

OBSERVACIONES DE NOVAS CON EL TELESCOPIO TIGRE

Dennis Jack ^{a,*}

^a Departamento de Astronomía, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato, Callejón de Jalisco S/N, Valenciana, C.P. 36023, Guanajuato, Guanajuato, México. dennis.jack@ugto.mx

Resumen

Los astrónomos en la antigüedad notaron la repentina aparición de nuevas estrellas en el cielo. Estos eventos se conocen ahora como novas clásicas. Son eventos espectaculares causados por una explosión termonuclear en la superficie de una enana blanca. Existen diferentes tipos de novas: clásica, cortas, largas, y recurrentes. La física detrás de estos eventos es todavía no completamente entendida. Se requieren de más observaciones y modelaciones. Con el telescopio TIGRE de la UG hemos observado seis novas de diferentes tipos. La ventaja de este telescopio es su alta resolución espectral, que permite estudiar a más detalle las líneas espectrales de las novas. Se han obtenido en total 182 espectros. Hemos analizado los espectros y detectamos variaciones en los perfiles de las líneas y notamos que éstas son relacionadas con la curva de luz. Con estos resultados esperamos contribuir para entender la física y los detalles de los eventos espectaculares de novas.

Palabras clave: Astrofísica; Novas clásicas; Espectroscopía; Telescopios ópticos;

OBSERVATIONS OF NOVAE WITH THE TIGRE TELESCOPE

Abstract

Ancient astronomers noted the sudden appearance of new stars in the sky. These events are now known as classical novae. They are spectacular events caused by a thermonuclear explosion on the surface of a white dwarf. There are different types of novae: classical, short, long, and recurrent ones. The physics behind these events is still not fully understood. Further observations and modeling are required. With the TIGRE telescope at the UG, we have observed six novae of different types. The advantage of this telescope is its high spectral resolution, which allows for a more detailed study of the spectral lines of the novae. A total of 182 spectra have been obtained. We have analyzed the spectra and detected variations in the line profiles, noting also that these are related to the light curve. With these results, we hope to contribute to the understanding of the physics and details of the spectacular novae events.

Keywords: Astrophysics; Classical Novae; Spectroscopy; Optical Telescopes;

1. Introducción

La astronomía es la ciencia más antigua de la humanidad. El cielo fue ya observado regularmente por las civilizaciones antiguas como, por ejemplo, los árabes o los chinos. La astronomía china tiene una historia de más de 3000 años. En esas épocas, los observadores del cielo notaron la aparición de nuevos objetos brillantes en el firmamento. Ellos pensaban que estos eventos representaban la formación de una nueva estrella en el cielo. Como ejemplo, en los registros de los observadores chinos se pudieron identificar un total de 90 novas observadas (Xi, 1955). Después, los observadores europeos también notaron esas apariciones de nuevas estrellas y las nombraron en latín “stella nova”. Sin embargo, se dieron cuenta que había eventos muy brillantes y otros no tan brillantes, por lo que dividieron estos eventos en dos grupos de supernovas y novas.

En este artículo estudiaremos en detalle las novas. Las novas realmente no son la formación de una nueva estrella, sino la explosión termonuclear de una capa de hidrógeno acumulada en la superficie de una enana blanca. Aunque se tiene conocimiento de los principios físicos de una explosión como nova, todavía falta entender los detalles

de la explosión y explicar también las observaciones durante las fases posteriores a la explosión.

Para ello es importante encontrar y observar más novas. Un aspecto importante para entender mejor los eventos de novas son observaciones de espectros con alta resolución espectral y observados durante las diferentes fases de la nova.

En esta publicación hablaremos de los conocimientos actuales sobre las novas y presentaremos las observaciones que se han obtenido con el telescopio TIGRE del Departamento Astronomía de la DCNE de la Universidad de Guanajuato (Schmitt y col., 2014; González-Pérez y col., 2022).

2. Novas

Las novas clásicas son eventos muy interesantes y en este capítulo revisamos el conocimiento actualmente sobre estos eventos y sus propiedades. Recomendamos revisar también las diferentes reseñas y libros que existen sobre estos objetos, como, por ejemplo, el libro de Novas Clásicas (Bode y Evans, 2008) o una reseña más actual sobre los recientes conocimientos (Chomiuk y col., 2021).

