

UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO

CAMPUS GUANAJUATO

DIVISIÓN DE CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS



CARACTERIZACIÓN DE REGIONES HII

Tesis presentada al

POSGRADO EN CIENCIAS (ASTROFÍSICA)

como requisito para la obtención del grado de

MAESTRÍA EN CIENCIAS (ASTRONOMÍA)

por

DANIEL QUIROGA GONZÁLEZ

Asesor:

DR. MIGUEL ÁNGEL TRINIDAD HERNÁNDEZ

Coasesor:

DR. JOSEP MARÍA MASQUÉ SAUMELL

Guanajuato, Gto. - Octubre 2019

RESUMEN

En el presente trabajo se reporta la caracterización de una muestra de fuentes candidatas a región H II (con el objetivo de recabar datos de dichos objetos astronómicos). Para dicho trabajo se usaron datos de archivo (AC295) de las bandas X y K en las configuraciones B y C del VLA, respectivamente. Además, para complementar el estudio se usaron observaciones (publicadas) de la banda C. De un total de 94 fuentes observadas en la banda X se detectaron 22 fuentes y de un total de 52 fuentes en la banda K se detectaron solamente cinco. Para investigar la naturaleza de las fuentes detectadas, primero se obtuvieron los parámetros físicos de dichas fuentes. Para el caso de fuentes detectadas en una sólo banda se calcularon los parámetros físicos suponiendo que las fuentes podrían ser regiones H II, encontrando que de un total de 13 fuentes; tres parecen ser consistentes con regiones H II ultracompactas, ocho con regiones H II hipercompactas y dos con regiones H II compactas. Por otro lado, para aquellas fuentes que se detectaron en al menos dos bandas se determinó el índice espectral, el cual junto con la morfología de la fuente, a primera aproximación permite inferir si la fuente podría ser consistente con un chorro térmico o una región H II. En los casos en que vimos una morfología o índice espectral de chorro térmico, se calculó la tasa de masa ionizada para confirmarlo, con lo cual se encontró que tres de estas formaban parte de un chorro térmico. Finalmente los parámetros físicos de fuentes con dos o tres observaciones se calcularon suponiendo que las fuentes eran regiones H II con forma cilíndrica, esférica y con distribución gaussiana. De dichos modelos se tomó el que diera mejores ajustes, hallando cinco regiones H II ultracompactas y dos regiones H II hipercompactas.

ABSTRACT

In the present work we report the characterization of a sample of candidates to be H II regions (to achieve data of these astronomical objects). To achieve this we use archive data (AC295) at the X and K bands in the B and C configurations, respectively. Also we complement the study with observations (published) at the C band. From a total of 94 sources observed in the X band we detect 22 sources and for the 52 sources observed in the K band we only detect five. To understand the nature of the detected sources, we calculate their physical parameters. For sources detected in only one band we calculate the physical parameters using the assumption that these are H II regions, we find that of a total of 13 detected sources, three are consistent with the ultracompact H II regions, eight with hypercompact H II regions and two with compact H II regions. On the other hand with sources detected in at least two bands their spectral index was calculate, which with the morphology of the source helps to determine if it is a thermal jet or a H II region. In the case of suspicious of a thermal jet, we calculate the rate of ionizing mass to confirm this, finding three sources forming part of a thermal jet. Finally the physical parameters of sources with three or two observations were calculated modelling them as H II regions with cylindrical shape, spherical shape and gaussian distribution shape. We take the best models and find five ultracompact H II regions and two hypercompact H II regions.

ÍNDICE GENERAL

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Motivación	1
1.2	Formación estelar masiva	2
1.3	Regiones H II	3
1.3.1	Esfera de Strömgren	4
1.4	Clasificación de Regiones H II	5
1.4.1	Regiones H II gigantes y supergigantes	6
1.4.2	Regiones H II clásicas	7
1.4.3	Regiones H II compactas	7
1.4.4	Regiones H II ultracompactas	9
1.4.5	Regiones H II hipercompactas	10
2	OBSERVACIONES Y CALIBRACIÓN DE DATOS	13
2.1	El VLA	13
2.2	Archivos del VLA	14
2.3	Observaciones	15
2.3.1	Observaciones de la Banda C (6 cm)	15
2.3.2	Observaciones de la Banda X (3.6 cm)	15
2.3.3	Observaciones de la Banda K (1.3 cm)	16
2.4	Calibración de datos	16
2.4.1	Proceso de reducción de datos en CASA	16
3	RESULTADOS OBSERVACIONALES	27
3.1	Fuentes detectadas	27
3.1.1	IRAS 01045+6505	27
3.1.2	IRAS 01133+6434	30
3.1.3	IRAS 03235+5808	32
3.1.4	IRAS 04324+5106	32
3.1.5	IRAS 04366+5022	33
3.1.6	IRAS 05305+3029	34
3.1.7	IRAS 05358+3543	35
3.1.8	IRAS 05553+1631	36
3.1.9	IRAS 06055+2039	37
3.1.10	IRAS 06412-0105	38
3.1.11	IRAS 06567-0355	39
3.1.12	IRAS 07299-1651	41
3.1.13	IRAS 07427-2400	41
3.1.14	IRAS 07311-2204	43

3.1.15	IRAS 07528-3441	44
3.1.16	IRAS 08189-3602	45
3.1.17	IRAS 21306+5540	47
3.1.18	IRAS 21334+5039	47
3.1.19	IRAS 21413+5442	50
3.1.20	IRAS 22134+5834	51
3.1.21	IRAS 22308+5812	51
3.1.22	IRAS 23030+5958	55
4	DISCUSIÓN	59
4.1	Fuentes detectadas sólo en la banda X	59
4.2	Fuentes detectadas en dos bandas	62
4.3	Fuentes detectadas en las bandas C, X y K	71
4.4	Relaciones estadísticas	77
5	CONCLUSIONES	79
	BIBLIOGRAFÍA	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Formación estelar masiva a través del modelo de coalescencia (tomada de Lada (1987))	3
Figura 2	Esfera de Strömngren (tomada de Harwit (1973))	4
Figura 3	Región H II Gigante NGC 3603 (tomada del mapeo 2MASS realizado por IPAC)	6
Figura 4	Región H II Clásica M42 (tomada por el observatorio Blue Mountain Vista)	7
Figura 5	Región H II compacta S88 (tomada del mapeo 2MASS realizado por IPAC)	8
Figura 6	Región H II ultracompacta cometaria G34.3+0.15 (tomada de Garay & Lizano (1999))	10
Figura 7	Imagen del VLA (tomada de la página del VLA)	14
Figura 8	Imagen de la interfaz del VLA (tomada de la página del VLA)	14
Figura 9	Región IRAS 01045+6505. Panel superior izquierdo: Mapa de contornos de la banda C, haz=1.57"x1.05" (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos [-5,-3,5,10,15,20,40,60,100,140,200], $\sigma=0.11$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). Panel superior derecho: Mapa de contornos de la banda X, haz=1.57"x1.05" (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos [-5,5,10,15,30,60,90,120,150,180], $\sigma=0.26$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). Panel inferior izquierdo: Mapa de contornos de la banda K, haz=1.57"x1.05" (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos [-5,-3,3,5,10,15,20,25,30], $\sigma=0.57$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). Panel inferior derecho: Mapas superpuestos; Patrón de colores: Mapa de contornos de la banda C, Contornos negros: Mapa de contornos de la banda X, Contornos azules: Mapa de contornos de la banda K.	31
Figura 10	Región IRAS 01133+6434. Mapa de contornos de la banda X, haz=0.81"x0.77" (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos [-5,-3,3,5,7,9,12,15,18], $\sigma=0.08$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms).	32

- Figura 11 Región IRAS 03235+5808. Mapa de contornos de la banda X, haz=0.86"x0.79" (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos [-5,-3,5,10,20,30,40,50], $\sigma=0.10$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). 33
- Figura 12 Región IRAS 04324+5106. Mapa de contornos de la banda X, haz=1.12"x0.87" (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos [-5,-3,3,5,7,9,12,15,18], $\sigma=0.08$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). 34
- Figura 13 Región IRAS 04366+5022. Mapa de contornos de la banda X, haz=1.10"x0.86" (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos [-5,-3,3,5,7,9,12,15,20,25,30], $\sigma=0.03$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). 35
- Figura 14 Región IRAS 05305+3029. Mapa de contornos de la banda X, haz=0.97"x0.72" (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos [-5,-3,3,5,7,9,12,15,18], $\sigma=0.01$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). 36
- Figura 15 Región IRAS 05358+3543. Mapa de contornos de la banda X, haz=0.88"x0.74" (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos [-5,-3,3,5,7,9,12,15,18], $\sigma=0.02$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). 37
- Figura 16 Región IRAS 05553+1631. Mapa de contornos de la banda X, haz=1.00"x0.62" (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos [-5,-3,3,5,7,9,12,15,18], $\sigma=0.03$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). 38
- Figura 17 Región IRAS 06055+2039. Mapa de contornos de la banda X, haz=1.11"x0.74" (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos [-5,-3,3,4,5,6,7], $\sigma=0.09$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). 39
- Figura 18 Región IRAS 06412-0105. Panel superior: Mapa de contornos de la banda X, haz=1.26"x0.78" (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos [-5,-3,3,4,5,6,7,10,15,20,30,40], $\sigma=0.57$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). Panel medio: Mapa de contornos de la banda K, haz=1.36"x1.09" (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos [-4,-3,3,4,5,6,7,9,12], $\sigma=1.20$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). Panel inferior: Mapas superpuestos; Patrón de colores: Mapa de contornos de la banda X, Contornos negros: Mapa de contornos de la banda K. 40

- Figura 19 Región IRAS 06567-0355. Panel superior: Mapa de contornos de la banda C, haz=1.62"x1.16" (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos [-5,5,10,15,20,25,30,35], $\sigma=0.18$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). Panel medio: Mapa de contornos de la banda X, haz=1.62"x1.16" (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos [-5,-3,5,10,20,30,40,60,80], $\sigma=0.06$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). Panel inferior: Mapas superpuestos; Patrón de colores: Mapa de contornos de la banda C, Contornos negros: Mapa de contornos de la banda X. 42
- Figura 20 Región IRAS 07299-1651. Mapa de contornos de la banda X, haz=1.40"x0.76" (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos [-5,-3,9,12,15,18,21], $\sigma=0.01$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). 43
- Figura 21 Región IRAS 07427-2400. Mapa de contornos de la banda X, haz=1.65"x0.77" (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos [-5,5,10,20,40,60,80], $\sigma=0.02$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). 44
- Figura 22 Región IRAS 07311-2204. Mapa de contornos de la banda X, haz=1.50"x0.76" (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos [-5,-3,3,5,7,9,12,15,18], $\sigma=0.01$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). 45
- Figura 23 Región IRAS 07528-3441. Panel superior: Mapa de contornos de la banda C, haz=4.52"x1.14" (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos [-5,5,10,20,30,45], $\sigma=0.08$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). Panel medio: Mapa de contornos de la banda X, haz=4.52"x1.14" (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos [-5,5,10,20,30,45], $\sigma=0.08$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). Panel inferior: Mapas superpuestos; Patrón de colores: Mapa de contornos de la banda C, Contornos negros: Mapa de contornos de la banda X. 46

- Figura 24 Región IRAS 08189-3602. Panel superior: Mapa de contornos de la banda X, haz= $4.24'' \times 1.16''$ (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos $[-4,-3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13]$, $\sigma=1.98$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). Panel medio: Mapa de contornos de la banda K, haz= $4.24'' \times 1.16''$ (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos $[-4,-3,3,4,5,6,7,9,12]$, $\sigma=2.45$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). Panel inferior: Mapas superpuestos; Patrón de colores: Mapa de contornos de la banda X, Contornos negros: Mapa de contornos de la banda K. 48
- Figura 25 Región IRAS 21306+5540. Panel superior: Mapa de contornos de la banda C, haz= $1.81'' \times 1.14''$ (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos $[-3,3,6,9,12,15,20,25]$, $\sigma=0.46$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). Panel medio: Mapa de contornos de la banda X, haz= $1.81'' \times 1.14''$ (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos $[-6,6,12,18,24,30,36,42,48]$, $\sigma=0.17$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). Panel inferior: Mapas superpuestos; Patrón de colores: Mapa de contornos de la banda C, Contornos negros: Mapa de contornos de la banda X. 49
- Figura 26 Región IRAS 21334+5039. Mapa de contornos de la banda X, haz= $0.78'' \times 0.68''$ (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos $[-5,-3,5,10,20,30,50,70,90,120]$, $\sigma=0.04$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). 50

- Figura 27 Región IRAS 21413+5442. Panel superior izquierdo: Mapa de contornos de la banda C, haz=1.87"x1.13" (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos [-10,10,20,40,60,100,150,200,250], $\sigma=0.29$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). Panel superior derecho: Mapa de contornos de la banda X, haz=1.87"x1.13" (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos [-5,-3,5,10,20,35,50,65,90,120], $\sigma=0.97$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). Panel inferior izquierdo: Mapa de contornos de la banda K, haz=1.87"x1.13" (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos [-5,5,10,20,30,50,70,90,110,130], $\sigma=2.50$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). Panel inferior derecho: Mapas superpuestos; Patrón de colores: Mapa de contornos de la banda C, Contornos negros: Mapa de contornos de la banda X, Contornos azules: Mapa de contornos de la banda K. 52
- Figura 28 Región IRAS 22134+5834. Mapa de contornos de la banda X, haz=0.82"x0.72" (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos [-5,-3,3,5,7,9,12,15,18], $\sigma=0.20$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). 53
- Figura 29 Región IRAS 22308+5812. Panel superior: Mapa de contornos de la banda C, haz=1.90"x1.07" (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos [-3,3,6,12,18,24,30], $\sigma=0.47$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). Panel medio: Mapa de contornos de la banda X, haz=1.90"x1.07" (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos [-6,6,12,18,24,30,36,42,48], $\sigma=0.57$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). Panel inferior: Mapas superpuestos; Patrón de colores: Mapa de contornos de la banda C, Contornos negros: Mapa de contornos de la banda X. 54

- Figura 30 Región IRAS 23030+5958. Panel superior izquierdo: Mapa de contornos de la banda C, $\text{haz}=1.53''\times 1.10''$ (mostrado en la esquina inferior izquierda), cont. [-3,3,4,5,6, 7,8,9,10,11,12,13,14,15], $\sigma=1.58$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). Panel superior derecho: Mapa de contornos de la banda X, $\text{haz}=1.53''\times 1.10''$ (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos [-5,-3,3,5,7,9,12,15,18,24,30], $\sigma=1.40$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). Panel inferior izquierdo: Mapa de contornos de la banda K, $\text{haz}=1.53''\times 1.10''$ (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos [-5,-3,3,5,7,9,12,15,18], $\sigma=3.34$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). Panel inferior derecho: Mapas superpuestas; Patrón de colores: Mapa de contornos de la banda C, Contornos negros: Mapa de contornos de la banda X, Contornos azules: Mapa de contornos de la banda K. 56
- Figura 31 Panel izquierdo: Región IRAS 0189-3602. Mapa de contornos de la banda X, $\text{haz}=4.24''\times 1.16''$ (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos [-4,-3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13], $\sigma=1.98$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). Panel derecho: Fuente intensa en las cercanías de la región IRAS 08189-3602. Banda X, $\text{haz}=2.45''\times 0.84''$ (mostrado en la esquina inferior izquierda), cont. [-5,-3,3,4,5,6,7], $\sigma=0.73$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). 65
- Figura 32 Panel izquierdo: Región IRAS 0189-3602. Mapa de contornos de la banda K, $\text{haz}=4.24''\times 1.16''$ (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos [-4,-3,3,4,5,6,7,9,12], $\sigma=2.45$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). Panel derecho: Fuente intensa en las cercanías de la región IRAS 08189-3602. Banda K, $\text{haz}=3.73''\times 0.95''$ (mostrado en la esquina inferior izquierda), cont. [-5,-3,2,3,4,5], $\sigma=1.59$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). 66
- Figura 33 Esta gráfica muestra el ajuste de los modelos desarrollados por Rodríguez et al (2018) aplicados sobre las S_ν observadas en IRAS 08189-VLA1. Donde los puntos son las S_ν observadas, la línea continua es el ajuste del modelo esférico, la línea en segmentos es el ajuste del modelo cilíndrico y la línea de puntos y segmentos es el ajuste del modelo gaussiano. 68

- Figura 34 Esta gráfica muestra el ajuste de los modelos desarrollados por Rodríguez et al (2018) aplicados sobre las S_v observadas en IRAS 06567-VLA1. Donde los puntos son las S_v observadas, la línea continua es el ajuste del modelo esférico y la línea en segmentos es el ajuste del modelo cilíndrico. 69
- Figura 35 Esta gráfica muestra el ajuste de los modelos desarrollados por Rodríguez et al (2018) aplicados sobre las S_v observadas en IRAS 22308-VLA1. Donde los puntos son las S_v observadas, la línea continua es el ajuste del modelo esférico, la línea en segmentos es el ajuste del modelo cilíndrico y la línea de puntos y segmentos es el ajuste del modelo gaussiano. 70
- Figura 36 Esta gráfica muestra el ajuste de los modelos desarrollados por Rodríguez et al (2018) aplicados sobre las S_v observadas en IRAS 07528-VLA2. Donde los puntos son las S_v observadas, la línea continua es el ajuste del modelo esférico, la línea en segmentos es el ajuste del modelo cilíndrico y la línea de puntos y segmentos es el ajuste del modelo gaussiano. 71
- Figura 37 Esta gráfica muestra el ajuste de los modelos desarrollados por Rodríguez et al (2018) aplicados sobre las S_v observadas en IRAS 01045-VLA1. Donde los puntos son las S_v observadas, la línea continua es el ajuste del modelo esférico, la línea en segmentos es el ajuste del modelo cilíndrico y la línea de puntos y segmentos es el ajuste del modelo gaussiano. 75
- Figura 38 Esta gráfica muestra el ajuste de los modelos desarrollados por Rodríguez et al (2018) aplicados sobre las S_v observadas en IRAS 21413-VLA1. Donde los puntos son las S_v observadas, la línea continua es el ajuste del modelo esférico, la línea en segmentos es el ajuste del modelo cilíndrico y la línea de puntos y segmentos es el ajuste del modelo gaussiano. 76
- Figura 39 Gráfica logarítmica de N_i vs tamaño, los puntos son los datos de la banda X y la recta es el ajuste a los datos de la banda X. 77

Figura 40 Gráfica logarítmica de n_e vs tamaño, los puntos son los datos de la banda X y la recta es el ajuste a los datos de la banda X. 78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Parámetros físicos de Tipos de Regiones H II. Tomada de Kurtz. (2002)	5
Tabla 2	Fuentes usadas en la banda C.	15
Tabla 3	Fuentes observadas en la banda X. Primera parte	17
Tabla 4	Fuentes observadas en la banda X. Segunda parte	18
Tabla 5	Fuentes observadas en la banda X. Tercera parte	19
Tabla 6	Fuentes observadas en la banda K. Primera parte	20
Tabla 7	Fuentes observadas en la banda K. Segunda parte	21
Tabla 8	Fuentes detectadas en la banda X.	28
Tabla 9	Fuentes detectadas en la banda K	29
Tabla 10	Fuentes detectadas en la banda C	29
Tabla 11	Parámetros observacionales de las fuentes detectadas únicamente en la banda X.	57
Tabla 12	Parámetros observacionales de las fuentes detectadas en dos bandas. (X y K ó X y C)	57
Tabla 13	Parámetros observacionales de las fuentes detectadas en las bandas C, X y K.	58
Tabla 14	Parámetros físicos de las fuentes detectadas sólo en la banda X	60
Tabla 15	Parámetros físicos de las fuentes para el modelo cilíndrico	64
Tabla 16	Parámetros físicos de las fuentes para el modelo esférico	64
Tabla 17	Parámetros físicos de las fuentes para el modelo gaussiano	65
Tabla 18	Parámetros físicos de las fuentes para el modelo cilíndrico	73
Tabla 19	Parámetros físicos de las fuentes para el modelo esférico	73
Tabla 20	Parámetros físicos de las fuentes para el modelo gaussiano	74

INTRODUCCIÓN

1.1 MOTIVACIÓN

Entender el proceso de formación de estrellas es muy importante para comprender la evolución, tanto química como física, de nuestra Galaxia y en general de todas las galaxias. De particular interés son las estrellas masivas, ya que estas, debido a la gran cantidad de materia y energía que vierten al medio interestelar a lo largo de su vida, son las que determinan principalmente la evolución de las galaxias.

De manera general, el proceso de formación de estrellas se puede dividir en tres grupos, pero nos centraremos en dos de los más importantes: el de las estrellas de baja masa ($< 2M_{\odot}$) y el de las estrellas masivas ($> 8M_{\odot}$). Desde hace varias décadas se ha estudiado con mucho detalle el proceso de formación de estrellas de baja masa y al día de hoy se conoce bastante bien, tanto teórica como observacionalmente. Una revisión completa de dicho proceso se encuentra en [Shu et al \(1987\)](#), donde se muestra que para el proceso de estrellas de baja masa se requiere de un sistema disco-OEJ-flujo (OEJ: Objeto Estelar Joven). Por otro lado, en lo referente al proceso de formación de estrellas masivas, la historia es bastante diferente. Este tema se empezó a estudiar con bastante detalle sólo hace poco más de un par de décadas. Sin embargo, al día de hoy no se tiene un modelo completamente aceptado para la formación de este tipo de estrellas (e.g. [Garay & Lizano \(1999\)](#)). Por un lado, hay un grupo de autores que apoya la idea de que todas las estrellas, independientemente de su masa, se forman vía acreción (como se da en las estrellas de baja masa). Por otro lado, hay quienes han mostrado que las estrellas masivas se forman a través de coagulación/fusión de estrellas de baja masa. Actualmente, aunque ambos escenarios están soportados por diversos estudios (e.g. [Zinnecker & Yorke \(2007\)](#)), la mayoría de las evidencias parecen indicar que las estrellas masivas se forman de manera similar, con ciertos ajustes, a las de baja masa. Sin embargo, aún se requieren de múltiples estudios, tanto observacionales como teóricos, para tener certeza de su proceso de formación.

Para avanzar en la comprensión del proceso de formación de estrellas masivas es fundamental estudiar las propiedades físicas y químicas, así como la evolución de las fases más tempranas de dicho proceso. Dos de las fases más tempranas de la formación de estrellas masivas son la de objeto estelar joven y la de región H II ultracompacta (e.g. [Garay & Lizano \(1999\)](#)). Ambas fases se han estudiado con cierto detalle, sin embargo, cada vez surgen nuevas interrogantes, en particular en lo referente a la formación y evolución de la fase de región H II ultracompacta. Por tal razón, el

estudio de esta fase evolutiva del proceso de formación de estrellas masivas, sin duda alguna, contribuirá al mejor entendimiento de cómo se forman dichas estrellas y de este modo, aportar evidencias que favorezcan o descarten alguno de los modelos propuestos para la formación de estrellas masivas. Para lograr este objetivo, se caracterizará una muestra de fuentes candidatas a región H II ultracompacta (para recabar datos de dichos objetos astronómicos), lo cual nos permitirá estudiar algunas de sus propiedades físicas. Sin embargo, es importante recalcar que no necesariamente serán regiones H II ultracompactas. Ya que pueden tratarse de regiones H II de otro tipo (los tipos de regiones H II se muestran en la Tabla 1).

1.2 FORMACIÓN ESTELAR MASIVA

La formación estelar masiva está compuesta por las siguientes etapas, de acuerdo con [Zinnecker & Yorke \(2007\)](#):

1. Nubes oscuras infrarrojas: Representan la condición inicial para llevar a cabo el proceso de formación estelar masiva. Es decir, el colapso de la nube molecular donde se forma el núcleo preestelar.
2. Núcleos moleculares calientes: Están compuestos de gas denso y tibio, además de tener una gran variedad de compuestos orgánicos. Esto último hace que se detecten con facilidad usando maseres de metanol.
3. Regiones H II hipercompactas y ultracompactas: En estas se ha desarrollado una envoltura de ionización que confina el objeto protoestelar.
4. Regiones H II compactas y clásicas: En esta etapa, aunque la envoltura de ionización continúa, este objeto astronómico ya se separó de la nube molecular a través de la expansión hidrodinámica.

Por otro lado para que la formación estelar masiva ocurra, se requiere una densidad columnar de H_2 alta, pero también requiere algo que inicie el proceso que es un frente de ionización. Además como dichas zonas de formación estelar poseen una fuente intensa en el lejano-IR presentan máseres de OH y máseres de metanol ([Zinnecker & Yorke \(2007\)](#)).

Por lo general el producto de la formación estelar masiva se obtiene en cúmulos (los cuales no necesariamente están ligados gravitacionalmente). Esto provoca que las estrellas masivas tengan más estrellas de su tipo en sus cercanías que las estrellas de baja masa ([Zinnecker & Yorke \(2007\)](#)).

Existen dos modelos responsables de la formación estelar masiva que son el modelo de coalescencia y el modelo de acreción. El modelo de coalescencia consiste en la fusión de estrellas de baja masa, las cuales aun se encuentran en la nube molecular en la que se formaron ([Garay & Lizano \(1999\)](#)).

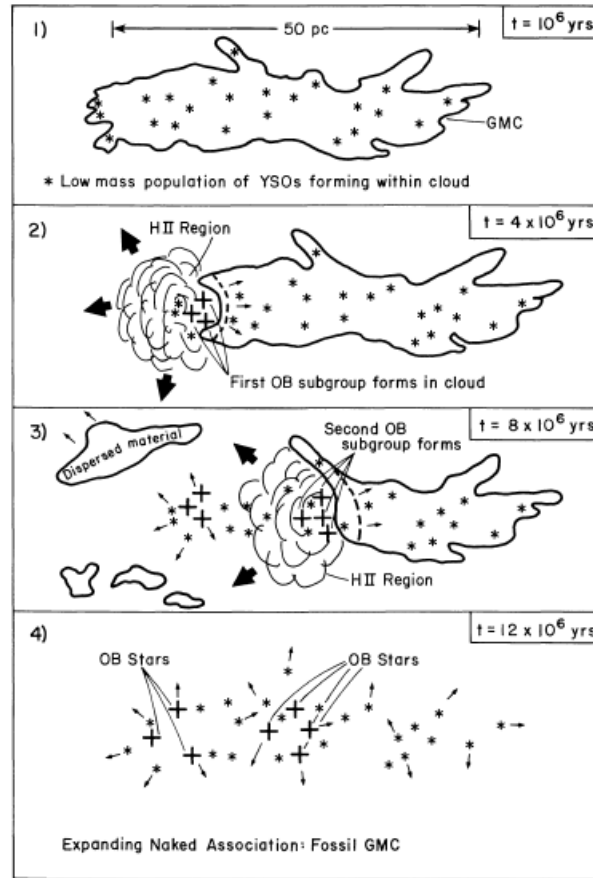


Figura 1: Formación estelar masiva a través del modelo de coalescencia (tomada de Lada (1987))

Por otro lado el modelo de acreción consiste en que el objeto proto-estelar acrete material hacia su centro. Sin embargo esto requiere un colapso gravitacional, el cual puede ser frenado por la radiación que produzca la proto-estrella en cierta etapa de su formación. Por ello para que se lleve a cabo la acreción se requiere que el material acretado no tenga una morfología esférica sino más bien forme un disco. Por tanto, la formación estelar masiva se llevará a cabo a través de acreción siempre y cuando se forme un disco de acreción (Garay & Lizano (1999)). En la Figura 1 se ilustra el modelo de coalescencia.

1.3 REGIONES H II

En 1967 observaciones de radio condujeron al descubrimiento de objetos astronómicos con EM (medidas de emisión) muy altas (del orden de 10^7 pc cm^{-6}), a dichos objetos astronómicos se les llamó regiones H II. Una vez que se conoció la tasa de

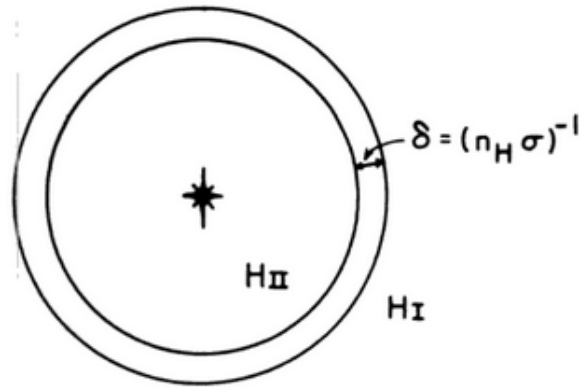


Figura 2: Esfera de Strömngren (tomada de Harwit (1973))

recombinación de estos objetos astronómicos, de su alta turbulencia de velocidades, se dedujo que la ionización de estas regiones era producida por una protoestrella del tipo O ó B (Habing et al (1979)).

Antes de esto Davidson y Harwit predijeron teóricamente la existencia de este tipo de objetos astronómicos, a los que en general después se les hizo referencia como regiones H II (Habing et al (1979)).

1.3.1 Esfera de Strömngren

Una esfera de Strömngren es una esfera de hidrógeno ionizado (H II) alrededor de una estrella joven de la clase espectral O-B. Para calcular el radio de Strömngren usamos la condición de balance de ionización para la región entera (Arthur (2012)):

$$N_i = \frac{4\pi}{3} r_{\text{Strom}}^3 \alpha(T) x^2 n_e^2 \quad (1)$$

donde N_i es la tasa de fotones ionizantes, $\alpha(T)$ es el coeficiente de recombinación, $x=1$ por ser una esfera y n_e^2 es la densidad electrónica de la región H II. En la Figura 2 se observa un ejemplo de la esfera de Strömngren. Por tanto, de la ecuación 1 obtenemos la expresión de la esfera de Strömngren que es (Arthur (2012)):

$$r_{\text{Strom}} = \left(\frac{3N_i}{4\pi\alpha n_e^2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Sin embargo, para que en una región H II se forme la esfera de Strömngren se requiere un intervalo de tiempo, el cual esta dado por la siguiente expresión (Garay & Lizano (1999)):

$$t_S = \frac{1}{n_0 \alpha_B}$$

donde α_B es el coeficiente de recombinación (excluyendo el estado basal) y n_0 es la densidad inicial del gas ionizado.

1.4 CLASIFICACIÓN DE REGIONES H II

Las regiones H II se clasifican en base a su tamaño d y su densidad electrónica n_e . Estos valores son fácilmente encontrados (el primero en forma directa y el segundo con la densidad de flujo) si uno observa con una profundidad óptica pequeña ([Habing et al \(1979\)](#)).

