

## OBSERVACIONES DE RADIO HACIA NGC 7027

Rodríguez Segoviano Mauricio Alejandro (1); Rodríguez Rico Carlos Alanías (2)

1 [Bachillerato General, Escuela de Nivel Medio Superior de Guanajuato, Colegio de Nivel Medio Superior, Universidad de Guanajuato] | [crunch900@hotmail.com]

2 [Departamento de Astronomía, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | [ca.rodriguez@ugto.mx]

### Resumen

Se presentan observaciones de radio continuo y línea de recombinación en radio (LRR) H76 $\alpha$  obtenidas con el radiotelescopio VLA hacia la nebulosa planetaria NGC7027. La densidad de flujo integrada en radio continuo es de 5.2 Jy. El máximo de la LRR es de 255 mJy, el FWHM es 47 km/s y la  $V_{LSR}$  es de -50.4 km/s. La densidad de flujo integrada para la línea H76 $\alpha$  es de 15 Jy · km/s. Se realizó la comparación con las mediciones realizadas por Roelfsema et al. (1991) y nuestros resultados son consistentes con los obtenidos por estos autores.

### Abstract

Observations of continuous radio and radio recombination line (LRR) H76 $\alpha$  are received with the VLA radio telescope towards the planetary nebula NGC7027. The density of intelligence flow in the continuous bass is 5.2 Jy. The maximum of the LRR is 255 mJy, the FWHM is 47 km/s and the  $V_{LSR}$  is -50.4 km/s. The integrated flow density for line H76 $\alpha$  is 15 Jy · km/s. The comparison was made with the measurements made by Roelfsema et al. (1991) and our results are consistent with those obtained by these authors.

### Palabras Clave

Radio continuo; línea de recombinación; densidad de flujo.

## INTRODUCCIÓN

Una nebulosa planetaria es una región de gas ionizado que emite radiación electromagnética. El gas que constituye la envoltura brillante en expansión fue expulsado durante la fase de rama asintótica gigante que atraviesan las estrellas de baja masa en la etapa posterior a la secuencia principal [1]. Es creada cuando una estrella expelle sus capas más externas después de que se le ha acabado el combustible (hidrógeno) que había estado fusionando en su núcleo. Estas capas más externas de gas se expanden hacia el espacio, formando una nebulosa que tiene frecuentemente la forma de un anillo o burbuja. Aproximadamente hace 200 años, William Herschel llamó a estas nubes esféricas nebulosas planetarias porque eran redondas como los planetas. En el centro de una nebulosa planetaria, puede aún ser visto el remanente brillante de la estrella de la cual la nebulosa se formó [2].

La unidad de distancia utilizada en escalas galácticas es el pársec, definiéndose como el paralaje de un segundo de arco (con símbolo pc), la equivalencia de 1 pársec = 206265 U.A. = 3,2616 años luz =  $3,0857 \times 10^{18}$  cm; el Jansky (con símbolo Jy) es una unidad de densidad de flujo espectral, por lo que se puede decir que 1 Jansky =  $10^{-26}$  W / m<sup>2</sup> · Hz.

NGC 7027 es una joven y densa nebulosa planetaria ubicada a unos 3.000 años luz (920 pc) de distancia en la constelación de Cygnus, sus coordenadas son  $\alpha_{2000} = 21^{\text{h}} 07^{\text{m}} 01.4^{\text{s}}$ ,  $\delta_{2000} = +42^{\circ} 14' 10''$ . Tiene una forma muy compleja, que consiste en una región elíptica de gas ionizado dentro de una nube neutra masiva [3]. La estructura interna está rodeada por una cubierta translúcida de gas y polvo. Se ha encontrado que las regiones centrales de NGC 7027 emiten rayos X, lo que indica temperaturas muy altas [4]. Es posible que la enana blanca central de NGC 7027 tenga un disco de acreción que actúa como fuente de altas temperaturas. Se cree que la enana blanca tiene una masa de aproximadamente 0,7 veces la masa del Sol y está irradiando a 7,700 veces la luminosidad del Sol.

