

SUPERNOVAS, FAROS EN EL UNIVERSO: MEDICIÓN DE LA DISTANCIA A ASASSN-15hx

*Supernovas, lighthouses in the universe:
measuring the distance to ASASSN-15hx*

EPISTEMUS
ISSN: 2007-8196 (electrónico)
ISSN: 2007-4530 (impresa)

Ramona Núñez López¹
Diana Laura Pacheco Cabanillas²
Julio Saucedo Morales³
Pablo Loera González⁴
Lorenzo Olguín Ruíz⁵

Recibido: 23 de junio de 2016,
Aceptado: 25 de octubre de 2016

Autor de Correspondencia:
Dra. Ramona Núñez López
Correo: ramona.nunez@caborca.uson.mx

Resumen

Difícil pensar en un evento astronómico tan relevante y polifacético como la gigantesca explosión de supernova, que en breves segundos destruye su estrella, creando un gran número de elementos pesados. El inmenso brillo de las supernovas permite observarlas a enormes distancias, para así obtener información cosmológica. En este trabajo abordamos en general el tema de supernovas, enfocándonos luego al estudio de la supernova de tipo Ia ASASSN-15hx. Presentamos las observaciones realizadas en diferentes filtros y mostramos un método basado en el ancho de su curva de luz para estimar su distancia y corrimiento al rojo. Los valores obtenidos coinciden con información encontrada en la literatura y las incertidumbres obtenidas están dentro del rango de las encontradas con otros métodos.

Palabras clave: Supernovas, observación astronómica, distancia extra galáctica.

Abstract

It is hard to think of an astronomical phenomena as relevant and photogenic as the gigantic supernova explosion that in a few seconds destroys its own star, while creating a large number of heavy elements. The immense light of supernovae allows to observe them at enormous distances, making it possible to obtain cosmological information. In this paper we describe supernovae in general, focusing afterwards on the study of Type Ia supernova ASASSN-15hx. We present observations at different filters and show a based on the light curve method for to estimate its distance and redshift. The obtained values match with information found in the literature and the obtained uncertainties are in the range of those obtained with other methods.

Keywords: *Supernovae, astronomical observation, extragalactic distance.*

¹ Unidad Caborca, Universidad de Sonora / Correo: ramona.nunez@caborca.uson.mx
² Pasante. Departamento de Física, Universidad de Sonora / Correo: dianalaura-12@hotmail.com
³ DIFUS, Universidad de Sonora / Correo: jsaucedo@cifus.uson.mx
⁴ DIFUS, Universidad de Sonora / Correo: pabloloerag@gmail.com
⁵ DIFUS, Universidad de Sonora / Correo: lorenzo@astro.uson.mx



INTRODUCCIÓN

La “inmutabilidad del cielo” fue un paradigma aceptado por Aristóteles y otros pensadores de la antigüedad. No obstante, a través del tiempo, se observaban fenómenos astronómicos que lo ponían en duda. Diversas culturas, meticulosamente registraron “estrellas invitadas”. Algunas de éstas pudieron haber sido cometas o explosiones estelares. En muchos casos es difícil saber el tipo de objeto observado, pero hay 6 registros ahora conocidos como *supernovas históricas*, para los cuales hay evidencia inequívoca de su naturaleza por haberse encontrado una prueba tangible: su remanente de supernova [1]. Las supernovas históricas se descubrieron en 185, 1006, 1054, 1181, 1572 y 1604 D.C. Para denotarlas se escribe “SN” seguido del año de descubrimiento. Actualmente se observan cientos cada año, por lo que se añade una o varias letras en orden alfabético, de acuerdo al orden de descubrimiento. Las supernovas históricas ocurrieron en la Vía Láctea y no se ha observado otra en nuestra galaxia desde 1604. Ninguna supernova en la Vía Láctea ha sido observada por telescopio, cuyo uso astronómico comenzó en 1609.

