

R.Espectroscopia - Estudio de HI en NGC3367 con AIPS

Hollman Daniel Quintero Salazar

Diciembre 2022

Resumen

El presente reporte tiene como finalidad mostrar el desarrollo de aprendizaje adquirido con el paquete computacional AIPS, específicamente en el análisis del objeto NGC3367, una galaxia Seyfert 1. Durante el desarrollo del documento se aluden archivos externos que sirven de evidencia al trabajo desarrollado y son complemento del texto en cuestión. Por último, se hace una breve discusión de los resultados obtenidos para el objeto analizado en contraste con un artículo que estudia el mismo objeto a diferentes longitudes de onda.

1 NGC3367

Datos extraídos de SIMBAD y NED	
Nombre	NGC 3367
Tipo	Galaxia Seyfert 1
Constelación	Leo
α(J2000)	10 46 34.95
δ(J2000)	+13 45 03.08
Lat.Gal(J2000)	57.965049
Lon.Gal(J2000)	231.311002
Movimiento propio (mas/yr)	1.166(α) 0.164(δ)
Velocidad radial(km/s)	3038.09
Redshift	0.010189
Tamaño angular(arcmin)	1.487 1.338 75
Diámetro(kpc)	26
Tipo morfológico	SB(rs)c

Flujos	
Rayos X	3.93E-13 erg*cm-2*s-1
UV	13.35 mag
Visible	10.43 mag
IR-Cercano	2.45 log miliJy
IR-Lejano	1.38E+1 Jy
Radio	2.0 Jy (178 MHz)

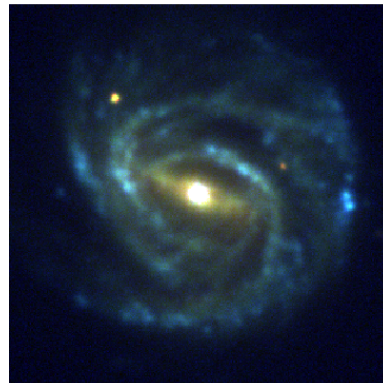


Figura 1: Galaxia NGC3367

NGC3367¹ es una galaxia espiral barrada (Seyfert) asimétrica con una inclinación cercana a los 25 grados; La tasa de formación estelar es de 3 masas solares por año[4]. La galaxia presenta dos lóbulos de radio que se extienden desde una fuente nuclear. La emisión del lóbulo suroeste está polarizada, lo que indica que está por encima de la llanura del disco, mientras que la del noreste está despolarizada[3][2].

2 Descripción y procesamiento de los datos

Los datos empleados son provenientes del arreglo interferométrico VLA (Karl G. Jansky Very Large Array) con fecha del 14 de julio de 2001.

Inicialmente se contaba con datos en el plano UV y el cubo de datos en el plano α - δ , no obstante, para el análisis concerniente a este reporte tan solo se procesaron y analizaron los datos del cubo en el plano α - δ (debidamente transportados al espacio de Fourier) relegando así los datos del plano UV como un recurso pedagógico en pro de la comprensión y metodología en la toma de información con técnicas de radiointerferometría.

El cubo de datos del plano α - δ consistía en 63 canales espaciados en intervalos de 21.1 km/s con un tamaño de cuadrícula de 512x512 píxeles. Dado que el objeto de interés a estudiar en NGC3367 es la emisión de HI de 21 cm, cada banda equivalentemente tiene un ancho aproximado de 0.1 MHz, adicionalmente, las observaciones se realizaron utilizando la banda L en el arreglo del VLA.

Dado que la transformación de los datos del plano UV al plano α - δ conlleva a errores intrínsecos al realizar la transformada de Fourier, aunado al hecho de que las propias antenas son proclives a inducir errores sistemáticos en los

datos por variaciones en temperatura, zonas de interferencia, etc, usando la herramienta `tvwin` en AIPS se procedió a estimar el nivel de ruido promedio de los datos haciendo un muestreo aleatorio en el cubo del plano α - δ .