De acuerdo a esto las regiones H II se clasifican en: 1. Hipercompacta. 2. Ultracompacta. 3. Compacta. 4. Clásica. 5. Gigante. 6. Supergigante. La primera es muy poco estudiada porque es difícil de hallar y las tres siguientes son de especial interés, porque forman parte de las etapas de formación estelar masiva, sobre todo si cumplen con lo siguiente:

1. La protoestrella que ioniza está en la región más densa
2. Que haya evidencia de que la protoestrella que ioniza es muy joven (apenas se esta formando)

La Tabla 1 muestra algunos parámetros físicos de los tipos de regiones H II. Más adelante hablaremos con más detalle de los diversos tipos de regiones H II, enfocándonos en su importancia en la formación estelar masiva.

Tabla 1: Parámetros físicos de Tipos de Regiones H II. Tomada de Kurtz. (2002)

Clase de Región	Tamaño (pc)	Densidad electrónica (cm^{-3})	EM (pc cm^{-6})	Masa ionizada (M_\odot)
Hipercompacta	<0.05	> 10^6	> 10^9	$\sim 10^{-3}$
Ultracompacta	<0.1	> 10^4	> 10^7	$\sim 10^{-2}$
Compacta	<0.5	> 5×10^3	> 10^7	~ 1
Clásica	~ 10	~ 100	$\sim 10^2$	$\sim 10^5$
Gigante	~ 100	~ 30	$\sim 5 \times 10^5$	$10^3 - 10^6$
Supergigante	>100	~ 10	$\sim 10^5$	$10^6 - 10^8$

1.4.1 Regiones H II gigantes y supergigantes

Las regiones H II gigantes y supergigantes, por lo general, son fuentes extragalácticas que representan conglomerados de regiones H II compactas. Por lo mismo, su análisis debe hacerse por partes alrededor de la estructura, es decir, midiendo la EM en diferentes fragmentos de la región H II gigante o supergigante (Kurtz (2002)). En la Figura 3 podemos ver un ejemplo de región H II Gigante. Este tipo de regiones H II presenta una densidad electrónica del orden de 10^1 cm^{-3} y un tamaño de 10^2 pc .

Es importante mencionar que aunque el análisis de una región H II gigante o supergigante se hace por partes, los valores reportados por la Tabla 1 son de la región H II gigante o supergigante en su totalidad. Por ello, después de medir los valores de la Tabla 1 en cada fragmento, debemos sumarlos para obtener el total. Por ejemplo, el tamaño, sería la suma aritmética del tamaño de cada fragmento (Kurtz (2002)).

A su vez su importancia radica en que son excelentes trazadores de formación estelar masiva en regiones extragalácticas. Esto debido a que como son muy grandes es fácil observarlas aún si estas se encuentran a una gran distancia (Alloin (2001)).

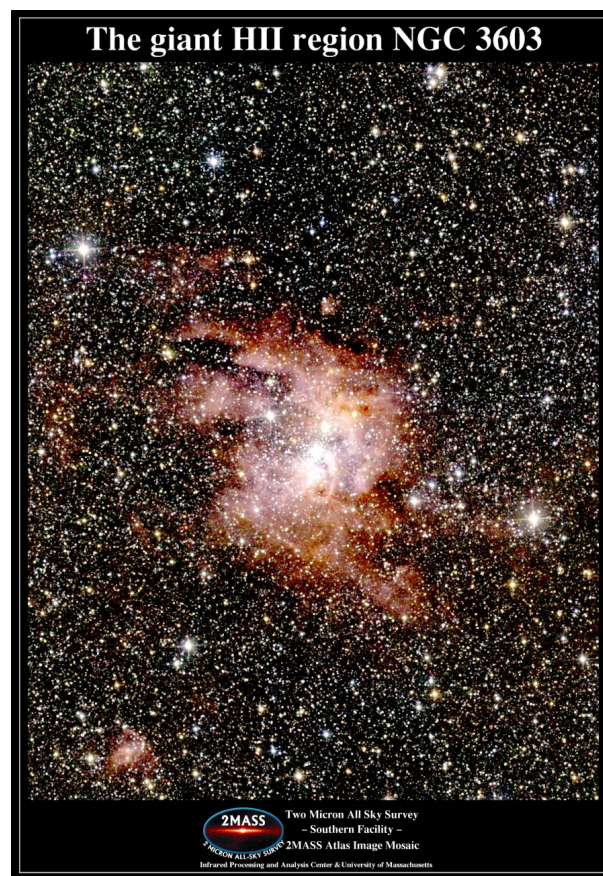


Figura 3: Región H II Gigante NGC 3603 (tomada del mapeo 2MASS realizado por IPAC)

1.4.2 *Regiones H II clásicas*

Podemos describir la región H II clásica como una de la últimas etapas en la formación estelar masiva, la cual ya se ha separado de la nube molecular a través de la expansión hidrodinámica (Zinnecker & Yorke (2007)). En la Figura 4 podemos ver un ejemplo de región H II clásica.

La importancia de las regiones H II clásicas es debido a que dentro de la Vía Láctea es uno de los mejores trazadores de formación estelar masiva. Las regiones H II de este tipo tienen una densidad electrónica de 10^2 cm^{-3} y un tamaño de 10^1 pc .



Figura 4: Región H II Clásica M42 (tomada por el observatorio Blue Mountain Vista)

1.4.3 *Regiones H II compactas*

Las regiones H II compactas son una etapa anterior a la región H II clásica. Su principal característica reside en que la separación de la nube molecular apenas está sucediendo (Zinnecker & Yorke (2007)). En la Figura 5 podemos ver un ejemplo de región H II compacta. Las regiones H II de este tipo presentan una densidad electrónica mayor a 10^3 cm^{-3} y un tamaño menor a 0.5 pc .

La región H II compacta es diferente de la región H II clásica en que es más pequeña y más densa, pero presenta una medida de emisión (EM) mayor. Esto último debido a que como apenas se está separando de la nube molecular tiene más material para ionizar, lo cual produce una EM mayor (Kurtz (2002)). Su principal uso es que sirve como trazador de formación estelar masiva Galáctica. Con la ventaja de que como aún es parte de la nube molecular tiene más regiones H II vecinas que una región H II clásica.



Figura 5: Región H II compacta S88 (tomada del mapeo 2MASS realizado por IPAC)

1.4.4 *Regiones H II ultracompactas*

Las regiones H II ultracompactas provienen de regiones H II hipercompactas. Estas a su vez vienen de núcleos calientes, los cuales se formaron de núcleos preestelares dentro de nubes moleculares (Churchwell (2002)). Su principal característica es que estas aún están embebidas en la nube molecular a diferencia de las regiones H II compactas y clásicas que ya se separaron (Zinnecker & Yorke (2007)).

Debido a que las regiones H II ultracompactas tienen polvo en la nube molecular en la que se forman solamente se pueden observar en radio, IR y milimétrico. Su importancia radica en que son una de las etapas más cercanas a la formación de la protoestrella, al mismo tiempo su densidad es lo suficientemente grande para que su detección sea sencilla (Churchwell (2002)). En la Figura 6 se observa un ejemplo de región H II ultracompacta cometaria. Las regiones H II de este tipo tienen una densidad electrónica mayor a 10^4 cm^{-3} y un tamaño menor a 0.1 pc.

Por otro lado las diferencias que hay entre las regiones H II clásicas y las regiones H II ultracompactas residen en su densidad (así como otros parámetros físicos, como EM), ya que ambas presentan la misma abundancia química, es decir, químicamente hablando son idénticas. Por tanto, queda claro que para distinguir los diversos tipos de regiones H II se requiere un análisis físico (Churchwell (2002)).

Hay al menos dos desarrollos interesantes en el estudio de regiones H II ultracompactas (UC). De los cuales ambos son de naturaleza observacional, uno relacionado con estructuras a pequeña escala y el otro relacionado con estructuras a gran escala. Ambos desafían los modelos teóricos actuales (Kurtz (2002)).

Los estudios de regiones H II UC relacionados con estructuras a gran escala fueron realizados por: 1. Ellingsen y colaboradores. 2. Kim y Koo. 3. Kurtz. Los estudios realizados por Ellingsen y colaboradores consistieron en observar 6 fuentes en el hemisferio sur con una emisión máser de metanol de 6.7 GHz localizadas cerca de una región H II. Solamente a una (16%) se le halló una emisión extendida. Si la emisión extendida está relacionada con que tan vieja es la región H II, este resultado sería consistente con lo observado (Kurtz (2002)).

Kim y Koo observaron 16 regiones H II UC escogidas por sus grandes discos visibles en interferómetros de densidad de flujo. En los 16 casos se encontraron emisiones extendidas. Por otra parte Kurtz observó 15 regiones H II UC escogidas aleatoriamente. Se encontró que 12 (80%) tenían una emisión extendida y 8 (53%) sugieren una relación física directa entre la emisión extendida y la región H II UC. Sin embargo no hay nada que confirme esto último (Kurtz (2002)).

Los estudios de Kim y Koo proporcionaron evidencia que sustenta la relación física entre las componentes ultracompacta y extendida. La forma en que lo hicieron fue gracias a que observaron la línea de recombinación de radio (RRL) del $H76\alpha$ junto con el continuo de 21 cm de 15 de las 16 muestras, con lo cual vieron que las velocidades radiales de las diversas regiones H II observadas estaban relacionadas entre sí, lo cual

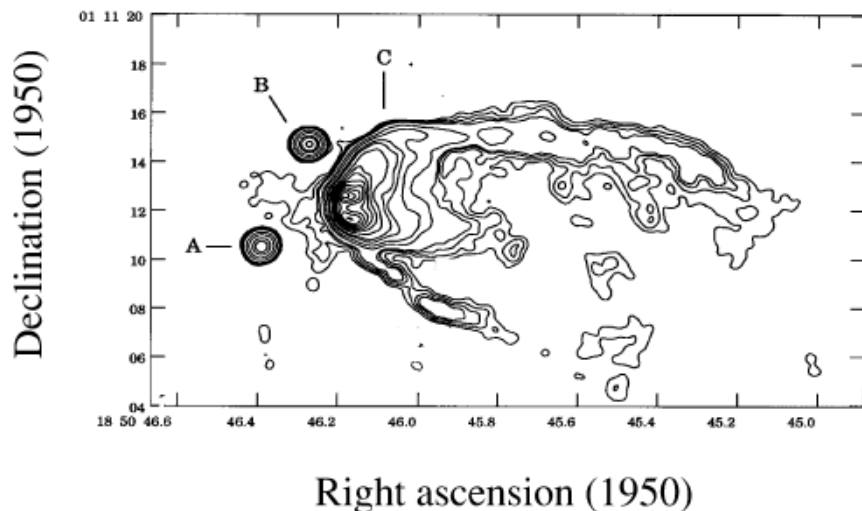


Figura 6: Región H II ultracompacta cometaria G34.3+0.15 (tomada de Garay & Lizano (1999))

mostraba que la región extendida está relacionada con la región ultracompacta (Kurtz (2002)).

Uno pensaría que la región extendida no juega un papel importante y por tanto puede descartarse, sin embargo se ha observado que la región extendida requiere de 10 a 20 veces más fotones Lyman para mantenerse ionizada. Por tanto si la región extendida y la ultracompacta están relacionadas físicamente entonces se estaría subestimando el flujo de ionización de la protoestrella de la región H II si no consideramos la región extendida. Lo cual a su vez afecta la estimación de polvo y/o clusters estelares. A su vez la presencia de una región extendida puede cambiar drásticamente modelos usados para explicar regiones H II UC (Kurtz (2002)).

1.4.5 Regiones H II hipercompactas

Las regiones H II hipercompactas son la primera fase de la formación estelar masiva en la cual, la protoestrella comienza a emitir radiación (Churchwell (2002)). A su vez este tipo de regiones H II, al igual que las regiones H II ultracompactas, siguen embebidas en la nube molecular, pero se distinguen por ser más densas (Churchwell (2002)). Este tipo de regiones H II tiene una densidad electrónica mayor a 10^6 cm^{-3} y un tamaño menor a 0.05 pc.

Ya que las regiones H II hipercompactas, por ser muy densas, son más difíciles de detectar que las regiones H II ultracompactas se les busca haciendo uso de observaciones centimétricas. La principal razón por la que es importante hallarlas y estudiarlas, es porque es la primera región H II que se forma después de la formación protoestelar,

por tanto dan información de la formación protoestelar masiva con mayor precisión que una región H II ultracompacta ([Kurtz \(2002\)](#)).

OBSERVACIONES Y CALIBRACIÓN DE DATOS

2.1 EL VLA

El VLA (llamado así por sus siglas en inglés Very Large Array), como se observa en la Figura 7, es un conjunto de 27 radiotelescopios con las siguientes características (de acuerdo a la [página del VLA](#)):

- El tamaño de cada antena es de 25 m de diámetro
- Su resolución angular es de 0.2 arcosegundos a 0.04 arcosegundos
- Las configuraciones principales son A ($B_{\max}=35$ km), B ($B_{\max}=10$ km), C ($B_{\max}=3.5$ km) y D ($B_{\max}=1$ km)
- Abarca frecuencias de 1 GHz a 50 GHz
- Su superficie es de aluminio
- Forma un arreglo en forma de Y, cuya extensión varía de 1.61 km a 35.42 km

Su ubicación es en las llanuras de San Agustín en Nuevo México, Estados Unidos. Gracias a este se han hecho los siguientes descubrimientos (de acuerdo a la [página del VLA](#)):

- Descubrimiento de hielo en Mercurio
- Observaciones de atmósferas en las estrellas
- Descubrimiento de Microcuasares
- El descubrimiento del primer anillo de Einstein (lente gravitacional)
- Entre otros



Figura 7: Imagen del VLA (tomada de la página del VLA)

2.2 ARCHIVOS DEL VLA

Los archivos de observaciones recientes en el VLA sólo pueden ser extraídos por personas con privilegios, sin embargo no se pueden extraer de inmediato sino hasta que hayan pasado 10 minutos de que se terminaron las observaciones. La interfaz que se usa para dicho proceso se observa en la Figura 8. Sin embargo, después de 12 meses de la observación, los archivos del VLA de dicha observación están disponibles para todo el público en general, los cuales se pueden descargar a través de la página del NRAO VLA. Por lo general el formato más común en los archivos obtenidos tiene terminación *.xp* siendo numerados como *.xp1*, *.xp2*, etc.

 A screenshot of a web browser displaying the 'NRAO Science Data Archive : Advanced Search Tool'. The browser's address bar shows the URL 'https://archive.nrao.edu/archive/advquery.jsp'. The page title is 'NRAO Science Data Archive : Advanced Search Tool' and the subtitle is 'Historical VLA, Jansky VLA, VLBA and GBT Data Products'. The interface includes several sections:

- Output Control Parameters :**
 - Choose Query Return Type :** Radio buttons for 'Download Archive Data' (selected), 'Files', 'VLA Observations', 'Summary', 'List of Observation Scans', and 'List of Projects'.
 - Output Tab Format :** A dropdown menu set to 'HTML'.
 - Sort Order Column 1 :** A dropdown menu set to 'Starttime' and a direction dropdown set to 'Asc'.
 - Sort Order Column 2 :** A dropdown menu set to 'Starttime' and a direction dropdown set to 'Asc'.
 - Max Output Tab Rows :** A text input field containing 'NO LIMIT'.
- General Search Parameters :**
 - Telescopes :** Radio buttons for 'All' (selected), 'Jansky VLA', 'Historical VLA', 'VLBA', and 'GBT'.
 - Project Code :** A text input field.
 - Project Session :** A text input field.
 - Dates From :** A text input field.
 - Dates To :** A text input field.
 - Observer Name :** A text input field.
 - Archive File ID :** A text input field with a note '(partial strings allowed)'. Below it, a date range '(2010-06-21 14:20:30)' is visible.
- Position Search :**
 - Target Name :** A text input field.
 - Search Type :** A dropdown menu set to 'SIMBAD or NED'.
 - Min. Exposure :** A text input field with '(secs)' next to it.

 At the top of the search area, there are three buttons: 'Submit Query', 'Check Query', and 'Clear Form'.

Figura 8: Imagen de la interfaz del VLA (tomada de la página del VLA)

Tabla 2: Fuentes usadas en la banda C.

Región	Fuente	Posición	Posición
IRAS		$\alpha(J2000)$	$\delta(J2000)$
01045+6505	G124.6423+0	01:07:50.40	+65:21:20.0
06567-0355	G217.3762-0	06:59:15.70	-03:59:32.0
07528-3441	G250.6510-03	07:54:55.90	-34:49:42.0
21306+5540	G097.5282+0	21:32:12.00	+55:53:41.0
21413+5442	G098.0363+0	21:43:01.50	+54:56:20.0
22308+5812	G105.6274+0	22:32:46.00	+58:28:18.0
23030+5958	G110.1084+0	23:05:10.40	+60:14:46.0

2.3 OBSERVACIONES

En las Tablas 2, 3, 4, 5, 6 y 7 se listan las fuentes observadas en las diversas bandas que se usaron para este trabajo, donde se incluye su nombre (columna Fuente) dentro del proyecto VLA del que viene y la posición a la que apuntó el VLA para obtener la observación (en la banda C solamente seleccionamos una parte del total de las fuentes detectadas, debido a que nuestro objetivo son las fuentes no publicadas de la banda X y solamente las seleccionadas coincidieron con las de la banda X).

2.3.1 Observaciones de la Banda C (6 cm)

En esta muestra se seleccionaron siete fuentes del total de las detectadas por [Urquhart et al \(2009\)](#) (ver Tabla 2), las cuales se volvieron a calibrar partiendo de los datos crudos. Estas son observaciones en la banda C cuya configuración es la B y se realizaron en julio de 2002. En general, la muestra presenta las siguientes características: 1. Se observaron en el rango de Ascensión Recta de 20:01:37.1 a 07:15:41.9 y en el rango de Declinación de 33:35:26.0 a -01:52:41.0 (usando J2000), es decir, es un mapeo sobre el plano galáctico; 2. Son objetos estelares jóvenes masivos y 3. Son regiones de Formación Estelar.

2.3.2 Observaciones de la Banda X (3.6 cm)

Aquí se realizó la observación de un total de 94 fuentes (ver Tablas 3, 4 y 5), de las cuales solamente se detectaron 22 fuentes (ver capítulo 3, subsección 1). Estas pertenecen al proyecto de archivo del VLA AC295 realizados por Churchwell, Edward B (datos no publicados). Estas son observaciones en la banda X realizadas en enero de 1992, las cuales usaron la configuración B. Además, las características de la muestra son que: 1. Se observaron en el rango de Ascensión Recta de 21:07:28.4 a 08:27:26.7 y

en el rango de Declinación de 49:49:46.0 a -41:00:40.0 (usando B1950), es decir, en el plano galáctico; 2. Son fuentes infrarrojas y 3. Son regiones de Formación Estelar.

2.3.3 *Observaciones de la Banda K (1.3 cm)*

Se observaron un total de 52 fuentes (ver Tablas 6 y 7), de las cuales solamente se detectaron 5 fuentes (ver capítulo 3, subsección 1). Las observaciones pertenecen al proyecto de archivo del VLA AC295 que hizo Churchwell, Edward B (datos no publicados). Estas son observaciones en la banda K hechas en mayo de 1992 usando la configuración C del VLA. Por último, las características de la muestra son que: 1. Se observaron en el rango de Ascensión Recta de 21:03:36.2 a 08:24:30.3 y en el rango de Declinación de 49:27:59.0 a -40:38:41.0 (usando B1950), es decir, en el plano galáctico; 2. Son fuentes infrarrojas y 3. Son regiones de Formación Estelar.

2.4 CALIBRACIÓN DE DATOS

El proceso de reducción de los datos del VLA, puede realizarse con los paquetes CASA o AIPS. Dicho proceso se realiza porque las imágenes obtenidas del interferómetro no son ideales, porque el interferómetro no es un instrumento perfecto (ya que la superficie presenta imperfecciones, hay fallas con la electrónica, etc.) y por la interferencia producida por la atmósfera. Por ello el principal objetivo del proceso de reducción es obtener una imagen del cielo lo suficientemente buena como para que la información física sea correcta (es decir, una producida por un interferómetro sin imperfecciones y sin los errores producidos por la atmósfera). Por ello la importancia de conocer el proceso de reducción en CASA.

2.4.1 *Proceso de reducción de datos en CASA*

A continuación se muestra paso por paso el proceso de reducción en CASA en forma consecutiva, dicha información se obtuvo de la [página de CASA](#). Es importante mencionar que CASA es una interfaz de python, donde las tareas (como *importvla*) son las operaciones básicas y sus adverbios (como *vis*) son los valores sobre los que se aplicarán dichas operaciones (tareas).

Importvla

Esta tarea convierte los datos del VLA (con terminación *xp1*, *xp2* y así sucesivamente dependiendo del número de archivos) a un archivo con terminación *.ms*, el cual será manejable por CASA. La sintaxis usada es:

```
importvla(archivefiles=[ 'AC295_A920106.xp1' , 'AC295_A920106.xp2' ],
```

Tabla 3: Fuentes observadas en la banda X. Primera parte

Región IRAS	Fuente	Posición $\alpha(J2000)$	Posición $\delta(J2000)$
00117+6412	00117+64	00:14:27.72	64:28:46.3
00412+6638	00412+66	00:44:15.23	66:54:40.6
00468+6508	00468+65	00:49:55.82	65:43:38.7
00556+6048	00556+60	00:58:40.13	61:04:44.0
00578+6233	00578+62	01:00:55.81	62:49:28.5
01045+6505	01045+65	01:07:50.70	65:21:21.4
01133+6434	01133+64	01:16:37.39	64:50:38.8
02044+6031	02044+60	02:08:05.05	60:45:56.7
02395+6244	02395+62	02:43:28.72	62:57:05.3
02437+6145	02437+61	02:47:40.43	61:58:26.3
02455+6034	02455+60	02:49:23.23	60:47:01.2
02461+6147	02461+61	02:50:08.11	61:59:47.1
03235+5808	03235+58	03:27:31.15	58:19:21.3
04034+5107	04034+51	04:07:11.93	51:24:44.7
04324+5102	043+5102	04:36:16.08	51:08:12.8
04324+5106	043+5106	04:36:19.70	51:12:44.6
04366+5022	04366+50	04:40:26.12	50:28:24.7
04547+4753	04547+47	04:58:29.66	47:58:27.6
04579+4703	04579+47	05:01:39.74	47:07:23.1
05100+3723	05100+37	05:13:25.43	37:27:04.5
05271+3059	05271+30	05:30:21.22	31:01:27.2
05274+3345	05274+33	05:30:45.62	33:47:51.6
05281+3412	05281+34	05:31:26.60	34:14:57.7
05305+3029	05305+30	05:33:44.81	30:31:04.5
05334+3149	05334+31	05:36:41.08	31:51:13.8
05358+3543	05358+35	05:39:10.39	35:45:19.2
05361+3539	05361+35	05:39:27.66	35:40:43.0
05375+3536	05375+350	05:40:52.52	35:38:23.8
05375+3540	05375+351	05:40:53.64	35:42:15.7
05490+2658	05490+26	05:52:12.93	26:59:32.9
05553+1631	05553+16	05:58:13.87	16:32:00.1

Tabla 4: Fuentes observadas en la banda X. Segunda parte

Región IRAS	Fuente	Posición α (J2000)	Posición δ (J2000)
05480+2545	05480+25	05:51:10.75	25:46:14.3
05554+2013	05554+20	05:58:24.56	20:13:57.5
06055+2039	06055+20	06:08:32.82	20:39:16.2
06073+1249	06073+12	06:10:12.43	12:48:45.5
06084+1727	06084+17	06:11:24.52	17:26:26.5
06103+1523	06103-CM	06:13:18.21	15:23:16.1
06105+1756	06105+17	06:13:28.33	17:55:29.5
06114+1745	06114+17	06:14:23.69	17:44:36.5
06155+2319A	06155+23	06:18:35.15	23:18:11.4
06208+0957	06208+09	06:23:34.41	09:56:22.1
06306+0437	06306+04	06:33:16.36	04:34:56.8
06331+1102	06331+11	06:35:56.01	11:00:17.5
06337+1051	06337+10	06:36:29.48	10:49:05.1
06381+1039	06381+10	06:40:58.00	10:36:48.8
06412-0105	06412-01	06:43:44.97	-01:08:06.7
06426+0025	06426+00	06:45:15.50	00:22:25.9
06446+0029	06446+00	06:47:12.87	00:26:06.5
06501+0143	06501+01	06:52:45.57	01:40:14.9
06547-0109A	06547-01	06:57:16.69	-01:13:39.5
06567-0355	06567-03	06:59:15.76	-03:59:39.0
06570-0401	06570-04	06:59:30.95	-04:05:35.1
07024-1102	07024-11	07:04:45.65	-11:07:14.5
07069-1045	07069-10	07:09:20.55	-10:50:25.7
07061-0414	07061-04	07:08:38.75	-04:19:07.5
07207-1435	07207-14	07:23:01.28	-14:41:32.5
07298-1919	07298-19	07:32:02.46	-19:26:02.3
07299-1651	07299-16	07:32:10.00	-16:58:14.7
07333-1838	07333-18	07:35:34.31	-18:45:32.5
07334-1842	07334-18	07:35:40.95	-18:48:59.0
07422-2001	07422-20	07:44:27.85	-20:08:31.9
07427-2400	07427-24	07:44:51.90	-24:07:40.6

Tabla 5: Fuentes observadas en la banda X. Tercera parte

Región	Fuente	Posición	Posición
IRAS		α (J2000)	δ (J2000)
07311-2204	07311-22	07:33:20.24	-22:10:57.7
07434-2044	07434-20	07:45:35.47	-20:51:38.6
07528-3441	07528-CM	07:54:49.97	-34:49:45.9
08007-2829	08007-28	08:02:46.36	-28:25:47.4
08008-3423	08008-34	08:02:42.30	-34:31:46.8
08088-3554	08088-35	08:10:43.49	-36:03:29.8
08140-3556	08140-35	08:15:58.98	-36:08:20.0
08159-3543	08159-35	08:17:52.89	-35:52:49.9
08189-3602	08189-36	08:20:47.86	-36:12:34.4
08212-4146	08212-41	08:23:02.96	-41:55:48.5
08245-4038	08245-40	08:26:17.70	-40:48:35.1
08274-4111	08274-41	08:29:13.94	-41:10:44.4
21074+4949	21074+49	21:09:08.09	50:01:59.8
21080+4950	21080+49	21:09:42.83	50:08:29.5
21202+5157	21202+51	21:21:53.18	52:10:43.6
21290+5535	21290+55	21:30:38.70	55:48:59.6
21306+5532	21306+55	21:32:11.56	55:53:23.7
21334+5039	21334+50	21:35:09.18	50:53:09.2
21334+5329	21334+53	21:35:05.86	53:43:01.2
21407+5441	21407+54	21:42:23.68	54:55:06.7
21413+5442	21413+54	21:43:01.36	54:56:16.3
22134+5834	22134+58	22:15:09.08	58:49:09.3
22308+5812	22308+58	22 32 46.01	58 28 21.8
22475+5939	22475+59	22:49:29.47	59:54:56.6
22506+5944	22506+59	22:52:38.63	60:00:55.8
22539+5758	22539+57	22:56:00.01	58:14:45.9
22551+6139	22551+61	22:57:11.23	61:56:03.4
22570+5912	22570+59	22:59:06.50	59:28:27.7
23030+5958	23030+59	23:05:10.62	60:14:40.4
23033+5951	23033+59	23:05:25.16	60:08:11.6
23139+5939	23139+59	23:16:09.32	59:55:22.8
23151+5912	23151+59	23:17:21.09	59:28:48.8

Tabla 6: Fuentes observadas en la banda K. Primera parte

Región IRAS	Fuente	Posición α (J2000)	Posición δ (J2000)
00117+6412	00117+64	00:14:27.72	64:28:46.3
00338+6312	00338+63	00:36:47.51	63:29:02.1
00412+6638	00412+66	00:44:15.23	66:54:40.6
00468+6527	00468+65	00:49:55.82	65:43:38.7
01045+6505	01045+65	01:07:50.70	65:21:21.4
01133+6434	01133+64	01:16:37.39	64:50:38.8
02044+6031	02044+60	02:08:05.05	60:45:56.7
02437+6145	02437+61	02:47:40.43	61:58:26.3
03235+5808	03235+58	03:27:31.15	58:19:21.3
03233+5809	0323+58B	03:27:22.33	58:19:45.8
04324+5106	04324+51	04:36:19.70	51:12:44.6
04366+5022	04366+50	04:40:26.12	50:28:24.7
04547+4753	04547+47	04:58:29.66	47:58:27.6
05274+3345	05274+33	05:30:48.02	33:47:39.5
05305+3029	05305+30	05:33:44.81	30:31:04.5
05358+3543	0535+35X	05:39:25.81	35:45:55.1
05375+3540	05375+35	05:40:53.64	35:42:15.7
05480+2545	0548+25X	05:51:19.82	25:49:09.7
05553+1631	05553+16	05:58:13.87	16:32:00.1
06055+2039	06055+20	06:08:35.51	20:39:04.0
06073+1249	06073+12	06:10:12.43	12:48:45.5
06089+1727	0608+17X	06:11:44.41	17:26:05.1
06104+1524A	06104+15	06:13:21.32	15:23:56.9
06105+1756	06105+17	06:13:28.33	17:55:29.5
06114+1745	06114+17	06:14:23.69	17:44:36.5
06208+0957	06208+09	06:23:34.41	09:56:22.1

Tabla 7: Fuentes observadas en la banda K. Segunda parte

Región IRAS	Fuente	Posición α (J2000)	Posición δ (J2000)
06306+0437	0630+04X	06:33:24.80	04:31:55.2
06412-0105	06412-01	06:43:48.16	-01:08:22.9
06567-0355	06567-03	06:59:15.76	-03:59:39.0
07061-0414	07061-04	07:08:38.75	-04:19:07.5
07295-1915	0729-19X	07:33:10.45	-19:28:42.9
07299-1651	07299-16	07:32:10.00	-16:58:14.7
07427-2400	07427-24	07:44:51.90	-24:07:40.6
07311-2204	07311-22	07:33:20.24	-22:10:57.7
07530-3436	07530-34	07:54:56.18	-34:49:38.3
08088-3554	08088-35	08:10:40.74	-36:05:25.6
08189-3602	08189-36	08:20:54.76	-36:13:04.8
08245-4038	08245-40	08:26:17.70	-40:48:35.1
21306+4927	21036+49	21:05:15.62	49:40:01.2
21202+5157	21202+51	21:21:53.18	52:10:43.6
21306+5540	21306+55	21:32:11.56	55:53:23.7
21334+5039	21334+50	21:35:11.22	50:52:12.3
21407+5441	21407+54	21:42:41.66	54:55:50.5
21413+5442	21413+54	21:43:01.36	54:56:16.3
22134+5834	22134+58	22:15:09.08	58:49:09.3
22308+5812	22308+58	22:32:46.01	58:28:21.8
22475+5939	22475+59	22:49:29.47	59:54:56.6
22502+5944	2250+59A	22:51:59.86	59:59:16.9
22506+5944	2250+59B	22:52:32.84	59:58:47.6
22570+5912	22570+59	22:58:57.59	59:30:07.5
23030+5958	23030+59	23:05:10.62	60:14:40.4
23545+6508	23545+65	23:57:05.23	65:25:10.8

```
vis='AC295.ms', bandname='X')
```

donde en el valor de *archivefiles* ponemos los archivos del VLA a convertir en archivo *.ms*, el valor de *vis* es donde ponemos el nombre que le daremos al archivo *.ms* (es necesario en el valor de *vis* indicar la terminación *.ms*) y el valor de *bandname* es la banda que usó el VLA para producir los archivos. Es importante recalcar que los métodos aquí usados son para observaciones en el continuo y que los parámetros de las tareas son llamados adverbios.