2.1. Clasificación

En la astrofísica, las novae son clasificadas como eventos cataclísmicos y, por ende, pertenecen a la clase de las estrellas variables cataclísmicas (CVs). Los diferentes eventos de novae tienen también su subclasificación. El grupo grande son las novae clásicas. Las novae generalmente se clasifican por el comportamiento de la curva de luz. La diferencia más importante son las novae rápidas y las novae lentas. Esto se determina por la rapidez del decaimiento de la curva de luz después del máximo. Se mide el tiempo que tarde la curva de luz para disminuir 2 magnitudes. Para las novae rápidas esto tarda alrededor de 25 días, mientras para las novae lentas esto puede tardar 80 o más días. Las novae de las cuales se han observado más que una explosión se llaman novae recurrentes.

2.2. La Explosión

Un evento de una nova clásica representa una explosión en la superficie de una estrella enana blanca. El mecanismo de la explosión de una nova es similar en todos los tipos de las novae.

El progenitor de una nova es un sistema binario que consiste en dos estrellas (vea Figura 1). Una de las estrellas del sistema es una estrella enana blanca. Una enana blanca es una estrella evolucionada que ya terminó su vida como estrella normal. De hecho, la enana blanca es el núcleo que quedó después de la evolución de la estrella como estrella gigante roja. Las estrellas gigantes rojas al final de su vida expulsan toda su envoltura al espacio, y como resto queda el núcleo de la estrella que contiene materia degenerada. Este núcleo se llama estrella enana blanca. Son objetos muy compactos, lo que significa que tienen más o menos una masa solar, pero en un tamaño de la Tierra. Normalmente, las enanas blancas tienen una luminosidad muy baja, y solo se enfrían, sin tener ninguna evolución.

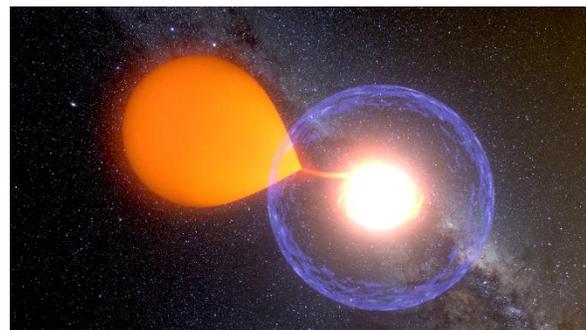


Figura 1. Escenario de una nova clásica. (K. Ulaczyk de la Universidad de Warwick, Reino Unido)

En el escenario de un evento de nova, la enana blanca tiene una estrella acompañante que es una estrella evolucionada o de la secuencia principal. El sistema binario es muy cercano. La estrella acompañante es tan grande que hay un flujo continuo de materia de esta estrella a la estrella enana blanca. Este gas, principalmente hidrógeno, se acumula en la superficie de la enana blanca y se queda ahí. Por la acumulación del material de la estrella acompañante aumenta la presión y la temperatura del gas en la superficie de la estrella enana blanca. En cierto momento, estos aumentos en presión y temperatura desencadenan la fusión nuclear del hidrógeno para formar helio. Esta explosión es rápida y libera mucha energía y, por ende, causa una expansión de la superficie de la enana blanca lo que tiene como resultado el incremento del brillo en la curva de luz. El aumento en la luminosidad puede ser hasta 100,000 veces la luminosidad del Sol.

Mientras la explosión dura solo unos segundos, el efecto que tiene en la luminosidad dura varias semanas, hasta a veces algunos años. Sin embargo, al final de esta fase activa la enana blanca regresa a su brillo original, y el flujo de material de la acompañante a la enana blanca continua.

2.3. Fase posterior y curva de luz

No se puede observar la explosión de la nova directamente porque dura muy poco tiempo y todavía no se nota un aumento en el brillo. Lo que se observa es la fase posterior cuando hay un incremento en la luminosidad de la estrella enana blanca. Esto puede pasar horas o días después de la explosión.