La idea general de este proceso consistía en determinar y calibrar el nivel de ruido que contenían los datos. Para dar fin al cometido mencionado anteriormente, se dispuso definir 10 canales de forma aleatoria en los cuales establecer regiones de medición de ruido cercanas al área de emisión (pero sin tocarla, de lo contrario no tendría sentido el procedimiento). Realizando la estadística apropiada a cada una de las cajas con la herramienta `imean` (en cada uno de los canales muestreados) se estima el rms general del cubo de datos.

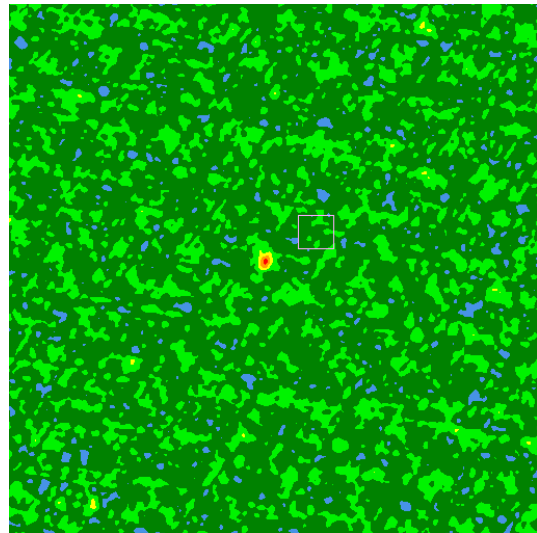


Figura 2: Calibración del ruido en el cubo de datos, muestreo de un canal

Se tomaron datos de los canales 32, 47, 58, 14, 7, 28, 38, 43, 53 y 19. La evidencia está en los archivos adjuntos a este reporte.

¹La figura 2 es una composición RGB con datos del SDSS(banda i, u y g), tomados del Sky View Virtual Observatory y procesada con DS9.

Una vez calibrado el nivel de ruido en el conjunto de datos se procede a realizar los análisis concernientes. Usando la tarea `kntr` y designando la zona de la cuadrícula donde presuntamente está la emisión, se pueden visualizar

aquellos canales donde, en efecto, se produce la emisión, para el caso concreto esto sucede desde el canal 31 a 42 como se observa en la figura 3 y la figura 4.