supernovas históricas

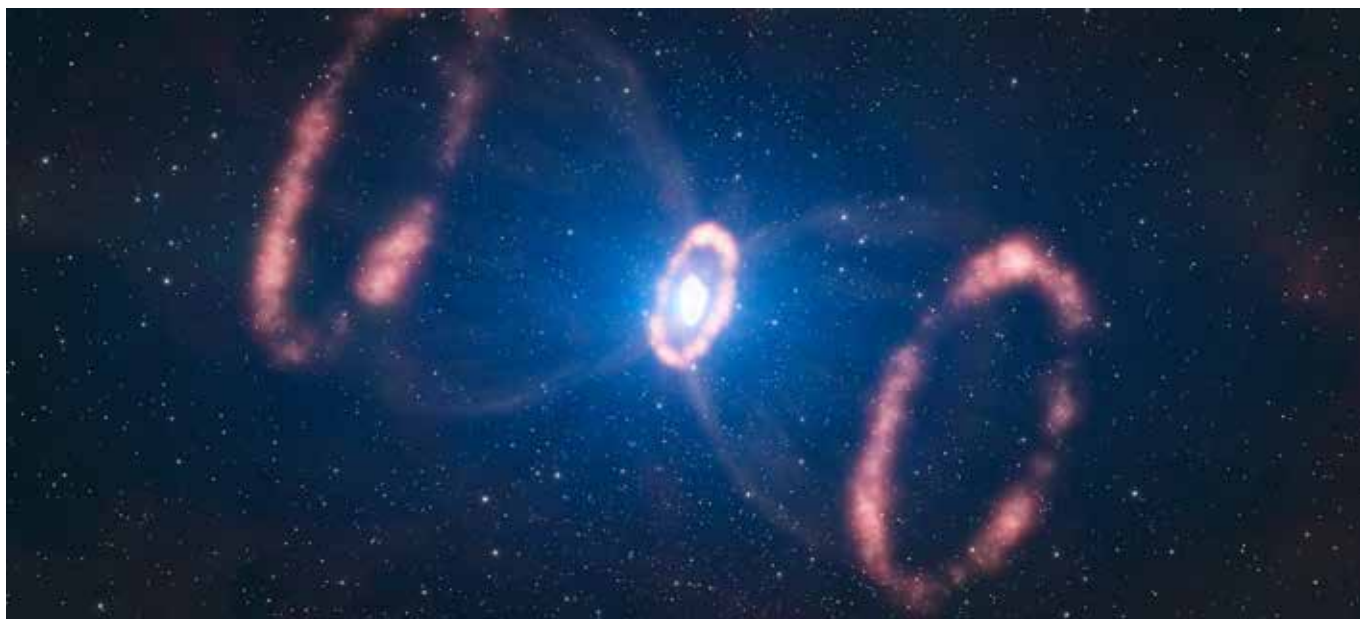
Las supernovas históricas nos enseñan mucho acerca de las propiedades básicas de las supernovas. La evolución en el brillo puede estudiarse *grosso modo* de los registros históricos. Por ejemplo, SN1006 fue descubierta en 1006 como un débil punto en la constelación del Lobo que fue aumentando de brillo ante los asombrados ojos del mundo (hay registros de China, Japón, Suiza, Egipto e Irak) hasta llegar a ser mucho más brillante que Venus [2, 3]. SN1572 fue estudiada por Tycho Brahe, motivo por el cual lleva su nombre. Dicha supernova se observó en Casiopea hasta 1574, llegando a ser visible incluso de día.

Treinta años después, aparece en Ofiuco la *supernova de Kepler*, llamada así por el estudio de Johannes Kepler. Esta supernova atrajo la atención de Galileo, quien al observar que permaneció fija respecto a las estrellas, concluyó que se trataba de un objeto nuevo en el cielo; argumento que utilizó para atacar la visión Aristotélica de la inmutabilidad e incorruptibilidad del cielo.

Históricamente, SN1054 ha sido una guía valiosa para aprender sobre remanentes de supernova. En 1731, John Bevis descubre una nube en Tauro, misma que fue redescubierta en 1758 por Charles Messier, quien la designa M1. Por su estructura filamentosa parecida a un cangrejo, se le conoce como la *Nebulosa del Cangrejo* (Figura 1). En 1929, Edwin Hubble, concluye que M1 es el remanente de la supernova que registraron los chinos en 1054.



Figura 1. Nebulosa del Cangrejo. Créditos: NASA, ESA, y J. Hester (Arizona State University).





En los pasados 412 años no se han visto supernovas galácticas, pero se sabe de al menos dos que hubieran podido ser vistas de no haber sido tan fuertemente oscurecidas por polvo interestelar en la Vía Láctea. Sabemos que fueron supernovas porque se descubrieron sus respectivas remanentes: Casiopea A, que hubiera sido vista en 1667, y G1.9+0.3, en Sagitario, en 1868. Además de éstas, se han encontrado remanentes de hace miles de años. Hay muchas más por descubrir, ya que se estima que cada siglo ocurren 2 supernovas en la Vía Láctea.