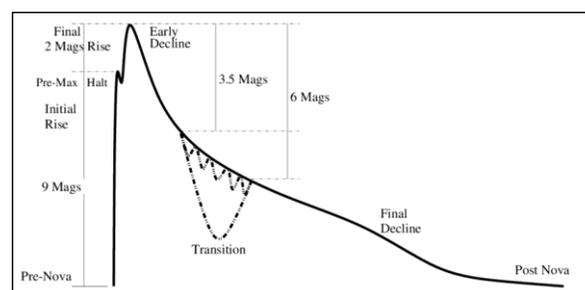


Figura 2. Curva de luz característica de una nova clásica. (Joiner, 1999)

La Figura 2 representa una curva de luz característica para las novas. Las novas alcanzan el máximo dentro de algunas horas o días dependiendo del tipo de la nova. Se ha observado que la curva de luz se detiene un poco antes de subir hasta el máximo. El aumento total en el brillo es alrededor de 10 magnitudes.

Después del máximo el brillo comienza a disminuir. La primera fase del decaimiento se usa para la clasificación de las novas. Algunas novas pueden mostrar variaciones durante la

fase de transición. Durante esta fase el brillo puede variar, y aumentar y disminuir varias veces. Otras novas pueden tener un mínimo profundo durante la fase de transición. Se ha descubierto que esto es causado por la formación de polvo que esconde la superficie de la nova y, por ende, disminuye su brillo. Se nota esto en las observaciones de brillo en el rango del infrarrojo. Después de esta fase, todas las novas siguen con la disminución en el brillo y regresan después de algunos años a su estado y brillo normal como era antes de la explosión.

2.4. *Novas recurrentes*

De algunas novas se han observado más que una explosión, y debido a esto se llaman novas recurrentes. Hay novas recurrentes que han explotado varias veces con periodos cortos de alrededor de 20 años. Solo se conocen en total diez novas recurrentes en nuestra galaxia la Vía Láctea (Pagnotta y Schaefer, 2014). Se han identificado también novas recurrentes en otras galaxias (M31 y M81). Se estima que al menos un cuarto de todas las novas son recurrentes, solo que aún no se han observado. De hecho, se argumenta que todas las novas son en verdad recurrentes. En la mayoría de las novas los periodos entre

las explosiones son de 1000 años o más, y por eso no se han observado más veces. Las novas recurrentes son también candidatos como progenitores de las supernovas del tipo Ia, porque las masas de las enanas blancas aumentan con la transferencia de gas de su acompañante hasta llegar a la masa crítica de Chandrasekhar (Pagnotta, 2012), que es la masa máxima que puede tener una estrella enana blanca (alrededor de 1.4 masas solares). No existen enanas blancas arriba de esta masa.

Un ejemplo para una nova recurrente es la Nova T CrB, que ha tenido varias explosiones. La última fue hace 80 años y hay predicciones de que explotará próximamente, probablemente en este año (Schneider, 2024). Esto será una buena oportunidad para estudiar una nova muy brillante.

2.5. *Novas extragalácticas*

Existen observaciones de eventos de novas fuera de nuestra galaxia. Las novas no son tan brillantes por lo que solo se pueden observar novas en galaxias muy cercanas. Por ejemplo, se observan muchas novas en las galaxias M31 (Galaxia de Andrómeda) y M81. Como estas novas no son brillantes, no se pueden

obtener espectros. Sin embargo, sus observaciones ayudan para estimar el número de eventos de novas que ocurren en general en las galaxias. También se han observado novas recurrentes en otras galaxias.

3. Observaciones de Novas Clásicas

Las novas se pueden observar con telescopios usando fotometría para obtener la curva de luz o con espectrógrafos para obtener espectros que revelan más información sobre las propiedades de las novas en cada fase. Nosotros usamos el telescopio TIGRE para obtener espectros de diferentes novas.

3.1. El telescopio TIGRE

El telescopio TIGRE (Telescopio Internacional de Guanajuato Robótico Espectroscópico) es un proyecto internacional con la participación de las tres Universidades de Hamburgo en Alemania, Lieja en Bélgica, y la Universidad de Guanajuato (UG) en México. El telescopio se encuentra en el Observatorio de La Luz del Departamento de Astronomía de la UG (Figura 3).