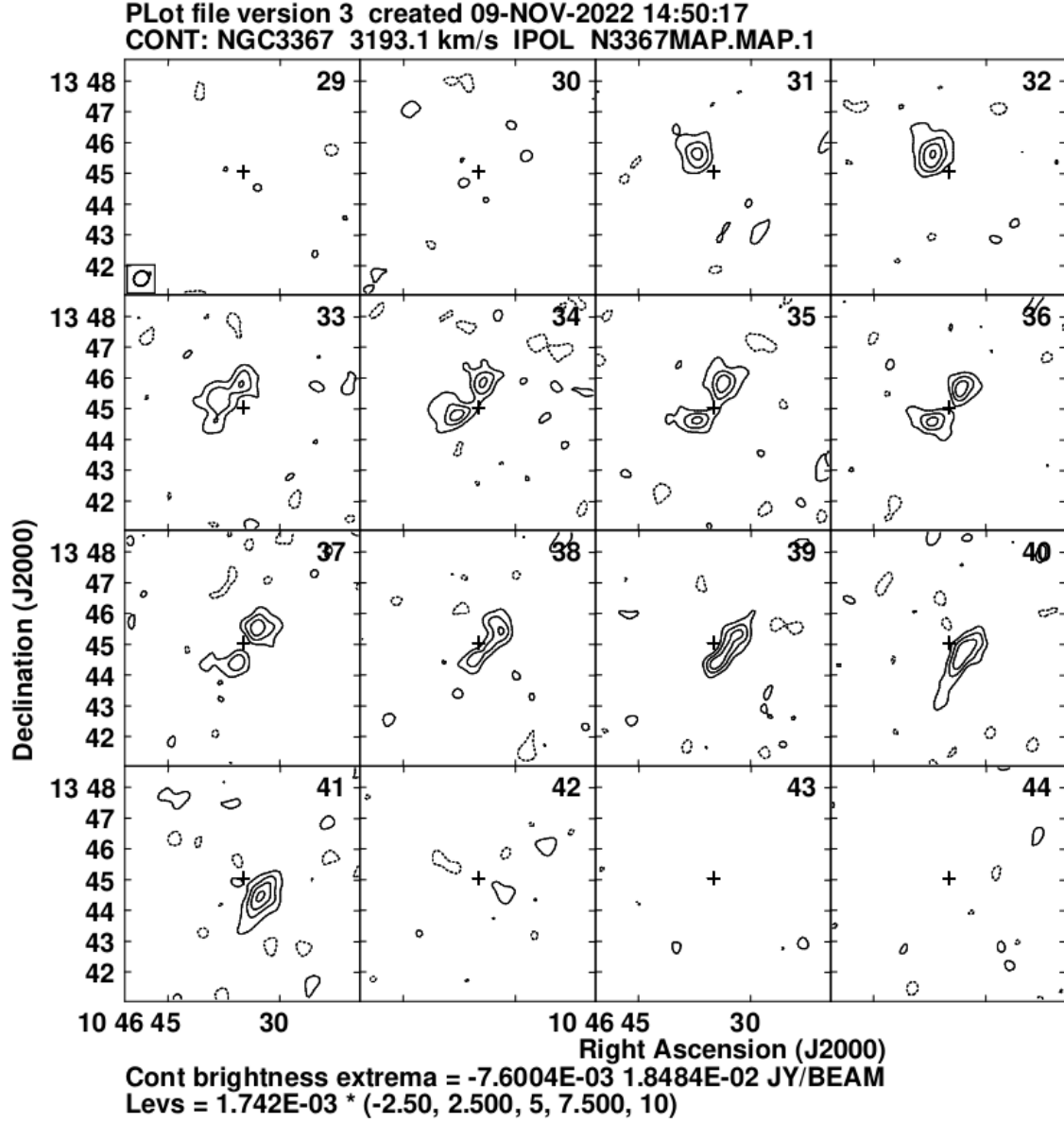


Figura 3: Contornos de emisión en HI para distintos canales

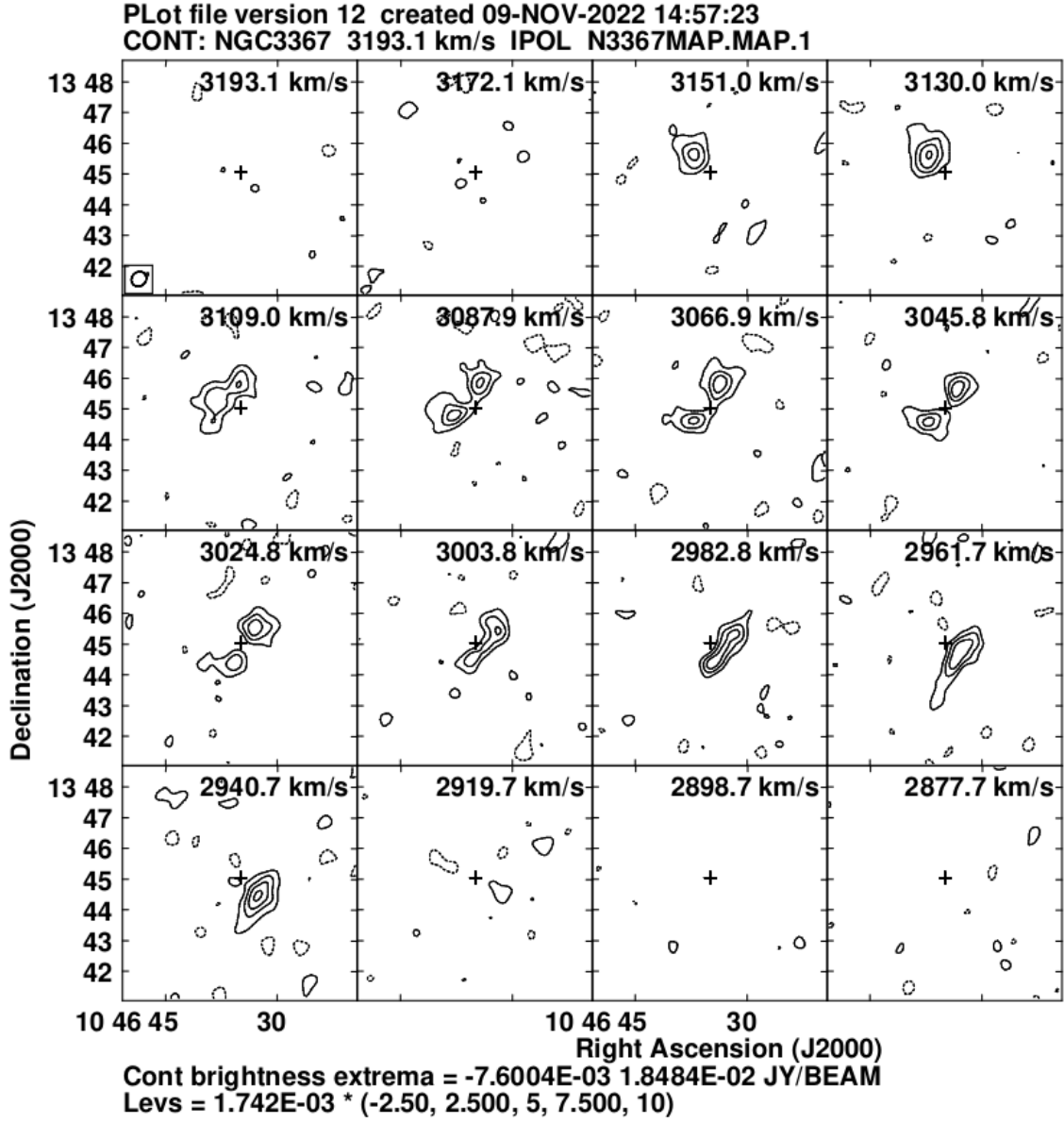


Figura 4: Contornos de emisión en HI para distintos intervalos de velocidad

Nótese de las figuras anteriores que, por una parte, calibrar el ruido es supremamente importante pues define el nivel basal desde el cual considerar si existe la emisión de interés y, consecuentemente, a partir de tal nivel de referencia se establecen los isocontornos de emisión para

cada uno de los canales. Prosiguiendo con el análisis de la información se tiene que, a fin de cuentas, el interés de obtener la emisión de 21cm de HI en cada canal es precisar el flujo total para el objeto, es decir NGC3367.

Así pues, con tal de obtener el valor mencionado previamente se debe medir el flujo en los canales 31 a 42 usando la herramienta `imean` y computar el valor total mediante una