

Sesión CCD: 29-Jun-2011

El impacto de la Astrosismología en la Astrofísica

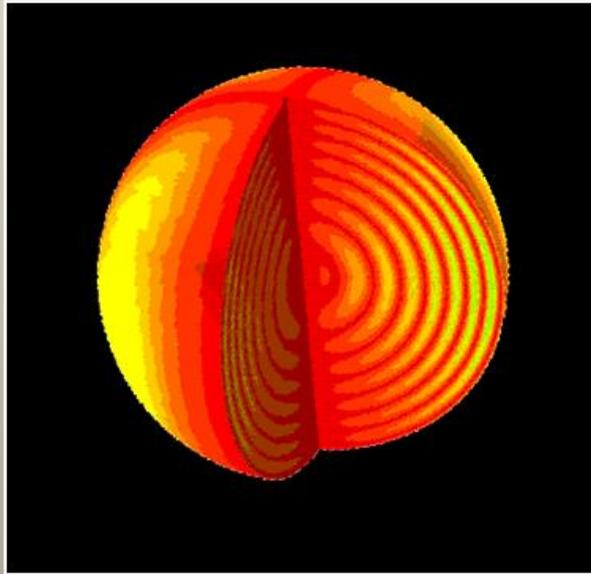
Javier Pascual Granada



- **¿Qué es la Astrosismología?**
- **¿Para qué estudiar la sismología estelar?**
- **¿A quién le interesa?**

Astrosismología

- **seísmo** o **sismo** del griego "σεισμός", temblor
- El Sol y todas las estrellas pulsantes experimentan de forma continua perturbaciones de p and ρ .



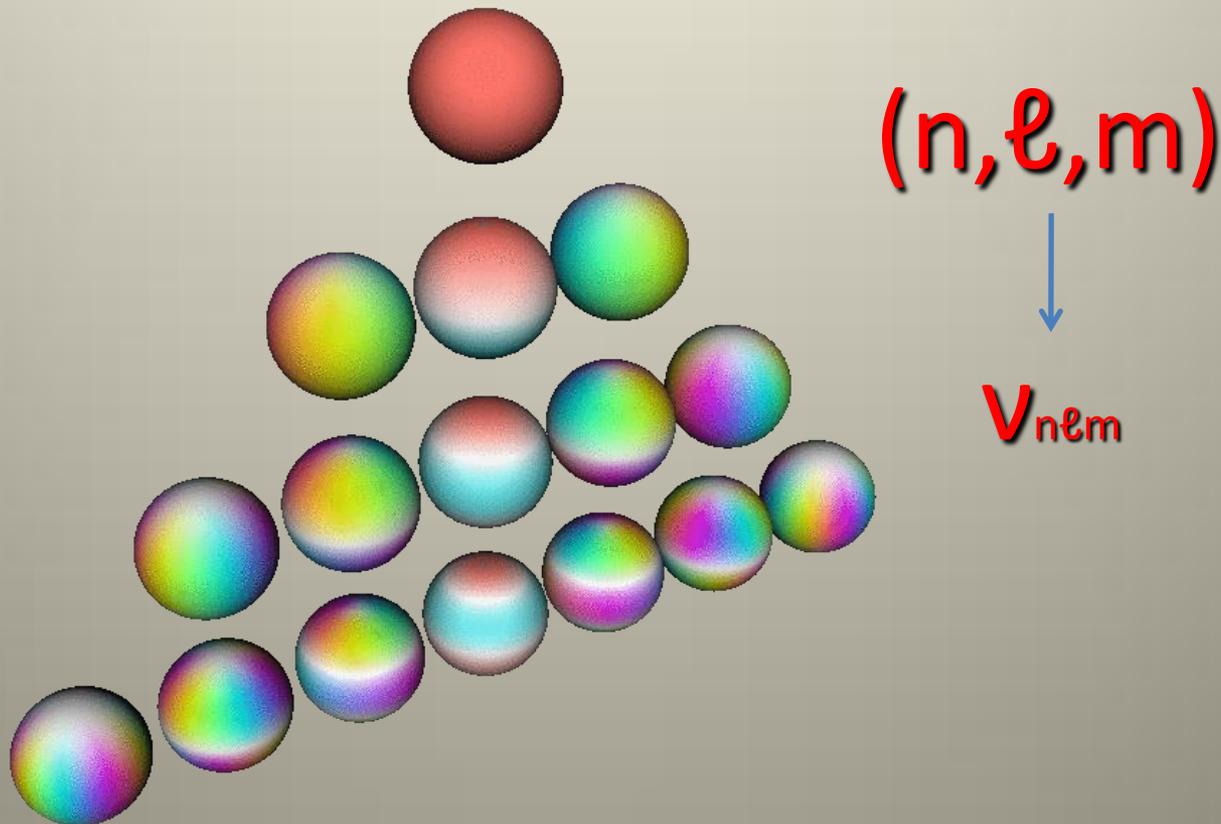
- Estas perturbaciones se propagan en forma de oscilaciones que pueden detectarse como variaciones del brillo de la estrella.

Astrosismología



Astrosismología

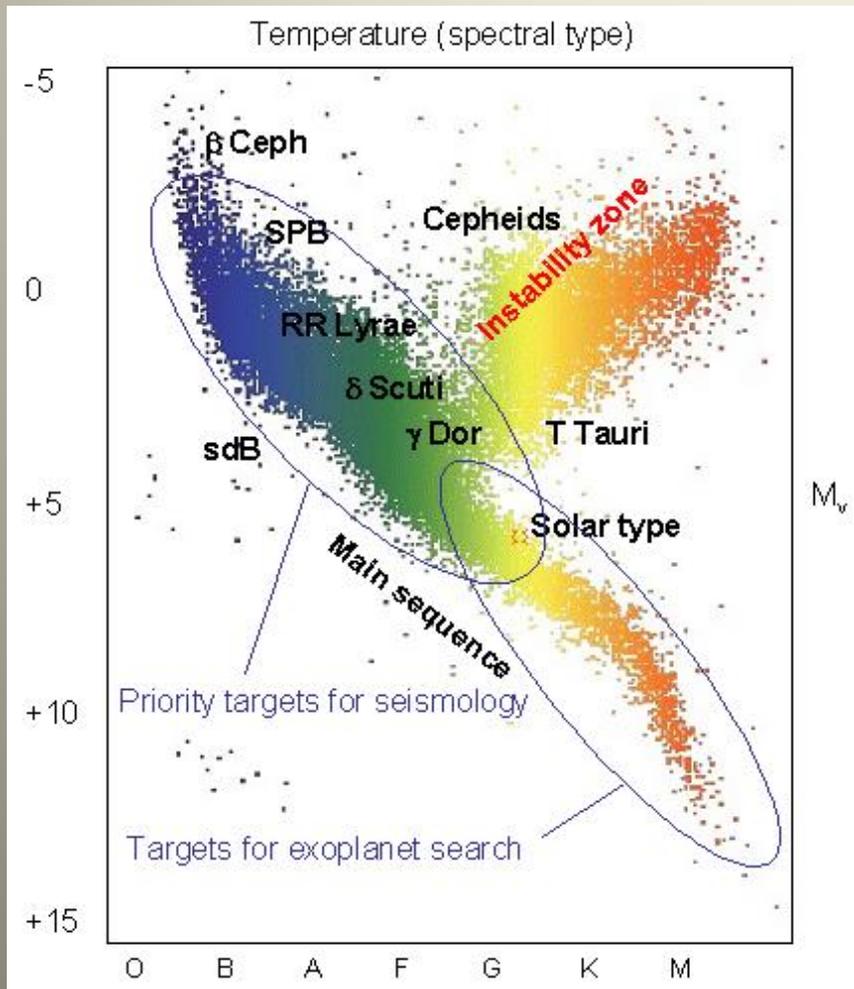
En la aproximación de que la estrella tenga simetría esférica, cada modo puede asociarse a un armónico esférico $Y_l^m(\theta, \phi)$



Astrosismología

- La Astrosismología nos proporciona un laboratorio de física estelar:
 - Masa, radio, composición química, y edad de estrellas aisladas.
 - Tests independientes de la teoría de la evolución estelar.
 - Rotación estelar interna.
 - Constraints sobre las teorías dinamo.
 - Convección.
 - Implicaciones para la formación de sistemas planetarios.