Listobs

Una vez obtenidos los archivos del VLA en formato *.ms* esta tarea despliega la información de las fuentes que se encuentran en el archivo importado. Veremos que esta información es fundamental pues analizando las fuentes, (usando SIMBAD por ejemplo), sabremos cuáles son los calibradores de fase y cual es el calibrador de flujo. Para ejecutar la tarea y guardar dicha información se usa la siguiente sintaxis:

```
listobs(vis='AC295.ms', listfile='Datos_del_AC295')
```

donde *AC295.ms* es el nombre del archivo que se obtiene al importar los datos del VLA, sin embargo el valor de *vis* dependerá del nombre que se le asigne al archivo que se obtiene de importar los datos del VLA y será el mismo para todas las tareas una vez escogido (excepto para *tclean*). A su vez el valor de *listfile* puede ser cualquier nombre que le quieras dar al archivo de salida de *listobs*.

Plotants

Esta tarea despliega una imagen que mostrará la distribución de las antenas que se usó para la obtención de los datos del VLA que estamos manejando. Esta imagen es de suma importancia ya que a partir de esta veremos cuales son las antenas del centro, usando la tarea *plotms* (del cual hablaremos con detalle más adelante), veremos cual de estas es la que es mejor candidata a ser antena de referencia. Para ejecutar la tarea y guardar la imagen que contiene la distribución de antenas usamos la siguiente sintaxis:

```
plotants(vis='AC295.ms', figfile='Posicion_de_Antenas_del_AC295.png')
```

donde el valor de *figfile* es el nombre que le pondremos a la imagen que contiene la distribución de antenas.

Plotms

Esta tarea visualiza las visibilidades de cada fuente para saber a que visibilidades quitar (realizarles el proceso de flagging). Lo realiza usando una interfaz creada por *plotms*. Para ello se usa la siguiente sintaxis:

```
plotms(vis='AC295.ms',field='0134+329')
```

donde el valor de *field* será el nombre de la fuente que deseamos analizar y quitarle las visibilidades basura (*flaggear*) a través de la interfaz de *plotms* (en el ejemplo es un calibrador de flujo).

Flagdata

Flagdata realiza un flageo adicional haciendo uso del valor *quack* que se le asigna al adverbio *mode*. La función de *quack* consiste en remover las primeras visibilidades, las cuales se consideran ruido porque forman parte de los primeros segundos de observación. Para hacer uso de *quack* usamos la siguiente sintaxis:

```
flagdata(vis='AC295.ms',mode='list',inpfiler=["mode='quack'
quackmode='beg' quackinterval=10.0"])
```

es importante recalcar que el archivo de salida de la tarea *flagdata* siempre será un archivo con la terminación *.flagversions*.

Setjy

Esta tarea se aplica al calibrador de flujo, y su función es asignar el flujo del calibrador de flujo. Para lograr esto se usa la siguiente sintaxis:

```
setjy(vis='AC295.ms',field='0134+329',model='3C48-X.im')
```

donde *0134+329* es el nombre del calibrador de flujo, y el valor de *model* indica que modelo debe usarse para asignar el flujo al calibrador de flujo.

Adverbio model. El valor de este adverbio son imágenes no convolucionadas usadas para ayudar a la tarea *setjy* a realizar su proceso de asignación de flujo al calibrador de flujo.

Gaincal

Esta tarea determina la ganancia compleja producida por la observación de los calibradores (donde la ganancia es proporcional al área de la antena e inversamente proporcional al cuadrado de la longitud de onda); usando una antena de referencia que nosotros escogemos de acuerdo a la imagen obtenida por *plotants* y el análisis obtenido de la antena a través de *plotms*. La sintaxis usada es:

```
gaincal(vis='AC295.ms',caltable='Calibracion.G',field='0,1',
refant='VA03')
```

donde el valor de *caltable* es el nombre de la tabla de calibración que se generará, el valor de *field* son los *ids* de los calibradores de flujo y de fase (los cuales se obtienen del archivo de *listobs*) y el valor de *refant* llevará el nombre de la antena de referencia escogida de la imagen generada por *plotants*.

Fluxscale

Esta tarea asigna el flujo al calibrador de fase. Lo hace usando el calibrador de fase (como entrada), así como la tabla de calibración generada por *gaincal* a través de la siguiente sintaxis:

```
fluxscale(vis='AC295.ms', caltable='Calibracion.G', reference='0134+329',
transfer='2022+542', fluxtable='Calibracion_flujo')
```

donde el valor de *reference* es el nombre del calibrador de flujo, el valor de *transfer* es el nombre del calibrador de fase, el valor de *caltable* es el nombre de la tabla de calibración generada por *gaincal* y el adverbio *fluxtable* es opcional, su valor será la nueva tabla de calibración generada por *fluxscale*.

Applycal

Esta tarea aplica la tabla de calibración (*Calibración.G*) al calibrador de flujo, de fase y el resto de las fuentes; usando la siguiente sintaxis:

```
applycal(vis='AC295.ms', field='21074+49', gaintable='Calibracion.G',
gainfield='2022+542')
```

Split

Esta tarea separa las fuentes del archivo *.ms* en archivos *.ms* para cada fuente de las observaciones del VLA y las calibra usando el adverbio *datacolumn* con el valor *corrected*. Para ello se usa la siguiente sintaxis:

```
split(vis='AC295.ms', outputvis='2022+542.ms', field='2022+542',
datacolumn='corrected')
```

Al igual que *applycal*, la tarea *split* se usa más de una vez (si tenemos 11 fuentes contando los calibradores de fase y de flujo, se usa 11 veces), por ello al ir separando cada fuente en un archivo *.ms* debemos colocar el nombre de la fuente a separar en *field* y el nombre que deseamos que tenga el archivo *.ms* que va a albergar dicha fuente en el valor de *outputvis*.

Tclean

Esta tarea usa los archivos de salida de *split* y limpia las imágenes para poder obtener los archivos *.image* (que son los mapas). Los mapas se podrán visualizar usando *viewer* sobre dichos archivos *.image* (los mapas). Para lograrlo se usa la siguiente sintaxis:

```
tclean(vis='0134+329.ms',imagename='0134+329',cell=['0.18arcsec'],
imsiize=[128,128],niter=1000,weighting='briggs',robust=0.5,
deconvolver='clark')
```

donde el valor de *vis* es el archivo de salida de *split* y el valor de *imagename* es el nombre que el archivo de salida *.image* de *tclean* tendrá.

Adverbio cell. El valor de este adverbio indica el tamaño angular de cada pixel en el mapa generado. Lo más conveniente es que se use un valor igual a un cuarto del haz del mapa, para tener una buena resolución angular.

Adverbio deconvolver. Este adverbio realiza una deconvolución para generar el mapa. El algoritmo que use dependerá del valor de este adverbio.

Adverbio weighting. Este adverbio se encarga de multiplicar el valor de las visibilidades por un valor peso, antes de usarlas para generar el mapa.

Adverbio robust. Su valor sirve para definir la resolución angular del mapa a generar, disminuyendo al aumentar el *robust* y aumentando al disminuir el *robust*.

Adverbio niter. Este adverbio lo que hace es definir el número de veces que se aplicarán los algoritmos de los diversos adverbios (por ejemplo el algoritmo del adverbio *deconvolver*) para obtener un buen mapa.

Imfit

Esta tarea usa los mapas generados por *tclean* para obtener los parámetros observacionales (usando un ajuste gaussiano), los cuales son: 1. Densidad de flujo. 2. Flujo pico. 3. Tamaño. 4. Posición. (El ruido se obtiene de la visualización de los mapas, usando la tarea *viewer*). Para lograrlo se usa la siguiente sintaxis:

```
imfit(imagename='0134+329.image',box='40,44,50,54')
```

donde el adverbio *box* nos dice las coordenadas de las esquinas (en píxeles) de la caja que alberga a la fuente y el adverbio *imagename* sirve para aplicar las mediciones en el mapa correspondiente. Es importante mencionar que si el mapa contiene dos fuentes o más, deberá usarse la siguiente sintaxis:

```
imfit(imagename='0134+329.image',box='40,44,50,54',
estimates='Ajuste_gaussiano.txt',logfile='Salida.txt')
```

Dicha sintaxis realiza un ajuste gaussiano en cada fuente del mapa, usando el archivo *Ajuste_gaussiano.txt* a través del adverbio *estimates*, depositando los resultados en el archivo *Salida.txt* usando el adverbio *logfile*.

RESULTADOS OBSERVACIONALES

Como ya se mencionó en el Capítulo 2 en la banda C se usaron siete fuentes, en la banda X se observaron 94 fuentes, de las cuales se detectaron 22, en la banda K se observaron 52 fuentes de las cuales se detectaron cinco. Es decir, se detectaron 22 fuentes diferentes en total, tomando en cuenta las tres bandas (X, K y C). Además tres de las 22 fuentes detectadas se detectaron en las tres bandas, cuatro se detectaron en las bandas X y C; y dos se detectaron en las bandas X y K.

3.1 FUENTES DETECTADAS

A continuación se muestra información obtenida de la literatura de las fuentes detectadas. También se describen los mapas que generó la calibración de datos de dichas fuentes. Las fuentes se encuentran listadas en las Tablas 8, 9 y 10. Además en las Tablas 11, 12 y 13 se muestran los parámetros observacionales de las fuentes estudiadas en esta tesis. Dichos parámetros observacionales serán usados en el cálculo de los parámetros físicos. Es importante mencionar que los parámetros observacionales se calcularon usando la tarea *imfit* ya mencionada en el Capítulo 2. Además de que como algunas de las fuentes detectadas eran sistemas dobles y triples, fue necesario usar un ajuste gaussiano en dichas fuentes (en cada zona) con ayuda del adverbio *estimates* de la tarea *imfit*.

3.1.1 IRAS 01045+6505

De otros artículos, encontramos que la región IRAS 01045+6505 se encuentra en la parte externa de la Galaxia y se localiza hacia la nube molecular HCS 6236 (Snell et al (2002)) a una distancia galactocéntrica de 16.4 kpc y a una distancia heliocéntrica de 10.7 kpc (Rudolph et al (1996)). Es una de las fuentes más luminosas, cuya luminosidad es $L_{\text{FIR}} = 8 \times 10^4 L_{\odot}$ (Snell et al (2002)) y ha sido observada a varias longitudes de onda en el radio continuo (Rudolph et al (1996), Martín-Hernández et al (2003), Urquhart et al (2009)). Hacia la región IRAS se ha detectado una región H II ultracompacta centrada en un grupo de CS compacto y brillante (e.g. Mookerjee et al (2007)) y dos fuentes infrarrojas con IRAC y MIPS (01045-SMM1 y 01045-SMM2; Spitzer: Data Archive), así como sus contrapartes en el submilimétrico a $850 \mu\text{m}$ (Mookerjee et al (2007)). También hacia la región IRAS se ha detectado emisión de CO (Wouterloot et al (1989)), pero no se detectó emisión de máseres de agua (Palagi et al (1993)).

Tabla 8: Fuentes detectadas en la banda X.

Región IRAS	Fuente cercana ^a	Fuente detectada	Posición α (J2000)	Posición δ (J2000)
01045+6505	G124	IRAS 01045-VLA1	01:07:51.34	65:21:22.5
01133+6434	J0116 3667	IRAS 01133-VLA1	01:16:36.67	64:50:42.4
03235+5808	GAL 142	IRAS 03235-VLA1	03:27:31.34	58:19:21.7
04324+5106	04324 +5106	IRAS 04324-VLA1	04:36:21.04	51:12:54.7
04366+5022	04366 +5022	IRAS 04366-VLA1	04:40:27.19	50:28:29.2
05305+3029	LEDA 1906943	IRAS 05305-VLA1	05:33:45.83	30:31:17.9
05358+3543	J0539 1473	IRAS 05358-VLA1	05:39:15.62	35:46:42.1
05553+1631	G192	IRAS 05553-VLA1	05:58:13.53	16:31:58.4
06055+2039	B060 536	IRAS 06055-VLA1	06:08:35.44	20:39:03.5
06412-0105	Min 2-62	IRAS 06412-VLA1	06:43:48.45	-01:08:20.2
		IRAS 06412-VLA2	06:43:48.10	-01:08:24.1
06567-0355	G217	IRAS 06567-VLA1	06:59:15.72	-03:59:35.6
		IRAS 06567-VLA2	06:59:15.75	-03:59:37.5
07299-1651	G232	IRAS 07299-VLA1	07:32:09.79	-16:58:12.2
07427-2400	CSL 2007	IRAS 07427-VLA1	07:44:52.03	-24:07:42.1
07311-2204	J0733 2012	IRAS 07311-VLA1	07:33:19.92	-22:10:57.6
07528-3441	G250	IRAS 07528-VLA1	07:54:56.08	-34:49:35.2
		IRAS 07528-VLA2	07:54:56.13	-34:49:38.5
08189-3602	WRAY 15-199	IRAS 08189-VLA1	08:20:54.86	-36:13:09.2
21306+5540	KR 23B	IRAS 21306-VLA1	21:32:11.77	55:53:40.8
21334+5039	J2135 0991	IRAS 21334-VLA1	21:35:11.13	50:52:13.1
21413+5442	G098	IRAS 21413-VLA1	21:43:01.46	54:56:18.0
22134+5834	[WAF 2016] VLA1	IRAS 22134-VLA1	22:15:09.25	58:49:08.9
22308+5812	G105	IRAS 22308-VLA1	22:32:45.63	58:28:18.3
23030+5958	G110	IRAS 23030-VLA1	23:05:10.63	60:14:47.5
		IRAS 23030-VLA2	23:05:10.05	60:14:45.9
		IRAS 23030-VLA3	23:05:09.36	60:14:46.3

^a La fuente cercana es la más próxima a la que detectamos coincidiendo en algunos casos

Tabla 9: Fuentes detectadas en la banda K

Región IRAS	Fuente cercana ^b	Fuente detectada	Posición α (J2000)	Posición δ (J2000)
01045+6505	G124	IRAS 01045-VLA1	01:07:51.32	65:21:22.3
06412-0105	Min 2-62	IRAS 06412-VLA1	06:43:48.39	-01:08:19.1
		IRAS 06412-VLA2	06:43:48.13	-01:08:23.7
08189-3602	WRAY 15-199	IRAS 08189-VLA1	08:20:54.82	-36:13:08.2
21413+5442	G098	IRAS 21413-VLA1	21:43:01.44	54:56:18.0
23030+5958	G110	IRAS 23030-VLA1	23:05:10.66	60:14:46.7
		IRAS 23030-VLA2	23:05:10.01	60:14:46.4
		IRAS 23030-VLA3	23:05:09.40	60:14:46.9

^b La *fente cercana* es la más próxima a la que detectamos coincidiendo en algunos casos

Tabla 10: Fuentes detectadas en la banda C

Región IRAS	Fuente cercana ^c	Fuente detectada	Posición α (J2000)	Posición δ (J2000)
01045+6505	G124	IRAS 01045-VLA1	01:07:51.33	65:21:22.4
06567-0355	G217	IRAS 06567-VLA1	06:59:15.70	-03:59:35.8
		IRAS 06567-VLA2	06:59:15.72	-03:59:37.4
07528-3441	G250	IRAS 07528-VLA1	07:54:55.93	-34:49:31.3
		IRAS 07528-VLA2	07:54:56.10	-34:49:38.7
21306+5540	KR 23B	IRAS 21306-VLA1	21:32:11.75	55:53:41.4
21413+5442	G098	IRAS 21413-VLA1	21:43:01.48	54:56:18.2
22308+5812	G105	IRAS 22308-VLA1	22:32:45.58	58:28:18.4
23030+5958	G110	IRAS 23030-VLA1	23:05:10.42	60:14:46.5
		IRAS 23030-VLA2	23:05:10.03	60:14:47.8
		IRAS 23030-VLA3	23:05:09.33	60:14:46.8

^c La *fente cercana* es la más próxima a la que detectamos coincidiendo en algunos casos

A su vez usando el telescopio Nobeyama de 45m se detectó emisión de máseres de agua (Sunada et al (2007)), sin embargo no presenta emisión de NH_3 (Sunada et al (2007)). También, en esta fuente se detectó emisión de máseres de OH (Wouterloot et al (1993)) y emisión de NH_3 (1,1) (Urquhart et al (2011)).

Por otro lado analizando nuestros resultados (Figura 9) podemos observar los mapas de contornos de las bandas C, X y K de la fuente que detectamos hacia la región IRAS 01045+6505. Como se observa en los tres mapas, las fuentes detectadas presentan una morfología prácticamente esférica, con protuberancias en diversas direcciones. La dirección de las protuberancias difiere, ya que la banda X nos muestra una protuberancia hacia el norte y dos hacia el sureste y suroeste; mientras que la banda K muestra una protuberancia hacia el sur y dos hacia el sureste y suroeste; y la banda C muestra un mapa con sólo dos protuberancias (una al noroeste y la otra al suroeste). Es importante mencionar que la protuberancia suroeste (de la banda C) coincide con el centro de la región IRAS 01045+6505 (investigada en diversos artículos). Por otro lado la fuente mencionada por Urquhart et al (2011) no se traslapa con la emisión de la fuente detectada en nuestros resultados ya que se encuentra a 3.20 arcosegundos de su centro. Además la fuente infrarroja 01045-SMM1 coincide con la emisión de la fuente que detectamos pero 01045-SMM2 no. Por último nuestras mediciones reportan un tamaño de 3.13×2.91 arcosegundos y una densidad de flujo de 140.30 mJy (en la banda C); un tamaño de 3.14×2.87 arcosegundos y una densidad de flujo de 289.60 mJy (en la banda X); y un tamaño de 3.02×2.94 arcosegundos (en la banda K).

3.1.2 IRAS 01133+6434

Investigando en diversos artículos, se halló que la región IRAS 01133+6434 esta a una distancia de 4.1 kpc y tiene una luminosidad de $8400 L_{\odot}$ (Maud et al (2015)). Se realizaron observaciones en radio continuo, con las cuales encontraron que se trataba de una sola fuente (Urquhart et al (2009)). También se halló emisión de NH_3 (1,1), pero no se hallaron máseres de agua (Urquhart et al (2011)), ni máseres de metanol (Szymczak et al (2000)), pero si máseres de OH tipo I (Likkell et al (1989)).

Analizando los resultados de nuestro mapa de radio continuo (Figura 10), detectamos una fuente, que presenta una simetría esférica, la cual cuando calculamos sus parámetros observacionales encontramos una densidad de flujo de 1.92 mJy y un tamaño promedio de 1.66 arcosegundos. Es importante mencionar que la fuente detectada en nuestros resultados no coincide con el centro de la región IRAS 01133+6434 pues esta se halla en el sur de la fuente que detectamos a 1.5 arcosegundos de distancia. Por ello se especula que la fuente que detectamos no es la región IRAS 01133+6434. A su vez la fuente detectada por Urquhart et al (2009) no es la misma que la emisión de la fuente que detectamos. Además la emisión de NH_3 (1,1) tampoco se localiza dentro de la emisión que detectamos en nuestros resultados.

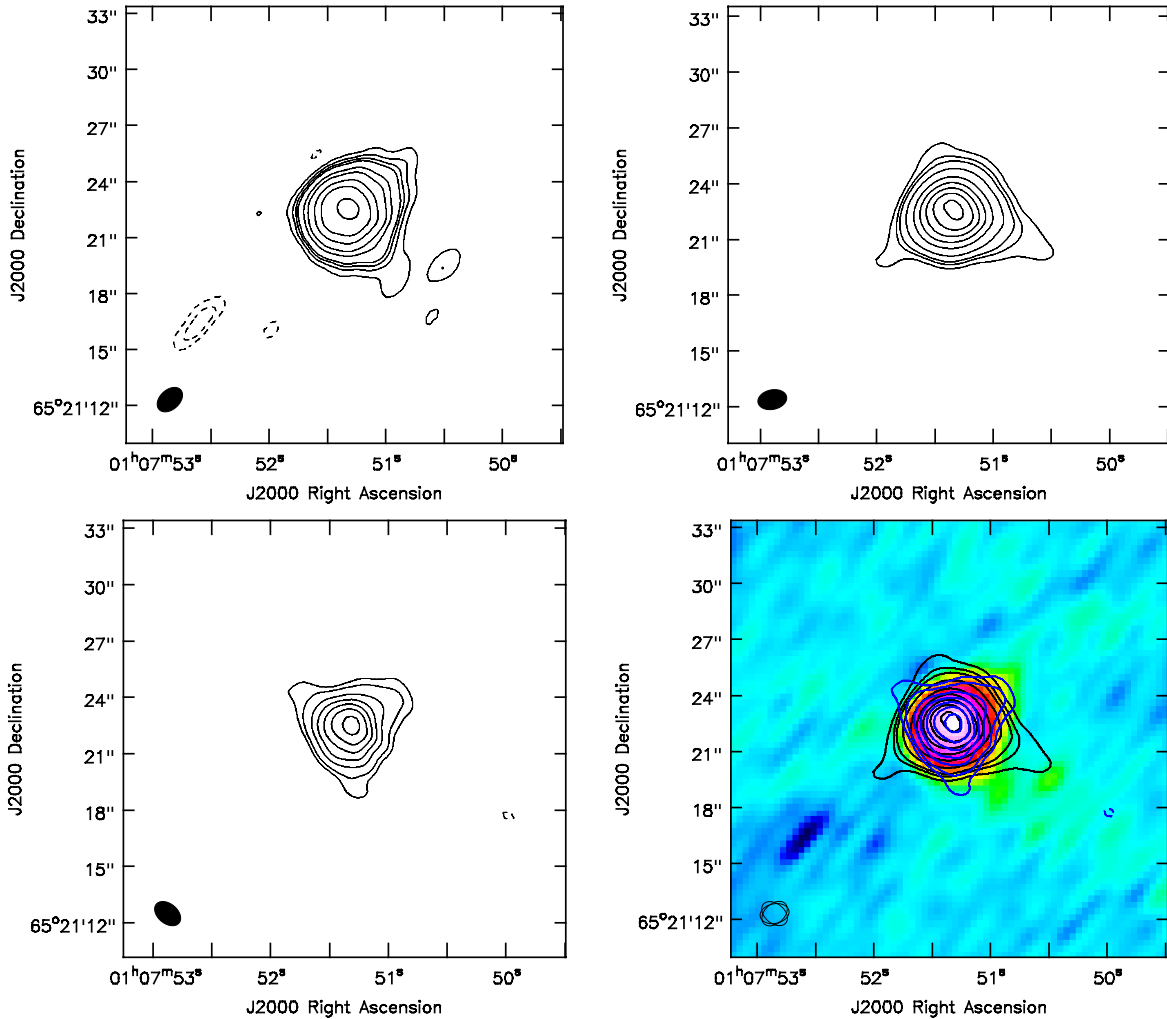


Figura 9: Región IRAS 01045+6505. Panel superior izquierdo: Mapa de contornos de la banda C, $\text{haz}=1.57'' \times 1.05''$ (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos $[-5, -3, 5, 10, 15, 20, 40, 60, 100, 140, 200]$, $\sigma=0.11$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). Panel superior derecho: Mapa de contornos de la banda X, $\text{haz}=1.57'' \times 1.05''$ (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos $[-5, 5, 10, 15, 30, 60, 90, 120, 150, 180]$, $\sigma=0.26$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). Panel inferior izquierdo: Mapa de contornos de la banda K, $\text{haz}=1.57'' \times 1.05''$ (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos $[-5, -3, 3, 5, 10, 15, 20, 25, 30]$, $\sigma=0.57$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). Panel inferior derecho: Mapas superpuestas; Patrón de colores: Mapa de contornos de la banda C, Contornos negros: Mapa de contornos de la banda X, Contornos azules: Mapa de contornos de la banda K.

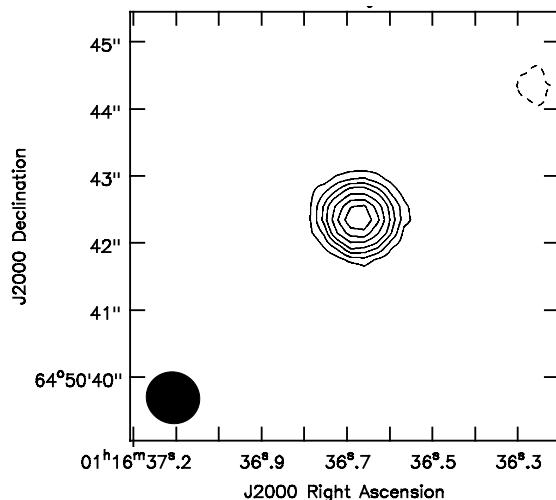


Figura 10: Región IRAS 01133+6434. Mapa de contornos de la banda X, $\text{haz}=0.81''\times 0.77''$ (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos $[-5,-3,3,5,7,9,12,15,18]$, $\sigma=0.08$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms).

3.1.3 IRAS 03235+5808

Después de investigar la región IRAS 03235+5808, en la literatura de algunos artículos, encontramos que está a una distancia de 4.2 kpc y tiene una luminosidad de $L=13000 L_{\odot}$ (Maud et al (2015)). Se realizaron observaciones en radio continuo, con las cuales encontraron que se trataba de una sola fuente (Urquhart et al (2009)), también se halló emisión de $\text{NH}_3(1,1)$, pero no se hallaron máseres de agua (Urquhart et al (2011)), ni máseres de metanol (Szymczak et al (2000)).

Nuestros resultados nos dieron un mapa, en la banda X, de la fuente detectada (Figura 11). Después de analizarlo vimos una morfología prácticamente esférica con una ligera elongación hacia el sur. Después calculamos su densidad de flujo cuyo valor fue de 6.22 mJy y medimos su tamaño cuyas dimensiones fueron de 0.91×0.84 arcosegundos. También vimos que el centro de la fuente detectada de nuestros resultados está a 0.25 arcosegundos del centro de la región IRAS 03235+5808. Encontramos que la fuente detectada por Urquhart et al (2009) y la emisión de $\text{NH}_3(1,1)$ de Urquhart et al (2011), ambas se hallan en la emisión de la fuente que detectamos.

3.1.4 IRAS 04324+5106

Leyendo de la región IRAS 04324+5106 en diversos artículos encontramos que está a una distancia heliocéntrica de 5.84 kpc y tiene una luminosidad de $L_{\text{IR}}=6\times 10^4 L_{\odot}$ (Wouterloot et al (1989)). Se realizaron observaciones en radio continuo, con las

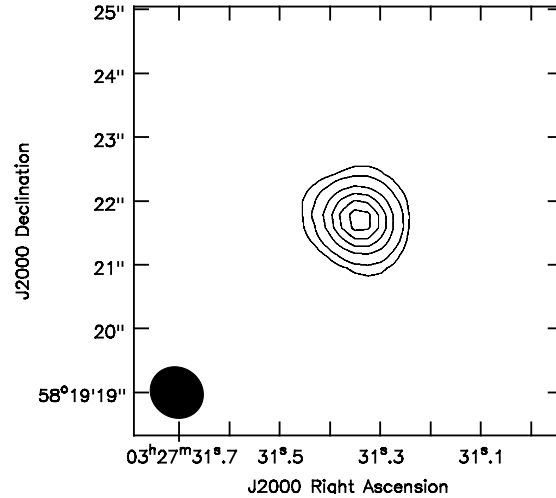


Figura 11: Región IRAS 03235+5808. Mapa de contornos de la banda X, haz= $0.86'' \times 0.79''$ (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos [-5,-3,5,10,20,30,40,50], $\sigma=0.10$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms).

cuales encontraron que se trataba de una sola fuente ([Urquhart et al \(2009\)](#)), también se realizaron observaciones en el milimétrico, con las cuales encontraron que ahí se encuentran cuatro fuentes ([Klein et al \(2005\)](#)). También se halló emisión de NH_3 (1,1), NH_3 (2,2) y NH_3 (3,3), pero no se hallaron máseres de agua ([Urquhart et al \(2011\)](#)) ni máseres de metanol ([Szymczak et al \(2000\)](#)).

Nuestros resultados arrojaron un mapa en radio de la banda X de la fuente que detectamos en las cercanías de la región IRAS 04324+5106 (Figura 12), la cual nos mostró una fuente con morfología grumosa, que se aproxima a la de una esfera. Después medimos su densidad de flujo encontrando un valor 98 mJy y medimos sus dimensiones hallando un valor de 8.90×8.24 arcosegundos. A su vez el centro de la fuente detectada en nuestros resultados coincide con el centro de la región IRAS 04324+5106. Por otra parte de las cuatro fuentes del artículo de [Klein et al \(2005\)](#) solamente una se halló en la emisión que detectamos. Además la emisión de NH_3 mencionada por [Urquhart et al \(2011\)](#) y la fuente que encontró [Urquhart et al \(2009\)](#) están dentro de la emisión que detectamos en la Figura 12.