sumatoria (ver los archivos adjuntos a este reporte). Tal como se observa en la figura 5, las regiones donde se acota la emisión deben ser mayores a 2.5σ .

Ahora bien, obteniendo la sumatoria del flujo para todos los canales y sabiendo el ancho de los mismos, se puede estimar la densidad de flujo en HI para NGC3367. Con la información a la mano hasta el momento también se puede estimar, la masa gaseosa (HI) del objeto y su velocidad central (ver figuras 3 y 4 en el canal 36). El procedimiento se resume como sigue:

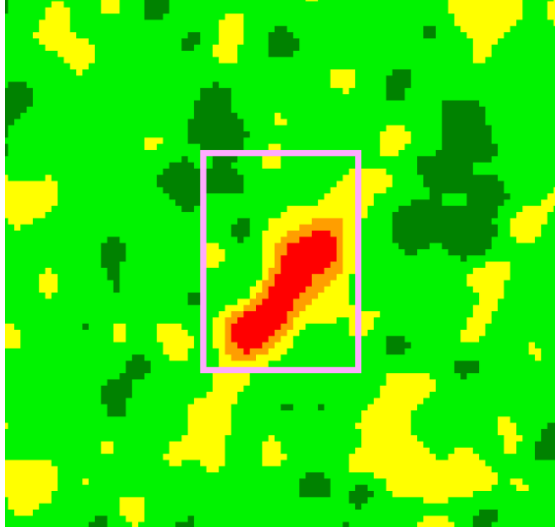


Figura 5: Medición del flujo de HI en uno de los canales seleccionados donde se distingue la emisión

²Usando el valor de distancia estimado por [1] de 43.55 Mpc

³El valor calculado es consistente con la estimación propuesta por [4] donde plantean un valor de $10^{10}M_{\odot}$ incluyendo la masa gaseosa de HI ($7 \times 10^9 M_{\odot}$) y CO.