Figura 3. El telescopio TIGRE en el Observatorio La Luz

El telescopio fue desarrollado en Hamburgo, Alemania y llegó en el año 2013 a su nuevo hogar en el Observatorio La Luz del Departamento de Astronomía de la UG. Es un telescopio Nasmyth-Cassegrain y el espejo primario tiene un diámetro de 1.2 m. TIGRE tiene una montura altazimutal. El telescopio está equipado con el espectrógrafo echelle HEROS (Heidelberg Extended Range Optical Spectrograph), que tiene una resolución espectral de alrededor de 20,000. La resolución espectral está definida por la longitud de onda dividida entre la diferencia de longitud que todavía se pueden distinguir. A una longitud de onda en el óptico de 5,000 Å, una resolución de 20,000 significa que se pueden distinguir detalles de hasta 0.25 Å. Con HEROS se pueden obtener espectros en el rango del óptico desde una longitud de

onda de 3,800 hasta 8,800 Å. El espectrógrafo está dividido en dos brazos. Un brazo recibe la parte de la luz azul y el otro es para la luz roja. Cada brazo tiene su cámara CCD para obtener el espectro respectivo. Con este equipamiento se pueden observar objetos en el cielo hasta más o menos un brillo de 12 magnitudes.

El telescopio es robótico y fue desarrollado originalmente para monitorear la actividad magnética de estrellas de la secuencia principal y de estrellas gigantes rojas. La observación de novae no fue planeada. Sin embargo, el telescopio resultó muy útil para las observaciones de novae. Las dos ventajas son que el telescopio es robótico y que tenemos acceso directo al telescopio. Esto significa que podemos observar novae ya en la noche siguiente después de su descubrimiento. También es posible obtener muchas observaciones durante un periodo largo de tiempo y así seguir las variaciones en la curva de luz de la nova con los espectros respectivos. La resolución espectral alta del espectrógrafo también permite obtener espectros muy detallados, que normalmente no se observan con otros telescopios.

3.2. Espectros de Novae

Observamos en total 182 espectros de seis novae durante el periodo desde que el telescopio TIGRE fue instalado en Guanajuato en el año 2013.

Tabla 1. Espectros observados por TIGRE.

Nova	Año	Espectros
V339 Del	2013	16
V5668 Sgr	2015	102
V659 Sct	2019	8
V6593 Sgr	2020	12
V1112 Per	2021	34
RS Oph	2021	10

La Tabla 1 lista las novae, el año de su descubrimiento, y el número de espectros obtenidos con el telescopio TIGRE de cada una de las novae observadas. De tres de estas novae se han publicado los análisis detallados.

La Nova V339 Del fue observada cuando el telescopio apenas tenía pocos meses en su nuevo sitio en La Luz (De Gennaro y col., 2015). Obtuvimos 16 espectros de la nova cubriendo una gran parte de la curva de luz desde el día 3 hasta el día 121 después del descubrimiento. En los espectros se

identificaron las líneas comunes de hidrógeno, helio, oxígeno, neón y hierro entre otras. Se pudo observar como las líneas evolucionaron durante los cambios en la curva de luz. Durante el estudio de esta nova se elaboró un atlas de todas las líneas observadas en sus espectros. Este atlas sirve ahora para la identificación de líneas en las novas observadas.

La segunda nova observada fue la Nova V5668 Sgr, que es del tipo DQ Her, y se obtuvieron un total de 102 espectros. Esta nova fue una nova larga y la pudimos observar durante dos años (Jack y col., 2017). La curva de luz mostraba muchas variaciones y pudimos relacionar estas variaciones con los espectros observados. Por ejemplo, se realizó un análisis de los perfiles de la línea de O I en 7773.0 \AA que muestran un cambio en la velocidad de expansión. Cuando el brillo disminuía, las velocidades aumentaban. Y después, cuando el brillo regresaba a su nivel anterior, las velocidades disminuían otra vez. Esto se pudo observar también en los perfiles de varias otras líneas. Además, identificamos algunas líneas que aparecieron y desaparecieron durante las variaciones en la curva de luz.

Otra nova que fue observada con el telescopio TIGRE es la Nova V659 Sct (Jack y col., 2020). De esta Nova solo obtuvimos ocho espectros, pero en ellos pudimos detectar las líneas importantes de hidrógeno, helio, oxígeno, y hierro entre otras.

La Nova V6593 Sgr muestra también variaciones en los perfiles de la línea de O I en 7773.0 \AA (González y col., 2022). Aquí también encontramos la relación de las velocidades de expansión con los cambios de la curva de luz.