SUPERNOVAS EXTRAGALÁCTICAS Y EL ESTUDIO MODERNO DE LAS SUPERNOVAS

En 1885 Hatwik descubrió S Andromedae (SN1885A), la primera supernova extragaláctica [4]. Se determinó que la energía de S Andromedae era varios miles de veces superior [5] al de una nova (una nova clásica libera $\sim 10^{37}$ Joules durante la explosión mientras que una supernova la emite $\sim 10^{44}$ Joules), y que además, su espectro era muy distinto. Para diferenciar estas explosiones Baade y Zwicky acuñaron el nombre de supernova [6] y propusieron que se trataba de una etapa de transición de una estrella ordinaria en una de neutrones [7], objeto relativamente pequeño (10 a 20 km), con una masa enorme (de 1.4 a 5 masas solares). Otra contribución de Zwicky, fue iniciar la búsqueda sistemática de supernovas, logrando descubrir 19, incrementando en 150% el número de las que se conocían [8]. Actualmente se tiene registro de alrededor de 9000 [9].

Solamente una supernova ha sido visible a simple vista después de 1604: SN1987a (Figura 2). Fue descubierta en el Observatorio Las Campanas, Chile, por Shelton y Duhalde el 24 de febrero de 1987, en la Gran Nube de

Magallanes, galaxia satélite de la nuestra, a 168,000 años luz de distancia. Su cercanía no solo permitió obtener los datos más precisos de una supernova, sino algo más importante aún: la detección de neutrinos [10], crucial para comprender el mecanismo de colapso en supernovas [11].

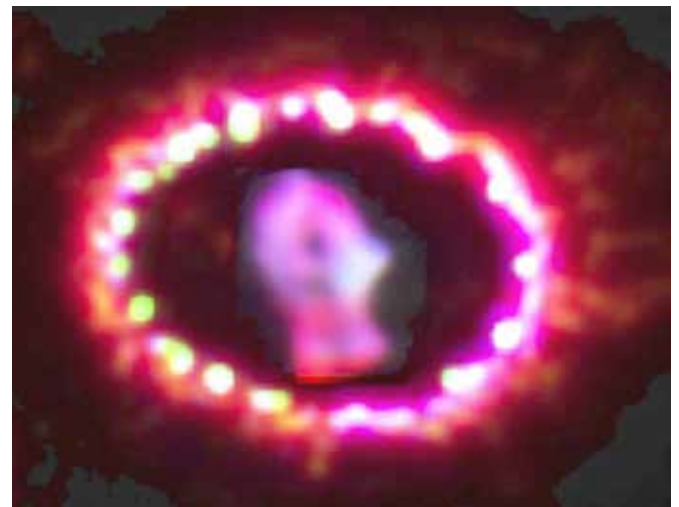


Figura 2. Remanente de la Supernova 1987a. Créditos: NASA, ESA, y P. Challis (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics).

clasificación de supernovas

Las supernovas se clasifican por las líneas de su espectro óptico [12], y por las propiedades de su curva de luz. Las SN I no exhiben líneas de hidrógeno, mientras que las SN II sí. Las SN I se subdividen en SN Ia, SN Ib y SN Ic. Las SN Ia se distinguen por mostrar una fuerte línea de absorción de

Si II 6150 Å en su espectro temprano, y multitud de líneas de hierro en el tardío [13]. Las SN Ib presentan He I 5863 Å, mientras que las SN Ic no presentan ni Si ni He (Figura 3). Aunque las curvas de luz de las SN I son similares, las SN Ib son 4 veces más débiles que las SN Ia. Por su parte, las SN II se subdividen de acuerdo a la forma de su curva de luz: SN II-L si es lineal o SN II-P si es plana. Entre éstas, las SN II-L muestran un comportamiento más parecido al de las SN I (Figura 4).