⁴El valor de velocidad central es consistente con el valor estimado en [5] (3038.09 km/s) y es consistente con los resultados obtenidos de las figuras 3 y 4 en el canal 36.

- Flujo total y densidad de flujo
Canales con emisión 31-42

$$S = \sum_i S_i = \sum_{31}^{42} S_i = 0.8673 \text{ Jy}$$

$$F_{HI} = S * \Delta v = 0.8673 \text{ Jy} * 21.1 \text{ km/s}$$

$$F_{HI} = 18.3014 \text{ Jy*km/s}$$

- Masa total de HI²

$$M_{HI} = 2.36 \times 10^5 * D^2 * F_{HI}$$

$$M_{HI} = 2.36 \times 10^5 * (43.55 \text{ Mpc})^2 * 18.3014 \text{ Jy*km/s}$$

³

$$M_{HI} = 8.1916 \times 10^9 M_{\odot}$$

- Velocidad central ⁴

Canales con emisión 31-42

$$V_c = \frac{v_f - v_i}{2} = \frac{(3172.1 - 2919.7) \text{ km/s}}{2}$$

$$V_c = 3045.9 \text{ km/s}$$

3 Morfología y cinemática

En probabilidad y estadística existen cantidades llamadas momentos que se asocian a funciones de distribución de probabilidad de variables aleatorias.

Utilizando la tarea `momnt` se calcula el momento de orden 0 y el momento de orden 1 donde la función $f(x)$ corresponde a la intensidad de flujo en cada píxel (variando esta de un canal a otro como se mostró previamente) y la variable aleatoria X es la velocidad (el eje Z en el cubo de datos). Cada píxel reporta una intensidad diferente en tanto se visualizan los canales a distinta velocidad.

$$E(X^0) = \sum_j I(x_j)$$

$$E(X^1) = \sum_j x_j I(x_j)$$

Una forma de entender el procedimiento de

la tarea `momnt` al calcular los momentos es que pesa cada píxel en cada canal con respecto a un canal anterior y adelante (se debe definir un *cellsize*) para luego colapsar la función de distribución en todos los canales con emisión. Por lo tanto, el momento de orden 0 representa la intensidad de HI (distribución en el plano α - δ) y el momento de orden 1 es el campo de velocidades. A partir de esta información se puede conocer la morfología de la galaxia, la distribución del gas neutro y su velocidad.

Dado lo anterior, tómesese como referencia la figura 6 del momento de orden 0, donde se observa la distribución de HI en NGC3367. También, haciendo uso de las tareas `hgeom` y `kntr`, se puede superponer una imagen en óptico⁵ con los contornos generados por los momentos. Véanse las figuras 7 y 8; nótese que el área que ocupa la emisión en HI rebasa por extensión el área que ocupa la galaxia en óptico, por otro lado, los isocontornos de velocidad del momento 1 indican la rotación del gas.

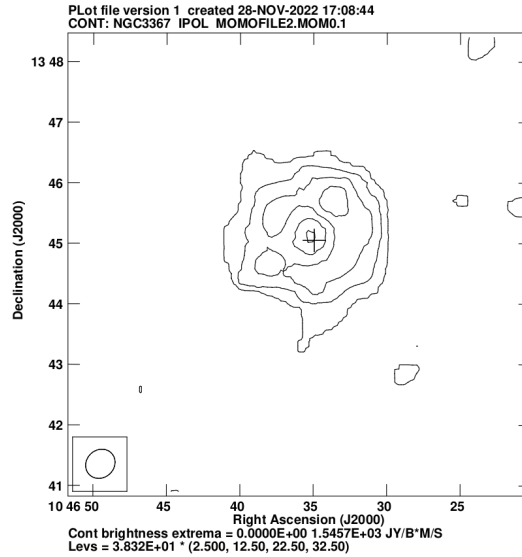


Figura 6: Flujo total de HI en el plano α - δ (Momento 0)

⁵Banda g en óptico del SDSS descargado del Sky View Virtual Observatory.

