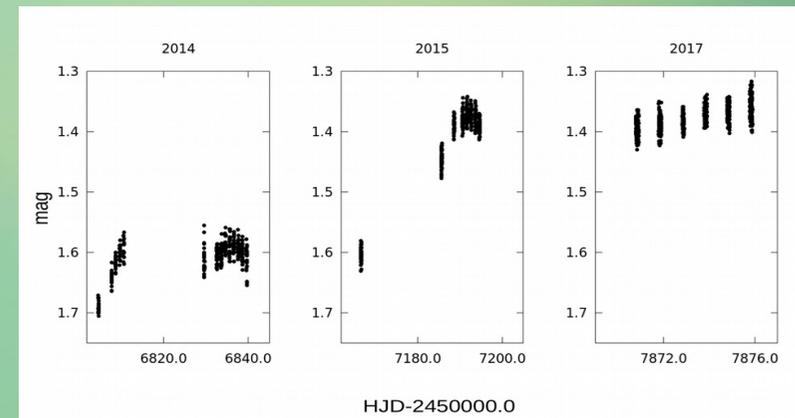
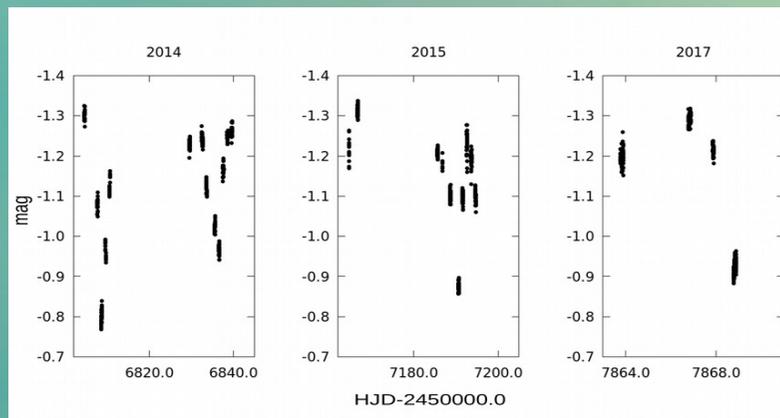
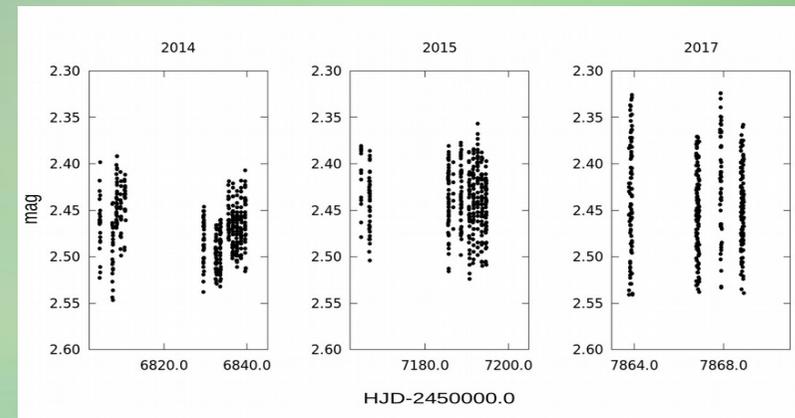
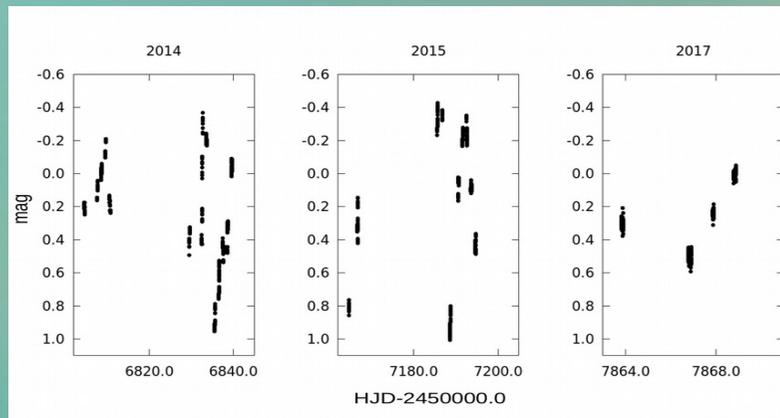
- Apertura de radio de 1.5 FWHM
- Parámetros de entrada: lista de imágenes, ganancia, ruido de lectura, nivel de saturación, nivel de cielo y desviación estándar
- Debe indicarse la estrella de comparación
- Obtiene magnitudes diferenciales y sus errores

# Metodología: fotometría diferencial

## Algunas curvas de luz obtenidas

Variables jóvenes

Variables de campo



# Metodología

## Datos de acceso públicos:

- **Relevamiento Catalina**

- × Catalina Sky Survey (CSS): “Objetos de Paso Cercano a la Tierra” (NEO, Near Earth Objects)
- × Catalina Real-time Transient Survey (CRTS): “Fuentes Transitorias Ópticas Estacionarias” (OT, Stationary Optical Transients)
- × Telescopios: Mt. Lemmon Survey 1.5 m (MLS), CSS Catalina Sky Survey 0.7 m Schmidt y SSS Siding Springs Survey 0.5 m Schmidt
- × En filtro V
- × <http://nesssi.cacr.caltech.edu/DataRelease/>

- **Relevamiento Super Wasp (Wide Angle Search for Planets)**

- × Dos instrumentos: En la isla de La Palma (Canarias, España), en el Observatorio Roque de Los Muchachos, y otro en Sudáfrica, en el Observatorio Astronómico de Sudáfrica (SAAO) → garantiza el cubrimiento completo de ambos hemisferios celestes
- × Sin filtro
- × <http://wasp.cerit-sc.cz/form>

# Contenido

## Introducción:

Antecedentes de la región de  $\rho$  Ophiuchi

Objetivos

Instrumentos empleados

## Metodología

Observaciones

Variabilidad

Fotometría

## Análisis

Periodicidad

Curvas de luz y procesos involucrados

## Resultados y Conclusiones

Clasificación y resultados

# Análisis de los datos: periodicidad

## Búsqueda de períodos

**Period04** (Lenz & Breger, 2004, 2005):

- Transformada discreta de Fourier y ajuste de Mínimos Cuadrados
- Interfaz flexible con 3 módulos → permite el ajuste de múltiples frecuencias
  - Módulo de series temporales
  - Módulo de Ajuste
  - Módulo de Fourier

**VarTools** (VARTOOLS Light Curve Analysis Program; Hartman & Bakos 2016):

- Cuenta con múltiples algoritmos: L-S (Lomb-Scargle generalizado; Zechmeister & Kürster 2009; Lomb 1976; Scargle 1982), AoV (Análisis de Varianza; Schwarzenberg-Czerny, 1989; Devor, 2005), BLS (Box-fitting Least Squares; Kovács et al. 2002)
- Se ejecuta por terminal por medio de comandos en línea

# Contenido

## Introducción:

Antecedentes de la región de  $\rho$  Ophiuchi

Objetivos

Instrumentos empleados

## Metodología

Observaciones

Variabilidad

Fotometría

## Análisis

Periodicidad

Curvas de luz y procesos involucrados

## Resultados y Conclusiones

Clasificación y resultados

## Análisis de los datos: curvas de luz

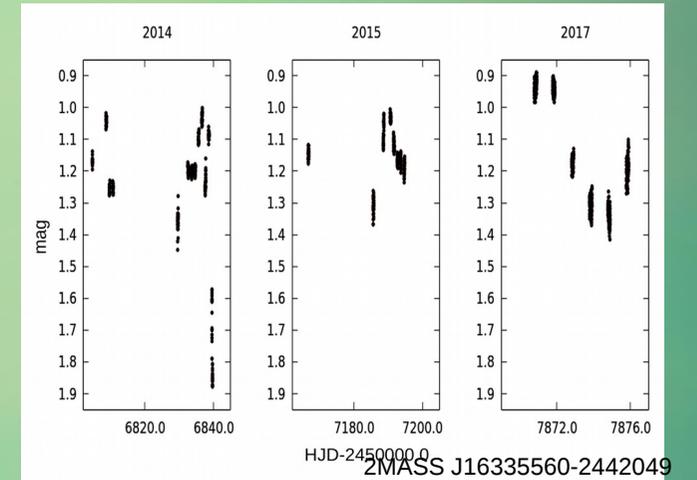
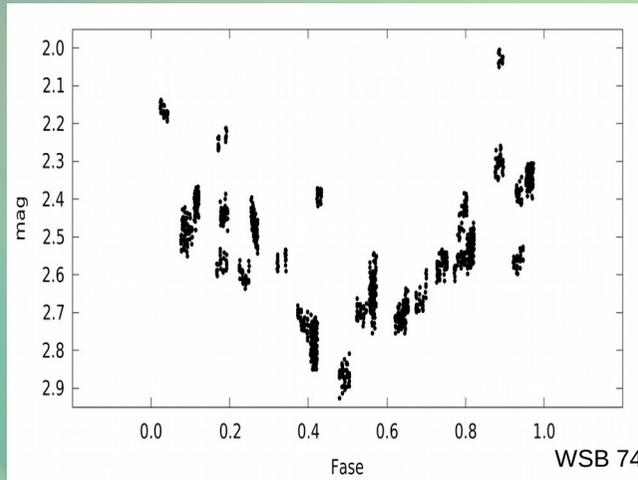
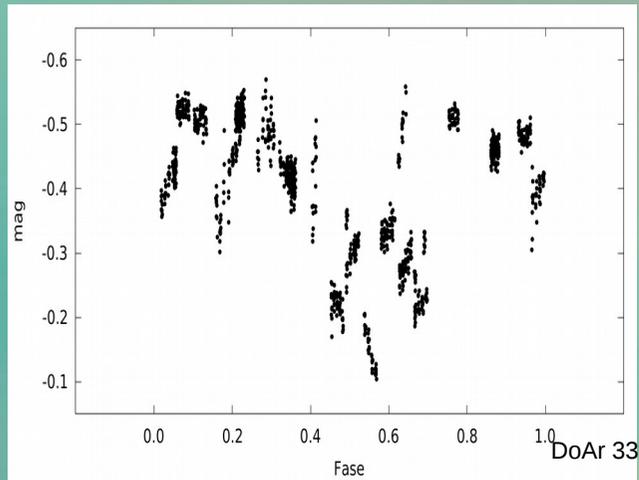
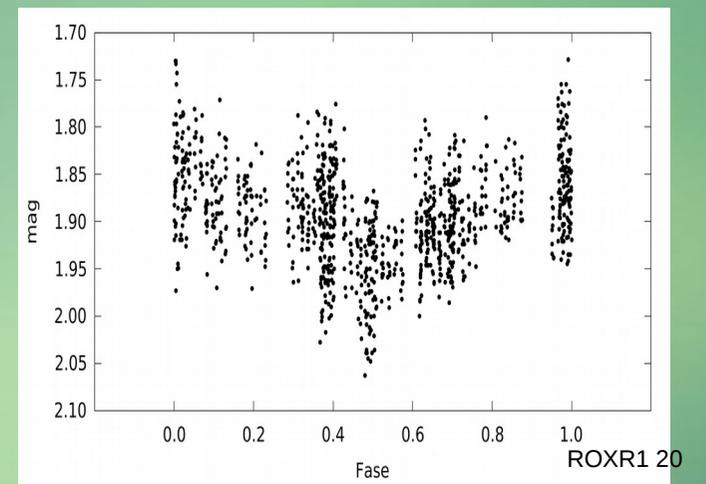
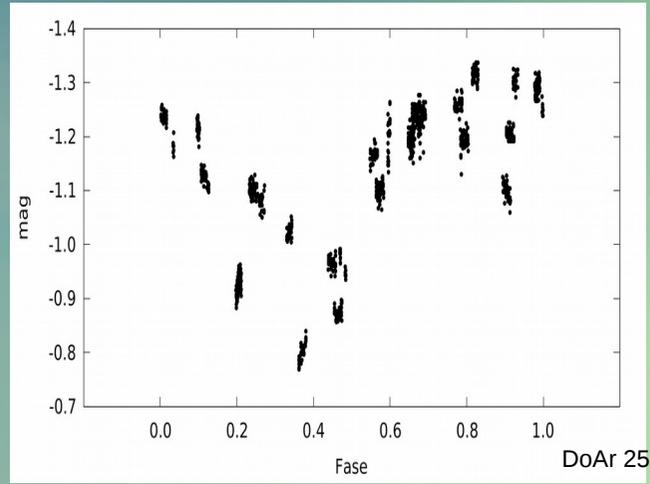
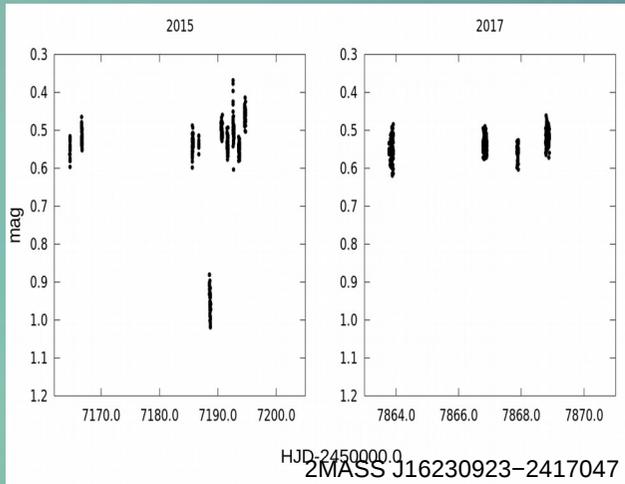
Se presentan las curvas de luz de las 29  
estrellas variables jóvenes