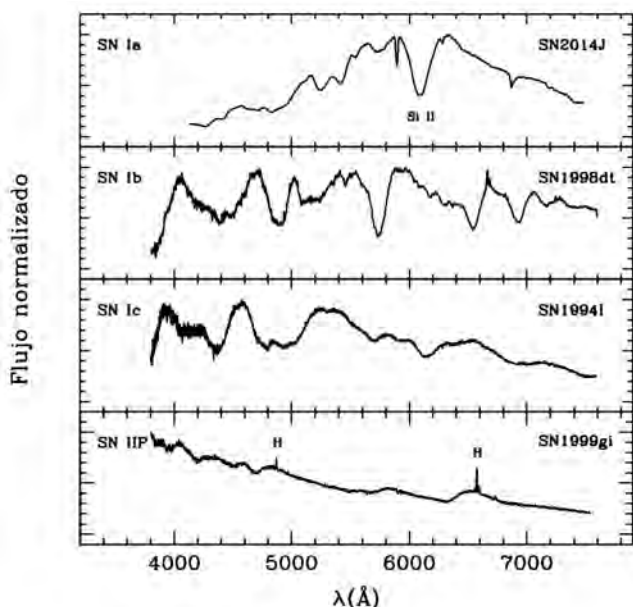


Figura 3. Espectros de supernovas. SN2014J fue observada por nuestro grupo (el 28 de enero de 2014, utilizando el telescopio de 2 m del Observatorio Astrofísico Guillermo Haro OAGH, equipado con el espectrógrafo Boller and Chivens y el detector CCD SITe), SN1998dt fue tomada de la base de datos UC Berkeley SN Database, SN1994i y SN1999gi fueron tomadas del CfA Supernova Archive.

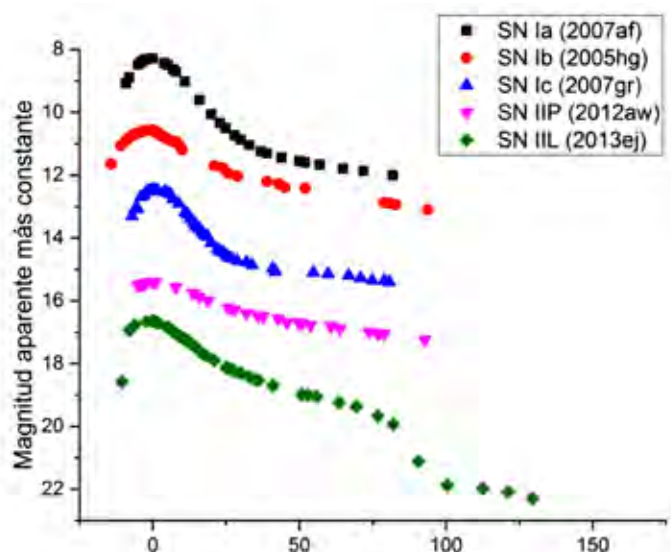


Figura 4. Curvas de luz de supernovas. Los datos para construir la curva de 2007af fueron tomados de [14], la de 2012aw de [15], la de 2005hg de [16], la de 2007gr de [17] y la de 2013ej de [18].

Las supernovas tipo Ia son las únicas que se observan en toda clase de galaxias. Las otras únicamente ocurren en brazos de galaxias espirales; es decir, en regiones de formación estelar reciente. Esto llevó a pensar que los progenitores de las SN Ia son objetos que pudieron haberse formado hace mucho tiempo, como es el caso de las enanas blancas.

MECANISMOS DE EXPLOSIÓN DE LAS SUPERNOVAS

Una nova es una explosión termonuclear en la superficie de una enana blanca, al caer material de una compañera en un sistema binario, en la cual no se destruye la enana blanca. La nova puede ser recurrente (el evento explosivo se repite) mientras la enana blanca siga recibiendo materia de su compañera. Algo muy distinto sucede cuando cae materia sobre la enana blanca y ésta supera la masa límite de Chandrasekhar: sobreviene una explosión termonuclear que la destruye totalmente. Este es el mecanismo que explica a las SN Ia [19]. Como su masa límite tiene un valor "fijo" de 1.4 masas solares, puede pensarse que su brillo intrínseco es constante, motivo por el cual se utilizan como "candelas estándar" (o más apropiadamente, estandarizables). Por esta razón, son útiles para obtener información cosmológica. Una prueba de esto fue el descubrimiento de que el Universo no sólo se expande sino que está acelerando su velocidad de expansión [20, 21].

Exceptuando a las de tipo Ia, las demás supernovas ocurren por colapso del núcleo en la etapa final de estrellas masivas, al convertirse su núcleo en hierro [22]. Del hierro ya no es posible obtener energía de fusión y la

estrella es incapaz de mantener el gradiente de presión necesario para soportar su peso. Ésta puede caer sin freno y convertirse en un agujero negro, o bien, encontrar algo sumamente denso que la hace rebotar, enviándola en un viaje sin retorno al espacio; convirtiéndose en remanente de supernova. En este último caso, queda además una estrella de neutrones que por su fuerte campo magnético puede manifestarse como un pulsar. A varios remanentes de supernova se les ha encontrado pulsar, siendo el más famoso de todos el de M1, encontrado en 1967 por F. Paccini, por lo que hoy sabemos que SN1054 fue de tipo II.