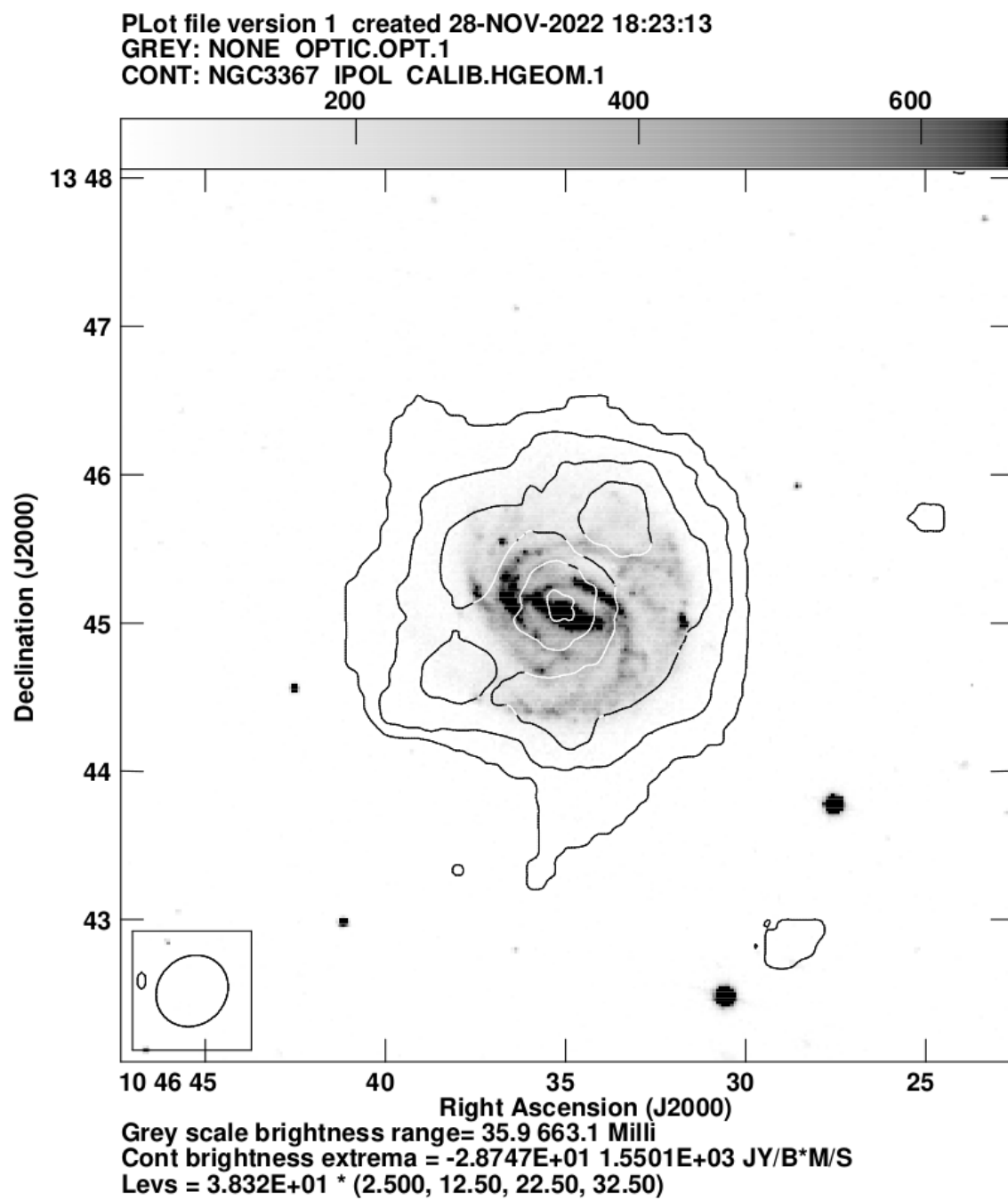


Figura 7: Momento 0. Distribución de HI en NGC3367 en el plano α - δ superpuesta con la banda g-SDSS. Campo de 6 *arcmin*.

