

SN2023ixf: lecciones de una supernova cercana

M. Orellana^{1,2}, M.C. Bersten^{3,4}
 G. Folatelli^{3,4}, M. P. Piccirilli^{2,4}
 T. Regna^{3,4}, L.M. Román Aguilar^{3,4}
 K. Ertini^{3,4}, A. Méndez^{3,4}
 & L. Ferrari^{3,4}

S.O.S. - Supernova Observations and Simulations

<https://sos.fcaglp.unlp.edu.ar>



¹ Laboratorio de Investigación Científica en Astronomía, UNRN ² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET) ³ Instituto de Astrofísica de La Plata (IALP-CONICET/UNLP) ⁴ Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP

Las curvas de luz (CL) teóricas de las supernovas han demostrado ser sensibles a la física de la estrella que explota, su historial de pérdida de masa tardía, la energía de la explosión y otros factores bien establecidos, aunque restringir los parámetros es a menudo una tarea desafiante. Usamos simulaciones hidrodinámicas 1D para estudiar un rico conjunto de datos fotométricos de una de las supernovas de tipo II más cercanas descubiertas en las últimas décadas: SN2023ixf en M101, a 6.9 Mpc.

Debido a su proximidad, SN2023ixf ha atraído la atención de toda la comunidad y ha desencadenado extensas observaciones por parte de astrónomos profesionales y aficionados por igual. Recientemente publicamos el cálculo de la luminosidad bolométrica en dos pasos separados. Para modelar los datos aplicamos el código 1D de Bersten et al. (2011).

Curva de luz temprana: los primeros 20 días

La interacción entre la eyecta y el material circunestelar (*CSM* por su sigla en inglés) es crucial en estas fases tempranas. En Martínez et al. (2024) presentamos un análisis de los primeros ~ 20 días de evolución de la curva de luz bolométrica, $L_{\text{bol}}(t_{\text{obs}})$ se obtuvo a través de la integración del flujo observado que cubre las bandas ultravioleta, óptica e infrarroja cercana, y extrapolaciones de cuerpo negro para el flujo no observado. Nuestros cálculos detectaron el aumento repentino hasta la luminosidad y temperatura máximas, además de la caída posterior, mostrando un pico evidente. Esta es la primera vez que esta fase puede estimarse con precisión para una SN II.

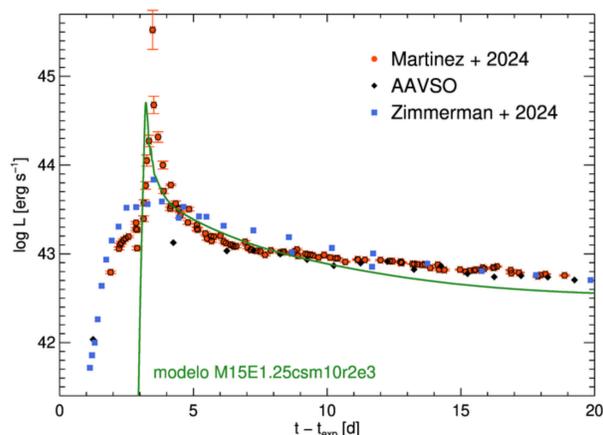


Fig 1: Parte de la exploración de parámetros para esta SN, incorporaba una interacción con material circunestelar. La publicación de Zimmerman et al. (2024) fue contemporánea.

El ajuste que se favoreció en Martínez et al. (2024) considera un viento acelerado, con parámetro $\beta \sim 5$. El que se muestra aquí, sin ese detalle, tiene un problema similar para explicar los datos más tempranos. Hasta unos 4 días en que la CL crece más lento de lo que predicen este tipo de modelos. La CL observada es sensible al método que se aplique (ver Figura 1). Para aprovechar los datos públicos de la American Association of Variable Star Observers (AAVSO) que seguían acumulándose con excelente cobertura temporal, optamos por el uso de calibraciones bolométricas más ampliamente conocidas en la literatura, como detallamos en Bersten et al (2024).

Ajuste a 100 días de datos

Cuando incorporamos un total de 100 días al estudio logramos un compromiso ligeramente diferente de los parámetros para que el modelo reproduzca la forma general de la CL. La incorporación de más datos nos permitió inferir la cantidad de material radiactivo. Los modelos pueden obtener algunas restricciones adicionales al contrastarse con la información de velocidades fotosféricas. En este estudio más amplio se analizaron espectros de WISerEP. Las velocidades se muestran en la Figura 2, junto con el mejor modelo obtenido de una grilla variando energías de la explosión, masa de ^{56}Ni y las condiciones iniciales (progenitores de distinta masa evolucionados con el código MESA). A épocas más tardías, la SN entra en fase nebulosa y el tratamiento radiativo que hace el código ya no es robusto. Se pueden realizar estudios observacionales diferentes, como el de la Figura 3. El cociente de flujos de $[\text{Ca II}]/[\text{O I}]$, en comparación con modelos de espectros nebulares, favorece una masa del progenitor de $M_{\text{ZAMS}} < 15 M_{\odot}$.