Estrellas pulsantes



- δ Scuti: 0.3 – 3 horas (modos-p y mixtos)
- γ Doradus: 0.4 – varios días (modos-g)
- Estrellas híbridas: ambos regímenes?
- Solar-like
- Cefeidas clásicas: banda de inestabilidad
- RR Lyrae
- Subenanas calientes y SPB
-

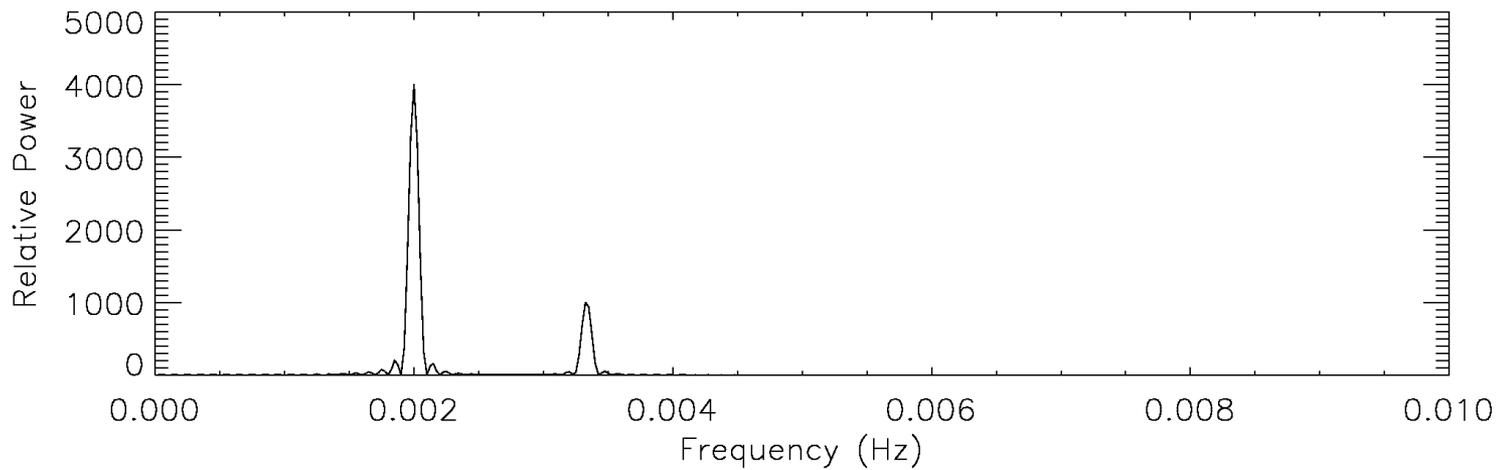
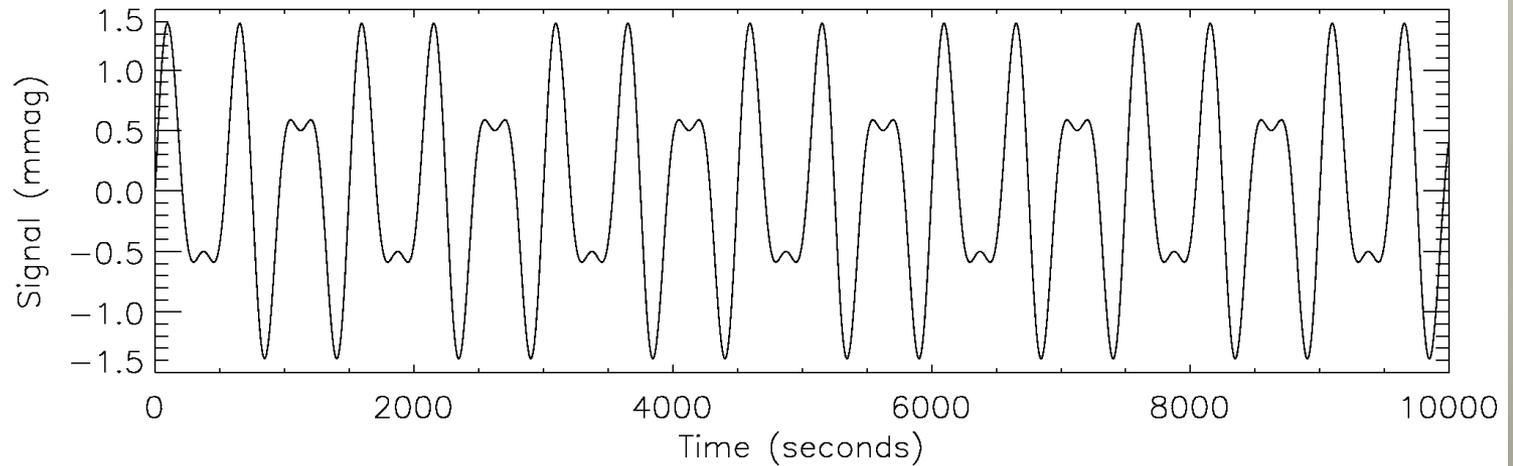
Observaciones

- Fotometría:
 - desde tierra
 - Telescopios individuales (OSN, CAHA)
 - Campañas multi-site (GONG, WET)
 - Misiones espaciales:
 - MOST, CoRoT, Kepler
 - BRITE, PLATO
- Espectroscopía (LPV):  **Teff, logg, Fe/H**
 - En el rango óptico (FOCES, FEROS, UVES...)
 - En el rango infrarrojo (CARMENES, CRIRES...)