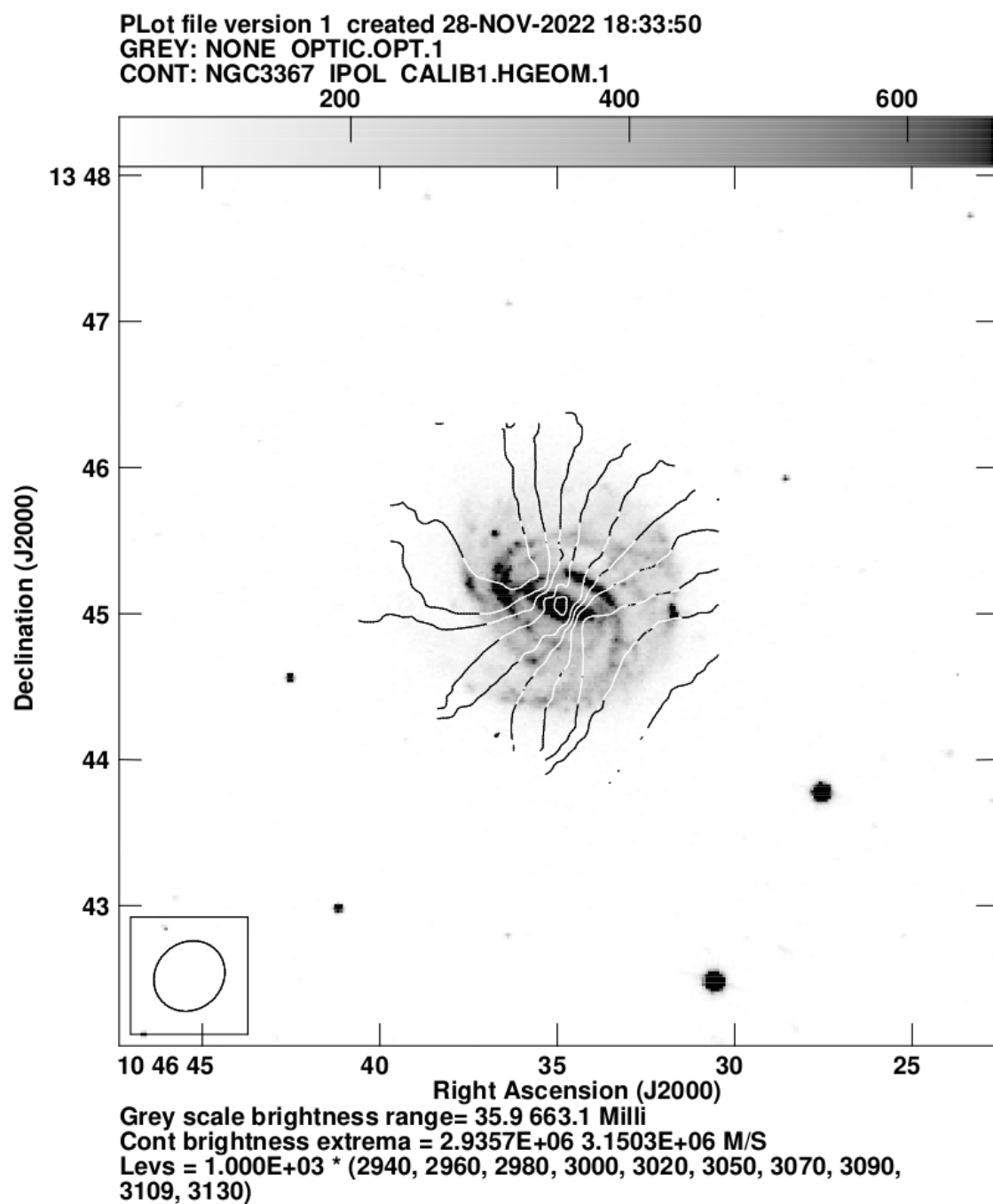


Figura 8: Momento 1. Campo de velocidades de HI en NGC3367 en el plano α - δ superpuesta con la banda g-SDSS. Campo de 6 *arcmin*.

4 DISCUSIÓN

Según el trabajo de Hernández-Toledo et al. (2011)[4], la galaxia NGC3367 presenta una asimetría en HI y H α que no se observa en las bandas ópticas y del cercano infrarrojo. El trabajo tenía como objetivo analizar la estructura estelar y gaseosa de la galaxia.