Clasificadas de acuerdo a sus aspectos  
generales

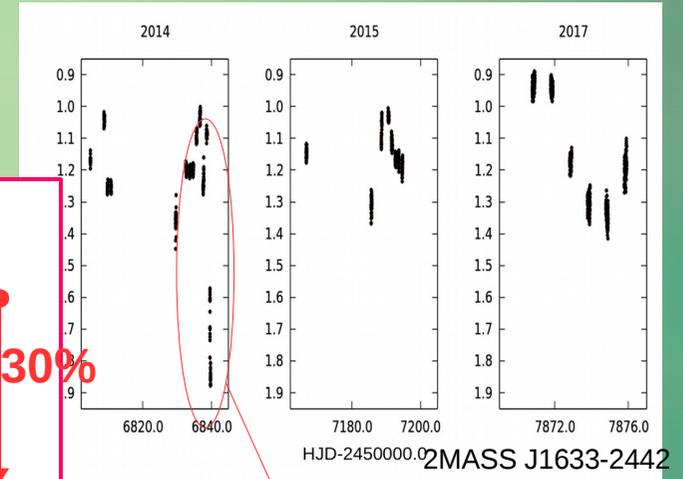
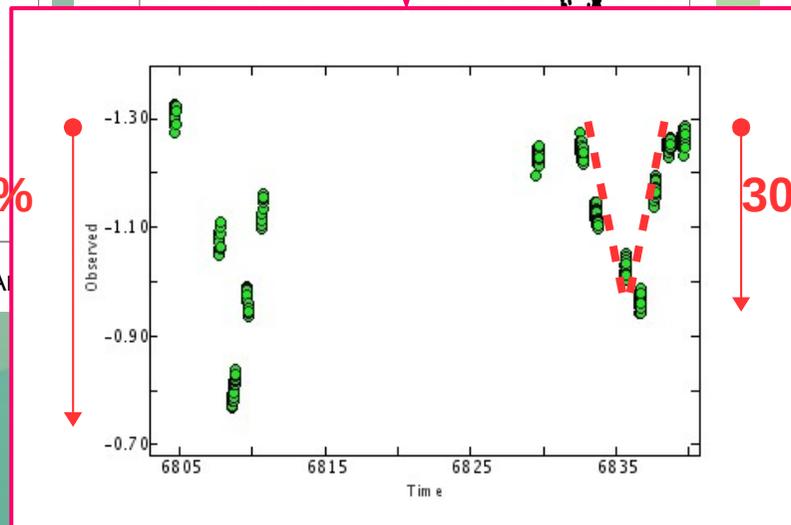
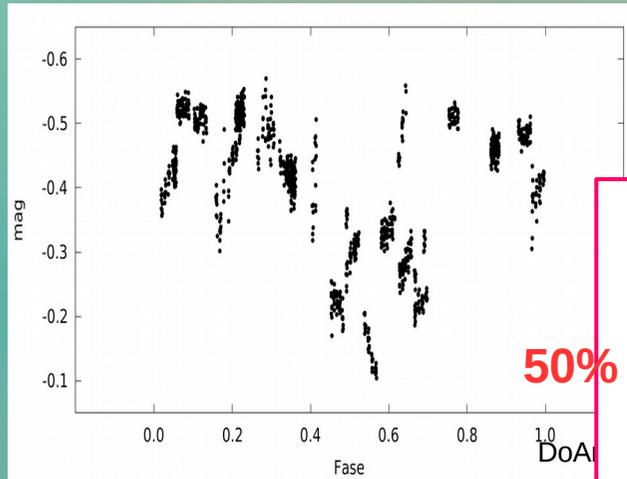
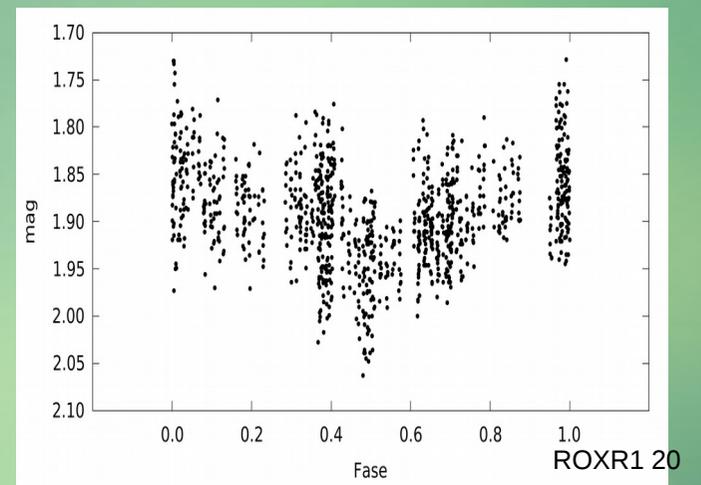
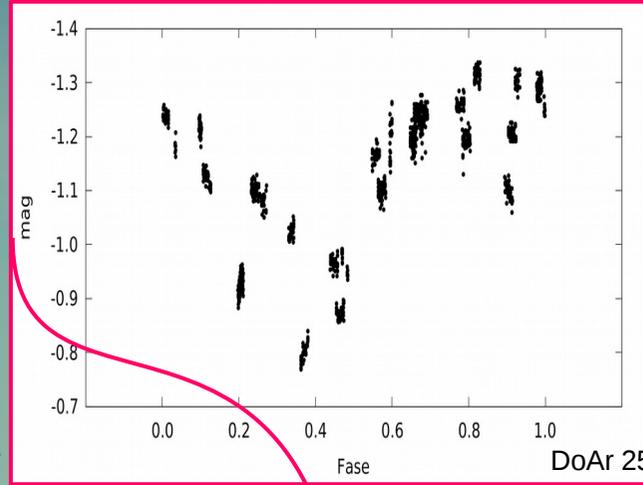
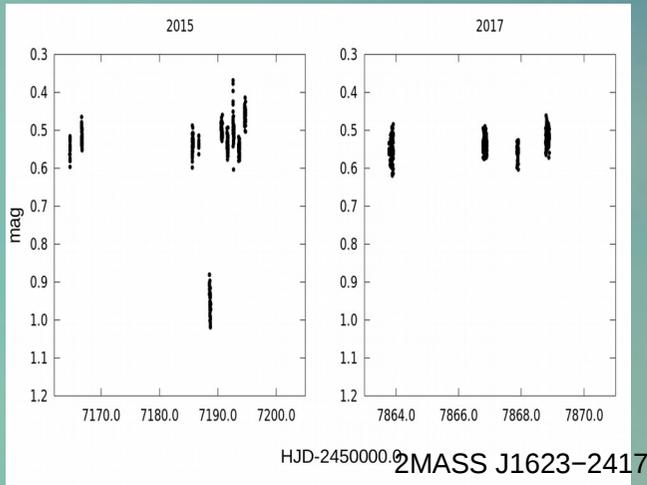
# Análisis de los datos: curvas de luz

## Tipos de variabilidad:



# Análisis de los datos: curvas de luz

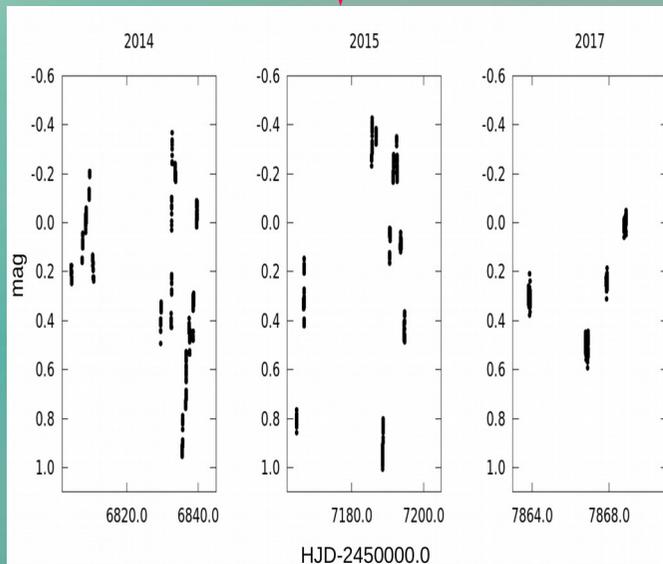
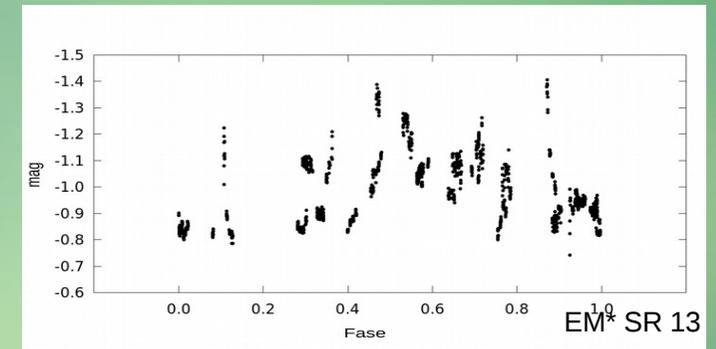
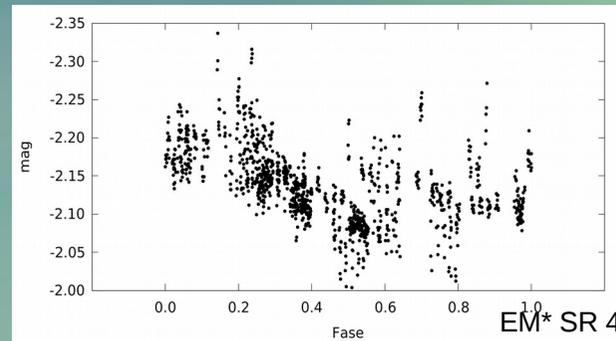
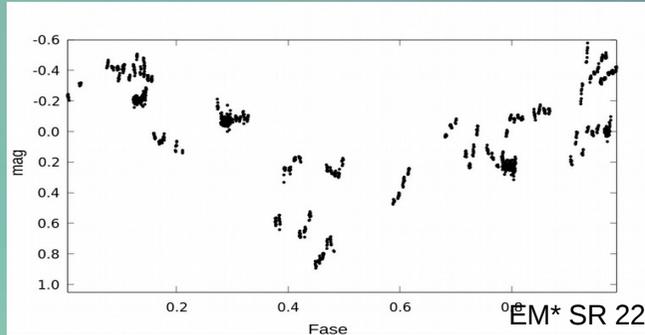
## Tipos de variabilidad:



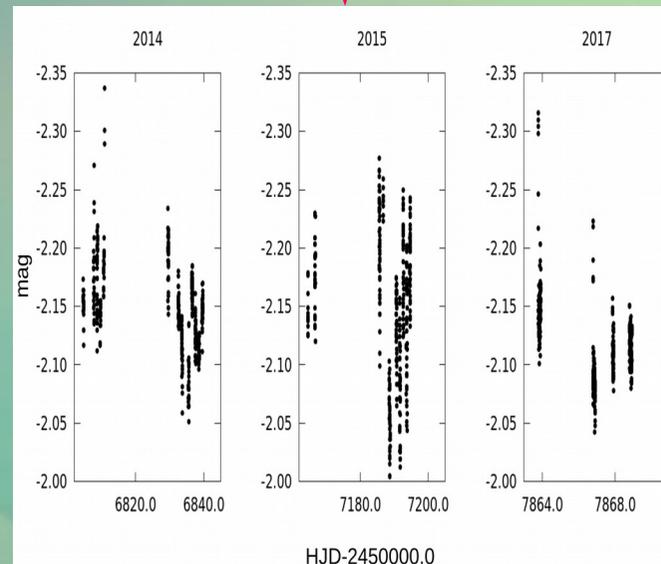
~ 1 mag  
~ días

# Análisis de los datos: curvas de luz

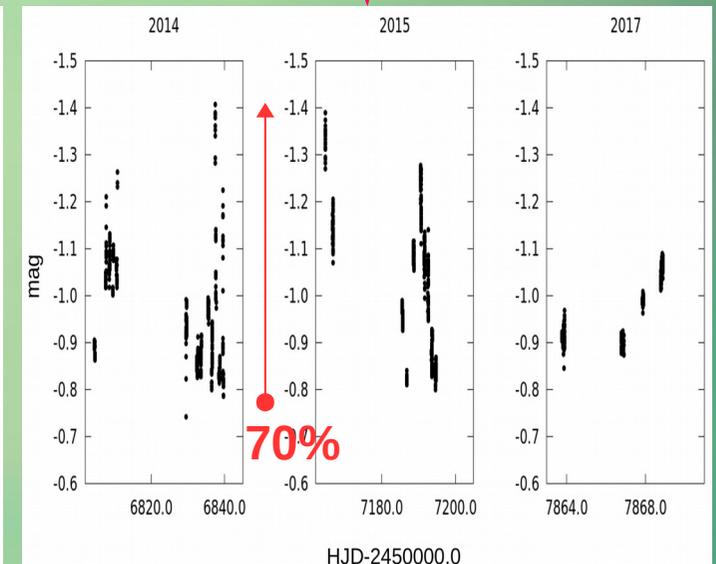
## Tipos de variabilidad:



Estallidos de menor amplitud



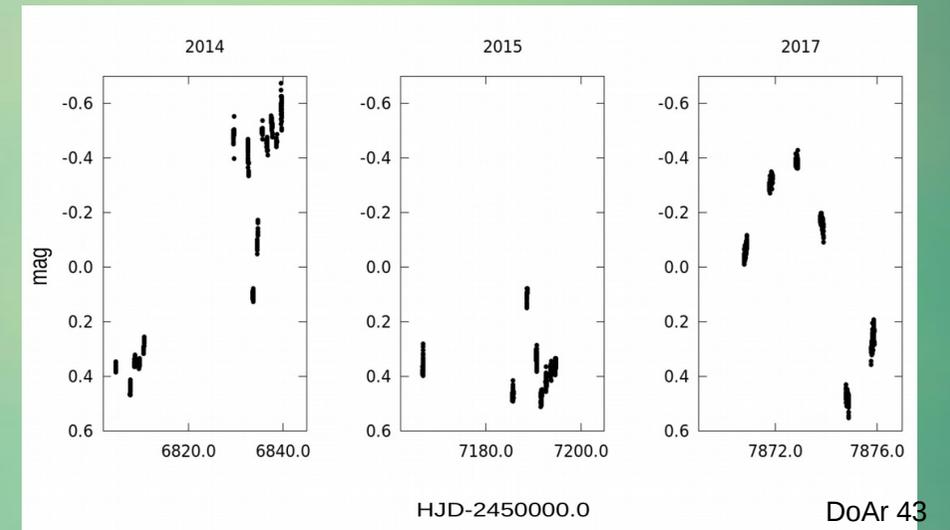
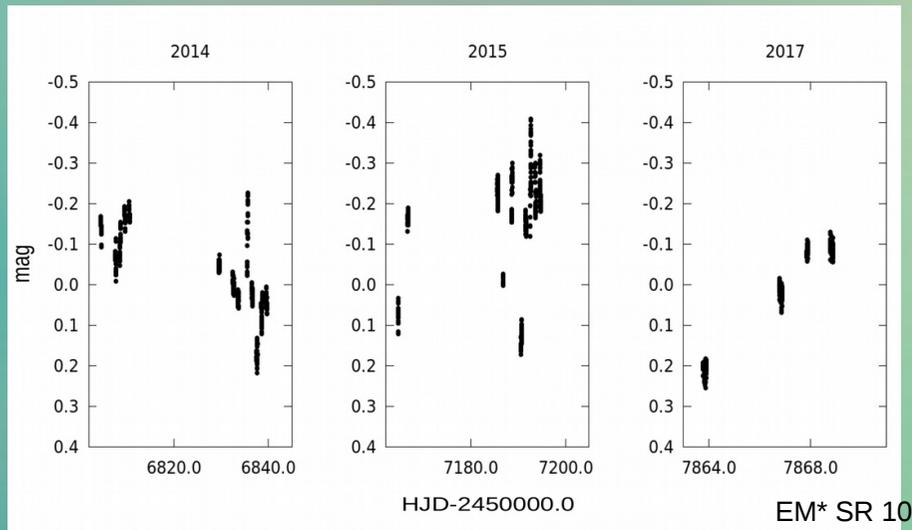
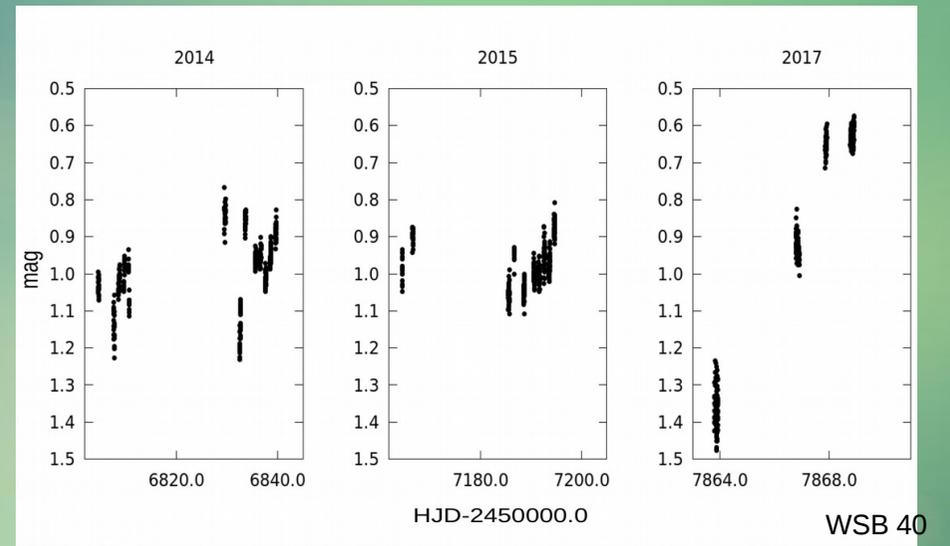
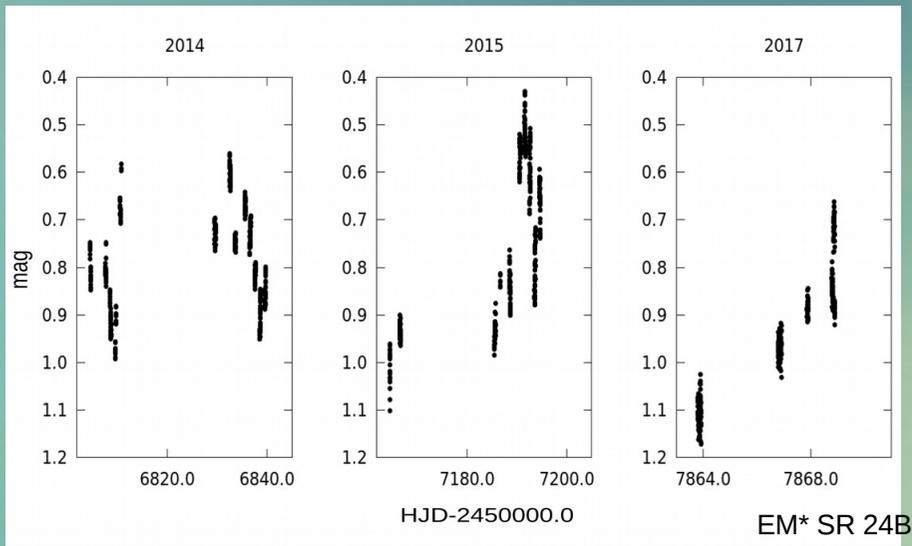
- Efecto de estallidos súbitos → en ráfagas
- Distintas intensidades y duraciones