El gas ionizado o plasmas emiten radiación térmica de continuo, y en muchos casos es cercana a emisión de cuerpo negro cuando la profundidad óptica es alta. El gas está ionizado cuando una gran parte de sus átomos han perdido uno o varios electrones, quedando, por tanto, cargados positivamente y dejando libres esos electrones que han perdido. Estos electrones interactúan de formas diferentes con los átomos ionizados: pueden recombinarse con ellos, de manera que se unen al átomo devolviéndolo a su estado neutro. Este proceso provoca la emisión de radiación de línea de recombinación. La radiación de continuo sucede cuando el electrón es desviado de su trayectoria por los núcleos positivos y el electrón de estar en un estado libre, continua en estado libre por lo cual la radiación de continuo se conoce también como radiación libre-libre[5].

Con este proyecto se presenta el proceso de reducción, calibración e interpretación de los datos tomados del archivo del radiotelescopio VLA y que fueron tomadas el 07 de mayo de 1984 hacia la nebulosa planetaria NGC7027 con un tiempo de observación total de 08 horas y 51 minutos.

## OBSERVACIONES Y REDUCCIÓN DE DATOS

El Sistema de Procesamiento de Imágenes Astronómicas (AIPS, por sus siglas en inglés) es un Software cuyo desarrollo comenzó en 1972 en el Observatorio Nacional de Radio Astronomía (NRAO, por sus siglas en inglés) empleado para reducir, analizar y procesar datos principalmente tomados desde un radiotelescopio. Desarrollado para trabajar inicialmente con instrumentos Very Large Array (VLA), su interfaz genérica y simple le permitió convertirse en el programa de procesamiento de imágenes principal para los interferómetros de radio, incluyendo al Very-Long-Baseline Interferometry (VLBI) [3].

Para cumplir con los fines del proyecto, se empleó AIPS en su más reciente versión (13DEC18) instalado en Ubuntu 18.04. Así mismo, AIPS trabaja con los datos tomados por el VLA y para importarlos es necesario usar la tarea 'FILLM'. Si los datos tienen formato FITS se utiliza la tarea 'FITLD'. La calibración se llevó a cabo en los datos del canal de continuo (.CH0).

Para comenzar la calibración y reducción de datos, se empleó la tarea SETJY con la opción " otype 'calc' ". SETJY calcula la densidad de flujo para la fuente de calibración primaria, en este caso, se utilizó 3C286. Si agregamos la opción 'APARM (2)=0', le daremos la capacidad de calcular la densidad de flujo basándose en los valores de Perley-Butler del 2017 que cubren una gama que va desde los 50 MHz hasta los 50 GHz.

Posteriormente, con la tarea CALIB se escaló el flujo total del modelo para que coincida con el flujo total de la fuente registrada por SETJY en la tabla fuente. Para correr eficientemente dicha tarea, se agregaron todos los calibradores; para la opción CALSOUR se introdujo el BLLAC, 3C286 y 3C84; se especificó la antena de referencia, en este caso, la antena '02' que se encuentra cerca del centro del arreglo; se agregó un identificado de frecuencia igual a 1; un intervalo de solución igual a 0.25 minutos y un modo de solución de Amplitud y Fase.

La tarea GETJY determina la densidad de flujo de los calibradores de flujo secundarios a partir del calibrador de flujo primario. Con este paso se actualiza la tabla SU para reflejar los valores calculados de las densidades de flujo de los calibradores secundarios.

Usando la tarea CLCAL se interpolaron las soluciones derivadas de los calibradores anteriores en la tabla CL para todas las fuentes (3C286, 3C84, BLLAC y NGC7027) usando la función 2PT de interpolación. Además, se agregó en CALSOUR el calibrador BLLAC, 3C286 y 3C84; se solicitó que la operación de fusión se realice de ser necesario, que las soluciones sean suavizadas y las entradas de la tabla CL seleccionadas se actualicen desde la tabla SN gracias al opcode 'CALI'.

