

Un Progenitor Binario Para La Supernova De Tipo Ib SN iPTF13bvn

Melina C. Bersten¹, Omar G. Benvenuto^{2,3}, Gastón Folatelli¹, Ken'ichi Nomoto¹, Hanindyo Kuncarayakti^{4,5}, Shubham Srivastav⁶, G.C. Anupama,⁶ Robert Quimby¹, Devendra K. Sahu⁶

1 Kavli Institute for the Physics and Mathematics of the Universe (WPI), Todai Institutes for Advanced Study, University of Tokyo, 5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa, Chiba 277-8583, Japón

2 Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, Paseo del Bosque S/N, B1900FWA La Plata, Argentina

3 Instituto de Astrofísica de La Plata (IALP), CCT-CONICET-UNLP. Paseo del Bosque S/N (B1900FWA), La Plata, Argentina

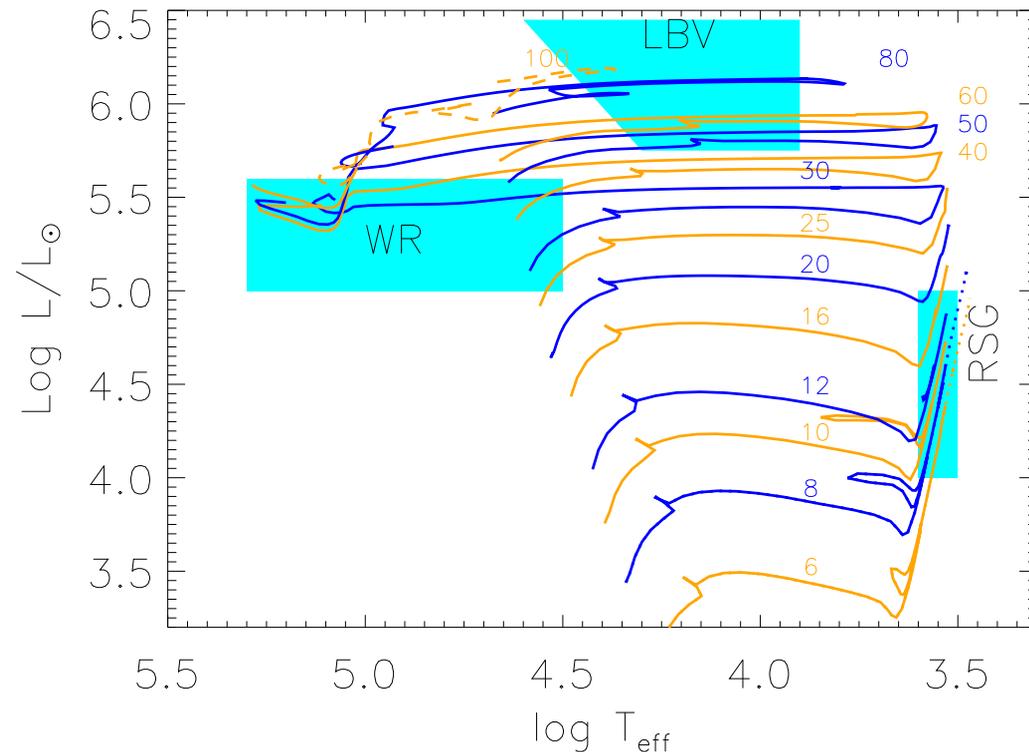
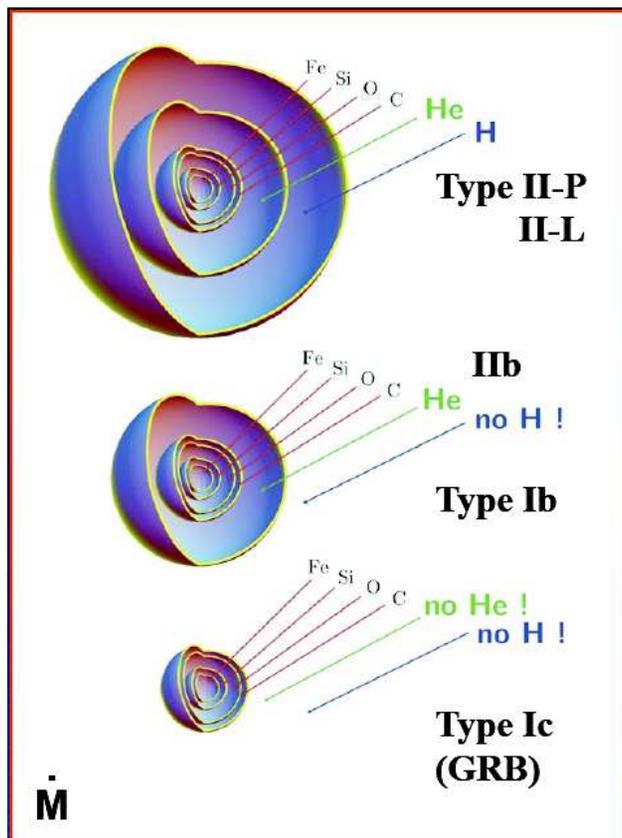
4 Millennium Institute of Astrophysics, Casilla 36-D, Santiago, Chile

5 Universidad de Chile, Departamento de Astronomía, Casilla 36-D, Santiago, Chile.

6 Indian Institute of Astrophysics, Koramangala, Bangalore 560 034, India

Supernovas de colapso gravitatorio

- Final de las estrellas masivas ($M_{inicial} \gtrsim 8M_{\odot}$)
- ¿Cual es el tipo de progenitor que corresponde a cada uno de los tipos de supernova?
- ¿Estrellas aisladas o sistemas binarios interactuantes?



Smartt et al. (2009)

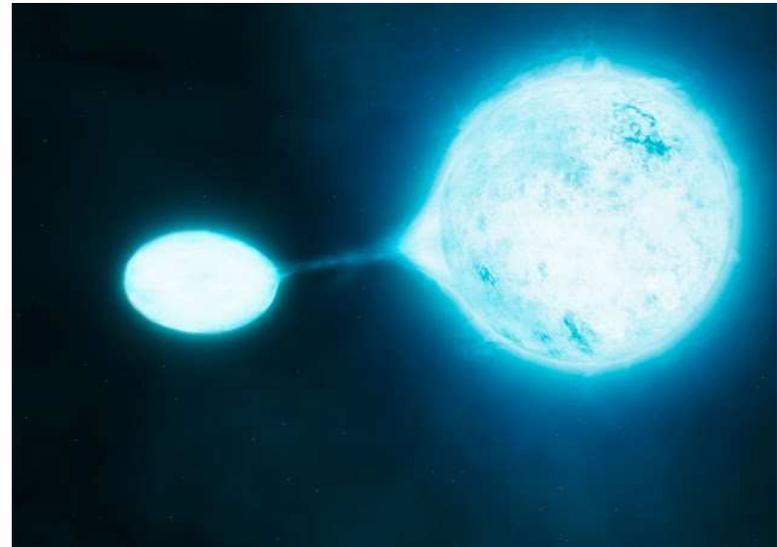
Mecanismos de pérdida de masa

- Estrellas aisladas masivas ($\gtrsim 25 M_{\odot}$) estrellas de Wolf-Rayet con vientos fuertes \implies Masa del núcleo de He $\gtrsim 8 M_{\odot}$
- Las binarias interactuantes pueden hacer que estrellas de masas mas bajas pierdan su envoltura