De las figuras 3, 4, 6 y 7 se puede observar que la zona central de la galaxia carece de emisión en HI, de acuerdo al análisis llevado a cabo por [4] este fenómeno ocurre debido a que esta zona está cubierta mayoritariamente por gas molecular. Adicionalmente, observando los contornos del momento 0, es plausible decir que la zona noroeste de la galaxia (a partir del centro) presenta una sobredensidad, esto refleja un patrón cinemático del gas neutro (un abultamiento del gas en esa zona).

Según los autores, la sobredensidad mencionada previamente también es apreciable en H α sugiriendo que la galaxia ha sufrido una interacción reciente con otro objeto de baja masa, o bien, una galaxia rica en gas. Otra posibilidad sugiere que la actividad nuclear en la galaxia podría estimular la formación de una barra en la zona donde acontece la sobredensidad.

5 Otras tareas de AIPS utilizadas

Se describen algunas tareas adicionales utilizadas en el procesamiento de los datos y una breve descripción:

- **fitld** : Cargar archivos *.fits* dentro de AIPS.
- **trans** : Cambiar el orden de las coordenadas del cubo de datos.

- **stars** : Asociar y posicionar la cruz de referencia en los mapas de isocontornos y de momentos.
- **tval1**, **tvmovie** : Visualizar y analizar el cubo de datos.
- **lwpla** : Exportar y guardar los plots.
- **ispec** : Extracción de la línea espectral (ver figura 9)

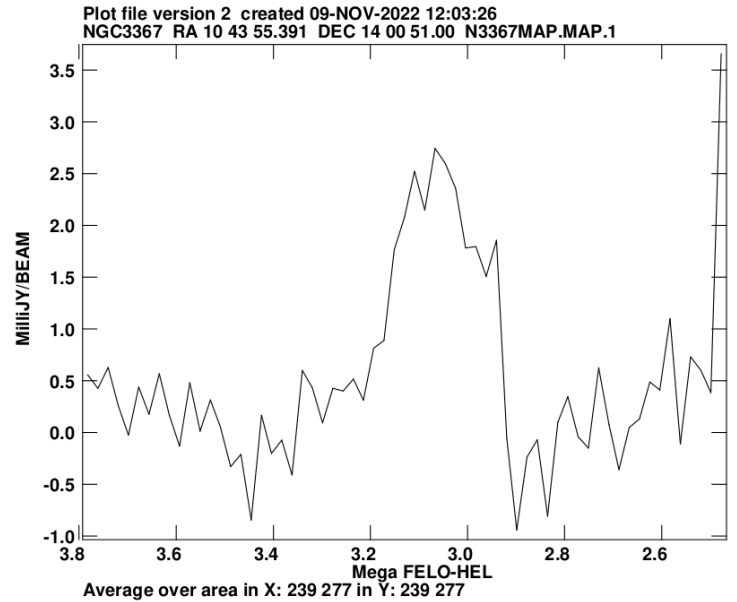


Figura 9: Línea espectral.

ÍNDICE BIBLIOGRÁFICO

- [1] Jeremy D Bradford, Marla C Geha, and Michael R Blanton. “A study in blue: the baryon content of isolated low-mass galaxies”. In: *The Astrophysical Journal* 809.2 (2015), p. 146.
- [2] J Antonio Garcia-Barreto, José Franco, and Lawrence Rudnick. “VLA high-resolution 1.4 and 8.4 GHz mapping of the barred galaxy NGC 3367”. In: *The Astronomical Journal* 123.4 (2002), p. 1913.

- [3] JA Garcia-Barreto et al. “Central activity in the barred galaxy NGC 3367”. In: *The Astronomical Journal* 116.1 (1998), p. 111.
- [4] HM Hernández-Toledo et al. “The Bulgeless Seyfert/LINER Galaxy NGC 3367: Disk, Bar, Lopsidedness, and Environment”. In: *The Astronomical Journal* 142.6 (2011), p. 182.
- [5] NY Lu et al. “HI 21 centimeter observations and I-band CCD surface photometry of spiral galaxies behind the Virgo Cluster and toward its antipode”. In: *The Astrophysical Journal Supplement Series* 88 (1993), pp. 383–413.