Para aplicar las tablas de calibración y edición ya hechas, usamos la tarea SPLIT; de esta manera, se creó un archivo .SPLIT, el cual se puede ver en la lista de datos con el comando 'uc', junto con los datos de canales continuos (.CH0) y de línea (.LINE).

Posteriormente decidimos verificar la calibración, por lo que, con la ayuda de la tarea IMAGR, creamos la imagen que corresponde a los datos partir del archivo .SPLIT.

A partir de aquí, comenzamos a trabajar con los datos de canales en línea (.LINE), por lo que fue necesario copiar las tablas de calibración (CL) de los datos continuos (.CH0) a los de línea (.LINE); para llevar a cabo lo anterior, usamos la tarea TACOP, especificando las tablas a copiar.

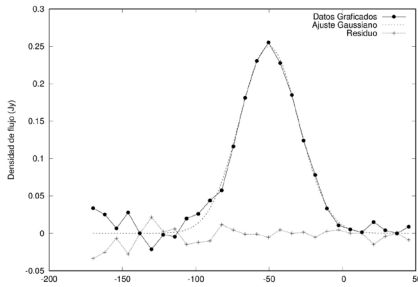
En seguida calibramos la respuesta de los instrumentos en función de la frecuencia con la tarea BPASS; usando los datos de autocorrelación como la parte de la función de amplitud y establecimos la fase de la función a cero. Les necesario dividir la amplitud de los datos usando el 'canal 0' antes de determinar la tabla de "bandpass". Esto eliminó el requisito de calibrar los datos primero, aunque nosotros ya lo hicimos con anterioridad. Para aplicar la calibración a los datos de línea se utiliza SPLIT sobre el archivo .LINE.

Para generar la imagen de línea se requiere seleccionar la región que corresponde a la nebulosa planetaria en la tarea IMAGR.

Con la tarea ISPEC obtenemos el espectro de un área determinada, identificamos los canales que son de continuo (los canales que no contienen a la línea espectral). Una vez identificados los canales de continuo se utiliza la tarea UVLSF y usando los datos de línea+continuo, restamos el continuo para obtener datos que solamente contienen línea espectral. Esto creó dos archivos, uno con extensión .UVLSF y otro con extensión .BASFIT. En seguida volvimos a aplicar la tarea IMAGR usando como fuente el archivo .UVLSF, esto con el fin de crear una imagen de línea y libre de continuo.

Con el propósito de usar el sistema de coordenadas más actual, con la tarea EPOSW cambiamos del sistema de coordenadas de J1950 a J2000. Se utilizó además la definición del LSR (Local Standard of Rest) que es un punto en el espacio que corresponde al centro de masa de las estrellas de la vecindad solar y que tiene una velocidad definida respecto al centro de la Galaxia. Para realizar esta definición en nuestras observaciones se utiliza la tarea ALTDEF y posteriormente cambiamos el eje de frecuencia a eje de velocidades aplicando corrimiento de Doppler de la luz.

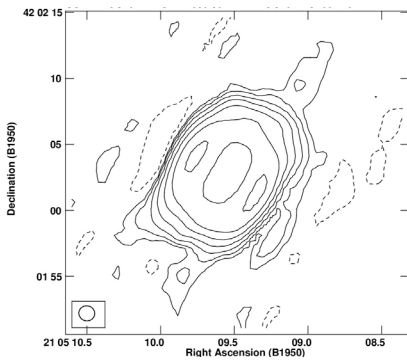
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN



**IMAGEN 1: Observaciones de RRL H76α y ajuste de Gaussiana hacia NGC 7027.**

Una vez terminada la calibración y reducción de los datos, podemos comenzar a obtener los parámetros deseados, así es como, mediante el image header obtener el flujo mínimo de -8 mJy/beam y un máximo de 14 mJy/beam para los datos de la línea de recombinación; mientras que para los datos en continuo se obtuvo un flujo mínimo de -23 mJy/beam y un máximo de 682 mJy/beam.