Pérdida de masa de una estrella aislada

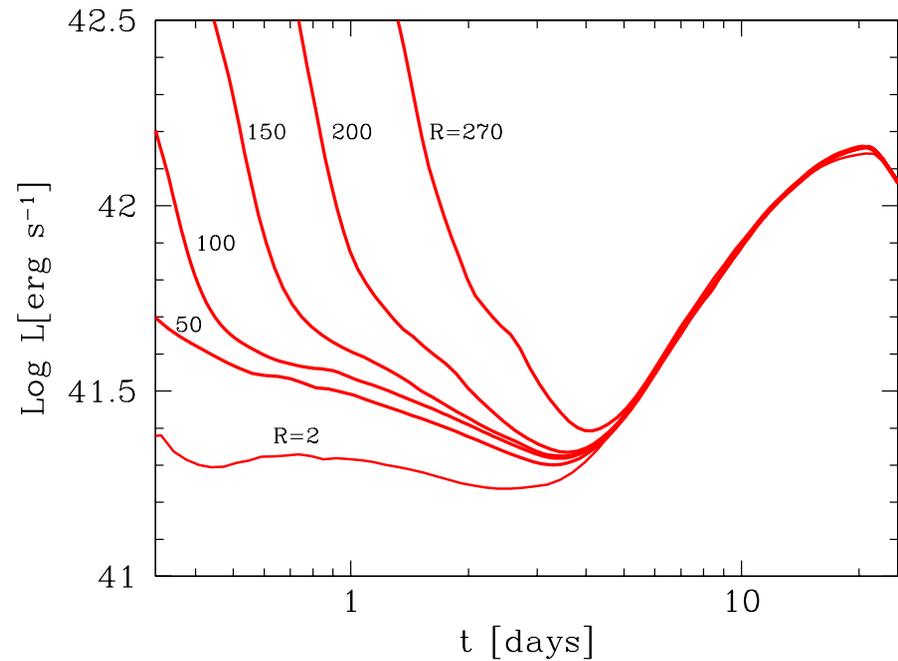
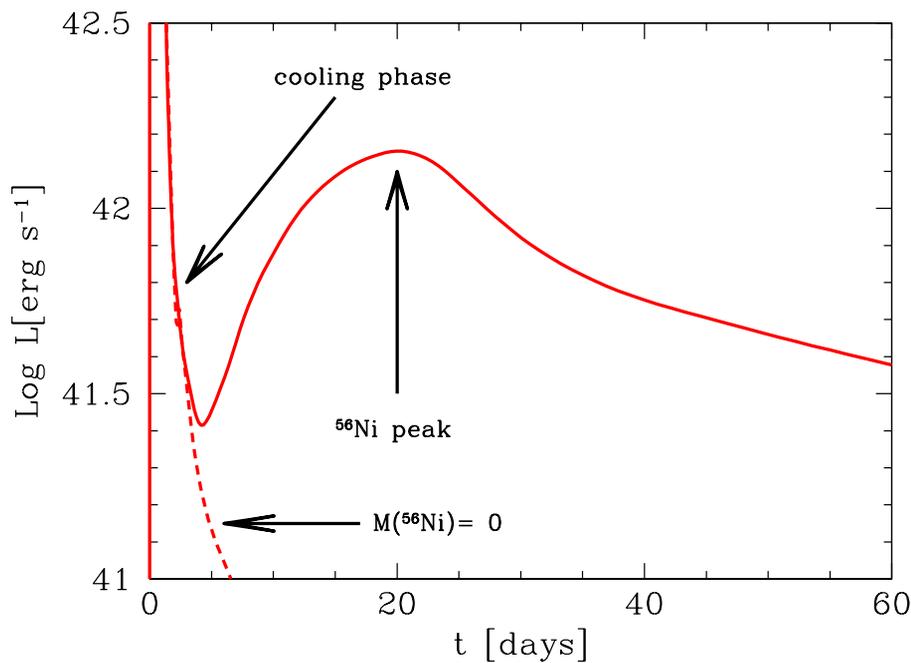


Transferencia de masa en un sistema binario



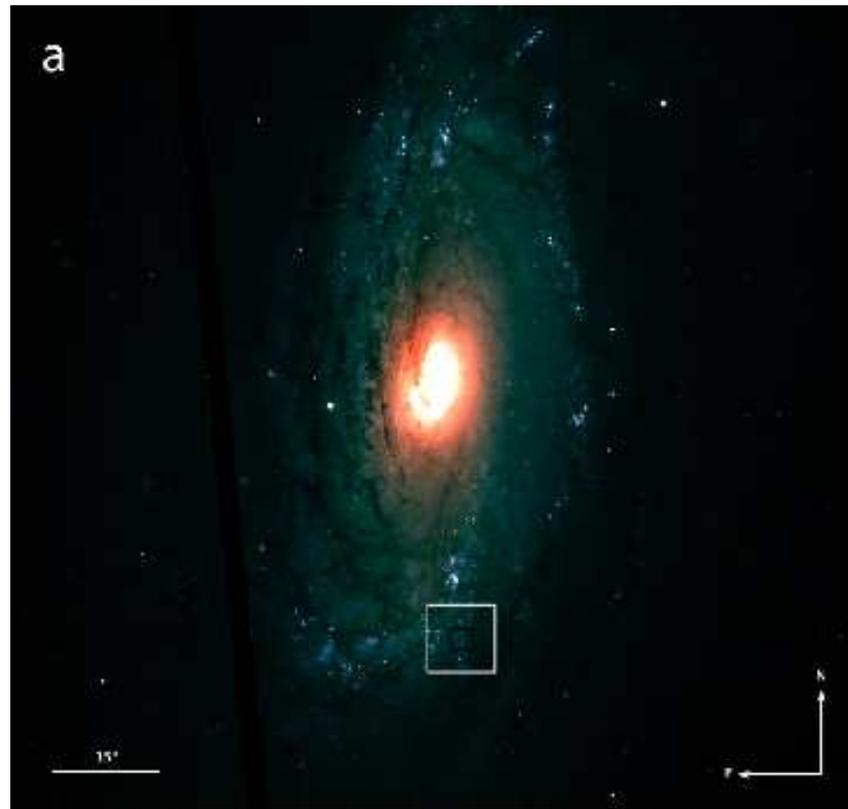
Modelos de curva de luz

- Código unidimensional Lagrangiano con flujo radiativo difusivo limitado y transporte gris de rayos gama (Bersten et al 2011)
- Supernovas de tipo Ib-Ib-Ic: SNe de envoltura perdida



