

ESTUDIANDO LA NATURALEZA DEL EVENTO TRANSITORIO ASTROFÍSICO AT2025ZJX

Joan Miquel González

Los transitorios astrofísicos son fenómenos que aparecen en el cielo, aumentan rápidamente de brillo y después se debilitan con el paso del tiempo. Su estudio forma parte de la astronomía de dominio temporal (time-domain astronomy). Entre los ejemplos más conocidos están las supernovas de colapso del núcleo, las supernovas termonucleares de tipo Ia y las novas.

Cuando aparece una supernova en una galaxia, observacionalmente suele distinguirse como un nuevo punto luminoso sobre el fondo de la galaxia. Las imágenes tomadas en épocas diferentes permiten comprobar cómo aparece y evoluciona el objeto. La designación de una supernova suele incluir el año de descubrimiento y una secuencia de letras.

Si representamos los transitorios según su luminosidad máxima y la escala temporal característica de su evolución, encontramos distintas familias. Durante mucho tiempo se observó un vacío entre las novas y las supernovas. Con mejores telescopios y sondeos más amplios se han descubierto objetos que ocupan esa región intermedia, entre ellos los transitorios rojos de luminosidad intermedia (ILRT, por sus siglas en inglés) y las novas rojas luminosas.

Características de los ILRT

Los ILRT alcanzan magnitudes absolutas máximas aproximadamente entre -11 y -15 . Sus curvas de luz suelen mostrar un único máximo destacado, seguido de un declive que puede recordar al de algunas supernovas de tipo II. Una característica importante es que el objeto se enrojece progresivamente a medida que pasa el tiempo.

En sus espectros aparecen líneas estrechas de hidrógeno y calcio. En particular, el doblete prohibido del calcio ionizado (Ca II) es una señal distintiva de muchos de estos eventos. Estas líneas prohibidas se producen en regiones de baja densidad, donde las condiciones permiten que tengan lugar transiciones que no suelen observarse en medios más densos.

Los progenitores de los ILRT parecen estar muy oscurecidos y rodeados por un medio circunestelar denso y rico en polvo. Por eso pueden resultar invisibles en imágenes ópticas anteriores a la explosión, aunque el polvo caliente puede emitir en el infrarrojo. La interpretación que se está considerando para algunos de estos objetos es que sean supernovas por captura electrónica, un tipo de explosión distinto de las supernovas habituales de colapso del núcleo.

Se conocen todavía pocos ILRT, pero los nuevos observatorios y sondeos del cielo, incluido el Observatorio Vera C. Rubin, deberían permitir detectar más ejemplos y estudiar mejor sus propiedades.

La posible supernova por captura electrónica

Las supernovas por captura electrónica podrían representar una frontera entre la evolución estelar que termina formando una enana blanca y la que produce una supernova clásica de colapso del núcleo. Se asocian a estrellas progenitoras con masas iniciales aproximadas de entre 8 y 10 masas solares, aunque el resultado también depende de otros factores, como la metalicidad.

En una estrella super-AGB puede formarse un núcleo degenerado compuesto principalmente por oxígeno, neón y magnesio. Cuando el núcleo se acerca a la masa de Chandrasekhar, de alrededor de 1,37 masas solares, se producen capturas electrónicas en núcleos como los de neón y magnesio. Al disminuir el número de electrones, se reduce la presión de degeneración que sostenía el núcleo frente a la gravedad y este colapsa.

La explosión resultante tendría menos energía que una supernova típica de colapso del núcleo y produciría menos níquel. Esto puede dar lugar a una luminosidad relativamente baja y a un declive rápido de la curva de luz. El remanente esperado sería una estrella de neutrones de masa relativamente baja.



Figura 1. Visualización hipotética de la explosión y el remanente de un ILRT.

El objeto estudiado: un transitorio en NGC 520

El trabajo de fin de grado se centró en un ILRT detectado en la galaxia NGC 520, un sistema interactuante formado por dos galaxias. En las imágenes tomadas antes y después del evento se aprecia la aparición de un nuevo punto luminoso en la región de la galaxia.

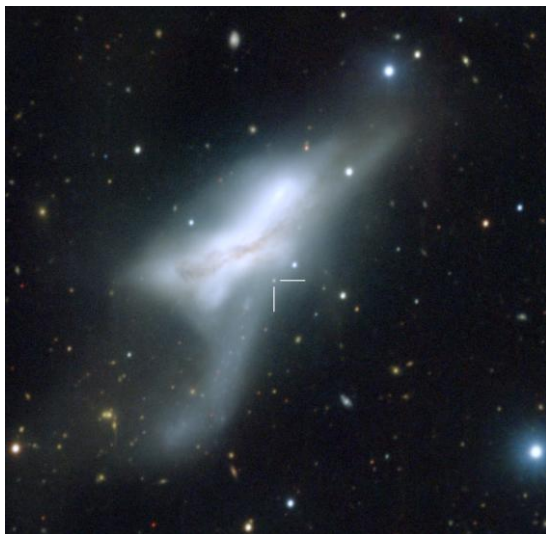


Figura 2. Transitorio en NGC 520

El estudio reunió observaciones del grupo C3PO y datos procedentes de distintos sondeos y observatorios. Entre los instrumentos y programas mencionados se encontraban el Gran Telescopio Canarias, ZTF, Pan-STARRS, ATLAS, telescopios Gemini, el NOT y otros telescopios profesionales y de menor apertura. También se utilizaron datos de una red que integra observaciones de diferentes instalaciones.