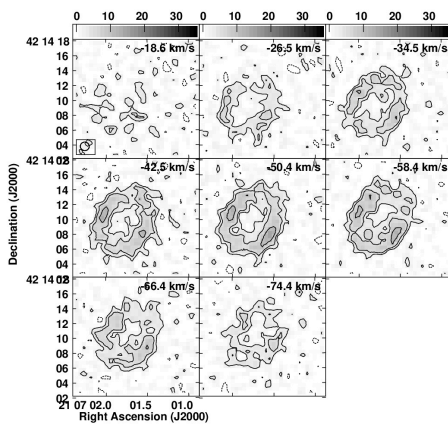
Con el fin de determinar los parámetros de la línea espectral, es decir, la densidad de flujo pico (A), la velocidad central (v) y el ancho de la misma (σ), se realizó un ajuste Gaussiano usando  $f(v)=A*\exp(-((v-v_0)/\sigma)^2)$ . Obtuvimos que la densidad de flujo máxima de la nebulosa fue un total de 255 mJy a una velocidad de -50.4 km/s (imagen 1).



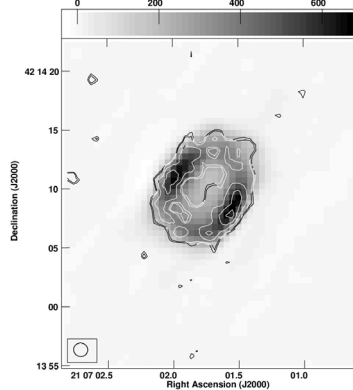
**IMAGEN 2: Radio continuo a 2 cm hacia NGC7027. Los contornos están en niveles de -3, 3, 6, 12, 24, 48, 96, 192. Con un nivel de ruido de 3 mJy/beam.**

Posteriormente se realizó un mapeo de la nebulosa planetaria NGC 7027 usando los datos de continuo, el sistema de coordenadas B1950 y un ruido de 3 mJy/beam; de esa manera podemos observar las diversas curvas de nivel y la forma característica de anillos en aspectos generales de la nebulosa (imagen 2). Según el sistema de coordenadas B1950, el centro de la nebulosa está a una ascensión recta de 21<sup>h</sup>05<sup>m</sup>9.5<sup>s</sup> y a una declinación de 42°02'05", sin embargo, según el mapeo de la misma usando los datos en línea con el sistema de coordenadas J2000 (imagen 3), se observa que tiene actualmente una ascensión recta de 21<sup>h</sup>07<sup>m</sup>01.465<sup>s</sup> y una declinación de 42°14'10.52".

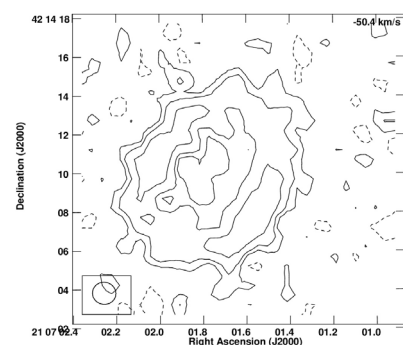
En la imagen 4 se muestra la RRL H76α para los canales de velocidad en el rango de -18.6 km/s a -74.4 km/s. En esta imagen se puede apreciar la estructura de velocidad de la nebulosa planetaria NGC 7027.



**IMAGEN 4: : Líneas de recombinación H76α hacia NGC7027. Los contornos están en niveles de -3, 3, 6, 12, 24, 48, 96, 192. Con un nivel de ruido de 1.5 mJy/beam.**



**IMAGEN 5: Emisión de RRL H76α superpuesta en la emisión de continuo a 2 cm. Los contornos están en niveles de 0.25, 0.3, 0.5, 0.7 y 0.9. Con un nivel de ruido de 6 mJy/beam.**



**IMAGEN 3: Líneas de recombinación H76α hacia NGC7027. Los contornos están en niveles de -3, 3, 6, 12, 24, 48, 96, 192. Con un nivel de ruido de 1.5 mJy/beam.**

De esta manera observamos que los datos son congruentes con las observaciones dadas por Roelfsema et al. (1991) [7].