Estallidos de mayor amplitud

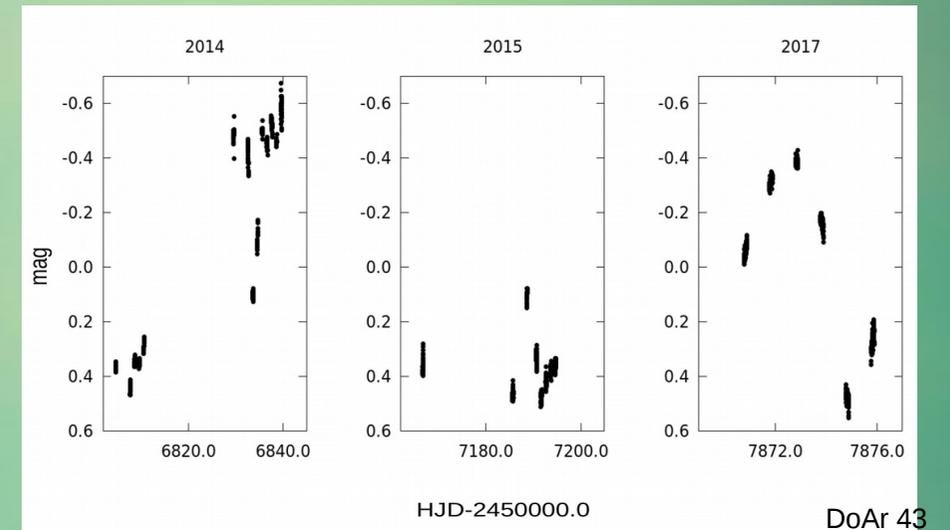
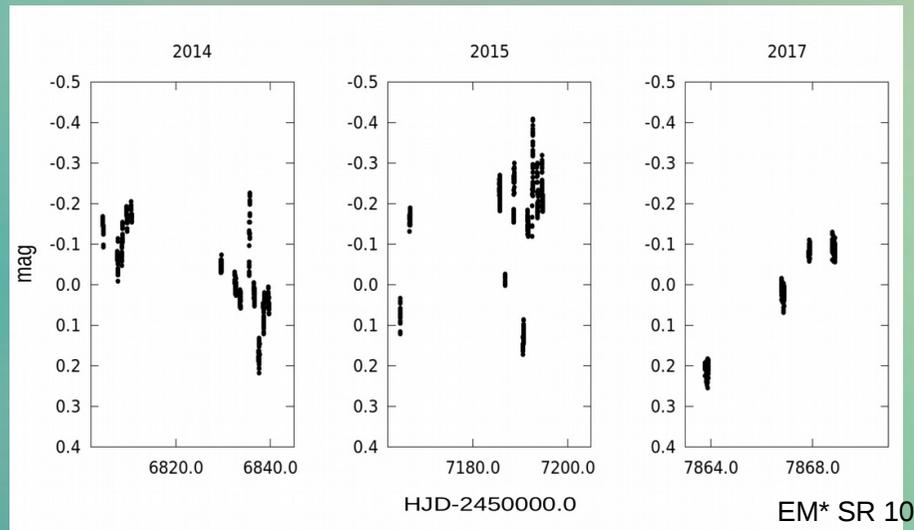
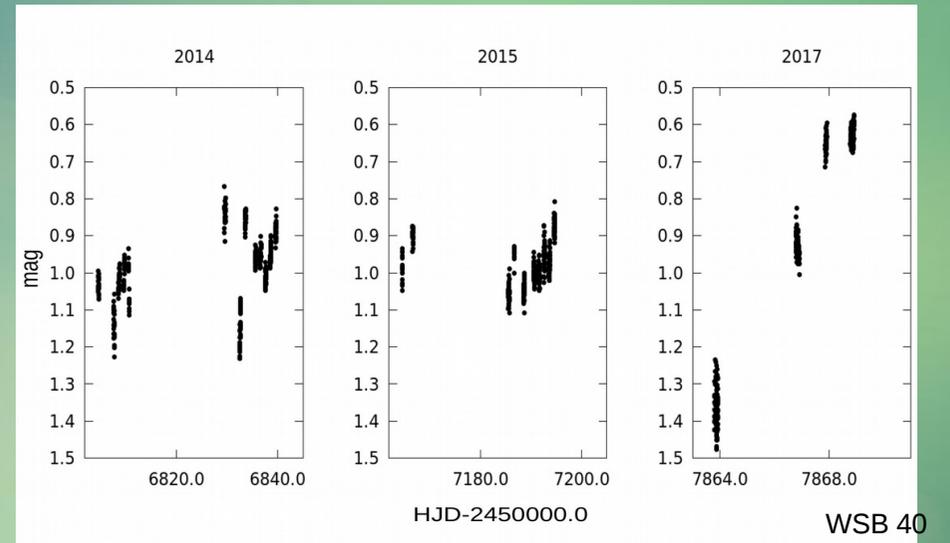
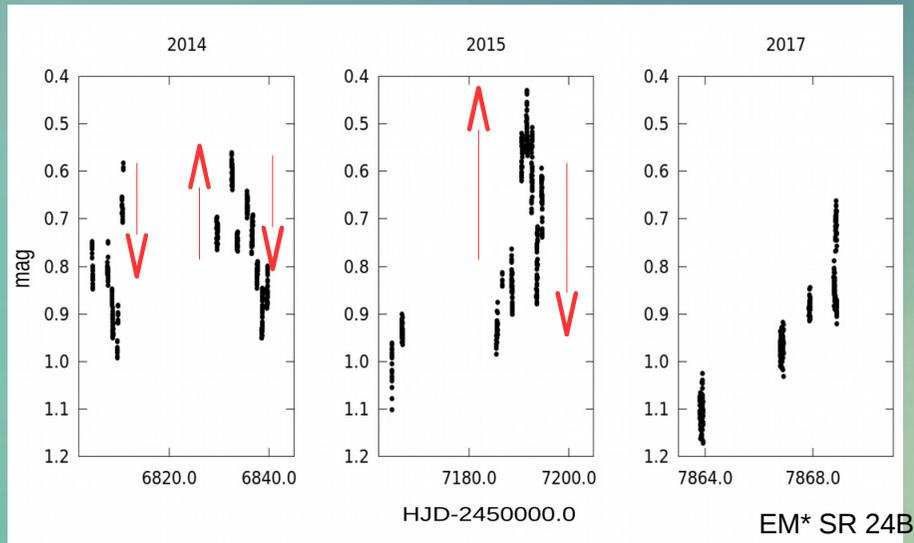
# Análisis de los datos: curvas de luz

## Tipos de variabilidad:



# Análisis de los datos: curvas de luz

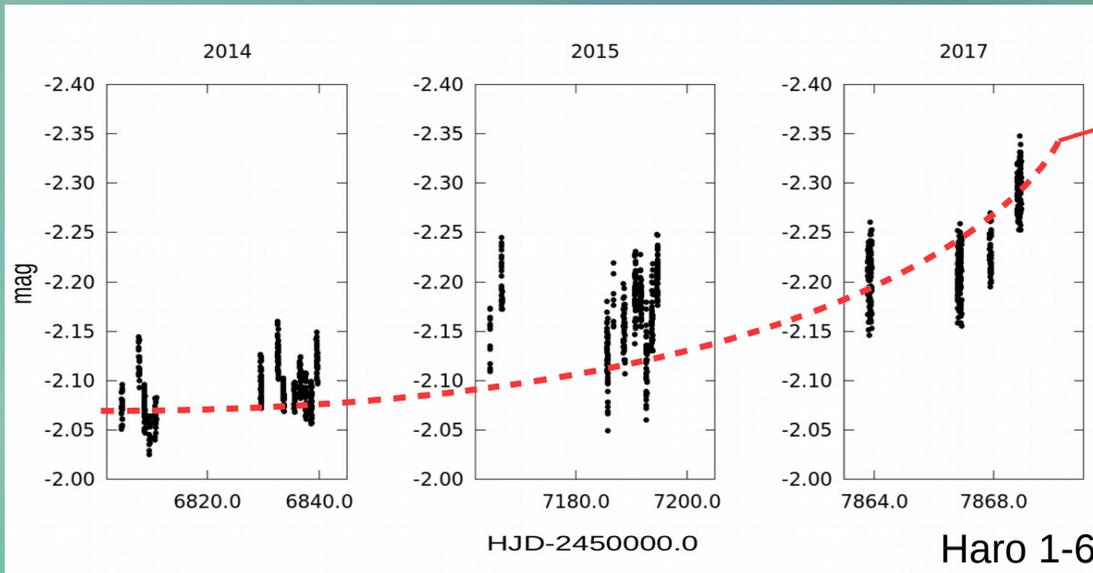
## Tipos de variabilidad:



- Superposición de estallidos y desvanecimientos
- Sin periodicidad

# Análisis de los datos: curvas de luz

## Tipos de variabilidad:



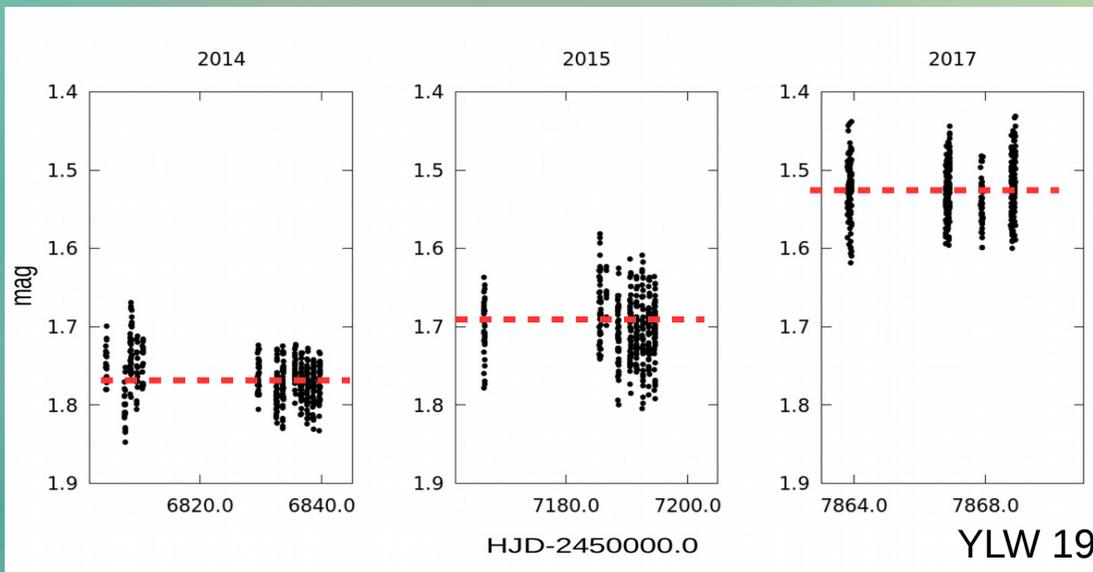
-0.06 mag/año

- Variaciones de brillo graduales

0.08 a 0.6 magnitudes

- En escalas de tiempo largas

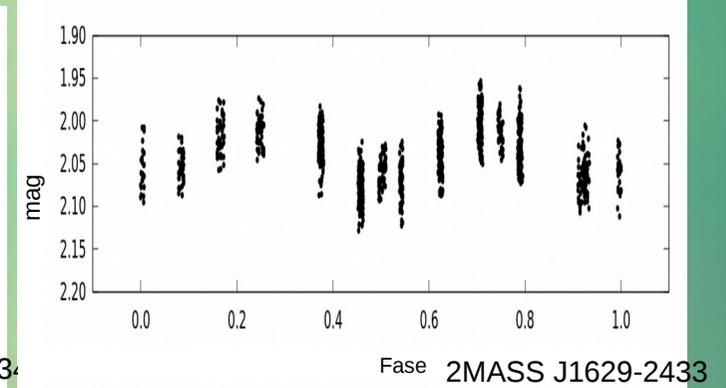
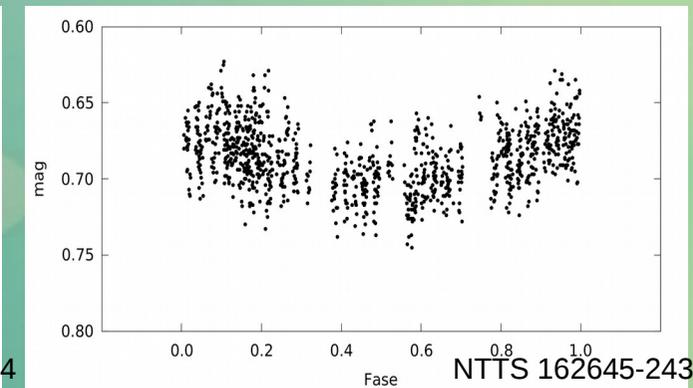
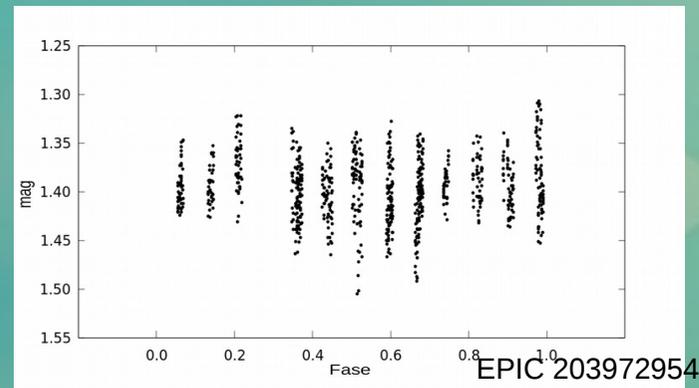
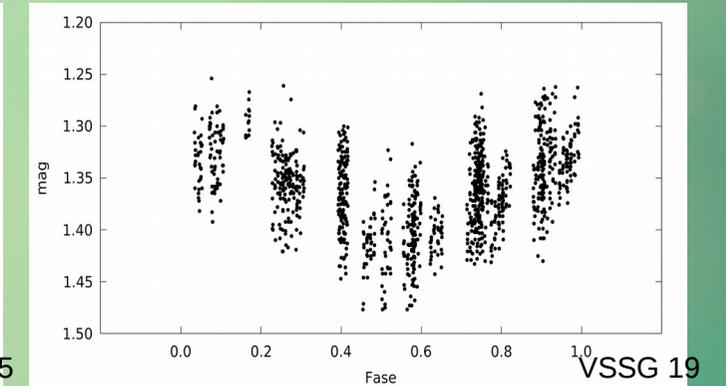
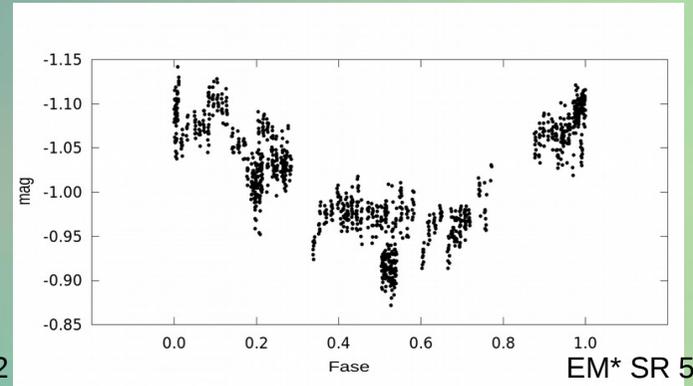
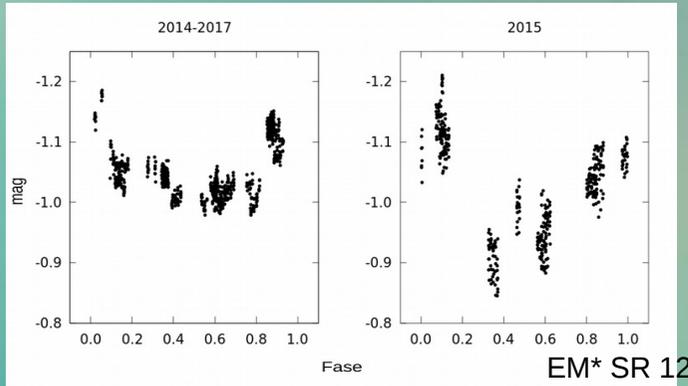
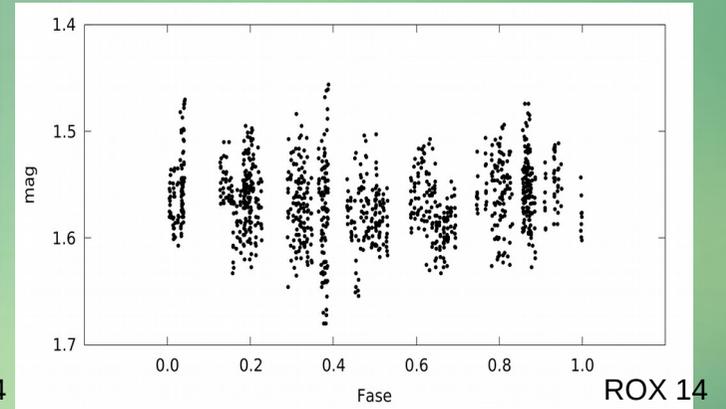
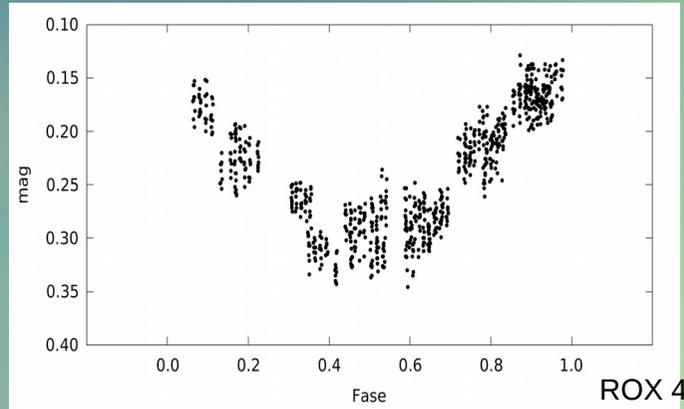
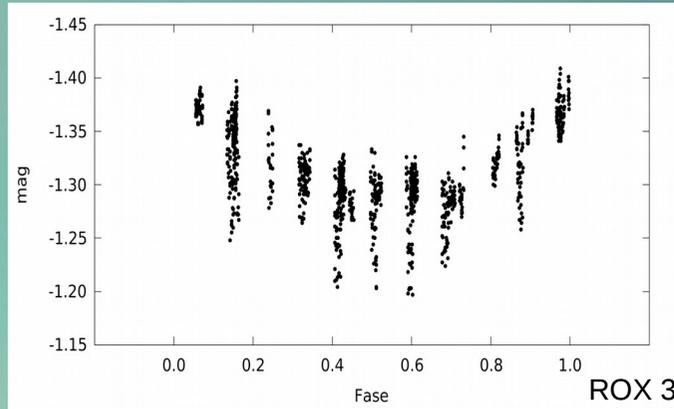
- Cambios en los niveles de brillo de época a época