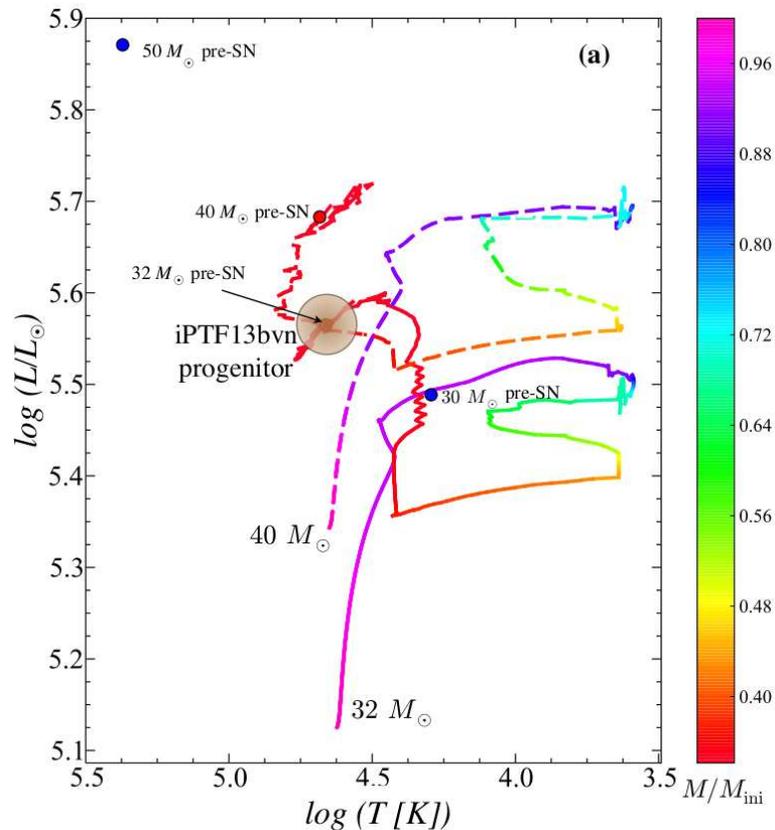
El caso de la SN Ib iPFT13bvn

- Fue descubierta inmediatamente después de la explosión (NGC 5806, $d \sim 25.54$ Mpc)
- El momento de la explosión está fuertemente acotado (< 1 día)
- El HST identificó un posible progenitor en imágenes pre-SN (Cao+13)



El caso de la SN Ib iPTF13bvn

- Modelo no rotante de estrella WN de $M_{ZAMS} \approx 32M_{\odot}$ ajusta la fotometría (Groh+13)



- Estrella muy caliente y luminosa ($\log(L/L_{\odot}) = 5.55$, $T_{\text{eff}} = 40,000$ K)
- $M_{\text{pre-SN}} \approx 10.9M_{\odot}$
- Trazas de H ($X_H \sim 10^{-5}$)
claves para reproducir la fotometría pre-SN

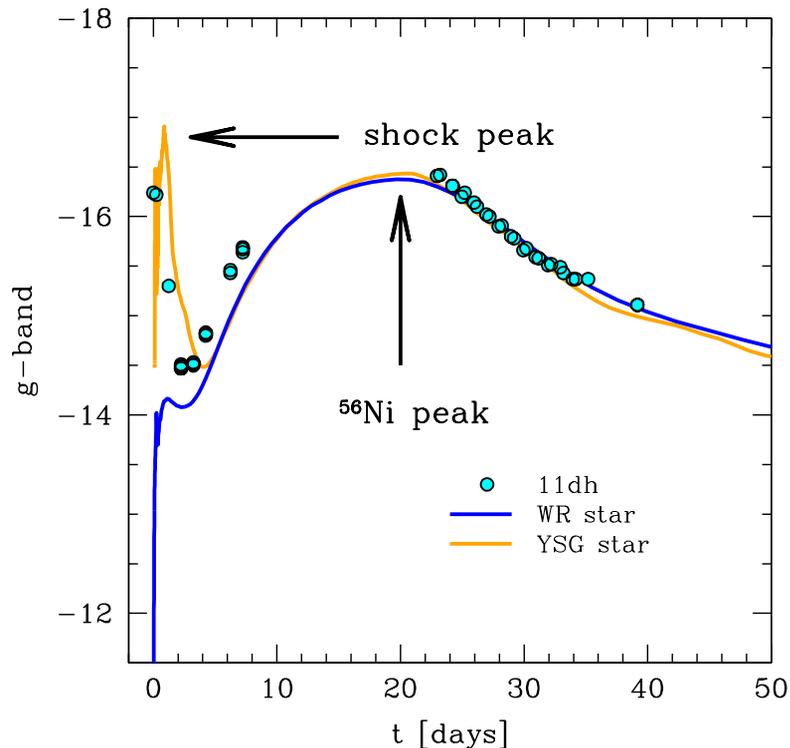
El caso de la SN Ib iPFT13bvn

- Modelo no rotante de estrella WN de $M_{ZAMS} \approx 32M_{\odot}$ ajusta la fotometría (Groh+13)

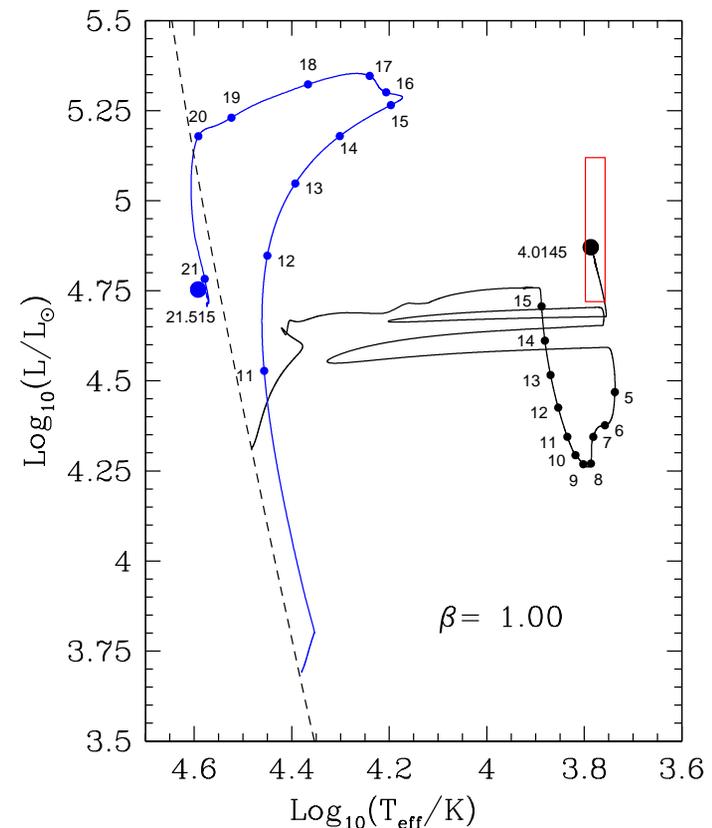
- (1) ¿Una masa tan grande es consistente con la fotometría de la supernova?
- (2) ¿Es posible explicar la fotometría pre-explosión con progenitores de masa mas baja?
- (3) ¿Representa iPFT13bvn la primera detección directa de un progenitor de tipo SN Ib?