3.1.5 IRAS 04366+5022

Después de investigar la región IRAS 04366+5022 en diversos artículos, encontramos que está a una distancia heliocéntrica de 5.95 kpc y tiene una luminosidad de $L_{\text{IR}}=3 \times 10^4 L_{\odot}$ ([Wouterloot et al \(1989\)](#)). Se realizaron observaciones en radio continuo, con las cuales encontraron que se trataba de una sola fuente ([Urquhart et al \(2009\)](#), [Kallas et al \(1980\)](#)). También se halló emisión de NH_3 (1,1), pero no se halla-

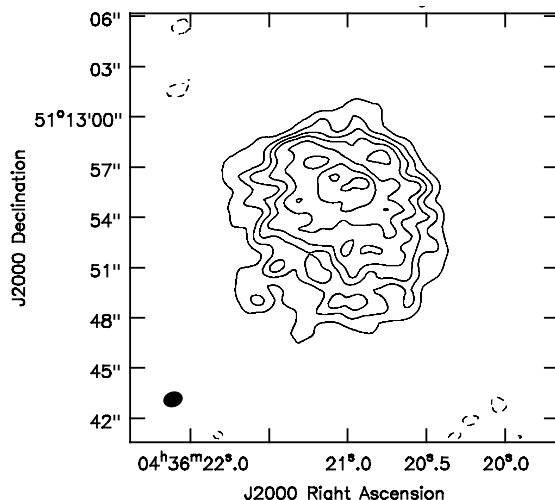


Figura 12: Región IRAS 04324+5106. Mapa de contornos de la banda X, haz=1.12''x0.87'' (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos [-5,-3,3,5,7,9,12,15,18], $\sigma=0.08$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms).

ron máseres de agua ([Urquhart et al \(2011\)](#)), ni máseres de metanol ([Szymczak et al \(2000\)](#)).

Por otro lado nuestros resultados nos dieron un mapa de contornos (Figura 13) de la banda X de una fuente detecta hacia la región IRAS 04366+5022, en el cual detectamos una fuente con 3 zonas de emisión extendida una apuntando hacia el este y dos apuntando hacia el sureste y noreste. Después medimos su tamaño promedio dandonos un valor de 2.31 arcosegundos y medimos su densidad de flujo encontrando un valor de 4.75 mJy. El centro de la fuente detectada coincide con el centro de la región IRAS 04366+5022. A su vez la fuente que menciona el artículo de [Urquhart et al \(2009\)](#) y la emisión de NH_3 que detectó [Urquhart et al \(2011\)](#) se encuentran dentro de la emisión de nuestros resultados.

3.1.6 IRAS 05305+3029

Investigando la región IRAS 05305+3029 en diversas fuentes de la literatura, hallamos que esta a una distancia galactocéntrica de 10.4 kpc y tiene una luminosidad bolométrica de $L=6190 L_{\odot}$ ([Lumsden et al \(2013\)](#)). Sin embargo no se encontraron máseres de agua, ni emisión de NH_3 ([Sunada et al \(2007\)](#)). Tampoco se hallaron máseres de OH ([Te Lintel Hekkert et al \(1996\)](#)), ni máseres de metanol ([Szymczak et al \(2000\)](#)).

Después se analizó el mapa de radio continuo de la Figura 14, en la banda X, de la fuente detectada en las cercanías de la región IRAS 05305+3029 que generamos

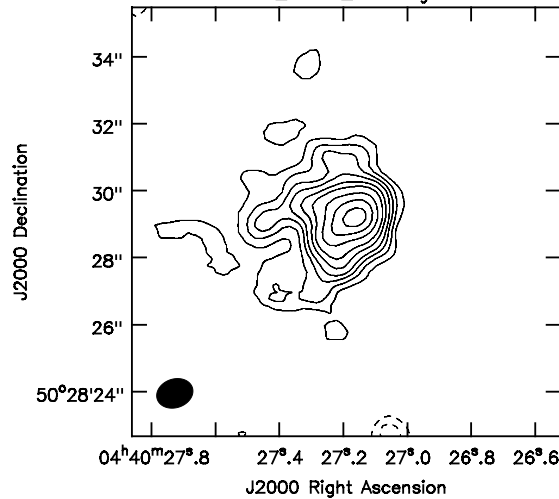


Figura 13: Región IRAS 04366+5022. Mapa de contornos de la banda X, $\text{haz}=1.10'' \times 0.86''$ (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos $[-5, -3, 3, 5, 7, 9, 12, 15, 20, 25, 30]$, $\sigma=0.03$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms).

con nuestros resultados, dicho análisis nos mostró una fuente con una morfología elíptica con el eje mayor orientado en dirección Noroeste. Luego medimos el valor de la densidad de flujo encontrando 0.22 mJy y medimos sus dimensiones las cuales fueron de 1.05×0.75 arcosegundos. Se especula que esta es una fuente diferente a la región IRAS 05305+3029, pues el centro de la región IRAS 05305+3029 está en el suroeste a 14.3 arcosegundos.

3.1.7 IRAS 05358+3543

Buscando en la literatura de la región IRAS 05358+3543 encontramos la siguiente información, se localiza a una distancia de 1.8 kpc y tiene una luminosidad de $L_{\text{IR}}=6.6 \times 10^3 L_{\odot}$ (Lu et al (2014)). Se encuentra en las cercanías de S233, el cual es un pequeño cúmulo de estrellas (Yao et al (2000)) y se han hecho observaciones en IR, con las cuales encontraron que se trataba de una sola fuente (Yao et al (2000)). Se han realizado observaciones en radio continuo, con las cuales se detectó una fuente (Araya et al (2009), Tofani et al (1995)). Así como observaciones en el milimétrico, las cuales detectaron una fuente (Beuther et al (2007), Di Francesco et al (2008)). Se han detectado máseres de metanol, máseres de OH y maseres de agua (Rodríguez-Garza et al (2017)). Además de encontrar emisión de NH_3 (1,1) y NH_3 (2,2) (Lu et al (2014)).

En base a nuestros resultados (Figura 15) se generó el mapa en radio continuo de la banda X de una fuente que detectamos hacia la región IRAS 05358+3543. En el detectamos una fuente con morfología elíptica; con el eje mayor en dirección Noroeste

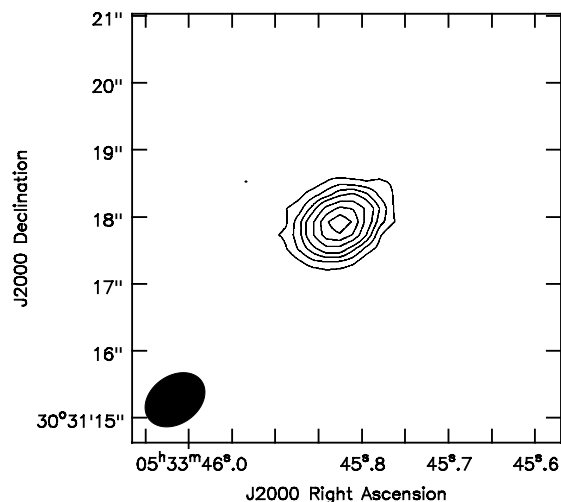


Figura 14: Región IRAS 05305+3029. Mapa de contornos de la banda X, haz= $0.97'' \times 0.72''$ (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos $[-5, -3, 3, 5, 7, 9, 12, 15, 18]$, $\sigma = 0.01$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms).

y emisión en dirección Noreste. Al calcular su densidad de flujo encontramos un valor de 1.97 mJy y después de medir su tamaño hallamos un valor promedio de 2.09 arcos segundos. Se especula que la fuente que detectamos no se relaciona con la región IRAS 05358+3543, porque su centro está a 104.6 arcos segundos de la fuente IRAS 05358+3543. Tampoco se encuentra en la emisión de la Figura 15 la fuente S233 del artículo Yao et al (2000), ni las fuentes que encontraron Yao et al (2000) y Araya et al (2009). A su vez la emisión de NH_3 reportada por Lu et al (2014) no está en la emisión de la Figura 15.

3.1.8 IRAS 05553+1631

Al buscar en la literatura acerca de la región IRAS 05553+1631, encontramos que se encuentra a una distancia heliocéntrica de 1.17 kpc y tiene una luminosidad de $L_{\text{IR}} = 2 \times 10^3 L_{\odot}$ (Wouterloot et al (1989)). Se realizaron observaciones en el milimétrico, con las cuales encontraron que se trata de una sola fuente (Williams et al (2004)). No se detectó emisión de NH_3 (Lu et al (2014)), sin embargo si se detectaron máseres de agua (Sunada et al (2007)). A su vez no se detectaron máseres de OH (Edris et al (2007)), ni máseres de metanol (Rodríguez-Garza et al (2017)).

Nuestros resultados arrojaron un mapa de contornos en la banda X de una fuente detectada en las cercanías de la región IRAS 05553+1631, el cual se muestra en la Figura 16. En el detectamos una fuente que presenta una morfología elíptica pero con una excentricidad de casi cero (casi un círculo). El eje mayor está orientado en di-

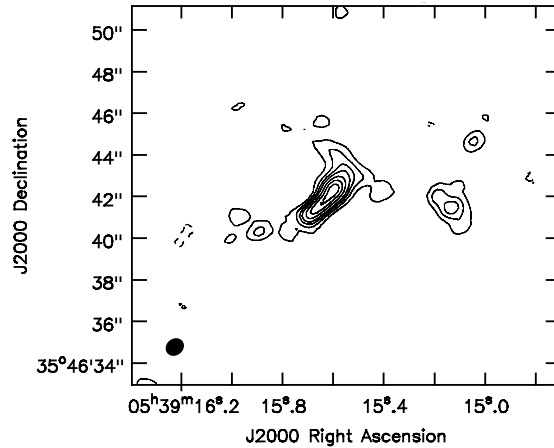


Figura 15: Región IRAS 05358+3543. Mapa de contornos de la banda X, $\text{haz}=0.88''\times 0.74''$ (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos $[-5,-3,3,5,7,9,12,15,18]$, $\sigma=0.02$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms).

rección Noroeste y al realizar mediciones de sus parámetros observacionales se halló una densidad de flujo así unas dimensiones de 0.81 mJy y de 1.11×0.82 arcosegundos (respectivamente). Vimos que el centro de la fuente IRAS 05553+1631 esta a 2.41 arcosegundos de la fuente que detectamos con nuestros resultados, lo cual sugiere que se trata de otra fuente. Además la fuente hallada por [Williams et al \(2004\)](#) no está en la emisión de la fuente que detectamos en nuestros resultados.

3.1.9 IRAS 06055+2039

Al buscar información de la región IRAS 06055+2039 encontramos diversos datos, como que está a una distancia heliocéntrica de 2.9 kpc y tiene una luminosidad de $L_{\text{IR}}=3\times 10^4 L_{\odot}$ ([Wouterloot et al \(1989\)](#)). Además se localiza en las cercanías de la región S235 ([Sunada et al \(2007\)](#)). Por otro lado, se han detectado máseres de agua ([Sunada et al \(2007\)](#)) y emisión de NH_3 (1,1) y NH_3 (2,2) ([Klein et al \(2005\)](#)). También se hallaron máseres de metanol ([Szymczak et al \(2000\)](#)), pero no se encontraron máseres de OH ([Szymczak et al \(2000\)](#)). Finalmente se realizaron observaciones en el milimétrico, con las que se encontró que tenía seis componentes ([Klein et al \(2005\)](#)).

Nuestros resultados nos dieron un mapa en radio, en la banda X, de la fuente que detectamos hacia la región IRAS 06055+2039 (Figura 17). El cual nos mostró una morfología elíptica con el eje mayor orientado en dirección Noroeste. Al medir sus parámetros observacionales hallamos una densidad de flujo y tamaño promedio de 0.79 mJy y 1.06 arcosegundos. Por otra parte el centro de la región IRAS 06055+2039 se halla en dirección Noroeste a 49.1 arcosegundos de la fuente detectada en nuestros resultados. Lo que nos indica que no se trata de la misma fuente. Además las seis

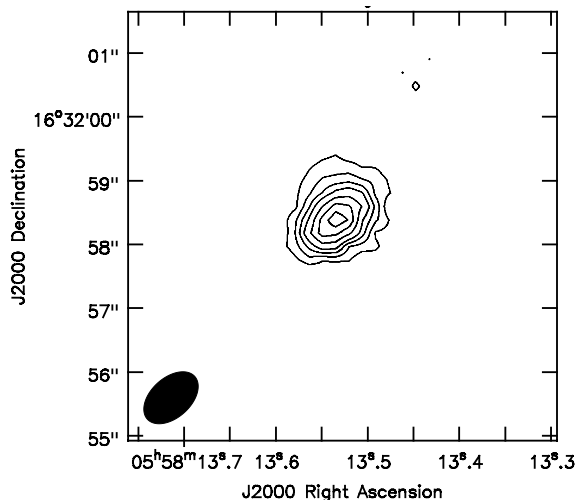


Figura 16: Región IRAS 05553+1631. Mapa de contornos de la banda X, haz=1.00''x0.62'' (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos [-5,-3,3,5,7,9,12,15,18], $\sigma=0.03$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms).

componentes que reporta Klein et al (2005) no se traslapan con la emisión del mapa que generaron nuestros resultados. A su vez tampoco S235 ni la emisión de NH₃ de Klein et al (2005) coinciden con la fuente que arrojó nuestros resultados.

3.1.10 IRAS 06412-0105

Al investigar sobre la región IRAS 06412-0105, encontramos que la literatura nos dice que está a una distancia heliocéntrica de 7.1 kpc y tiene una luminosidad de $L_{IR}=9 \times 10^4 L_{\odot}$ (Wouterloot et al (1989)). Se halla en dirección de la fuente WB 870 (Rudolph et al (1997)). Sin embargo no se encontraron máseres de metanol (Szymczak et al (2000)), ni máseres de agua, ni emisión de NH₃ (Klein et al (2005)). También se realizaron observaciones en el milimétrico, con las que se detectó una fuente (Klein et al (2005)).

Los resultados que obtuvimos fueron dos mapas de contornos en las bandas X y K de una fuente cercana a la región IRAS 06412-0105, estos se muestran en la Figura 18. Tanto en la banda X y K encontramos una zona extendida y una zona compacta. Además de que en la banda X la zona compacta está orientada en dirección Noroeste y en la banda K en dirección Noreste. A su vez, las mediciones arrojaron que la fuente tiene una densidad de flujo cuyo valor es de 624 mJy en la zona extendida y de 51 mJy en la zona compacta (en la banda X). Al calcular su tamaño hallamos que las dimensiones son de 11.90×10.74 arcosegundos en la zona compacta y de 1.76×1.32 arcosegundos en la banda X. El valor de la densidad de flujo es de 495 mJy en la

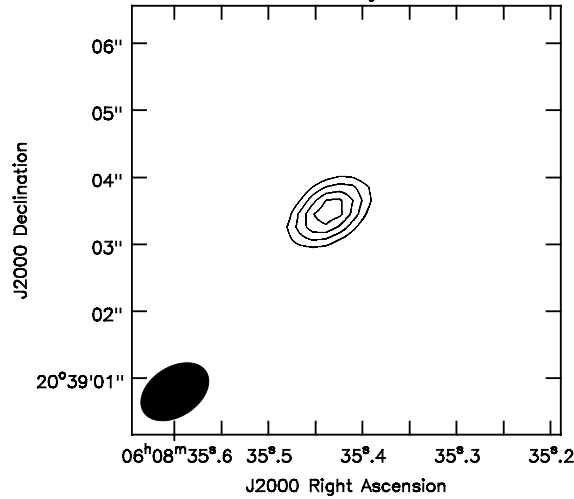


Figura 17: Región IRAS 06055+2039. Mapa de contornos de la banda X, $\text{haz}=1.11''\times 0.74''$ (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos $[-5,-3,3,4,5,6,7]$, $\sigma=0.09$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms).

zona extendida y de 34.5 mJy en la zona compacta (en la banda K). Además las dimensiones (en la banda K) de la zona extendida son 12.26×10.35 arcossegundos y de la zona compacta son 2.36×1.52 . Encontramos que el centro de la zona extendida que obtuvimos coincide con el centro de la región IRAS 06412-0105, pero está a 8.08 arcossegundos del centro de la zona compacta. Además la fuente reportada por Klein et al (2005) coincide con la zona extendida que encontrada.

3.1.11 IRAS 06567-0355

Buscando información de la región IRAS 06567-0355 encontramos que esta en dirección de una estrella de tipo espectral B1 (Neckel et al (1989)), sin embargo hay otros datos que nos dicen que se encuentra en la dirección de una Nebulosa que se halla a 2.3 kpc (Tapia et al (1997)). Se observó en radio continuo (Urquhart et al (2009), Klein et al (2005)), además de determinarle una distancia de 2.6 kpc, una luminosidad de $1.8 \times 10^4 L_{\odot}$, así como encontrar emisión de NH_3 (1,1) y NH_3 (2,2) (Klein et al (2005)). También se hallaron flujos bipolares (Wu et al (1996)), pero no se hallaron máseres de agua (Henning et al (1992)), ni máseres de metanol (Szymczak et al (2000)). Por último se han realizado observaciones milimétricas (Klein et al (2005)) y en el IR (Zhang et al (1996)); dando como resultado la detección de una fuente.

Generamos con los resultados mapas de contornos de las bandas C y X (Figura 19) de una fuente en las cercanías de la región IRAS 06567-0355. En dichos mapas detectamos una fuente que presenta una morfología prácticamente esférica con una

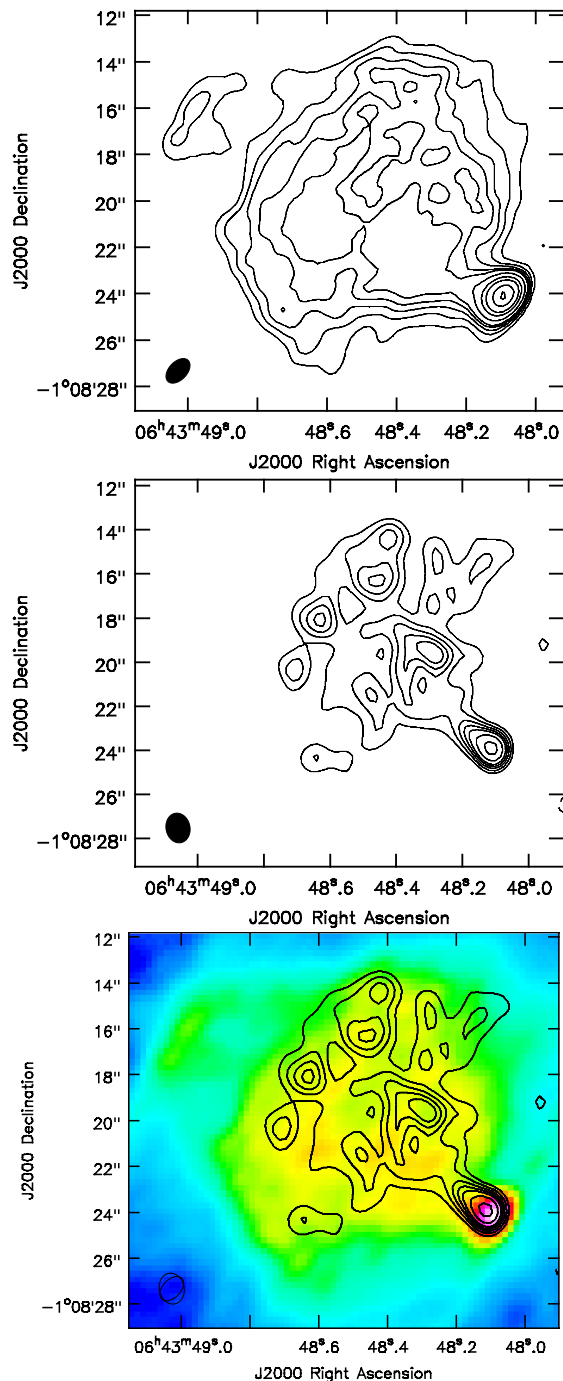


Figura 18: Región IRAS 06412-0105. Panel superior: Mapa de contornos de la banda X, $\text{haz}=1.26'' \times 0.78''$ (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos $[-5,-3,3,4,5,6,7,10,15,20,30,40]$, $\sigma=0.57$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). Panel medio: Mapa de contornos de la banda K, $\text{haz}=1.36'' \times 1.09''$ (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos $[-4,-3,3,4,5,6,7,9,12]$, $\sigma=1.20$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). Panel inferior: Mapas superpuestos; Patrón de colores: Mapa de contornos de la banda X, Contornos negros: Mapa de contornos de la banda K.

ligera elongación hacia el Suroeste. La fuente detectada es un sistema doble, cuyo tamaño promedio de la fuente norte (en la banda C) es de 1.18 arcosegundos y de 2.64 arcosegundos en la banda X. A su vez la fuente norte tiene una densidad de flujo de 0.76 mJy (en la banda C) y de 12.15 mJy en la banda X. Los valores de la fuente sur al realizar las mediciones nos dieron dimensiones de 4.53×3.69 arcosegundos en la banda C y 3.88×2.80 arcosegundos en la banda X. Así como una densidad de flujo de 48.50 mJy en la banda C y de 25.09 mJy en la banda X. Además el sistema doble que detectamos no es la región IRAS 06567-0355, porque el centro del sistema doble esta a 286.3 arcosegundos del centro de dicha región IRAS. A su vez el sistema doble que detectamos no esta relacionado con la fuente reportada por [Urquhart et al \(2009\)](#), ni con la fuente milimétrica reportada por [Klein et al \(2005\)](#), ni con la fuente IR reportada por [Zhang et al \(1996\)](#), ni con la emisión de NH_3 reportada por [Klein et al \(2005\)](#).

3.1.12 IRAS 07299-1651

Al buscar información en la literatura de la región IRAS 07299-1651 encontramos que se localiza a una distancia heliocéntrica de 1.41 kpc y tiene una luminosidad de $L_{\text{IR}} = 7 \times 10^3 L_{\odot}$ ([Wouterloot et al \(1989\)](#)). Además se hallaron máseres de agua ([Sunada et al \(2007\)](#)), máseres de metanol ([Szymczak et al \(2000\)](#)), máseres de OH ([Cohen et al \(1991\)](#)), pero no se halló emisión de NH_3 ([Klein et al \(2005\)](#)). También se realizaron observaciones en el milimétrico, con las que encontraron que se trataba de una sola fuente ([Klein et al \(2005\)](#)). Finalmente se realizaron observaciones en IR, con las que encontraron que se trataba de una sola fuente ([Rosero et al \(2019\)](#)).

De nuestros resultados generamos un mapa de radio continuo en la banda X de una fuente detectada hacia la región IRAS 07299-1651 (Figura 20). En el cual detectamos una fuente con morfología elíptica con el eje mayor orientado en dirección Noroeste. Después medimos los parámetros observacionales, los cuales nos dieron una densidad de flujo de 0.26 mJy y un tamaño promedio de 1.15 arcosegundos. Nuestros resultados sugieren que la fuente que detectamos no es la región IRAS 07299-1651 ya que su centro esta a 2.42 arcosegundos de la fuente detectada. A su vez la fuente milimétrica reportada por [Klein et al \(2005\)](#) y la fuente IR reportada por [Rosero et al \(2019\)](#) no coinciden con la emisión de la fuente que encontramos con nuestros resultados.

3.1.13 IRAS 07427-2400

Buscando información de la región IRAS 07427-2400 en diversos artículos hallamos que esta región se localiza a una distancia heliocéntrica de 6.92 kpc y tiene una luminosidad de $L_{\text{IR}} = 8 \times 10^4 L_{\odot}$ ([Wouterloot et al \(1989\)](#)). Se encontraron máseres de agua, emisión de CO ([Sunada et al \(2007\)](#)), máseres de metanol ([Walsh et al \(1998\)](#)), máse-

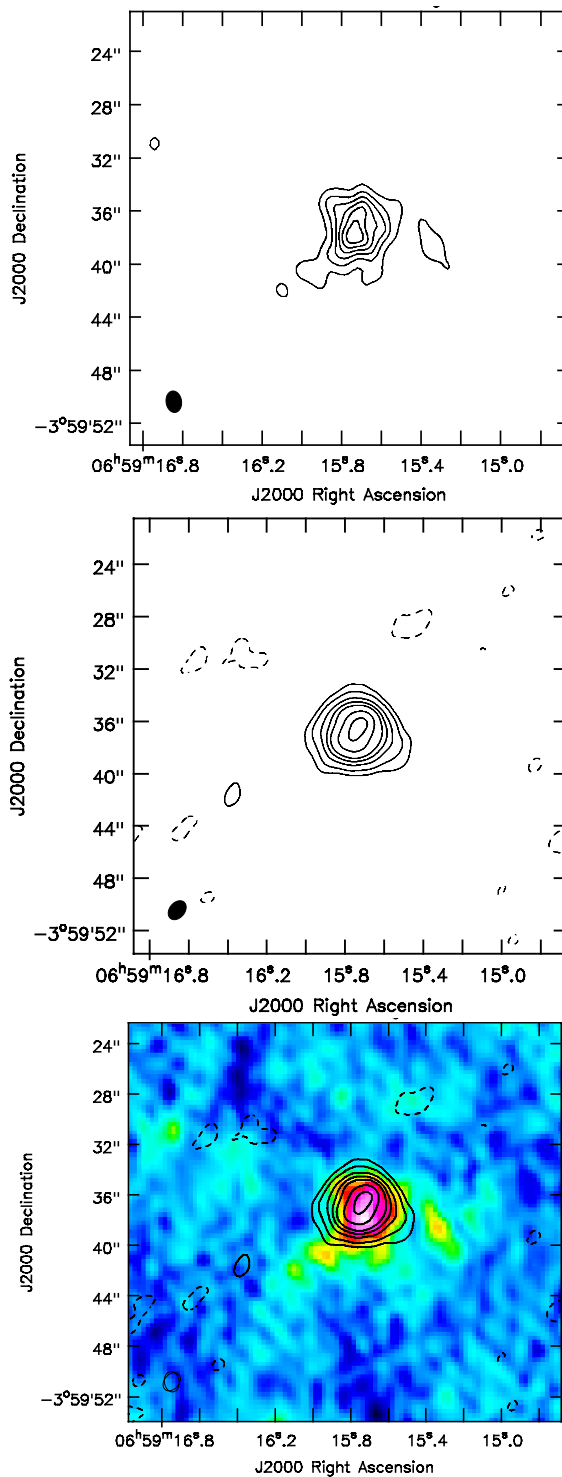


Figura 19: Región IRAS 06567-0355. Panel superior: Mapa de contornos de la banda C, $\text{haz}=1.62'' \times 1.16''$ (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos $[-5, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35]$, $\sigma=0.18$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). Panel medio: Mapa de contornos de la banda X, $\text{haz}=1.62'' \times 1.16''$ (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos $[-5, -3, 5, 10, 20, 30, 40, 60, 80]$, $\sigma=0.06$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). Panel inferior: Mapas superpuestos; Patrón de colores: Mapa de contornos de la banda C, Contornos negros: Mapa de contornos de la banda X.

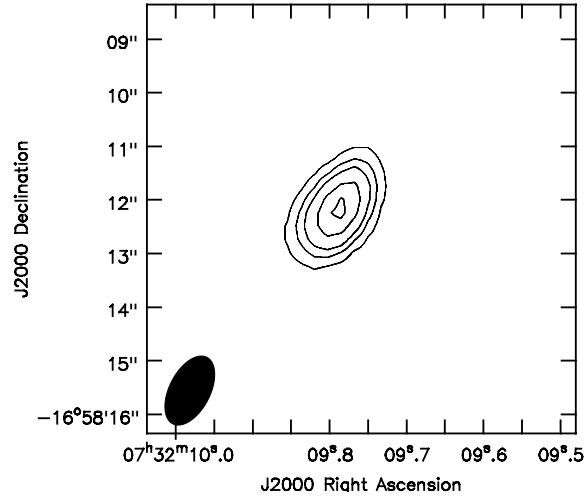


Figura 20: Región IRAS 07299-1651. Mapa de contornos de la banda X, $\text{haz}=1.40'' \times 0.76''$ (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos $[-5,-3,9,12,15,18,21]$, $\sigma=0.01$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms).

res de OH ([Te Lintel Hekkert et al \(1996\)](#)), pero no se halló emisión de NH_3 ([Wu et al \(2006\)](#)). Se realizaron observaciones en el milimétrico, con las que se encontraron que se trataba de una sola fuente ([Osterloh et al \(1997\)](#)).

El proceso de reducción que realizamos arrojó un mapa de contornos en la banda X de una fuente que esta en las cercanías de la región IRAS 07427-2400, el cual se muestra en la Figura 21. En dicho mapa detectamos una fuente con una elongación en dirección Norte y dos protuberancias en el sur. Dichas elongación se presenta como emisión y las dos protuberancias estan en dirección sureste y suroeste. Además al realizar mediciones encontramos, una densidad de flujo de 2.34 mJy y unas dimensiones de 1.81×0.95 arcosegundos. A su vez ni la región IRAS 07427-2400 ni la fuente reportada por [Osterloh et al \(1997\)](#) se traslapan con la emisión de la fuente que produjeron nuestros resultados.

3.1.14 IRAS 07311-2204

Al investigar la región IRAS 07311-2204 encontramos que se localiza en la región BBW 44 ([Wouterloot et al \(1988\)](#)), la cual forma parte de una región conocida como BRAN 45 ([May et al \(1997\)](#)).

Revisando información de la fuente BRAN 45 encontramos que esta a una distancia de 8 kpc; se encontró que tiene emisión de CO y en base a la emisión de CO se le determinó una luminosidad de $L=2.8 \times 10^5 L_{\odot}$, a su vez dicha fuente tiene un diámetro efectivo de 59.2 pc (25.44') y se midió con una resolución de 8.8' ([May et al \(1997\)](#)).

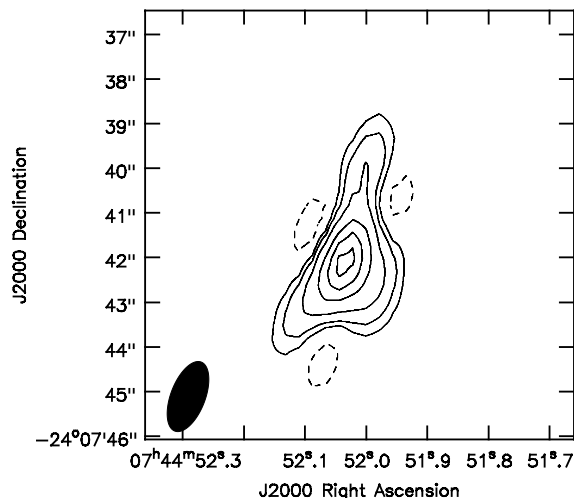


Figura 21: Región IRAS 07427-2400. Mapa de contornos de la banda X, $\text{haz}=1.65'' \times 0.77''$ (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos $[-5, 5, 10, 20, 40, 60, 80]$, $\sigma=0.02 \text{ mJy/beam}$ (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms).

Finalmente la información que recopilamos de los artículos nos mostró que en la región IRAS 07311-2204 no se hallaron máseres de OH ([Te Lintel Hekkert \(1991\)](#)).