El principal reto era construir un conjunto homogéneo a partir de imágenes obtenidas con telescopios, cámaras, filtros y condiciones de observación diferentes. Para ello se desarrolló una rutina de procesado que permitiera combinar imágenes y mejorar la relación señal-ruido (SNR), especialmente en los datos obtenidos con telescopios de menor apertura. También se creó una rutina propia para la reducción fotométrica, adaptada a las características del conjunto de observaciones.

El apilado de imágenes se hizo de forma controlada para mejorar la relación señal-ruido sin perder de vista la homogeneidad de las medidas. El objetivo era obtener una curva de luz coherente a partir de observaciones que, sin ese tratamiento, resultaban difíciles de comparar directamente.

Resultados

La magnitud absoluta máxima medida en el filtro R fue de aproximadamente -14 , compatible con la clasificación del objeto como ILRT. La curva de luz muestra un único máximo seguido de un declive rápido. Los índices de color indican que el objeto se vuelve más rojo con el tiempo: la emisión en el azul disminuye más deprisa que la de longitudes de onda más largas.

La evolución espectroscópica presenta un continuo rojo y líneas de emisión de la serie de Balmer del hidrógeno, como cabía esperar. También se identifica el doblete prohibido del Ca II, una característica relevante para la clasificación de este tipo de transitorios. En los

espectros se observa además la absorción del sodio, cuya evolución sugiere interacción con el material circunestelar.

La relación entre las intensidades de $H\alpha$ y $H\beta$ cambia a lo largo de las observaciones. El decremento de Balmer pasa aproximadamente de 3,31 a 6,30. Esta variación es compatible con una extinción cada vez mayor de la emisión azul respecto a la roja, posiblemente relacionada con la formación de polvo durante la evolución del ILRT.

También se examinaron imágenes de archivo del telescopio espacial Hubble tomadas antes de la explosión. No se detectó una fuente óptica en la posición del transitorio, de acuerdo con la idea de que el progenitor está oculto por el polvo. Las imágenes de Spitzer en el infrarrojo no ofrecieron resolución espacial suficiente para aislar la fuente en esta galaxia tan distante.

Conclusiones y perspectivas de futuro

El objeto estudiado reúne las características principales de un ILRT y puede clasificarse, además, como un evento de declive rápido. La evolución fotométrica y espectroscópica es consistente con la formación de polvo en fases tardías. La ausencia de una fuente progenitora visible en las imágenes ópticas de archivo también concuerda con el escenario de un progenitor oscurecido.

El trabajo se encuentra en proceso de preparación para su publicación. Una posible línea futura sería observar la región con el telescopio espacial James Webb, si fuera viable, para estudiar el polvo producido durante la explosión. Observaciones infrarrojas de otros ILRT con este telescopio han indicado que el polvo sintetizado podría ser rico en carbono, algo que resulta interesante contrastar con las expectativas para este tipo de progenitores.

La charla concluye con una invitación a la comunidad amateur a observar transitorios y compartir las medidas en plataformas accesibles a la comunidad profesional. Cuando sea posible, conviene observar en varios filtros y publicar los datos en repositorios o redes de seguimiento. Plataformas como AAVSO y BHTOM pueden ayudar a identificar objetivos que necesiten observaciones.

Preguntas

¿El doblete prohibido del calcio aparece únicamente en supernovas por captura electrónica?

No. El doblete prohibido del Ca II puede observarse siempre que haya calcio en una región de densidad suficientemente baja. No es exclusivo de las supernovas por captura electrónica; su presencia depende de las condiciones físicas del material.

¿Qué determina que una estrella produzca una supernova por captura electrónica en lugar de una supernova de colapso del núcleo?

La masa inicial de la estrella es un factor importante, aunque también influyen otras propiedades, como la metalicidad. En los progenitores de una posible supernova por captura

electrónica, el núcleo de oxígeno, neón y magnesio puede colapsar cuando las capturas electrónicas reducen la presión de degeneración. En estrellas más masivas, el núcleo puede evolucionar hasta formar hierro y colapsar por el mecanismo habitual de las supernovas de colapso del núcleo.

¿Los espectros permiten estudiar también el medio circunestelar que rodea la explosión?

Sí. Además de las características de la propia explosión, los espectros pueden mostrar señales del material que la rodea. La evolución de líneas como la absorción del sodio permite estudiar la interacción con ese medio. El doblete prohibido del Ca II también puede originarse en material circunestelar de baja densidad, y no necesariamente en la fotosfera de la estrella.