MÉTODO DE TRABAJO

Dada la importancia científica de las supernovas, hemos iniciado en la Universidad de Sonora programas de búsqueda, monitoreo fotométrico y espectroscópico de supernovas. En la figura 5 se muestra como ejemplo, la imagen de la supernova 2011dh tomada por nuestro equipo. En este trabajo presentamos un estudio de la curva de luz de la supernova tipo la ASASSN-15hx, llevado a cabo con infraestructura de la Universidad de Sonora. La principal motivación para este trabajo es adentrarnos en este campo de estudio.

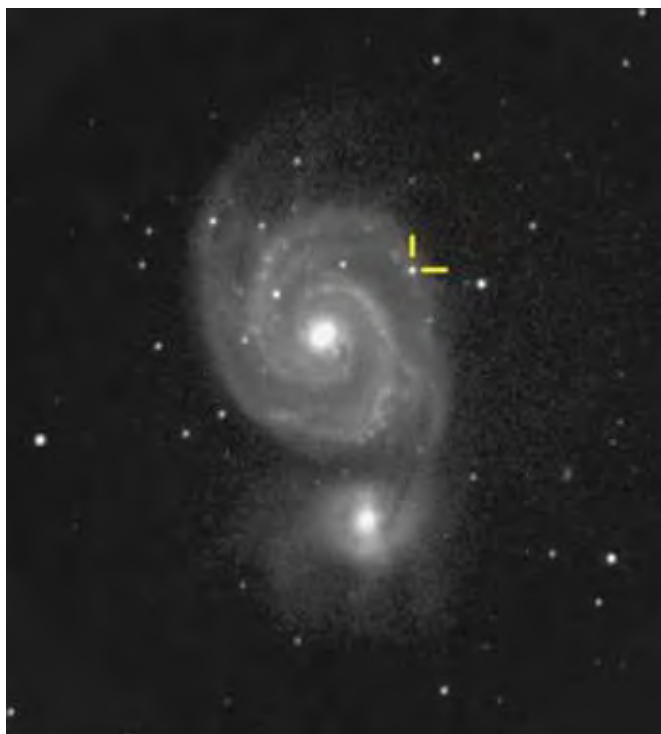


Figura 5. Supernova 2011dh en la galaxia M51. Imagen tomada desde el Observatorio Estelar Carl Sagan de la Universidad de Sonora.

La supernova ASASSN-15hx (*All-Sky Automated Survey for Supernovae*) fue descubierta por Dong et al. [23], el 26 de abril de 2015, en la galaxia GALEXASC J134316.80-313318.2, en la constelación de Centauro, usando

imágenes tomadas con un telescopio de 14 cm en Cerro Tololo, Chile; un día después fue clasificada como tipo Ia [24]. Las coordenadas del objeto son A.R. = 13 h 43 m 16.69 s (J2000) y DEC = $-31^{\circ}33'21.5''$ (J2000).

Efectuamos nuestras observaciones del 7 de mayo al 6 de julio de 2015 en el Observatorio Estelar Carl Sagan de la Universidad de Sonora, ubicado en el Departamento de Agricultura y Ganadería. Se utilizó un telescopio Meade LX200 SCT de 16 pulgadas, una cámara CCD Apogee Alta F9000 y filtros g' (472nm), e i' (769.8nm) de *Sloan Digital Sky Survey* (SDSS) y c (sin filtro). Se usó el software MaxIm para la captura de imágenes y datos de calibración. La bitácora de observaciones de ASASSN-15hx se presenta en la tabla 1. Debido a que los datos más completos que se obtuvieron fueron los de g' , se optó por hacer la curva de luz únicamente para este filtro.