SN 2011dh

- La primera evidencia de que una supergigante amarilla (YSG) ha sido la progenitora de una supernova
 - Modelos consistentes de explosión y evolución binaria
 - Desaparición de la YSG confirmada (Van Dyk+13, Ergon+14)
 - HST buscó la compañera azulada...

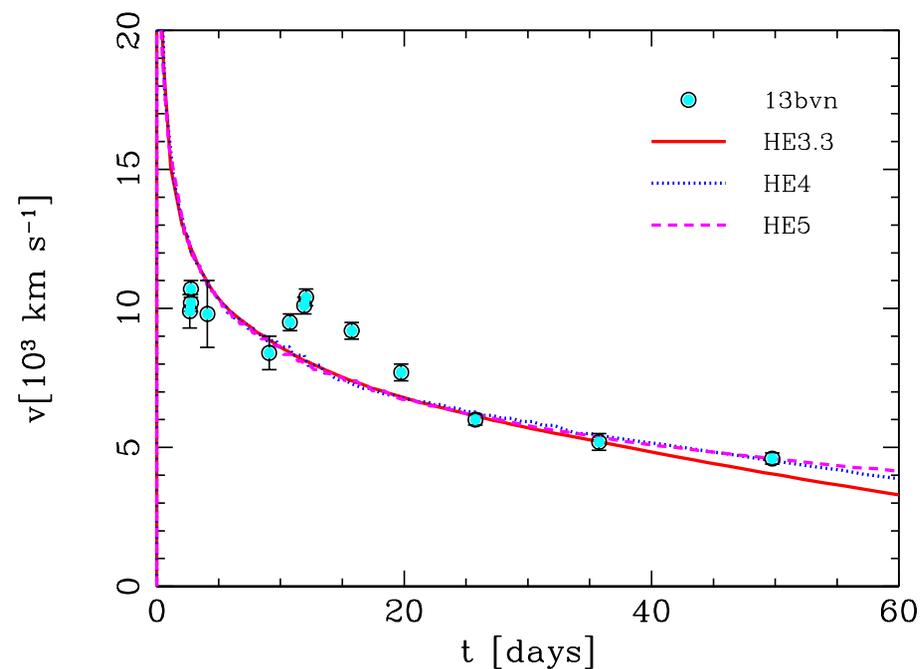
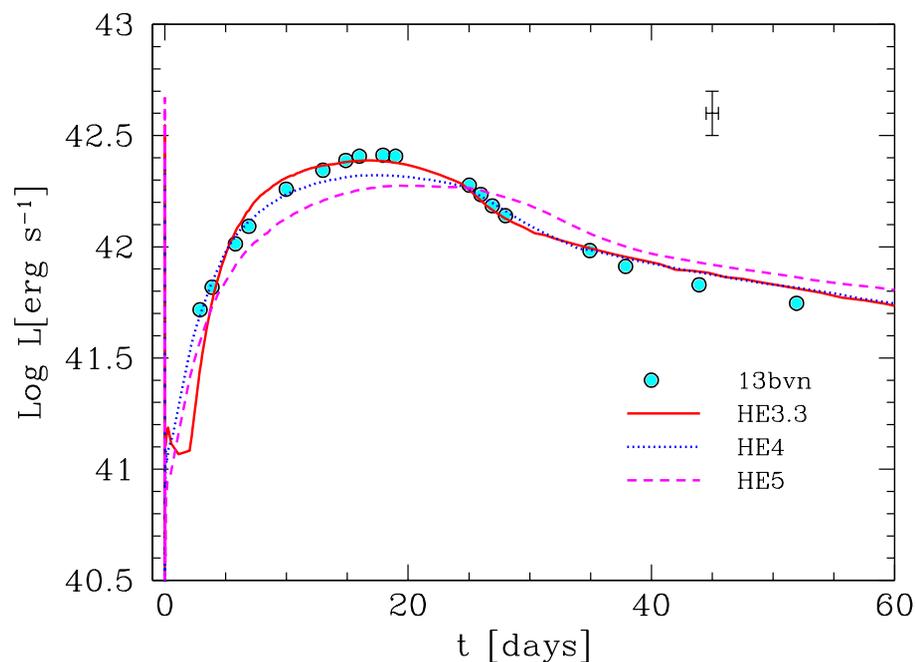


Bersten+12, Benvenuto+13



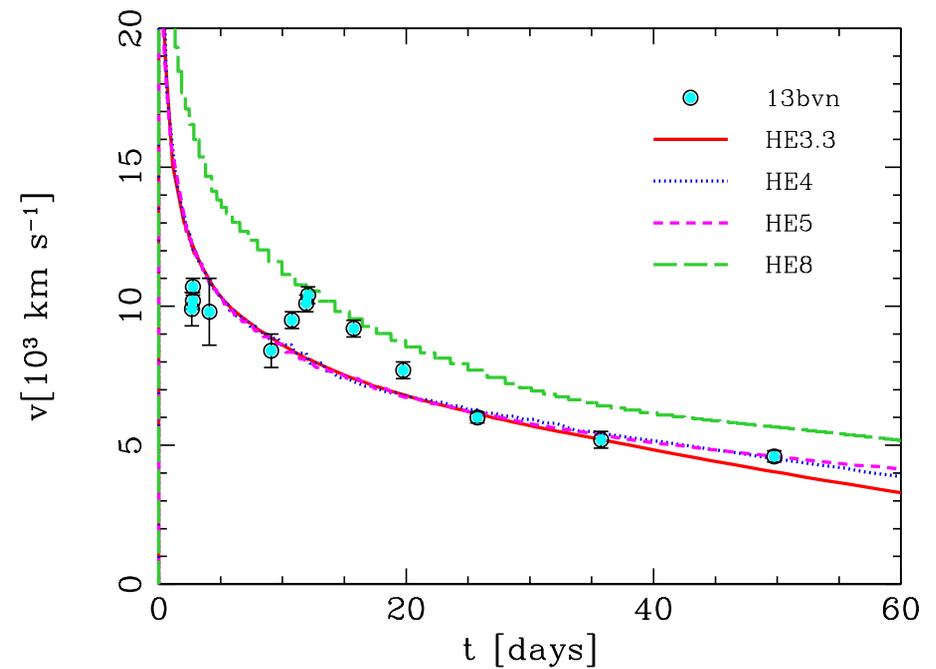
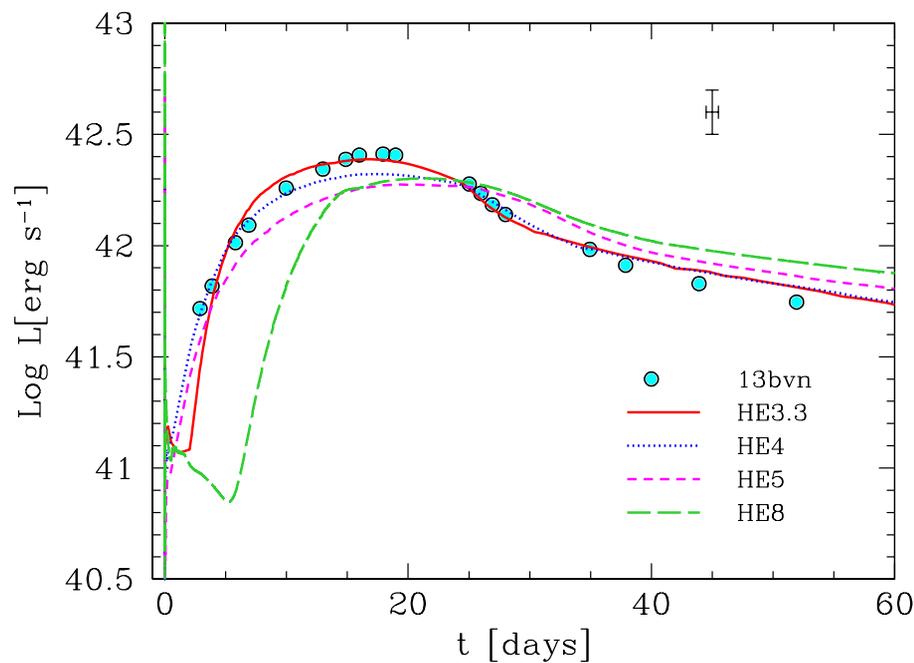
Modelo hidrodinámico de SN iPTF13bvn