25% ( $\sim -0.09$  mag/año)

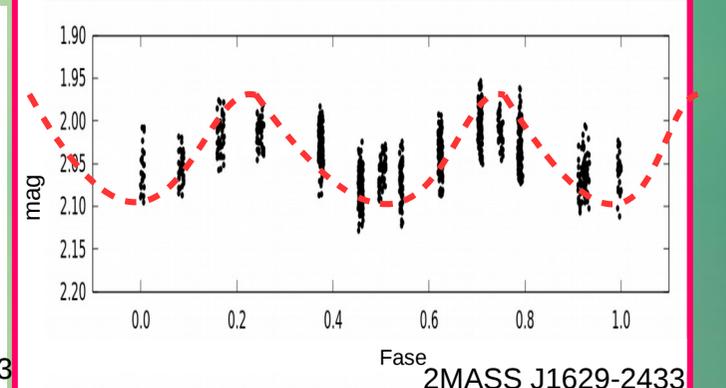
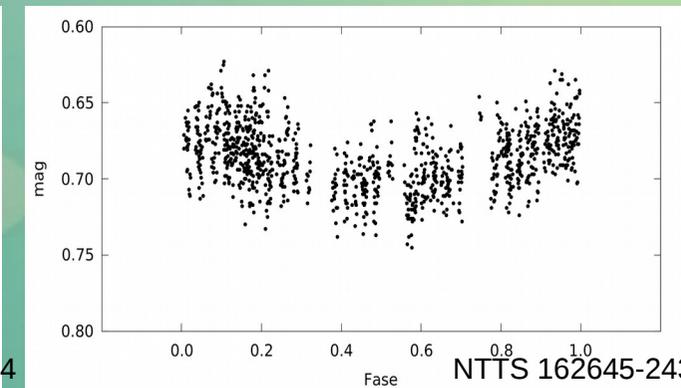
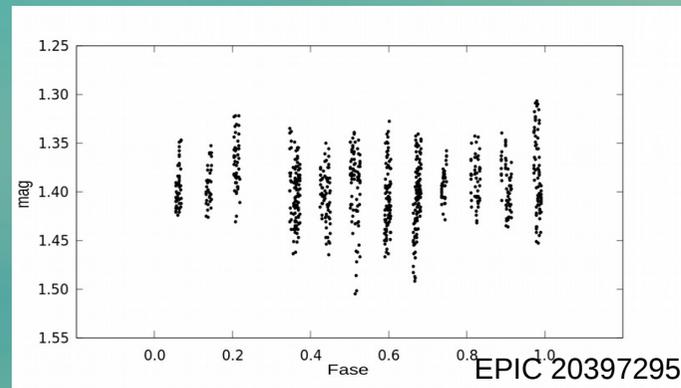
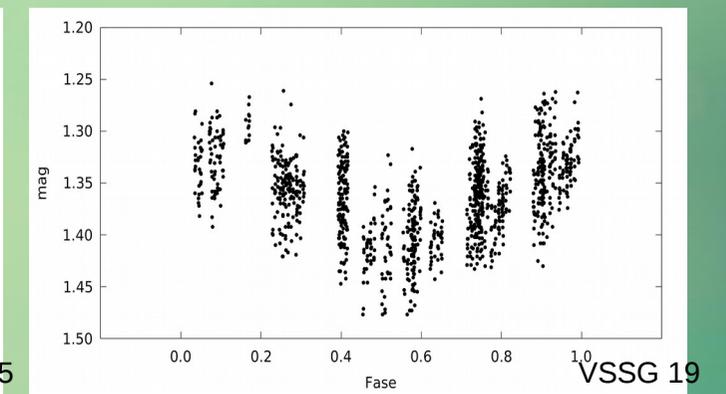
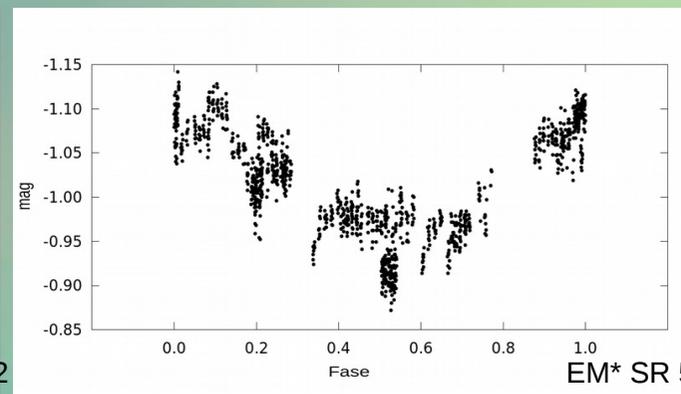
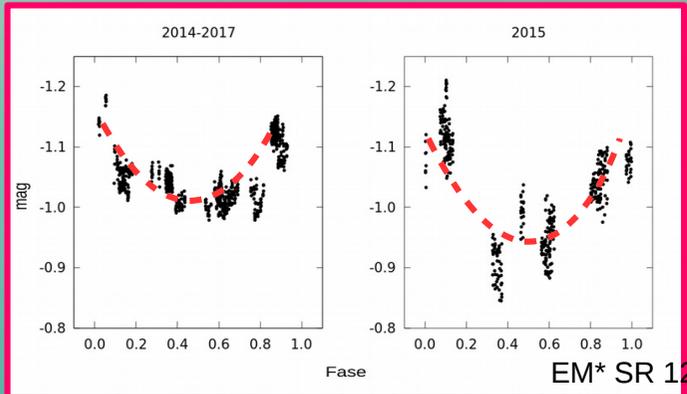
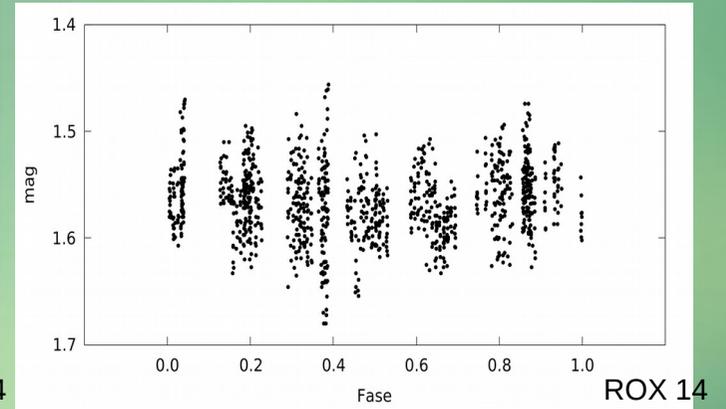
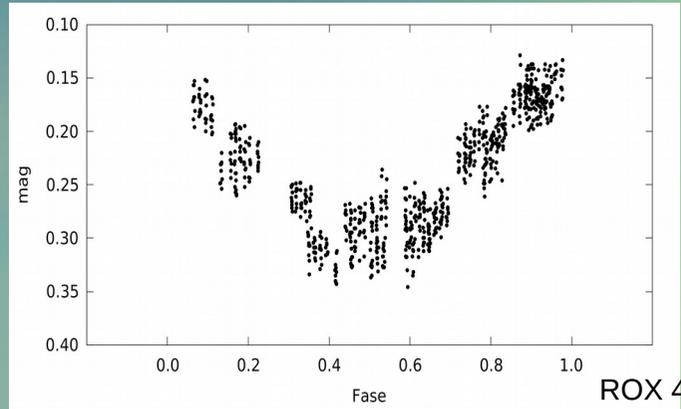
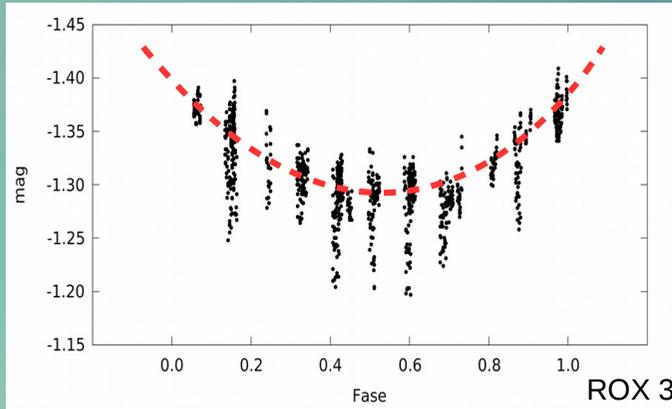
# Análisis de los datos: curvas de luz

## Tipos de variabilidad:



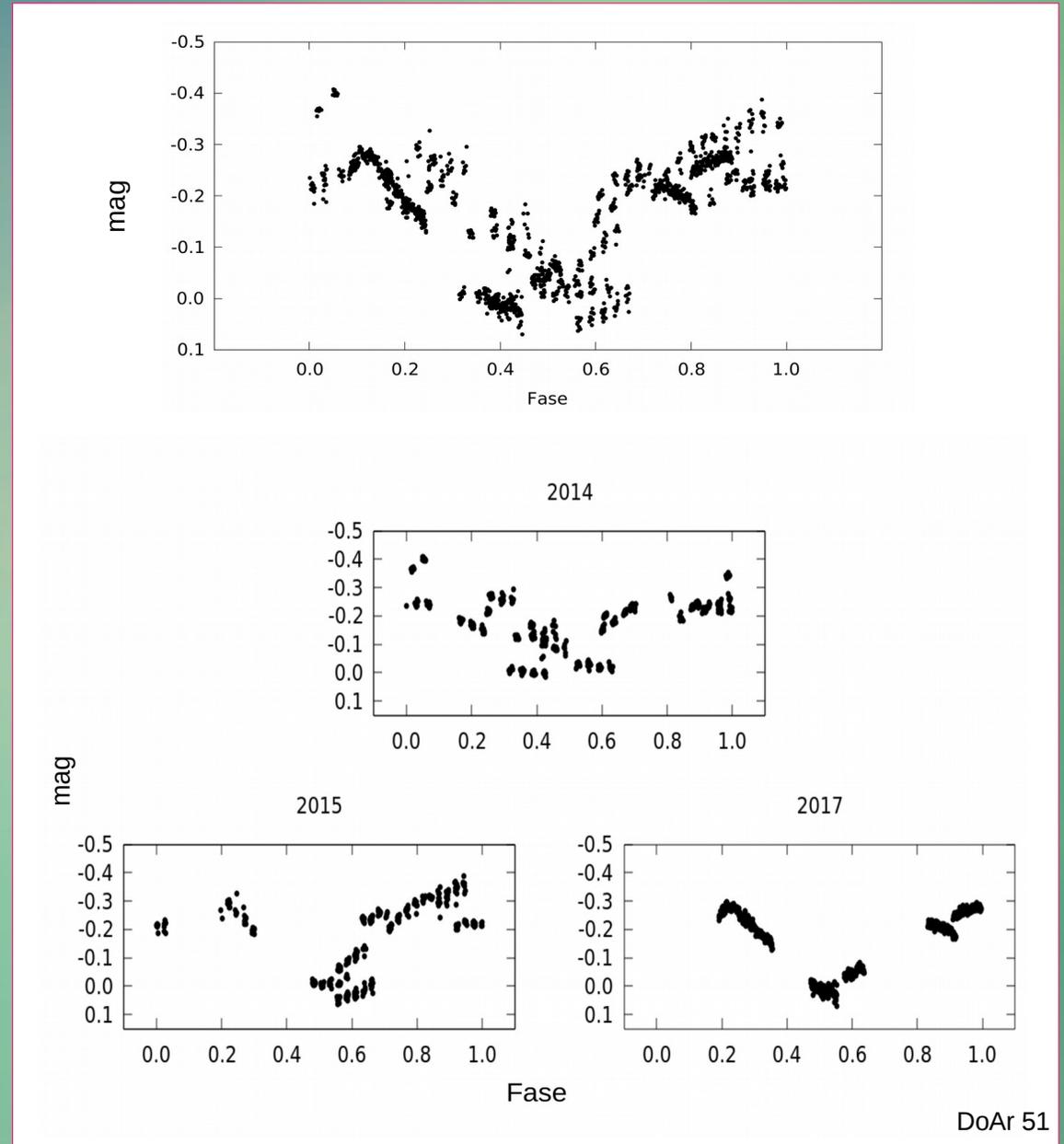
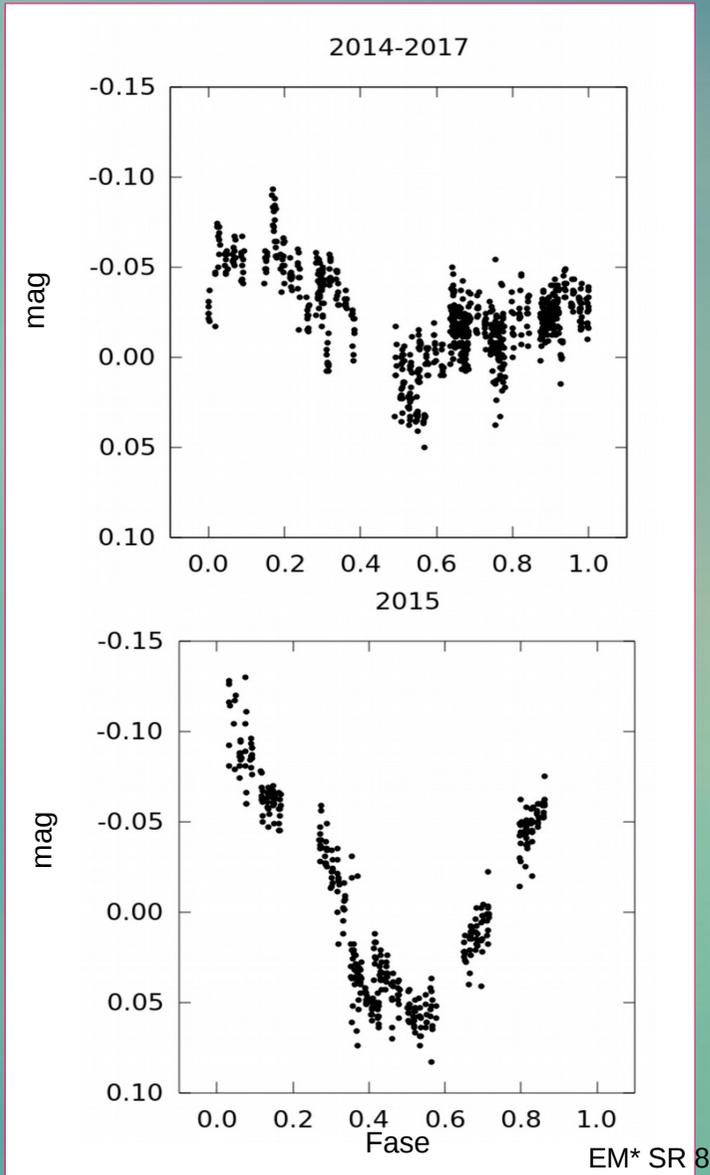
# Análisis de los datos: curvas de luz