Tabla 1. Bitácora de Observación para ASASSN-15hx. Tiempo de exposición: 4s para los filtros g' y c , 40s para i' . En la última columna, B se refiere a condiciones de observación buenas y R a condiciones de observación regulares.

| Fecha | Día Juliano | | Condiciones de observación |
|------------|-------------|-------------|----------------------------|
| 06/05/2015 | 2457149 | c, g', i' | B |
| 09/05/2015 | 2457152 | c, g', i' | R |
| 11/05/2015 | 2457154 | c, g', i' | B |
| 14/05/2015 | 2457157 | c, g', i' | R |
| 17/05/2015 | 2457160 | c, g', i' | B |
| 18/05/2015 | 2457161 | g', i' | B |
| 24/05/2015 | 2457167 | c, g' | B |
| 27/05/2015 | 2457170 | g' | R |
| 10/06/2015 | 2457184 | c, g' | B |
| 15/06/2015 | 2457189 | c', g' | B |
| 06/07/2015 | 2457210 | c, g', i' | B |

La fotometría astronómica es la técnica que se utiliza para medir el brillo de los cuerpos celestes, lo cual generalmente se hace en término de magnitudes (la magnitud es una medida inversa del brillo: a menos brillo mayor magnitud y viceversa). En este trabajo la fotometría se hizo con el software CCDSoft, usando estrellas de referencia elegidas de la base de datos Simbad [25], no variables y con magnitud g' publicada. A la curva de variación de la magnitud aparente como función del tiempo se le conoce como curva de luz.

Debido a que la galaxia que hospeda a la supernova ha sido poco estudiada, no se conocen datos de su distancia, sólo se ha reportado que se trata de una galaxia cercana con $z < 0.01$ [26], siendo z el corrimiento al rojo. El corrimiento al rojo es la diferencia relativa entre la longitud

de onda de la luz emitida por el objeto y la recibida en el detector (debido a la expansión del Universo)

$$z = (\lambda - \lambda_0)/\lambda_0 \quad (1)$$

y es una medida de qué tan rápido se aleja dicho objeto. La relación entre la velocidad de recesión v de la galaxia y z está dada por [27]:

$$\frac{v}{c} = \frac{(z + 1)^2 - 1}{(z + 1)^2 + 1} \quad (2)$$

donde c es la velocidad de la luz. Para una galaxia cercana, ésta se reduce a:

$$v = cz \quad (3)$$

Como se mencionó anteriormente, más que candelas estándar, las supernovas resultan ser candelas estandarizables ya que su brillo no es exactamente el mismo, sino que varía ligeramente. En 1993, Phillips [28], trabajando en los filtros de banda ancha del sistema de *Johnson B, V e I*, encontró una relación entre la forma de la curva de luz de una supernova tipo Ia y su magnitud absoluta en el máximo. Siguiendo su método, Pacheco-Cabanillas et al. [29] determinaron una relación similar en el filtro g' del sistema *SDSS*, dada por:

$$M_{max}(g') = -19.89 + 0.76 \Delta m_{15}(g') \quad (4)$$

donde $M_{max}(g')$ es la magnitud absoluta de la supernova en g' y $\Delta m_{15}(g')$ es el cambio de magnitud aparente entre el máximo y quince días después. Podemos ver de la ecuación (4) que las supernovas débiles decaen más rápidamente que las más luminosas.

A partir de la curva de luz de ASASSN-15hx se determinó su $\Delta m_{15}(g')$ y se hizo una estimación de su magnitud absoluta mediante la ecuación (4). Teniendo sus magnitudes aparente y absoluta (e ignorando la presencia de polvo) se puede calcular su distancia a partir de

$$M = m + 5 - 5 \log(d) \quad (5)$$

donde d es la distancia, M la magnitud absoluta y m la magnitud aparente. Una vez conocida la distancia y teniendo en cuenta que se trata de una supernova cercana, se puede utilizar la ley de Hubble

$$v = H_0 d \quad (6)$$

es decir

$$cz = H_0 d \quad (7)$$

para determinar su corrimiento al rojo. En la ecuación (7) c es la velocidad de la luz y H_0 la constante de Hubble.

RESULTADOS

En la figura 6 podemos ver la curva de luz obtenida para ASASSN-15hx. El tiempo se reporta en días Julianos en el eje horizontal. En el eje vertical se muestra la magnitud aparente de la supernova, obtenida como la mediana de las observaciones de cada noche. Los puntos son las observaciones y la línea continua un ajuste polinomial de los datos, el cual es bueno para los primeros 30 días, con un coeficiente de correlación de 0.99. Los errores son tan pequeños para las primeras observaciones que sólo se distinguen las barras de error en los últimos dos puntos. El ajuste deja de ser bueno al final donde se ve que empieza a subir en JD2457200 aproximadamente, mientras que en realidad el brillo sigue cayendo. En este trabajo es la primera parte de la gráfica la que nos interesa.