- Modelos Pre-SN de evolución estelar aislada:
 $M_{ZAMS} = 13, 15, 18, 25 M_{\odot} \Rightarrow$ estrellas de He con masas de $3.3, 4, 5, 8 M_{\odot}$ (Nomoto et al.)
- Masa del núcleo de He $\approx 3.5 M_{\odot}$ ($M_0 = 12 - 15 M_{\odot}$) (ver también Fremling+14), $E_{\text{exp}} = 7 \times 10^{50}$ erg y $M_{\text{Ni}} = 0.1 M_{\odot}$



Modelo hidrodinámico de SN iPTF13bvn

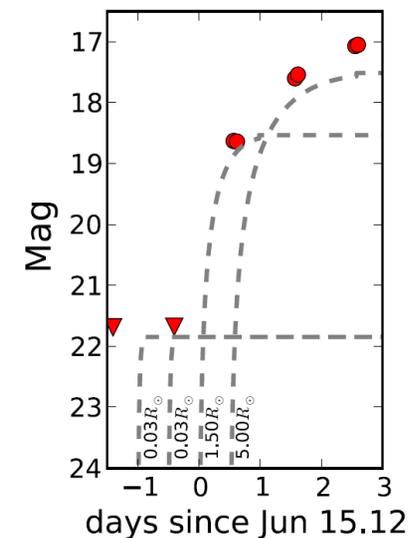
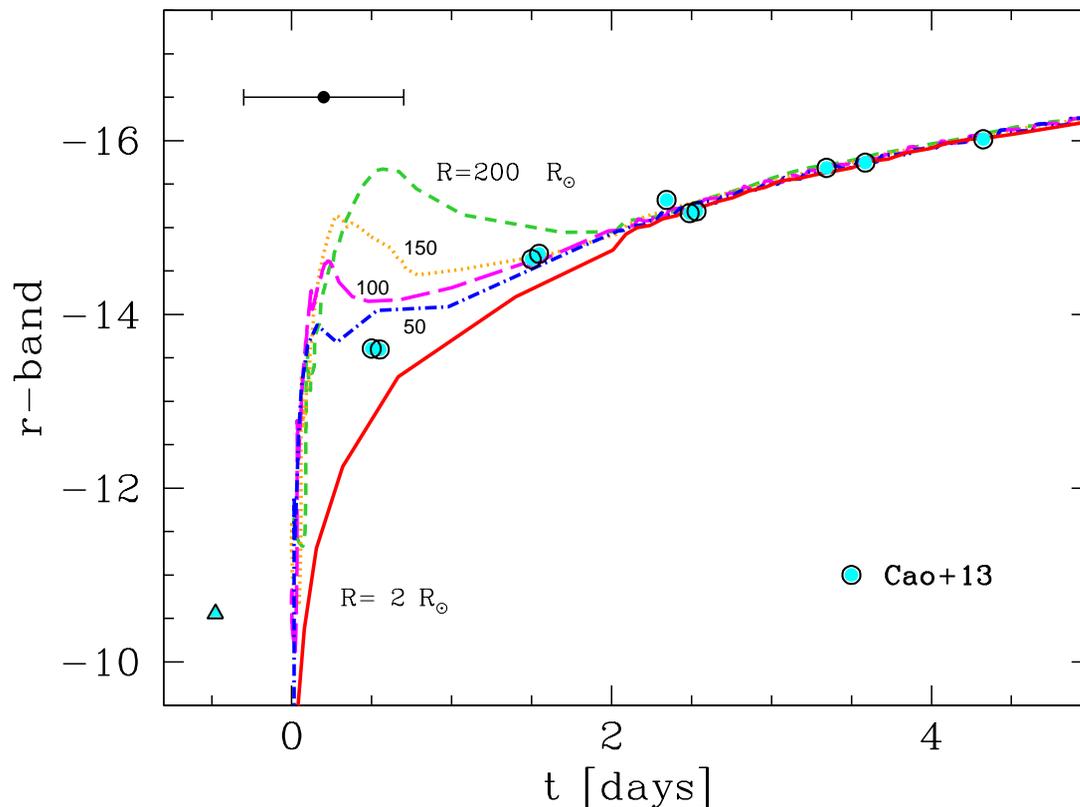
- Núcleo de He core mass $\approx 3.5 M_{\odot}$ ($M_0 = 12 - 15 M_{\odot}$), $E_{\text{exp}} = 7 \times 10^{50}$ erg y $M_{\text{Ni}} = 0.1 M_{\odot}$
- He8 **descartado** $\Rightarrow M_{\text{ZAMS}} < 25 M_{\odot} \Rightarrow$ indica un progenitor binario