## Tipos de variabilidad:



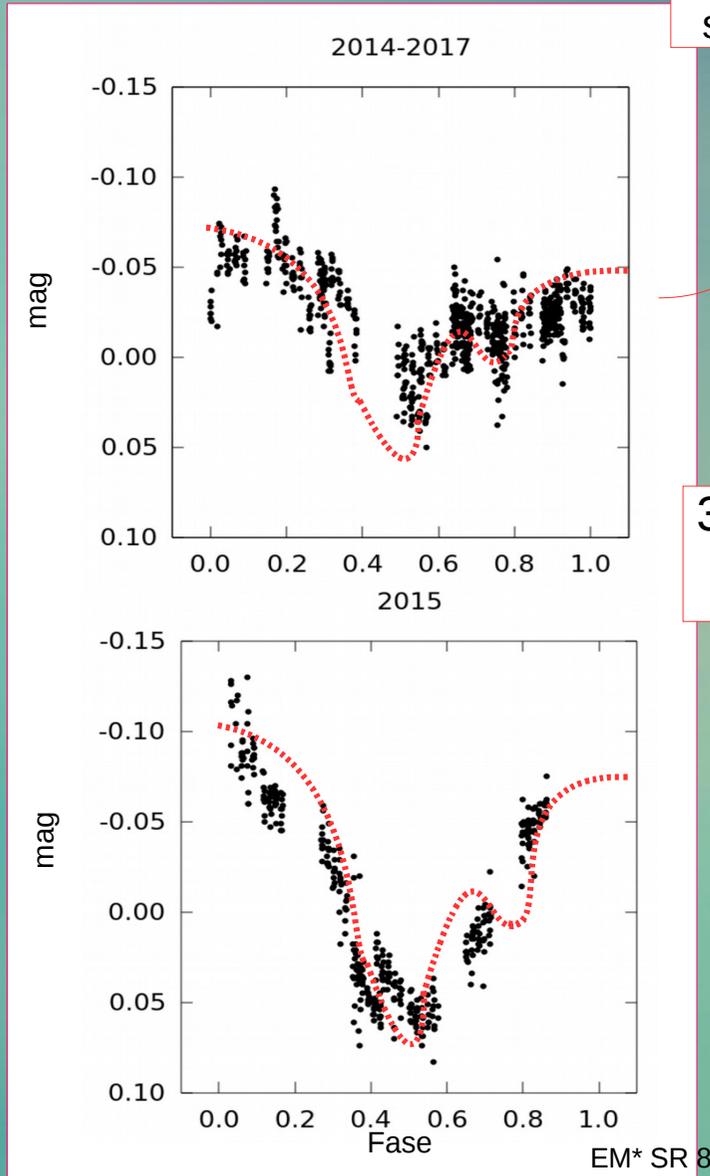
# Análisis de los datos: curvas de luz

## Tipos de variabilidad:



# Análisis de los datos: curvas de luz

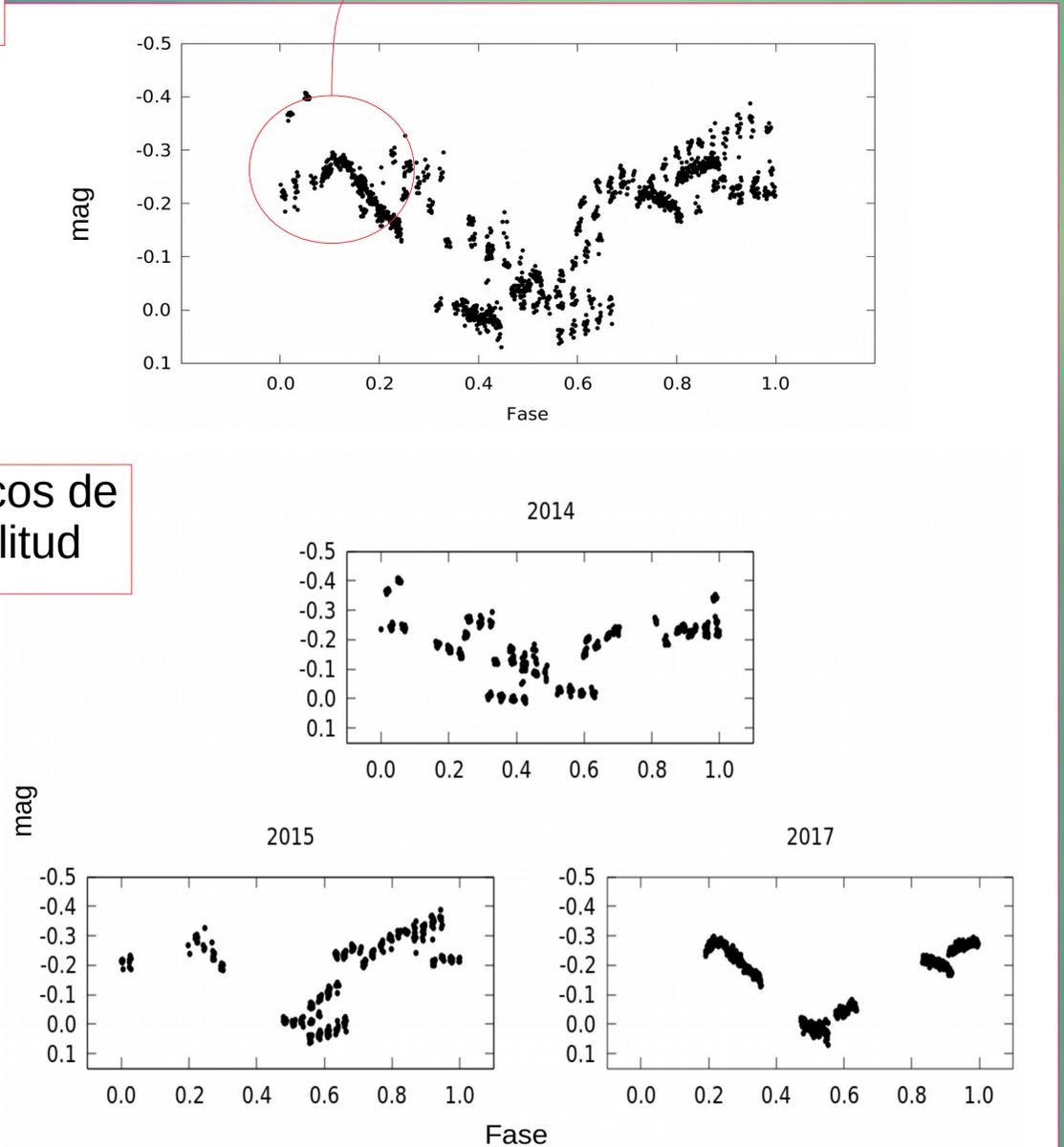
## Tipos de variabilidad:



Estructura subyacente

3 o más picos de baja amplitud

Jorobas y arcos



# Análisis de los datos: curvas de luz

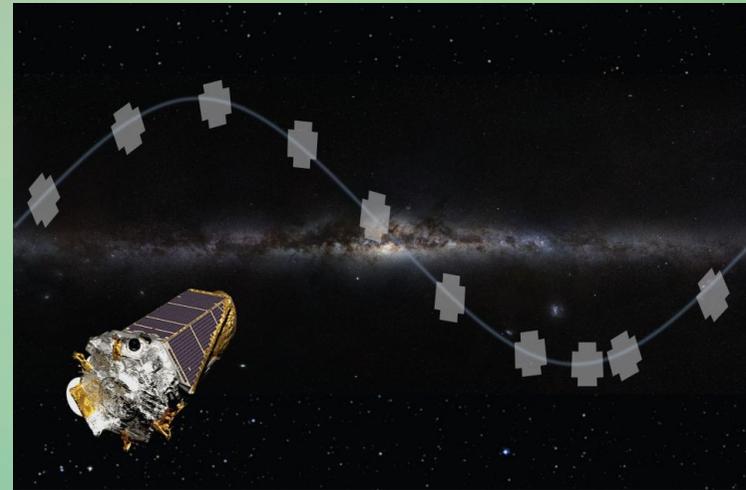
## Tipos de variabilidad:

Curvas de luz ópticas con morfologías similares fueron identificadas recientemente con datos de la misión Kepler 2 (K2)

- Monitoreo continuo durante 80 días
- Cadencia de 30 minutos
- Scorpius Superior,  $\rho$  Ophiuchi, Taurus-Auriga

Algunos de estos trabajos son:

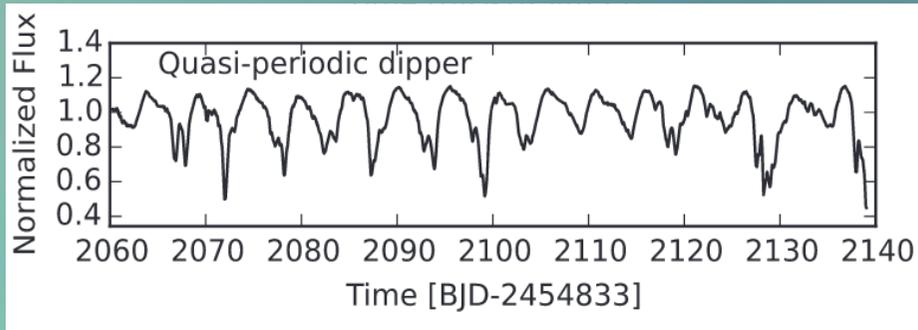
- Rodriguez et al. (2017)
- Rebull et al. (2018)
- Cody & Hillenbrand (2018)
- Stauffer et al. (2018)



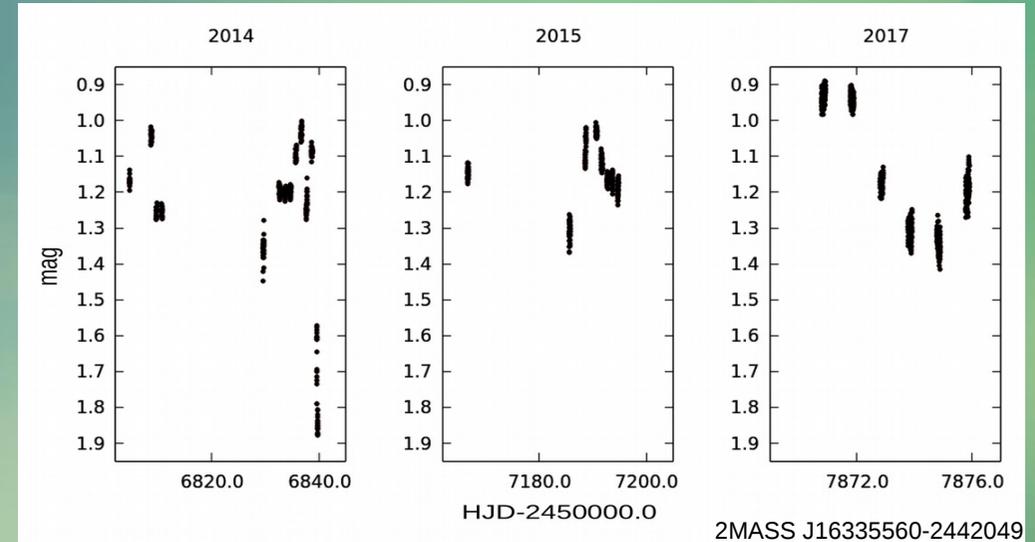
Obtenemos un esquema de clasificación de estrellas variables jóvenes

# Análisis de los datos: curvas de luz

## Tipos de variabilidad: *Dippers*



Rebull et al. (2018)



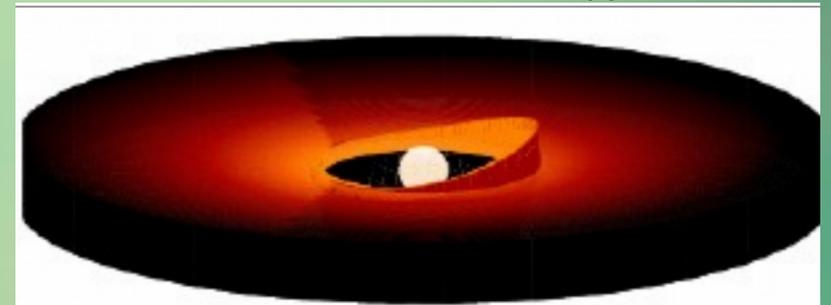
En estrellas T Tauri:

- Evidencias de discos circunestelares (excesos IR débiles)
- Evidencia de acreción moderada (EW de  $H\alpha$ )

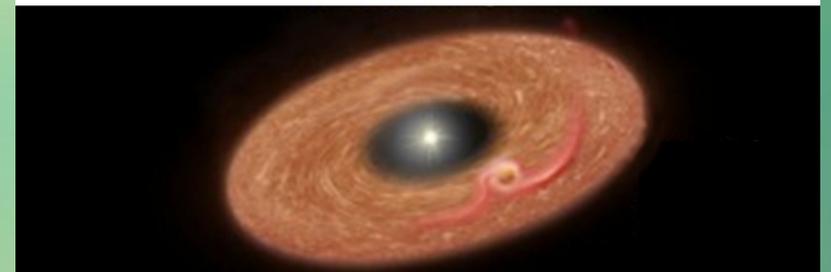
Giuseppe Guarcello

Extinción variable por material circunestelar en la línea de visión

Deformaciones en el disco interno



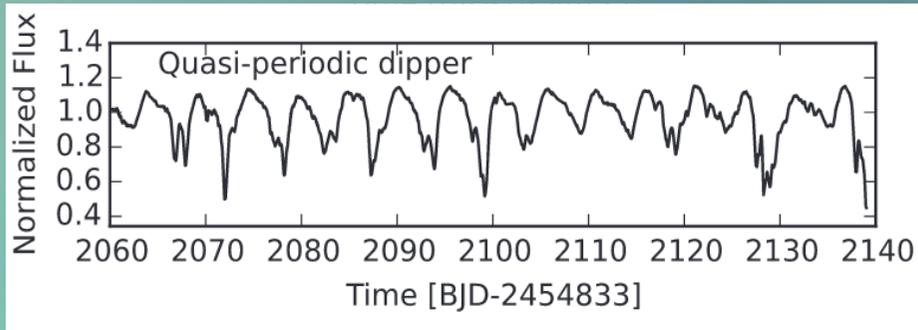
Grumos de material



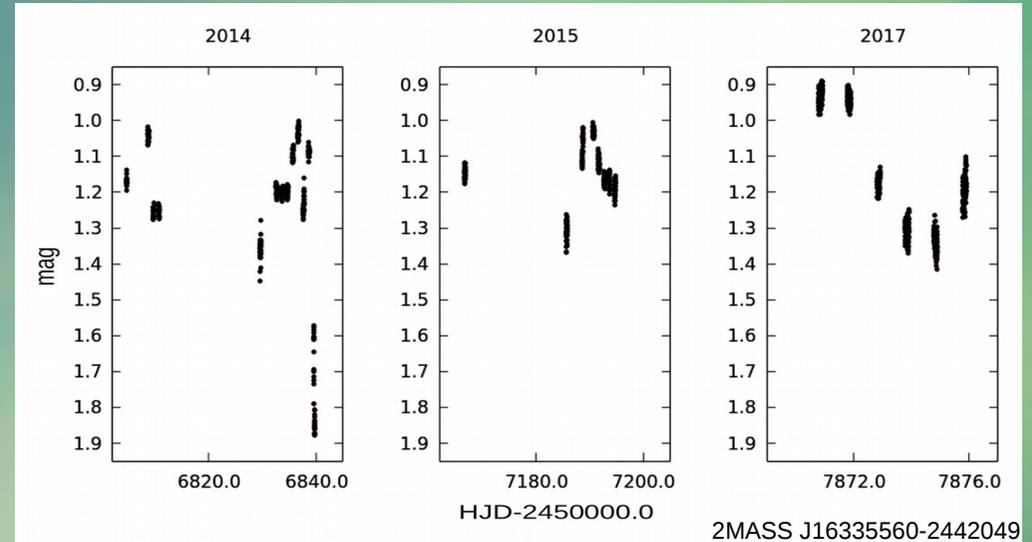
Favorecidos por inclinaciones de canto

# Análisis de los datos: curvas de luz

Tipos de variabilidad: *Dippers*



Rebull et al. (2018)