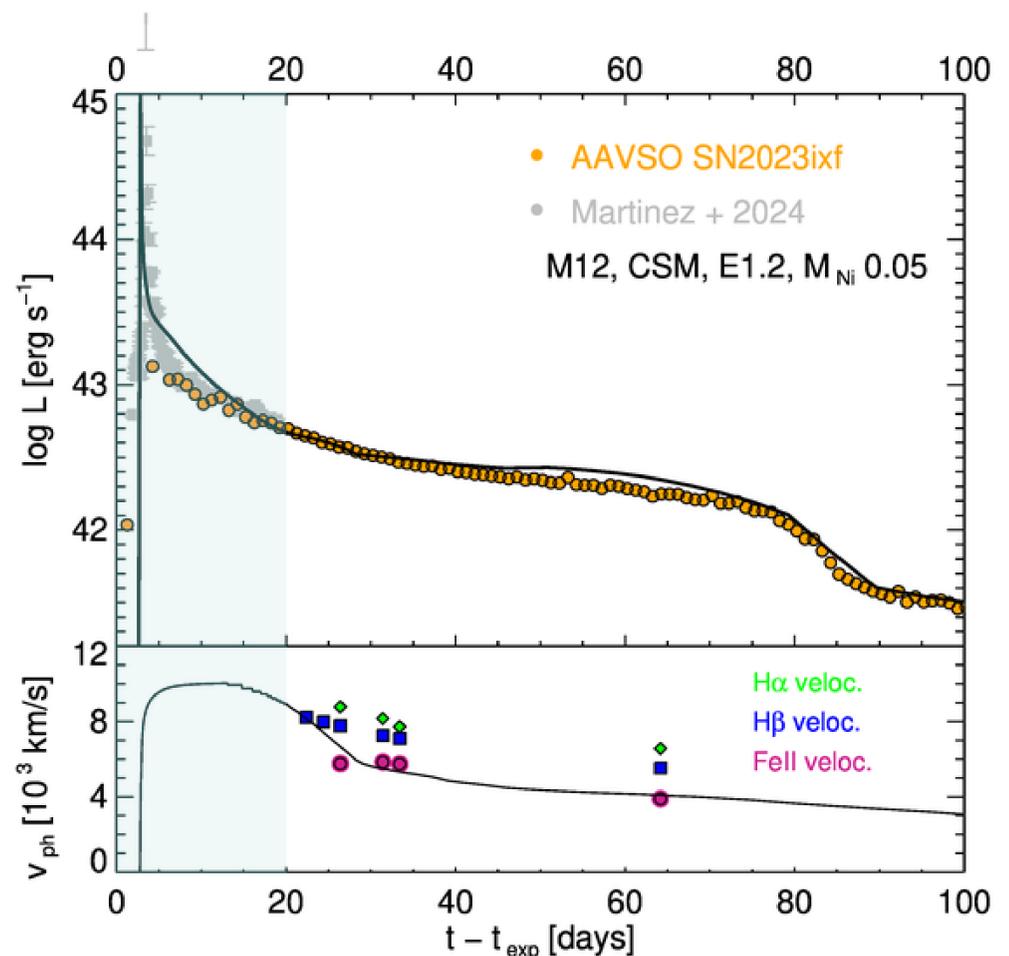
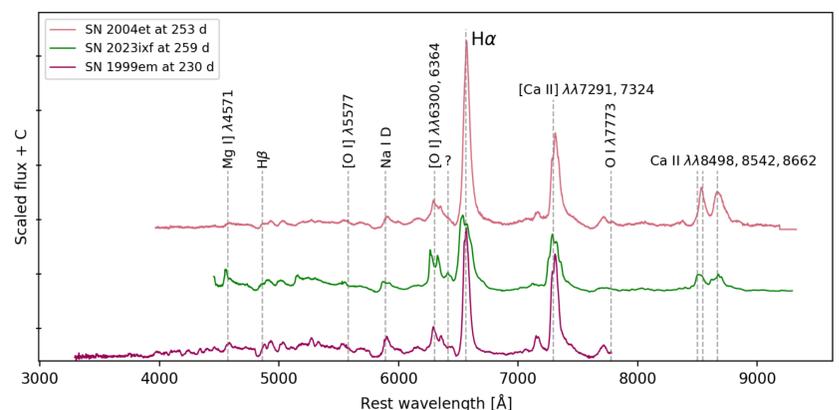


Fig 2: En Bersten et al. (2024) nos enfocamos en fases de la CL en las que el efecto del CSM ya no es dominante (dimos menos peso a la región sombreada), pero incluimos en nuestros modelos pre-SN la presencia de un viento de velocidad constante 10 km s^{-1} unido a la estructura estelar. Asumiendo que el mezclado del níquel es casi completo en el material eyectado, encontramos que los modelos que podían reproducir los 100 días de la CL tienen

$$M \lesssim 15 M_{\odot}, E_{\text{exp}} = 1,2 \times 10^{51} \text{ erg}, M_{^{56}\text{Ni}} = 0,05 M_{\odot}$$

Fig 3: Espectro nebuloso publicado por Ferrari et al. (2024)



Referencias

www.aavso.org | Bersten, M. C., Benvenuto, O., & Hamuy, M. 2011, ApJ, 729, 61 | Bersten, M. C., Orellana, M., Folatelli, G., et al. 2024, A&A, 681, L18 | Ferrari, L., Folatelli, G., Ertini, K., et al. 2024, A&A, 687, L20 | Martínez, L., Bersten, M. C., Folatelli, G., Orellana, M., Ertini, K. 2024, A&A, 683, 154 | Matsuoka, T. 2024, The Twelfth Pacific Rim Conference on Stellar Astrophysics, 536, 65 | Zimmerman, E. A., et al. 2024, Nature, 627, 759