Bersten et al. 2014

Radio del progenitor

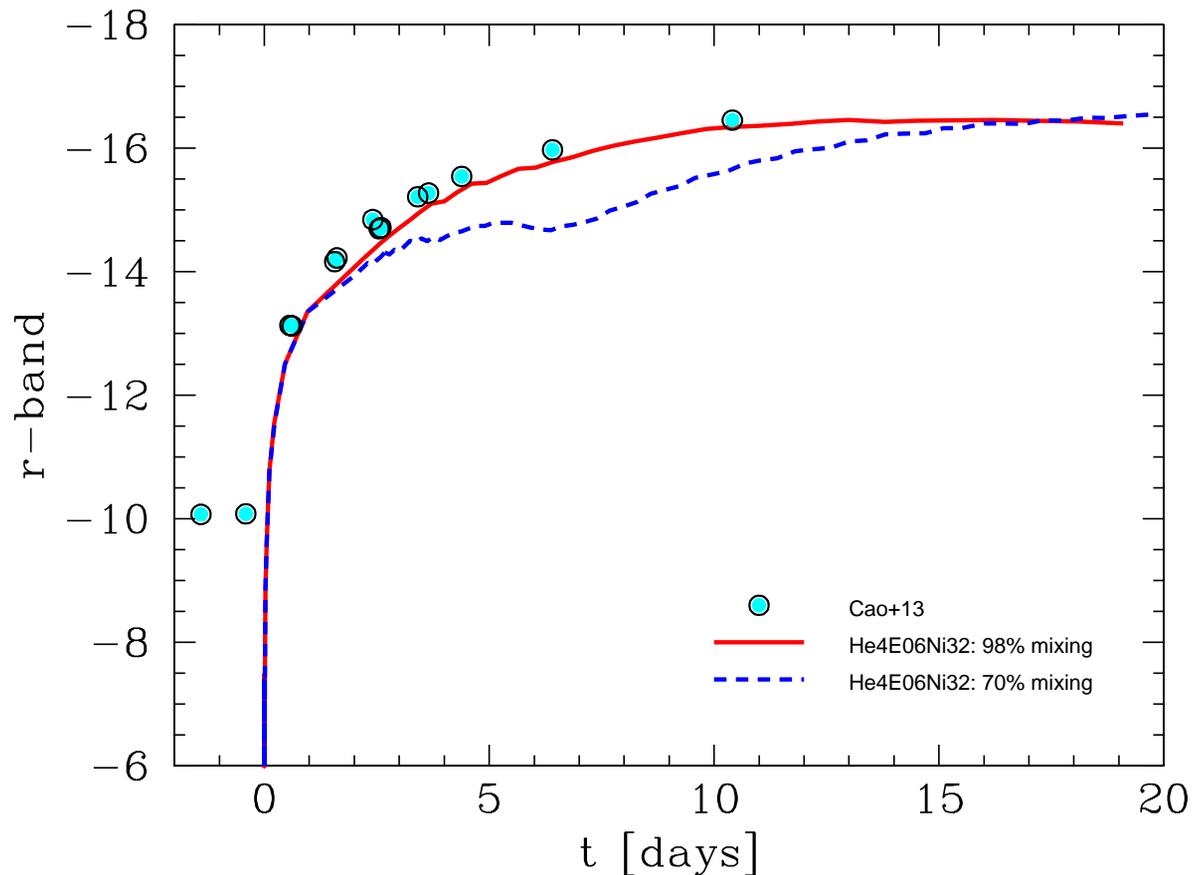
- Sin evidencia de un shock de enfriamiento $\Rightarrow R \approx R_{\odot}$ (Cao+13) ?
- Probamos envolturas de diferentes radios en el modelo He4
- **Son posibles** progenitores con $R < 150R_{\odot}$
- Aún con t_{exp} conocido a menos de ≈ 1 día, R no está bien determinado
 \Rightarrow Serían necesarias muchas observaciones por noche !



Cao+13

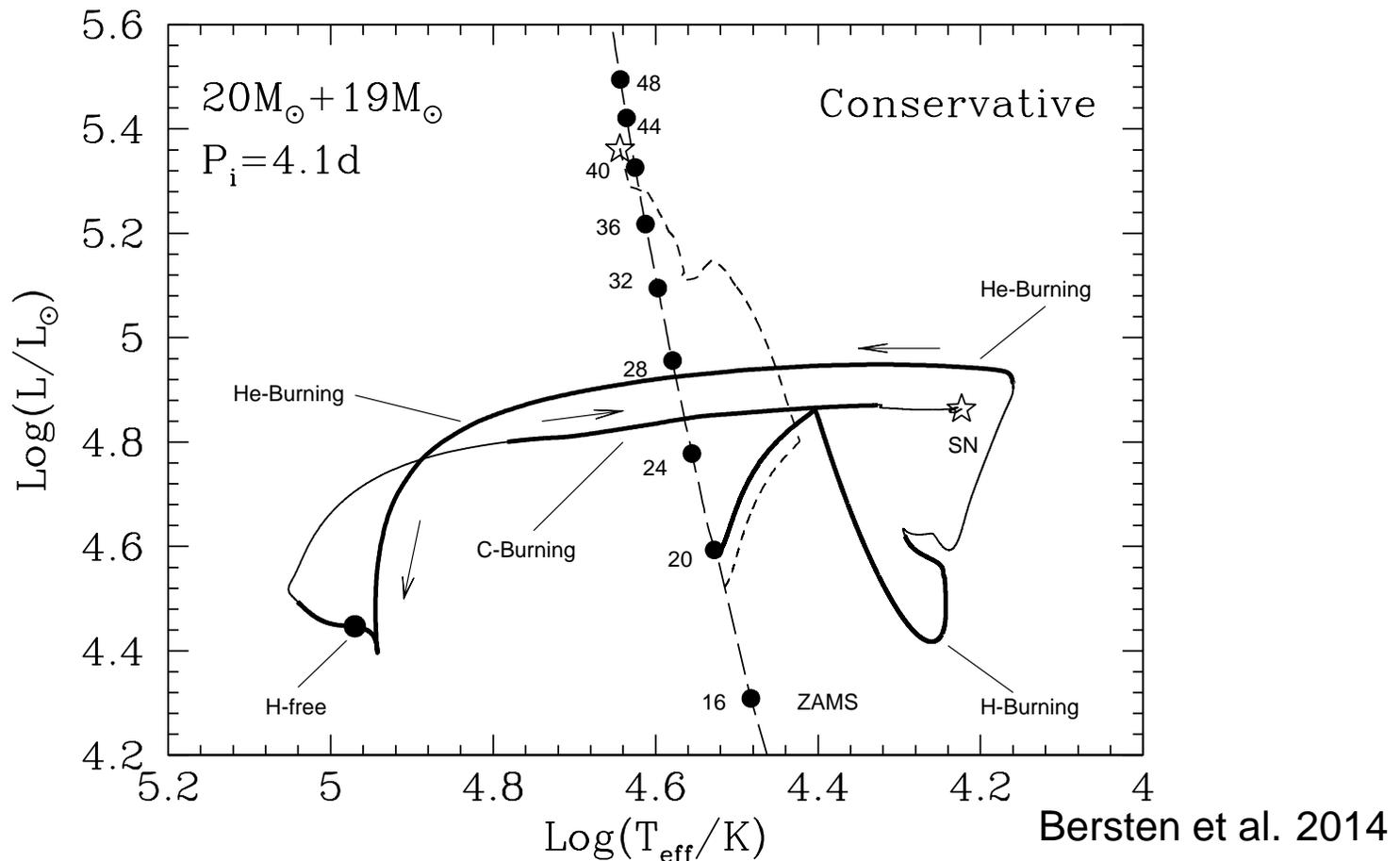
Radio del progenitor

- La curva de luz en la banda R es sensible a la distribución de ^{56}Ni :
 - Una mezcla extrema de ^{56}Ni da una curva de luz suave
 - Menos mezcla da un máximo inicial