En estrellas T Tauri:

- Evidencias de discos circunestelares (excesos IR débiles)
- Evidencia de acreción moderada (EW de H $\alpha$ )

Extinción variable por material circunestelar

Polvo en columnas de acreción

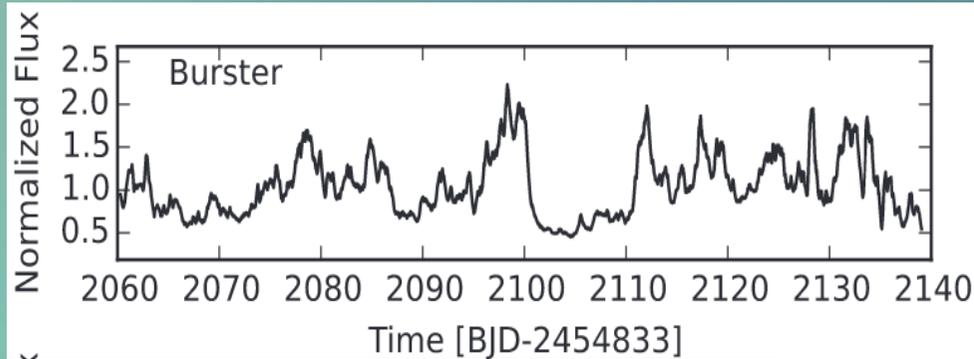
Favorecidos por inclinaciones de canto



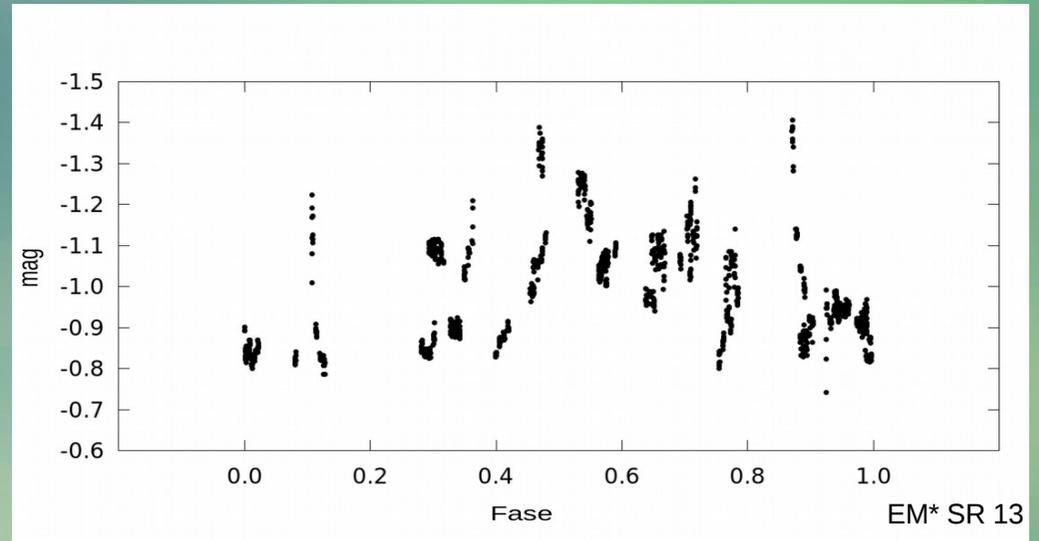
Lynne Hillenbrand

# Análisis de los datos: curvas de luz

## Tipos de variabilidad: *Bursters*



Rebull et al. (2018)

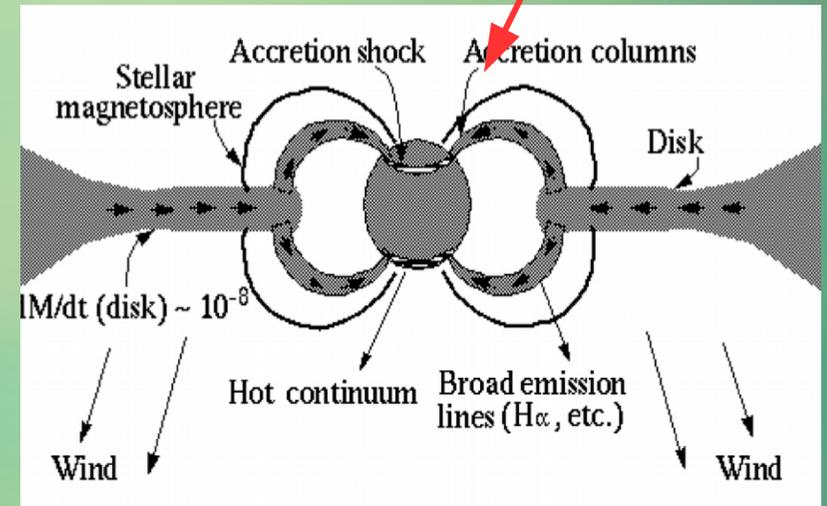


En estrellas T Tauri clásicas:

- Grandes excesos UV
- Evidencia de acreción importante (intensa emisión en H $\alpha$ )

Acreción inestable de material desde el disco a la proto-estrella

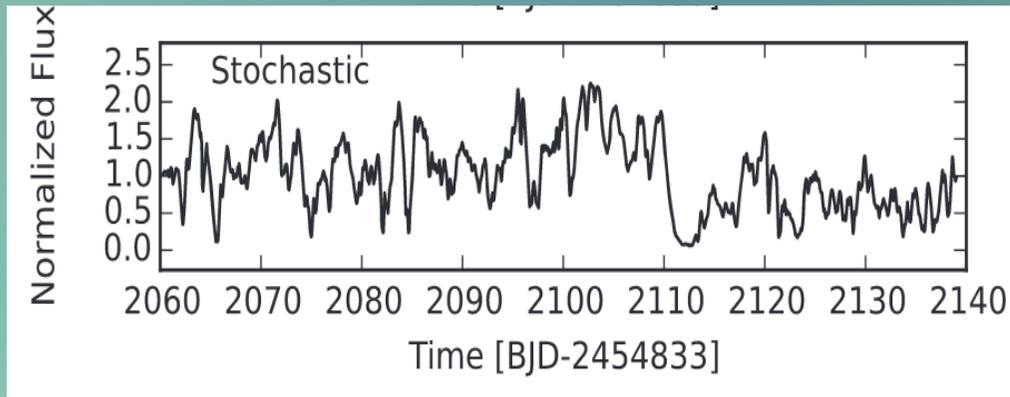
Favorecidos por inclinaciones alejadas de canto



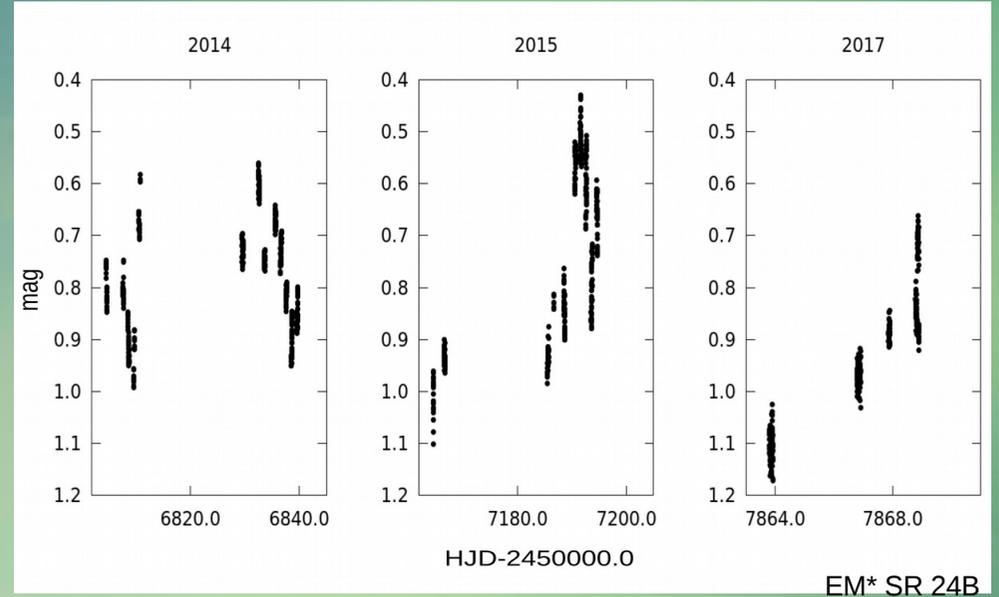
Hartmann (1997)

# Análisis de los datos: curvas de luz

Tipos de variabilidad: *Estocásticas*

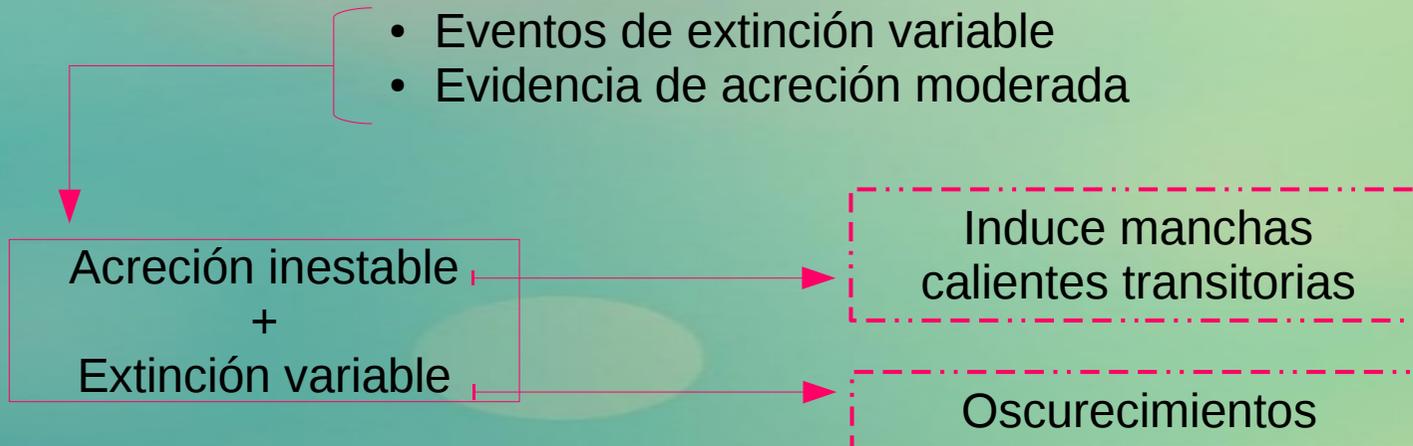


Rebull et al. (2018)



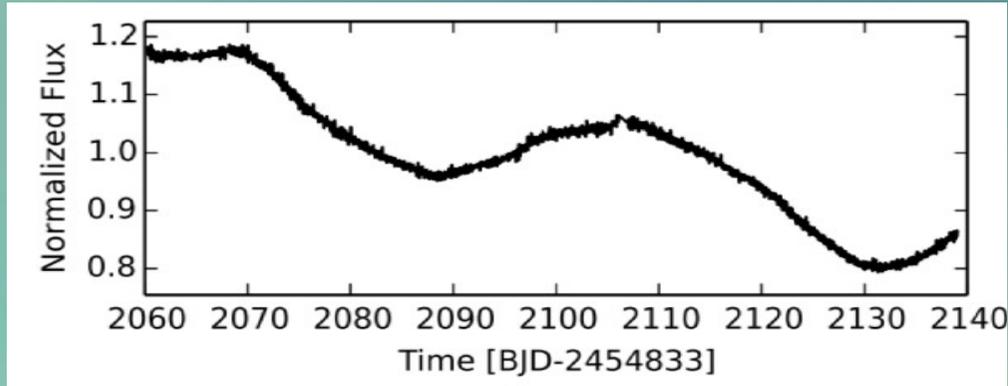
En estrellas T Tauri:

- Eventos de extinción variable
- Evidencia de acreción moderada

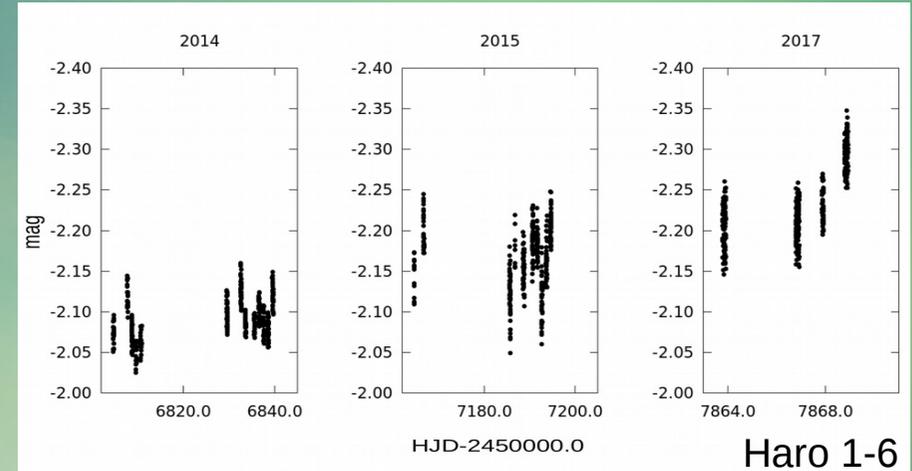


# Análisis de los datos: curvas de luz

Tipos de variabilidad: *Variables de largo período*



Cody & Hillenbrand 2018



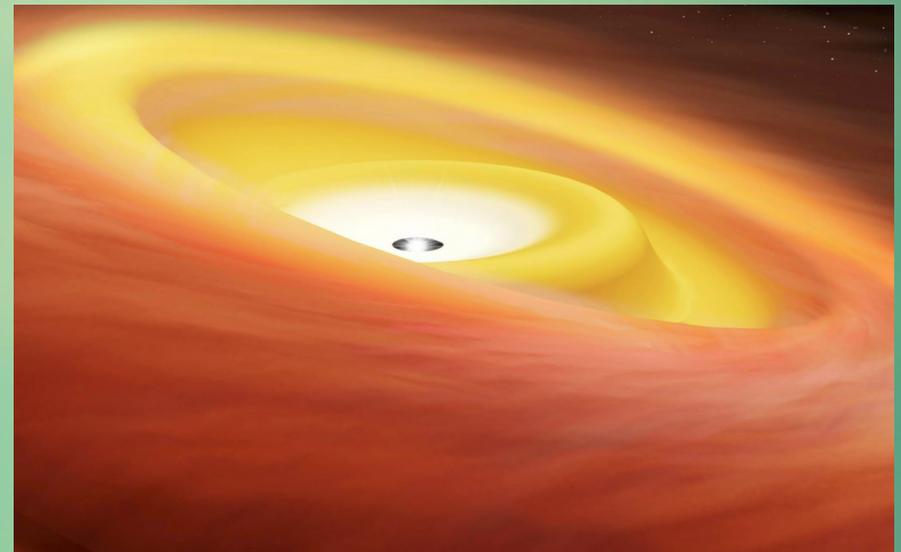
Haro 1-6

- Variaciones de flujo graduales → 0.08 a 0.6 magnitudes
- En escalas de tiempo largas → 50 días a años