Nuestro proceso de reducción, arrojó como resultado un mapa en la banda X con una fuente cerca de la región IRAS 07311-2204. El cual nos mostró la detección de una fuente con morfología gruesa que se puede aproximar a una esfera. Además al realizar mediciones hallamos una densidad de flujo de 4 mJy y un tamaño promedio de 5.77 arcosegundos. Por otro lado no se sabe si la fuente que detectamos es la región IRAS 07311-2204, BBW 44 o BRAN 45; porque las tres coinciden con la fuente detectada.

3.1.15 IRAS 07528-3441

Se buscó información de la región IRAS 07528-3441 en diversos artículos, encontrando que se le observó en radio continuo ([Urquhart et al \(2009\)](#)) y que se localiza a una distancia de 1.2 kpc ([Preite Martinez \(1988\)](#)). Se detectaron máseres de OH ([Slysh et al \(1997\)](#)), pero no se hallaron máseres de metanol ([Van Der Walt et al \(1996\)](#)). A su vez, en dichos artículos encontramos reportadas observaciones de la línea de emisión CS(2-1), encontrando que se trataba de una región H II UC ([Bronfman et al \(1996\)](#)). También se realizaron observaciones en la línea de emisión ^{12}CO ($J=1-0$), con las que encontraron que en esta fuente hay flujos moleculares cuya dirección está cerca de la región H II mencionada por [Bronfman et al \(1996\)](#) y por tanto el eje de esta adopta su morfología ([Shepherd et al \(1996\)](#)). A su vez se halló emisión de NH_3 (1,1) ([Urquhart et al \(2011\)](#)).

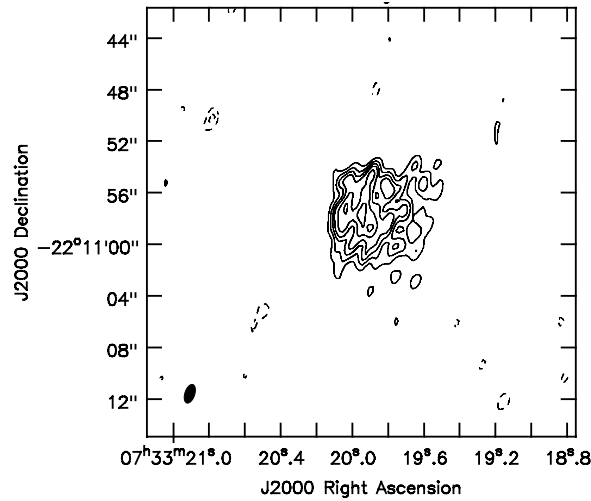


Figura 22: Región IRAS 07311-2204. Mapa de contornos de la banda X, haz=1.50''x0.76'' (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos [-5,-3,3,5,7,9,12,15,18], $\sigma=0.01$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms).

Nuestros resultados arrojaron mapas en radio continuo de las bandas C y X (Figura 23) de la fuente detectada hacia la región IRAS 07528-3441. Dicho mapa muestra la detección de una región que alberga dos fuentes; una en el norte y otra en el sur (es decir, es un sistema doble). Sin embargo, esto no es muy notorio en el mapa de la banda X. Por otro lado en la banda C la zona Norte tiene dimensiones de 12.46×1.67 arcossegundos y la sur de 5.30×3.39 arcossegundos. Nuestra fuente no forma parte de la región IRAS 07528-3441, porque su centro está 134.4 arcossegundos de la región IRAS. Tampoco es la región H II UC reportada por Bronfman et al (1996), ni la emisión de NH_3 de Urquhart et al (2011).

3.1.16 IRAS 08189-3602

Al investigar en la literatura la región IRAS 08189-3602 encontramos que se localiza a una distancia heliocéntrica de 7.56 kpc y tiene una luminosidad de $L_{\text{IR}}=3 \times 10^5 L_{\odot}$ (Wouterloot et al (1989)). Sin embargo, no se hallaron máseres de metanol (Walsh et al (1997)), ni máseres de OH (Te Lintel Hekkert et al (1996)). Por otro lado se realizaron observaciones en el milimétrico y el submilimétrico, con las que encontraron que se trata de una región H II compacta (Arnaud et al (2015)).

Nuestro proceso de reducción arrojó mapas en las bandas X y K de una fuente cerca de la región IRAS 08189-3602, los cuales se muestran en la Figura 24. Dichos mapas muestran la detección de una fuente que presenta una elongación en dirección Norte, además de tener pequeños grumos. Por otro lado al realizar mediciones se hallaron

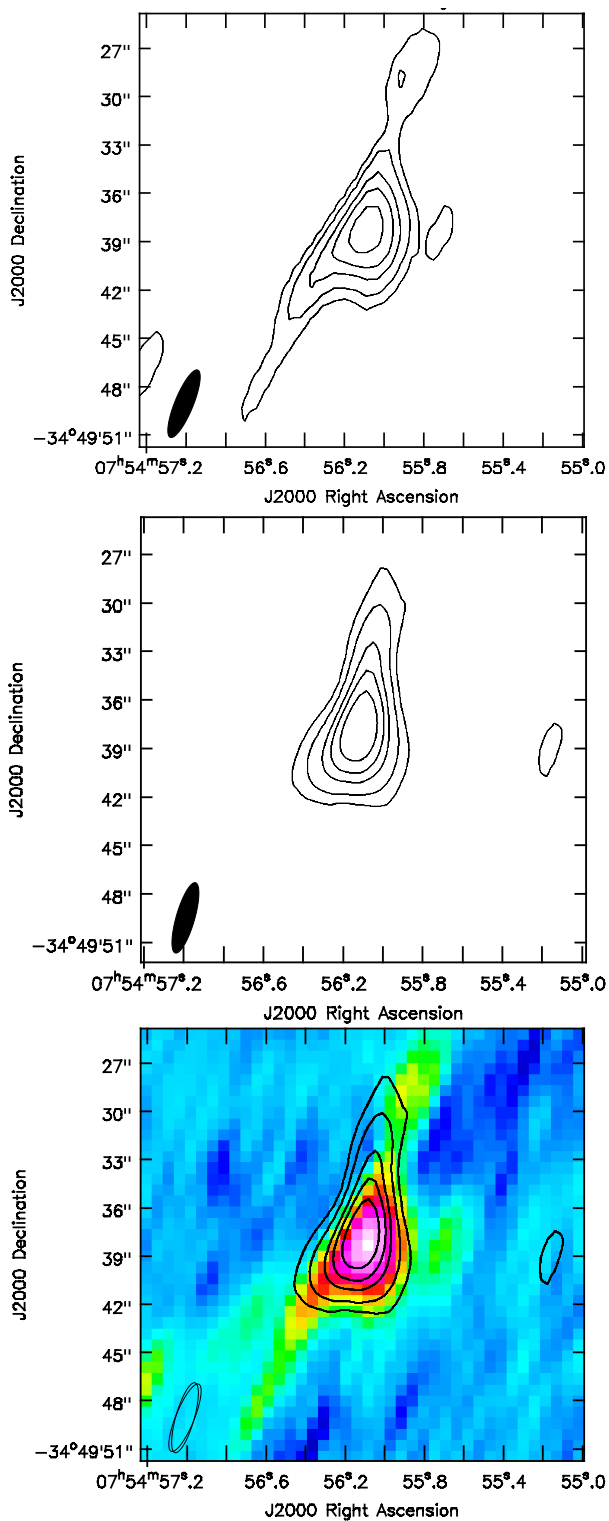


Figura 23: Región IRAS 07528-3441. Panel superior: Mapa de contornos de la banda C, $\text{haz}=4.52''\times 1.14''$ (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos $[-5, 5, 10, 20, 30, 45]$, $\sigma=0.08$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). Panel medio: Mapa de contornos de la banda X, $\text{haz}=4.52''\times 1.14''$ (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos $[-5, 5, 10, 20, 30, 45]$, $\sigma=0.08$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). Panel inferior: Mapas superpuestas; Patrón de colores: Mapa de contornos de la banda C, Contornos negros: Mapa de contornos de la banda X.

densidades de flujo de 31.20 mJy y 30.60 mJy (bandas X y K, respectivamente). Así como un tamaño promedio de 4.09 arcosegundos y 5.09 arcosegundos (bandas X y K respectivamente). Esta fuente detectada no es la región IRAS 08189-3602, debido a que el centro de la fuente detectada esta a 21.3 arcosegundos de dicha fuente IRAS. A su vez no es la región H II compacta reportada por [Arnaud et al \(2015\)](#).

3.1.17 IRAS 21306+5540

Investigando la región IRAS 21306+5540 encontramos que ciertos artículos habían reportado observaciones en radio continuo ([Urquhart et al \(2009\)](#), [Reich et al \(1997\)](#)), que su luminosidad es de $L = 1.1 \times 10^4 L_{\odot}$, que se halla a una distancia de 3.7 kpc y además que han hallado flujos bipolares con dirección este-oeste ([Kim et al \(2015\)](#)). Se localiza en las cercanías de la región H II S128, cuya distancia cinemática es de 7.5 kpc y en la cual se hallaron máseres de agua, así como emisión de CO en las cercanías de esta ([Lekht et al \(2002\)](#)). A su vez se han realizado observaciones milimétricas y en el IR; dando como resultado la detección de una fuente ([Umana et al \(2008\)](#)). También hay evidencia de máseres de metanol clase II ([Slysh et al \(1999\)](#)) y a su vez hay emisión de $\text{NH}_3 (1,1)$ ([Urquhart et al \(2011\)](#)).

Nuestros resultados arrojaron la Figura 25, que son los mapas de las banda C y X de una fuente que detectamos hacia la región IRAS 21306+5540. El panel superior muestra la detección de una fuente con una densidad de flujo de 67.30 mJy, dimensiones de 3.60×3.28 arcosegundos y una morfología esférica, ligeramente elongada hacia el oeste. En el panel medio detectamos una fuente con una densidad de flujo de 34.4 mJy, un tamaño promedio de 2.93 arcosegundos y una morfología esférica, ligeramente elongada hacia el norte. Ahora ya que el centro de la región IRAS 21306+5540 esta a 59.68 arcosegundos de la fuente que detectaron nuestros resultados, podemos afirmar que no es dicha región IRAS. A su vez la fuente reportada por [Umana et al \(2008\)](#), la emisión de NH_3 reportada por [Urquhart et al \(2011\)](#) y S128; no coinciden con la emisión de la fuente encontrada por nuestros resultados.

3.1.18 IRAS 21334+5039

Buscando información en diversos artículos de la región IRAS 21334+5039 encontramos que se halla a una distancia de 5.0 kpc ([McCutcheon et al \(1991\)](#)); se realizaron observaciones en el continuo milimétrico y submilimétrico, con las cuales encontraron que se trataba de una sola fuente en la etapa de pre-secuencia principal ([McCutcheon et al \(1995\)](#)); además de que su luminosidad es de $L_{\text{IR}} = 20729 L_{\odot}$ ([McCutcheon et al \(1991\)](#)). Se observó en radio continuo y también usando líneas de emisión de CO, con lo que se propuso que se trataba de una región H II Compacta ([McCutcheon et al \(1991\)](#)). A su vez se detectaron máseres de agua, así como emisión de $\text{NH}_3 (1,1)$, NH_3

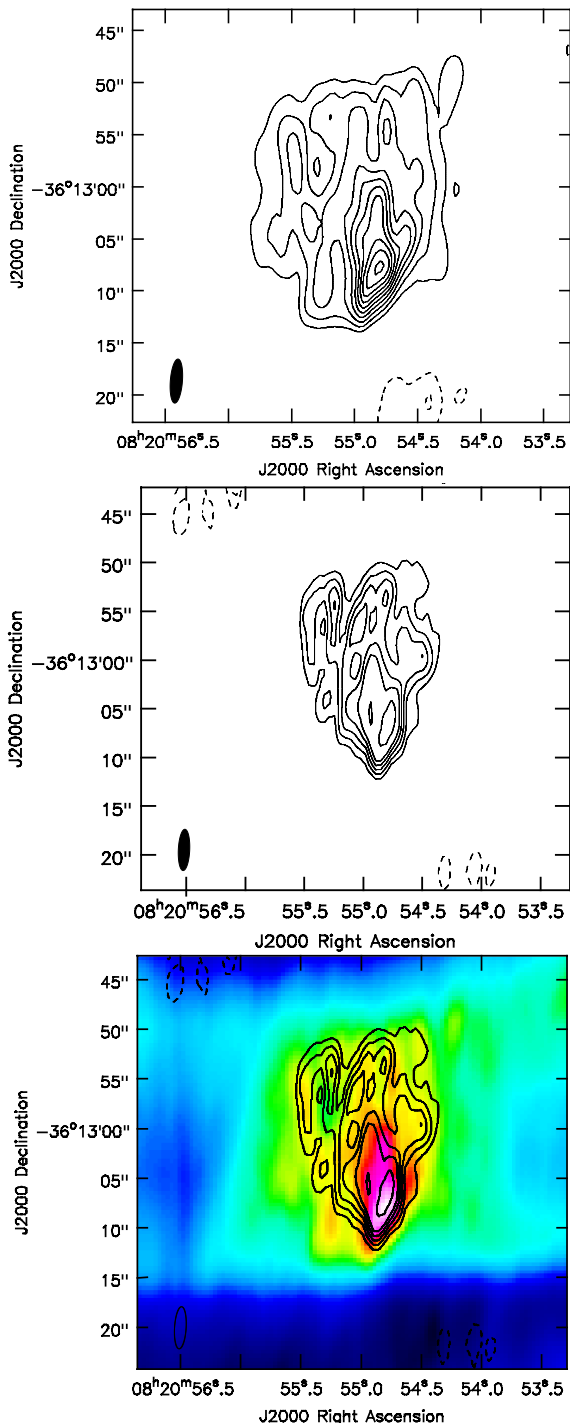


Figura 24: Región IRAS 08189-3602. Panel superior: Mapa de contornos de la banda X, $\text{haz}=4.24'' \times 1.16''$ (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos $[-4, -3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13]$, $\sigma=1.98$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). Panel medio: Mapa de contornos de la banda K, $\text{haz}=4.24'' \times 1.16''$ (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos $[-4, -3, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 12]$, $\sigma=2.45$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). Panel inferior: Mapas superpuestos; Patrón de colores: Mapa de contornos de la banda X, Contornos negros: Mapa de contornos de la banda K.

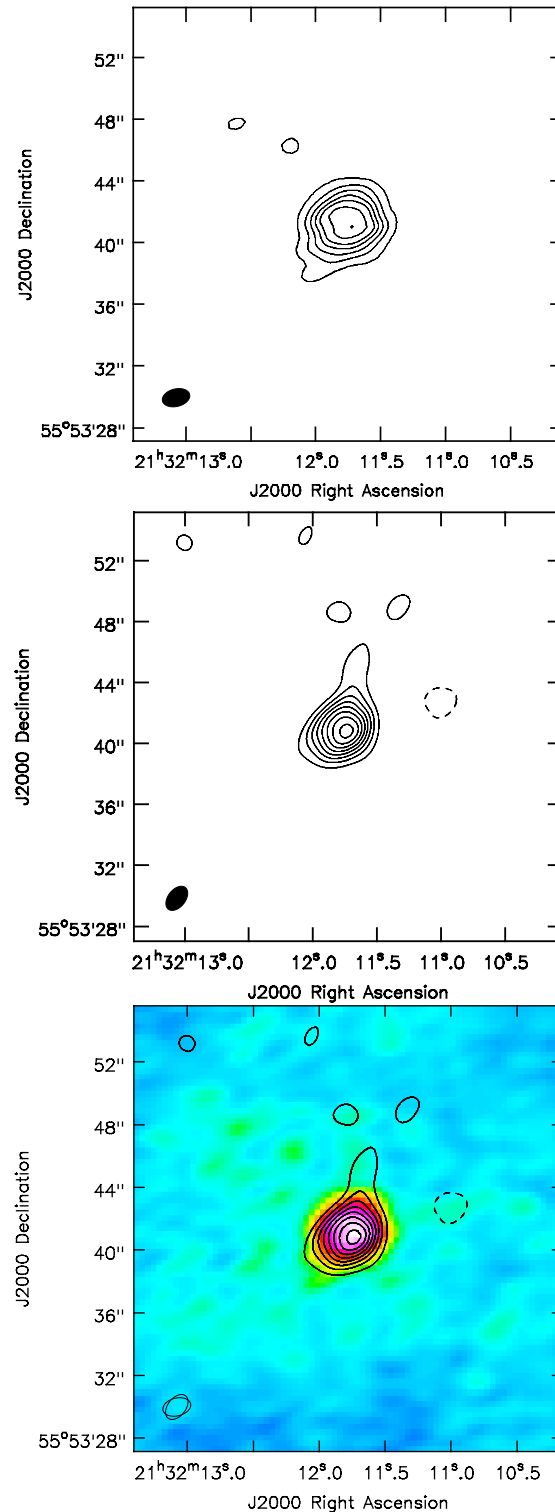


Figura 25: Región IRAS 21306+5540. Panel superior: Mapa de contornos de la banda C, $\text{haz}=1.81''\times 1.14''$ (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos $[-3, 3, 6, 9, 12, 15, 20, 25]$, $\sigma=0.46$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). Panel medio: Mapa de contornos de la banda X, $\text{haz}=1.81''\times 1.14''$ (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos $[-6, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48]$, $\sigma=0.17$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). Panel inferior: Mapas superpuestos; Patrón de colores: Mapa de contornos de la banda C, Contornos negros: Mapa de contornos de la banda X.

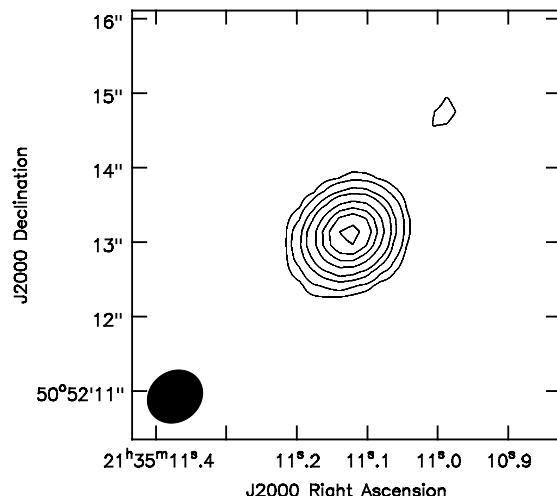


Figura 26: Región IRAS 21334+5039. Mapa de contornos de la banda X, $\text{haz}=0.78'' \times 0.68''$ (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos $[-5,-3,5,10,20,30,50,70,90,120]$, $\sigma=0.04$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms).

(2,2) y NH_3 (3,3); (Urquhart et al (2011)), pero no se hallaron máseres de metanol (Szymczak et al (2000)); ni de OH (Wu et al (1996)).

Nuestros resultados arrojaron un mapa en la banda X de una fuente cerca de la región IRAS 21334+5039, el cual se muestra en la Figura 26. En dicho mapa detectamos una fuente totalmente esférica, con una densidad de flujo de 5.67 mJy y dimensiones de 0.81×0.70 arcos segundos. Además consideramos que la fuente detectada por nuestros resultados no se asocia con la región IRAS 21334+5039, porque su centro está 52.9 arcos segundos de distancia de la fuente detectada. Por otro lado la fuente reportada por McCutcheon et al (1991) y la emisión de NH_3 que encontró Urquhart et al (2011); no forman parte de la emisión que detectamos en el mapa de la Figura 26.

3.1.19 IRAS 21413+5442

Buscamos en la literatura a la región IRAS 21413+5442, con lo cual encontramos que está a una distancia de 7.9 kpc y su luminosidad es de $\text{Log}(L/L_{\odot})=5.16$ (Navarete et al (2015)). Se encontraron máseres de OH (Ruiz-Velasco et al (2016)); así como emisión de NH_3 (1,1) y NH_3 (2,2); y máseres de agua (Urquhart et al (2011)). También se realizaron observaciones en radio continuo (Urquhart et al (2009), Anandarao et al (2008), Miralles et al (1994)), de las cuales una de ellas determino que en esta región IRAS, la parte Norte es una región H II Compacta y la Sur una región H II Ultracompacta (Miralles et al (1994)). A su vez se hallaron máseres de metanol (Szymczak et al (2000)); se realizaron observaciones en IR, con las que encontraron

que esta región IRAS forma parte de un cúmulo estelar con 86 fuentes ([Anandarao et al \(2008\)](#)).

Usando procesos de reducción del paquete CASA generamos los mapas de radio continuo en las bandas C, X y K de la fuente detectada hacia la región IRAS 21413+5442, los cuales se muestran en la Figura 27. En los tres mapas detectamos una fuente con una morfología elíptica cuya orientación depende de la orientación del haz. Por otro lado su tamaño promedio es de 1.7 arcosegundos en los tres casos. Siendo de 115.7 mJy la densidad de flujo de la banda C, de 176.10 mJy en la banda X y de 439.20 mJy en la banda K. Es decir, hay un cambio abrupto en el valor de la densidad de flujo al pasar de la banda X a la K. Es importante, mencionar que las regiones H II mencionadas por [Miralles et al \(1994\)](#) no coinciden en posición con la fuente que detectamos pues el centro de dichas regiones H II esta a 1190 arcosegundos de distancia de la fuente que detectamos. Sin embargo, si puede considerarse que formó parte de la región IRAS 21413+5442, porque el centro de dicha región IRAS esta a 0.4 arcosegundos del centro de la fuente detectada. Por otro lado la emisión de NH₃ detectada por [Urquhart et al \(2011\)](#) no es parte de las emisiones que detectaron los resultados de esta tesis en la Figura 27.

3.1.20 IRAS 22134+5834

Investigando la región IRAS 22134+5834 en la literatura hallamos que se halla a una distancia cinemática heliocéntrica de 2.26 kpc y tiene una luminosidad de $L=1 \times 10^4 L_{\odot}$ ([Wouterloot et al \(1989\)](#)). Por otro lado no se hallaron máseres de metanol ([Szymczak et al \(2000\)](#)), ni de OH ([Te Lintel Hekkert et al \(1996\)](#)), pero si tiene máseres de agua y emisión de NH₃ ([Sunada et al \(2007\)](#)).

Con nuestros resultados se generó un mapa de contornos (Figura 28) en la banda X de una fuente cerca de la región IRAS 22134+5834. En dicho mapa vemos la detección de una fuente con simetría esférica, cuyas dimensiones son de 0.91 arcosegundos y su densidad de flujo es de 4.7 mJy. Además se considera que la fuente detectada no es la región IRAS 22134+5834, debido a que su centro esta a 3.5 arcosegundos de distancia del centro de la fuente detectada. Por otra parte la emisión de NH₃ tampoco se traslapa con la emisión arrojada por nuestros resultados.

3.1.21 IRAS 22308+5812

Buscando artículos que tengan información de la región IRAS 22308+5812 encontramos que se han realizado observaciones en radio continuo ([Urquhart et al \(2009\)](#), [Martin-Hernandez et al \(2003\)](#)), que su luminosidad es de $L = 9.0 \times 10^4 L_{\odot}$ y que se encuentra a una distancia de 5.71 kpc ([Wouterloot et al \(1989\)](#)). Esta asociada a la región H II Sh2-138, la cual esta a 5.7 kpc de distancia, tiene una luminosidad de

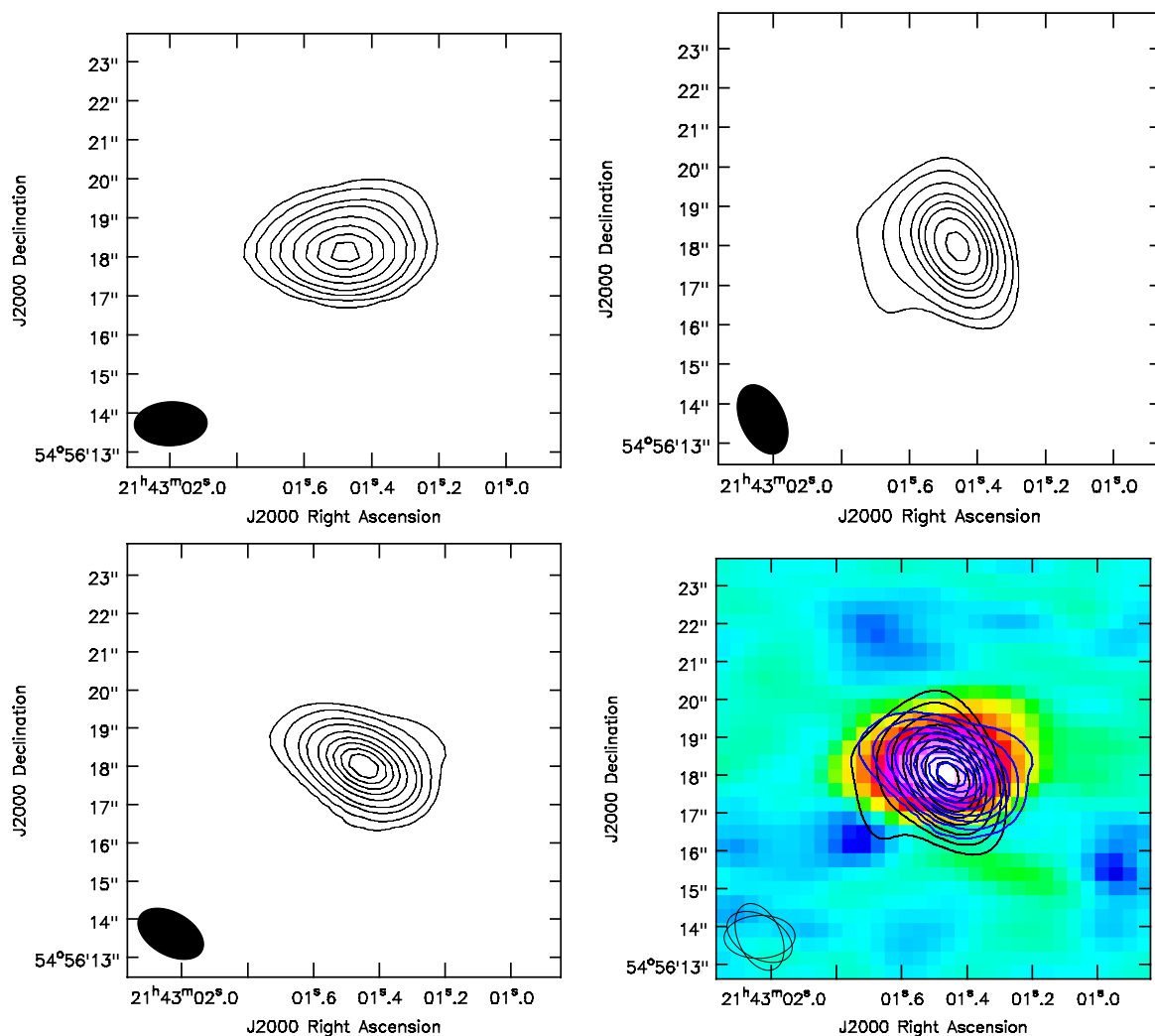


Figura 27: Región IRAS 21413+5442. Panel superior izquierdo: Mapa de contornos de la banda C, $\text{haz}=1.87'' \times 1.13''$ (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos $[-10, 10, 20, 40, 60, 100, 150, 200, 250]$, $\sigma=0.29$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). Panel superior derecho: Mapa de contornos de la banda X, $\text{haz}=1.87'' \times 1.13''$ (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos $[-5, -3, 5, 10, 20, 35, 50, 65, 90, 120]$, $\sigma=0.97$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). Panel inferior izquierdo: Mapa de contornos de la banda K, $\text{haz}=1.87'' \times 1.13''$ (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos $[-5, 5, 10, 20, 30, 50, 70, 90, 110, 130]$, $\sigma=2.50$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). Panel inferior derecho: Mapas superpuestas; Patrón de colores: Mapa de contornos de la banda C, Contornos negros: Mapa de contornos de la banda X, Contornos azules: Mapa de contornos de la banda K.

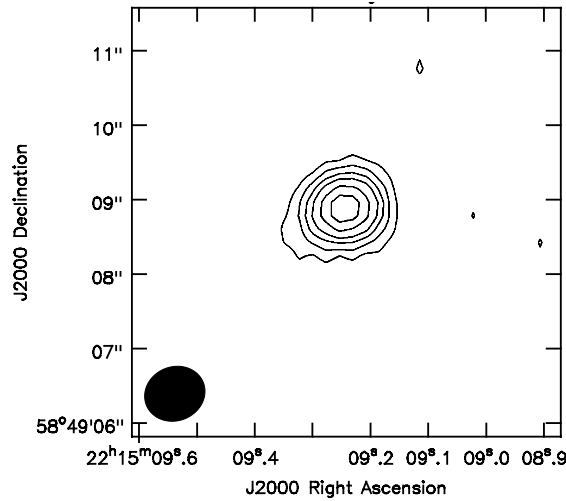


Figura 28: Región IRAS 22134+5834. Mapa de contornos de la banda X, haz= $0.82'' \times 0.72''$ (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos $[-5, -3, 3, 5, 7, 9, 12, 15, 18]$, $\sigma = 0.20$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms).

$4.9 \times 10^4 L_{\odot}$ y además tiene emisión de CO ([Baug et al \(2015\)](#)). También se encontraron máseres de metanol clase II ([Slysh et al \(1999\)](#)), pero no se hallaron máseres de agua ([Sunada et al \(2007\)](#)). Además se realizaron observaciones en el IR; que dieron como resultado la detección de una fuente ([Martin-Hernandez et al \(2003\)](#)) y se halló emisión de NH_3 (1,1) ([Urquhart et al \(2011\)](#)).

Los resultados que realizamos arrojaron un mapa de radio (Figura 29) en las bandas C y X de una fuente que detectamos hacia la región IRAS 22308+5812. El mapa de la banda X muestra que la fuente detectada tiene una elongación en dirección Noroeste, un tamaño promedio de 6.38 arcosegundos y una densidad de flujo de 433 mJy. Mientras que el mapa de la banda C muestra que la fuente detectada tiene un tamaño promedio de 6.34 arcosegundos, una elongación en dirección norte y una densidad de flujo de 203 mJy. También el centro de la fuente detectada está a 2 arcosegundos de la fuente IRAS 22308+5812, por ello aunque los centros no coinciden como el centro de la región IRAS esta dentro de la emisión de la fuente detectada, es plausible considerar que la fuente que detectamos es la región IRAS 22308+5812 o al menos forma parte. Como la emisión de NH_3 reportada por [Urquhart et al \(2011\)](#), la fuente IR detectada por [Martin-Hernandez et al \(2003\)](#) y Sh2-138 coincide con la emisión de la fuente que detectamos en la Figura 29; se puede considerar que son la misma o que al menos forman parte (que podría ser el caso para Sh2-138).