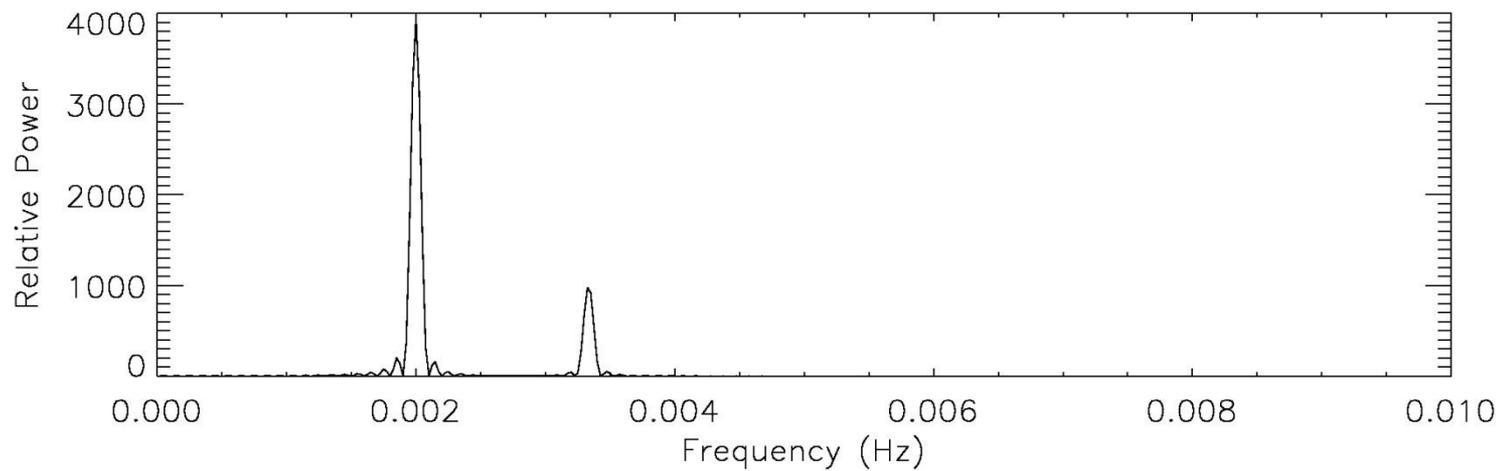
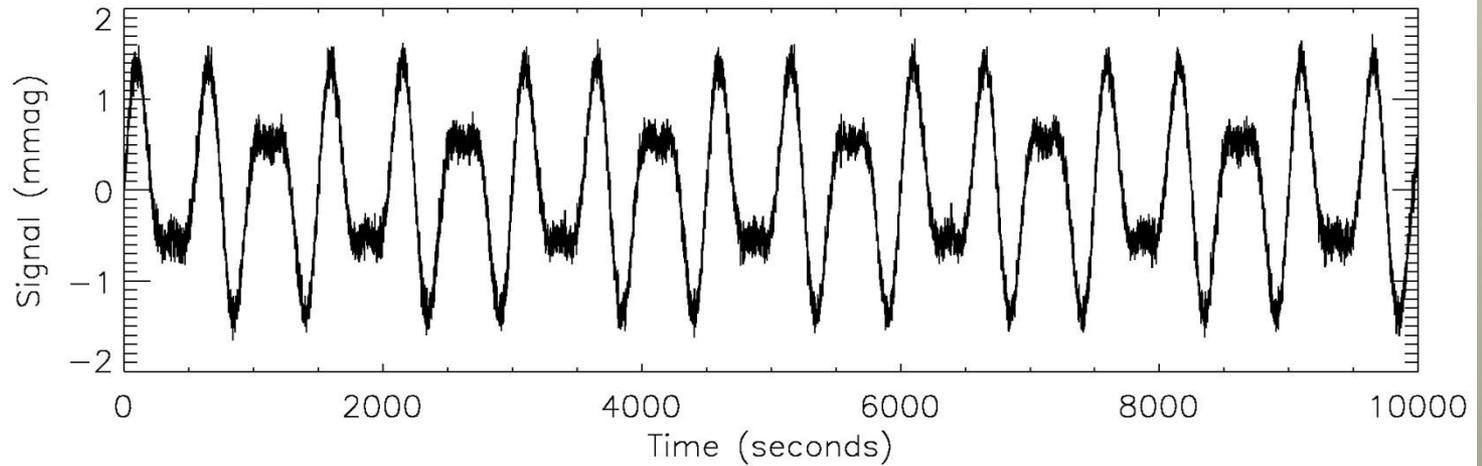