En estrellas T Tauri



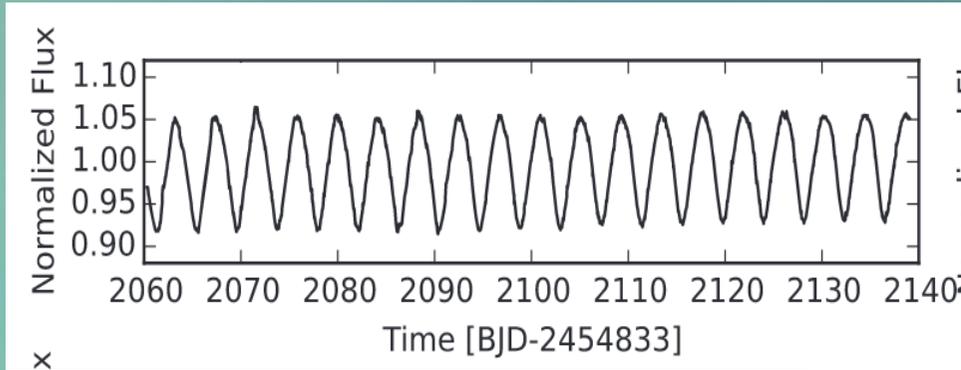
Se asocia con eventos en la parte más externa de los discos



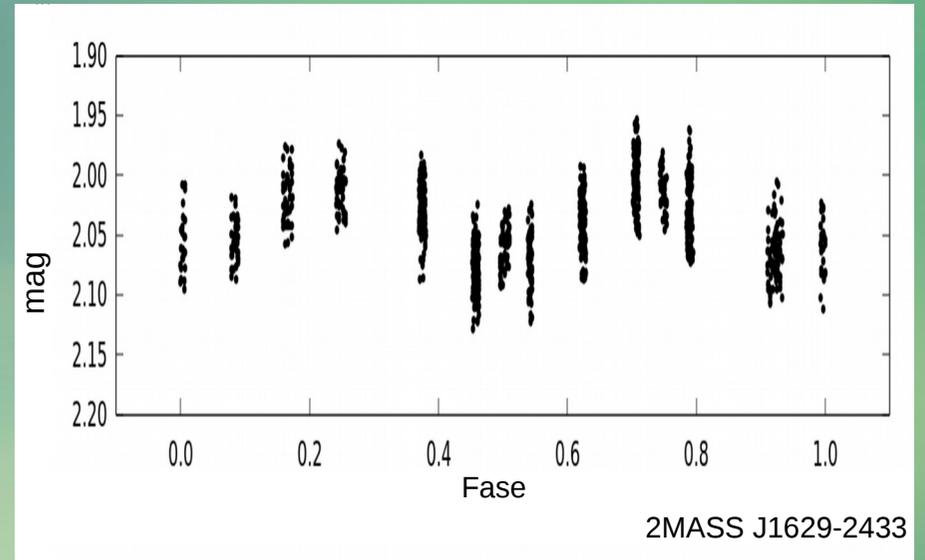
Crédito: RIKEN

# Análisis de los datos: curvas de luz

Tipos de variabilidad: *Manchas*



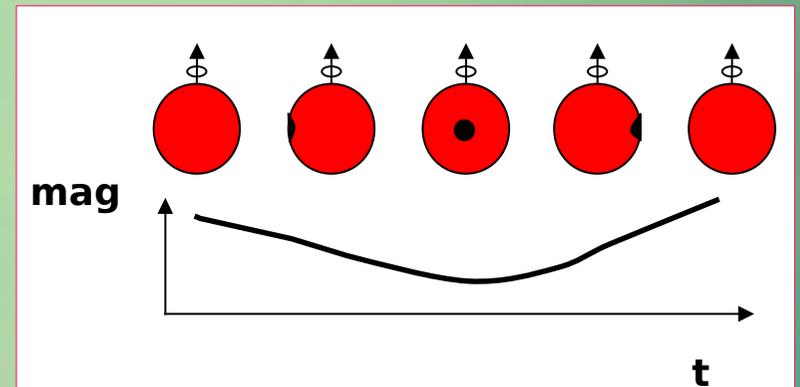
Rebull et al. (2018)



En estrellas T Tauri en general:

- Manchas frías en WTTS
- Manchas frías y calientes en CTTS

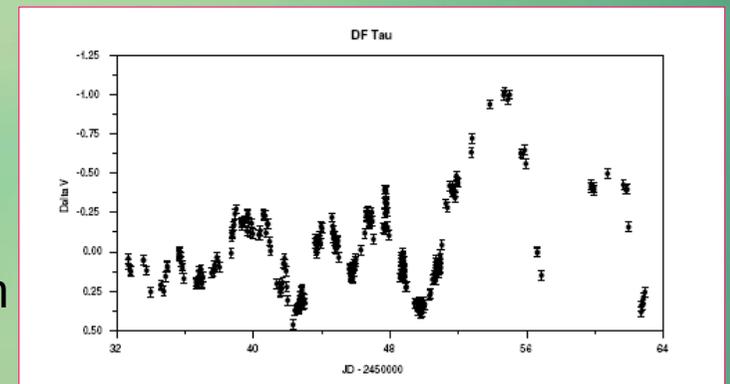
- Manchas frías de origen magnético



Variación suave acompañada con la rotación estelar

Cuasi-periódicas más probables en CTTS

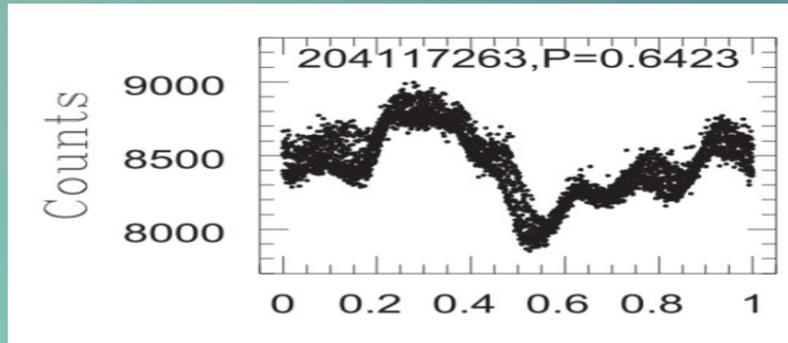
- Manchas frías y calientes por acreción



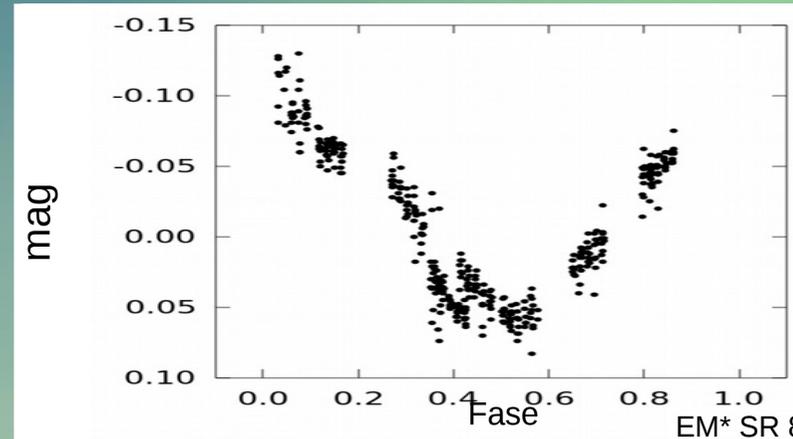
# Análisis de los datos: curvas de luz



Tipos de variabilidad: *Scallop-Shell*



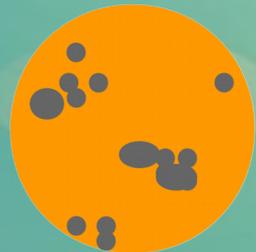
Stauffer et al. (2018)



En estrellas T Tauri de tipo M:

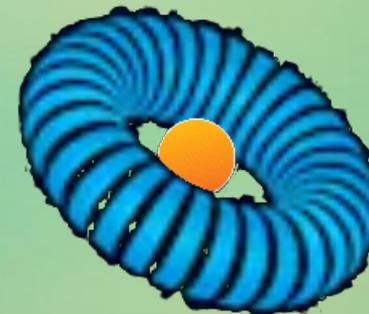
- Rotadores rápidos  $\rightarrow P_{\text{ROT}} < 0.65$  días
- No muestran excesos IR
- Sin evidencia de acreción
- La mitad reportadas en binarias

Distribución asimétrica de manchas



Toro de gas y polvo en corotación

Alineado con la visual



# Contenido

## Introducción:

Antecedentes de la región de  $\rho$  Ophiuchi

Objetivos

Instrumentos empleados

## Metodología

Observaciones

Variabilidad

Fotometría

## Análisis

Periodicidad

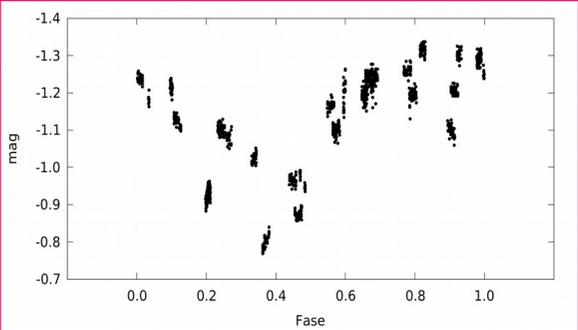
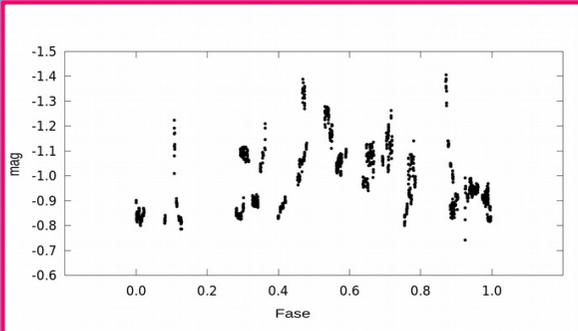
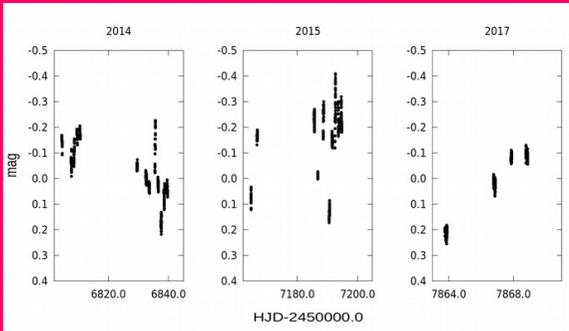
Curvas de luz y procesos involucrados

## Resultados y Conclusiones

Clasificación y resultados

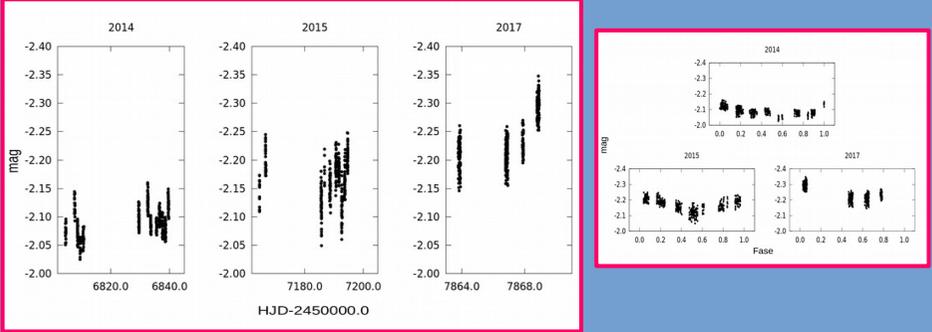
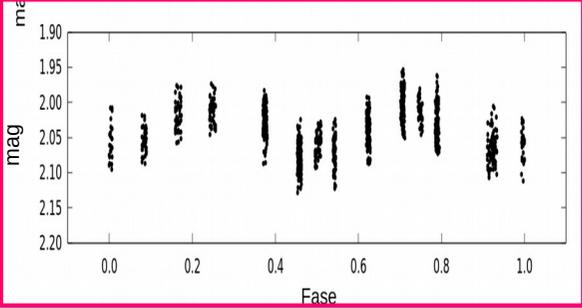
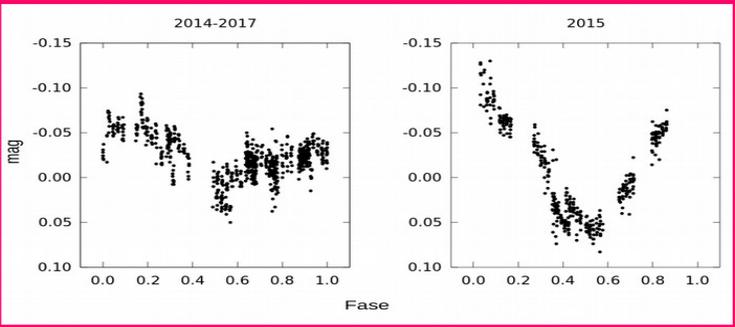
# Resultados obtenidos

## Clasificación de las curvas de luz:

Tipo de Curva de Luz	Num./29	Amplitudes	Ejemplo
<i>Dippers</i>	6/29	0.3-0.6 mag	DoAr 25 
<i>Bursters</i>	3/29	0.5-0.6 mag	EM* SR 13 
<i>Estocásticas</i>	4/29	0.2-0.3 mag	EM* SR 10 

# Resultados obtenidos

## Clasificación de las curvas de luz:

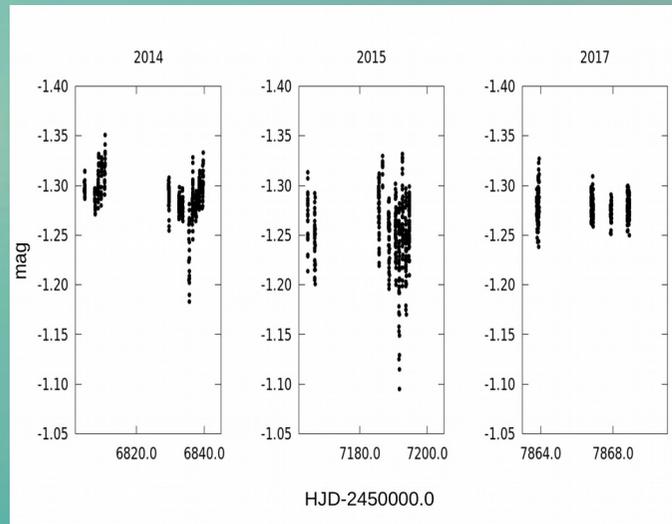
Tipo de Curva de Luz	Num./29	Amplitudes	Ejemplo
<i>Variable de largo período</i>	2/29	0.3 mag	Haro 1-6 
<i>Manchas</i>	9/29	0.1-0.2 mag	2MASS J1629-2433 
<i>Scallop-Shell</i>	2/29	0.1-0.15 mag	EM* SR 8 

# Análisis de los datos: curvas de luz

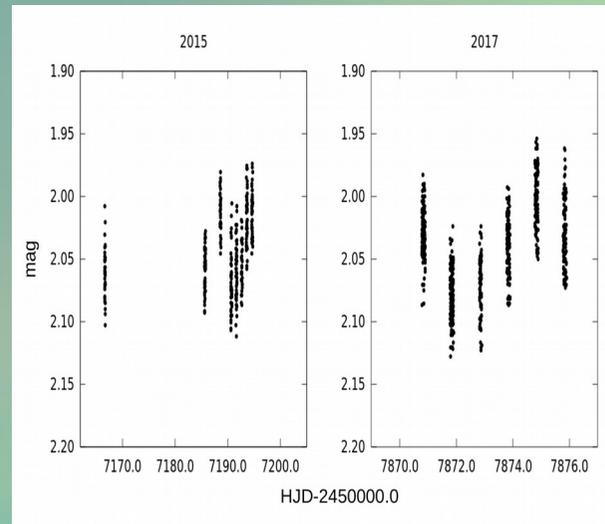
## Clasificación de las curvas de luz:

3 estrellas identificadas como variables jóvenes no pudieron clasificarse

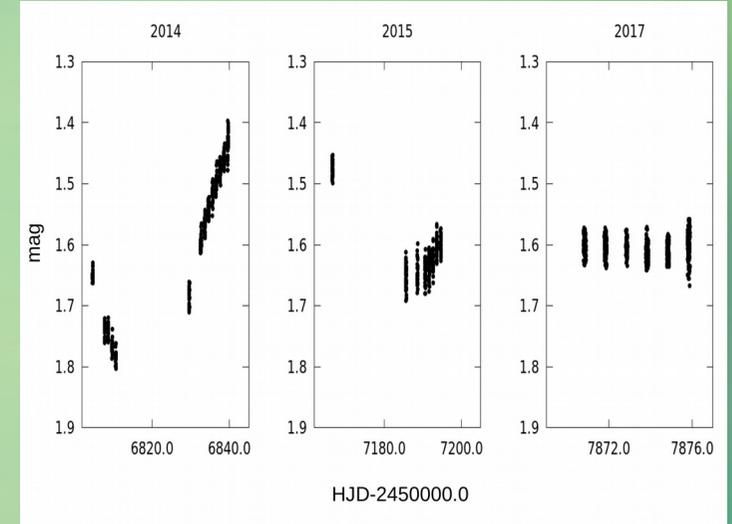
EM\* SR 8



2MASS J1629-2433



2MASS J1632-2448



# Análisis de los datos: curvas de luz

Tipos de variabilidad → En síntesis

Se identificaron diversos tipos de variabilidad en las curvas de luz:

*Dippers*

*Bursters*

*Estocásticas*

*Variables de largo período*

*Manchas*

*Scallop-Shell*

# Resultados obtenidos

## Variabilidad y tránsitos planetarios

Amplitudes de variabilidad obtenidas → entre 0.1 y 1 magnitud (del orden de las décimas)

Orden de amplitudes de tránsitos planetarios

$$\Delta m_{\text{JUP}} = 0.01 \text{ mag}$$

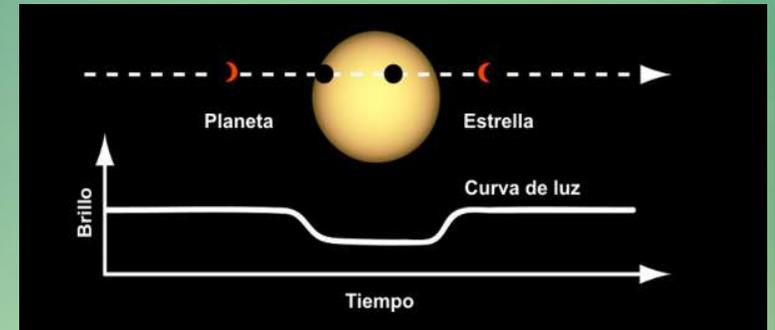
$$\Delta m_{\text{TIE}} = 0.0001 \text{ mag}$$

Del orden de centésimas a 10 milésimas de magnitud

Estrellas T Tauri muy variables

WTTS

- No presentan efectos de bursters
- No presentan discos primordiales
- Muestran curvas suaves



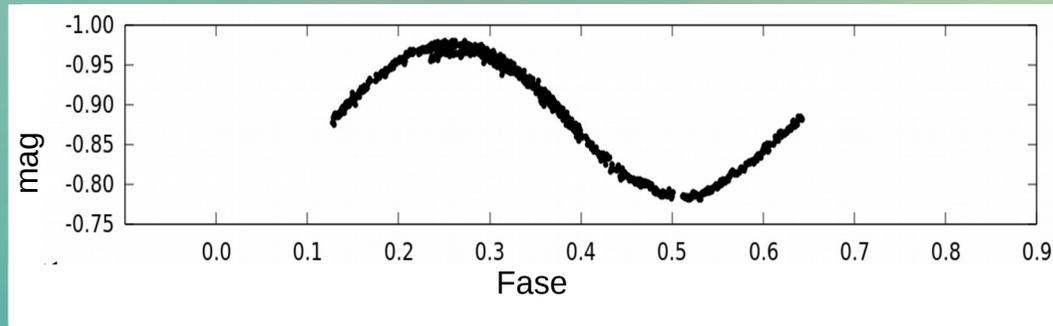
# Resultados obtenidos

## Variabilidad y tránsitos planetarios

Estrellas T Tauri muy variables → WTTS

Curvas suaves por presencia de manchas

### CVSO 63



- Variable WTTS de Orión
- Amplitud de 0.18 mag

Escenario de variabilidad más favorable para sustracción y rectificado

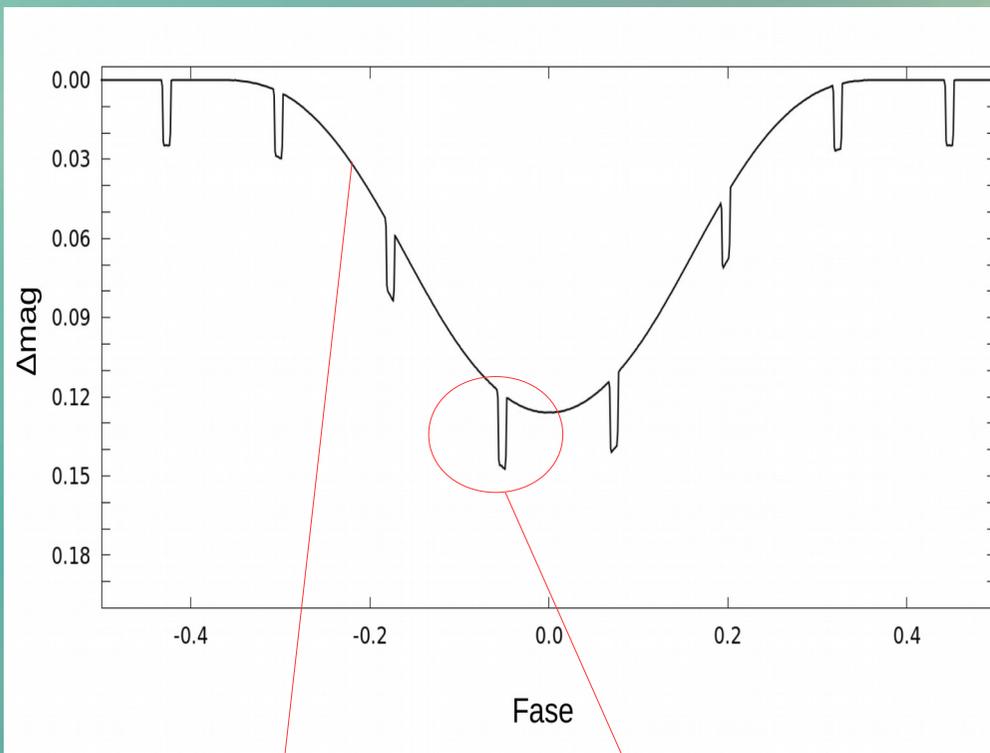
# Resultados obtenidos

## Variabilidad y tránsitos planetarios

Estrellas T Tauri muy variables

→ WTTS

SOAP-T (Oshagh et al. 2013)



De ser posible modelar el efecto de mancha podría rectificarse la curva de luz

↓  
VarTooLs

Mancha  
(0.12 mag)

Tránsitos  
(0.025 mag)

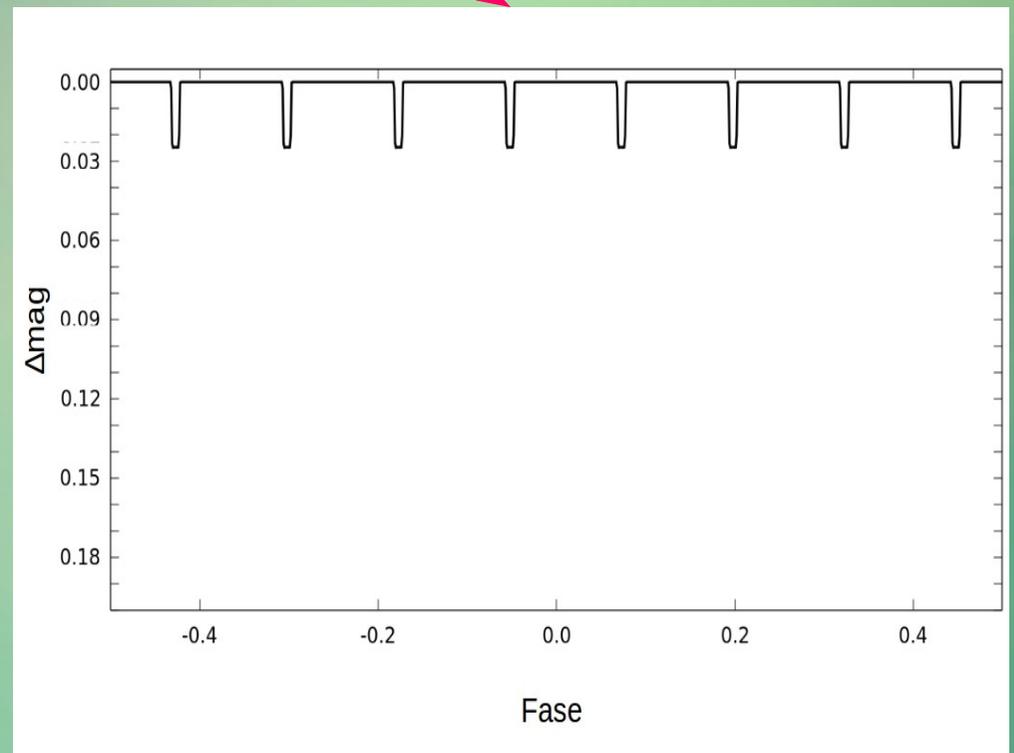
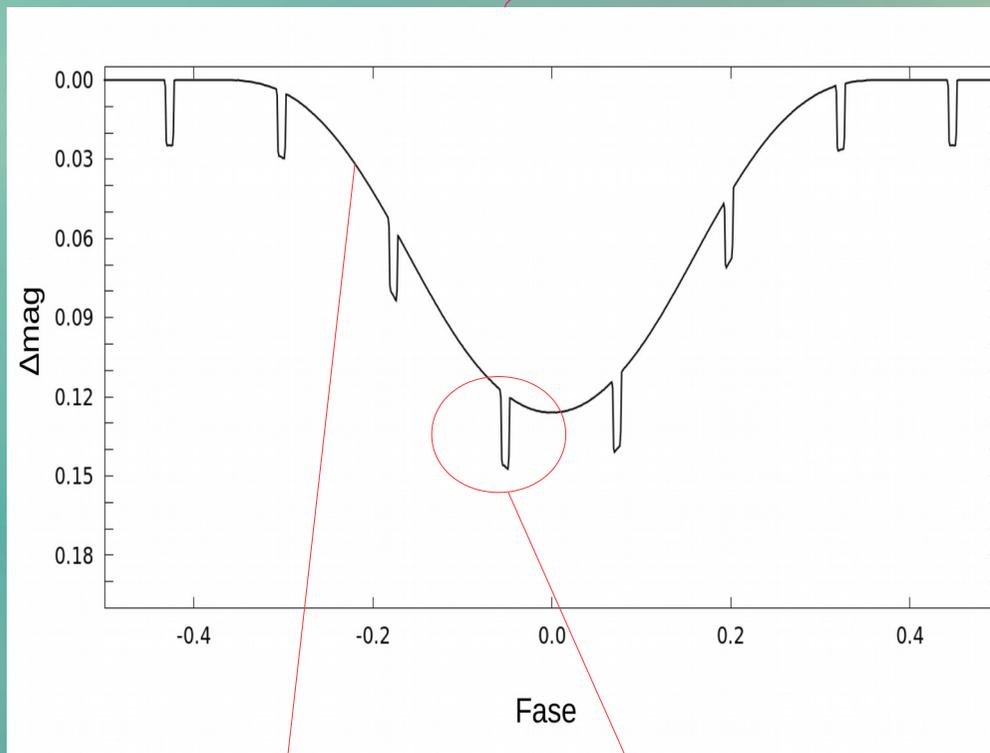
→  
Fotometría de alta  
precisión

# Resultados obtenidos

## Variabilidad y tránsitos planetarios

Estrellas T Tauri muy variables → WTTS

SOAP-T (Oshagh et al. 2013)



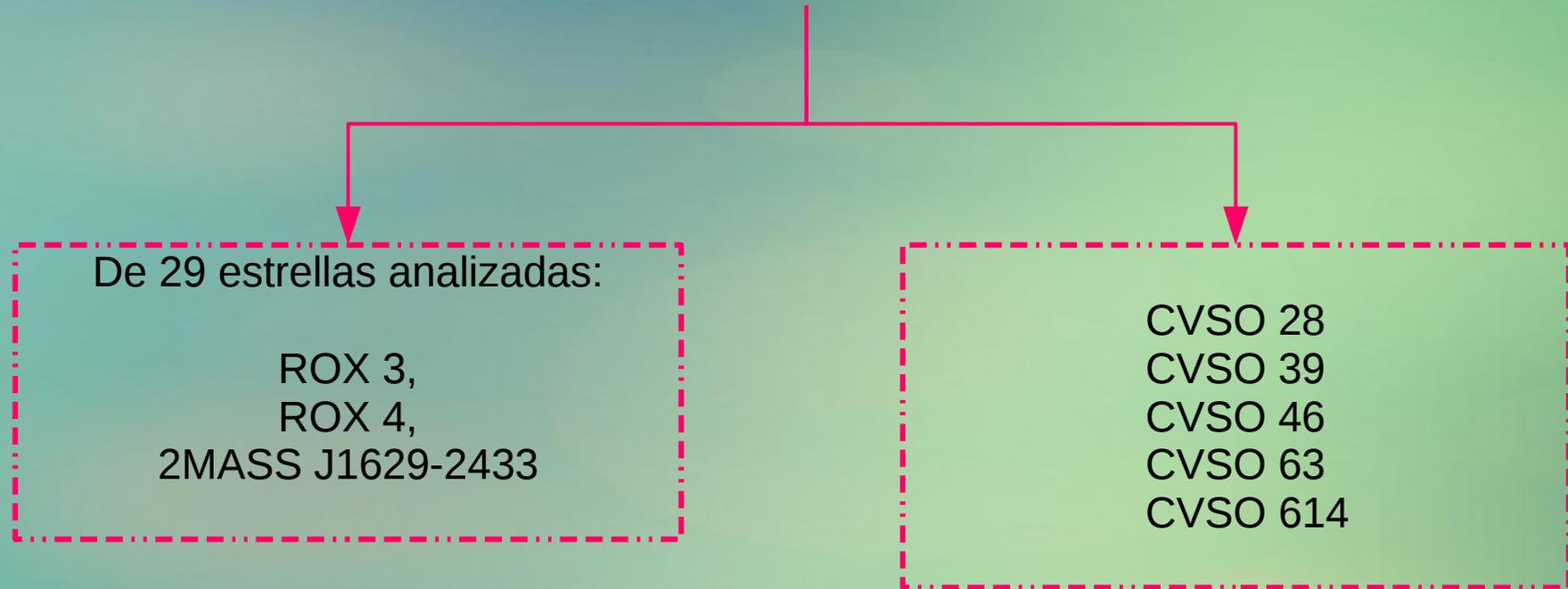
Mancha  
(0.12 mag)

Tránsitos  
(0.025 mag)

# Resultados obtenidos

## Variabilidad y tránsitos planetarios

Finalmente



Indicadas para seguimiento fotométrico y búsqueda de tránsitos

Este estudio de variabilidad sugiere a las WTTS donde aplicar la técnica de tránsitos

# Resumen y resultados generales

- Objetivo principal → Análisis de variabilidad de estrellas jóvenes en  $\rho$  Ophiuchi



Estudio detallado de las curvas de luz



Detectabilidad de tránsitos

- A partir de observaciones con el ASH2 → L1688 y L1689
- Detección de variabilidad: DIA (“Análisis Diferencial de Imágenes”; Alard & Lupton 1998) → DIAPL (Wozniak, 2000)
  - × 73 Variables → 29 Variables jóvenes conocidas
- Fotometría diferencial:
  - × fotom\_diapl → magnitudes diferenciales y errores
- Análisis de las curvas de luz obtenidas y caracterización de las mismas
  - × Esquema de clasificación:  
*Dippers, Bursters, Estocásticas,  
Variables de largo período, Manchas y Scallop-Shell*

## Resumen y resultados generales

- Clasificación final: 6 dippers, 3 bursters, 4 estocásticas, 2 variables de largo período, 9 manchas y 2 scallop-shell
- Finalmente se propone a las curvas de luz en WTTS como escenario más favorable para la detección de tránsitos
- Curvas de luz de manchas frías más suaves y estables indicadas para monitoreo fotométrico de alta precisión → ROX 3, ROX 4 y 2MASS J1629-2433  
→ CVSO 28, CVSO 39, CVSO 46, CVSO 63, CVSO 614

Este trabajo apunta a las WTTS como los objetos donde la aplicación de la técnica de tránsitos podría dar resultados favorables

**Muchas Gracias!**