A partir de la curva de luz se obtiene $\Delta m_{15}(g') = 0.67 \pm 0.06$, e introduciendo este valor en (4) se encuentra que su magnitud absoluta es $M_{max}(g') = -19.37 \pm 0.20$. Con este dato y despejando de la ecuación (5) se obtiene una distancia $d = 39 \pm 4$ Mpc. Por último, y tomando un valor de $H_0 = 72$ km/s/Mpc [30], se obtiene un corrimiento al rojo $z = 0.009 \pm 0.0008$ compatible con la estimación antes mencionada.

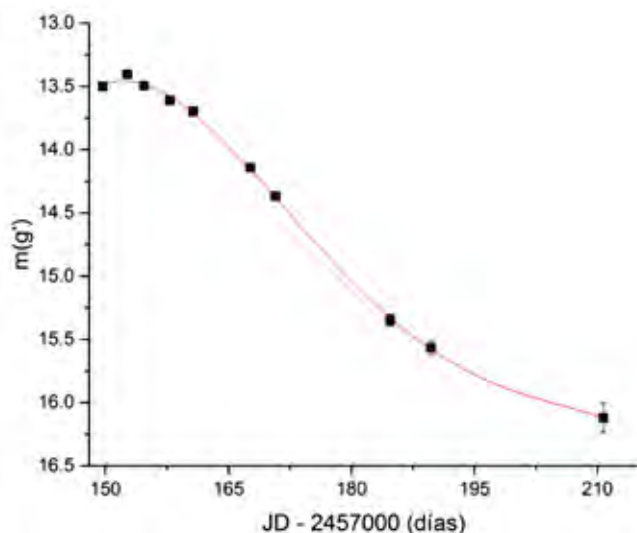


Figura 6. Curva de luz de ASASSN-15hx.

CONCLUSIONES

Los datos reportados en este trabajo complementan la información existente sobre ASASSN-15hx y contribuyen a la determinación de su luminosidad en el filtro g' .

Si bien el cálculo mostrado aquí es una primera aproximación para la estimación de los parámetros de la supernova ASASSN-15hx, ya que se trata de una supernova cercana y por lo tanto debe tenerse en cuenta su movimiento peculiar, mostramos de qué forma podemos estimar parámetros de supernovas que estén dentro del flujo de Hubble, a partir de imágenes tomadas con nuestros equipos.

La observación y seguimiento de ASASSN-15hx nos muestra que es posible implementar un programa de búsqueda, monitoreo y análisis de supernovas con equipo relativamente modesto, como el que posee la Universidad de Sonora. El plan en el futuro cercano es implementar un programa automatizado y remoto que nos permita ampliar la recolección de datos logrando una mayor eficiencia en la función de patrullaje del equipo de observación.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue apoyado con recursos financieros del Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP) de la Secretaría de Educación Pública (SEP).