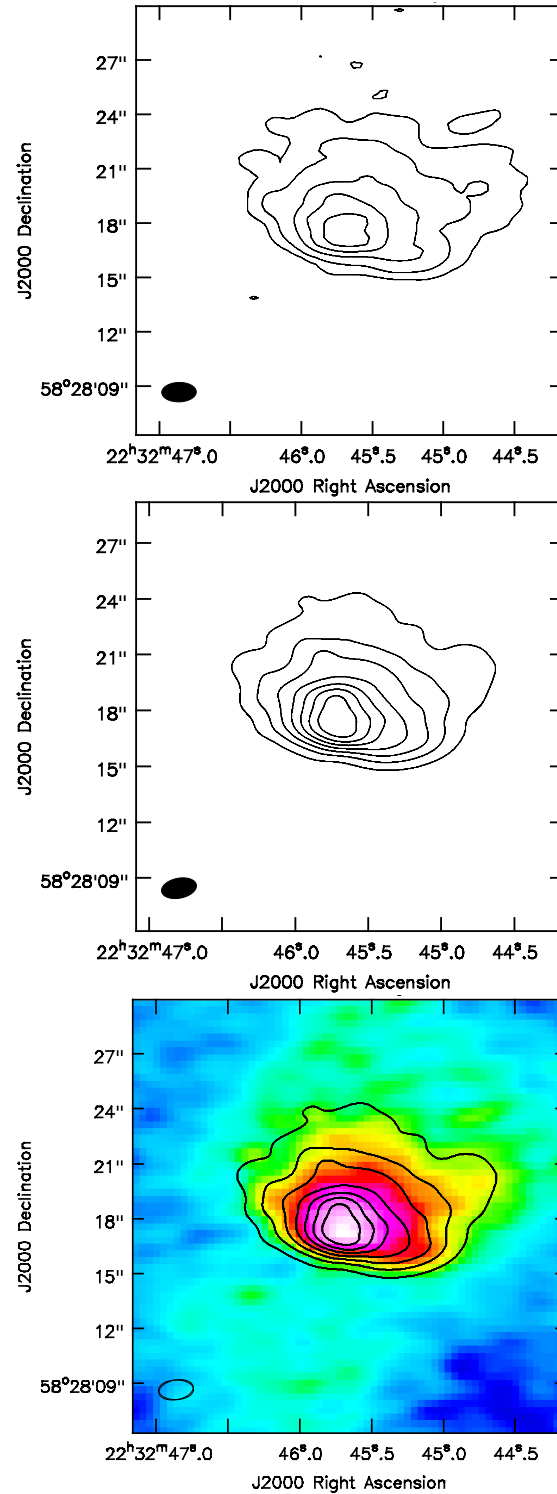


Figura 29: Región IRAS 22308+5812. Panel superior: Mapa de contornos de la banda C, $\text{haz}=1.90'' \times 1.07''$ (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos $[-3, 3, 6, 12, 18, 24, 30]$, $\sigma=0.47$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). Panel medio: Mapa de contornos de la banda X, $\text{haz}=1.90'' \times 1.07''$ (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos $[-6, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48]$, $\sigma=0.57$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). Panel inferior: Mapas superpuestas; Patrón de colores: Mapa de contornos de la banda C, Contornos negros: Mapa de contornos de la banda X.

3.1.22 IRAS 23030+5958

Se realizó una búsqueda en la literatura de la región IRAS 23030+5958, encontrando que fue observada en radio continuo (Tang et al (2014), Urquhart et al (2009), Martin-Hernandez et al (2003)), que tiene una luminosidad de $L = 1.0 \times 10^5 L_{\odot}$ (Wouterloot et al (1989)) y que está a una distancia de 4.4 kpc (Lee et al (2012)). Se localiza hacia la región H II Sh2-156 (que forma parte de S156 (Joy et al (1984))), dicha región H II está a una distancia heliocéntrica de 2.68 kpc y además se halló emisión de ^{12}CO (Foster et al (2015)). También se han hallado máseres de metanol de clase II (Liu et al (2010)), así como máseres de agua (Sunada et al (2007)) y emisión de $\text{NH}_3(1,1)$ (Urquhart et al (2011)). Además hay 2 fuentes infrarrojas llamadas IRS2 y IRS3; sin embargo no hay fuentes milimétricas (Joy et al (1984)).

Los mapas en las bandas C, X y K (Figura 30) de un sistema de tres fuentes cerca de la región IRAS 23030+5958, forman parte de los resultados que obtuvimos. En los tres mapas se detectó una región que presenta una elongación en la dirección este, con tres fuentes detectadas dentro de dicha región (es decir, es un sistema triple). La región que alberga estas tres fuentes en los tres mapas tiene una extensión de unos cuantos arcossegundos y una densidad de flujo de unas cuantas centenas de mJy (para este caso no se mencionan los valores exactos, sólo en la Tabla 13, debido a que el ajuste gaussiano realizado sobre este sistema triple no fue muy preciso). Además no es plausible considerar que esta región detectada sea la región IRAS 23030+5958, porque se encuentra a 17.70 arcossegundos del centro de la región detectada (en dirección sur). También es importante mencionar que las fuentes IRS2 e IRS3 no se traslapan con la emisión que detectamos en los mapas de la Figura 30, ni forma parte de Sh2-156.

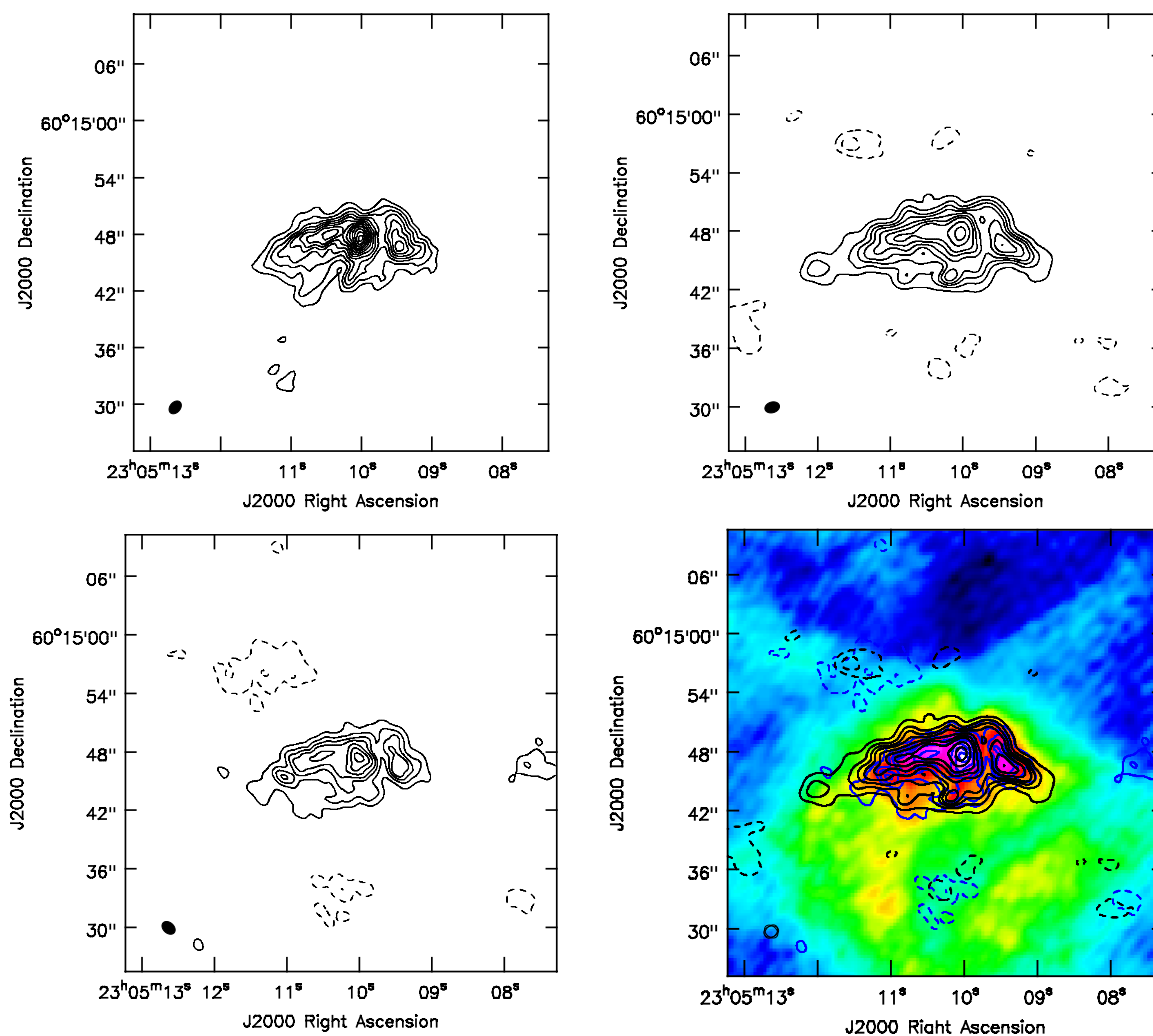


Figura 30: Región IRAS 23030+5958. Panel superior izquierdo: Mapa de contornos de la banda C, $\text{haz}=1.53'' \times 1.10''$ (mostrado en la esquina inferior izquierda), cont. $[-3,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15]$, $\sigma=1.58$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). Panel superior derecho: Mapa de contornos de la banda X, $\text{haz}=1.53'' \times 1.10''$ (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos $[-5,-3,3,5,7,9,12,15,18,24,30]$, $\sigma=1.40$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). Panel inferior izquierdo: Mapa de contornos de la banda K, $\text{haz}=1.53'' \times 1.10''$ (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos $[-5,-3,3,5,7,9,12,15,18]$, $\sigma=3.34$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). Panel inferior derecho: Mapas superpuestas; Patrón de colores: Mapa de contornos de la banda C, Contornos negros: Mapa de contornos de la banda X, Contornos azules: Mapa de contornos de la banda K.

Tabla 11: Parámetros observacionales de las fuentes detectadas únicamente en la banda X.

Fuente	Flujo Pico (mJy/beam)	Densidad de Flujo (mJy)	Tamaño (arcsecs)	PA (deg)	Haz (arcsecs)
IRAS 01133-VLA1	1.72	1.92 ± 0.10	0.86x0.80	78.0	0.81x0.77
IRAS 03235-VLA1	5.47	6.22 ± 0.18	0.91x0.84	52.2	0.86x0.79
IRAS 04324-VLA1	1.29	98.00 ± 3.00	8.90x8.24	45.0	1.12x0.87
IRAS 04366-VLA1	0.85	4.75 ± 0.45	2.46x2.15	151.0	1.10x0.86
IRAS 05305-VLA1	0.20	0.22 ± 0.02	1.05x0.75	118.7	0.97x0.72
IRAS 05358-VLA1	0.38	1.97 ± 0.18	3.09x1.09	138.8	0.88x0.74
IRAS 05553-VLA1	0.56	0.81 ± 0.08	1.11x0.82	135.1	1.00x0.62
IRAS 06055-VLA1	0.60	0.79 ± 0.03	1.30x0.82	124.3	1.11x0.74
IRAS 07299-VLA1	0.22	0.26 ± 0.01	1.44x0.86	147.6	1.40x0.76
IRAS 07427-VLA1	1.74	2.34 ± 0.22	1.81x0.95	160.1	1.65x0.77
IRAS 07311-VLA1	0.14	4.00 ± 0.27	6.26x5.28	165.0	1.50x0.76
IRAS 21334-VLA1	5.25	5.67 ± 0.07	0.81x0.70	129.3	0.78x0.68
IRAS 22134-VLA1	3.42	4.70 ± 0.30	0.98x0.84	116.0	0.82x0.72

Tabla 12: Parámetros observacionales de las fuentes detectadas en dos bandas. (X y K ó X y C)

Fuente	Banda	Flujo Pico (mJy/beam)	Densidad de Flujo (mJy)	Tamaño (arcsecs)	PA (deg)	Haz (arcsecs)
IRAS 06412-VLA1	X	4.80	624.00 ± 33.00	11.90x10.74	124.0	1.26x0.78
	K	5.74	495.00 ± 35.00	12.26x10.35	23.0	1.36x1.08
IRAS 06412-VLA2	X	21.6	51.00 ± 6.50	1.76x1.32	132.0	1.26x0.78
	K	14.1	34.50 ± 7.10	2.36x1.52	49.0	1.36x1.08
IRAS 06567-VLA1	C	1.12	0.76 ± 0.52	1.50x0.85	151.0	1.62x1.16
	X	3.38	12.15 ± 0.46	3.06x2.21	75.6	1.62x1.16
IRAS 06567-VLA2	C	5.48	48.50 ± 3.40	4.53x3.69	161.0	1.62x1.16
	X	4.33	25.09 ± 0.62	3.88x2.80	86.1	1.62x1.16
IRAS 07528-VLA1	C	0.88	3.55 ± 0.74	12.46x1.67	162.7	4.52x1.14
	X	2.58	7.12 ± 0.50	7.68x1.86	171.3	4.52x1.14
IRAS 07528-VLA2	C	4.26	14.82 ± 0.97	5.30x3.39	145.9	4.52x1.14
	X	3.87	11.57 ± 0.64	4.56x3.38	152.2	4.52x1.14
IRAS 08189-VLA1	X	5.34	31.20 ± 3.50	6.23x1.94	153.6	2.45x0.84
	K	7.85	30.60 ± 3.90	8.55x1.62	169.4	3.73x0.95
IRAS 21306-VLA1	C	11.71	67.30 ± 2.40	3.60x3.28	93.0	1.81x1.14
	X	8.39	34.4 ± 1.50	3.22x2.63	124.8	1.81x1.14
IRAS 22308-VLA1	C	10.77	203.00 ± 13.00	7.66x5.02	85.9	1.90x1.07
	X	22.60	433.00 ± 25.00	7.67x5.08	80.5	1.90x1.07

Tabla 13: Parámetros observacionales de las fuentes detectadas en las bandas C, X y K.

Fuente	Banda	Flujo Pico (mJy/beam)	Densidad de Flujo (mJy)	Tamaño (arcsecs)	PA (deg)	Haz (arcsecs)
IRAS 01045-VLA1	C	25.46	140.30 ± 4.00	3.13x2.91	133.0	1.57x1.05
	X	53.00	289.60 ± 6.90	3.14x2.87	93.4	1.57x1.05
	K	18.63	100.40 ± 5.20	3.02x2.94	16.0	1.57x1.05
IRAS 21413-VLA1	C	80.30	115.70 ± 3.70	2.18x1.40	93.1	1.87x1.13
	X	128.10	176.10 ± 6.60	2.04x1.42	29.3	1.87x1.13
	K	370.90	439.20 ± 10.00	2.02x1.24	62.6	1.87x1.13
IRAS 23030-VLA1	C	11.58	781.00 ± 32.00	13.66x8.28	99.7	1.53x1.10
	X	23.90	693.00 ± 36.00	12.68x3.84	104.8	1.53x1.10
	K	31.60	805.00 ± 62.00	9.37x4.57	117.6	1.53x1.10
IRAS 23030-VLA2	C	14.00	49.80 ± 6.40	2.78x2.14	23.0	1.53x1.10
	X	21.70	295.00 ± 25.00	6.12x3.73	0.1	1.53x1.10
	K	40.40	459.00 ± 41.00	5.47x3.49	172.8	1.53x1.10
IRAS 23030-VLA3	C	7.71	110.00 ± 14.00	7.24x3.29	35.8	1.53x1.10
	X	19.30	213.00 ± 22.00	6.01x3.08	65.9	1.53x1.10
	K	30.40	333.00 ± 39.00	6.02x3.06	19.3	1.53x1.10

DISCUSIÓN

Para investigar la naturaleza de las fuentes detectadas primero se analizaron sus mapas para ver que tipo de morfología presentaban, después se analizó su índice espectral (para aquellas detectadas en dos o tres bandas) para darnos una idea de que tipo de objetos astronómicos son y se calcularon los parámetros físicos para saber que tipos de regiones H II son.

Es importante mencionar que usamos el índice espectral para saber si las fuentes detectadas son regiones H II, es decir, si el índice espectral nos dice que son regiones H II, calculamos los parámetros físicos de dichas fuentes como si se tratasen de regiones H II. Pero si no se puede calcular su índice espectral (por que solamente se detectaron en una banda), calculamos los parámetros de una región H II para ver si son consistentes con los valores de algunos de los tipos de regiones H II (Tabla 1).

4.1 FUENTES DETECTADAS SÓLO EN LA BANDA X

Para determinar la naturaleza de las fuentes detectadas sólo en la banda X, hicimos uso del cálculo de los parámetros físicos de una región H II esférica. Para corroborar si estas fuentes son consistentes con regiones H II. Los cuales se obtienen con las siguientes relaciones ([Estalella \(1999\)](#)):

$$\left[\frac{S_\nu}{\text{Jy}} \right] = 6.69 \left[\frac{T_e}{10^4 \text{ K}} \right]^{-0.35} \left[\frac{\nu}{\text{GHz}} \right]^{-0.1} \left[\frac{\text{EM}}{10^6 \text{ cm}^{-6} \text{ pc}} \right] \left[\frac{\theta_s}{\text{arcmin}} \right]^2 \quad (2)$$

$$N_i = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{d}{2} \right)^3 n_e n_p \alpha^{(2)} \quad (3)$$

la ecuación 2 se obtuvo primero de la relación entre profundidad óptica y EM, la cual es:

$$\tau_\nu = 0.08235 \left[\frac{\text{EM}}{\text{cm}^{-6} \text{ pc}} \right] \left[\frac{T_e}{\text{K}} \right]^{-1.35} \left[\frac{\nu}{\text{GHz}} \right]^{-2.1} \quad (4)$$

la ecuación 4 se obtiene del coeficiente de absorción libre-libre en el dominio de radio. Después se usó la expresión de la densidad de flujo de una región H II en el régimen ópticamente delgado, la cual es:

$$\left[\frac{S_\nu}{\text{Jy}} \right] = 20.4 \left[\frac{T_e}{10^4 \text{ K}} \right] \left[\frac{\nu}{\text{GHz}} \right]^2 \left[\frac{\theta_s}{\text{arcmin}} \right]^2 \tau_\nu \quad (5)$$

luego se sustituyó la ecuación 4 en la ecuación 5, donde dicha sustitución dió como resultado la ecuación 2. Por otra parte, la ecuación 3 se obtuvo de la condición de balance de ionización en una región H II.

Para obtener el tipo espectral se compara N_i con la Tabla II de Panagia (1973), la cual contiene una recopilación de los logaritmos de N_i con los diversos tipos espectrales que les corresponden.

El tamaño de una región H II, se obtiene de convertir el tamaño angular en radianes y usar la relación, que hay entre la longitud de arco y el desplazamiento angular (tamaño angular). Por tanto, si el tamaño angular esta en arcominutos la relación será:

$$d = D \left(\theta_s \frac{\pi}{60 \times 180} \right) \quad (6)$$

donde D es la distancia a la que esta el objeto en pc. Por tanto, usando las ecuaciones 2, 3 y 6; obtenemos los parámetros físicos que se enuncian a continuación (mostrados en la Tabla 14).

Tabla 14: Parámetros físicos de las fuentes detectadas sólo en la banda X

Fuente estudiada	Tamaño pc	EM $\text{cm}^{-6} \text{ pc}$	N_i fotones/s	Tipo espectral
IRAS 01133-VLA1	0.02	1.86×10^6	2.34×10^{45}	B1
IRAS 03235-VLA1	0.02	5.41×10^6	7.96×10^{45}	Bo.5
IRAS 04324-VLA1	0.24	8.89×10^5	2.43×10^{47}	Bo
IRAS 04366-VLA1	0.07	5.96×10^5	1.22×10^{46}	Bo.5
IRAS 05305-VLA1	0.05	1.81×10^5	1.73×10^{45}	B1
IRAS 05358-VLA1	0.02	3.00×10^5	4.63×10^{44}	B2
IRAS 05553-VLA1	0.01	5.79×10^5	8.05×10^{43}	B3
IRAS 06055-VLA1	0.02	4.68×10^5	4.82×10^{44}	B2
IRAS 07299-VLA1	0.01	1.31×10^5	3.75×10^{43}	B3
IRAS 07427-VLA1	0.05	8.18×10^5	8.13×10^{45}	Bo.5
IRAS 07311-VLA1	0.22	8.00×10^4	1.86×10^{46}	Bo.5
IRAS 21334-VLA1	0.02	6.63×10^6	1.03×10^{46}	Bo.5
IRAS 22134-VLA1	0.01	3.78×10^6	1.74×10^{45}	B1

La fuente IRAS 01133-VLA1 tiene un tamaño de dos centésimas de pc, una EM de $1.86 \times 10^6 \text{ cm}^{-6} \text{ pc}$, una tasa de fotones ionizantes de 2.34×10^{45} fotones/s y una estrella ZAMS de tipo espectral B1. Lo cual sugiere que se trata de una región H II hipercompacta.

Por otro lado la fuente IRAS 03235-VLA1 tiene también un tamaño de dos centésimas de pc, una EM de $5.41 \times 10^6 \text{ cm}^{-6} \text{ pc}$, una tasa de fotones ionizantes de 7.96×10^{45}

fotones/s y posee una estrella ZAMS de tipo espectral Bo.5. Estos datos sugieren que se trata de una región H II hipercompacta.

La fuente IRAS 04324-VLA1 tiene un tamaño de 24 centésimas de pc, una EM de $8.89 \times 10^5 \text{ cm}^{-6} \text{ pc}$, una tasa de fotones ionizantes de 2.43×10^{47} fotones/s y su estrella ZAMS es de tipo espectral Bo. Estos valores sugieren que se trata de una región H II compacta.

A su vez obtuvimos que la fuente IRAS 04366-VLA1 tiene siete centésimas de pc de diámetro, una EM de $5.96 \times 10^5 \text{ cm}^{-6} \text{ pc}$, su tasa de fotones ionizantes es de 1.22×10^{46} fotones/s y el tipo espectral de la estrella ZAMS es Bo.5. Los valores de estos parámetros físicos sugieren que es una región H II ultracompacta.

Además encontramos que la fuente IRAS 05305-VLA1 posee un tamaño de cinco centésimas de pc, una EM de $1.81 \times 10^5 \text{ cm}^{-6} \text{ pc}$, una tasa de fotones ionizantes de 1.73×10^{45} fotones/s y se encontró que tiene una estrella ZAMS de tipo espectral B1. Los valores obtenidos sugieren que IRAS 05305-VLA1 es una región H II ultracompacta.

Los cálculos arrojaron que la fuente IRAS 05358-VLA1 tiene un tamaño de dos centésimas de pc, una EM de $3.00 \times 10^5 \text{ cm}^{-6} \text{ pc}$, una tasa de fotones ionizantes de 4.63×10^{44} fotones/s y presenta una estrella ZAMS de tipo espectral B2. Estos valores obtenidos sugieren que se trata de una región H II hipercompacta.

Se obtuvo que la fuente IRAS 05553-VLA1 posee un diámetro de una centésima de pc, una EM de $5.79 \times 10^5 \text{ cm}^{-6} \text{ pc}$, una tasa de fotones ionizantes de 8.05×10^{43} fotones/s y una estrella ZAMS de tipo espectral B3. Dichos resultados sugieren que se trata de una región H II hipercompacta.

A su vez obtuvimos en la fuente IRAS 06055-VLA1 un tamaño de dos centésimas de pc, una EM de $4.68 \times 10^5 \text{ cm}^{-6} \text{ pc}$, una tasa de fotones ionizantes de 4.82×10^{44} fotones/s y la estrella ZAMS tiene una estrella central ZAMS de tipo espectral B2. Los datos sugieren que se trata de una región H II hipercompacta.

También se obtuvo en la fuente IRAS 07299-VLA1 que su tamaño es de una centésima de pc, su EM es de $1.31 \times 10^5 \text{ cm}^{-6} \text{ pc}$, su tasa de fotones ionizantes es de 3.75×10^{43} fotones/s y su estrella ZAMS es del tipo espectral B3. Estos resultados sugieren que se trata de una región H II hipercompacta.

Por otro lado los valores de los parámetros físicos de la fuente IRAS 07427-VLA1 fueron un tamaño de cinco centésimas de pc, una EM de $8.18 \times 10^5 \text{ cm}^{-6} \text{ pc}$, una tasa de fotones ionizantes de 8.13×10^{45} fotones/s y una estrella ZAMS de tipo espectral Bo.5. Estos valores sugieren que se trata de una región H II ultracompacta.

En la fuente IRAS 07311-VLA1 obtuvimos un tamaño de 22 centésimas de pc, una EM de $8.00 \times 10^4 \text{ cm}^{-6} \text{ pc}$, una tasa de fotones ionizantes de 1.86×10^{46} fotones/s y encontramos una estrella ZAMS del tipo espectral Bo.5. Los resultados sugieren que se trata de una región H II compacta.

De la fuente IRAS 21334-VLA1 los resultados arrojados fueron un diámetro de 2 centésimas de pc, una EM de $6.63 \times 10^6 \text{ cm}^{-6} \text{ pc}$, una tasa de fotones ionizantes de

1.03×10^{46} fotones/s y una estrella ZAMS de tipo espectral B0.5. Estos parámetros físicos sugieren que se trata de una región H II hipercompacta.

Además para la fuente IRAS 22134-VLA1 obtuvimos un tamaño de una centésima de pc, una EM de $3.78 \times 10^6 \text{ cm}^{-6} \text{ pc}$, una tasa de fotones ionizantes de 1.74×10^{45} fotones/s y su estrella ZAMS es del tipo espectral B1. Estos valores sugieren que se trata de una región H II hipercompacta.

De los parámetros físicos obtenidos podemos sugerir que IRAS 04324-VLA1 e IRAS 07311-VLA1 son regiones H II compactas. A su vez los resultados sugieren que IRAS 04366-VLA1, IRAS 05305-VLA1 e IRAS 07427-VLA1 son regiones H II ultracompactas. Por último los parámetros físicos sugieren que IRAS 01133-VLA1, IRAS 03235-VLA1, IRAS 05358-VLA1, IRAS 05553-VLA1, IRAS 06055-VLA1, IRAS 07299-VLA1, IRAS 21334-VLA1 e IRAS 22134-VLA1 son regiones H II hipercompactas. Es importante mencionar que estos resultados no son del todo precisos, ya que requieren detecciones en otras bandas.

Finalmente en las detecciones con una sola banda tenemos ocho regiones H II hipercompactas, tres regiones H II ultracompactas y dos regiones H II compactas. Es decir, de las fuentes detectadas en una sola banda 62 % son regiones H II hipercompactas, 23 % son regiones H II ultracompactas y 15 % son regiones H II compactas.

4.2 FUENTES DETECTADAS EN DOS BANDAS

Para fuentes con detecciones en dos bandas (X y K ó X y C), las cuales sus mapas ya han sido convolucionados para tener la misma resolución angular, iniciamos la caracterización calculando el índice espectral usando la siguiente relación:

$$\alpha = \frac{\text{Log}(S_2/S_1)}{\text{Log}(\nu_2/\nu_1)} \quad (7)$$

El índice espectral α nos da una idea de que tipo de objeto astronómico es, por ejemplo si su valor es de -0.1 se trata de una región H II en el régimen ópticamente delgado, si su valor es de 2.0 es una región H II en el régimen ópticamente grueso (Estalella (1999)) y si su valor es de 0.6 se trata de un chorro térmico de acuerdo con Anglada et al (2018) (los resultados están en las Tablas 15, 16 y 17). A continuación se muestra el resultado de dicha caracterización.

Al calcular el índice espectral en la fuente IRAS 06412-VLA1 encontramos un valor de -0.24. El cual es consistente con emisión no-térmica e inconsistente con los valores mencionados por Estalella (1999) y Anglada et al (2018). Por ello no calcularemos los parámetros físicos de una región H II pues el índice espectral no dice que sea una región H II.

Por otro lado en la fuente IRAS 06412-VLA2 se halló un índice espectral de -0.40. El cual coincide con emisión no-térmica pero no coincide con los valores que mencionan

Estalella (1999) y Anglada et al (2018). Debido al valor encontrado, no podemos modelarla como una región H II.

Por otra parte en la fuente IRAS 06567-VLA1 calculamos un índice espectral de -0.43, lo cual sugiere que la fuente produce emisión no-térmica pero refuta que sea una región H II. Por dicho resultado, no modelamos la fuente IRAS 06567-VLA1 como una región H II.

Además en la fuente IRAS 21306-VLA1 se encontró un índice espectral de -0.63. Lo que sugiere que la fuente IRAS 21306-VLA1 no es una región H II pero presenta emisión no-térmica. Por ello a esta fuente no se le modelo como una región H II.

Es importante mencionar que un índice espectral con un valor de -0.60 esta asociado a fuentes extragalácticas con emisión sincrotrón. Sin embargo, las fuentes IRAS 06412-VLA1, IRAS 06412-VLA2, IRAS 06567-VLA1 e IRAS 21306-VLA1, no son consistentes con esto por su tamaño y densidad de flujo. Por ello la razón de que tengan el índice espectral mencionado, puede ser debido a que entre las observaciones de las bandas X y C hay una diferencia de 10 años, lo cual causa variabilidad y puede producir este resultado.

Para calcular los parámetros físicos hicimos uso de tres modelos desarrollados por Rodríguez et al (2018), los cuales a pesar de que son más recomendables usarlos en fuentes con tres o más detecciones también son útiles para este tipo de casos.

Los modelos consisten en tres morfologías una cilíndrica, una esférica y una gaussiana. Físicamente el modelo cilíndrico es una región H II homogénea con morfología cilíndrica, el modelo esférico es una región H II homogénea con morfología esférica y el modelo gaussiano es una región H II con morfología esférica cuyo material se disipa radialmente como una distribución gaussiana. Las relaciones usadas en los modelos son:

$$S_{\nu} = \frac{2\pi k T_e R^2 \nu^2}{c^2 D^2} (1 - e^{-p}) \quad (8)$$

$$S_{\nu} = \frac{2\pi k T_e R^2 \nu^2}{c^2 D^2} \left[1 - \frac{2}{p^2} (1 - (p+1)e^{-p}) \right] \quad (9)$$

$$S_{\nu} = \frac{2\pi k T_e R^2 \nu^2}{c^2 D^2} [\gamma + \ln p + E_1(p)] \quad (10)$$

donde la ecuación 8 es usada por ajustar nuestros resultados al modelo cilíndrico, la ecuación 9 se usa para ajustar los resultados que obtuvimos con el modelo esférico y la ecuación 10 la usamos para ajustar los resultados que obtuvimos con el modelo gaussiano. Es importante mencionar que p es la profundidad óptica, R el radio de la fuente, D la distancia a la que se encuentra la fuente, γ es la constante de Euler y $E_1(p) = \int_p^{\infty} (e^{-t}/t) dt$. Además de que las ecuaciones 8, 9 y 10 se obtienen de la expresión de la densidad de flujo en el régimen de Rayleigh-Jeans (Olon (1975)).