Actualmente estamos trabajando en analizar los espectros de la Nova V1112 Per. De esta nova obtuvimos un total de 34 espectros. Afortunadamente, un espectro se obtuvo durante la fase del incremento del brillo antes del máximo. Este espectro muestra líneas nuevas e interesantes, pero todavía estamos trabajando en el análisis.

La última nova que fue observada por TIGRE es la Nova RS Oph, que es una nova recurrente. Esta nova ha sido detectada nueve veces desde el año 1898. RS Oph explotó la última vez el 8 de agosto de 2021. Desafortunadamente, solo pudimos tomar diez espectros.

En la Figura 4 mostramos cuatro espectros de la Nova RS Oph tomados en diferentes días después del descubrimiento. Solo se muestra la parte del espectro del canal rojo entre 5800 y 8800 Å. Se identificaron líneas de hidrógeno, helio y oxígeno. En la Figura 4 se marcaron las líneas claras de O I, H I, y He I. La línea H α (6563 Å) siempre está presente en los espectros de novae, y es además la más fuerte. Las líneas de He I son primero débiles, pero crecen en los espectros después de unos días. En general, se pueden ver los cambios en los perfiles de las líneas que ocurren durante la evolución de una nova. La emisión crece conforme evoluciona la nova. Esto es debido a que la envoltura de la enana blanca se hace más y más transparente. La línea 7773.0 Å de O I es también una línea que siempre está presente en los espectros de novae. Se mencionó esa línea en la discusión de las otras novae.

Para mostrar la buena resolución de los espectros tomados con el telescopio TIGRE, se muestran en la Figura 5 dos espectros tomados 2 y 18 días después de la explosión de la Nova RS Oph. Se muestran en el rango de una línea de He I que tiene una longitud de onda de 5875.6 Å, que es la línea que se ve hasta la parte izquierda de la Figura 4. En el día 2 después de la explosión, se ve una

pequeña línea que baja y luego sube justo en el pico. Esta línea viene de la absorción interestelar por la acreción de material en el sistema binario. Se ve también que la línea es muy ancha. De hecho, se extiende hasta fuera de la gráfica, solo cabe la parte del pico. El otro espectro del día 18 después de la explosión es una línea de emisión, que tiene una estructura asimétrica. Esto es algo que siempre se observa en los espectros de después de muchos días.

En la Figura 5, se pueden ver también líneas de absorción interestelar, (vea la siguiente Sección 3.3). Las dos líneas profundas en el lado derecho son de absorción por las líneas interestelares de sodio (Na I). En el espectro de 2 días después de la explosión, en el lado izquierdo se puede ver una pequeña línea de absorción. Ésta es una de las bandas interestelares difusas. En toda la parte derecha de los espectros se ven muchas líneas. Estas son líneas de absorción por la atmósfera de la Tierra, y se llaman líneas telúricas.