BIBLIOGRAFÍA

- [1] F. Zhao, R. Strom and S. Jiang, "The Guest Star of AD185 must have been a supernova," *Chinese J. of Astron. And Astrophysics*, vol. 6, no. 5, pp. 635-640, 2006.
- [2] F. Gardner and D. Milne, "The Supernova of AD 1006," *AJ*, vol. 70, p. 754, 1965.
- [3] F. Stephenson, D. Clark, and D. Crawford, "The Supernova of AD 1006," *MNRAS*, vol. 180, pp. 567-584, 1977
- [4] R. Fesen, J. Saken and A. Hamilton, "Discovery of the Remnant of S Andromedae (SN 1885) in M31," *ApJ*, vol. 341, pp. L55-L57 341, 1989.
- [5] W. Baade, "The Absolute Photographic Magnitude of Supernovae," *ApJ*, vol. 88, p. 285 1938.
- [6] D. Osterbrock, "Who Really Coined the Word Supernova? Who First Predicted Neutron Stars?," *Bulletin of the American Astronomical Society*, vol. 33, p. 1330, 2001.
- [7] W. Baade and F. Zwicky, "On Super-novae," *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, vol. 20, no. 5, pp. 254-259, 1934.
- [8] A. Burrows, "Baade and Zwicky: Super-novae, Neutron Stars and Cosmic Rays," *Poc. Natl. Acad. Sci. USA*, vol. 112, no. 5, pp. 1241-1241, 2015.
- [9] IAU Central Bureau for Astronomical Telegrams, "List of Supernovae," 2016 [En línea], Disponible en: <http://www.cbat.eps.harvard.edu/lists/Supernovae.html>.
- [10] J. Bahcall, A. Dar and T. Piran, "Neutrinos from the recent LMC Supernova," *Nature*, vol. 326, pp. 135-136, 1987.
- [11] K. Hirata, T. Kajita, M. Koshiba, M. Nakahata, Y. Oyama et al., "Observation of a Neutrino Burst from the Supernova SN1987A," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 58, no. 14, pp. 1490 - 1493, 1987.
- [12] R. Minkowski, "Spectra of Supernovae," *PASP*, vol. 53, no. 314, p. 224, 1941.
- [13] R. Minkowski, "The Spectra of the Supernovae in IC 4182 and in NGC 1003," *ApJ*, vol. 89, p. 156, 1939.
- [14] Carnegie Supernova Project [En línea], Disponible en: csp.obs.carnegiescience.edu.
- [15] S. Bose, B. Kumar, F. Sutaria, B. Kumar, R.Roy et. al, "Supernova 2012aw. A high-energy clone of archetypal Type IIP SN 1999em," *MNRAS*, vol. 433, pp. 1871-1891, 2013.
- [16] F. Bianco, M. Modjaz, M. Hicken, A. Friedman, R. Kirshner et. al, "Multi-color Optical and Near-Infrared Light Curves of 64 Stripped-envelope Core-Collapse Supernovae," *ApJS*, vol. 213, no. 2, p. 21, 2014.
- [17] J. Chen, X. Wang, M. Ganeshalingam, J. Silverman, A. Filippenko et. al, "Optical Observations of the Type Ic Supernova 2007gr in NGC 1058 and Implications for the Properties of its Progenitor," *ApJ*, vol. 790, no. 2, p. 14, 2014.
- [18] F. Yuan, A. Jerkstrand, S. Valenti, J. Sollerman, I. Seitenzahl et. al, "450 Days of Type II SN 2013ej in Optical and Near-Infrared," *MNRAS* [En línea], Disponible en: mnras.oxfordjournals.org, 2016.
- [19] K. Nomoto, H. Yamaoka, T. Shigeyama and K. Iwamoto, "Type IA Supernovae: Mechanisms and Nucleosynthesis," in *Supernovae and Supernova Remnants: IAU Colloquium 145*, R. McCray and Z. Wang Eds. Cambridge University Press, 1996, p. 49.
- [20] A. Riess, A. Filippenko, P. Challis, A. Clocchiatti, A. Diercks et al. "Observational Evidence from Supernovae for an Accelerating Universe and a Cosmological Constant," *AJ*, vol. 116, no. 3, pp. 1009-1038, 1998.
- [21] S. Perlmutter, G. Aldering, G. Goldhaber, R. Knop, P. Nugent et al. "Measurements of Ω and Λ from High-Redshift Supernovae," *ApJ*, vol. 517, no. 2, pp. 565-586, 1999.
- [22] R. Kirshner, *The Extravagant Universe: Exploding Stars, Dark Energy and the Accelerating*, 2nd ed. Princeton University Press, 2003.
- [23] The Astronomer's Telegram, "ASAS-SN Discovery of A Bright Probable Supernova in a Galaxy with Unknown Redshift," 2015 [En línea]. Disponible en: <http://www.astronomerstelegam.org/?read=7447>.
- [24] The Astronomer's Telegram, "PESSTO Spectroscopic Classification of Optical Transients," 2015 [En línea]. Disponible en: <http://www.astronomerstelegam.org/?read=7452>.
- [25] M. Wenger, F. Ochsenbein, D. Egret, P. Dubois, F. Bonnarel et. al., "The SIMBAD astronomical database. The CDS reference database for astronomical objects," *A&AS*, vol. 143, pp. 9-22, 2000.
- [26] S.J. Smartt, S. Valenti, M. Fraser, C. Insnerra, D.R. Young, et.al, "PESSTO: survey description and products from the first data release by the Public ESO Spectroscopic Survey of Transient Objects," *A&A*, vol. 579, pp. 40-65, 2015.
- [27] B. Carroll & D. Ostlie, *An introduction to Modern Astrophysics*, Pearson Addison-Wesley, 2007.
- [28] M. Phillips, "The Absolute Magnitudes of Type Ia Supernovae," *ApJ*, vol. 413, no. 2, pp. L105-L108, 1993.
- [29] D. Pacheco-Cabanillas and R. Núñez-López, "Magnitudes Absolutas de Supernovas Tipo Ia," sin publicar.
- [30] W. L. Freedman, B.F. Madore, B.K. Gibson, L. Ferrarese, D.D. Kelson, et.al., "Final results from The Hubble space telescope key project to measure the Hubble constant," *ApJ*, vol. 553, pp. 47-72, 2001.