**Análisis de
Fourier**

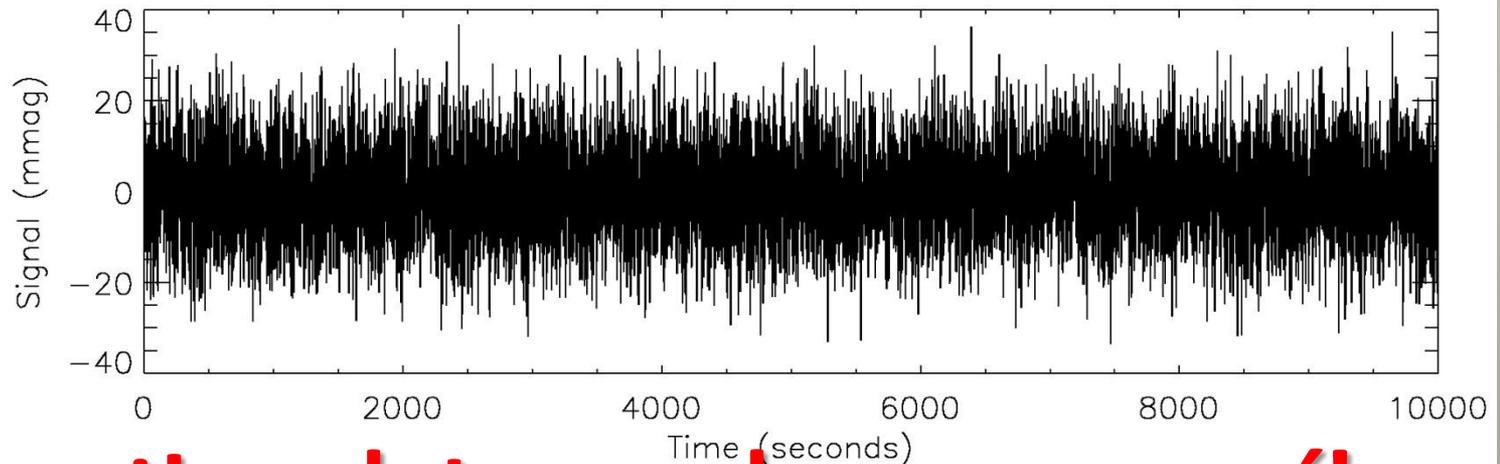
Periodograma



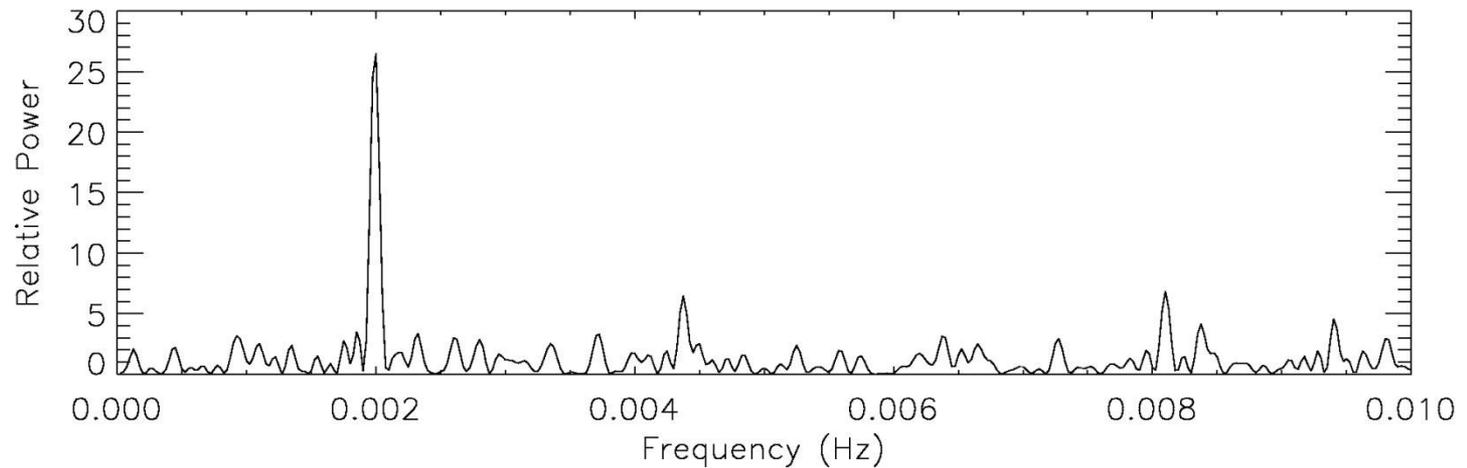
Periodograma



Periodograma

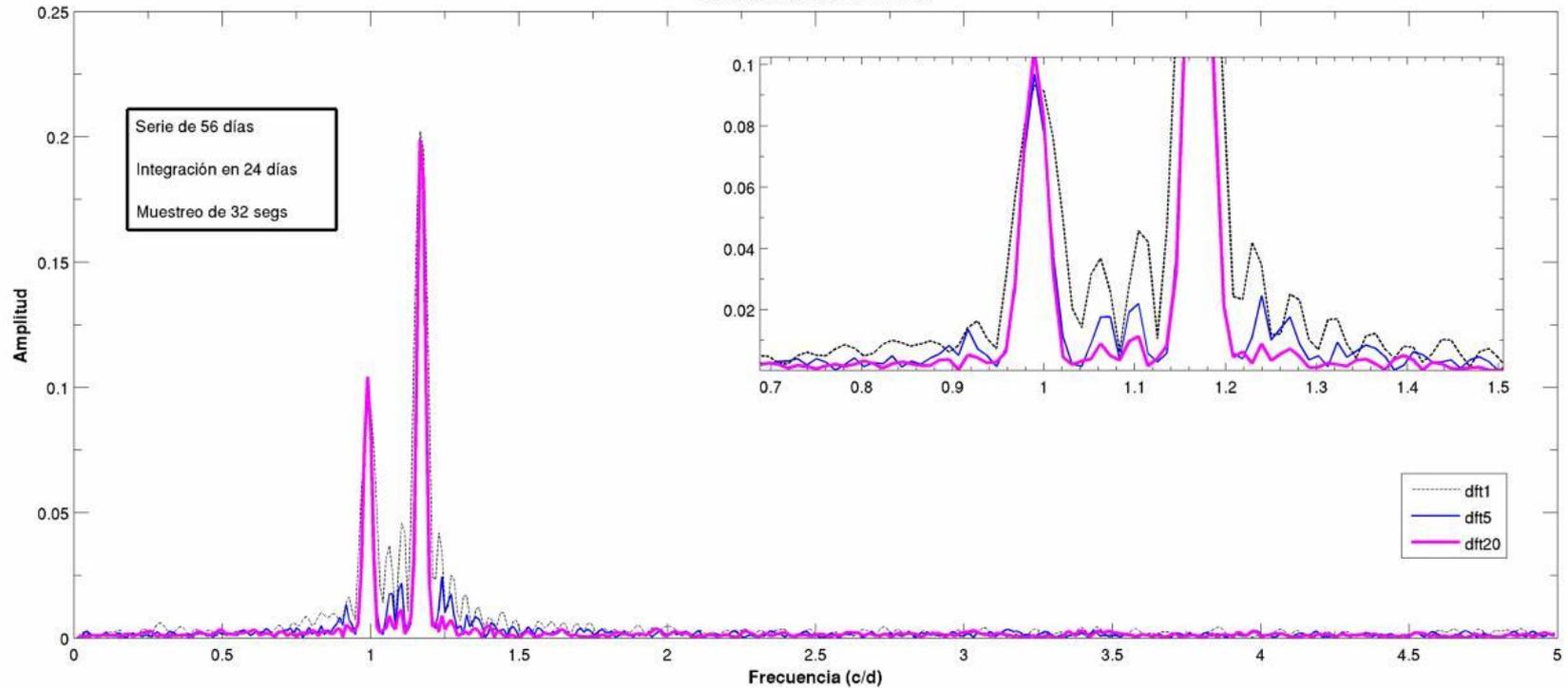


¡Los datos reales se ven así!