Los resultados de aplicar el modelo cilíndrico, esférico y gaussiano, a las fuentes detectadas con índice espectral térmico (de región H II) se enuncian a continuación (Tablas 15, 16 y 17). Además los ajustes de dichos modelos, están en las gráficas de las Figuras 33, 34, 35 y 36.

Tabla 15: Parámetros físicos de las fuentes para el modelo cilíndrico

Fuente estudiada	Tamaño	EM	N_i	Tipo espectral	Índice espectral ^d
	pc	cm^{-6} pc	fotones/s		
IRAS 06412-VLA1	3.05	5.35×10^4	2.26×10^{48}	O8	-0.24 ± 0.09
IRAS 06412-VLA2	0.83	5.58×10^4	1.81×10^{47}	Bo	-0.40 ± 0.25
IRAS 06567-VLA1 ^e	0.001	7.13×10^9	4.44×10^{46}	Bo.5	2.00 ± 0.58
IRAS 06567-VLA2 ^e	0.20	1.17×10^4	2.19×10^{45}	B1	-0.43 ± 0.12
IRAS 07528-VLA1 ^e	0.0005	9.63×10^8	1.00×10^{45}	B1	1.95 ± 0.3
IRAS 07528-VLA2 ^e	0.08	1.46×10^4	4.18×10^{44}	B2	-0.17 ± 0.12
IRAS 08189-VLA1	0.02	4.92×10^7	1.43×10^{47}	Bo	-0.02 ± 0.17
IRAS 21306-VLA1 ^e	0.39	1.25×10^4	8.78×10^{45}	Bo.5	-0.60 ± 0.08
IRAS 22308-VLA1 ^e	0.03	3.15×10^8	1.76×10^{48}	O8.5	1.37 ± 0.16

^d Se calculó usando la función *minimize* de python

^e Esta fuente se detectó en la banda C

Tabla 16: Parámetros físicos de las fuentes para el modelo esférico

Fuente estudiada	Tamaño	EM	N_i	Tipo espectral	Índice espectral ^f
	pc	cm^{-6} pc	fotones/s		
IRAS 06412-VLA1	0.20	1.84×10^7	3.47×10^{48}	O7.5	-0.24 ± 0.09
IRAS 06412-VLA2	0.08	8.53×10^6	2.74×10^{47}	Bo	-0.40 ± 0.25
IRAS 06567-VLA1 ^g	0.001	1.39×10^{13}	8.65×10^{49}	O4	2.00 ± 0.58
IRAS 06567-VLA2 ^g	0.02	2.61×10^6	3.31×10^{45}	B1	-0.43 ± 0.12
IRAS 07528-VLA1 ^g	0.0005	2.16×10^9	2.26×10^{45}	B1	1.95 ± 0.3
IRAS 07528-VLA2 ^g	0.007	2.47×10^6	6.31×10^{44}	B2	-0.17 ± 0.12
IRAS 08189-VLA1	0.03	6.60×10^7	2.15×10^{47}	Bo	-0.02 ± 0.17
IRAS 21306-VLA1 ^g	0.03	2.79×10^6	1.32×10^{46}	Bo.5	-0.60 ± 0.08
IRAS 22308-VLA1 ^g	0.04	4.78×10^8	2.77×10^{48}	O7.5	1.37 ± 0.16

^f Se calculó usando la función *minimize* de python

^g Esta fuente se detectó en la banda C

Tabla 17: Parámetros físicos de las fuentes para el modelo gaussiano

Fuente estudiada	Tamaño pc	EM cm^{-6} pc	N_i fotones/s	Tipo espectral	Índice espectral ^h
IRAS 06412-VLA1	0.40	1.16×10^6	2.66×10^{48}	O8	-0.24 ± 0.09
IRAS 06412-VLA2	0.16	5.91×10^5	2.21×10^{47}	Bo	-0.40 ± 0.25
IRAS 06567-VLA1 ⁱ	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos
IRAS 06567-VLA2 ⁱ	0.05	9.52×10^4	3.12×10^{45}	B1	-0.43 ± 0.12
IRAS 07528-VLA1 ⁱ	7.32×10^{-5}	2.01×10^{25}	1.55×10^{60}	NO hay datos en Panagia	1.95 ± 0.3
IRAS 07528-VLA2 ⁱ	0.0098	3.56×10^5	4.91×10^{44}	B2	-0.17 ± 0.12
IRAS 08189-VLA1	0.02	3.89×10^7	1.62×10^{47}	Bo	-0.02 ± 0.17
IRAS 21306-VLA1 ⁱ	0.12	6.69×10^4	1.39×10^{46}	Bo.5	-0.60 ± 0.08
IRAS 22308-VLA1 ⁱ	0.02	9.14×10^8	3.85×10^{48}	O7	1.37 ± 0.16

^h Se calculó usando la función *minimize* de python

ⁱ Esta fuente se detectó en la banda C

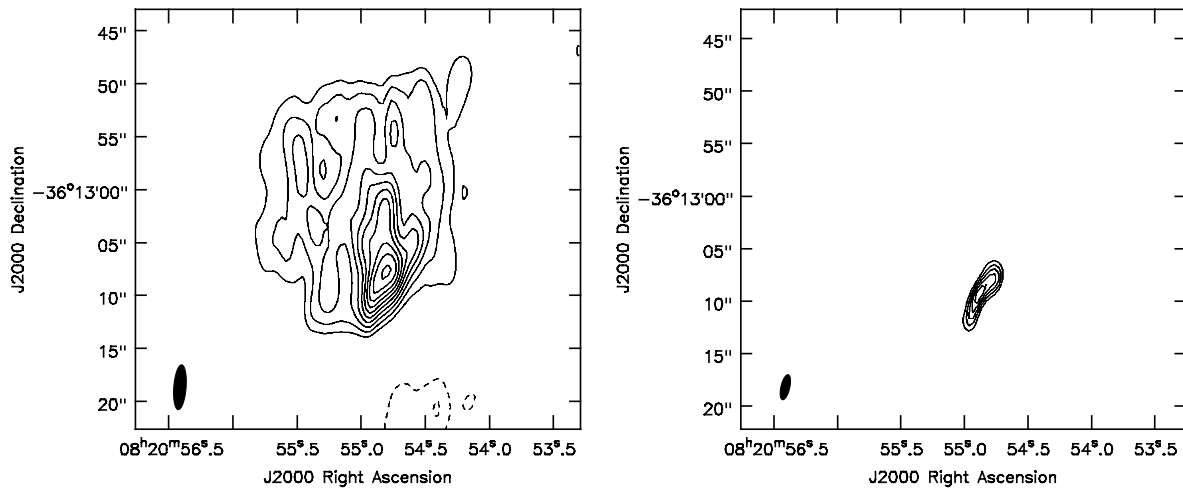


Figura 31: Panel izquierdo: Región IRAS 0189-3602. Mapa de contornos de la banda X, $\text{haz}=4.24'' \times 1.16''$ (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos [-4,-3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13], $\sigma=1.98$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). Panel derecho: Fuente intensa en las cercanías de la región IRAS 08189-3602. Banda X, $\text{haz}=2.45'' \times 0.84''$ (mostrado en la esquina inferior izquierda), cont. [-5,-3,3,4,5,6,7], $\sigma=0.73$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms).

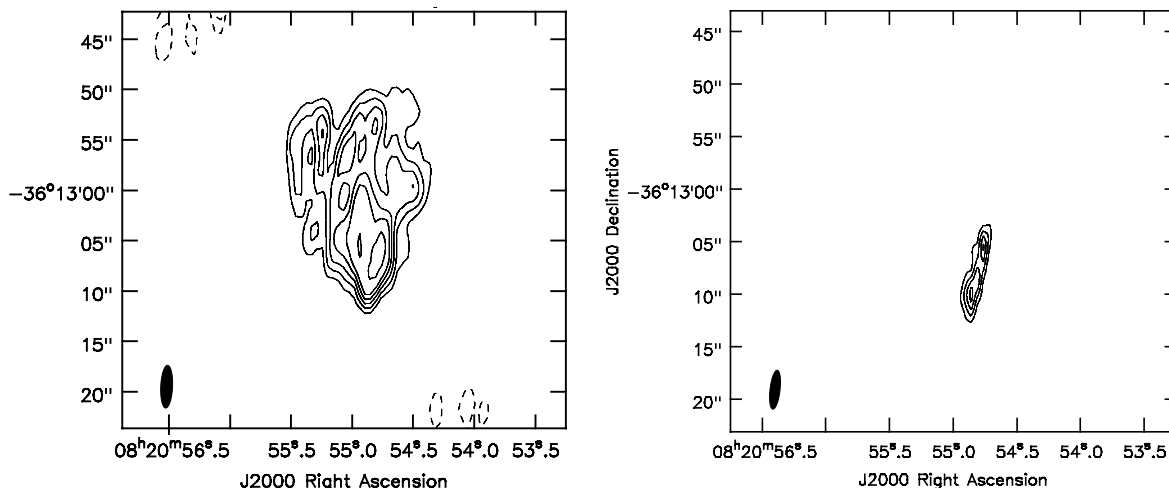


Figura 32: Panel izquierdo: Región IRAS 0189-3602. Mapa de contornos de la banda K, $\text{haz}=4.24''\times 1.16''$ (mostrado en la esquina inferior izquierda), contornos $[-4,-3,3,4,5,6,7,9,12]$, $\sigma=2.45$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms). Panel derecho: Fuente intensa en las cercanías de la región IRAS 08189-3602. Banda K, $\text{haz}=3.73''\times 0.95''$ (mostrado en la esquina inferior izquierda), cont. $[-5,-3,2,3,4,5]$, $\sigma=1.59$ mJy/beam (donde un contorno con valor n es n veces σ y σ es el ruido rms).

La fuente IRAS 08189-VLA₁ presenta una morfología compleja, por ello se buscaron fuentes compactas embebidas quitando las líneas de base corta (quitando la emisión extendida). Lo que dió como resultado una fuente intensa (no una fuente compacta embebida). Los parámetros observacionales y físicos se calcularon con esta fuente intensa (la cual es IRAS 08189-VLA₁ pero sin la emisión extendida), la cual se muestra en las Figuras 31 y 32, encontrando un índice espectral de -0.02 . Esto sugiere que la fuente IRAS 08189-VLA₁ se trata de una región H II en el régimen ópticamente delgado. Debido a esto usamos los modelos de [Rodríguez et al \(2018\)](#) lo cual dió lo siguiente. Al aplicar el modelo cilíndrico en la fuente IRAS 08189-VLA₁ encontramos una fuente con un tamaño de dos decimas de pc, una EM de 4.92×10^7 cm^{-6}pc , una tasa de fotones ionizantes de 1.43×10^{47} fotones/s y una estrella central ZAMS de tipo espectral Bo. Al usar el modelo esférico en la fuente IRAS 08189-VLA₁ hallamos un diámetro de tres centésimas de pc, una EM de 6.60×10^7 cm^{-6}pc , una tasa de fotones ionizantes de 2.15×10^{47} fotones/s y una estrella central ZAMS de tipo espectral Bo. A su vez el modelo gaussiano en la fuente IRAS 08189-VLA₁ arrojó un tamaño de dos decimas de pc, una EM de 3.89×10^7 cm^{-6}pc , una tasa de fotones ionizantes de 1.62×10^{47} fotones/s y una estrella central ZAMS de tipo espectral Bo. Al observar la gráfica de la Figura 33 vemos que los tres modelos dan un buen ajuste sin embargo, por la morfología de IRAS 08189-VLA₁ (mostrada en las Figuras 31 y 32) tomamos el

modelo cilíndrico. El cual sugiere que se trata de una región H II ultracompacta en el régimen ópticamente delgado.

Por otro lado los resultados de la fuente IRAS 22308-VLA₁ dieron un índice espectral de 1.37. Lo cual sugiere que la fuente IRAS 22308-VLA₁ se trata de una región H II en el régimen ópticamente grueso, por lo cual decidimos aplicarle los modelos de [Rodríguez et al \(2018\)](#), obteniendo lo siguiente. Al usar el modelo cilíndrico en la fuente IRAS 22308-VLA₁ se encontró un tamaño de tres centésimas de pc, una EM de $3.15 \times 10^8 \text{ cm}^{-6} \text{ pc}$, una tasa de fotones ionizantes de 1.76×10^{48} fotones/s y una estrella central ZAMS de tipo espectral O8.5. También se usó el modelo esférico en la fuente IRAS 22308-VLA₁ que nos mostró un tamaño de cuatro centésimas de pc, una EM de $4.78 \times 10^8 \text{ cm}^{-6} \text{ pc}$, una tasa de fotones ionizantes de 2.77×10^{48} fotones/s y una estrella central ZAMS de tipo espectral O7.5. Usando el modelo gaussiano en la fuente IRAS 22308-VLA₁ encontramos un tamaño de dos centésimas de pc, una EM de $9.14 \times 10^8 \text{ cm}^{-6} \text{ pc}$, una tasa de fotones ionizantes de 3.85×10^{48} fotones/s y una estrella central ZAMS de tipo espectral O7. Podemos ver en la gráfica de la Figura 35 que los tres modelos dan un buen ajuste, sin embargo la morfología de esta fuente (mostrada en la Figura 29) sugiere que el mejor ajuste es un modelo cilíndrico. Por ello, vemos que los ajustes del modelo cilíndrico sugieren una región H II ultracompacta en el régimen ópticamente grueso.

Los resultados de la fuente IRAS 06567-VLA₁ dieron un índice espectral de 2.00. Dicho valor sugiere que se trata de una región H II en el régimen ópticamente grueso y por ello la modelamos en base a los modelos de [Rodríguez et al \(2018\)](#), dando lo siguiente. Al aplicar el modelo cilíndrico a la fuente IRAS 06567-VLA₁ encontramos un tamaño de una milésima de pc, una EM de $7.13 \times 10^9 \text{ cm}^{-6} \text{ pc}$, una tasa de fotones ionizantes de 4.44×10^{46} fotones/s y una estrella central ZAMS de tipo espectral Bo. El modelo esférico en la fuente IRAS 06567-VLA₁ nos mostró un tamaño de una milésima de pc, una EM de $1.39 \times 10^{13} \text{ cm}^{-6} \text{ pc}$, una tasa de fotones ionizantes de 8.65×10^{49} fotones/s y una estrella central ZAMS de tipo espectral O4. La gráfica de la Figura 34 muestra que ambos modelos dan un buen ajuste sin embargo el mapa de la Figura 19 sugiere que el modelo esférico es el más consistente. Por ello, el ajuste del modelo esférico nos sugiere que se trata de una región H II hipercompacta en el régimen ópticamente grueso.

Tenemos que la fuente IRAS 07528-VLA₂ de acuerdo a los resultados presenta un índice espectral de -0.17. El cual es consistente con una región H II en el régimen ópticamente delgado. Por ello usamos en IRAS 07528-VLA₁ los modelos de [Rodríguez et al \(2018\)](#) dando los siguientes resultados. Con el modelo cilíndrico en la fuente IRAS 07528-VLA₂ se encontró un tamaño de ocho centésimas de pc, una EM de $1.46 \times 10^4 \text{ cm}^{-6} \text{ pc}$, una tasa de fotones ionizantes de 4.18×10^{44} fotones/s y una estrella central ZAMS de tipo espectral B2. Usando el modelo esférico en la fuente IRAS 07528-VLA₂ se halló un tamaño de 7 milésimas de pc, una EM de $2.47 \times 10^6 \text{ cm}^{-6} \text{ pc}$, una tasa de fotones ionizantes de 6.31×10^{44} fotones/s y una estrella central ZAMS de tipo espectral

B2. A su vez al usar el modelo gaussiano en la fuente IRAS 07528-VLA2 encontramos un tamaño de 98 diezmilésimas, una EM de $3.56 \times 10^5 \text{ cm}^{-6} \text{ pc}$, una tasa de fotones ionizantes de 4.91×10^{44} fotones/s y una estrella central ZAMS de tipo espectral B2. La gráfica de la Figura 36 muestra que el modelo gaussiano es el que mejor se ajusta, dicho modelo sugiere que es una región H II ultracompacta en el régimen ópticamente delgado.

Por tanto, de las fuentes detectadas en dos bandas, tres son regiones H II ultracompactas, una es una región H II hipercompacta y dos no son regiones H II. Es decir, de las fuentes detectadas en dos bandas el 50 % son regiones H II ultracompactas, el 17 % son regiones H II hipercompactas y el 33 % no son regiones H II.

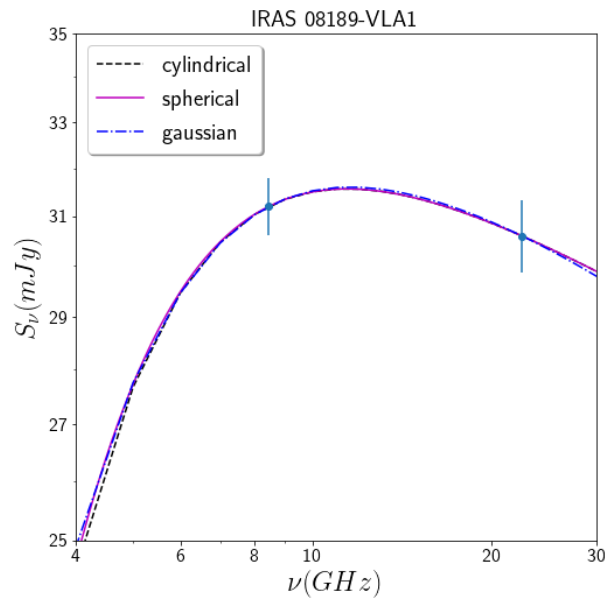


Figura 33: Esta gráfica muestra el ajuste de los modelos desarrollados por Rodríguez et al (2018) aplicados sobre las S_ν observadas en IRAS 08189-VLA1. Donde los puntos son las S_ν observadas, la línea continua es el ajuste del modelo esférico, la línea en segmentos es el ajuste del modelo cilíndrico y la línea de puntos y segmentos es el ajuste del modelo gaussiano.

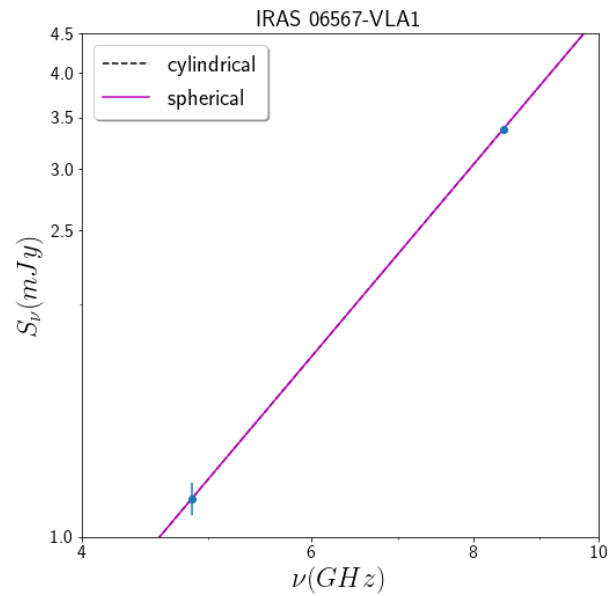


Figura 34: Esta gráfica muestra el ajuste de los modelos desarrollados por Rodríguez et al (2018) aplicados sobre las S_ν observadas en IRAS 06567-VLA1. Donde los puntos son las S_ν observadas, la línea continua es el ajuste del modelo esférico y la línea en segmentos es el ajuste del modelo cilíndrico.

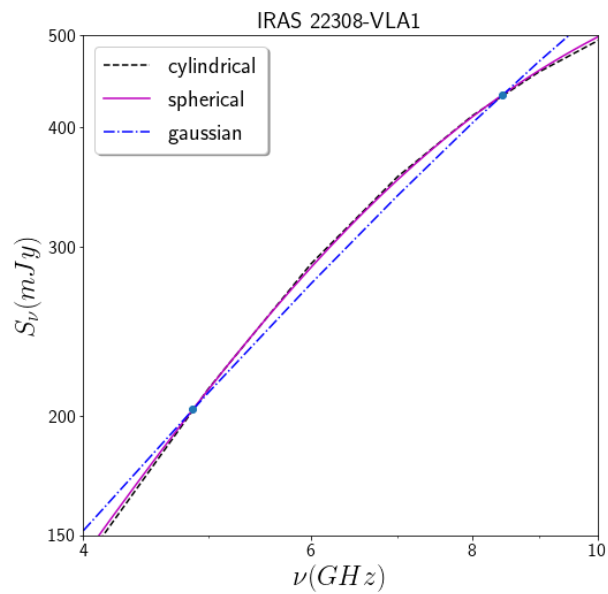


Figura 35: Esta gráfica muestra el ajuste de los modelos desarrollados por Rodríguez et al (2018) aplicados sobre las S_ν observadas en IRAS 22308-VLA1. Donde los puntos son las S_ν observadas, la línea continua es el ajuste del modelo esférico, la línea en segmentos es el ajuste del modelo cilíndrico y la línea de puntos y segmentos es el ajuste del modelo gaussiano.

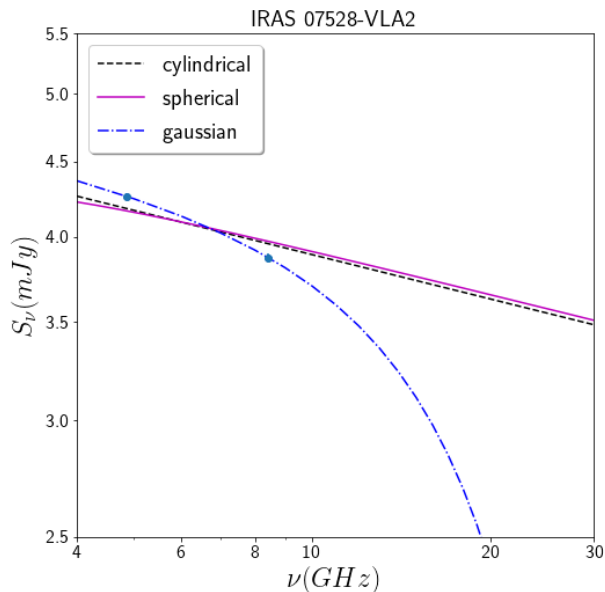


Figura 36: Esta gráfica muestra el ajuste de los modelos desarrollados por Rodríguez et al (2018) aplicados sobre las S_ν observadas en IRAS 07528-VLA2. Donde los puntos son las S_ν observadas, la línea continua es el ajuste del modelo esférico, la línea en segmentos es el ajuste del modelo cilíndrico y la línea de puntos y segmentos es el ajuste del modelo gaussiano.

4.3 FUENTES DETECTADAS EN LAS BANDAS C, X Y K

Las fuentes detectadas en tres bandas, primero las caracterizamos calculando el índice espectral, sin embargo para este caso no usamos la ecuación 7 en forma directa. Es importante mencionar que los mapas de las fuentes detectadas fueron convolucionados para tener la misma resolución angular. Los resultados se enuncian a continuación (Tablas 18, 19 y 20), sin embargo los valores del índice espectral deben tomarse con cuidado porque los mapas originales tenían resoluciones angulares diferentes (en particular la banda C es la que tiene la resolución angular más pobre).

La fuente IRAS 21413-VLA1 (Figura 27) presentó un índice espectral de 0.82. El cual es cercano a 0.6, por ello sugiere que es consistente con un chorro térmico. Debido a esto se calculó la tasa de masa ionizada (un parámetro físico de los chorros térmicos), usando la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}
\left(\frac{M_{\text{ion}}}{10^{-6}M_{\odot}/\text{year}}\right) &= 0.139 \left[\left(\frac{S_{\nu}}{\text{mJy}}\right) \left(\frac{\nu}{10\text{GHz}}\right)^{-0.6} \right]^{0.75} \\
&\times \left(\frac{v_j}{200\text{km/s}}\right) \left(\frac{\theta_0}{\text{rad}}\right)^{0.75} (\sin(i))^{-0.25} \\
&\times \left(\frac{d}{\text{kpc}}\right)^{1.5} \left(\frac{T}{10^4\text{K}}\right)^{-0.075}
\end{aligned} \tag{11}$$

donde M_{ion} es la tasa de masa ionizada, v_j es la velocidad de la eyección, θ_0 es el tamaño angular y d la distancia en kpc a la que se encuentra el chorro térmico. Con lo que encontramos los siguientes valores de tasa de masa ionizada, para la fuente IRAS 21413-VLA1:

- Banda C, $1.49 \times 10^{-4}M_{\odot}/\text{yr}$
- Banda X, $4.19 \times 10^{-4}M_{\odot}/\text{yr}$
- Banda K, $1.37 \times 10^{-3}M_{\odot}/\text{yr}$

como vemos los valores son muy grandes para tratarse de un chorro térmico porque de acuerdo a [Anglada et al \(2018\)](#) el valor más grande de M_{ion} es $10^{-5}M_{\odot}/\text{yr}$ y el más pequeño es $10^{-10}M_{\odot}/\text{yr}$. Por ello, aunque no se descarta la posibilidad de que sea un chorro térmico decidimos también modelarla como una región H II, lo cual se mostrará más adelante.

Por otro lado para IRAS 23030-VLA2, IRAS 23030-VLA1 e IRAS 23030-VLA3 encontramos un índice espectral de 1.80, -0.03 y 0.82 (respectivamente). Dichos valores sugieren que IRAS 23030-VLA2 se trata de una región H II en el régimen ópticamente grueso, IRAS 23030-VLA1 de una región H II en el régimen ópticamente delgado e IRAS 23030-VLA3 es consistente con un chorro térmico. Por el índice espectral que presentó IRAS 23030-VLA3 (así como la morfología del sistema triple que esta hacia la región IRAS 23030+5958, el cual se observa en la Figura 30) decidimos modelar IRAS 23030-VLA3 como el centro de emisión de un chorro térmico y a IRAS 23030-VLA1 e IRAS 23030-VLA2 como eyecciones de este chorro térmico. Aplicando la ecuación 11 a IRAS 23030-VLA3 encontramos:

- Banda C, $1.17 \times 10^{-5}M_{\odot}/\text{yr}$
- Banda X, $4.17 \times 10^{-5}M_{\odot}/\text{yr}$
- Banda K, $8.13 \times 10^{-5}M_{\odot}/\text{yr}$

podemos ver que los valores de tasa de masa ionizada son consistentes con los valores que presenta un chorro térmico asociada una proto-estrella masiva, pues estos tienen valores de $10^{-5}M_{\odot}/\text{yr}$ y de hecho ese es el valor más grande de M_{ion} que un chorro térmico puede tener de acuerdo con [Anglada et al \(2018\)](#).

Los parámetros físicos se obtuvieron haciendo uso de los tres modelos desarrollados por [Rodríguez et al \(2018\)](#). Los resultados de aplicar los ajustes del modelo cilíndrico, esférico y gaussiano a las fuentes con índice espectral térmico (de una región H II) se explican a continuación (Tablas 18, 19 y 20). Además de mostrar los ajustes de dichos modelos, en las gráficas de las Figuras 37 y 38.

Tabla 18: Parámetros físicos de las fuentes para el modelo cilíndrico

Fuente estudiada	Tamaño	EM	N_i	Tipo espectral	Índice espectral ^j
	pc	cm^{-6} pc	fotones/s		
IRAS 01045-VLA1 ^k	0.06	1.53×10^8	2.52×10^{48}	O8	0.31
IRAS 21413-VLA1 ^k	0.04	2.78×10^8	1.65×10^{48}	O8.5	0.82
IRAS 23030-VLA1 ^k	1.15	1.65×10^5	1.03×10^{48}	O9	-0.03
IRAS 23030-VLA2 ^k	0.02	5.19×10^8	8.63×10^{47}	O9.5	1.80
IRAS 23030-VLA3 ^k	0.02	3.30×10^8	5.41×10^{47}	O9.5	0.82

^j Se calculó usando la función *minimize* de python

^k Esta fuente se detectó en la banda C

Tabla 19: Parámetros físicos de las fuentes para el modelo esférico

Fuente estudiada	Tamaño	EM	N_i	Tipo espectral	Índice espectral ^l
	pc	cm^{-6} pc	fotones/s		
IRAS 01045-VLA1 ^m	0.06	2.10×10^8	3.77×10^{48}	O7	0.31
IRAS 21413-VLA1 ^m	0.04	4.22×10^8	2.61×10^{48}	O8	0.82
IRAS 23030-VLA1 ^m	0.16	1.31×10^7	1.60×10^{48}	O8.5	-0.03
IRAS 23030-VLA2 ^m	0.02	7.44×10^8	1.31×10^{48}	O9	1.80
IRAS 23030-VLA3 ^m	0.02	4.74×10^8	8.26×10^{47}	O9.5	0.82

^l Se calculó usando la función *minimize* de python

^m Esta fuente se detectó en la banda C

Tabla 20: Parámetros físicos de las fuentes para el modelo gaussiano

Fuente estudiada	Tamaño pc	EM $\text{cm}^{-6} \text{ pc}$	N_i fotones/s	Tipo espectral	Índice espectral ⁿ
IRAS 01045-VLA1 ^o	0.04	1.31×10^8	2.79×10^{48}	O7.5	0.31
IRAS 21413-VLA1 ^o	0.02	5.17×10^8	2.65×10^{48}	O8	0.82
IRAS 23030-VLA1 ^o	0.11	6.70×10^6	1.21×10^{48}	O9	-0.03
IRAS 23030-VLA2 ^o	0.01	5.88×10^8	1.03×10^{48}	O9	1.80
IRAS 23030-VLA3 ^o	0.01	3.67×10^8	6.64×10^{47}	O9.5	0.82

ⁿ Se calculó usando la función *minimize* de python

^o Esta fuente se detectó en la banda C

De acuerdo a los resultados obtenidos, la fuente IRAS 01045-VLA1 tiene un índice espectral de 0.31, pero de acuerdo a la Figura 37 podemos ver que los valores de densidad de flujo están muy dispersos por tanto este resultado debe tomarse con cuidado y por ello no conviene asignarle una incertidumbre al cálculo. Este valor sugiere que se trata de una región H II en el régimen ópticamente delgado. Por tanto se calcularon sus parámetros físicos usando los modelos de [Rodríguez et al \(2018\)](#). Al usar el modelo cilíndrico en la fuente IRAS 01045-VLA1 encontramos un tamaño de seis centésimas de pc, una EM de $1.53 \times 10^8 \text{ cm}^{-6} \text{ pc}$, una tasa de fotones ionizantes de 2.52×10^{48} fotones/s y una estrella central ZAMS de tipo espectral O8. Para el modelo esférico se encontró un diámetro de seis centésimas de pc, una EM de $2.10 \times 10^8 \text{ cm}^{-6} \text{ pc}$, una tasa de fotones ionizantes de 3.77×10^{48} fotones/s y una estrella central ZAMS de tipo espectral O7. Además en el modelo gaussiano hallamos un tamaño de cuatro centésimas de pc, una EM de $1.31 \times 10^8 \text{ cm}^{-6} \text{ pc}$, una tasa de fotones ionizantes de 2.79×10^{48} fotones/s y una estrella central ZAMS de tipo espectral O7.5. En la gráfica de la Figura 37 podemos ver que ningún modelo da un buen ajuste, sin embargo el mapa de la Figura 9 muestra una fuente con morfología esférica. Por ello, el modelo esférico sugiere que se trata de una región H II ultracompacta en el régimen ópticamente delgado. Sin embargo, los resultados obtenidos deben tomarse con cuidado, debido a la poca precisión en los ajustes de los modelos desarrollados por [Rodríguez et al \(2018\)](#).