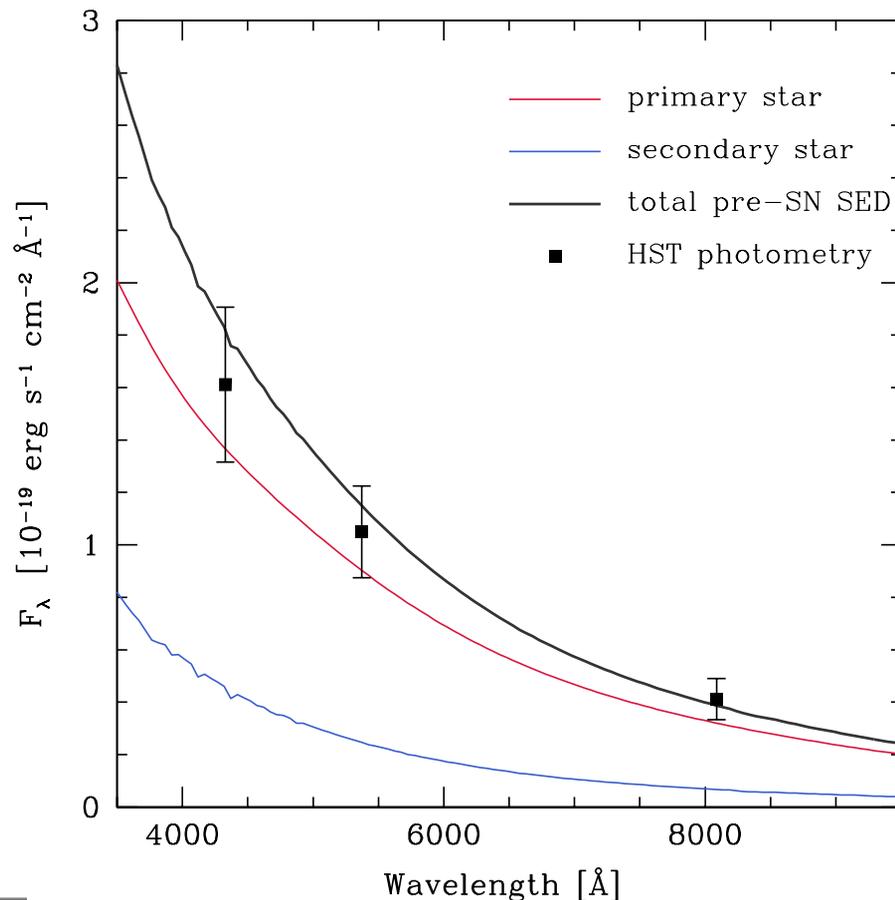
iPTF13bvn: Evolución binaria

- Cálculos de evolución binaria (Benvenuto & De Vito 2003)
- La estrella primaria (donora) explota con una masa de núcleo de He de $\approx 3.7 M_{\odot}$, $R \approx 32 R_{\odot}$ y **sin H**
- La compañera es muy luminosa y está sobre **la sec. ppal.**



Comparación con la fotometría pre-SN

- Nuestra configuración es compatible con las observaciones del HST
- La estrella **Primaria** domina el flujo en el óptico
- La compañera es muy caliente y débil



La **compañera** esta ccerca de la ZAMS con una luminosidad en el rango

$$4.6 \lesssim \text{Log}(L_2^f/L_\odot) \lesssim 5.6$$

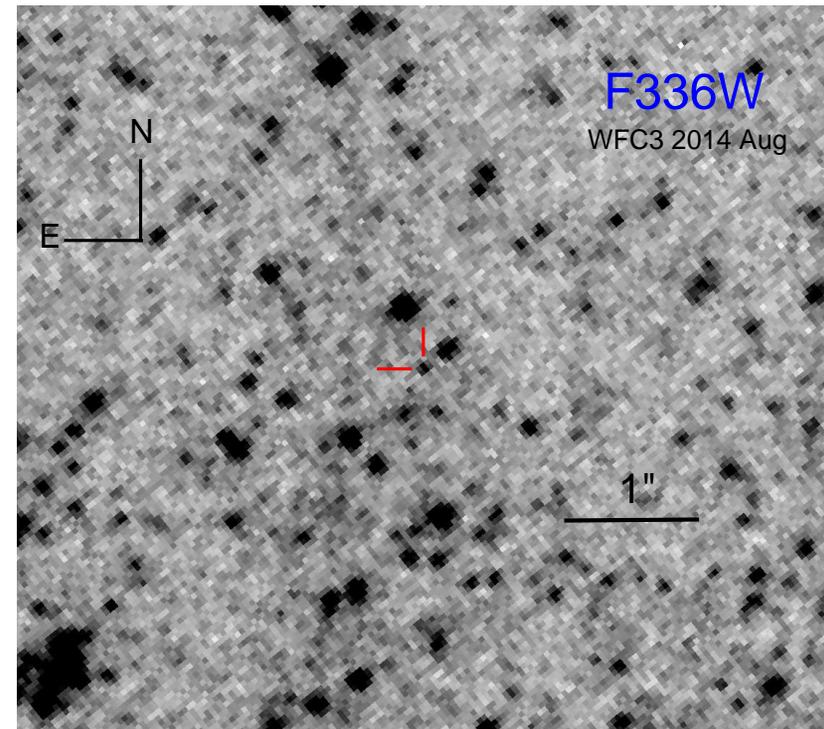
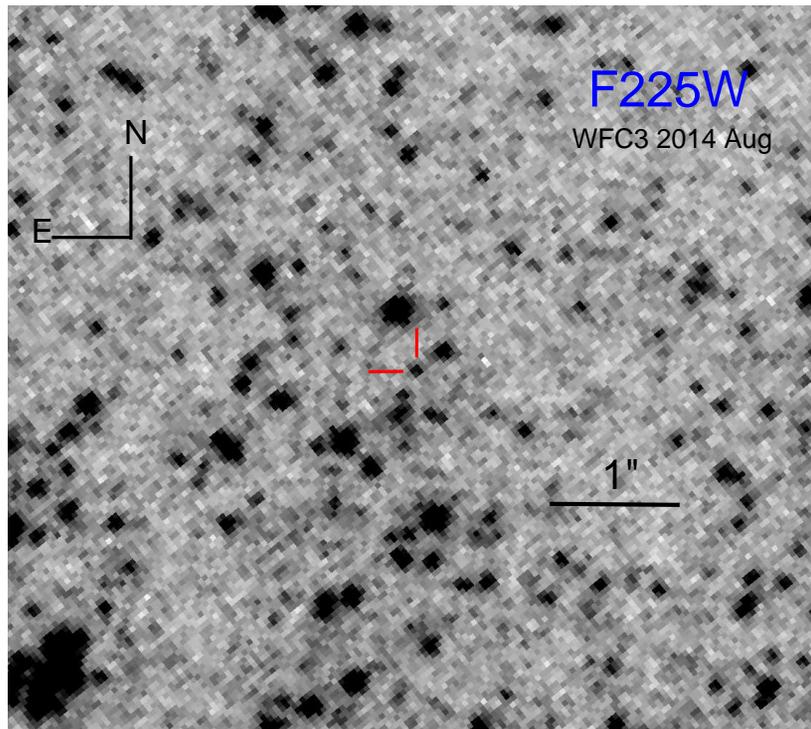
Tiempo en el HST en el Cycle 22