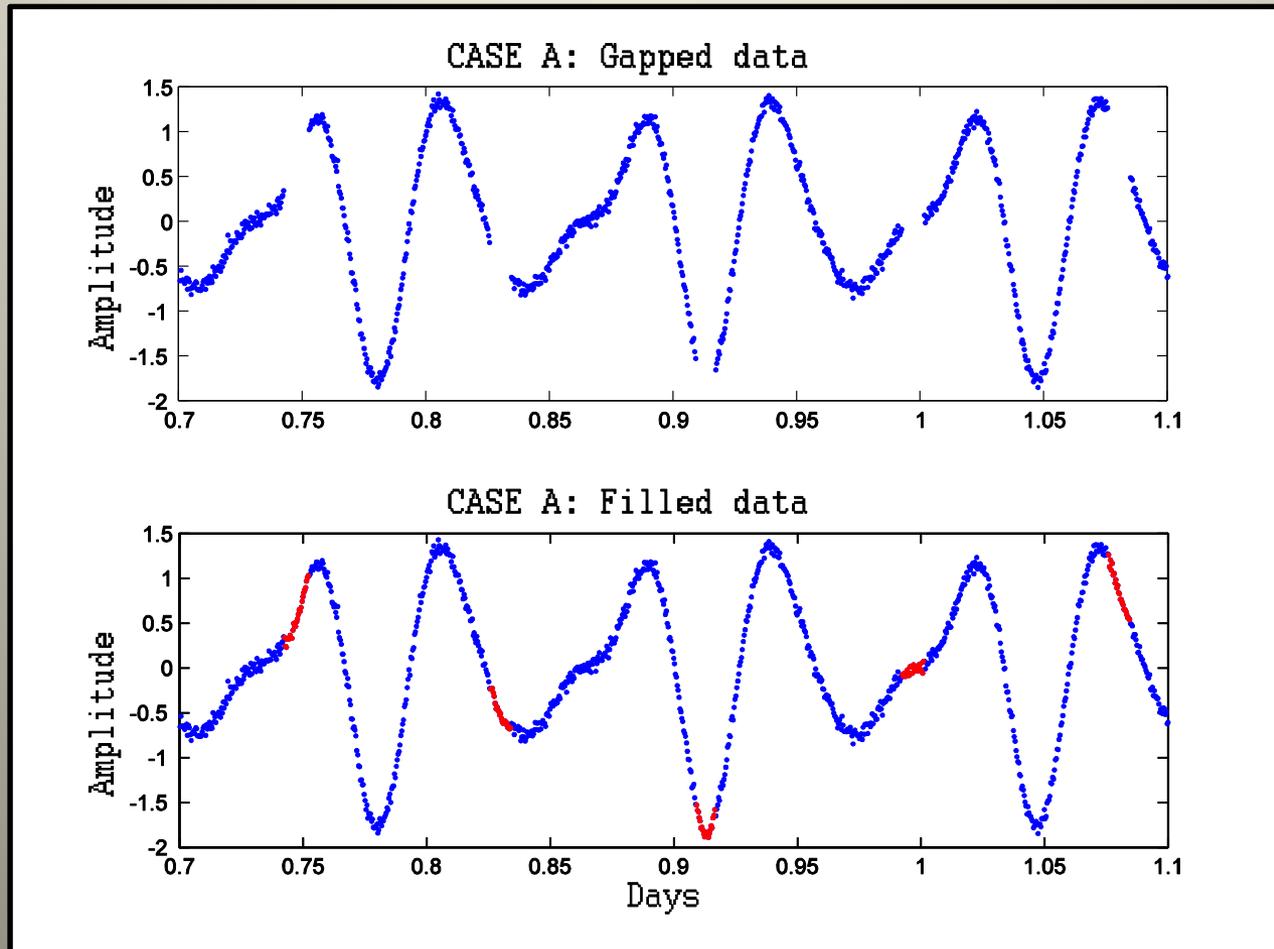
Periodograma

Oscilador bimodal + WGN



Mejorar la relación señal-ruido

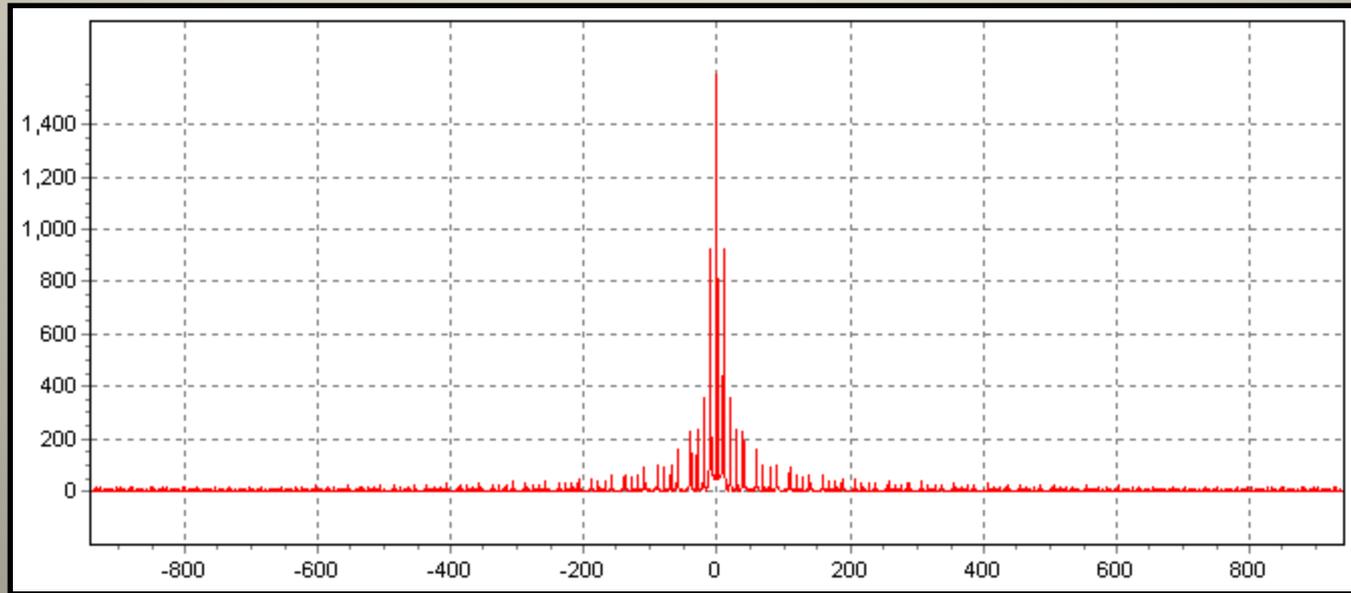
Gap-filling



Gap-filling

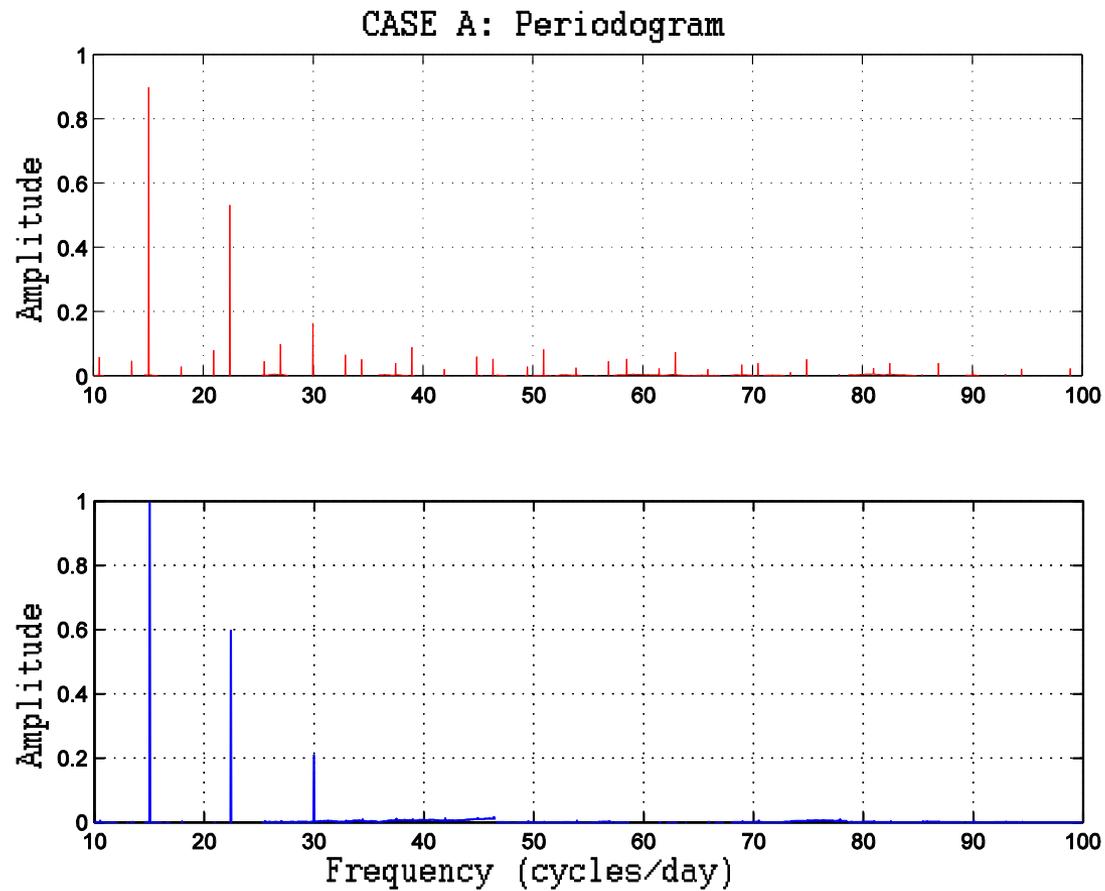


Gap-filling

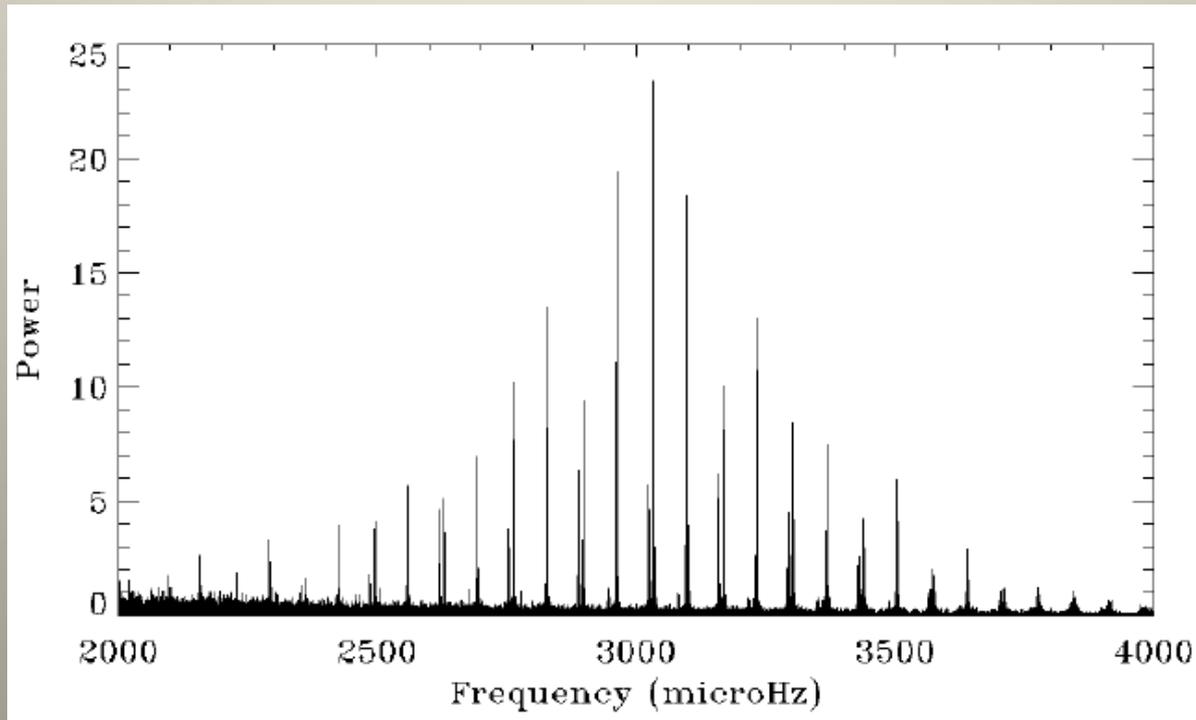


Ventana espectral

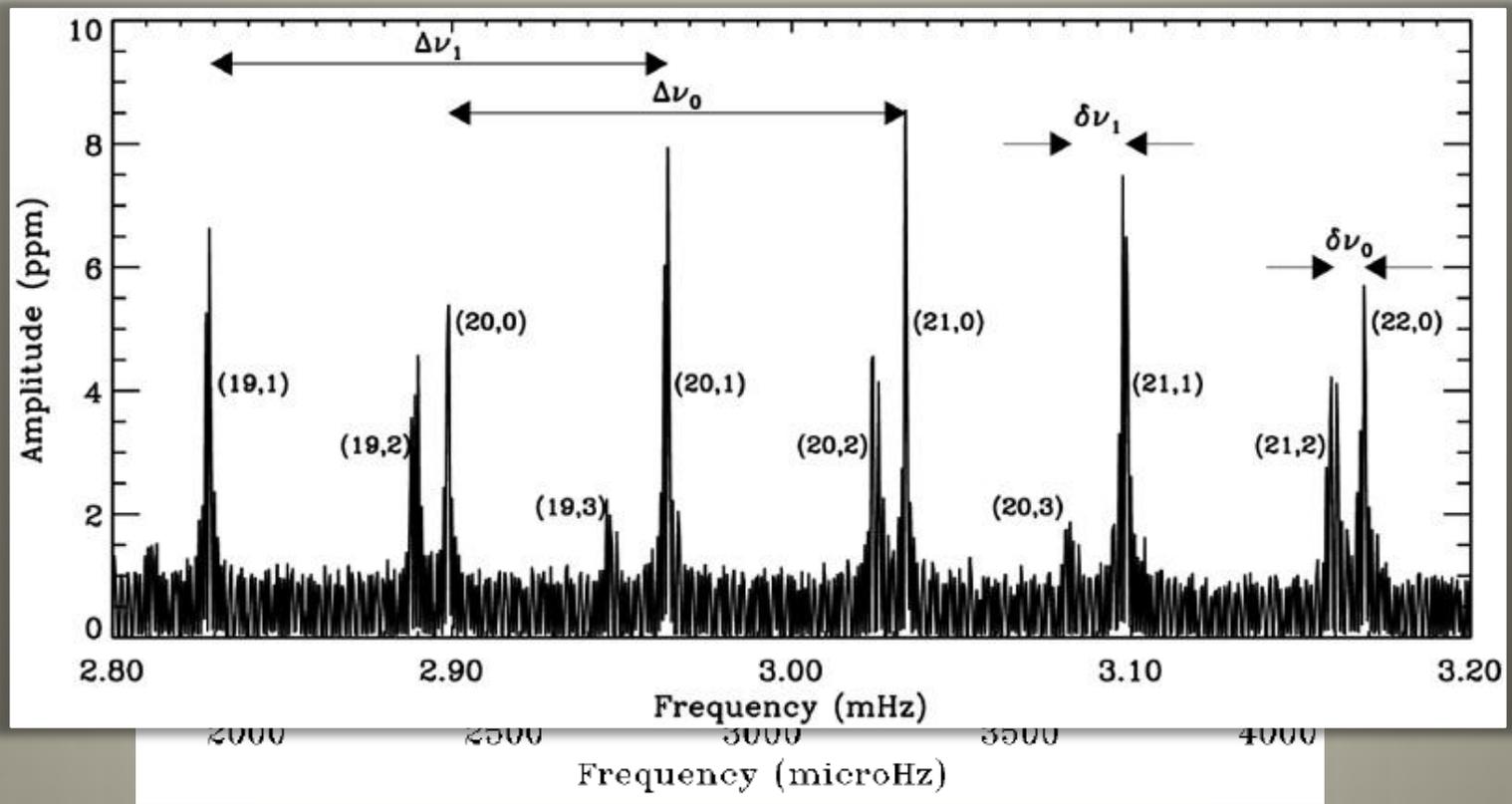
Gap-filling



Caso ejemplar: el Sol



Caso ejemplar: el Sol



Diagnóstico: teoría asintótica

- Estrellas tipo solar
- Para modos con $l/n \rightarrow 0$ (Tassoul, 1980) las frecuencias pueden ser estimadas según:

$$\nu_{nl} \simeq \left(n + \frac{l}{2} + \epsilon \right) \nu_0 - \frac{AL^2 - B}{\nu_{nl}} \nu_0^2 + O(\nu_0^4) \quad \text{donde}$$

$$\nu_0 = \left[2 \int_0^R \frac{dr}{c} \right]^{-1}$$

$$A = \frac{1}{4\pi^2 \nu_0} \left[\frac{c(R)}{R} - \int_0^R \frac{dc}{dr} \frac{dr}{r} \right].$$