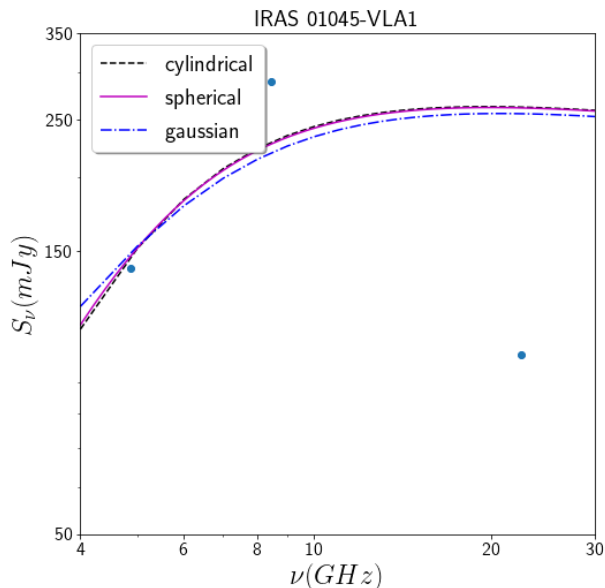


Figura 37: Esta gráfica muestra el ajuste de los modelos desarrollados por Rodríguez et al (2018) aplicados sobre las S_ν observadas en IRAS 01045-VLA1. Donde los puntos son las S_ν observadas, la línea continua es el ajuste del modelo esférico, la línea en segmentos es el ajuste del modelo cilíndrico y la línea de puntos y segmentos es el ajuste del modelo gaussiano.

Al calcular el índice espectral de la fuente IRAS 21413-VLA1 obtuvimos un valor de 0.82. Este valor sugiere que se trata de un chorro térmico. Sin embargo como su tasa de masa de ionizada (parámetro físico de un chorro térmico) es inconsistente con un chorro térmico lo modelaremos como región H II usando los modelos desarrollados por Rodríguez et al (2018). Por ello usando el modelo cilíndrico en la fuente IRAS 21413-VLA1 se encontró un tamaño de cuatro centésimas de pc, una EM de $2.78 \times 10^8 \text{ cm}^{-6} \text{ pc}$, una tasa de fotones ionizantes de 1.65×10^{48} fotones/s y una estrella central ZAMS de tipo espectral O8.5. Usando el modelo esférico en la fuente IRAS 21413-VLA1 encontramos un diámetro de cuatro centésimas de pc, una EM de $4.22 \times 10^8 \text{ cm}^{-6} \text{ pc}$, una tasa de fotones ionizantes de 2.61×10^{48} fotones/s y una estrella central ZAMS de tipo espectral O8. Luego usando el modelo gaussiano en la fuente IRAS 21413-VLA1 se halló un tamaño de dos centésimas de pc, una EM de $5.17 \times 10^8 \text{ cm}^{-6} \text{ pc}$, una tasa de fotones ionizantes de 2.65×10^{48} fotones/s y una estrella central ZAMS de tipo espectral O8. Los tres modelos dan un ajuste pobre, sin embargo el mapa de contornos de la Figura 27 muestra una disminución de la emisión similar al de una gaussiana. Esto se observa si ponemos atención a los valores numéricos de los contornos (mencionados en el pie de figura de la Figura 27). Por ello el mejor modelo es el gaussiano. El modelo gaussiano sugiere que la fuente IRAS 21413-VLA1 es una región H II ultracompacta en el régimen ópticamente delgado. Sin embargo, este re-

sultado debe tomarse con mucho cuidado, debido al ajuste tan pobre de los modelos desarrollados por [Rodríguez et al \(2018\)](#).

Por último, de las fuentes detectadas en tres bandas tenemos que dos son regiones H II ultracompactas y una no es región H II. Es decir, de las fuentes detectadas en tres bandas el 67% son regiones H II ultracompactas y el 33% no son regiones H II

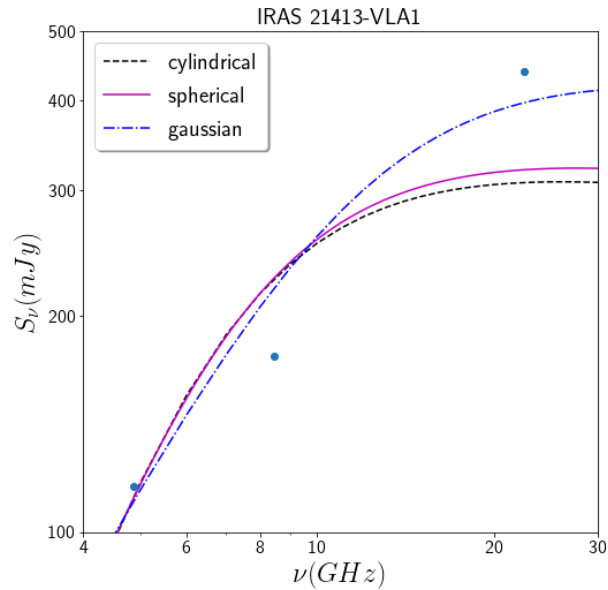


Figura 38: Esta gráfica muestra el ajuste de los modelos desarrollados por Rodríguez et al (2018) aplicados sobre las S_ν observadas en IRAS 21413-VLA1. Donde los puntos son las S_ν observadas, la línea continua es el ajuste del modelo esférico, la línea en segmentos es el ajuste del modelo cilíndrico y la línea de puntos y segmentos es el ajuste del modelo gaussiano.

4.4 RELACIONES ESTADÍSTICAS

En las Figuras 39 y 40 podemos observar las gráficas logarítmicas de N_i vs tamaño; y n_e vs tamaño (respectivamente). Las gráficas de las Figuras 39 y 40 se obtuvieron de los parámetros físicos de las fuentes en la banda X (se aplica a esta banda porque todas las fuentes que estudiamos en esta tesis se detectaron en esta banda) y de la definición de EM sobre estos. El objetivo es encontrar información de la muestra completa de fuentes estudiadas en esta tesis, a través de las gráficas de las Figuras 39 y 40.

Esto se logra porque de acuerdo a [Martin-Hernandez et al \(2003\)](#) hay una relación algebraica entre N_i y el tamaño, así como entre n_e y el tamaño. Más aún dependiendo de como se la relación ($n_e \propto \frac{1}{r}$, $n_e \propto \frac{1}{r^2}$ por ejemplo) podemos afirmar de que tipo de regiones H II esta compuesta la muestra (en este caso la muestra estudiada en la Tesis) de acuerdo con [Martin-Hernandez et al \(2003\)](#).

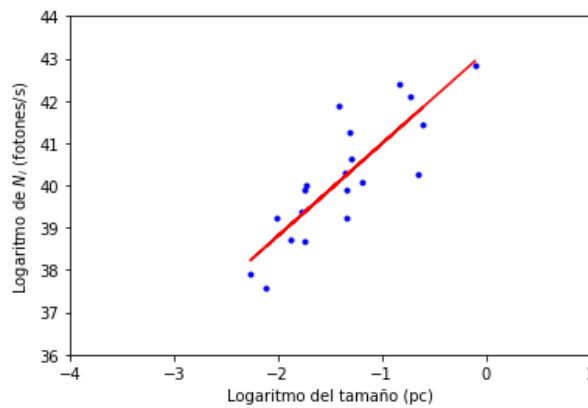


Figura 39: Gráfica logarítmica de N_i vs tamaño, los puntos son los datos de la banda X y la recta es el ajuste a los datos de la banda X.

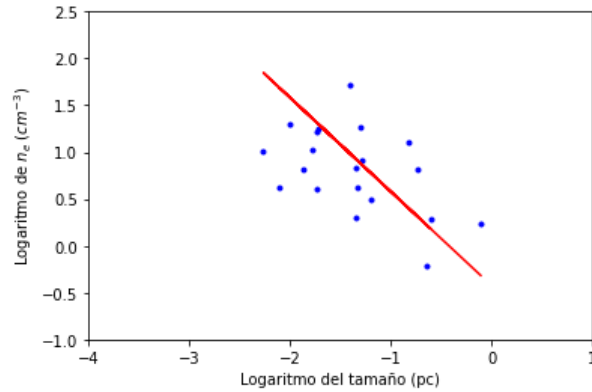


Figura 40: Gráfica logarítmica de n_e vs tamaño, los puntos son los datos de la banda X y la recta es el ajuste a los datos de la banda X.

La recta de ajuste de la Figura 39 tiene una pendiente de 2.18 ± 0.33 y una ordenada al origen de 43.17 ± 0.49 . Mientras que la recta de ajuste de la Figura 40 tiene una pendiente de -1.00 ± 0.27 y una ordenada al origen de -0.42 ± 0.35 . Ahora de acuerdo a [Martin-Hernandez et al \(2003\)](#) la pendiente de -1.00 de la gráfica de la Figura 40 indica que la muestra de fuentes de la banda X esta compuesta por regiones H II ultracompactas en su mayoría (hablando estadísticamente). Por tanto, se puede sugerir, que la muestra de fuentes estudiadas en esta tesis es en su mayoría regiones H II ultracompactas. Sin embargo, este resultado debe tomarse con cuidado ya que es estadístico.

CONCLUSIONES

Se realizó un estudio observacional en las bandas C, X y K para caracterizar una muestra de fuentes candidatas a regiones H II. En dicha muestra en la banda X de 94 fuentes observadas sólo se detectaron 22, mientras que en la banda K de 52 fuentes observadas solamente se detectaron cinco y se complementaron con seis fuentes de la banda C. En dicha muestra sólo 13 pertenecían únicamente a la banda X, seis tenía dos observaciones (bandas X y K o X y C) y tres tenían tres observaciones (bandas C, X y K). De las fuentes con observaciones en la banda X se hizo una estadística y se encontró que en su mayoría esta compuesta por regiones H II ultracompactas.

Por otro lado analizando solamente las fuentes con una sola observación, usando sus parámetros físicos, hallamos dos regiones H II compactas, ocho regiones H II hipercompactas y 3 regiones H II ultracompactas. Luego se analizó la muestra con dos observaciones (en esta caracterización también se usó el índice espectral). Usando el índice espectral se hallaron cinco regiones H II (donde dos de ellas, pertenecen a la misma región IRAS), de las cuales dos están en el régimen ópticamente grueso, dos en el régimen ópticamente delgado y una en el régimen semi-ópticamente grueso. A su vez analizando esta muestra a través de sus parámetros físicos (tomando el mejor modelo) obtenemos tres regiones H II ultracompactas y dos regiones H II hipercompactas.

Finalmente se analizó la muestra con tres observaciones obteniendo el índice espectral de un chorro térmico para dos de ellas, sin embargo una de ellas se descartó como chorro térmico por tener una tasa de masa ionizada muy alta. Por tanto, analizando todas las fuentes con el índice espectral encontramos un chorro térmico y dos regiones H II. Al analizar los parámetros físicos, con los diversos modelos, obtuvimos que dos fuentes son regiones H II ultracompactas.

Por tanto de la muestra total, nueve son regiones H II hipercompactas, ocho son regiones H II ultracompactas, dos son regiones H II compactas y tres no son regiones H II. Es decir, de las fuentes detectadas el 41 % son regiones H II hipercompactas, el 36 % son regiones H II ultracompactas, el 9 % son regiones H II compactas y el 14 % no son regiones H II. Por tanto, la muestra que analizamos esta compuesta en su mayoría de regiones H II hipercompactas y ultracompactas. Lo cual la hace un buen candidato para el estudio de la formación estelar masiva. Además de que pudimos recabar datos de las regiones H II encontradas (caracterizarlas).

BIBLIOGRAFÍA

- Alloin D. The Evolution of Galaxies: I-Observational Clues. 2001
- Anandarao B. G., Venkata Raman V., Ghosh S.K., Ojha D. K. & Kumar M. S. N. Near-infrared photometry and radio continuum study of the massive star-forming regions IRAS 21413+5442 and IRAS 21407+5441. 2008. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. Vol. 390. p. 1185-1194
- Anderson L. D., Armentrout W. P., Johnstone B. M., Bania T. M., Balser D. S., Wenger T. V. & Cunningham V. Finding distant galactic H II regions. 2015. The Astrophysical Journal Supplement Series. Vol. 221. p. 26-36
- Anglada G., Rodríguez L. F. & Carrasco-González C. Radio jets from young stellar objects. 2018. The Astronomy and Astrophysics Review. Vol. 26. p. 3-54
- Araya E. D., Kurtz S., Hofner P. & Linz H. Radio continuum and methanol observations of DR21(OH). 2009. The Astrophysical Journal. Vol. 698. p. 1321-1329
- Arnaud M., Atrio-Barandela F., Aumont J., Baccigalupi C., Banday A. J., Barreiro R. B., Battaner E., Benabed K. & Benoit-Lévy A. Planck intermediate results. XVIII. The millimetre and sub-millimetre emission from planetary nebulae. 2015. Astronomy and Astrophysics. Vol. 573. p. 6-22
- S. J. Arthur. El medio Interestelar. 2012
- Baug T., Ojha D. K., Dewangan L. K., Ninan J. P., Bhatt B. C., Ghosh S. K. & Mallick K. K. Sh2-138: physical environment around a small cluster of massive stars. 2015. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. Vol. 454. p. 4335-4356
- Beuther H. & Shepherd D. Precursors of UC H II Regions and the evolution of massive outflows. 2005. Cores to Clusters. Vol. 324. p. 105-120
- Beuther H., Leurini S., Schilke P., Wyrowski F., Menten K. M. & Zhang Q. Interferometric multi-wavelength (sub)millimeter continuum study of the young high-mass protocluster IRAS 05358+3543. 2007. Astronomy and Astrophysics. Vol. 466. p. 1065-1076
- Bronfman L., Nyman L.-A. & May J. A CS(2-1) survey of IRAS point sources with color characteristics of ultra-compact H II regions. 1996. Astronomy and Astrophysics Supplement Series. Vol. 115. p. 81-95

- Churchwell Ed. Ultra-compact H II regions and massive star formation. 2002. Annual Review of Astronomy and Astrophysics. Vol. 40. p. 27-62
- Cohen R. J., Masheder M. R. W. & Walker R. N. F. Excited OH 4.7-GHz masers associated with IRAS far-infrared sources. 1991. Monthly Notices of the Royal Astronomy Society. Vol. 250. p. 611-616
- Di Francesco J., Jhonstone D., Kirk H., MacKenzie T. & Ledwosinska E. The SCUBA legacy catalogues: submillimeter-continuum objects detected by SCUBA. 2008. The Astrophysical Journal Supplement Series. Vol. 175. p. 277-295
- Edris K. A., Fuller G. A. & Cohen R. J. A survey of OH masers towards high mass protostellar objects. 2007. Astronomy and Astrophysics. Vol. 465. p. 865-877
- Estalella Robert. Introducción a la Física del Medio Interestelar. 1999
- Foster T. & Brunt C. M. A CGPS look at the spiral structure of the outer Milky Way. I. Distances and velocities to star-forming regions. 2015. Astronomical Journal. Vol. 150. p. 147-159
- Garay G. & Lizano S. Massive Stars: Their Environment and Formation. 1999. The Astronomical Society of Pacific. Vol. 111. p. 1049-1087
- Habing H. J. Compact H II regions and OB star formation. 1979. Annual Review of Astronomy and Astrophysics. Vol. 17. p. 345-385
- Henning T., Cesaroni R., Walmsley M. & Pfau W. Maser search towards young stellar objects. 1992. Astronomy and Astrophysics Supplement Series. Vol. 93. p. 525-538
- Joy M., Evans II N. J., Harvey P. M. & Wilking B. A. Infrared and millimeter-wave observations of the Sharpless 156 molecular cloud. 1984. The Astrophysical Journal. Vol. 284. p. 161-175
- Kallas E. & Reich W. A 21 cm radio continuum survey of the galactic plane between $l=93$ and $l=162$. 1980. Astronomy and Astrophysics Supplement Series. Vol. 42. p. 227-243
- Kim K.-T., Kim W.-J. & Kim C.-H. Molecular Outflows from Newly Formed Massive Stars. 2015. Journal of the Korean Astronomical Society. Vol. 48. p. 365-380
- Klein R., Posselt B., Schreyer K., Forbrich J. & Henning T. A millimeter continuum survey for massive protoclusters in the outer Galaxy. 2005. The Astrophysical Journal Supplement Series. Vol. 161. p. 361-393

- Kurtz S. Ultracompact H II regions. 2002. ASP Conference Series. Vol. 267. p. 81-94
- Kurtz S. Ultracompact H II regions. 2002. Rev. Mex. A. A. (Serie de Conferencias). Vol. 12. p. 16-21
- Lee E. J., Murray N. & Rahman M. Milky Way star-forming complexes and the turbulent motion of the Galaxy's molecular gas. 2012. The Astrophysical Journal. Vol. 752. p. 146-159
- Lekht E. E., Mendoza-Torres J. E. & Berulis I. I. Cyclic activity of the water-vapor maser in S128. 2002. Astronomy Reports. Vol. 46. p. 57-66
- Likkel L. OH and H₂O observations of cold IRAS stars. 1989. The Astrophysical Journal. Vol. 344. p. 350-370
- Liu T., Wu Y. F. & Wang K. A search for massive young stellar objects with 98 CH₃OH maser sources. 2010. Research in Astronomy and Astrophysics. Vol. 10. p. 67-82
- Lu X., Zhang Q., Liu H. B., Wang J. & Gu Q. Very Large Array observations of ammonia in high-mass star formation regions. 2014. The Astrophysical Journal. Vol. 790. p. 84-119
- Lumsden S. L., Hoare M. G., Urquhart J. S., Oudmaijer R. D., Davies B., Mottram J. C., Cooper H. D. B. & Moore T. J. T. The Red MSX Source Survey: The Massive Young Stellar Population of Our Galaxy. 2013. The Astrophysical Journal Supplement. Vol. 208. p. 11-28
- Martin-Hernandez N. L., Van Der Hulst J. M. & Tielens A. G. G. M. A radio continuum and infrared study of Galactic H II regions. 2003. Astronomy and Astrophysics. Vol. 407. p. 957-985
- Maud L. T., Moore T. J. T., Lumsden S. L., Mottram J. C., Urquhart J. S. & Hoare M. G. A distance-limited sample of massive molecular outflows. 2015. Monthly Notices of the Royal Astronomy Society. Vol. 453. p. 645-665
- May J., Alvarez H. & Bronfman L. Physical properties of molecular clouds in the southern outer Galaxy. 1997. Astronomy and Astrophysics. Vol. 327. p. 325-332
- McCutcheon W. H., Dewdney P. E., Purton R. & Sato T. Protostellar candidates in a sample of bright far-infrared IRAS sources. 1991. The Astronomical Journal. Vol. 101. p. 1435-1465

- McCutcheon W. H., Sato T., Purton C. R., Matthews H. E. & Dewdney P. E. Millimeter and submillimeter wavelength continuum observations of massive young stellar objects. 1995. *The Astronomical Journal*. Vol. 110. p. 1762-1773
- Miralles M. P., Rodríguez L. F. & Scalise E. Radio continuum, ammonia, and water maser observations of bright, unassociated IRAS Point Sources. 1994. *The Astrophysical Journal Supplement Series*. Vol. 92. p. 173-188
- Mookerjee B., Sandell G. & Wouterloot J. G. A. SCUBA mapping of outer Galaxy protostellar candidates. 2007. *Astronomy and Astrophysics*. Vol. 473. p. 485-491
- Navarete F., Damini A., Barbosa C. L. & Blum R. D. A survey of extended H₂ emission from massive YSOs. 2015. *Monthly Notices of the Royal Astronomy Society*. Vol. 450. p. 4364-4398
- Neckel T., Staude H. J., Mesisenheimer K., Chini R. & Gusten R. A newborn Trapezium within a bipolar nebula. 1989. *Astronomy and Astrophysics*. Vol. 210. p. 378-388
- Olson F. M. Thermal bremsstrahlung radiospectra for inhomogeneous objects, with an application to MWC 349. 1975. *Astronomy and Astrophysics*. Vol. 39. p. 217-223
- Osterloh M., Henning T. & Launhardt R. Infrared images and millimeter data from cold southern IRAS sources. 1997. *The Astrophysical Journal Supplement Series*. Vol. 110. p. 71-114
- Palagi F., Cesaroni R., Comoretto G., Felli M. & Natale V. Classification and statistical properties of galactic H₂O masers. 1993. *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*. Vol. 101. p. 153-193
- Panagia Nino. Some physical parameters of early-type stars. 1973. *The Astronomical Journal*. Vol. 78. p. 929-934
- Preite Martínez A. Possible new planetary nebulae in the IRAS point source catalogue. 1988. *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*. Vol. 76. p. 317-330
- Reich P., Reich W. & Fuerst E. The Effelsberg 21 cm radio continuum survey of the Galactic plane between $l = 95.5$ deg and $l = 240$ deg. 1997. *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*. Vol. 126. p. 413-435
- Rodríguez-Garza C. B., Kurtz S. E., Gómez-Ruiz A. I., Hofner P., Araya E. D. & Kalenskii S. V. A catalog of 44 GHz methanol masers in massive star-forming regions. IV. The high-mass protostellar object sample. 2017. *The Astrophysical Journal Supplement Series*. Vol. 233. p. 4-21

- Rodríguez T. et al (2018). Comunicación privada
- Rosero V., Tanaka K. E. I., Tan J. C., Marvil J., Liu M., Zhang Y., De Buizer J. M. & Beltran M. T. The SOMA radio survey. I. Comprehensive SEDs of high-mass protostars from infrared to radio and the emergence of ionization feedback. 2019. *The Astrophysical Journal*. Vol. 873. p. 20-45
- Rudolph A. L., Brand J., De Geus E. J. & Wouterloot J. G. A. Far outer Galaxy H II regions. 1996. *The Astrophysical Journal*. Vol. 458. p. 653-669
- Rudolph A. L., Simpson J. P., Haas M. R., Erickson E. F. & Fich M. Far-infrared abundance measurements in the outer Galaxy. 1997. *The Astrophysical Journal*. Vol. 489. p. 94-101
- Ruiz-Velasco A. E., Felli D., Migenes V. & Wiggins B. K. VLBA surveys of OH masers in star-forming regions. I satellite lines. 2016. *The Astrophysical Journal*. Vol. 822. p. 101-108
- Shepherd D. S. & Churchwell E. High-velocity molecular gas from high-mass star formation regions. 1996. *The Astrophysical Journal*. Vol. 457. p. 267-276
- Shu Frank H., Adams F. C. & Lizano S. Star formation in molecular clouds: observation and theory. 1987. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*. Vol. 25. p. 23-81
- Slysh V. I., Val'tts I. E., Kalenskii S. V., Voronkov M. A., Palagi F., Tofani G. & Cattarzi M. The Medicina survey of methanol masers at 6.7 GHz. 1999. *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*. Vol. 134. p. 115-128
- Slysh V. I., Dzura A. M., Val'tts I. E. & Gerard E. Further search for OH emission from IRAS sources. 1997. *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*. Vol. 124. p. 85-108
- Snell Ronald L., Carpenter John M. & Mark H. Heyer. Molecular Clouds and Infrared Stellar Clusters in the Far Outer Galaxy. 2002. *The Astrophysical Journal*. Vol. 578. p. 229-244
- Sunada Kazuyoshi, Nakazato Takeshi, Ikeda Norio, Hongo Satoshi, Kitamura Yoshimi & Yang Ji. Water maser and ammonia survey toward IRAS sources in the Galaxy. I. H₂O maser data. 2007. *Astronomical Society of Japan*. Vol. 59. p. 1185-1219
- Szymczak M., Hrynek G. & Kus A. J. A survey of the 6.7 GHz methanol maser emission from IRAS sources. 2000. *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*. Vol. 143. p. 269-301

- Szymczak M., Kus A. J. & Hrynek G. Observations of OH 4765-MHz maser emission from star-forming regions. 2000. *Monthly Notices of the Royal Astronomy Society*. Vol. 312. p. 211-216
- Tang X. D., Esimbek J., Zhou J. J., Wu G. & Okoh D. The comparison of H₂CO (1₁₀1₁₁), C¹⁸O (1₀₁) and the continuum towards molecular clouds. 2014. *Research in Astronomy and Astrophysics*. Vol. 14. p. 959-970
- Tapia M., Persi P., Bohigas J. & Ferrari-Toniolo M. IRAS sources associated with small nebulae in star forming regions: optical and near infrared images. 1997. *The Astronomical Journal*. Vol. 113. p. 1769-1787
- Te Lintel Hekkert P. & Chapman J. M. A search for OH maser emission from post-asymptotic giant branch stars. 1996. *Astronomy and Astrophysics Supplemente Series*. Vol. 119. p. 459-481
- Te Lintel Hekkert P. An OH survey of very cold IRAS point sources. 1991. *Astronomy and Astrophysics*. Vol. 248. p. 209-220
- Tofani G., Felli M., Taylor G. B. & Hunter T. R. Exploring the engines of molecular outflows. Radio continuum and H₂O maser observations. 1995. *Astronomy and Astrophysics Supplemente Series*. Vol. 112. p. 299-346
- Umana G., Leto P., Trigilio C., Buemi C. S., Manzitto P., Toscano S., Dolei S. & Cerrigone L. Millimeter observations of planetary nebulae. A contribution to the Planck pre-launch catalogue. 2008. *Astronomy and Astrophysics*. Vol. 482. p. 529-534
- Urquhart J. S., Hoare M. G., Purcell C. R., Lumsden S. L., Oudmaijer R. D., Moore T. J. T., Busfield A. L., Mottram J. C. & Davies B. The RMS survey 6 cm continuum VLA observations towards candidate massive YSOs in the northern hemisphere. 2009. *Astronomy and Astrophysics*. Vol. 501. p. 539-551
- Urquhart J. S., Morgan L. K., Figura C. C., Moore T. J. T., Lumsden S. L., Hoare M. G., Oudmaijer R. D., Mottram J. C., Davies, B. & Dunham M. K. The Red MSX Source survey: ammonia and water maser analysis of massive star-forming regions. 2011. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. Vol. 418. p. 1689-1706
- Van Der Walt D. J., Retief S. J. P., Gaylard M. J. & MacLeod G. C. A search for 5₁ – 6₀ A⁺-methanol masers towards faint IRAS sources. 1996. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. Vol. 282. p. 1085-1095

- Walsh A. J., Burton M. G., Hyland A. R. & Robinson G. Studies of ultracompact H II regions - II. High-resolution radio continuum and methanol maser survey. 1998. *Monthly Notices of the Royal Astronomy Society*. Vol. 301. p. 640-698
- Walsh A. J., Hyland A. R., Robinson G. & Burton M. G. Studies of ultracompact H II regions. I. Methanol maser survey of IRAS-selected sources. 1997. *Monthly Notices of the Royal Astronomy Society*. Vol. 291. p. 261-278
- Williams S. J., Fuller G. A. & Sridharan T. K. The circumstellar environments of high-mass protostellar objects. I. Submillimetre continuum emission. 2004. *Astronomy and Astrophysics*. Vol. 417. p. 115-133
- Wouterloot J. G. A. & Brand J. IRAS sources beyond the solar circle. I. CO observations. 1989. *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*. Vol. 80. p. 149-187
- Wouterloot J. G. A., Brand J. & K. Fiegle. IRAS sources beyond the solar circle. III. Observations of H₂O, OH, CH₃OH and CO. 1993. *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*. Vol. 98. p. 589-536
- Wouterloot J. G. A., Brand J. & Henkel C. Star formation in the outer Galaxy. 1988. *Astronomy and Astrophysics*. Vol. 191. p. 323-340
- Wu Y., Huang M. & He J. A catalogue of high velocity molecular outflows. 1996. *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*. Vol. 115. p. 283-284
- Wu Y., Zhang Q., Yu W., Miller M., Mao R., Sun K. & Wang Y. Ammonia cores in high mass star formation regions. 2006. *Astronomy and Astrophysics*. Vol. 450. p. 607-616
- Yao Y., Ishii M., Nagata T., Nakaya H. & Sato S. Unveiling deeply embedded sources by near-infrared polarimetric imaging. 2000. *The Astrophysical Journal*. Vol. 542. p. 392-399
- Yorke H. W. The Dynamical Evolution of H II regions- Recent Theoretical Developments. 1986. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*. Vol. 24. p. 49-87
- Zhang W.-H. & Wu Y.-F. Infrared observation and study of young stellar objects. 1996. *Chinese Astronomy and Astrophysics*. Vol. 20. p. 326-336
- Zinnecker H. & Yorke Harold W. Toward Understanding Massive Star Formation. 2007. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*. Vol. 45. p. 481-563

Página de CASA; <https://casa.nrao.edu/>

Figura 1 Lada Charles J. Star formation - From OB associations to protostars. 1987. IAUS. Vol. 115. p. 1-18

Figura 2 Harwit Martin. Astrophysical Concepts. 1973

Figura 3 2MASS IPAC; <https://old.ipac.caltech.edu/2mass/gallery/powarc18.html>

Figura 4 Blue Mountain Vista Observatory; <http://www.star-watcher.org/M42.html>

Figura 5 2MASS IPAC; https://old.ipac.caltech.edu/2mass/gallery/images_hii.html

Figura 6 Garay G. & Lizano S. Massive Stars: Their Environment and Formation. 1999. The Astronomical Society of Pacific. Vol. 111. p. 1049-1087

Figura 7 VLA; <https://public.nrao.edu/news/national-science-board-approves-vla-expansion/>

Figura 8 VLA; <https://archive.nrao.edu/archive/advquery.jsp>

Tabla 1 S. Kurtz, Ultracompact H II regions, 2002, ASP Conference Series, Vol. 267, p. 81-94