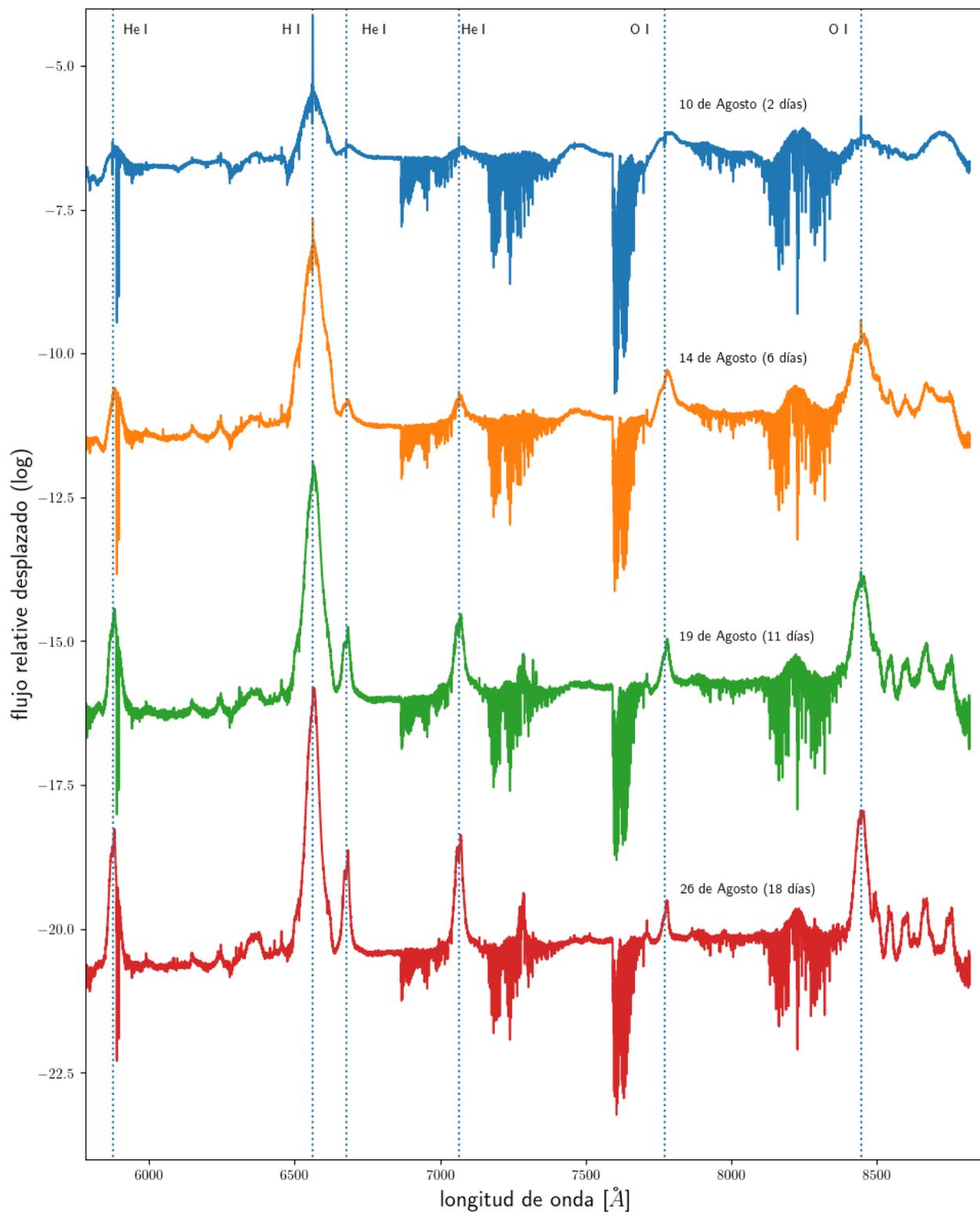


Figura 4. Espectros de la Nova RS Oph.

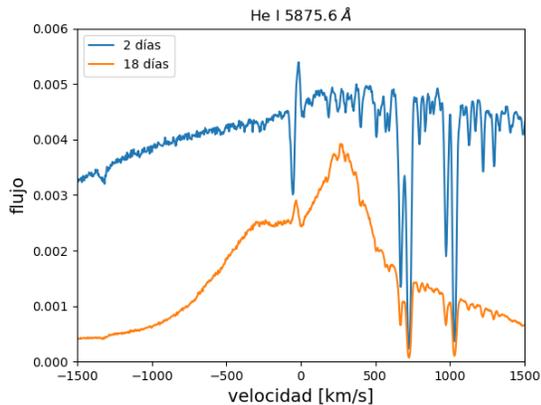


Figura 5. Espectro la Nova RS Oph en el rango de la línea de He I a 5875.6 Å

3.3. Líneas interestelares en las novae observadas

Gracias a la resolución espectral alta de los espectros de las novae, hemos detectado también líneas de absorción por el medio interestelar. Éstas son las líneas de sodio, potasio y calcio. También identificamos en los espectros las bandas interestelares difusas (Jenniskens y Desert, 1994). Estas son causadas por la absorción del medio interestelar. Sin embargo, el origen de estas bandas es todavía desconocido. Se realizó una identificación y un análisis de los espectros de las líneas interestelares en las Novae V339 Del y V5668 Sgr (Jack y Schröder, 2019) que complementa nuestro trabajo de observaciones de novae con TIGRE.