Resumen

- **Modelos hidrodinámicos** de iPTF13bvn
 - Modelos con masa de núcleo de He $\approx 3.5M_{\odot}$, $E_{\text{exp}} = 7 \times 10^{50}$ erg y $M_{\text{Ni}} = 0.1M_{\odot}$ reproduce muy bien las the observaciones
 - Progenitores extendidos ($R < 150R_{\odot}$) son consistentes con la curva de luz temprana \implies se requiere de **muchas** observaciones por **noche** para distinguir entre estructuras compactas y extendidas
 - Masas del núcleo de He $\gtrsim 8 M_{\odot}$ ($M_{\text{inicial}} \gtrsim 25M_{\odot}$) están descartadas \implies **progenitor aislado altamente improbable**
- **Modelos de evolución binaria** de iPTF13bvn
 - Explican la fotometría pre-SN como así también las propiedades observadas de esta SN
 - Predices la existencia de una **estrella compañera muy caliente**
- iPTF13bvn podría representar **la primera identificación robusta** de un progenitor de SN **libre de H**

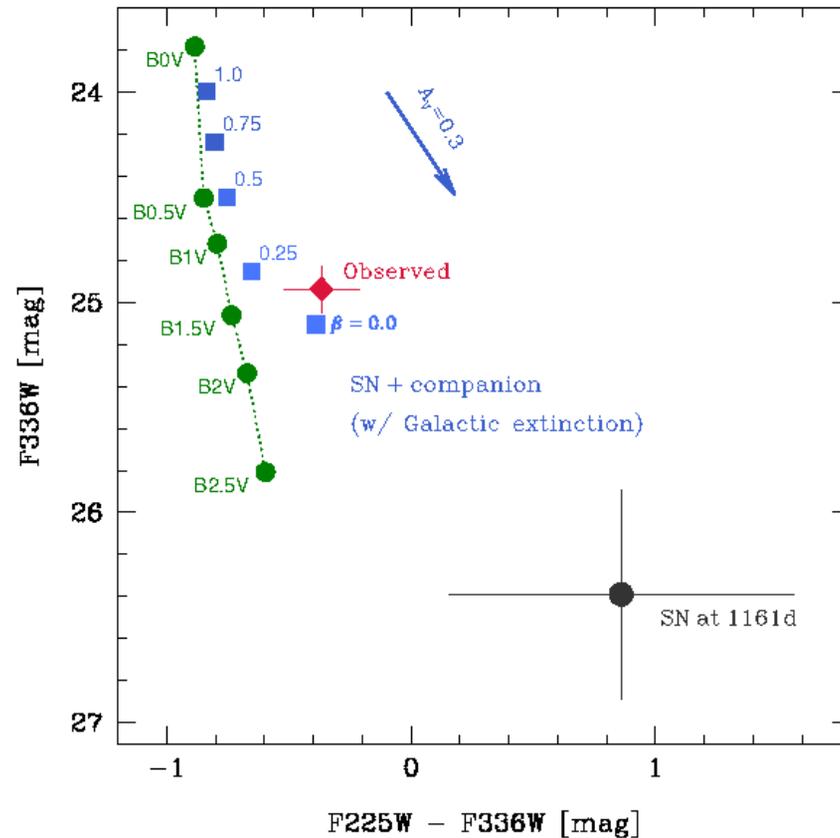
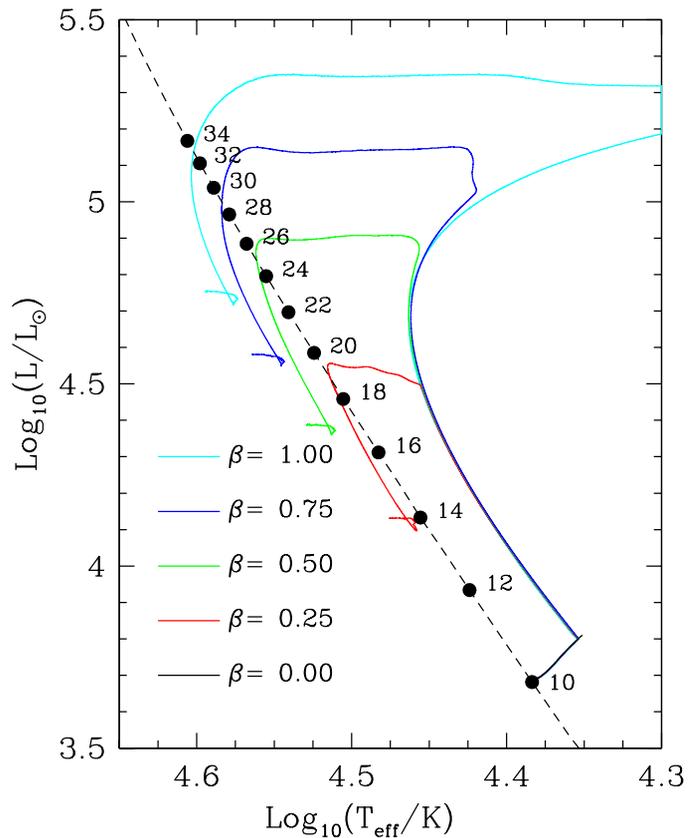
SN 2011dh: La compañera azulada

- Objeto detectado en imágenes del **HST** del 08/08/2014 en los filtros F225W y F336W en la posición de la SN 2011dh (ATel 6375)
- Brillo UV y colores compatibles con las **predicción** de una **compañera caliente** según modelos binarios (Bersten+12, Benvenuto+13)



Folatelli, Bersten, Benvenuto, et al. ApJL a ser publicado.

SN 2011dh: La compañera azulada



Benvenuto, Bersten, Nomoto. ApJ 762, 64 (2013)

Folatelli, Bersten, Benvenuto, et al. ApJL a ser publicado.