$$L = \sqrt{l(l+1)}$$

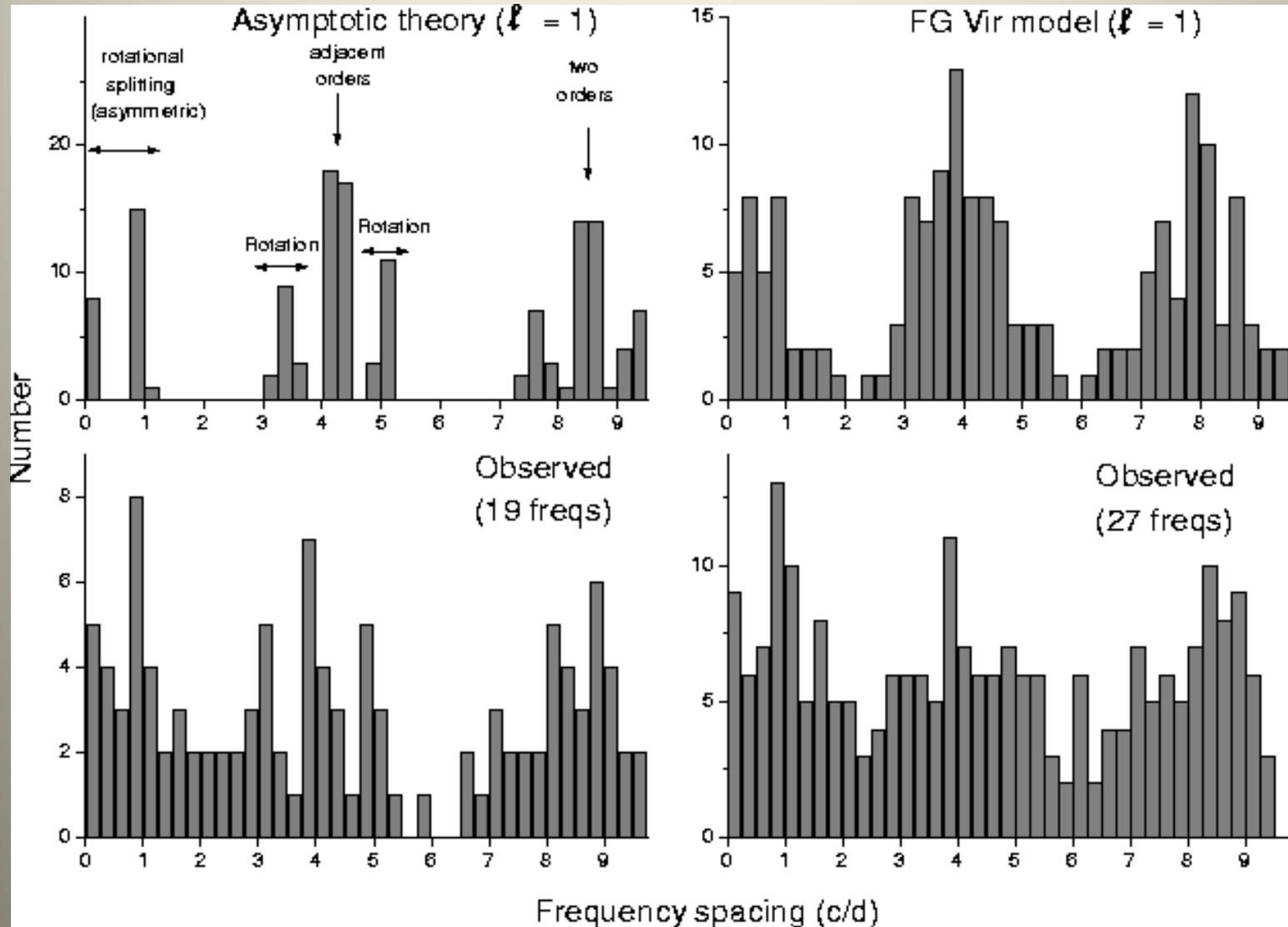
- Large freq.separation:

$$\Delta \nu_{nl} \equiv \nu_{n+1l} - \nu_{nl}$$

- Small freq. Separation:

$$\delta \nu_{nl} \equiv \nu_{nl} - \nu_{n-1l+2}$$

Otro ejemplo



Resultados

- La Heliosismología (sismología solar) es la única vía para resolver el persistente puzzle del ciclo solar.
- La evolución química del universo (ej. C/O interno de las enanas)
- Edades estelares
- Aporta información sobre los planetas detectados mediante el método de tránsitos.
- Evolución de cúmulos
- Formación y evolución de la galaxia.

Resultados: Sismología de WD

- Verificar las teorías sobre la estructura de enanas blancas
- Determinar la rotación de las enanas blancas
- Calibrar tasas de enfriamiento:  ¡WD cosmocronología!

Las enanas blancas son estrellas fósiles

Tasas de enfriamiento teóricas

+

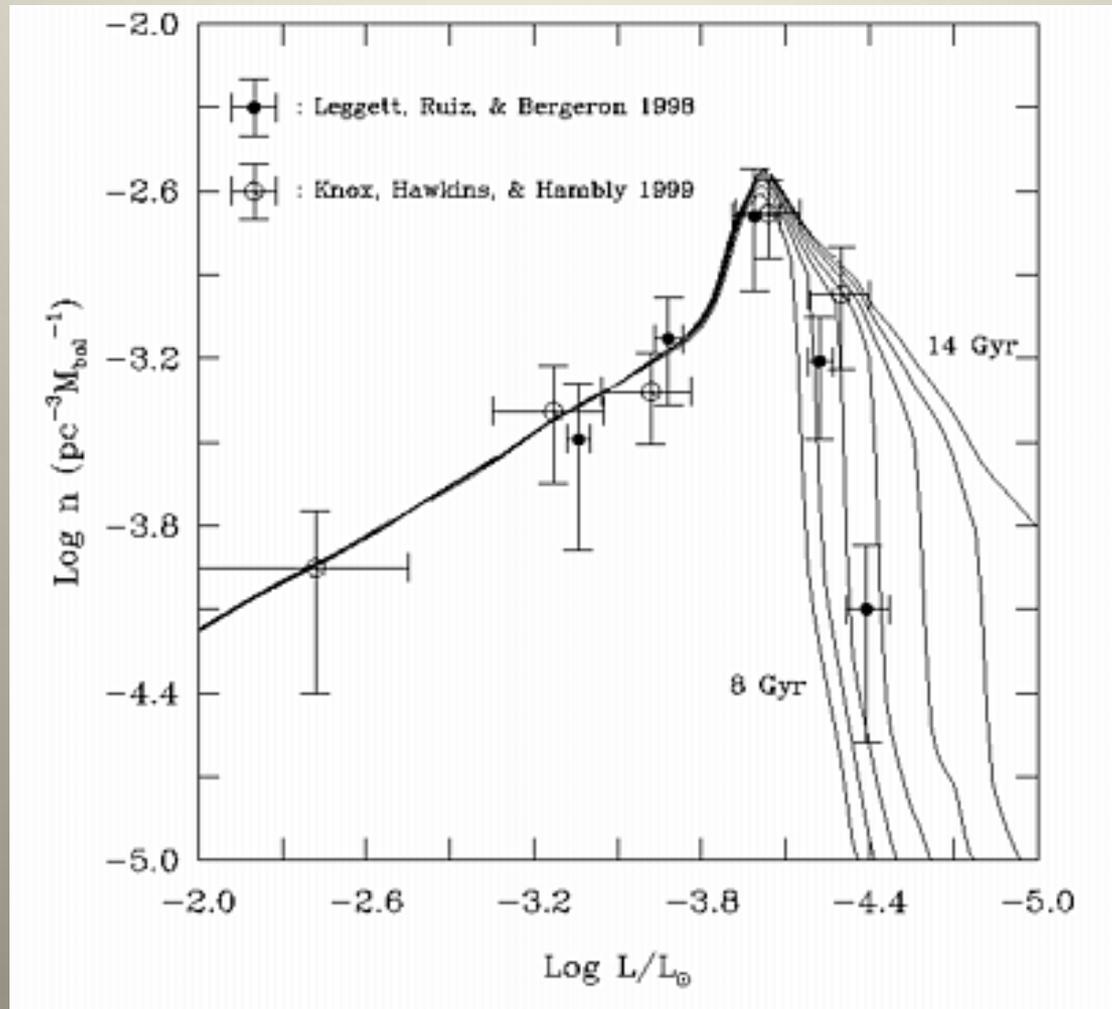
Observaciones de enanas blancas
de distintas luminosidades



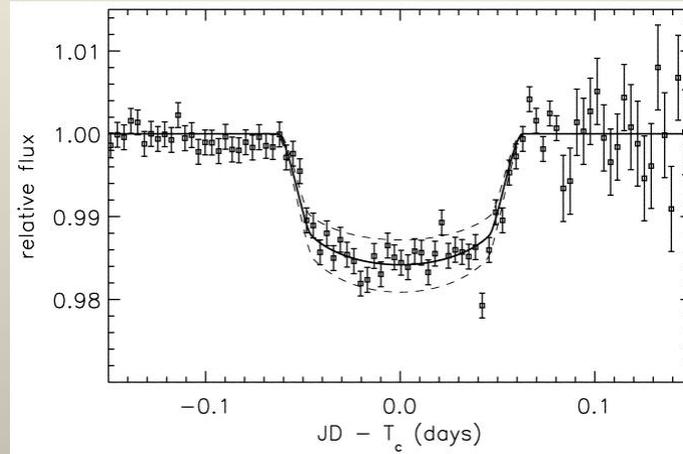
¡Historia de la formación estelar!