## CONCLUSIONES

Se calibraron datos y se realizaron las imágenes de radio continuo y de línea de recombinación (RRL)  $H76\alpha$  obtenidos del archivo del VLA hacia la nebulosa planetaria NGC 7027. Se realizó el ajuste de una Gaussiana a los datos de RRL  $H76\alpha$  y se obtuvo una densidad de flujo máxima de 256 mJy a una velocidad de -50.4 km/s. Se obtuvo el flujo de radio continuo total de 5.2 Jy. Finalmente se obtuvo la densidad de flujo integrada para la RRL  $H76\alpha$ .  $S_{\Delta V} = 15 \text{ Jy} \cdot \text{km/s}$ .

Se compararon los resultados con lo reportado por Roelfsema et al. (1991) y los resultados son consistentes con lo publicado por dichos autores.

## AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecerle la posibilidad de realizar este proyecto al Doctor Carlos Alanías Rodríguez Rico, agregando el apoyo y la paciencia al guiarnos en la elaboración del mismo; a mi madre por el apoyo moral, motivacional y económico que en todo momento se me fue otorgado de su parte; a Oscar, Camila y Lizeth, compañeros de trabajo, que hicieron de las jornadas de trabajo más agradables, por su gran apoyo y asesoría en mis constantes dudas al momento de la realización del proyecto; a la doctora Claudia Erika Morales Hernández y a la Universidad de Guanajuato por brindarme esta la gran oportunidad de conocer de primera mano la investigación y retroalimentación por parte de profesionales en la rama.

## REFERENCIAS

- [1] FRANKOWSKI, A. y SOKER, N. (2009). VERY LATE THERMAL PULSES INFLUENCED BY ACCRETION IN PLANETARY NEBULAE. *New Astronomy*, 14, 654-58.
- [2] HERMANS, L. (2010). ¿Qué es una Nebulosa Planetaria?. Pregúntale a un Astrónomo, para niños. Recuperado de: <http://legacy.spitzer.caltech.edu/espanol/edu/askkids/planetaryneb.shtml>
- [3] MASSON, C. (1988). THE STRUCTURE OF NGC 7027 AND A DETERMINATION OF ITS DISTANCE BY MEASUREMENT OF PROPER MOTIONS. *The Astrophysical Journal*, 336, 294-303.
- [4] KASTNER, J., VRTILEK, S. y SOKER, N. (2001). DISCOVERY OF EXTENDED X-RAY EMISSION FROM THE PLANETARY NEBULA NGC 7027 BY THE CHANDRA X-RAY OBSERVATORY. *The Astrophysical Journal*, 550, 189-92.
- [5] Centro de Astrobiología (CAB). (2009). Mecanismos de emisión de la radiación electromagnética. España: Proyecto Académico con el Radio Telescopio de NASA en Robledo. Recuperado de: [https://partner.cab.inta-csic.es/index.php?Section=Curso\\_Fundamentos\\_Capitulo\\_3](https://partner.cab.inta-csic.es/index.php?Section=Curso_Fundamentos_Capitulo_3)
- [6] GREISEN, E. (2002). THE AIPS FAQ. WHAT DOES IT RUN ON?. Recuperado de: [http://www.aips.nrao.edu/aips\\_faq.html](http://www.aips.nrao.edu/aips_faq.html)
- [7] ROELFSEMA, P. R., GOSS, W. M., POTTASCH, S. R. & ZIJLSTRA, A. (1991). Radio Recombination Line Observations of the planetary nebula NGC 7027. *Astronomy and Astrophysics*, 251, 611-19.