4. Conclusiones

El telescopio TIGRE es un excelente telescopio para observar novae clásicas. Durante la vida del telescopio logramos observar seis novae de diferentes tipos y obtuvimos un total de 182 espectros. Estos espectros nos permitieron analizar el comportamiento de los perfiles de las líneas durante la evolución de las novae y encontramos que estos cambios son relacionados con los cambios en la curva de luz. También detectamos líneas de absorción por el medio interestelar, tanto líneas atómicas como bandas difusas, en los espectros de las novae.

Actualmente el telescopio TIGRE no está funcionando y se está trabajando para reactivarlo. Esperamos que pronto se pueda usar otra vez para observar novae. La Nova T CrB será un muy buen candidato para ser observada por TIGRE.

Referencias bibliográficas

Bode, M. F. y Evans, A (2008). *Classical Novae, 2nd Edition*. Cambridge University Press.

Chomiuk, L, Metzger, B. D. y Shen K. J. (2021). New Insights into Classical Novae. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 59, pp. 391-444. <https://doi.org/10.1146/annurev-astro-112420-114502>

De Gennaro Aquino, I., Schröder, K.-P., Mittag, M., Wolter, U., Jack, D., Eenens, P., González-Pérez, J. N., Hempelmann, A., Schmitt, J. H. M. M., Hauschildt, P. H. y Rauw, G. (2015). High spectral resolution monitoring of Nova V339 Delphini with TIGRE. *Astronomy & Astrophysics*, 581, A134. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201525810>

González-Pérez, J. N., Mittag, M., Schmitt, J. H. M. M., Schröder, K.-P., Jack, D., Rauw, G. y Nazé, Y. (2022). Eight Years of TIGRE Robotic Spectroscopy: Operational Experience and Selected Scientific Results. *Frontiers in Astronomy and Space Sciences*, 9, 912546. <https://doi.org/10.3389/fspas.2022.912546>

Jack, D., Robles Pérez, J. de J., De Gennaro Aquino, I., Schröder, K.-P., Wolter, U., Eenens, P., Schmitt, J. H. M. M., Mittag, M., Hempelmann, A., González-Pérez, J. N., Rauw, G. y Hauschildt, P. H. (2017). Study of the variability of Nova V5668 Sgr, based on

high-resolution spectroscopic monitoring. *Astronomische Nachrichten*, 338(1), pp. 91-102. <http://doi.org/10.1002/asna.201613217>

Jack, D., y Schröder, K.-P. (2019). Interstellar Absorption Towards the Novae V339 Del and V5668 Sgr. *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica*, 555, pp. 141-149. <http://doi.org/10.22201/ia.01851101p.2019.5.02.02>

Jack, D., Schröder, K.-P., Eenens, P., Wolter, U., González-Pérez, J. N., Schmitt, J. H. M. M. y Hauschildt, P. H. (2020). Time series of optical spectra of Nova V659 Sct. *Astronomische Nachrichten*, 341(8), pp. 781-790. <http://doi.org/10.1002/asna.202013818>

Jenniskens, P. y Desert, F.-X. (1994). A survey of diffuse interstellar bands (3800-8680 Å). *Astronomy and Astrophysics Suppl.*, 106, p. 39-78.

Joiner, D. A. (1999). *The nucleation and growth of dust grains in nova shells*. [Tesis de Doctorado, Rensselaer Polytechnic Institute]

Pagnotta, A. (2012), *Recurrent Novae and Type Ia Supernova Progenitors*. [Tesis de Doctorado, Louisiana State University]

Pagnotta, A. y Schaefer, B. E. (2014). Identifying and Quantifying Recurrent Novae

Masquerading as Classical Novae. *The Astrophysical Journal*, 788 (2), 164

Schmitt, J. H. M. M., Schröder, K. -P., Rauw, G., Hempelmann, A., Mittag, M., González-Pérez, J. N., Czesla, S., Wolter, U., Jack, D., Eenens, P. y Trinidad, M. A. (2014). TIGRE: A new robotic spectroscopy telescope at Guanajuato, Mexico. *Astronomische*

Nachrichten, 335(8), p.787.
<https://doi.org/10.1002/asna.201412116>

Schneider, J. (2024). When will the Next T CrB Eruption Occur? *Research Notes of the AAS*, 8(10), 272,
<http://doi.org/10.3847/2515-5172/ad8bba>

Xi, Ze-zong (1955). A New Catalogue of Ancient Novae. *Acta Astronomica Sinica*, 3, pp. 183-196