Resultados: Sismología de WD

Esto sugiere una edad de 11 Gyr o menos para el disco local



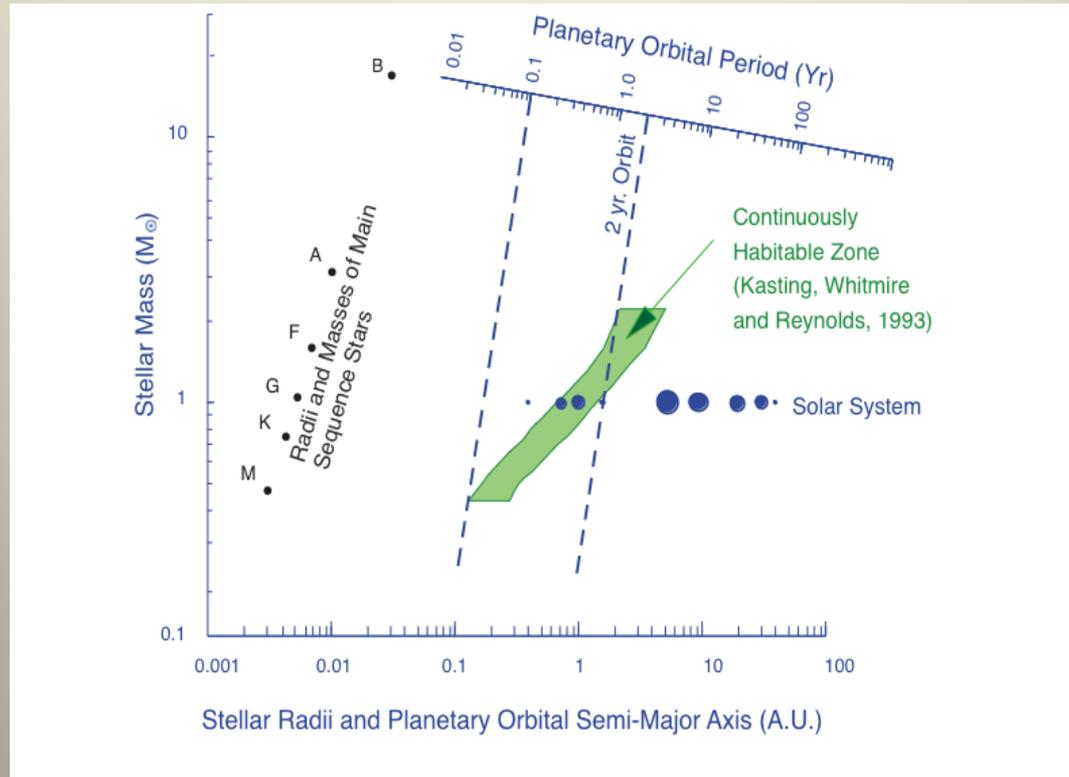
Resultados: Exoplanetas



HD209458:
Primera detección de un tránsito planetario
(Charbonneau et al. 2000)

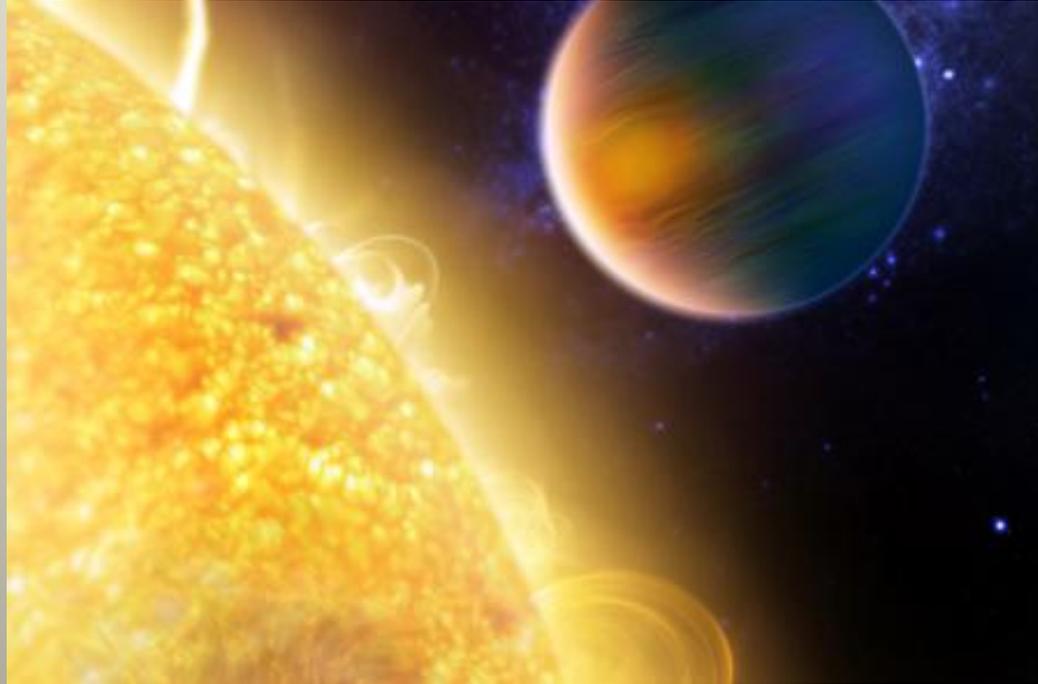
- Shallow dip (2%)
- The bottom of the light-curve is flat

Resultados: Exoplanetas



- Es necesario conocer propiedades como el radio, la masa y la edad estelar para deducir las propiedades del planeta.
- Las estrellas que tienen planetas parecen ser más ricas en metal. Este podría ser un indicador.

Resultados: Exoplanetas



- Alto nivel de contaminantes ~95% (binarias, triples, cuádruples, falsos positivos)
- La confirmación espectroscópica es necesaria incluso si los contaminantes no están presentes (MR relation degenerates)

Estrellas de neutrones

- Algunos autores han propuesto usar la misma metodología con ondas gravitacionales.
- Durante el nacimiento de una estrella proto-neutron o la fusión de dos estrellas compactas viejas, oscilaciones no-radiales violentas pueden ser excitadas.
- Recientemente se ha sugerido el uso de la astrosismología para probar teorías de gravitación alternativas a la relatividad general como la teoría escalar-tensor. (Sotani, H., Kokkotas, K. D., Phys. Rev. D 70, 2004).
- Los modelos muestran oscilaciones con periodos del orden de centésimas de segundo.

- **¿Qué es la Astrosismología?**
- **¿Para qué estudiar la sismología estelar?**
- **¿A quién le interesa?**

**¡Gracias por su
atención!**

